

Braunschweigische
Wissenschaftliche Gesellschaft

Jahrbuch 2014



J. CRAMER Verlag · Braunschweig
2015

Das vorliegende Jahrbuch ist bei der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft
und im Buchhandel erhältlich
Preis: € 20,00

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft
Fallerleber-Tor-Wall 16 · D-38100 Braunschweig
Postfach 3329 · D-38023 Braunschweig
Telefon: (05 31) 1 44 66 · Fax (05 31) 1 44 60

<http://www.bwg-nds.de>

Für die Redaktion verantwortlich:
Dietmar Brandes

ISSN 0931-1734

ISBN 978-3-934656-34-5

Gesamtherstellung:

J. Cramer Verlag · Haarsweg 1 · D-38126 Braunschweig
2015
Printed in Germany

INHALTSVERZEICHNIS

Organe der BWG.....	9	
PLENARVERSAMMLUNGEN		
11.01.2014	in Braunschweig	11
	<i>Joachim Klein</i> : Begrüßung, Rückblick und Übergabe des Präsidentenamtes an Dietmar Brandes.....	
	<i>Claus-Artur Scheier</i> : Dankworte an Joachim Klein zum Neu- jahrsempfang 2014.....	14
	<i>Thomas Sonar</i> : Wie man aus einer Orange zwei macht. Das Banach-Tarski-Paradoxon.....	18
	<i>Dietmar Brandes</i> : Ausblick.....	34
14.02.2014	in Braunschweig	
	<i>Ulrich Menzel</i> : Die Einbürgerung Hitlers im Freistaat Braun- schweig und deren Konsequenzen.....	38
14.03.2014	in Braunschweig	
	<i>Thomas Vogtherr</i> : 'Sturmfest und erdverwachsen' – Das Nie- dersachsenlied und sein Verfasser Hermann Grote	
	<i>Müfit Bahadir</i> : Five Years of EXCEED – Excellence Center for Development Cooperation Sustainable Water Management in Developing Countries.....	60
	<i>Klaus Dilger</i> : Demokratisierter Leichtbau.....	75
11.04.2014	in Braunschweig	
	<i>Stephanus Büttgenbach</i> : Konvergierende Technologien: Perspektiven der Mikro-Nano-Bio-Integration.....	85
13.06.2014	in Braunschweig	
	<i>Reinhold Haux</i> : Informatik in der Gesundheits-Versorgung: Wird es wirklich neue Lebensweisen und neue Versorgungs- formen geben?	

12.07.2014	in Clausthal <i>Andreas Rausch: Managed and Continuous Evolution of Dependable Automotive Software Systems.....</i>	96
10.10.2014	in Braunschweig Gemeinsame Sitzung mit der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen <i>Reinhard Lauer: Die „Göttingsche Seele“ aus russischer Sicht</i> <i>Jens Peter Laut: Göttinger Forschung in Urumtschi: Aus der Werkstatt eines Turkologen.....</i>	106
14.11.2014	in Hannover <i>Raimund Rolfes: Windenergieforschung in Hannover im nationalen Forschungsverbund Windenergie.....</i>	110
12.12.2014	in Braunschweig Haupt- und Wahlsitzung	

KLASSENSITZUNGEN

Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

14.02.2014	in Braunschweig <i>Knut Baumann: Vorhersagen von Struktur-Aktivitäts-Beziehungen für die Wirkstoffforschung.....</i>	116
14.03.2014	in Braunschweig <i>Regularien</i>	
11.04.2014	in Braunschweig <i>Thomas Hartmann: Das Immunsystem der Pflanzen.....</i>	120
12.06.2014	in Braunschweig <i>Rainer Loewen: Visionen eines blinden Mathematikers: Über die Kunst, eine Sphäre umzustülpen, ohne ihr wehzutun.....</i>	121
10.10.2014	in Braunschweig <i>Regularien</i>	

Klasse für Ingenieurwissenschaften

- 14.02.2014 in Braunschweig
Udo Peil: Erdbebenwirkung bei ausgedehnten Tragwerken: Phasenverschobene Fußpunkt-Erregung..... 123
- 14.03.2014 in Braunschweig
Regularien
- 11.04.2014 in Braunschweig
Thomas Siefer: Ermittlung des Einflusses der Infrastruktur auf die Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs für den Verkehrsträger Schiene..... 136
- 13.06.2014 in Braunschweig
Christian Heipke: Erdbeobachtung mit optischen und Radarsatelliten – Potenzial und Anwendungen..... 142
- 10.10.2014 in Braunschweig
Regularien
- 14.11.2014 in Hannover
Regularien

Klasse für Geisteswissenschaften

- 14.02.2014 in Braunschweig
Walther Ludwig: Der irisch-englische Frühaufklärer John Toland zwischen Philosophiegeschichte und Latinistik..... 144
- 14.03.2014 in Braunschweig
Regularien
- 11.04.2014 in Braunschweig
Niklot Klißendorf: Zwischen Bettelei und Brauchtum. Heissegänge zum Neujahrsfest in Kurhessen..... 148
- 13.06.2014 in Braunschweig
Klaus Alpers: Die abenteuerliche Reise einer griechischen Handschrift von Konstantinopel nach Bremen und was Braunschweiger Gelehrte zu ihrer Wirkungsgeschichte beigetragen haben, bevor sie in Vergessenheit versank..... 153
- 10.10.2014 in Braunschweig
Regularien

FEIERLICHE JAHRESVERSAMMLUNG am 09. Mai 2014

**Carl Friedrich Gauß-Kolloquium
„Neue Materialien aus alten Elementen“**

<i>Anke Krüger</i> , Würzburg Kohlenstoff – mehr als Kohle und Graphit.....	159
<i>Andreas Hirsch</i> , Erlangen-Nürnberg Chemische Funktionalisierung von synthetischen Kohlenstoffallotropen.....	166
<i>Robert Schlögl</i> , Mülheim an der Ruhr Kohlenstoff: Viel mehr als ein Material zum Verfeuern	
<i>Josef R. Wünsch</i> , Ludwigshafen The Evolution of Carbon in the Chemical Industry.....	168

Festversammlung im Altstadtrathaus

Der Präsident der BWG, <i>Dietmar Brandes</i> Begrüßung und Bericht.....	170
<i>Anja Hesse</i> , Grußwort der Stadt Braunschweig.....	178
<i>Henning Hopf</i> , Braunschweig Laudatio zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 2014 an <i>Prof. Dr. Dr. h.c. Klaus Müllen</i>	181
<i>Klaus Müllen</i> , Mainz Plastikwelt.....	186
Urkunde und Lebenslauf des Preisträgers.....	211
Der Vizepräsident der BWG, <i>Klaus Gahl</i> Schlussworte.....	213

HINWEISE AUF ÖFFENTLICHE VERANSTALTUNGEN DER BWG

19.02., 08.04., 04.06., 07.10., 11.11.2014 Roter Saal, Schloss Braunschweig Akademie-Vorlesungen „Phänomen Raum“.....	215
--	-----

20.02.2014	Raum Veolia, Haus der Wissenschaften, Braunschweig 10. Bioethik-Symposium „ <i>Vom Wirkstoff zum Arzneimittel</i> “ ...	218
	<i>Klaus Gahl und Christa Müller-Goymann</i> : Bericht 10. Bioethik-Symposium.....	221
	<i>Klaus Gahl</i> : Schlusswort zum 10. Bioethik-Symposium.....	229
15., 16., 18., 19.06.2014	Hörsaal des Instituts für Pflanzenbiologie der TU-Braunschweig, Humboldtstraße 1 „ <i>Pflanzen ernähren die Welt</i> “ Gemeinsame Vorstragsveranstaltung von BWG, JKI und TU Braunschweig anlässlich der Woche der Botanischen Gärten 2014.....	230
	<i>Dietmar Brandes</i> : Pflanzen ernähren die Welt: Die biologischen, historischen und wirtschaftlichen Grundlagen.....	231
	<i>Frank Ordon</i> : Moderne Pflanzenzüchtung – Grundstein der Ernährungssicherung.....	236
	<i>Jens Pistorius</i> : Biene-Bestäubung-Pflanzen: Zur Rolle der Honigbiene in der Pflanzenerzeugung	
25.09., 09., 16., 23.10.2014	phæno Wolfsburg Vortragsreihe „ <i>Luft</i> “	239
Weitere Veranstaltungen.....		242
	26th German Conference on Weed Biology and Weed Control Vortragsveranstaltung: Annette Patzel: Oman Botanic Garden, Muscat [ausführliche Fassung: Siehe Seite 282] Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen	
ABHANDLUNGEN		
	<i>Joachim Hentze</i> : Nachhaltigkeitscontrolling als integrierter Bestandteil des Managementkonzepts.....	244
	<i>Ulrich Menzel</i> : Zur Geschichte der „Villa Löbbbecke“ am Fallersleber-Tor-Wall 16.....	276
	<i>Annette Patzelt</i> : Synopsis of the Flora and Vegetation of Oman, with Special Emphasis on Patterns of Plant Endemism.....	282

MITTEILUNGEN

Veröffentlichungen..... 318

Geschäftliche Mitteilungen..... 318

PERSONALIA

Todesfälle..... 319

Nachrufe..... 320

Zuwahlen..... 324

Die Organe der BWG 1943 – 2014

Konstituierende Sitzung: 30.11.1943

Eröffnungssitzung: 09.12.1943 [siehe Abhandlungen der BWG **21** (1969), 8]

Erste Sitzung: 1944 [siehe Abhandlungen der BWG **1** (1949), 169]

Zweite Sitzung: 1953 [siehe Abhandlungen der BWG **5** (1953), 212]

Dritte Sitzung: 1971 [siehe Abhandlungen der BWG **22** (1970), 291]

Vierte Sitzung: 1993 [siehe Jahrbuch der BWG (2007), 10]

Fünfte Sitzung: 2008 [siehe Jahrbuch der BWG (2008), 10 ff.]

Sechste Sitzung: 2010 [www.bwg-nds.de/über-die-bwg/satzung]

Präsidenten

1943–45: Fritz Gerstenberg; 1946–48: Gustav Gassner; 1949–50: Hans Herloff Inhoffen; 1951–53: Eduard Justi; 1954–56: Leo Pungs; 1957–59: Max Kohler; 1960–62: Hans Kroepelin; 1963–66: Paul Koeßler; 1967–70: Hermann Blenk; 1971–77: Karl Gerke; 1978–80: Herbert Wilhelm; 1981–86: Karl Heinrich Olsen; 1987–92: Gerhard Oberbeck; 1993–95: Werner Leonhard; 1996–99: Norbert Kamp; 2000–13: Joachim Klein; seit 2014: Dietmar Brandes

Generalsekretäre

1943–45: Ernst August Roloff; 1946–48: Wilhelm Gehlhoff; 1949–50: Eduard Justi; 1951–53: Hermann Schlichting; 1954–1959: Hans Herloff Inhoffen; 1960–61: Hellmut Bodemüller; 1962–64: Hans Joachim Bogen; 1965–69: Hermann Schaefer; 1970–71: Karl Gerke; 1972–73: Arnold Beuermann; 1974–80: Karl Heinrich Olsen; 1981–82: Ulrich Wannagat; 1983–85: Hans Joachim Kanold; 1986–88: Egon Richter; 1989–91: Harmen Thies; 1992–94: Ulrich Wannagat; 1995–97: Helmut Braß; 1998–2000: Elmar Steck; 2001–2010: Claus-Artur Scheier

Vizepräsidentinnen/Vizepräsidenten

2011–2012: Claus-Artur Scheier; seit 2011: Klaus P.G. Gahl; 2013: Dietmar Brandes; seit 2014: Christel Charlotte Müller-Goymann

Vorsitzende der Klassen

BIS 1954 SEKRETÄRE DER ABTEILUNGEN

Mathematik und Naturwissenschaften

1943–47: G. Cario; 1948–50: P. Dorn; 1951–53: H.H. Inhoffen; 1954–57: P. Dorn; 1958–60: H. Kroepelin; 1961: H. Poser; 1962–64: H. Hartmann; 1965–66: H. Schumann; 1967–72: M. Grützmaker; 1973–76: U. Wannagat; 1977–80: H.R. Müller; 1981–84: E. Richter; 1985–89: O. Rosenbach; 1990–91: St. Schottlaender; 1992–94: H.-J. Kowalsky; 1995–97: H. Tietz; 1998–1999: K. Schügerl; 2000: G. Müller; 2001–2003: J. Heidberg; 2004–2006: E. Winterfeldt; 2007–2012: Th. Hartmann; seit 2013: H.-D. Ehrich

Ingenieurwissenschaften

1943–48: E. Marx; 1949–53: L. Pungs; 1954–56: O. Flachsbart; 1957–60: W. Hofmann; 1961–64: H. Hausen; 1965–70: G. Wassermann; 1971–77: H.W. Hennicke; 1978–79: Th. Rummel; 1980–83: M. Mitschke; 1984–93: R. Jeschar; 1994–96: H.-G. Unger; 1997–2000: E. Stein; 2001–2005: M. Lindmayer; 2006–2008: P. Wriggers; 2009–2011: U. Peil; seit 2012: J. Müller

Bauwissenschaften

1943–44: E. Herzig; 1944–48: J. Petersen; 1949–53: Th. Kristen; 1954–62: F. Zimmermann; 1963–67: A. Pflüger; 1968–69: J. Göderitz; 1970–73: W. Wortmann; 1974: K.H. Olsen; 1975–78: H. Duddeck; 1979–83: W. Höpcke; 1984–93: J. Herrenberger; seit 1994: vereinigt mit der Klasse für Ingenieurwissenschaften

Geisteswissenschaften

1943–48: W. Jesse; 1949–53: W. Gehlhoff; 1954–57 (Obmann): W. Jesse; 1958–61 (Obmann): H. Glockner; 1962–68 (Obmann): H. Heffter; 1969–78: A. Beuermann; 1979–87: M. Gosebruch; 1988–89: H. Boeder; 1990–91: G. Maurach; 1992–1998: C.-A. Scheier; 1999: G. Maurach; 2000: C.-A. Scheier; 2001–2010: H.-J. Behr; seit 2011: K. Alpers

Begrüßung, Rückblick und Übergabe des Präsidentenamtes an Dietmar Brandes

JOACHIM KLEIN

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft 2000–2014

Meine sehr verehrten Damen und Herren,
verehrte Gäste,

zum Neujahrspenium und zum anschließenden Neujahrsempfang der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft darf ich Sie alle sehr herzlich begrüßen. Ich freue mich, dass Sie so zahlreich als Mitglieder, Gäste und Freunde der BWG unserer Einladung gefolgt sind. Dies gibt mir die Gelegenheit, Ihnen am Beginn des Jahres für seinen weiteren Verlauf die besten Wünsche für Gesundheit, Glück und Erfolg mit auf den Weg zu geben.

Für mich persönlich, und ich denke auch für die BWG, hat dieser Neujahrstermin eine besondere Bedeutung: Er markiert einen Wechsel im Amt des Präsidenten nach einem Zeitraum von 14 Jahren, entsprechend nahezu fünf unserer dreijährigen Amtsperioden. Dies ist wahrlich, auch für unsere Institution, eine lange Zeit, einerseits Grundlage für eine gesunde Kontinuität, andererseits auch ein guter Spielraum für notwendige und größere Veränderungen. Wenn ich bedenke, dass wir in diesem Zeitraum etwa 80 Mitglieder durch ihren Tod verloren und etwa 100 neue Mitglieder durch Zuwahlen gewonnen haben, wird beim Blick auf eine begrenzte Gesamtzahl von 140 Mitgliedern diese Ambivalenz von Kontinuität und Wandel deutlich. Und dieser Wandel im Kreis der Mitglieder wurde ergänzt durch eine Erneuerung unserer Organisationsstruktur durch Änderung unserer Satzung sowie durch die Neugestaltung unserer Arbeitsräume im schönen BWG-Haus am Fallersleber-Tor-Wall. So kann ich in diesem praktischen Sinn meinem Nachfolger eine – wenn ich dies so salopp sagen darf – runderneuerte BWG übergeben.

Wichtiger erscheint mir jedoch die Entwicklung, welche die BWG in diesen Jahren in ihrem Selbstverständnis und ihrem Selbstbewusstsein als regionale wissenschaftliche Akademie erfahren hat: Dabei werfe ich meinen Blick auf die Rolle der BWG in der Wissenschaft, auf die Position und Aktivität im Kreise der regionalen und nationalen wissenschaftlichen Institutionen und die Präsenz der BWG in der Öffentlichkeit und der Gesellschaft.. Beispielhaft für diese drei Aspekte nenne ich die inzwischen enge Kooperation mit der Göttinger Akademie der Wissenschaften, die führende Rolle der BWG im Aufbau der ForschungsRegion Braunschweig als Basis für den Erfolg im Wettbewerb „Stadt der Wissenschaft 2007“ sowie die inzwischen etablierte Präsenz in der Stadt mit unseren Vortragsreihen, wie der „Akademievorlesung“ im Roten Saal des Schlosses.

Der Versuchung, Sie mit einer Art Gesamtbilanz der vergangenen 14 Jahre zu überfordern, kann ich aber schnell dadurch entgehen, dass ich auf unser Projekt „1943–2013: 70 Jahre Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft“ verweise, das wir mit einer Buchpräsentation im November 2013 öffentlich abschließen konnten. Hier findet sich, auf der Basis der 56 vorangehenden Jahre bis 2000 auch ein Überblick über den Zeitraum 2000–2013.

Das Buch „1943–2013: 70 Jahre Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft“ dokumentiert aus meiner Sicht – und damit kann ich meinen Bericht abschließen – im Wesentlichen zweierlei: Die BWG verdankt ihre Gründung trotz politisch schwieriger Zeiten eindeutig einem ideologiefreien, wissenschaftlichen Konzept, und dies ist bis heute die Basis für eine zukunftsorientierte und weltoffene Arbeit aller Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in unserer Akademie.

Ein Tag des Abschieds ist nun auch ein Tag des Dankes, und dabei bewege ich mich gewissermaßen von außen nach innen:

Danken möchte ich zu allererst dem Land Niedersachsen und der Stadt Braunschweig, die durch ihre finanziellen und organisatorischen Zuwendungen die Grundlage unserer Arbeit gewährleisten.

Danken möchte ich allen Kolleginnen und Kollegen, die als Repräsentanten von Akademien, Hochschulen, Forschungsinstituten und forschenden Museen die vielfältigen und erfolgreichen Kooperationen ermöglicht und mit uns gemeinsam gestaltet haben.

Danken möchte ich allen Kolleginnen und Kollegen, die als Mitglieder – und viele auch als Funktionsträger – dazu beigetragen haben, die Idee der BWG mit Leben zu erfüllen, und dies mit einer Intensität und Begeisterung, welche den Präsidenten und das Präsidium immer wieder zu neuen Anstrengungen herausforderte. Dieses Erlebnis der gemeinsamen Arbeit war stets eine Bereicherung und wird ein wichtiger Kern meiner Erinnerungen sein.

Danken möchte ich persönlich den Damen in der Geschäftsstelle der BWG: Frau Haubold, Frau Petersen und jüngst Frau Mumcu haben mir nicht nur die Sicherheit gegeben, dass sie die organisatorische und administrative Arbeit der BWG perfekt beherrschen, sondern dass sie auch mit Herzblut und Engagement der BWG verbunden waren. Was kann ein Präsident mehr verlangen ?

Danken möchte ich abschließend – nun ganz persönlich werdend – meiner lieben Frau:

Über all die Jahre hat sie das Projekt „BWG“ auch zu ihrem Projekt gemacht, sich mit Ideen und kluger Repräsentanz für die Idee und den Erfolg der BWG engagiert – und dem in dieser Hinsicht manchmal etwas zurückhaltenden Präsidenten mit ihrer sozialen Kompetenz hilfreich zur Seite gestanden.

Damit ist nun die Stunde gekommen, dass wir uns der in der Einladung versprochenen Amtsübergabe nähern. Dazu darf ich berichten, dass die Mitglieder der BWG in ihrer Wahlsitzung am 13. Dezember 2013 Herrn Professor Dr. rer. nat. Dietmar Brandes in großer Einmütigkeit zu ihrem Präsidenten für die Amtsperiode 2014–2016 gewählt haben.

Herr Prof. Brandes hat an unserer TU Braunschweig Chemie und Botanik studiert und im ersten Fach auch promoviert. Parallel dazu hat er sich aber weiterhin auch für die Welt der Botanik interessiert und dort wissenschaftlich Fuß gefasst, was für seine spätere Laufbahn prägend wirkte. Hauptberuflich entschied er sich aber nicht für die Forschung selbst, sondern für den Dienst an der Forschung, und zwar im Bibliothekswesen. Als Ergebnis dieses Engagements wurde ihm dann im Jahr 1987 die Leitung der Universitätsbibliothek an der TU Braunschweig als Ltd. Bibliotheksdirektor übertragen, eine Funktion er die bis 2013 mit Umsicht und Erfolg wahrnahm.

Es ist aber bemerkenswert, dass Herr Brandes sein Engagement in der aktiven Forschung – trotz aller administrativen Belastung – nicht ganz zu den Akten legte. Was folgte, war eine wissenschaftliche Parallel-Laufbahn im Fachgebiet Geobotanik, auf dem er sich stetig forschend und lehrend über die Habilitation für das Fach Botanik (1986) eine eigene Arbeitsgruppe aufbauen und zu einem international beachteten Experten entwickeln konnte, was über 300 Veröffentlichungen aus seiner Gruppe belegen. Die BWG gewinnt daher mit Herrn Prof. Brandes einen Präsidenten, der durch das Bibliothekswesen interdisziplinär geschult und durch die Geobotanik als Wissenschaftler ausgewiesen und weit vernetzt ist. Seit 1996 ist Herr Brandes auch als Mitglied in der BWG engagiert, und mit einem Amtsjahr 2013 als Vizepräsident hat er sich auf das Leitungsamt bestens vorbereiten können.

Indem ich mich nun von ihnen allen mit einem herzlichen Dank als Präsident verabschiede, darf ich Ihnen, lieber Herr Kollege Brandes, nun auch in aller Form dieses Amt übergeben – und dies dadurch dokumentieren, dass ich Ihnen unsere Amtskette überreiche. Ich habe sie stets gern getragen – und ich wünsche Ihnen, dass die Kette auch Sie auf ihrem Weg als BWG-Präsident immer mit Erfolg und Glück begleiten möge.

Dankworte an Joachim Klein zum Neujahrsempfang 2014

CLAUS-ARTUR SCHEIER

Sehr geehrter Herr Präsident, meine sehr geehrten Damen und Herren!

Anno 2010 hatte Joachim Klein noch eine dreijährige Amtszeit vor sich, als aus dem neunzehnten und letzten Generalsekretär der BWG kraft Satzungsänderung einer von zwei Vizepräsidenten wurde, nicht ohne ein gewisses Bedauern, daß dieser Wissenschaftlichen Gesellschaft damit ein ehrwürdiger Titel verloren ging. Die Zeiten ändern sich. Der Philosoph Friedrich Wilhelm Joseph Schelling war seit 1807 Generalsekretär der jungen Bayerischen Akademie der Wissenschaften gewesen, aber zuletzt hatte der Präsident der BWG seine Gäste diskret darauf hinweisen müssen, daß der anwesende Generalsekretär überhaupt ein Kollege war.

Die Zeiten ändern sich – wie eh und je. Es kommt nur darauf an, die *spezifische* Änderung wahrzunehmen, denn sie ist unsre eigene. Erlauben Sie mir daher, dem heute feierlich entpflichteten Präsidenten von 2000 bis 2013 (bei weitem die längste Amtszeit seit der Gründung 1943), Joachim Klein jetzt und hier ein Wort des Dankes zu sagen als sein vormaliger Generalsekretär und gewiß auch im Namen der Mitglieder und Freunde der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Alles kann der Edle leisten,
Der versteht und rasch ergreift

singen die Elfen am Anfang des zweiten *Faust*, und ich möchte dem Chor das Motto des *West-östlichen Divans* nachschicken:

Zwanzig Jahre ließ ich gehn
Und genoß was mir beschieden;
Eine Reihe völlig schön
Wie die Zeit der Barmekiden.

Goethe spielt nicht an auf die historischen Barmakiden, nicht einmal auf die Geschichte vom sechsten Bruder des Barbiers in *1001 Nacht*. Die zwanzig Jahre im Gedicht öffnen einen Zeitspielraum für den Edlen, „der versteht und rasch ergreift“, und die Zeit der Barmekiden gibt der Epoche den Goldgrund. Die Zeit ist die unsre, wir erst sind die leibhaftige Zeit, sie wird in uns *prägnant*, nämlich „trächtig“ – produktiv. Mancher ist ein lebendiges Zeugnis dafür, wir sprechen dann gern von einer „herausragenden Persönlichkeit“, und eine solche Persönlichkeit ist Achim Klein, ob mit oder ohne Amt.

Ich habe hier und jetzt nur von seiner Amtszeit zu sprechen, muß aber auch nicht wiederholen, was in *70 Jahre Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft*

nachzulesen ist im abschließenden Gespräch von Oliver Matuschek mit Joachim Klein unter dem Titel „Die BWG seit dem Jahr 2000“. Das Kapitel davor heißt „Der Weg in die Öffentlichkeit“. Karl Heinrich Olsen, Generalsekretär 1974–1980, Präsident 1981–1986, hatte diesen Weg ebenso entschieden wie bedachtsam angetreten. In seinem Sinn wurden auch die bisherigen und eher internen *Sitzungsberichte und Mitteilungen* abgelöst durch das offizielle *Jahrbuch*, das erstmals 1983 erschien, herausgegeben vom unvergessenen Hans Joachim Kanold. In der Begrüßung zur Feierlichen Jahresversammlung blickte der Präsident damals auf „ein respektables Resultat unserer wissenschaftlichen Bemühungen“ zurück und fuhr fort:

Aber natürlich möchte die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft als eine niedersächsische Einrichtung ganz besonders auch ihrem Lande und der Stadt, deren Namen sie trägt, nützlich sein. Gerade dieses ist indessen leichter gesagt als getan, zum einen wegen der gegenwärtig und wahrscheinlich auch künftig recht schwierigen Situation Niedersachsens, und zum anderen wegen der ziemlich engen Begrenztheit unmittelbarer Wirkungsmöglichkeiten, die wissenschaftlichen Institutionen zur Verfügung stehen. (Jb. 1983, S. 77)

Es gelang Olsen, die BWG als integralen Bestandteil der Wissenschaftslandschaft Niedersachsens zu etablieren und ins Licht des an den Fortschritten von Wissenschaft und Technik auch regional interessierten öffentlichen Bewußtseins zu rücken. 1992 ist er dafür mit der Bürgermedaille der Stadt Braunschweig ausgezeichnet worden. Olsens Nachfolger Gerhard Oberbeck, Werner Leonhard und Norbert Kamp sind diesen Weg zielstrebig und mit Erfolg weitergegangen. Gleichwohl ist es erst die Präsidentschaft von Joachim Klein, die mehr spürbar werden ließ als eine sich verstärkende, mit der rasanten globalen Veränderung des Verhältnisses von Wissenschaft und Lebenswelt kongruente *Tendenz*, nämlich nicht weniger als einen historischen *Ruck*. Der Phönix der Geschichte war der postmodernen Asche der Industrialisierung entstiegen und blickte verjüngt in die Welt als *mediale Moderne*.

Seit 1981 findet die Feierliche Jahresversammlung in der Dornse des Braunschweiger Altstadtrathauses statt. Und feierlich war in den achtziger Jahren bereits der Einzug der BWG-Mitglieder. Hinter ihrem Präsidenten gereiht pflegten sie durch den Mittelgang des schon vollbesetzten Saals zu schreiten, um vorn neben dem Rednerpult Platz zu nehmen in geschlossener Gruppe. Dies distinguierende Ritual wurde erst, wenn ich nicht irre, 1993 von Werner Leonhard abgeschafft und damit ein Rest mönchischen Lebens der industriellen Moderne, deren wissenschaftliches Ethos von Friedrich Nietzsche im späten 19. Jahrhundert auf den Namen des „asketischen Ideals“ getauft worden war. Dessen gesellschaftliche Signatur war die Differenz von wissenschaftlicher Welt und Lebenswelt, wie sie auch der „reinen“ Phänomenologie Edmund Husserls zugrunde lag, aber obsolet wurde in unsrer medialen Moderne. Heute durchdringen beide „Welten“ einander

selbstverständlicher sogar als C.P. Snows „two cultures“ in der Globalität des selbstreferentiellen Kommunikationssystems.

Der geschichtliche Unterschied läßt sich verkürzen auf den von Repräsentation und Präsenz. Unter ihrem 1908 geborenen Präsidenten Olsen fungierte die BWG noch als *repräsentative* Instanz der wissenschaftlichen Welt, unter dem siebenundzwanzig Jahre jüngeren Präsidenten Klein ist sie *présent* im institutionellen Ensemble der Forschungsregion Niedersachsen. Davon legen die insgesamt vierzehn „Ansprachen und Berichte“, seit 2004 „Begrüßungen und Berichte“ des Präsidenten anlässlich der Festversammlungen im Altstadtrathaus Rechenschaft ab. Zudem erscheint im *Jahrbuch* seit 2002 die Rubrik „Hinweise auf Veranstaltungen der BWG“, Veranstaltungen, die nicht zu deren Kernbestand gehören wie die Plenar- und Klassensitzungen in Braunschweig, Hannover und Clausthal-Zellerfeld oder die jährliche Verleihung der Gaußmedaille. Vielmehr hat die BWG einen ganzen Teppich von Symposien, Vorträgen und Vortragsreihen ausgerollt im Braunschweiger Haus der Wissenschaft, im Schloß, in der Industrie- und Handelskammer, im Landesmuseum, im Institut für Regionalgeschichte, im Klosterforum und in der Klosterkirche Riddagshausen, aber auch in den Universitäten von Göttingen und Hannover oder im Wolfsburger Kunstmuseum und phaeno usw.: Was Karl Heinrich Olsen sich 1983 vorsichtig erhofft hatte als *Verzahnung* des BWG-Rädchens mit den andern wissenschaftlichen Rädern in Stadt und Land, das hat Joachim Klein ins Werk gesetzt als *Vernetzung* – auch, und als ein von der BWG lang erstrebter Erfolg, bundesweit als Vernetzung mit den Akademien der Länder.

Anlaß genug für die BWG, sich einmal im Jahr nicht nur öffentlich-feierlich zu präsentieren, sondern, sozusagen, familiär zu feiern. Es war ein glücklicher Gedanke der verehrten Gattin des Präsidenten, Juliane Klein, die ich jetzt noch einmal mit *ma chère Présidente* ansprechen darf, den ernsten Fallersleber-Tor-Wall 16 im heitern Fackelschein sommerlicher Terrassenabende schimmern zu lassen, Terrassenabende, die, selber eine „Reihe völlig schön“, seit 2006 mit pfiffigen Motti aufwarteten, so 2007 – Braunschweig war Stadt der Wissenschaft geworden – „Alles Tomate“ oder 2011 „Eine fruchtbringende Gesellschaft“.

Das war nicht nur jene 1617 in Weimar gegründete erste deutsche Sprachakademie, sondern, in unsern Zeiten, die BWG von Anfang an. Daß sie es *ist*, dazu hat Joachim Klein im prägnanten Sinn des Wortes maßgeblich beigetragen. 1518 hatte Ulrich von Hutten an Willibald Pirckheimer geschrieben:

Vigent studia, florent ingenia

– die Forschung ist nachhaltig, ihr Geist steht in Blüte. Ich danke Dir, lieber Achim, und Dir, liebe Juliane, für eine Barmekidenzeit erfüllender Freundschaft und einer für mich an Erfahrung und Lernen unschätzbar reichen Zusammenarbeit, und ich danke auch im Namen aller Mitglieder und Freunde der BWG für eine denkwürdige Periode fruchtbarer Metamorphose. Sollte Joachim Klein, was

ich aber nicht glaube, dem raschen Gedanken die Tat folgen lassen, in Zukunft mehr Golf zu spielen, dann muß sich sein Club wohl auf die eine oder andre Satzungsänderung einstellen.

Hutten hatte auch geschrieben:

Juvat vivere, etsi quiescere nondum juvat

– es sei schön zu leben, aber es wäre nicht recht, sich zufrieden zu geben. Sie, sehr geehrter Herr Präsident, lieber Herr Brandes, wissen als Vegetationsökologe und Pflanzensoziologe, was *florere* heißt, und als langjähriger Leiter der Bibliothek unsrer TU, was es auf sich hat mit den *studia*. Wir alle freuen uns für Sie, mit Ihnen und dank Ihnen auf die der BWG bevorstehenden Jahre, in denen, wie wir Sie kennen, von *quiescere* keine Rede sein wird.

Und davon, daß *vigent studia*, wird uns jetzt Kollege Sonar die Probe aufs Exempel geben – wir sind gespannt, wie es ihm, dem Technomathematiker, gelingen mag, aus einer Apfelsine zwei zu machen.

Plenarsitzungen

Wie man aus einer Orange zwei macht

Das Banach-Tarski-Paradoxon

THOMAS SONAR

Institut Computational Mathematics, Technische Universität Braunschweig,
Pockelsstraße 14, D-38106 Braunschweig

Einführung

Den meisten Menschen ist es nie aufgefallen; wenn sie zufällig davon hören, scheint es nicht interessant, es taucht im praktischen Leben nicht auf, und außerdem ist es Mathematik – also für die meisten sowieso Unfug: wir haben ein Problem bei der Bestimmung von Volumina von Körpern! Gemeint ist das **Inhaltsproblem**. Wenn wir das **Volumen** V von Dingen in dem uns umgebenden dreidimensionalen Raum messen wollen, dann erwarten wir doch mindestens die folgenden drei Dinge:

1. Wenn wir zwei Körper A und B betrachten, die voneinander verschieden sind, dann soll für das Volumen der Vereinigung $A \cup B$ von A und B , also der beiden Körper zusammengenommen

$$V(A \cup B) = V(A) + V(B)$$

gelten.

2. Wenn wir einen Körper A irgendwie durch Drehung oder Verschiebung bewegen, dann soll sich unser Volumen nicht ändern. Ist also β eine solche Bewegung, dann soll

$$V(\beta(A)) = V(A)$$

gelten.

3. Für den Einheitswürfel $[0,1] \times [0,1] \times [0,1]$ soll das Volumen genau Eins sein, d.h. es soll

$$V([0,1] \times [0,1] \times [0,1]) = 1$$

gelten.

* Der Vortrag wurde am 11.01.2014 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

Das scheint doch nicht zu viel verlangt, oder? Fassen wir die Volumenberechnung etwas mathematischer auf. Wir sprechen nicht von Körpern im uns umgebenden dreidimensionalen Raum, sondern von **Mengen** im n -dimensionalen Raum, dem \mathbb{R}^n . Wir sprechen dann auch nicht vom Volumen, sondern vom **Inhalt**. Damit können wir das **Inhaltsproblem**¹ wie folgt beschreiben:

Inhaltsproblem. Wir suchen auf allen nur möglichen Teilmengen des \mathbb{R}^n eine Inhaltsfunktion V mit den folgenden drei Eigenschaften:

1. *Endliche Additivität:* Für alle $A, B \in \mathbb{R}^n$ mit $A \cap B = \emptyset$ gilt

$$V(A \cup B) = V(A) + V(B).$$

2. *Bewegungsinvarianz:* Für jede Bewegung β und für alle $A \in \mathbb{R}^n$ gilt

$$V(\beta(A)) = V(A).$$

3. *Normierung:* $V([0,1]^n) = 1$.

Der Fall $n=3$ führt uns direkt wieder zurück auf unsere Anforderungen an die Volumenfunktion im dreidimensionalen Raum; wir haben also die Volumenfunktion nur verallgemeinert. Es scheint nun sehr seltsam zu sein, mindestens aber



Abb 1. Felix Hausdorff.

¹ J. Elstrodt: Maß- und Integrationstheorie. Springer Verlag, 6te Auflage 2009.

merkwürdig, dass das Inhaltsproblem in Räumen der Dimension 3 oder größer keine Lösung besitzt, d.h. wir finden so eine Inhaltsfunktion V einfach nicht! Dieses negative Ergebnis hat der große Felix Hausdorff (8.11.1868–26.1.1942) im Jahr 1914 bewiesen².

Aber funktioniert es denn im Ein- oder Zweidimensionalen? Ja, aber nicht gut, denn im Jahr 1923 konnte der nicht weniger große Stefan Banach (30.3.1892–31.8.1945) beweisen, dass das Inhaltsproblem für $n=1$ und $n=2$ zwar lösbar, aber nicht eindeutig lösbar ist! Wir finden also nicht nur genau eine Volumenfunktion, sondern mehrere verschiedene, und das ist doch recht unangenehm.



Abb 2. Stefan Banach.

Hier gibt es also offenbar ein Problem! Worin liegt es? Offenbar können wir nicht „alle nur möglichen“ Teilmengen des \mathbb{R}^n messen und diese wichtige Erkenntnis liegt der modernen Maßtheorie zu Grunde. Es gibt also offenbar Mengen im dreidimensionalen Raum, denen wir kein Volumen zuordnen können! Wie solche Mengen aussehen, wollen Sie – falls Sie nicht Mathematiker sind – gar nicht wissen, denn solche Mengen sind wirklich Monstrositäten. Läßt man solche Monstrositäten jedoch zu, dann kommt man zu ganz verwunderlichen Aussagen, zum Beispiel

² F. Hausdorff: Bemerkungen über den Inhalt von Punktmengen. (Math. Annalen 75, 428–433, 1914).

zum **Banach-Tarski-Paradoxon**³. Alfred Tarski (14.1.1901–26.10.1983) war ein berühmter Logiker und Mathematiker. Nach diesem Paradoxon ist es möglich, eine Orange in endlich viele Teile zu zerschneiden, diese Teile zu drehen und zu verschieben, und danach zu zwei Orangen zusammenzusetzen!



Abb 3. Alfred Tarski.

Mächtigkeiten

Abzählbar und überabzählbar

Um dem Banach-Tarski-Paradoxon näher zu kommen, müssen wir uns vorher ein wenig mit dem Unendlichen beschäftigen. Keine Angst, das ist ganz einfach. Wir fragen uns also, wie viele natürliche Zahlen 1, 2, 3, ... es gibt. Da wir keine direkte Anzahl angeben können, spricht der Mathematiker auch nicht von „wie viele“, sondern von der **Mächtigkeit** der natürlichen Zahlen. Da wir immer weiter zählen können (jedenfalls im Prinzip), ist die Mächtigkeit sicher unendlich; wir nennen diese Unendlichkeit **abzählbar**, da wir ja immer weiter zählen können. Jede andere Menge, die wir mit Hilfe der natürlichen Zahlen eindeutig und vollständig nummerieren, also abzählen, können, heißt ebenfalls abzählbar. Es ist eine alte Einsicht, die Galileo Galilei schon 1638 beschrieben hat, dass die geraden Zahlen abzählbar sind. Das sieht man an der Nummerierung

³ S. Banach, A. Tarski: Sur la decomposition des ensembles de points en parties respectivement congruentes. (Fundamenta Mathematicae 6, 244–277, 1924.)

1	2	3	4	5	6	7	8	...
↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	...
2	4	6	8	10	12	14	16	...

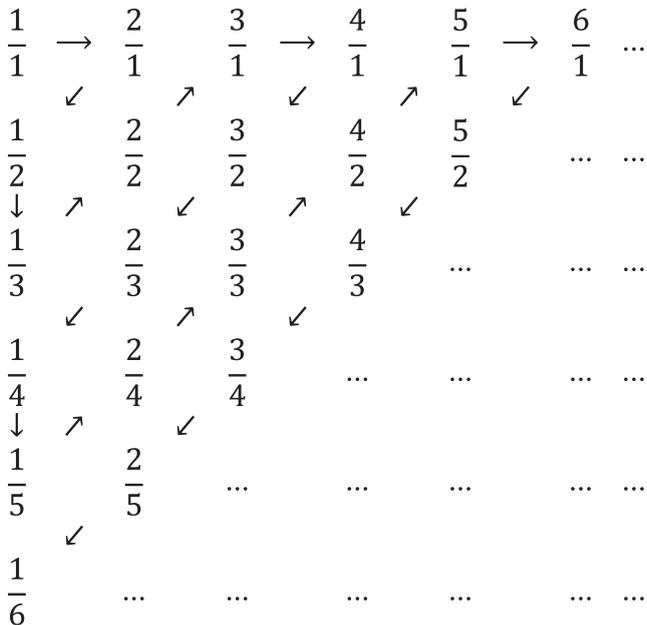
wobei der Doppelpfeil andeuten soll, dass wir eine eindeutige Zuordnung aller geraden Zahlen zu den natürlichen Zahlen finden können.

Das geht natürlich auch genau so gut mit den ungeraden Zahlen, so dass alle natürlichen Zahlen, die geraden natürlichen Zahlen und die ungeraden natürlichen Zahlen **dieselbe Mächtigkeit** besitzen⁴.

Wir betrachten nun die Menge aller Brüche, die rationalen Zahlen. Ganz offensichtlich gibt es sehr viel mehr rationale Zahlen als natürliche! So liegen schon zwischen 1 und 2 unendlich viele rationale Zahlen ($1+1/2$, $1+1/3$, $1+1/4$, ...) und wir dürfen hoffen, hier nun eine größere Mächtigkeit als die der natürlichen Zahlen zu finden. Aber weit gefehlt! Auch die rationalen Zahlen sind abzählbar, und das sieht man wie folgt. Schreibe zeilenweise alle Brüche hin. In der ersten Zeile stehen alle Brüche mit Nenner 1, in der zweiten Zeile alle mit Nenner 2, usw. Dann geben wir der ersten Zahl oben links in diesem Tableau die Nummer 1, das ist die rationale Zahl $1/1$. Nun gehen wir nach rechts zur Zahl $2/1$; sie bekommt die Nummer 2. Gehen wir diagonal nach links eine Zeile tiefer, finden wir die Zahl $1/2$, die die Nummer 3 erhält. Nun eine Etage tiefer zur Zahl $1/3$, die die Nummer 4 bekommt. Schräg nach rechts hoch zur Zahl $2/2$, die keine Nummer bekommt, weil wir die 1 schon nummeriert haben. Noch eine Zeile nach rechts oben zur Zahl $3/1$, die die Nummer 5 erhält, usw. So laufen wir in einem typischen Muster durch unser Tableau und können jeder rationalen Zahl eine eindeutig bestimmte Nummer geben. Damit ist aber gezeigt, dass die (positiven) rationalen Zahlen abzählbar sind. Es ist nun leicht zu sehen, dass wir auch jedesmal die jeweils negative rationale Zahl hätten einschieben können – immer noch hätten wir für alle Brüche eine eindeutige Nummer gehabt. Die rationalen Zahlen sind also tatsächlich abzählbar, d.h. **die Brüche und die natürlichen Zahlen sind gleichmächtig**.

Nun beschleicht uns vielleicht der Verdacht, dass es nur abzählbar unendliche Mengen gibt, aber dem ist nicht so. Betrachten wir nämlich die reellen Zahlen, d.h. alle rationalen Zahlen (Brüche) und die irrationalen Zahlen, die sich nicht als Brüche darstellen lassen, z.B. $\sqrt{2}$, π , e , usw., dann haben wir eine nicht abzählbare Menge gefunden! Es gibt also „viel, viel mehr“ irrationale Zahlen als rationale Zahlen! Wie sieht man das? Mit einem Widerspruchsbeweis. Wir nehmen an, dass

⁴ O. Dieser: Einführung in die Mengenlehre. Springer Verlag, 3te Auflage 2010.



die reellen Zahlen doch abzählbar seien und dann konstruieren wir einen Widerspruch. Dazu reicht es, wenn wir uns die reellen Zahlen zwischen 0 und 1 ansehen. Wir nehmen also an, wir könnten die reellen Zahlen zwischen 0 und 1 abzählen. Dann könnten wir eine Nummerierung finden, die am Anfang vielleicht so aussieht:

Nummer	Reelle Zahl
1	0.0000000000...
2	0.1976354235...
3	0.4387698675...
4	0.7679456579...
5	0.5000000000...
...	...

Nun konstruieren wir eine neue reelle Zahl aus dieser Abzählung. Sie soll ebenfalls zwischen 0 und 1 liegen, daher beginnt die neue Zahl mit $z=0.$ Die erste Nachkommastelle der neuen Zahl soll nun die erste Nachkommastelle der Zahl mit der Nummer 1 aus unserer Abzählung sein, wobei wir 1 addieren. In unserem Fall ergibt sich $z = 0.1$..., weil die erste Nachkommastelle der ersten Zahl

in der Liste gerade eine 0 war. Nun zur zweiten Nachkommastelle, die wir aus der zweiten Nachkommastelle der Zahl Nummer 2 gewinnen, indem wir wieder 1 addieren. Die zweite Nachkommastelle der zweiten Zahl ist eine 9, dazu eine 1 addiert soll 0 ergeben. Wir haben also jetzt z bis auf zwei Nachkommastellen bestimmt: $z = 0.10 \dots$. Nun ist das Rezept klar: Die dritte Nachkommastelle von z ist die dritte Nachkommastelle der dritten Zahl und dazu 1 addiert, und so fort. Wir erhalten so eine Zahl

$$z = 0.10901\dots,$$

und diese Zahl kann nicht in unserer Liste sein! Denn z ist sicher nicht die erste Zahl, da sie sich von ihr (mindestens) in der ersten Nachkommastelle unterscheidet. Unser z kann auch nicht die zweite Zahl sein, da sie sich (mindestens) in der zweiten Nachkommastelle unterscheidet, und so weiter. Unter der Annahme, wir könnten alle reellen Zahlen zwischen 0 und 1 abzählen haben wir eine neue reelle Zahl zwischen 0 und 1 gewonnen, die keine Nummer bekommen hat! Damit haben wir einen Widerspruch zur Annahme gefunden und wir müssen festhalten: **Die reellen Zahlen sind von überabzählbar unendlicher Mächtigkeit.**

Verschieben und Stopfen von Löchern

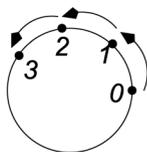
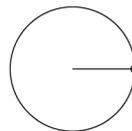
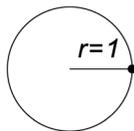
Mit dem Begriff des Unendlichen sind ein paar ganz erstaunliche Tricks⁵ möglich. Betrachten wir ein nach dem großen David Hilbert (23.1.1862-14.2.1943) benanntes Hotel. Dieses Hotel hat abzählbar unendlich viele Zimmer mit den Zimmernummern 1, 2, 3, 4, 5, Die Saison läuft gut, denn alle Zimmer sind belegt. Da kommt ein neuer Gast, aber Hilbert kann ihn problemlos aufnehmen! Das macht er mit Hilfe des Tricks **Verschieben ins Unendliche**: Der Gast in Zimmer 1 zieht um in Zimmer 2. Der Gast aus Zimmer 2 muss jetzt ins Zimmer 3, der aus Zimmer 3 ins Zimmer 4, und so weiter. Damit sind weiterhin alle Gäste untergebracht, aber Zimmer 1 ist frei für den neuen Gast!

Nun kommt ein Reisebus mit abzählbar unendlich vielen neuen Gästen. Auch hier hat Hilbert keine Probleme, alle diese neuen Gäste aufzunehmen, ohne die alten Gäste rauszuwerfen! Wieder ist der Trick **Verschiebung ins Unendliche**. Der Gast aus Zimmer Nummer n zieht in das Zimmer mit der Nummer $2n$. Das heißt, der Gast aus Zimmer 1 zieht ins Zimmer 2, der aus Zimmer 2 ins Zimmer 4, der Gast aus Zimmer 3 ins Zimmer 6, der aus Zimmer 4 ins Zimmer 8, und so weiter. Alle alten Gäste bewohnen nun Zimmer mit geraden Nummern, alle Zimmer mit ungeraden Nummern sind frei und können von der Busgesellschaft belegt werden!

⁵ L.M. Wapner: Aus 1 mach 2 – Wie Mathematiker Kugeln verdoppeln. Springer-Spektrum Verlag 2008.

Nun zieht der Gast aus Zimmer 7 aus. Hilbert mag es gar nicht, dass nun ein Zimmer leer steht, und so wendet er den Trick **Stopfen von Löchern** (=leeren Zimmern) **aus dem Unendlichen** an. Der Gast aus Zimmer 8 zieht ins Zimmer 7, der aus Zimmer 9 ins Zimmer 8, der aus Zimmer 10 ins Zimmer 9, und so weiter. Gast n zieht also ins Zimmer $n-1$ für alle n , die größer oder gleich 8 sind. Damit sind wieder alle Zimmer belegt und Hilbert ist glücklich.

Verschieben und Stopfen von Löchern geht natürlich mindestens genau so gut, wenn man mit überabzählbar unendlichen Mengen arbeitet. Dazu sehen wir uns einen Kreis mit Radius 1 an, bei dem wir einen Punkt ins Unendliche verschieben wollen. Der Umfang unseres Kreises ist 2π , also eine irrationale Zahl. Auf dem Kreisumfang betrachten wir einen Bogen, der genau eine Längeneinheit (z.B. 1 cm) lang sein soll. Den zu verschiebenden Punkt nennen wir Punkt 0 und schieben ihn nun auf dem Umfang um eine Längeneinheit entgegen dem Uhrzeiger. Dann landet Punkt 0 auf Punkt 1. Den alten Punkt 1 schieben wir eine Längeneinheit weiter, und er kommt auf Punkt 2 zu liegen, den wir wieder eine Längeneinheit weiter bewegen, und so weiter. Weil der Umfang des Kreises irrational ist, kommt keiner der Punkte 0, 1, 2, 3, ... jemals an die alte Stelle eines der anderen Punkte aus dieser Liste und bei Punkt 0 bleibt ein Loch. Wir haben den Punkt 0 freigemacht durch Verschiebung ins Unendliche. Man sagt, der Kreis mit Loch und der Kreis ohne Loch sind **zerlegungsgleich**, d.h. dass im Kreis mit Loch kein einziger Punkt des Kreises ohne Loch fehlt; er ist nur ins Unendliche verschoben worden.



*Drehe Punkt 0 um eins nach links: Pkt 1
Drehe Punkt 1 um eins nach links: Pkt 2
Drehe Punkt 2 um eins nach links: Pkt 3
usw.*

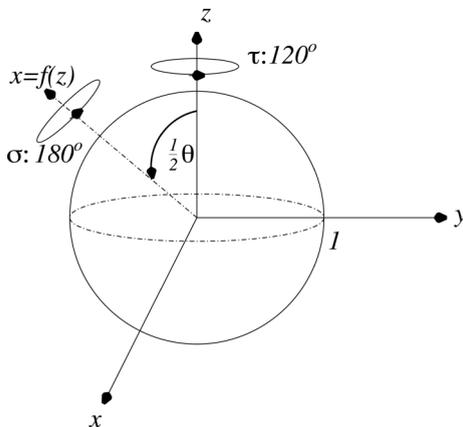
Nun kann man dieses Spiel auch mit anderen Mengen ausführen, z.B. mit einer Kreisfläche, aus der man einen ganzen Radius ins Unendliche verschiebt, oder mit einer Kugel, aus der man einen Punkt verschiebt. Natürlich können wir diese Löcher auch wieder aus dem Unendlichen stopfen, ganz so, wie in Hilberts Hotel.

Das Hausdorff-Paradoxon

Ganz grundlegend für uns ist das Hausdorff-Paradoxon, nach dem wir die Sphäre, also die Oberfläche einer Kugel, in endlich viele Teile zerlegen können, diese Teile dann durch Rotationen oder Verschiebungen bewegen, um sie letztlich zu zwei Sphären (gleichen Durchmessers!) zusammensetzen zu können. Wir brauchen dazu nur zwei Drehungen zu definieren.

Zwei Drehungen

Wir betrachten eine Sphäre vom Radius 1 im dreidimensionalen Raum.



Die Drehachsen unserer beiden Drehungen sind die z-Achse und eine Achse in der (x,z) -Ebene, die gegen die z-Achse um den Winkel $1/2 \theta$ geneigt ist. Wir dürfen $\theta = 90^\circ$ annehmen⁶ und definieren nun die Drehachse als Funktion $x = f(z)$. Unsere erste Drehung um die z-Achse heiße τ und sei eine Drehung im mathematisch positiven Sinne (d.h. gegen den Uhrzeiger) um den Winkel 120° . Die Drehung um die Achse $x = f(z)$ heiße σ und soll 180° gegen den Uhrzeiger betragen. Wenn wir zwei Mal mit τ drehen, wollen wir an Stelle von $\tau \tau$ einfach τ^2 schreiben. Wenn wir mit σ zwei Mal drehen, dann haben wir eine volle 360° -Drehung vollführt, wir sind also wieder am Startpunkt der Drehung angekommen und haben eigentlich nichts gemacht. Diese Drehung wollen wir die Identität I nennen, d.h. $\sigma^2 = I$. Ebenso ist $\tau^3 = I$, denn dreimaliges Drehen um jeweils 120° resultiert ebenfalls in

⁶ S. Wagon: The Banach-Tarski-Paradox. Cambridge University Press, 1985, S.16.

einer vollen Drehung. Unsere Drehungen können wir beliebig oft hintereinander ausführen, zum Beispiel erst σ und dann zwei Mal τ , was auf die Gesamtdrehung $\tau^2\sigma$ führt. Wir wollen verabreden, dass wir alle unseren Drehungen stets so weit wie möglich reduzieren, zum Beispiel

$$\tau^4\sigma^3\tau = \tau^3\tau\sigma^2\tau = \tau\tau\sigma\tau = \tau\sigma\tau.$$

Wie viele verschiedene Drehungen können wir überhaupt ausführen? Da wir jede Drehung mit einer Nummer versehen können, sind es offenbar abzählbar unendlich viele. Diese wollen wir in die drei Klassen G_1 , G_2 und G_3 einordnen, die wir nun konstruieren müssen. Dazu geben wir folgenden Anfang einer Tabelle vor:

G_1	G_2	G_3
I	σ, τ	τ^2

Gehen wir nun davon aus, wir hätten bereits eine Drehung, zum Beispiel $\alpha := \sigma\tau\tau^2$, in die Tabelle eingefügt. Wohin soll dann eine Drehung, wenn noch ein σ hinzukommt, also wohin kommt $\sigma\alpha$? Wohin kommt dann $\tau\alpha$ und wohin sollen wir $\tau^2\alpha$ einsortieren? Dazu geben wir den folgenden Algorithmus in Tabellenform:

	falls $\alpha \in G_1$	falls $\alpha \in G_2$	falls $\alpha \in G_3$
falls linkes Zeichen von α ein τ oder τ^2 ist	$\sigma\alpha$ nach G_2	$\sigma\alpha$ nach G_1	$\sigma\alpha$ nach G_1
falls linkes Zeichen von α ein σ ist	$\tau\alpha$ nach G_2	$\tau\alpha$ nach G_3	$\tau\alpha$ nach G_1
falls linkes Zeichen von α ein σ ist	$\tau^2\alpha$ nach G_3	$\tau^2\alpha$ nach G_1	$\tau^2\alpha$ nach G_2

Wir müssen uns jetzt fragen, ob alle Drehungen in den drei Klassen wirklich voneinander verschieden sind. Es darf offenbar keinesfalls der Fall auftreten, dass eine Kette von Drehungen durch eine weitere zur Identität wird. Hausdorff hat erkannt⁷, dass das ganz und gar von der Wahl des Winkels θ abhängt und gefolgert, dass dieser Winkel „transzendent irrational“ sein muss. Damit wäre unsere Wahl von $\theta = 90^\circ$ unzulässig, aber Osofsky hat gezeigt, dass die Vorsicht Hausdorffs unbegründet war und das alles noch mit $\theta = 90^\circ$ funktioniert⁸. Wir können also beruhigt sein: Unsere Tabelle aller abzählbar unendlich vielen Drehungen enthält wirklich nur voneinander verschiedene Drehungen.

⁷ F. Hausdorff: Bemerkungen über den Inhalt von Punktmengen. (Math. Annalen 75, 428–433, 1914).

⁸ S. Wagon: The Banach-Tarski-Paradox. Cambridge University Press, 1985, S.16.

Nun brauchen wir noch einen Satz, der sich durch einfache Überlegungen beweisen läßt.

Satz:

1. Man erhält alle Drehungen in G_2 , wenn man auf die Drehungen in G_1 noch einmal die Drehung τ anwendet.
2. Man erhält alle Drehungen in G_3 , wenn man auf die Drehungen in G_1 noch einmal die Drehung τ^2 anwendet.
3. Man erhält alle Drehungen in G_2 oder G_3 , wenn man auf die Drehungen in G_1 noch einmal die Drehung σ anwendet.

Diesen Satz können wir auch kürzer in der Form

$$\begin{aligned}\tau G_1 &= G_2, \\ \tau^2 G_1 &= G_3, \\ \sigma G_1 &= G_2 \cup G_3\end{aligned}$$

schreiben.

Beweis: Wir beweisen nur den ersten Zusammenhang; die beiden anderen kann man sich ganz analog überlegen. Wir zeigen $\tau G_1 = G_2$, indem wir $\alpha \in G_1 \Leftrightarrow \tau\alpha \in G_2$ beweisen.

Setzen wir im ersten Schritt voraus, dass das erste Zeichen ganz links von α ein σ ist. Dann gibt es in unserem Algorithmus in Tabellenform genau eine Möglichkeit für $\tau\alpha$, nämlich $\tau\alpha$ geht nach G_2 . Damit ist schon

$$\alpha \in G_1 \Rightarrow \tau\alpha \in G_2$$

gezeigt. Nun zeigen wir noch die andere Richtung, $\tau\alpha \in G_2 \Rightarrow \alpha \in G_1$. Es sei also $\tau\alpha \in G_2$ und wir müssen herausfinden, wie das nach G_2 gekommen ist. Nach unserem Algorithmus in Tabellenform gibt es dafür zwei Möglichkeiten, wenn das Zeichen ganz links in α ein σ ist, nämlich einmal $\alpha \in G_3$, dann würde $\tau^2\alpha$ nach G_2 führen, aber wir haben hier nur ein $\tau\alpha$. Also kommt nur der zweite Weg in Frage, in dem $\tau\alpha$ nach G_2 führt, wenn $\alpha \in G_1$. Damit ist $\tau\alpha \in G_2 \Rightarrow \alpha \in G_1$ gezeigt und insgesamt haben wir bewiesen: Wenn das linke Zeichen in α ein σ ist, dann gilt

$$\alpha \in G_1 \Leftrightarrow \tau\alpha \in G_2.$$

Nun müssen wir noch beweisen, dass $\tau G_1 = G_2$ ist, wenn das ganz linke Zeichen in α ein τ ist, aber das geht ganz analog und wir verzichten darauf.

Die Hausdorff'sche paradoxe Sphärenzerlegung

Nun können wir unser eigentliches Ziel angehen: Die paradoxe Zerlegung der Sphäre nach Hausdorff. Dazu überlegen wir uns, dass jede unserer Drehungen aus G_1, G_2, G_3 genau zwei Pole hat, das sind die Durchstoßpunkte der jeweiligen Drehachse durch die Sphäre. Pole haben die Eigenschaft, dass sie bei einer Drehung an der gleichen Stelle bleiben. Da es nur abzählbar unendlich viele Drehachsen gibt, gibt es also nur abzählbar unendlich viele Pole. Die Menge der Pole wollen wir P nennen, die Menge der Punkte auf der Sphäre S . Da die Menge P abzählbar unendlich ist, die Menge S jedoch überabzählbar unendlich, ist die Differenzmenge

$$S \setminus P$$

(lies: „ S ohne P “) sicher überabzählbar. Dreht man einen Punkt aus $S \setminus P$ mit Hilfe einer der Drehungen aus G_1, G_2, G_3 auf einen anderen Punkt in $S \setminus P$, dann liegen diese beiden Punkte auf einer gemeinsamen Umlaufbahn auf der Sphäre. Wie viele solcher Umlaufbahnen gibt es auf der Sphäre? Schon eine einzige Drehung erzeugt überabzählbar viele Umlaufbahnen, da überabzählbar unendlich viele Punkte gedreht werden. Es gibt also sicher überabzählbar unendlich viele Umlaufbahnen. Nun benutzen wir ein schweres Geschütz, das **Auswahlaxiom**: Aus jeder überabzählbar unendlichen Menge können wir ein Element auswählen. Warum nicht? Aus 10 Säcken Kartoffeln können wir sicherlich auswählen und aus jedem Sack genau eine Kartoffel nehmen. Ja, aber der Sack Kartoffeln enthält eine endliche Menge! Es ist überhaupt nicht klar, dass eine solche Auswahl auch bei unendlichen Mengen funktioniert. Daher ist das Auswahlaxiom nur ein Axiom, das heißt, es handelt sich nicht um eine beweisbare Aussage! Auf Basis des Auswahlaxioms konstruieren wir uns nun eine neue überabzählbar unendliche Menge C auf folgende Weise:

Wir nehmen aus jeder Umlaufbahn genau einen Punkt und nennen die überabzählbar unendliche Menge dieser Auswahlpunkte C .

Was wissen wir über die Menge C ?

1. C ist überabzählbar unendlich.
2. C und P haben keinen Punkt gemeinsam.
3. Kein Punkt in C kann durch eine der Drehungen in G_1, G_2, G_3 auf einen anderen Punkt in C gedreht werden.
4. Wendet man auf jeden Punkt von C jede Drehung in G_1, G_2, G_3 an, erhält man $S \setminus P$.

Nun schauen wir ganz genau hin! Wenden wir jede Drehung in G_1 auf C an, dann wollen wir die so entstehende Menge K_1 nennen. Ganz analog sollen K_2 und K_3 entstehen. Wir schreiben kurz:

$$K_1 = G_1 C,$$

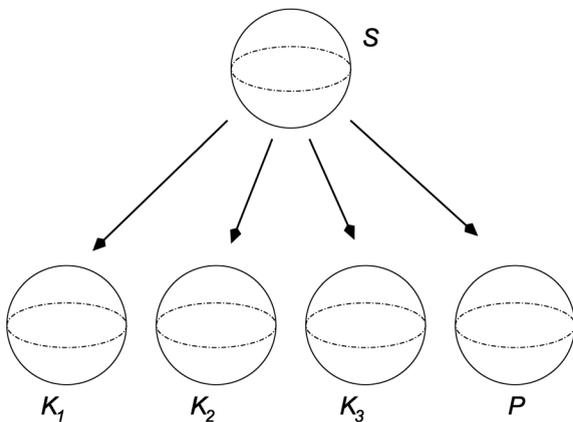
$$K_2 = G_2 C,$$

$$K_3 = G_3 C.$$

Damit haben wir die ganze Sphäre in vier Mengen zerlegt:

$$S = K_1 \cup K_2 \cup K_3 \cup P,$$

und die vier Mengen sind diskunkt, das heißt sie haben paarweise keine Elemente gemeinsam.



Nun müssen wir uns an den wichtigen Zusammenhang zwischen den Drehungen in G_1 , G_2 , G_3 erinnern, aus denen sofort

$$\tau K_1 = K_2$$

$$\tau^2 K_1 = K_3$$

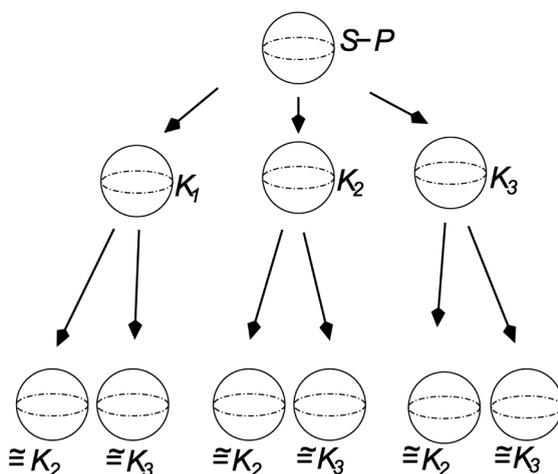
$$\sigma K_1 = K_2 \cup K_3$$

folgt. Damit sind die Mengen K_1 und K_2 aber kongruent, denn die eine entsteht aus der anderen durch eine einfache Drehung. Auch K_1 und K_3 sind kongruent, und K_1 ist kongruent zu der Vereinigungsmenge $K_2 \cup K_3$. Schreiben wir „kongruent“ als \cong , dann ist

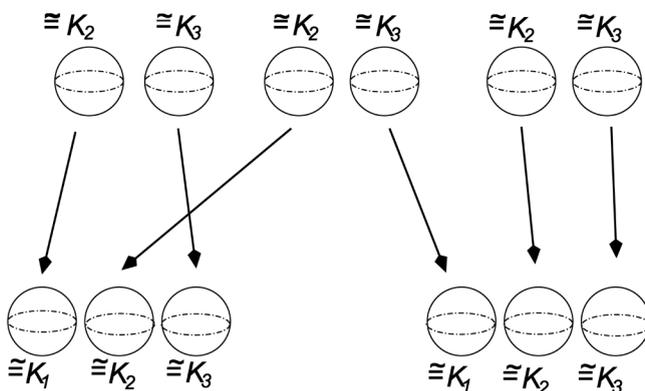
$$K_1 \cong K_2 \cong K_3 \cong K_2 \cup K_3.$$

Und hier lauert etwas, dass man auch „Drittel-Hälfte-Dilemma“ nennt. Wenn $K_1 \cong K_2 \cong K_3$ gilt, dann sollte jedes der K_i auch etwa $1/3$ der Sphäre ausmachen, aber weil auch $K_1 \cong K_2 \cup K_3$ gilt, macht K_1 offenbar schon die Hälfte der Späre aus!

Wir haben jetzt offenbar sechs Teilmengen gefunden, die die Sphäre ausmachen, wobei wir aus Gründen der Übersichtlichkeit die Menge der Pole P weggelassen haben.



Jetzt sind wir fast fertig! Wegen der Kongruenzen $K_1 \cong K_2 \cong K_3$ können wir die sechs Mengen noch wie folgt umordnen.



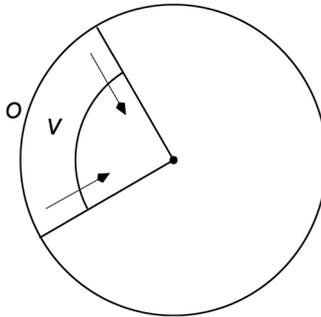
Jeder der beiden Dreierblöcke ist aber nun unsere ganze Sphäre (ohne die Pole), denn

$$S \setminus P = K_1 \cup K_2 \cup K_3.$$

Wir haben damit zwei Kopien der Sphäre hergestellt, allerdings noch ohne Pole. Die können wir aber leicht durch Verschiebung aus dem Unendlichen stopfen, denn es sind ja nur abzählbar unendlich viele.

Das Banach-Tarski-Paradoxon

Den genauen Beweis, wie man aus einer ganzen Orange zwei macht (und nicht nur aus der Schale) müssen wir schuldig bleiben, aber wir können doch klar machen, wie wir vorzugehen haben.



Ausgehend von der Sphäre „verdicken“ wir in Richtung auf den Mittelpunkt der Kugel, wobei wir gerade den Mittelpunkt freilassen (im Mittelunkt würden alle Punkte der Sphäre zusammenfallen!). So können wir uns K_1, K_2, K_3 zu, sagen wir, $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$ verdickt denken. Den fehlenden Mittelpunkt der Kugel können wir dann wieder durch Stopfen aus dem Unendlichen füllen. Ebenso verfahren wir mit den Polen auf der Sphäre. Damit haben wir zwei identische Kopien der Ausgangskugel erhalten!

Ist das ein Witz?

Habe ich Sie hereingelegt? Sind Sie irgendwo aufs Glatteis geführt worden und haben Sie einen fatalen Fehler übersehen? Nein! Wir haben das zu Anfang diskutierte Inhaltsproblem wirklich und das Banach-Tarski-Paradoxon ist tatsächlich real. Die Paradoxie löst sich auf, wenn wir auf das Auswahlaxiom verzichten

würden. In der Tat hat der berühmte Logiker Kurt Gödel (28.4.1906–14.1.1978) im Jahr 1938 bewiesen, dass das Auswahlaxiom nicht im Widerspruch zur Zermelo-Fraenkel-Mengenlehre steht. Paul Cohen (2.4.1934–23.3.2007) hat 1963 gezeigt, dass auch das Gegenteil, also die Annahme, das Auswahlaxiom gelte nicht, widerspruchsfrei ist. Damit gibt es zwei Mathematiken: Eine, in der das Auswahlaxiom gilt, und eine andere, in der es nicht gilt. Verzichtet man aber auf das Auswahlaxiom, dann bricht eine ganze Menge sehr brauchbarer Mathematik weg. Also hat sich die überwältigende Mehrheit der Mathematiker entschlossen, das Auswahlaxiom zu akzeptieren.

Die berechtigte Frage der Praktiker, ob denn nun in der Küche tatsächlich die Verdoppelung einer Orange (oder eines Goldbarrens!) gelingen kann, müssen wir leider verneinen. Solche Mengen, wie wir sie für das Banach-Tarski-Paradoxon verwendet haben, haben ja noch nicht einmal ein Volumen. Solche Stücke sind mit Hilfe eines Küchenmessers einfach nicht aus einer Orange herauszuschneiden!

Ausblick

DIETMAR BRANDES

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft 2014–2016

Hohe Festversammlung,
sehr geehrter Herr Altpräsident, lieber Herr Kollege Klein,
meine sehr verehrten Damen und Herren!

Auch ich möchte Sie alle herzlich zu unserer Neujahrssitzung begrüßen und Ihnen ein gutes und erfolgreiches neues Jahr 2014 wünschen, verbunden mit den besten Wünschen für Ihre Gesundheit, für ein nicht nachlassendes wissenschaftliches Interesse sowie für beruflichen Erfolg und Lebensfreude.

Den Mitgliedern der BWG danke ich herzlich für Ihr großes Vertrauen, mit dem Sie mich in dieses Amt gewählt haben! Ebenso gilt Ihnen mein herzlicher Dank für die Wahl von Frau Kollegin Müller-Goymann zur Vizepräsidentin. Herr Kollege Gahl stellt die personelle Kontinuität im neuen Präsidium dar. Wir drei freuen uns mit Ihnen auf unsere gemeinsame Arbeit!

Lieber Herr Kollege Klein, sie haben 14 Jahre lang die BWG gesteuert, ihr Profil geschärft und ihr Ansehen in der wissenschaftlichen Welt vermehrt. Kein anderer Präsident der BWG hat so lange die Geschicke der BWG gelenkt. Die Würdigung Ihrer Tätigkeit, lieber Herr Klein, ist daher nicht nur angemessen, sondern geradezu notwendig – auch am heutigen Tage. Schnell gelangten wir im Präsidium zu der Überzeugung, dass Herr Kollege Scheier für die Dankworte auf unserer Neujahrssitzung in besonderem Maß geeignet ist, da er als Generalsekretär und Vizepräsident von 2001 bis 2012 fast die gesamte Amtszeit von Herrn Prof. Klein in herausgehobener Funktion begleitet hat. Für den Rückblick danke ich unserem nunmehrigen Altpräsidenten Klein, ebenso Herrn Kollegen Scheier für die Dankworte im Namen der BWG.

Ebenso möchte ich Herrn Kollegen Sonar herzlich für seinen interessanten und anregenden Vortrag danken, der ein schönes Beispiel der wissenschaftlichen Kompetenz der BWG und ihrer Mitglieder darstellt. Nochmals ganz herzlichen Dank!

Ich will den Ausblick mit einem kurzen persönlichen Rückblick beginnen: als mir Herr Kollege Klein vor gut anderthalb Jahren von einem Vorschlag der Findungskommission berichtete und mich fragte, ob ich mir seine Nachfolge vorstellen könne, war ich doch sehr überrascht. Ich hatte mit fast allem gerechnet, aber damit nicht. Zu meinem eigenen Erstaunen konnte ich mir bereits während unseres ersten Gesprächs, also nach wenigen Minuten, eine Übernahme dieser wichtigen

und ehrenhaften Funktion gut vorstellen. So habe ich nach einer relativ kurzen Bedenkzeit gern zugesagt und wir haben uns einen gemeinsamen Wegabschnitt vorgenommen: ich, indem ich mich zur Wahl stellte, Sie, die BWG-Mitglieder, indem Sie mich gewählt haben.

Bevor wir die Gegenwart gestalten und die Weichen für die Zukunft stellen, ist eine Standortsbestimmung sinnvoll. Wo stehen wir? Wohin wollen wir? Für eine solche Standortsbestimmung haben wir uns im vergangenen November anlässlich der 70-Jahr-Feier der BWG einen Nachmittag Zeit genommen.

Nach Auswertung aller Dokumente und Archivalien konnten früher gelegentlich zu hörende Vermutungen über eine mögliche Verknüpfung zwischen BWG-Gründung und nationalsozialistischem Gedankengut entkräftet bzw. eindeutig widerlegt werden. Wir können mit Fug und Recht darauf hinweisen, dass die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft vor 71 Jahren als eine eindeutig der Wissenschaft verpflichtete Gesellschaft gegründet wurde. Das ist für die Identifikation mit den eigenen Wurzeln ganz wichtig.

Inzwischen ist die BWG längst eine Körperschaft öffentlichen Rechts des Landes Niedersachsen, mit Satzung und Dienstsiegel, mit eigenen Räumlichkeiten und einem eigenen, wenn auch schmalen Etat. Die Verleihung des Status einer Körperschaft öffentlichen Rechts wird üblicherweise als Anerkennung interpretiert, die mit besonderem Ansehen verbunden ist. Auch stehen wir vermutlich unter dem Schutz des § 72 der Niedersächsischen Verfassung, der sich auch auf die überkommenen Einrichtungen des ehemaligen Landes Braunschweig bezieht.

Die Voraussetzungen für eine unabhängige und eigenverantwortliche Gelehrten-gesellschaft sind damit also gegeben, wir müssen uns dieses Privileg jedoch immer wieder neuverdienen, wofür die in den letzten 14 Jahren geschaffenen Grundlagen eine gute Voraussetzung darstellen.

Im Vergleich mit unseren älteren und größeren Schwestern, den in der Union zusammengeschlossenen Akademien der Wissenschaften, liegt der Schwerpunkt der BWG auf den Technik- und Naturwissenschaften. An dieser Stelle möchte auch *ich* die Präsidenten der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, Herrn Prof. Stekeler-Weithofer, und der Göttinger Akademie der Wissenschaften, Herrn Prof. Tangermann, herzlich willkommen heißen. Ich freue mich sehr, dass Sie zu unserer Neujahrsveranstaltung und zur Amtsübergabe gekommen sind und hoffe auf eine weiterhin gute und fruchtbare Zusammenarbeit. Ich habe gern die Formulierung „kleinere und größere Schwester“ aufgegriffen, die auf einen Ihrer Vorgänger, verehrter Herr Kollege Tangermann, zurückgeht. Aber: Auch wenn der Schwerpunkt auf den technischen und naturwissenschaftlichen Disziplinen liegt, so benötigt die BWG doch *genauso* die Geisteswissenschaften. Schon für den interdisziplinären Diskurs sind diese *unverzichtbar*. Und: die meisten BWG-Projekte, von denen hier nur einige wichtige genannt werden sollen, wie die Kommission

für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, die von der BWG betreute Ausgabe der Werke von Wilhelm Raabe, die Kommission für Recht und Ethik, wurden von Mitgliedern der Klasse für Geisteswissenschaften getragen. Mit großer öffentlicher Resonanz werden die Bioethik-Symposien durchgeführt; es wird in diesem Februar bereits das zehnte seiner Art sein. Auch die Durchführung dieser Symposien ist ohne die Beteiligung von Angehörigen der Klasse für Geisteswissenschaften nicht denkbar.

Die BWG lebt von der Originalität und den inspirierenden Gedanken ihrer Mitglieder, von deren interdisziplinären Austausch und natürlich von ihrem Einsatz für unsere Akademie. In diesem Sinne bitte ich Sie alle um ihre Mitwirkung und um ihre Ideen. Ich freue mich auf Vorschläge und Anstöße zu neuen Projekten; einige wurden mir bereits am Abend unmittelbar nach der Wahl angedeutet bzw. skizziert.

Wir wollen Wissenschaftler der außeruniversitären Forschungseinrichtungen im Raum Braunschweig, der ja nach EU-Statistik der forschungsintensivste in Europäischen Union ist, *noch* stärker einbinden. Schließlich verfügt unsere Region über eine der größten Wissenschaftlerdichten in Europa. Spannende Themenbereiche, die geradezu nach einer interdisziplinären Betrachtung rufen, sind z. B. Städte, Urbanistik und Verstädterung. Schon jetzt leben auf der Erde mehr als die Hälfte aller Menschen in Städten, ohne dass die wirtschaftlichen, verkehrstechnischen, ökologischen, klimatologischen, soziologischen oder psychologischen Implikationen in ausreichendem Maße untersucht bzw. bekannt sind. Wer vor zwei Tagen den Vortrag des chinesischen Botschafters in Braunschweig gehört hatte, konnte einen Eindruck von der ungeheuren Dynamik der Urbanisierung in China, aber auch von den damit verbundenen Risiken bekommen. Die Sicherung der Welt-ernährung durch Optimierung des Pflanzenbaus stellt ein weiteres hochaktuelles Themenfeld dar, zu dem gerade in unserer Region hohe Kompetenz in verschiedenen Forschungseinrichtungen gegeben ist. Dies gilt auch für die Auswirkungen von Landnutzungs- und Klimaänderungen – oder ganz allgemein gesprochen von Global Change – auf die Biodiversität.

Mit der „ForschungsRegion Braunschweig“, sind bereits gute Grundlagen für die interdisziplinäre Zusammenarbeit gelegt. Wichtiges Ergebnis der gemeinsamen Anstrengungen von zahlreichen wissenschaftlichen Einrichtungen unter Führung der TU Braunschweig in der ForschungsRegion war die Auszeichnung Braunschweigs als „Stadt der Wissenschaft“. Hier will die BWG weiterhin Ideen bündeln und Synergien freisetzen. Wir stellen Mitarbeiterinnen der ForschungsRegion unsere Räumlichkeiten zur Verfügung und wollen gemeinsame Vorhaben vorantreiben.

Mit der Gründung der BWG ist für den Bereich ihrer Mitglieder erstmals die Idee der NTH realisiert worden, freilich ohne es explizit auszusprechen. Wenn unsere Mitglieder auch vor allem aus den Universitäten TU Braunschweig, Leibniz Universität Hannover und TU Clausthal kommen, so sind wir doch offen für Mit-

glieder aus anderen Universitäten des Landes. Die ist durchaus satzungskonform, sollen zu Mitgliedern der BWG doch verdienstvolle Gelehrte mit dem Wohnsitz in Niedersachsen berufen werden. Um keine Missverständnisse aufkommen zu lassen, wir wollen nicht zu Lasten der größeren Schwestern wildern, sondern technisch-naturwissenschaftliche Expertise bündeln und unser Kompetenzprofil stärken und schärfen.

Wie können wir aber *junge* Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler fördern und gleichzeitig an die BWG binden? Sichtweisen und Gedanken junger Forscher einzubringen, wäre sicher ein Gewinn für die BWG. Die Frage nach einer „Jungen Akademie“ ist also auch in Braunschweig virulent und wurde von Herrn Kollegen Duddek bereits im Jahr 2000 aufgegriffen und diskutiert. Wir werden demnächst hierzu eine kleine Gruppe mit dem Arbeitsauftrag bilden, den Bedarf auszuloten und die Realisierungsmöglichkeiten abzuschätzen.

Wir werden den Umfang unseres Internetauftritts weiter ausbauen. Gerade rechtzeitig zur Neujahrssitzung wurde eine einfache Suchmöglichkeit auf der Homepage eingerichtet, mit der alle im Jahrbuch und in den Abhandlungen erschienenen Aufsätze im Volltext angesehen oder heruntergeladen werden können. Die einzelnen Aufsätze können nun im Braunschweiger Online-Katalog ebenso gefunden werden wie im GBV-Katalog, im Karlsruher Virtuellen Katalog oder im Internet. Damit hat die BWG für ihren Bereich Open Access umgesetzt und ihre internationale Sichtbarkeit erhöht, dies sollte sich auch – hoffentlich – auf die Attraktivität unserer Publikationsorgane positiv auswirken.

Die BWG entfaltete in der Nachkriegszeit eine rege Vortragstätigkeit in der Öffentlichkeit, die später jedoch ganz in den Hintergrund trat. Während der Präsidentschaft von Herrn Kollegen Klein wurde dann diese wichtige Aufgabe wieder aufgegriffen: Es wurde die Vortragsreihe im Roten Saal des Schlosses gemeinsam mit der Stadt Braunschweig begründet, ebenso die Vorträge im Wolfsburger Phäno. Wir sind also hier gut aufgestellt und werden auf dieser Basis weiterarbeiten. Gemeinsame Veranstaltungen mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen der Region in diesem Jahr sind gerade in Vorbereitung. Bundespräsident Gauck hatte in seiner Rede vor der Leopoldina im letzten Jahr die Akademien aufgefordert, sich noch *stärker* als bisher bei der Vermittlung wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Öffentlichkeit zu engagieren, belastbare und differenzierte Information zur Verfügung zu stellen und so zur Meinungsbildung in der Gesellschaft beizutragen. Auch diesbezüglich finden wir uns auf gutem Wege. Aber wir müssen ihn natürlich mit unseren Partnern auch weiter beschreiten. Auch hier gilt der triviale Satz, dass Stillstand Rückschritt bedeutet.

Ich freue mich auf einen intensiven Gedankenaustausch mit Ihnen zur Förderung der Wissenschaften, viele interessante Vorträge und Symposien und habe nun die Freude und die Ehre, Sie zum Empfang in die Räumlichkeiten der BWG einzuladen. Ich wünsche Ihnen anregende Gespräche. Seien Sie herzlich willkommen!

Die Einbürgerung Hitlers im Freistaat Braunschweig und deren Konsequenzen

ULRICH MENZEL

Institut für Sozialwissenschaften der TU Braunschweig
Bienroder Weg 97, D-38106 Braunschweig

Am 25.2.1932 wurde Adolf Hitler gegen 18.00 Uhr durch die Regierung des Freistaats Braunschweig (Küchenthal und Klagges) zum Regierungsrat beim Landeskultur- und Vermessungsamt ernannt und zugleich an die Braunschweigische Gesandtschaft in Berlin abgeordnet. Dort sollte er als Sachbearbeiter zur Wahrnehmung von braunschweiger Wirtschaftsinteressen tätig sein. Hitler war bei der Ernennung nicht anwesend, bekam die Ernennungsurkunde per Post nach Berlin ins Hotel Kaiserhof zugestellt und wurde am folgenden Tag auf der Braunschweigischen Gesandtschaft, Lützowstraße 12, durch den Gesandten Friedrich Boden vereidigt¹.

Der eigentliche Zweck der Ernennung Hitlers zum Beamten war, dem seit dem 30.4.1925 Staatenlosen die deutsche Staatsbürgerschaft zu verschaffen. Hitler, geboren im oberösterreichischen Braunau am Inn, war im Mai 1913 von Wien nach München umgezogen, um sich in Österreich der Musterung und Einberufung zum Wehrdienst zu entziehen. Im August 1914 war er allerdings als Kriegsfreiwilliger in die Bayerische Armee eingetreten, hatte als Meldegänger am Ersten Weltkrieg teilgenommen und war im März 1920 entlassen worden. Danach nahm er sein bohemehaftes Leben der Wiener Zeit wieder auf, wurde Politiker und 1923 Anführer eines Putsches („Marsch auf die Feldherrnhalle“), der ob seiner dilettantischen Vorgehensweise nach wenigen Stunden bereits gescheitert war. Hitler wurde als Rädelsführer verhaftet, angeklagt und zu fünf Jahren Festungshaft in Landsberg verurteilt. Nach seiner vorzeitigen Haftentlassung wollte ihn die Bayerische Polizei nach Österreich abschieben, die Wiener Regierung aber nur ungern den Putschisten und politischen Unruhestifter aufnehmen. Um die drohende Abschiebung abzuwenden, hatte Hitler bei der für ihn zuständigen Behörde in Linz seine Entlassung aus der österreichischen Staatsbürgerschaft beantragt, die

¹ Der Aufsatz basiert auf einem Vortrag, den der Autor am 14.2.2014 in der Plenarversammlung der Braunschweigisch Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten hat. Viele weitere Details, Quellen und Literaturhinweise finden sich in zwei Forschungsberichten des Autors, die er unter dem Titel „Professor oder Regierungsrat? Hitlers Einbürgerung in Braunschweig 1932 als Weichenstellung zur Machtergreifung“ und „Die Steigbügelhalter. Annotierte Chronik zur Einbürgerung Hitlers in Braunschweig“ in den Forschungsberichten aus dem Institut für Sozialwissenschaften Nr. 110 und 114 (Braunschweig 2013, 2014) veröffentlicht hat.

ihm bereitwillig am 30.4.1925 gegen eine Gebühr von 7,50 Schilling entzogen wurde. Hitler war seitdem ein staatenloser Exhäftling, der zur Bewährung auf freien Fuß gesetzt worden war. In der Folgezeit hatte er mehrfach vergeblich versucht, Deutscher zu werden, um den Makel des staatenlosen „Führers“ zu tilgen.

Die Verleihung der deutschen Staatsbürgerschaft regelte das Reichs- und Staatsangehörigkeitsgesetz von 1913, das zwei Möglichkeiten vorsah. Den normalen Weg auf Antrag gemäß § 9 oder den ungewöhnlichen Weg gemäß § 14, der vorsah, dass die Verbeamtung eines Ausländers oder Staatenlosen in einem Land des Reiches automatisch zum Erwerb der deutschen Staatsbürgerschaft führt. So wurde Hitler einen Tag nach seiner Verbeamtung in Braunschweig Deutscher, nachdem er sich zuvor von seinem Parteifreund und Präsidenten des Braunschweigischen Landtags, Ernst Zörner, unter der Adresse Hohetorwall 7, 2. Stock beim Polizeipräsidium als Untermieter angemeldet worden war. Sein Ausweis ist datiert auf den 26.2.1932 und wurde ihm gegen Stempelsteuer, Gebühren und Portokosten in Höhe von 7,52 RM ebenfalls nach Berlin zugestellt. Der normale Weg gemäß § 9 war Hitler versperrt, weil der Antrag vom Reichsrat gebilligt werden musste und dort am Veto der Länder Preußen und/oder Bayern gescheitert wäre. Den Weg der Einbürgerung über den § 14 konnte Hitler nur in Braunschweig beschreiten, weil der Freistaat Braunschweig damals das einzige Land war, in dem die NSDAP seit dem 31.9.1930 in Koalition mit der Bürgerlichen Einheitsliste (BEL) an der Regierung beteiligt war. Aus dieser Machtposition heraus war, sofern der bürgerliche Koalitionspartner zustimmte, die Verbeamtung Hitlers möglich.

Das Problem bei der Einbürgerung über den § 14 bestand allerdings darin, dass der frisch ernannte Beamte sein Amt auch tatsächlich ausüben hatte. Er durfte nicht nur zum Schein ernannt worden sein, um den Weg über den § 9 zu umgehen. Dies hatte ein Gutachten des Verfassungsreferenten Georg Kaisenberg aus dem Reichsinnenministerium unter Berufung auf einen Kommentar des Staatsrechtlers Jellinek mit Blick auf Hitler ausdrücklich festgestellt. Das Gutachten war am 1.2.1932 sogar in der Vossischen Zeitung veröffentlicht worden (Kaisenberg 1932), um die Rechtsposition der Regierung Brüning deutlich zu machen.

Die Einbürgerung Hitlers war wiederum die Voraussetzung, dass er für das Amt des Reichspräsidenten kandidieren konnte. Der entsprechende Art. 41, Abs. 2 der Weimarer Verfassung lautete: „Wählbar ist jeder Deutsche, der das 35. Lebensjahr vollendet hat.“ Die Wahl war notwendig geworden, weil die siebenjährige Amtszeit des bisherigen Amtsinhabers, Paul von Hindenburg, im Frühjahr 1932 ablief und die im Reichstag vertretenen Parteien sich nicht, wie von Reichskanzler Brüning bevorzugt, auf dessen Amtsverlängerung einigen konnten. Diese hätte eine Verfassungsänderung und damit eine Zweidrittelmehrheit, also die Mitwirkung der NSDAP, verlangt. Trotz intensiver Verhandlungen war diese nicht zu erreichen. Erst unmittelbar vor Ablauf der Zehntagesfrist zur Einreichung der Wahlvorschläge war Hitler eingebürgert worden und konnte so kandidieren. Wenn er die Wahl verlor, hätte er die Tätigkeit als Regierungsrat antreten müssen, um

nicht den Eindruck des Scheingeschäfts zu bestätigen und so Gefahr zu laufen, die deutsche Staatsbürgerschaft wieder aberkannt zu bekommen.

Zwar zog Hitler in zwei Wahlgängen am 13.3. und 10.4.1932 gegenüber Hindenburg den Kürzeren, vermochte aber beachtliche 11,3 Millionen Stimmen im ersten und sogar 13,4 Millionen Stimmen im zweiten Wahlgang auf sich zu vereinigen, was 30,1 bzw. 36,8 Prozent der abgegebenen Stimmen entsprach. Damit kam er in eine Größenordnung, die die NSDAP bei den für sie so überaus erfolgreichen Reichstagswahlen vom 31.7.1932 mit 34,7 Prozent der Stimmen erreichen sollte.

Die näheren Umstände der Einbürgerung, der mehrere klandestine, aber letztlich erfolglose, Anläufe in Bayern, Thüringen und wenige Tage zuvor in Braunschweig vorangegangen waren, wiesen trotz der Warnung des Kaisenberg-Gutachtens alle Anzeichen eines „Scheingeschäfts“ auf. Damit waren alle Zutaten einer Provinzposse gegeben, obwohl es sich um eine todernste Angelegenheit handelte, die schließlich in der Tragödie Deutschlands enden sollte. Das Thema beherrschte seit Anfang des Jahres 1932 zwei Monate lang die deutsche Innenpolitik und war im besonders betroffenen Braunschweig das wichtigste und hoch kontrovers verhandelte politische Thema überhaupt, das nahezu täglich durch immer neue Spekulationen in der Presse angefeuert wurde. Auch nach der Einbürgerung sollte es Regierung und Parlament des Freistaats weiter beschäftigen, weil der Gesandte Boden ihn mehrfach aufforderte, seinen Dienst anzutreten und die Presse wie die Opposition im Braunschweigischen Landtag mehrfach Anfragen stellten, wann und wie denn der Regierungsrat Hitler seinen Dienst anzutreten gedenke. Immerhin kassierte er ein reguläres Gehalt inklusive Wohngeld und Ortszuschlag in Höhe von 328,95 RM (netto). Hitler beendete die anhaltende Peinlichkeit erst am 24.2.1933, als er, damals schon Reichskanzler, auf seinen Antrag wieder aus dem Braunschweigischen Staatsdienst entlassen wurde.

Obwohl er lediglich exakt ein Jahr lang Regierungsrat war und obwohl seine „Tätigkeit“ nur aus dem Amtseid, drei Urlaubsgesuchen, einem Antrag auf ein Disziplinarverfahren in eigener Sache und einem Entlassungsgesuch bestand, haben seine Braunschweiger Personalakten² einen beträchtlichen Umfang. Sie dokumentieren auf eindrucksvolle Weise, welche Mühe darauf verwendet wurde,

² Die Geschichte der Braunschweiger Personalakten Hitlers ist einen eigenen Aufsatz wert. Zuerst wurde beim Landeskultur- und Vermessungsamt eine Personalakte angelegt, weil dort gerade eine Regierungsratsstelle frei war. Da Hitler mit seiner Ernennung an die Braunschweigische Gesandtschaft versetzt wurde, die dem Staatsministerium unterstellt war, wurde dort eine zweite und bei der Gesandtschaft in Berlin als Gegenstück eine dritte Personalakte angelegt. Hinzu kam noch eine Akte über Eingaben aus der Bevölkerung an den Regierungsrat Hitler. Die Originale dieser Akten sind verschwunden. Es heißt, dass sie 1945 von der britischen Besatzungsmacht auf Anordnung von Churchill nach London verbracht worden sind. Über den vergeblichen Versuch, das Original zurückzubekommen, gibt es im Nds. Staatsarchiv Wolfenbüttel eine eigene Akte (4 Nds. Zg. 27). Allerdings hat jemand zwischen 1933 und 1945 eine Kopie der Akten für das NS-Parteiarchiv in München angefertigt. Wer, wann und

der offensichtlichen Untätigkeit des Regierungsrats den Anschein zu geben, dass alles dennoch seine bürokratische Korrektheit habe.

Hier wird die These vertreten, dass es sich bei der Braunschweiger Episode zwar um eine Farce handelte, die sich gerade in der Personalakte widerspiegelt, zugleich aber um die entscheidende Weichenstellung auf dem Weg Hitlers zur Macht. Wäre ihm die Einbürgerung in Braunschweig, wie zuvor in Bayern und Thüringen, verweigert worden, wäre die Geschichte anders verlaufen. Da sie ihm nicht verweigert wurde, lieferten die Einbürgerung und die dadurch mögliche Kandidatur den Auftakt und den Schub zur politischen Großoffensive der NSDAP des Jahres 1932.

Vor diesem Hintergrund ist es ebenso erstaunlich wie bemerkenswert, dass die großen Hitlermonographien die Episode entweder gar nicht erwähnen oder die Einbürgerung als Randglosse behandeln. Konrad Heiden (1944) und Alan Bullock (1954) unterschlagen sie ganz. Joachim Fest (1973, S. 439), Werner Maser (1971, 1980), Ian Kershaw (2002, Bd. 1, S. 450) und zuletzt Volker Ullrich (2013, S. 33) verwenden darauf nur wenige Zeilen. Selbst Karl Dietrich Bracher, der in seiner bahnbrechenden Monographie über die „Auflösung der Weimarer Republik“ der Wahl des Reichspräsidenten 1932 immerhin ein ganzes Kapitel widmet, behandelt das Problem der fehlenden Staatsangehörigkeit des Kandidaten Hitler lediglich auf zwei Seiten, ohne allerdings die Bedeutung seiner Einbürgerung für die Auflösung der Weimarer Republik zu thematisieren (Bracher 1964, S. 460 f.).³ Gestreift wird bei den genannten Autoren lediglich die Frage, ohne sie befriedigend zu beantworten, warum Hitler, als die Entscheidung zur Kandidatur drängte, mindestens vier Wochen lang zögerte, gegen Hindenburg anzutreten, obwohl die Presse nahezu täglich kontrovers darüber berichtete.

Es handelt sich in der Tat um eine berechtigte Frage, die nur erschöpfend beantwortet werden kann, wenn man sich tiefer in die Details und Hintergründe der Einbürgerung vergräbt. Allerspätestens am 19.1.1932, so ein erster Hinweis im

warum, ist unklar. Das NS-Parteiarchiv und damit auch diese Kopie wurde 1945 von den Amerikanern beschlagnahmt und landete im Berliner Document Center (jetzt Bundesarchiv Berlin-Lichterfelde). Im Document Center hat Morsey sie 1959/60 bei seinen Forschungen gefunden, eine Kopie der Kopie anfertigen lassen und für seine Dokumentation (Morsey 1960) benutzt. Danach hat er diese Kopie bzw. eine Kopie seiner Kopie dem Niedersächsischen Staatsarchiv in Wolfenbüttel überlassen, zuvor allerdings die Akte des Staatsministeriums und die Akte der Gesandtschaft zu einer einzigen kompiliert, ohne dies kenntlich zu machen. Deshalb gibt es in Wolfenbüttel zwei Personalakten (12 A Neu FB7, Nachtrag III, Nr. 235a und 12 Neu FB7 III Nr. 235b) und im Bundesarchiv eine Hauptakte mit drei Beiakten (NS 26/5-8). Das Original aus der Braunschweigischen Gesandtschaft durfte der Kriegszerstörung des Gebäudes zum Opfer gefallen sein.

³ Auch in seinem zweiten Hauptwerk „Die deutsche Diktatur“ wird die Einbürgerung gerade mit einem halben Absatz abgehandelt und dazu noch die falsche Behauptung aufgestellt, Hitler sollte zuerst als Professor für „Politische Pädagogik“ berufen werden (Bracher 1976, S. 208).

Tagebuch von Goebbels, vermutlich seit dem 6.1., als Innenminister Groener im Auftrag von Reichskanzler Brüning über eine Verlängerung der Amtszeit Hindenburgs mit den Parteien verhandelte, oder bereits seit dem Oktober 1931 stand eine mögliche Kandidatur Hitlers auf der Tagesordnung.⁴ In der Literatur wird zwar die von Morsey (1960) veröffentlichte Dokumentation „Hitler als Braunschweiger Regierungsrat“, die sich auf die Materialien im Bundesarchiv und im Berliner Document Center stützt, immer wieder zitiert, allerdings ohne die von Morsey präsentierten Quellen wirklich auszuwerten und zu interpretieren. Die naheliegende Antwort, dass Hitlers Zögern auch oder sogar vor allem in der fehlenden Staatsbürgerschaft begründet lag, dass er die Blamage eines neuerlichen Scheiterns seiner Einbürgerung und die Bekanntwerdung seiner Staatenlosigkeit fürchtete, dass ihm das Dilemma der Einbürgerung über den § 14 bewusst war und er deshalb die Entscheidung vor sich herschob, wird nicht gegeben.

Dass die braunschweiger Literatur (Roloff 1961, Schelm-Spangenberg 1964, Ruben 2004) sich dem Thema widmet und auch die lokale Presse in Gestalt der Braunschweiger Zeitung immer wieder, sogar in Sonderheften, auf die peinliche Rolle, die Braunschweig auf dem Weg Hitlers zur Macht gespielt hat, eingeht, ist verständlich. Diese Beschäftigung hat aber kaum Aufmerksamkeit in der nationalen oder gar internationalen Literatur gefunden. Aber selbst die Braunschweiger Literatur wird der Bedeutung des Vorgangs zu wenig gerecht bzw. sucht ihn gar herunterzuspielen, weil sie zu sehr auf die Braunschweiger Ereignisse fokussiert ist und zu wenig die Wechselwirkung mit den Ereignissen in Berlin, aber auch mit den anderen Ländern des Reiches, in den Blick nimmt.

In Berlin wurde vor allem die Frage debattiert, **ob** Hitler gegen Hindenburg kandidieren soll bzw. wie man eine Kandidatur Hitlers verhindern kann, auch wenn sie von Hitlers Staatenlosigkeit überschattet wurde. In Braunschweig wurde hingegen debattiert, ob und (wenn ja), **wie** man Hitler einbürgern soll. Die erste Debatte hatte Anfang Januar 1932 an Intensität gewonnen und war, wenn man Goebbels trauen kann, erst am 19.2.1932 entschieden. Die Braunschweiger Einbürgerungsdebatte begann womöglich, so Roloff jun. im Jahre 1960 gegenüber Morsey, bereits anlässlich der Verhandlungen zur Wahl von Dietrich Klagges als Nachfolger des zurückgetretenen Anton Franzen (NSDAP) als Innen- und Volksbildungsminister am 10.9.1931, nahm aber erst am 2.2.1932 an Fahrt auf, als Küchenthal aus seiner Pressemappe von der akuten Absicht der Einbürgerung erfuhr. Die definitive Entscheidung, Hitler in Braunschweig auf dem Wege der Ernennung zum Regierungsrat einzubürgern, ist erst am 25.2.1932 gefallen. Erst ganz am Schluss dürfte den Berliner Strategen klar geworden sein, dass der

⁴ Am 10.10.1931 traf Brüning jedenfalls mit Hitler zusammen, um die Präsidentschaftsfrage zu sondieren. Hitler lehnte es dabei ab, sich öffentlich für eine Wiederwahl Hindenburgs zu erklären. Am 7.11.1931 lautete die Schlagzeile des Schlesischen Beobachters „Hitler soll Reichspräsident werden“.

Vorgang in Braunschweig kein Selbstläufer war. Nur so wird der massive Druck verständlich, der seit dem 17.2.1932 über verschiedene Kanäle von Berlin auf Braunschweig ausgeübt wurde. Hitler ist ein hohes Risiko eingegangen, als er Goebbels am 22.2.1932 die Erlaubnis gab, am selben Abend im Berliner Sportpalast seine Kandidatur bekannt zu geben. Es hätte schief gehen können. Die Blamage wäre groß gewesen. Umgekehrt lautete vielleicht das Kalkül, dass die Ankündigung die zögernden bürgerlichen Provinzpolitiker in Braunschweig so sehr unter Druck setzte, dass sie sich nicht mehr trauten, die Einbürgerung zu verweigern.

Die Beantwortung der Frage nach der Bedeutung des Vorgangs hat mit dem Problem umzugehen, dass es nahezu keine Quellen gibt, aus denen herauszulesen ist, welche Bedeutung die Hauptperson selber, Hitler, der Einbürgerung beigemessen hat. Überliefert als halbwegs einschlägige Quellen sind lediglich ein privater Brief vom 2.2.1930 (in Dickmann 1966), in dem er die Motive und Absichten der Regierungsbeteiligung der NSDAP auf Länderebene ungeschminkt offenlegt, und das Protokoll seiner Zeugenvernehmung vor dem thüringischen Untersuchungsausschuss vom 15.3.1932 zu seiner dort misslungenen Einbürgerung.⁵ Wie immer, wenn es um seine Person geht, sind nur Texte (Reden, Interviews, Aufrufe) verfügbar, die Hitler in eindeutig propagandistischer Absicht verfasst hat, die aber über die tatsächlichen Beweggründe seines Handelns wenig aussagen und deshalb nur begrenzten Quellenwert haben. Die einzige Quelle, die zumindest indirekt einen Eindruck verschafft, was Hitler in der Angelegenheit gedacht und beabsichtigt hat, sind die Tagebücher von Goebbels. Zwischen dem 9.1.1932 und dem 22.2.1932 notiert Goebbels regelmäßig seine Beratungen mit Hitler zu dem Thema Kandidatur und Einbürgerung. Die Häufigkeit der Eintragungen lässt jedenfalls den Schluss zu, dass das Thema die beiden, aber auch andere Parteigrößen, sehr intensiv und nahezu täglich beschäftigt hat. Goebbels erscheint darin als der aktive, drängende und Hitler als der zögernde, schwankende Part, so dass Goebbels zwischenzeitlich sogar an seinem „Führer“ bzw. dessen Führerqualitäten zu zweifeln scheint. Aber auch diese Quelle ist mit Vorsicht zu genießen, weil Goebbels möglicherweise mit seinem Tagebuch auf Eigendarstellung und spätere Wirkung bedacht war. Auf jeden Fall sollte man die wissenschaftliche mehrbändige Edition der Tagebücher (Goebbels 1987) und nicht die redigierte und in propagandistischer Absicht von ihm selbst veröffentlichte Version „Vom Kaiserhof zur Reichskanzlei“ (Goebbels 1934) benutzen, auch wenn gerade letztere den hier interessierenden Zeitraum abdeckt.

Bleiben schließlich die Akten und Zeugnisse derjenigen Personen, die auf Reichs- oder Landesebene mit dem Vorgang befasst waren. Dazu gehören neben den Schriftstücken aus Hitlers Personalakten auf Seiten der NSDAP die Dokumente

⁵ In Hitler 1996, Bd. IV.

von und über Hitlers Statthalter in Braunschweig, Dietrich Klagges, der damals als Innen- und Volksbildungsminister am Schalthebel für die Einbürgerung saß, sowie Ernst Zörner, damals Präsident des Braunschweigischen Landtags, bei dem sich Hitler pro forma am 26.2.1932 als Untermieter angemeldet hat, um der Einbürgerung auch den Schein des Wohnsitzwechsels⁶ zu geben. Als Beruf nennt Hitler nicht mehr „Schriftsteller“ oder „Kunstmaler“ wie zuvor, sondern „Regierungsrat“, als zuständiges Finanzamt allerdings München ohne Erwähnung des Hauptwohnsitzes am Münchener Prinzregentenplatz. Die Akten über die braunschweiger Nazigrößen der zweiten Reihe wie Alpers, Hesse, Jeckeln, Schmalz und Schmidt-Bodenstedt sind in der Angelegenheit wenig ergiebig.

Auf der Seite des bürgerlichen Koalitionspartners sind zu nennen der damalige Vorsitzende der Staatsregierung und de facto Ministerpräsident, Werner Küchenthal (DNVP) und der Fraktionsführer der BEL im Landtag, Ernst August Roloff sen.⁷ (DNVP), dessen Nachlass von seinem Sohn Ernst-August Roloff jun. ausgewertet wurde.⁸ Küchenthals Nachlass ist verstreut, wird aber zum Teil im Braunschweigischen Landesmuseum⁹ verwahrt. Auch Friedrich Boden, damals Braunschweigischer Gesandter in Berlin, der Hitler den Amtseid abnahm, hat 1932 und 1945 Aufzeichnungen zu dem Vorgang verfasst.¹⁰ Ferner gehören dazu Albert Brandes¹¹, damals braunschweigischer Vorsitzender des nationalliberalen Koalitionspartners (DVP) in der BEL, Heinrich Wessel¹², Druckereibesitzer und politischer Kopf der DVP und Carl Heimbs¹³, Kaffeeröster und einflussreicher Vertreter der braunschweigischen Wirtschaft, zum Vorstand der DVP gehörend. Ferner sind als Quellen heranzuziehen die Personalakten und Senatsprotokolle der TH Braunschweig, diverse Denkschriften und Erinnerungen einzelner Professoren sowie die Protokolle der Sitzungen des Braunschweigischen Landtags und der mit der Einbürgerung befassten Landtagsausschüsse.

Bevor die Variante, Hitler über die Ernennung zum Regierungsrat zu verbeamten, umgesetzt wurde, hatte Klagges nämlich eine andere Idee verfolgt. Er wollte ihn

⁶ Das diesbezügliche Material befindet sich im Niedersächsischen Staatsarchiv, Wolfenbüttel.

⁷ Der Nachlass liegt im Stadtarchiv Braunschweig unter G IX 43 und H III 2 Nr. 111.

⁸ Roloff sen. schreibt sich Ernst August (ohne Bindestrich) und Roloff jun. Ernst-August (mit Bindestrich).

⁹ Unter der Inv. Nr. LMB 35800/1.

¹⁰ Nieders. Staatsarchiv 250 N 295; 12 A Neu Fb7, Nachtrag III, Nr. 235a.

¹¹ Stadtarchiv Braunschweig GX6 Nr. 642.

¹² Die Position Wessels lässt sich aus den Artikeln der von ihm herausgegebenen Wolfenbütteler Zeitung zur Einbürgerungsfrage Januar-Februar 1932 herauslesen.

¹³ Die Unterlagen zu Heimbs sind verstreut. Vgl. z.B. Braunschweigisches Landesmuseum BLM Firmenarchiv Heimbs: Mappe Carl Heimbs / Persönliche Papiere oder Leserbrief von Heimbs zur Einbürgerung Hitlers im SPIEGEL 15.1961, 42.

an der Hochschule, die zu seinem Ressort als Volksbildungsminister gehörte, zum Professor berufen. Diese Berufung hatte Klagges nahezu auf eigene Faust sowohl an seinen bürgerlichen Koalitionspartnern wie an den Organen der Hochschule vorbei versucht. Für den 13.2.1932 ist ein entsprechender Aktenvermerk von Klagges und bereits zwei Tage später eine Ernennungsurkunde überliefert, mit der Hitler zum planmäßigen außerordentlichen Professor für „Organische Gesellschaftslehre und Politik“ an der Kulturwissenschaftlichen Abteilung der TH Braunschweig berufen werden sollte.¹⁴

Was Klagges mit dieser Denomination meinte, bleibt rätselhaft. Bezieht sich das Adjektiv „organisch“ nur auf „Gesellschaftslehre“ oder auch auf „Politik“? Warum verwendet er statt des damals üblichen Begriffs „Staatsbürgerkunde“ den Begriff „Politik“, nicht aber statt des damals üblichen Begriffs „Soziologie“ den Begriff „Gesellschaftslehre“? Vermutlich bezieht sich das Adjektiv auf beides. Im Deutschen Wörterbuch von Hermann Paul wird „organisch“, abgeleitet von „Organ“ und übertragen auf die Politik, mit „wohlausgewogen“ oder „natürlichen Gesetzmäßigkeiten folgend“ übersetzt (Paul 2002, S. 726). Wenn Klagges letzteres im Sinn hatte, dann dachte er an ein Politik- und Gesellschaftsverständnis, das sich am Sozialdarwinismus orientiert.¹⁵ Staatsbürgerkunde klang ihm vermutlich zu demokratisch und setzte sich zudem nicht von der Denomination des Kollegen Roloff ab, der nicht nur Fraktionsvorsitzender im Landtag, sondern auch Inhaber einer Professur für „Deutsche Geschichte und Staatsbürgerkunde“ war. Der Begriff „Gesellschaftslehre“ sollte sich vielleicht von der Denomination eines weiteren Kollegen, Theodor Geiger, unterscheiden, der eine Professur für Soziologie wahrnahm. Beide waren, wie auch für Hitler vorgesehen, an der Kulturwissenschaftlichen Abteilung und dort insbesondere in der Lehrerbildung tätig. Aus dem Aktenvermerk geht ferner hervor, dass er an eine Professur für politische Bildung „des heranwachsenden Geschlechts“ im Sinne der NS-Ideologie dachte. Hitlers „Hauptwerk“ „Mein Kampf“, man glaubt es kaum, schien ihm dafür die notwendige Qualifikation zu liefern. Im Sinne eines sozialdarwinistischen Politikverständnisses, dass Politik auf Kampf beruht, war Klagges allerdings konsequent. Es ist nicht auszuschließen, dass Klagges mit der „Hitler-Professur“ nicht nur eine Scheinernennung vorhatte, sondern diese sogar ernst gemeint war als Nukleus einer Lehrerbildung im Sinne des Nationalsozialismus, deren Ort die wenige Jahre später gegründete Bernhard-Rust-Hochschule sein sollte. Eine pikante Fußnote der Geschichte liefert der Umstand, dass deren erster Direktor, der Pädagoge Friedrich Berger, auf die für Hitler vorgesehene und dann vakant gebliebene Professur berufen wurde.

¹⁴ Nds. Staatsarchiv 12 Neu 7, III Nr. 235 a; Ernennungsurkunde in Overesch 1981, S. 57.

¹⁵ 1974 wird Klagges den Begriff im Untertitel seiner Schrift „Eine Tugend gegen alle Todsünden. Das organische Weltbild“ wiederverwenden. Vgl. zu Klagges Klein 2014; German 1995.

Als der überhastet und dilettantisch eingefädelte Berufungsversuch ruchbar wurde, stieß er auf den heftigen Widerstand des bürgerlichen Koalitionspartners. Küchenthal weigerte sich, die ihm von Klagges vorgelegte Ernennungsurkunde gegenzuzeichnen. Für die Opposition im Landtag wie für die Presse war der „Professor Hitler“ ein gefundenes Fressen. Hitler war blamiert, Klagges hatte gegenüber der Parteiführung sein Gesicht verloren. Weil die wegen des nahenden Wahltermins zeitlich drängende Einbürgerung am Widerstand von Hochschule und Koalitionspartner zu scheitern drohte, schalteten sich die Berliner Parteizentralen von NSDAP, DNVP und DVP ein, um durch Abgesandte und eifriges Telefonieren Druck auf die Braunschweiger Parteifreunde auszuüben. Diese hatten offenbar zunächst nicht begreifen wollen, dass es bei der Kandidatur Hitlers um die „große Politik“, nämlich die Strategie und Taktik zum Sturz von Reichskanzler Brüning und die Etablierung einer neuen Regierung der nationalen Konzentration mit oder ohne Hitler an der Spitze ging.

Deshalb sind bei der Einbürgerung neben den braunschweiger Politikern die Motive und Aktivitäten der berliner Parteiführer (Hugenberg, Quaat, Seldt, Duesterberg, Dingeldey, Goebbels, Göring, Strasser u.a.) und die Motive und Aktivitäten der Akteure auf Seiten der Hochschule zu berücksichtigen. Die Reaktion auf die Berufungsabsicht reichte an der TH von Belustigung bis zur Empörung und stieß auf den einhelligen Widerstand von Rektor, Senat und nahezu der gesamten Professorenschaft, weil Klagges meinte, die Hochschule bei der Berufung einfach übergehen zu können, und weil ein „Professor Hitler“ ohne jegliche akademische Qualifikation als eine Zumutung empfunden wurde, die die Hochschule dem Gespött der akademischen Zunft ausgesetzt hätte. Von der Unruhe in der Studentenschaft, die eine „Vorlesung“ Hitlers ausgelöst hätte, ganz zu schweigen.¹⁶ Die Gerüchte um eine Berufung müssen wochenlang das Top-Thema der Hochschule gewesen sein, zumal es durch entsprechende Presseberichte immer wieder befeuert wurde. Auf dieser Bühne spielte Roloff seine zweite Rolle, da er nicht nur politischer Anführer der BEL im Landtag, sondern als Professor mit einer zudem konkurrierenden Denomination auch in der Universität einflussreich war.

Pikant ist, dass Roloff durch seine Kooperation mit den Nazis im Landtag gleich mehrfach durch Beförderung an der Hochschule profitierte. Er war zwar gegen einen Professor Hitler, dem Regierungsrat Hitler gab er am Ende grünes Licht. Leider sind die Universitätsakten in Sachen Hitler-Proessur wenig ergiebig. Da es keine Ernennung gab, wurde an der TH auch keine Personalakte angelegt. Die Absicht hat sich nur in den Akten des Ministeriums niedergeschlagen. Dazu

¹⁶ Vgl. dazu die Dokumentation „Die Vorgänge an der Technischen Hochschule in Braunschweig“. In: Mitteilungen 1933.

gehören die Aktennotiz von Klagges, die Ernennungsurkunde, die Küchenthal nicht gegenzeichnen wollte, und die Rechtsgutachten der Beamten aus Klagges Ministerium, um die Vorbehalte des Verfassungsreferenten Kaisenberg aus dem Reichsinnenministerium gegen ein „Scheingeschäft“ auszuräumen. Lediglich ein einziges Senatsprotokoll vom 23.3.1932 erwähnt den Vorgang indirekt unter „Verschiedenes“ (vgl. Pöls 1974). Die Personalakten im Umkreis der beabsichtigten Berufung (Riekel, dessen vakante Stelle Hitler bekommen sollte; Berger, der auf die Riekel-Stelle am Ende berufen wurde; Roloff, der zweimal während der Koalition aus BEL und NSDAP befördert wurde) erlauben nur indirekte Schlüsse.¹⁷ Dies zeigt einmal mehr, dass auch ein Aktenstudium nur begrenzten Wert hat, wenn das Wichtige nur mündlich verhandelt wird und bewusst keinen schriftlichen Niederschlag findet.

Um die Vorgänge im Kontext der Einbürgerung des Frühjahrs 1932 in ihrer tieferen Bedeutung zu erfassen, müssen also die Wechselwirkungen zwischen den, aber auch innerhalb der drei Ebenen aus Reich, Land und Hochschule berücksichtigt werden. Berücksichtigt werden müssen ferner die widerstrebenden Interessen zwischen der NSDAP und ihren bürgerlichen Koalitionspartnern, zwischen den bürgerlichen Partnern untereinander, in Braunschweig repräsentiert durch die DNVP und die DVP, und sogar innerhalb der NSDAP sowohl auf Reichs- wie auf Landesebene. In Braunschweig waren Minister Klagges und Landtagspräsident Zörner die Protagonisten, die den radikalen und den moderaten Flügel der Partei repräsentierten, wobei sich Klagges zunehmend dem Druck noch radikalerer Parteigenossen wie Alpers und Jeckeln ausgesetzt sah. Es gibt zumindest Indizien, dass Zörner ein doppeltes Spiel gespielt hat. Nach der gescheiterten Verbeamtung Hitlers via Professur wurde er zwar initiativ und half, die Regierungsrat-Variante einzufädeln, hat aber möglicherweise in seiner Eigenschaft als Landtagspräsident auf dem Wege der Geschäftsordnung mitgewirkt (oder zumindest nicht verhindert), dass die Verbeamtung und damit Einbürgerung Hitlers womöglich zu spät gekommen wäre, um die Nominierungsfrist für die Kandidatur zur Reichspräsidentenwahl noch einzuhalten, weil die Verbeamtung Hitlers auch eine haushaltsrechtliche Dimension hatte, die der Beschlüsse von Haushaltsausschuss und Landtag bedurfte. Jedenfalls wurde ihm das von Klagges im November 1933 in einem Parteigerichtsverfahren¹⁸ vorgeworfen. Mindestens hat er mit Klagges um die Gunst Hitlers konkurriert, die sich durch Verdienste um die Verleihung der Staatsbürgerschaft gewinnen ließ.

Im Februar 1932 wurde demnach im Land Braunschweig die Weiche auf dem Weg Hitlers zur Macht gestellt. Ohne seine Verbeamtung hätte es keine Einbür-

¹⁷ Sie sind einsehbar im Archiv der TU Braunschweig.

¹⁸ Nds. Staatsarchiv, Eröffnungsbeschluss vom 14.11.1933, Seg. 6.

gerung und ohne Einbürgerung keine Kandidatur zum Reichspräsidenten geben können. Ohne die drohende Kandidatur Hitlers hätte es womöglich keine zweite Kandidatur des altersmüden Hindenburg gegeben, da nur dieser nach Ansicht Brüning und der SPD noch in der Lage war, Hitler in die Schranken zu weisen. Nur so erklärt sich die verquere Gefechtslage gegenüber Hindenburgs erster Wahl 1925, bei der er noch von den Parteien der Weimarer Koalition als konservativer Gegner bekämpft worden war. Ohne eine Kandidatur Hindenburgs hätte es vielleicht ein gemeinsamer Kandidat der Weimarer Koalition geschafft, der sicher keinen Hitler zum Reichskanzler gemacht hätte. Ohne Hitlers Kandidatur hätte es auch keine Klärung der verworrenen Gefechtslage auf Seiten der nationalen Rechten gegeben, die zum Auseinanderbrechen der „Harzburger Front“ führte. Deren Tagung konnte nur im braunschweigischen Bad Harzburg stattfinden, weil Klagges als Innenminister sich über das Aufmarschverbot im benachbarten Preußen hinwegsetzen konnte. Hitler war keineswegs bereit, sich in eine Front einzureihen, gar den nützlichen „Trommler“ für die alte, nationalkonservative Elite zur Restauration der Zeit vor Weimar abzugeben, sondern wollte alleiniger Führer in einem „Post-Weimarer-System“ sein, der nur und wirklich nur aus taktischen Gründen die zeitweise Kooperation mit den Nationalkonservativen suchte. Ohne seine Präsidentschaftskandidatur und die propagandistische Wirkung der zwei Wahlgänge wäre der Aufstieg Hitlers im Jahre 1932 weniger fulminant gewesen, der sich in einer nahezu ununterbrochenen Kette von 15 Wahlen (2 × Reichspräsident, 2 × Reichstag, 9 × Landtage und 2 × Gemeinden) manifestierte. Im zweiten Wahlgang erreichte er mit 13,4 Mio. Stimmen bereits im Frühjahr den Mobilisierungsgipfel der NSDAP, der in der Reichstagswahl vom 31.7.1932 kaum überboten wurde. Ohne die Kandidatur als Teil des Legalitätskurses, den er im Reichswehrprozess als Zeuge am 25.9.1930 beschworen hatte¹⁹, hätte es auch nicht die innerparteiliche Klärung auf Seiten der NS-Führung über Strategie und Taktik zur Machtergreifung gegeben. Diese führte zum Ausschluss des sozialistischen Flügels (Strasser im Reich, Franzen und Groh in Braunschweig) zugunsten des nationalen Flügels und am 30.6./1.7.1934 im Zuge des sog. Röhm-Putsches zur Entmachtung der SA bzw. Ermordung ihrer Führung zugunsten der SS. Auch in Braunschweig übernahm die SS, angeführt von Alpers, das Kommando. Klagges brachte es bis zum Obergruppenführer.

An dieser Stelle darf der Hinweis auf die strukturellen Rahmenbedingungen nicht fehlen. Zweifellos hat der Ausbruch der Weltwirtschaftskrise am 29.10.1929, die seitdem rasant steigende Arbeitslosigkeit, die im Frühjahr 1932 ihren Höhepunkt erreicht hatte, und hat die Brüning'sche Austeritätspolitik im Umgang mit der Krise der NSDAP den Zulauf nicht nur bei Arbeitslosen, sondern auch bei einer verunsicherten bürgerlichen Wählerschaft gebracht. Das galt gerade auch für das

¹⁹ Vgl. dazu das Droste Geschichts-Kalendarium, Bd. I, S. 489.

industriell und protestantisch geprägte Land Braunschweig. Aber – in den USA, in Großbritannien oder in Frankreich, die gleichermaßen von der Krise betroffen waren, ist kein Hitler an die Macht gekommen. Der Faschismus in Italien hatte sich bereits vor der Weltwirtschaftskrise etabliert. Also muss es in Deutschland besondere Umstände gegeben haben, die den phänomenalen Aufstieg Hitlers erklären. Der Propaganda-Erfolg der zwei Wahlgänge zum Reichspräsidenten, die zahllosen Wahlkampfauftritte, die sogar per Flugzeug absolviert wurden („Hitler über Deutschland“), und die breite Akzeptanz im nationalkonservativen Lager, die im nur in Braunschweig möglichen Aufmarsch der „Harzburger Front“ (10./11.10.1931) zum Ausdruck kam, wie die sog. Hitler-Tage in Braunschweig eine Woche später (17./18.19.1931) mit dem Aufmarsch von 100.000 SA-Männern vor dem Braunschweiger Schloss, die das Bürgertum gleichermaßen faszinierte wie einschüchterte, machen den persönlichen Faktor aus. Dass der Rückgang der Stimmen für die NSDAP in der Novemberwahl 1932 den Abstieg anzeigte, ist strukturell zu erklären, weil es erste Anzeichen für ein Abflauen der Weltwirtschaftskrise und eine Vereinbarung über einen Verzicht oder eine Reduzierung der Reparationen gab. Brüning's Strategie, Hitler auszusitzen, hätte aufgehen können, wenn er mehr Zeit bekommen hätte. Der rasante Aufstieg Hitlers hat ihm diese Zeit genommen. Dank seiner Erfolge des Jahres 1932 konnte er so viel Druck aufbauen, war er bereits so mächtig, waren seine Gegner bereits so eingeschüchtert, dass die Hofkamarilla, die Hindenburg umgab, nicht mehr glaubte, an ihm vorbeigehen zu können.

Die Kandidatur hatte Hitler zudem eine weitere Option zur Macht eröffnet. Zuvor bestand die Alternative in einem gewaltsamen Putsch, gestützt auf eine SA, die der Reichswehr zahlenmäßig überlegen war, für den es Belege wie die „Boxheimer Dokumente“ (Best 1932) und die bei den Hausdurchsuchungen zwischen den beiden Wahlgängen sichergestellten Unterlagen zur Aufstellung von Alarmeinheiten gibt, und einem Legalitätskurs, der auf die Erringung parlamentarischer Mehrheiten in Koalition mit den bürgerlichen Parteien setzte. Mit der Option, selber Präsident zu werden und selber mit Notverordnungen zu operieren, eröffnete sich eine dritte Alternative. Hitler hätte im Falle seines Wahlsieges nicht mehr darauf hoffen müssen, den Brüning zu machen, indem er von Hindenburg berufen wurde, sondern konnte selber Hindenburg sein, um seinen eigenen Brüning, etwa einen verdienten Parteigenossen wie Frick, zum Reichskanzler zu ernennen. Die große Enttäuschung nach dem ersten Wahlgang, die von Goebbels im Tagebuch ungeschminkt zum Ausdruck gebracht wird, deutet darauf hin, dass Hitler mit einem Sieg gerechnet hat. Dass die SPD-Wählerschaft so geschlossen für Hindenburg stimmte, hatte er nicht erwartet. Die Verschmelzung von Reichskanzler und Präsident zum „Führer“, wie nach Hindenburgs Tod geschehen, hätte auch andersherum vollzogen werden können.

Die Ereignisse im Kontext der Braunschweiger Einbürgerung lesen sich auch als ein Lehrstück zu einem Zeitpunkt, als die Lehren noch hätten gezogen werden

können. Die NSDAP demonstrierte in Braunschweig seit den Landtagswahlen vom 14.9.1930 und der Regierungsbildung am 1.10.1930 in einer Koalition mit der BEL ihre Doppelstrategie – einerseits die Straße zu mobilisieren und so ihre Gegner auf der Linken wie ihre bürgerlichen Partner auf der Rechten einzuschüchtern und andererseits über die Teilhabe an der Macht die Gewaltakte der Straße immer wieder zu decken, zu verharmlosen oder gar zu legitimieren. Wenn es die akute Situation gebot, war man sogar bereit, auf Gewaltakte ganz zu verzichten und strikt legal zu verfahren. So lässt sich das Auf und Ab im Braunschweiger Hochschulkonflikt (Pöls 1974) oder das Auf und Ab in den diversen Braunschweiger Koalitionskrisen erklären, die mehrfach an den Rand des Bruchs der Koalition und sogar darüber hinaus geführt haben.

Zörner als Landtagspräsident exerzierte vor, was Göring als Reichspräsident nachvollziehen sollte – nämlich, wie sich dieses Amt, gestützt auf die Geschäftsordnung, dazu nutzen ließ, den Gegner auszumanövrieren und knappe Mehrheiten im Parlament zu sichern. Einer oder gar beide KPD-Abgeordneten im Landtag wurden mehrfach von Zörner von den Sitzungen ausgeschlossen. Obwohl die bürgerlichen Steigbügelhalter in Braunschweig das alles mit wachsendem Unmut und deutlichen Widerwillen registrierten, dies auch den Berliner Parteizentralen nicht verborgen bleiben konnte, haben sie mitgespielt und sind immer wieder eingeknickt. Dass sie immer wieder einknickten, lag am Druck der „Straße“, die von der SA beherrscht wurde, am Druck der Berliner Parteizentralen, insbesondere Hugenbergs auf die Braunschweiger DNVP, der von einer Harzburger Front träumte, und an der Angst vor Neuwahlen, die der NSDAP 1930–1932 immer neue Wahlsiege und immer neuen Zulauf für Partei und SA eingebracht hatten. Die Drohung mit Parlamentsauflösung und Neuwahlen war die stärkste Karte auf Reichs- und Landesebene, die die NSDAP in dem Machtpoker des Jahres 1932 zu ziehen vermochte. Auch die mit der SA rivalisierenden Stahlhelmführer waren Hitler nicht gewachsen. Der Stahlhelm hätte, gerade auch in Braunschweig, ein Gegengewicht zur SA bilden können. Die Stahlhelmführer Seldte und Duesterberg waren sich nicht einig. Duesterberg kandidierte im 1. Wahlgang und nahm Hitler (und Hindenburg) Stimmen weg. Seldte sollte 1933 als Arbeitsminister in das Kabinett Hitler eintreten. Die Opposition des Stahlhelms in Braunschweig war zwar entschiedener als in Berlin und mündete am 27.3.1933, als es bereits zu spät war, im sog. „Stahlhelmputsch“. In letzter Minute versuchte der Braunschweiger Stahlhelmführer Werner Schrader die Gegenmobilisierung, indem er Reichsbannerleute und sogar Kommunisten dazu aufrief, die Reihen des Stahlhelms aufzufüllen, die sich zu diesem Zweck tatsächlich im Gebäude der AOK, der sog. Stahlhelmkaserne, eingefunden hatten.

Warum hat die BEL (11 Sitze) überhaupt mit der NSDAP koalitiert? Warum hat nicht zumindest die DVP, als es zu einer bürgerlichen Alleinregierung nicht reichte, weil die NSDAP 1930 mit überraschenden 9 Sitzen in den Landtag einzog und dennoch die Koalition mit 20 von 40 Sitzen keine Mehrheit hatte, nicht die Seiten

gewechselt und eine Koalition mit der SPD geschlossen? Diese hätte mit 17 + 4 Stimmen über eine Mehrheit im Landtag verfügt. Sie war vermutlich 1930 noch gefangen von dem Ziel, die SPD unter allen Umständen abzulösen und Verwaltung, Polizei, Schulen und die Hochschule von SPD-Mitgliedern, dissidenten Lehrern und Reformpädagogen zu säubern. Dazu hätte es aber der Besetzung der Ministerien für Inneres und Volksbildung bedurft, denn nur in diesen Ressorts waren die Länder autonom. Aber genau diese beiden Ressorts hatte sich die NSDAP in den Koalitionsverhandlungen gesichert, ganz wie es im zitierten Hitlerbrief von 1930 formuliert worden war. Die DVP, die ein drittes Ministerium für sich erhoffte, war leer ausgegangen und konnte noch nicht einmal den Posten des Parlamentspräsidenten behaupten, der eigentlich der SPD als stärkster Fraktion und nicht der NSDAP als drittstärkster Fraktion zustand.

Spätestens nach dem Rücktritt des ersten NS-Ministers Anton Franzen am 27.7.1931 und der anschließenden Regierungskrise wäre noch die Zeit und die Möglichkeit zu einem Kurswechsel gewesen. Wieder muss der DVP, die in der Braunschweiger Koalition auf dem „linken“ Flügel stand, Versagen vorgeworfen werden, weil sie eine neue Mehrheit hätten bilden können, wie das auf Reichsebene in der Großen Koalition (Stresemann, Curtius) bis zum März 1930 und auf Landesebene in Thüringen bis zum April 1931 möglich war (Dickmann 1966). Dort hatte ein Zusammengehen von SPD und DVP sogar zum Sturz des NS-Innenministers Frick geführt. Gerade der Versuch Fricks, Hitler zum Gendarmeriekommissar zu ernennen und so einzubürgern, hatte eine Rolle beim Bruch der thüringer Koalition gespielt, der die DVP angehörte. Vermutlich war es in Braunschweig die Furcht, bei einer drohenden Landtagsauflösung und Neuwahl in die Bedeutungslosigkeit abzustürzen, die die DVP bewogen hat, immer wieder nachzugeben. Auch dem Abgeordneten der Staatspartei Walter Schrader²⁰ und den beiden KPD-Abgeordneten ist Mitverantwortung anzulasten, da angesichts der knappen Mehrheitsverhältnisse im Landtag mehrfach eine einzige Stimme gereicht hätte.

Der 15.9.1931, der Tag, an dem Klagges mit 20:19 Stimmen im Landtag zum Innen- und Volksbildungsminister als Nachfolger von Franzen gewählt wurde, beendete nicht nur die Regierungskrise, sondern muss als Tag der kleinen „Macht-ergreifung“ in Braunschweig gewertet werden. Klagges vertrat gegenüber Franzen den radikalen Flügel der NSDAP und war, anders als sein Vorgänger, bereit, immer wieder die Grenze der Legalität zu überschreiten. Während Franzen sogar den Mut hatte, Hitler offen die Stirn zu bieten, verstand sich Klagges als Hitlers Statthalter, der im Kleinen in Braunschweig vormachte, was Hitler im Großen

²⁰ Nicht zu verwechseln mit dem Stahlhelmführer Werner Schrader, der sich später dem Widerstand anschloss (Roloff 1997).

in Berlin nachvollziehen sollte. Und er verstand sich als Erfüllungsgehilfe, der die strategische Bedeutung der braunschweiger Regierungsbeteiligung auf dem Weg zur Macht erkannte und alles daran setzte, seinem Führer die ersehnte Staatsbürgerschaft zu verschaffen.

Zu den Facetten des Gesamtbilds gehören aber auch die kleinen persönlichen Interessen, die die beteiligten Akteure im Schatten der großen Politik verfolgten. Klagges und Zörner buhlten um die Gunst Hitlers und gerieten darüber in einen lokalen Machtkampf, bei dem Zörner den Kürzeren zog und Klagges dennoch die Gunst Hitlers verspielte. Zörner wurde dafür mit dem Posten des Dresdener Oberbürgermeisters abgefunden (Herrmann 2000). Die jüngeren, noch radikaleren Parteiaktivisten wie Alpers, Jeckeln und Schmidt-Bodenstedt machten genau die Parteibuchkarriere, die sie zuvor den SPD-Beamten vorgeworfen hatten, wobei sie nicht zögerten, mit immer radikaleren Mitteln alle Gegner auszuschalten bzw. gewaltsam zum Mandatsverzicht zu zwingen. Schmidt-Bodenstedt, der von Alpers und Jeckeln in Klagges Gunst verdrängt wurde, durfte stattdessen Karriere bei Bernhard Rust in dessen Berliner Ministerium machen.

Besonders Küchenthal hatte immer sein persönliches Wohl im Auge, wenn es darum ging, keine Verantwortung zu übernehmen bzw. pekuniär abgefunden zu werden. Als Küchenthal als Vorsitzender des Staatsministeriums durch Klagges ersetzt wurde, wurde er mit dem Posten des Staatsbankpräsidenten abgefunden, damals der bestbezahlte Posten im Freistaat überhaupt. Seine eigene Ernennungsurkunde hat er zusammen mit Klagges unterzeichnet. Roloff ist ein delikater Fall, weil er eine Doppelrolle spielte und sich seine politische Koalitionsbereitschaft mit der mehrfachen Beförderung als TH-Professor belohnen ließ. Eventuell hatte er sogar insgeheim das Interesse, dass die durch die Entlassung des Reformpädagogen und SPD-Mitglieds Riekel frei gewordene und für Hitler vorgesehene Stelle deshalb nicht mit Hitler besetzt wurde, weil sie höher dotiert war als seine eigene und er, wenn nicht auf dessen Professur, so doch auf die Riekelsche Gehaltsspitze reflektierte. Jedenfalls wurde er am 10.6.1932 von Klagges zum Ordinarius befördert.²¹ Auch Boden musste zwischenzeitlich um seine Stelle als Gesandter fürchten, weil Hitler dafür ins Spiel gebracht wurde. Am Ende hat er aus seiner Kooperation einen allerdings geringen Gehaltsvorteil gezogen, weil eine zuvor gestrichene Zulage ihm wieder zugesprochen wurde. Carl Heimbs, der Schwager Zörners, war auf den ersten Blick nur Randfigur, aber einmal an entscheidender Stelle am 17.2.1932 bei einer abendlichen Runde im Braunschweiger Parkhotel mit Hans Frank, dem

²¹ Der auf die für Hitler vorgesehene Riekel-Professur am Ende berufene Berger wird nur zum a.o. Professor ernannt ohne die Riekelsche Gehaltsspitze. Vgl. dazu die Personalakten Riekel, Roloff und Berger im Archiv der TU Braunschweig.

Rechtsberater Hitlers, und seinem Schwager Zörner, involviert.²² Als Vertreter der braunschweigischen Wirtschaft erhoffte er sich vielleicht Vorteile durch die in Aussicht gestellte Lobbyisten-Tätigkeit. Angeblich wollte sich Hitler für die braunschweiger Industrie, als Autonarr besonders für den Fahrzeugbau (Büssing) und den Unterharzer Erzbergbau, einsetzen. Angesichts der hohen Arbeitslosigkeit, die 1932 ihren Höhepunkt auch im Land Braunschweig erreicht hatte, war diese Aussicht für die DVP, die sich als Interessenvertreterin der Industrie verstand, vielleicht ein verlockender Strohalm.

In seiner Eigenschaft als Regierungsrat ist Hitler nicht als Wirtschaftsförderer tätig geworden, obwohl er gerade zu Großindustriellen (Fritz Thyssen und Co.) gute Beziehungen hatte. Dass sich die Einbürgerung Hitlers für Braunschweig in dieser Hinsicht dennoch ausgezahlt hat, diese These ist nicht ganz abwegig. Immerhin haben Land und Region in der NS-Zeit einen außerordentlichen Modernisierungsschub erfahren (Reichswerke, VW-Werk, NIEMO, Vorwerk, Autobahnanschluss, Hafen am Mittellandkanal, Stiechkanal nach Salzgitter, Flughafen in Waggum, Forschungsinstitute der TH im Flugzeugbau, Luftflottenkommando, Stadt des Kdf-Wagens, Herman Göring-Stadt, Mustersiedlungen in Braunschweig und vieles mehr). Ohne Kenntnis und Zustimmung Hitlers ist das alles weder geplant noch gebaut worden. Insbesondere für den Komplex VW-Werk und Wolfsburg hat sich Hitler persönlich verantwortlich gefühlt. Der Name „Stadt des Kdf-Wagens“ war nur ein Provisorium, der später als Untertitel dienen sollte. Viele Indizien sprechen dafür, dass der endgültige Name entweder „Adolf Hitler-Stadt“ lauten sollte oder schon damals „Wolfsburg“ in Anlehnung an Hitlers Deck- bzw. Kosenamen „Wolf“ geplant war.²³ Vielleicht wollte er sich nachträglich dafür bedanken, dass Braunschweig ihn eingebürgert und so den Makel des Staatenlosen getilgt hat, der zum Führer von Volk und Vaterland so gar nicht passen wollte? Insofern bekommt Hitlers Bemerkung vom Januar 1945 in einer Lagebesprechung der Reichskanzlei, als er sich an seine Zeit als Braunschweiger Regierungsrat erinnert und er Görings Intervention, dass er das Amt nicht ausgeübt habe, mit dem Satz pariert „Sagen Sie das nicht. Ich habe dem Land großen Nutzen gebracht“ eine durchaus korrekte Bedeutung (vgl. dazu Lent 2010).

Auch innerhalb der Hochschule gab es Gerangel um die durch die Säuberung freiwerdenden Stellen angesichts der krisenbedingt immer klammen Finanzlage des Freistaats. Sie sollten zwar von Nazis besetzt werden, die aber untereinander in Konkurrenz lagen. Das galt für Berger und dessen verhinderte Beförderung, der am Ende die Riekel-Professur bekam, und galt vor allem für das Personenkarussell

²² Vgl. dazu Einbürgerung, Professor Hitler. In: Der SPIEGEL 15. 1961, 40. S. 43–46 sowie Heim ins Reich. Leserbriefe von Heimbs, Roloff u.a. In: Der SPIEGEL 15. 191, 42. S. 16–20.

²³ Vgl. dazu Wohlfromm/Wohlfromm 2001. Das Buch genügt zwar keinen strengen wissenschaftlichen Ansprüchen, Vertritt aber eine plausible, durch Indizien gestützte These.

nach Gründung der Hermann-Rust-Hochschule 1937, als die Lehrerausbildung, die erst 1927 in die TH integriert worden war, wieder aus der TH herausgenommen wurde. Professoren wie Roloff wollten den Statusverlust der Versetzung an eine ideologische NS-Kaderschmiede für Volksschullehrer nicht mitmachen.

Deshalb sind die Personalakten und Nachlässe, die im Niedersächsischen Staatsarchiv Wolfenbüttel, im Stadtarchiv Braunschweig, im Stadtarchiv Wolfsburg, im Archiv der TU Braunschweig und im Braunschweigischen Landesmuseum aufbewahrt werden, doch wichtige Quellen, sofern man sie im Kontext der übrigen Ereignisse zu lesen weiß. Die braunschweiger Archive sind von den Autoren der großen Hitlermonographien nicht ausgewertet worden. Am besten, man liest alles zweimal, weil auch ein auf Quellenstudium gestützter Erkenntnisprozess ein iterativer Vorgang ist.

Wenig bis gar nicht berücksichtigt in der Literatur wird, welche Kontroversen die Einbürgerung **nach** 1945 unter den 1932 beteiligten Akteuren anlässlich der diversen Entnazifizierungsverfahren ausgelöst hat. Alle Überlebenden, abgesehen von Klagges, der sich in seinen Prozessen als unbelehrbar erwies²⁴, suchten sich zu entlasten bzw. gegenseitig die Verantwortung zuzuschieben. Die Alliierten haben die Einbürgerung nämlich als wesentliches Kriterium genutzt, in welche Belastungskategorie die Beteiligten einzustufen waren. Schmidt-Bodenstedt, eine zeitlang die rechte Hand von Klagges und Parteibuchbeamter per excellence, der es vom kleinen Hilfslehrer in der Volksschule der Gemeinde Bodenstedt bis zum Ministerialdirigenten bei Bernhard Rust in Berlin brachte, hat glattweg jegliche Kenntnis bestritten und Alpers als den eigentlichen Scharfmacher bezeichnet. Auf bürgerlicher Seite standen sich Küchenthal und Roloff als Hauptantagonisten in der Frage der Verantwortung für die Einbürgerung gegenüber. War es Küchenthal, der als Ministerpräsident die Ernennungsurkunde Hitlers unterschrieb, oder Roloff, der als Fraktionsführer den politischen Beschluss herbeiführte? Roloff jun. hat nach dem Tod des Vaters, auch wenn er sich sehr kritisch mit ihm auseinandersetzt, die Kontroverse mit Küchenthal fortgesetzt. Letzterer hat in seinen „Erinnerungen“ mehrere hundert Seiten in 4 Bänden und diversen Neuauflagen darauf verwendet, sich von jeglicher Mitverantwortung freizusprechen (Küchenthal 1969–1973). Auch Boden, Brandes und Heimbs suchten in diversen Aktenvermerken, Vernehmungen und Stellungnahmen die Bedeutung ihrer Mitwirkung herunterzuspielen bzw. andere zu belasten. 1961, als das Buch von Roloff jun. „Bürgertum und Nationalsozialismus 1930–1933. Braunschweigs Weg ins Dritte Reich“ erschien, hat der SPIEGEL sich in zwei Heften (Nr. 40 und Nr. 42) dem Thema gewidmet. Einig waren sich alle Beteiligten darin, die politische Bedeutung der Einbürgerung Hitlers überhaupt in Frage zu stellen. Dies kontrastiert in aller Schärfe mit den

²⁴ Vgl. dazu dessen „Stellungnahme zu dem Urteil des Schwurgerichts Braunschweig vom 5.4.1950 gegen Dietrich Klagges“ MS 381 S. 62 Nds FB2 Nr. 800/801.

zeitgenössischen Ausführungen aus deren Anlass, in denen diese Bedeutung von Klagges, Roloff sen., Schmalz, Goebbels u.a. besonders hervorgehoben wird. Im Licht der Äußerungen nach 1945 werden viele Details der Ereignisse aus den Jahren 1930–1932 sehr viel klarer.

Eine für die Bewertung der Einbürgerung zentrale Frage, die in der Literatur kaum gestellt und wenn, nur unbefriedigend beantwortet wird, lautet: Warum zögerte Hitler so lange, bis er sich zur Kandidatur entschloss? War es die Furcht vor der Blamage, gegen den Helden des Ersten Weltkriegs zu verlieren? War es die Furcht vor der noch größeren Blamage, die Einbürgerung versagt zu bekommen und gar nicht kandidieren zu dürfen? War es die Furcht, dass seine Staatenlosigkeit und damit seine obskure Biographie zu einem öffentlichen Thema wurden? Immerhin hatte Hitler reichlich Erfahrung mit dem Spott von Presse und Opposition, als die Details der gescheiterten Einbürgerungsversuche in Thüringen (Gendarmeriekommissar von Hildburghausen) bekannt geworden waren. War es vielleicht die latent immer noch vorhandene Furcht vor der Ausweisung als Staatenloser? Scheute er das Dilemma, das aus der Einbürgerung über den § 14 resultierte? Wenn er nicht die Wahl gewann, hätte er eigentlich das Amt des Regierungsrats ausüben müssen, um nicht aufgrund der offensichtlichen Scheinernennung das Risiko der neuerlichen Aberkennung der Staatsbürgerschaft einzugehen. Mindestens drohte die Entlassung aus dem Braunschweigischen Staatsdienst wegen offensichtlicher Berufsverweigerung. Wäre am Ende, wenn es schief gegangen wäre, nur noch, wie bereits 1923 vergeblich in München versucht, der Weg über den Staatsstreich, wie von der SA-Führung gefordert, geblieben? Zögerte er, weil er auch vor dieser Konsequenz, die seinen Legalitätskurs und damit seinen Führungsanspruch in Frage gestellt hätte, bzw. vor einem neuerlichen Scheitern Angst hatte?

Konnte er in der kritischen Phase der Jahre 1930–1932, als die Partei einerseits von Erfolg zu Erfolg eilte, aber dennoch ausgebremst wurde und Rückschläge hinnehmen musste wie z.B. die Niederlage im 1. Wahlgang zum Reichspräsidenten, der SA wirklich sicher sein? Seine Taktik des Legalitätskurses stieß bei Stennes, Röhm und Strasser auf Widerstand. Insbesondere die Polizeiaktion gegen die SA in Preußen am 17.3.1932 in der heiklen Phase zwischen den beiden Wahlgängen und das Verbot von SA und SS im ganzen Reich vom 13.4.1932 hat die Partei in eine ernste Krise gestürzt, in der es Hitler nur mit Mühe gelang, die SA ruhig zu stellen. Es gibt zumindest Indizien, dass der Aufstand als Alternative zur Präsidentschaftskandidatur ernsthaft diskutiert und sogar organisatorische Schritte unternommen wurden. Oder zögerte er, weil er ahnte, dass die innerparteiliche Entwicklung auf diesen Punkt zusteuern könnte und er nicht sicher war, ob er die Oberhand behalten würde. Nicht umsonst wurden seine Widersacher in der SA später anlässlich des „Röhmputsches“ von der SS umgebracht. Hitler erscheint jedenfalls zwischen dem Herbst 1930, als das Thema Einbürgerung die NS-Führung immer stärker beschäftigte und dem 7.1.1932, als die Frage der Kandidatur und damit auch der Einbürgerung akut und dennoch bis zum 19.2.1932 immer wieder

verschleppt wurde, nicht als der machtvolle und zu allem entschlossene Führer, als der er sich in seinen öffentlichen Propaganda-Auftritten gerierte. Hitler ist zögerlich, scheint täglich zu schwanken, so dass nicht nur die Gauleiter, sondern selbst Goebbels anfängt, an seinem Führer zu zweifeln.

Und schließlich offenbaren die Umstände der Ernennung nicht nur deren Farce, bei der alle Akteure bis ins kleinste Detail den legalen Anstrich zu wahren suchen, obwohl der „Lug und Trug“, wie später von Boden bestätigt, allen klar gewesen sein muss. Sie offenbaren auch den von Vorurteilen und Minderwertigkeitskomplexen durchsetzten Kleinbürger Hitler, der sich mal als „Schriftsteller“ und mal als „Kunstmaler“ bezeichnet, der in Wirklichkeit aber ein bildungsferner, stellungs- und ausbildungsloser, gar staatenloser Autodidakt und sexuell verklemmter Bohemien ist, der in Wien im Männerasyl nächtigte, vom Verkauf selbstgemalter Postkarten lebte und sich in München in Schwabinger Kneipen und Bierkellern herumtrieb. Folglich wurde er von seinen nationalkonservativen Partnern nicht für voll genommen. Die Vorstellung, als Gendarmerie-Kommissar, als Professor, als Gesandter oder als Regierungsrat einer geregelten Tätigkeit nachzugehen, für die er keinerlei Qualifikationen und keine Laufbahnvoraussetzung aufzuweisen hatte, muss ihn abgeschreckt haben. Vielleicht war es auch die Scheu im Umgang mit den vielen Generälen, Ministerialbeamten, adeligen Gutsherren, Großindustriellen usw., mit denen er auf seinem Legalitätskurs notgedrungen Umgang pflegen musste und zu denen die obskure Biographie und der obskure familiäre Hintergrund des „böhmischen Gefreiten“ (so Hindenburg)²⁵ aus dem österreichischen Waldviertel so gar nicht passen wollte. Schon deshalb musste ihm die Harzburger Front oder der Düsseldorfer Industrieclub verhasst sein und musste er sich im Kreis der „alten Kämpfer“ aus dem Milieu der SA-Sturmlokale viel wohler fühlen.

Selbst für die interne Machtfrage zwischen dem sozialistischen und dem nationalen Flügel der NSDAP lieferte Braunschweig noch die Bühne für das Vorspiel auf dem Theater. Die Braunschweiger Koalitionskrise im Anschluss an den Rücktritt Franzens, der Hitler sogar nach dem Rücktritt die Stirn bot, als er, nur noch kommissarisch im Amt, zusammen mit Küchenthal die „Einministerverordnung“ unterzeichnete, die die NSDAP von der Regierung ausschloss, belegt die These. Franzen unterlief mit seiner Unterschrift das taktische Kalkül Hitlers, eine einmal errungene Machtposition um jeden Preis zu halten. Auch die diversen Konflikte innerhalb der Braunschweiger NSDAP - Klagges versus Zörner, Alpers (SS) versus Sauke (SA), Franzen/Groh versus Landtagsfraktion, Schmidt-Bodenstedt versus Alpers/Jeckeln – finden noch ihren Nachvollzug in den diversen Säuberungsaktionen innerhalb der Partei, nachdem die Macht errungen war.

²⁵ Hindenburg hatte offenbar das böhmische mit dem oberösterreichischen Braunau verwechselt.

Literatur

BEST, WERNER:wird erschossen. Die Wahrheit über das Boxheimer Dokument. Mainz: Selbstverlag des Verfassers 1932.

BRACHER, KARL DIETRICH: Die Auflösung der Weimarer Republik. Eine Studie zum Problem des Machtverfalls in der Demokratie. Mit einer Einleitung von Hans Herzfeld. Villingen: Ring 1964. 4. Aufl.

BRACHER, KARL DIETRICH: Die deutsche Diktatur. Entstehung, Struktur, Folgen des Nationalsozialismus. Köln: Kiepenheuer & Witsch 1976. 5. Aufl.

BULLOCK, ALAN: Hitler. Eine Studie über Tyrannei. Düsseldorf: Droste 1954.

DICKMANN, FRITZ: Die Regierungsbildung in Thüringen als Modell der Machtergreifung. Ein Brief Hitlers aus dem Jahre 1930. In: Vierteljahreshefte für Zeitgeschichte 14. 1966, 4. S. 454–464.

Droste Geschichts-Kalendarium: Chronik deutscher Zeitgeschichte. Politik – Wirtschaft – Kultur. Bd. 1: Overesch/Saal, Die Weimarer Republik. Bd. 2/I: Overesch/Saal, Das Dritte Reich 1933–1939. Düsseldorf: Droste 1982.

FEST, JOACHIM C. : Hitler. Eine Biographie. Frankfurt: Ullstein 1973.

GERMANN, HOLGER: Die politische Religion des Nationalsozialisten Dietrich Klagges. Ein Beitrag zur Phänomenologie der NS-Ideologie. Frankfurt: Peter Lang 1995. (stützt sich auf Klagges, Dietrich, Im Umgang mit Adolf Hitler, MS ca. 1970.)

GOEBBELS, JOSEPH: Vom Kaiserhof zur Reichskanzlei. Eine historische Darstellung in Tagebuchblättern. (Vom 1. Januar 1932 bis zum 1. Mai 1933). München: Franz Eher 1934.

GOEBBELS, JOSEPH: Die Tagebücher von Joseph Goebbels. Sämtliche Fragmente. Hrsg. von Elke Frölich. Teil I: Aufzeichnungen 1924–1941. Bd. 1: 27.6.1924–31.12.1930; Bd. 2: 1.1.1931–31.12.1936. München: K.G. Saur 1987.

HEIDEN, KONRAD: Der Fuehrer: Hitler's Rise to Power. London: Victor Gollancz 1944.

HERRMANN, CRISTEL: Oberbürgermeister der Stadt Dresden. Ernst Zörner und Stellvertreter Edmund Bühner. In: Dresdener Geschichtsbuch 6. 2000. S. 199–218.

HITLER: Reden, Schriften, Anordnungen. Februar 1923 bis Januar 1933. Hrsg. vom Institut für Zeitgeschichte. 6 Bde. + Ergänzungsband. München: K.G. Saur 1992-2003. Darin: Bd. IV: Von der Reichstagswahl bis zur Reichspräsidentenwahl Oktober 1930 – März 1932, Teil 3: Januar 1932 – März 1932. Hrsg. und kommentiert von Christian Hartmann. 1997; Bd. V: Von der Reichspräsidentenwahl bis zur Machtergreifung April 1932 – Januar 1933, Teil 1: April 1932 - September 1932. Hrsg. und kommentiert von Klaus A. Lankeit. 1996.

KAISENBERG, GEORG: Wählbar zum Reichspräsidenten ist... Was die Verfassung sagt. In: Vossische Zeitung vom 1.2.1932.

KERSHAW, IAN: Hitler. Bd. 1: 1889–1936. Bd. 2: 1936–1945. München: dtv 2002.

ULLRICH, VOLKER: Adolf Hitler. Biographie. Bd. 1: Die Jahre des Aufstiegs 1889–1939. Frankfurt: S. Fischer 2013.

KLAGGES, DIETRICH: Eine Tugend gegen alle Todsünden. Das organische Weltbild. Hrsg. von Andreas Bergeder. Bassum-Dimhausen: Alma 1974.

KLEIN, MALTE: Dietrich Klagges als völkischer Ideologe und nationalsozialistischer Politiker. MS 2014.

KÜCHENTHAL, WERNER: Etliche Erinnerungen aus der Zeit seiner Tätigkeit von 1925 ab als Braunschweigischer Staatsminister und Vorsitzender des Braunschweigischen Staatsministeriums, als Reichsfinanzbeamter und von 1933 bis 1944 als Präsident der Braunschweigischen Staatsbank in 4 Bänden. MS o.J. (1969, Nachträge 1970, 1971). Bd. I „Die Einbürgerung Hitlers in Braunschweig durch dessen am 25. Februar 1932 auf Beschluß des Braunschweigischen Staatsministeriums erfolgte Ernennung zum Regierungsrat“ mit Dokumenten. S. 1–206. Bd. II: Die Braunschweigische Staatsbank unter der Herrschaft der nationalsozialistischen Minister, des Ministerpräsidenten Klagges und des Ministers Alpers in den Jahren 1933 bis 1944. S. 1–143. Bd. III: Meine Entnazifizierung. S. 1–301. Bd. IV: Sperre und Beaufsichtigung meines Vermögens und des Vermögens meiner Frau. Schwerste politische Verfolgung des „Betroffenen“ in seinem Heimatorte Heper durch politische Gegner. Verweigerung der Ausstellung eines Jagdscheines an den Betroffenen durch die Kreisdirektion Wolfenbüttel. Vorhanden u.a. Bibliothek Wolfenbüttel unter 21.4* 64:1

LENT, DIETER: „Ich habe dem Lande großen Nutzen gebracht“: Betrachtungen zu dieser Äußerung Hitlers vom Januar 1945 über seine Arbeit als braunschweigischer Regierungsrat 1932. In: Braunschweigisches Jahrbuch für Landesgeschichte 91.2010. S. 217–228.

MASER, WERNER: Adolf Hitler. Legende, Mythos, Wirklichkeit. München: Bechtle 1971; 4. Aufl. 1972.

MASER, WERNER: Adolf Hitler. Das Ende der Führer-Legende. Düsseldorf: Econ 1980.

MENZEL, ULRICH: Professor oder Regierungsrat? Hitlers Einbürgerung in Braunschweig zwischen Provinzposse und Weichenstellung zur „Machtergreifung“. Braunschweig: TU Braunschweig 2013.

MENZEL, ULRICH: Die Steigbügelhalter. Annotierte Chronik zur Einbürgerung Hitlers in Braunschweig. Braunschweig: TU Braunschweig 2014.

MORSEY, RUDOLF: Hitler als Braunschweigischer Regierungsrat. In: Vierteljahreshefte für Zeitgeschichte 8. 1960, 4. S. 419–448.

PAUL, HERMANN: Deutsches Wörterbuch. Bedeutungsgeschichte und Aufbau unseres Wortschatzes. 10. überarb. u. erw. Aufl. von Helmut Henne/Heidrun Kämper/Georg Objartel. Tübingen: Max Niemeyer 2002.

PÖLS, WERNER: Hochschule in der Krise. Die Technische Hochschule Braunschweig 1930–1933. In: Mitteilungen der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig 9. 1974, 3–4. S. 21–31.

ROLOFF, ERNST-AUGUST: Bürgertum und Nationalsozialismus 1930–1933. Braunschweigs Weg ins Dritte Reich. Hannover: Verlag für Literatur und Zeitgeschehen 1961.

ROLOFF, ERNST-AUGUST: „Aufstand des Gewissens“ oder Rebellion der Enttäuschten? Motive des national-konservativen Widerstandes gegen den Nationalsozialismus am Beispiel des Wolfenbütteler Oberlehrers Werner Schrader. In: Wissenschaftliche Zeitschrift des Braunschweigischen Landesmuseums Nr. 4, 1997. S. 121–152.

RUBEN, GUNNHILD: „Bitte mich als Untermieter bei Ihnen anzumelden!“. Hitler und Braunschweig 1932–1935. Die Brisanz der Braunschweiger Einbürgerung. Hitlers Überraschungsbesuch 1935. Das Lehndorfer Aufbauhaus. Norderstedt: Books on Demand 2004.

SCHELM-SPANGENBERG, URSULA: Die Deutsche Volkspartei im Lande Braunschweig. Gründung, Entwicklung, soziologische Struktur, politische Arbeit. Braunschweig: Waisenhaus-Buchdruckerei und Verlag 1964.

Die Vorgänge an der Technischen Hochschule in Braunschweig. In: Mitteilungen des Verbandes der deutschen Hochschulen 13.1933,1/2. S. 2–19. (inkl. 10 angehängten Dokumenten)

WOHLFROMM, HANS-JÖRG & GISELA WOHLFROMM: Deckname Wolf. Hitlers letzter Sieg. Berlin: Edition q 2001.

Five Years of EXCEED – Excellence Center for Development Cooperation Sustainable Water Management in Developing Countries

MÜFIT BAHADIR

Technische Universität Braunschweig, Institute of Environmental and Sustainable Chemistry, Hagenring 30, D-38106 Braunschweig

Abstract

Water is among the 21st century's key development issues. Almost one billion people worldwide do not have access to clean drinking water, whilst around one third of mankind does not have suitable sanitary facilities or wastewater treatment. The Exceed SWM Project of Braunschweig University addresses the Millennium Development Goal MDG 7/C “*Ensure Environmental Sustainability – Halve by 2015 the proportion of the population without sustainable access to safe drinking water and basic sanitation*”.

Exceed SWM aims to develop and to transfer competencies and knowledge on sustainable water management to future experts and decision-makers in the partner countries, enabling them to shape technological and economic-political change processes through population growth and climate change. Based on the world-wide network of 35 partner universities in 18 countries on four continents, this Excellence Centre focuses on capacity building in developing and emerging countries through training of and networking between experts. A university each in Mexico, Turkey, Burkina Faso, and Vietnam coordinate the activities within their Regional Networks, whilst Braunschweig University initiates and organizes the trans-regional measures.

To achieve these goals, the existing study programs at partner universities related to sustainable water management at MSc and PhD levels are analyzed and upgraded; new courses initiated for further education of scientific and technical staff at universities, enterprises, and public authorities at the respective regions. Summer schools, regional and international workshops, and expert seminars are organized for capacity building and further education. An intense exchange of students, young scientists, and academic teachers in all directions south-north, north-south, and south-south accomplishes education for capacity building. The

* Der Vortrag wurde am 14.03.2014 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

same topics are also subject of joint teaching and research activities at Exceed member universities and the International Exceed Guest Chair and International Guest Team established at the Braunschweig University.

Climate Change is a global challenge that we have to cope with, through coordinated international efforts in education for capacity building, joint R&D, and responsible trans-national and transformation politics. With its Exceed Project, Braunschweig University aims to contribute to international activities and measures in terms of higher education and research for capacity building in developing countries: <http://www.exceed.tu-braunschweig.de>

Key words: Sustainable Water Management; Developing Countries; Capacity Building.

Introduction

Although 70% of earth's surface is covered with water, the freshwater reserves available for the mankind are vanishingly small. Of the 1.38 billion km³ water available on earth, 97.4% are made up of saltwater of the oceans and only available for anthropogenic use after immense technical and monetary efforts. Out of the remaining 2.6% of freshwater reserves 2% are stored in polar, marine, and glacial ice, and are thus not available for economic and, predominantly, for ecological reasons. This leaves 0.6% (0.08 billion km³) in form of ground and surface water, and soil and air moisture for the usage through the rapidly growing human population. It is estimated that almost one billion people worldwide do not have access to clean drinking water, whilst around one third of mankind does not have suitable sanitary facilities or wastewater treatment. This situation becomes worsened through the future scenario of climate change particularly in already drought regions. Therefore, the Millennium Development Goals of the United Nations claim in MDG 7/C "*Ensure Environmental Sustainability – Halve by 2015 the proportion of the population without sustainable access to safe drinking water and basic sanitation*".

Water is essential for all major socio-economic sectors, contributing to each of them in different way. For instance, agriculture requires large quantities of water for irrigation and food production. Energy requires water for powering turbines, cooling power plants, and growing biofuels. Access to safe water supply and basic sanitation is necessary for maintaining public health. Water is needed to keep the ecosystems healthy which in turn provide crucial environmental goods and services. Benefits each of these sectors are provided through water.

Managing water for all is not only a question of availability of resources and money, but equally a matter of public participation and good governance. Actually, water is a local issue and involves numerous stakeholders at basin, municipal,

regional, national, and international levels. If effective public governance is missed to manage interdependencies across policy areas and between levels of governmental bodies, policymakers will face obstacles designing and implementing measures for sustainable water management. Even mitigating the impacts of natural disasters through extreme events following climate change like flash floods and inundations, recently occurring almost every year, is not only a problem of Developing Countries, but also of the developed ones. The catastrophic inundations of the River Elbe in the two past years 2013 and 2014 gave strong evidence that even Europe will suffer from the problems of a non-sustainable management of water resources. The majority of water resources have trans-boundary character. Rivers of Nile, Euphrates and Tigris, and Jordan in the Middle East but also Rivers Elbe and Rhine in the heart of Europe deserve joint solutions of the riparian countries. Basin wide cooperation is essential for sustainable water management, for prosperity and peace in the respective regions. Many projects in development cooperation fail for ignoring the importance of socio-cultural aspects, and solely concentrating on technological problems. The end of the active involvement of experts from industrialized countries often leads to failure in the implementation stage of a project. Especially, projects related to water supply and use gain little recognition if the various political, cultural, and social meanings of water in different regions are not considered.

Exceed SWM Approach and Objectives

Against this background, an interdisciplinary research team at TU Braunschweig coming from civil and environmental engineering, environmental sciences, and social and political sciences developed a holistic approach for sustainable management and multiple uses of the limited fresh water resources (Figure 1). Thereby, the engineering scientists take over the sound management of water resources, supply of fresh water to different users and treatment of the wastewater for the demands of downstream use, e.g. for irrigation in agriculture. Environmental scientists take care for monitoring and quality control of the treated wastewater as well as in irrigation measures in terms of public and environmental health, and give feedback to the engineers for improving the technological measures if needed. The task of social and cultural sciences is investigating the administrative and economic conditions for implementation, and public acceptance or even obstacles, when confronted with products irrigated with treated wastewater. Finally, the experiences made have to be introduced into educational material and disseminated at each level from primary schools up to higher education institutions, governmental bodies, and stakeholders.

With this approach, TU Braunschweig applied 2008 to the Call for Proposals of DAAD for the Exceed Program. “*EXCEED – Excellence Centre for Development Cooperation – Sustainable Water Management in Developing Countries*”

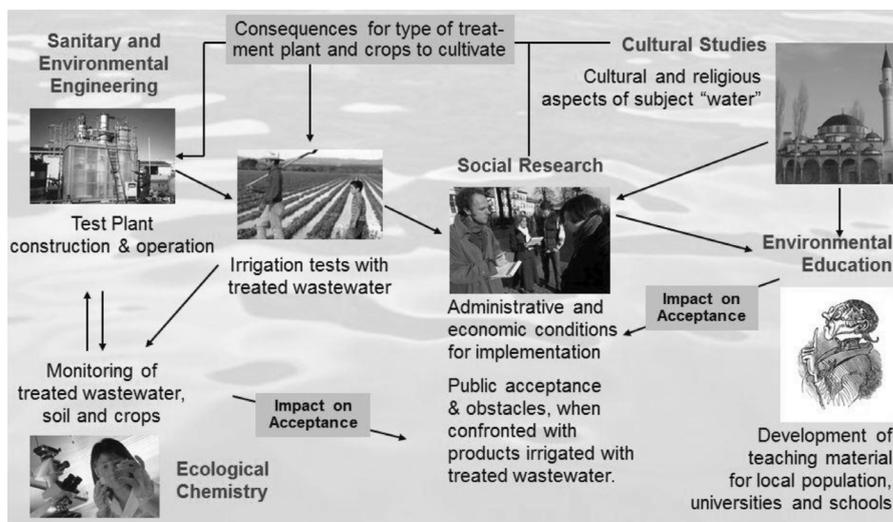


Fig. 1: Trans-disciplinary approach for SWM through downstream use of treated wastewater in agriculture.

is a project for capacity building through higher education and joint research. The Exceed SWM Project started 2009 at the TU Braunschweig. It is one of five MDG Projects at German Universities that were awarded substantial funding for five years by the German Academic Exchange Service DAAD and the German Ministry for Economic Cooperation and Development BMZ. Being selected in a strong competitive process, Exceed SWM conducts research and runs academic cooperation with partners from Latin America, Middle East, Sub-Saharan Africa, and South-East Asia for capacity building on sustainable and transferable solutions for each region's predominant water-related issues.

The objectives of the Exceed SWM are (i) capacity building in Developing Countries DC and Germany GER on Sustainable Water Management SWM, (ii) putting SWM on political agenda in DC and in GER, and (iii) establishing a cooperation at eye level with DC on Millennium Development Goals. Thereby, strategy to be followed is (iv) building a global network, (v) establishing and upgrading study programs, (vi) conducting joint research, (vii) providing suitable further education courses, and (viii) creating a pool of experts.

Partnership Concept

The global Exceed SWM Network comprises 35 partner universities in 18 countries on four continents and is organized in four Regional Networks Latin

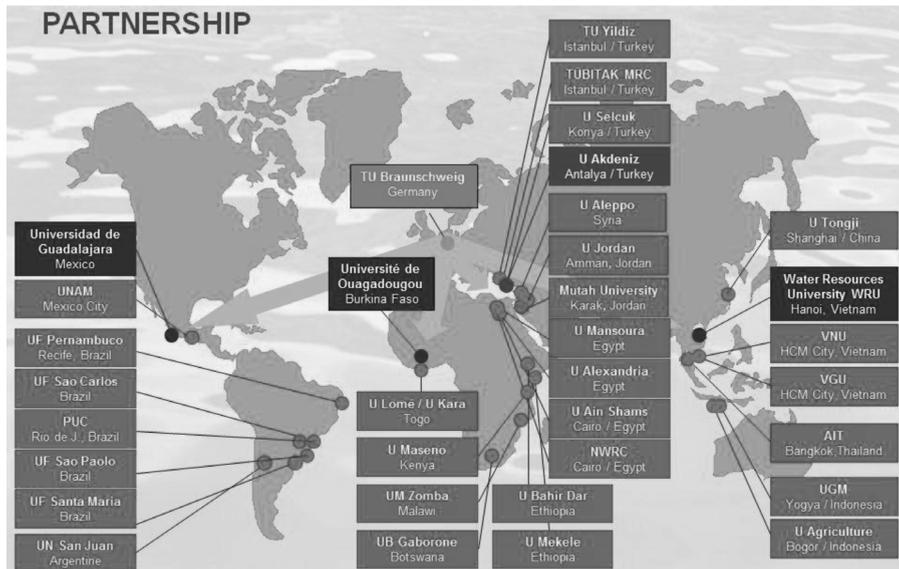


Fig. 2: Exceed partner universities and the four regional coordination units (LA, ME, SSA, SEA).

America, Middle East, Sub-Saharan Africa, and South-East Asia. A university each in Mexico, Turkey, Burkina Faso, and Vietnam coordinate all activities within their respective regions, whilst TUBS initiates and organizes the trans-regional measures (Figure 2).

Higher Education and Capacity Building

The main objective of the Exceed Project is “capacity building” through higher education. The project aims at conveying competencies and knowledge on SWM to future experts and decision-makers in order to qualify them to shape economic, organizational, and political change processes. The higher education concept of Exceed SWM is based on existing basic knowledge of participants already passed at least undergraduate study and provides them graduate and post-graduate education opportunities through various exchange measures to another Exceed partner university, and organizing international summer schools, expert workshops, and conferences. For instance, the following international events were organized through Exceed partners in 2013:

- Summer School “New Alternative Sanitation Systems” (Braunschweig, GER)
- Summer School “Coastal Erosion and Management for Safer Coasts in a Changing Climate” (Recife, Brazil)

- Expert Seminar “Water Issues in Mega Cities” (Ho Chi Minh City, Vietnam)
- Regional Workshop “Management of Hydrological Systems in Arid and Semi-arid Regions” (Karak/Amman, Jordan)
- Regional Workshop “Water and Energy” (Hanoi, Vietnam)
- Regional Workshop “Wastewater Treatment and Reuse” (Konya, Turkey)
- Expert Workshop “Trans-boundary River Basins in Africa – Example of the Volta River Basin” (Braunschweig, GER)
- Regional Training Course “Wastewater Management” (Zomba, Malawi)

An important international symposium was the UNESCO/DAAD/EXCEED Conference “*Water in Africa*” October 2012 in Kisumu/Kenya. This conference, organized by the Exceed Sub-Saharan Africa Network, did not address only to the global Exceed community, but also to DAAD Alumni in Africa and the experts and guests of UNESCO Nairobi. With this event, Exceed SWM brought together the African and international audience in order to present and to discuss on problems and solutions of various aspects of fresh water provision and wastewater management on this continent and best practices from elsewhere.

An international Guest Chair was founded at the TU Braunschweig with annual reappointments of guest professors and inviting an international guest student team for conducting joint research. Besides individual capacity building through advanced studies and PhD theses of participating students, the Exceed SWM concept considers predominantly an institutional capacity building through upgrading existing curricula and further education of the teaching staff at partner universities as multipliers of scientific knowledge and experimental skills. Students leave after exam, but the teachers remain at their universities for educating the next generation of youth.

Curriculum Development for MSc in Sustainable Water Management

For implementing new and upgrading or even adjusting existing study programs related to SWM at MSc and PhD levels a Curriculum Database CDB was established through collecting and analyzing the syllabi and course contents at all partner universities. This comprehensive relational CDB containing some 400 data sets helps the partners to get a comprehensive survey of courses in engineering, natural, and social sciences teaching SWM. Further, the database facilitates students to search for a suitable hosting university that offers courses for accomplishing and consolidating graduate studies of students. Analyses of syllabi in the CDB help identifying the gaps in own graduate courses in water sciences in general and in SWM in particular. Furthermore, the database serves as a source for structuring and developing new master curricula on SWM. On two workshops and a plenary

meeting, dedicated to curriculum development, the Exceed members agreed on the following four pillars, of which a SWM graduate study program should be based on:

1. *Water Science and Engineering*

Hydrology, hydraulic engineering, hydrogeology, erosion & sedimentation, floods & drought, coastal engineering, river & coastal morphology

2. *Biological Aspects of Water, Health and Nutrition*

Ecosystem degradation & resilience, water & health, ecology & ecosystem dynamics, eco-hydrology, ecosystem valuation, microbiological & biochemical aspects, ecotoxicology.

3. *Chemical Aspects of Water, Environmental and Anthropogenic Aspects*

Rural, urban and industrial issues, pollution analysis, wastewater treatment, planning design and construction, water quality & water chemistry, remediation, chemical and analytical methods.

4. *Water Management, Social, Political, and Legal Aspects*

Water management and economic aspects, development studies, international water policy between conflict and development.

Based on this model curriculum, Exceed partners developed a new MSc study program for the University of Mekelle in Ethiopia. In principle, students coming from undergraduate education in engineering, natural sciences, and social and economic sciences should be taught together with each different focus in the own discipline, but having overlapping educational sections for joint learning in a multidisciplinary environment and understanding the SWM from different viewpoints (Figure 3). This MSc program will serve Sub-Saharan Africa Network of Exceed to apply for a UNESCO Water Chair at the University Mekelle as a joint center of excellence for African scholars.

Research Concept

Exceed research concept is based on five crucial subjects and the joint research project are developed mainly in the fields of

Water and Agriculture in arid and semi-arid Regions,

(i) integrated water management, (ii) modeling methods, (iii) socio-economic conditions

Water in Urban Environment

(i) sanitary engineering, (ii) urban water supply, (iii) numeric models, (iv) remediation measures

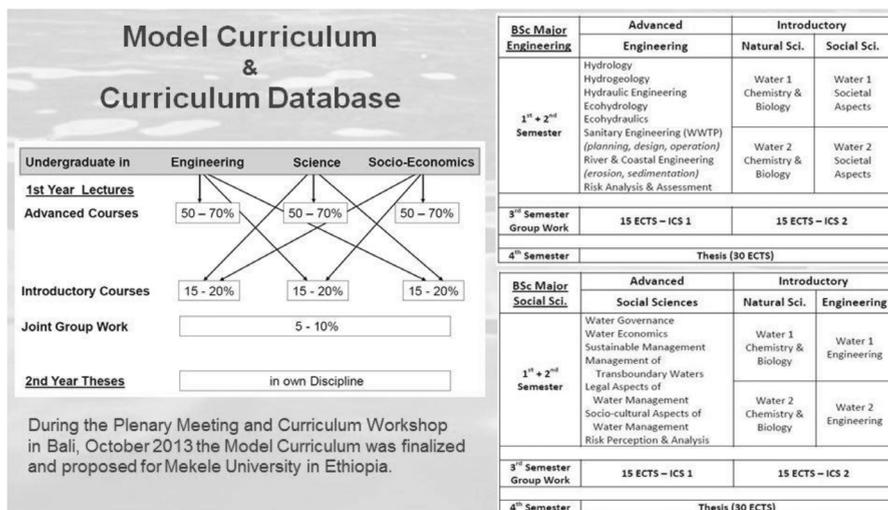


Fig. 3: MSc curriculum in SWM developed for the University Mekelle / Ethiopia for students coming from different disciplines.

Aquatic Ecosystems

- (i) climate change, (ii) biodiversity, (iii) monitoring of aquatic ecosystems, (iv) micro pollutants,
(v) floods and droughts

Water and Health

- (i) resources protection, (ii) wastewater reuse, (iii) risk perception and assessment

Water in a Global World

- (i) climate change, (ii) distribution of water reserves, (iii) protection of inland and coastal waters

Joint research projects of Exceed partners are developed and conducted through different approaches: (a) In the frame of the guest chair founded at TU Braunschweig, the guest professor and her/his guest team coming from different countries, (b) through integrating exchange scholars at different education levels into running research projects at Exceed partner universities, and (c) successful project proposals granted from external organizations. One of these research projects is shortly described below; others will be listed up only with their titles.

Reuse of Untreated Wastewater in Agriculture

Due to water scarcity in MENA countries, the reuse of wastewater WW before or after treatment for irrigation in agriculture is a common practice meanwhile. This is practiced in Konya Region since 1975 as well. WW of the city was collected in the sewerage system and discharged without treatment to an open canal. The farmers around this canal pump the water out of the canal and use for flood irrigation of their fields, since the annual precipitation of 320 mm while evapotranspiration of 300 mm does not meet the demand of agriculture. WW reuse in the agriculture is also practiced in Braunschweig, but after treatment in a modern full-stage wastewater treatment plant WWTP and strong quality control.

In a joint research project, the Exceed partners at the Konya University and at TU Braunschweig investigated at their respective locations the pollution status from the WW source (untreated discharge in Konya and WWTP outlet in Braunschweig) over the distribution systems to the fields and partly crops. While doing this, students and post-docs from Konya University brought samples taken jointly to Braunschweig and analyzed them with the modern analytical equipment partly missed at their home department. Students and young researchers were trained in Braunschweig in trace analytical methods of environmental samples and principles of reliable data acquisition from sample taking, storage, clean up, calibration and maintenance of analytical equipment to data interpretation considering the technological and socio-economic environment of pollution sources (Figures 4 and 5).



Fig. 4: Field irrigation with untreated wastewater in Konya (left).

Fig. 5: Sampling of wastewater irrigated farmland in Konya (right).

Expectedly, pollution with persistent organic pollutants POPs and heavy metals in Braunschweig was insignificant due to the much cleaner treated WW compared with the untreated WW in Konya and sandy soils being the predominant soil type in Braunschweig region. Surprisingly, the agricultural soils in Konya were even not highly contaminated and the bioavailable portion of the pollutants was small due to the soil characteristics as being of heavy clayey soil type. Uptake of pollutants

by wheat was insignificant. In the meantime, Konya has erected in 2011 a modern WWTP and WW reaching the discharge canal is no longer polluted significantly.

The current cooperation of the two universities focuses on the optimization of WW management through avoiding the pollution of WW at source, legal framework for regulating this, monitoring the sewerage with passive sampler, and quality control of the treated WW before discharge into the environment. The Braunschweig example serves hereby as a “Best Practice”. Consequently, the two WW authorities in Konya and in Braunschweig (KOSKI, BS-SE/Veolia) are cooperating closely as well, initiated through the Exceed Partners in the two cities. So the Exceed partners could link the stakeholders at two locations to the benefit of both sides.

Other joint research projects of Exceed partners conducted or in preparation are (inter alia):

- Soil amendment with super absorbing polymers for use of reclaimed WW in Jordanian agriculture
- Drug residues in WWTP outlets and in dam water in Jordan
- Water and Health in Egypt - Bladder cancer prevalence due to water pollution in the Nile Delta Region
- EMPOWER Tunisia – Emerging Pollutants in Water and Wastewater for Irrigation
- SASAR Tunisia – Sustainable Agriculture in Semi-Arid Regions
- Petrobras + Surf – Coastal zones management in Latin America
- Water Pollution and Risk Assessment in Volta Basin, West Africa

Sustainable Water Management in Saigon Dongnai River Basin, Vietnam

In order to enhance joint proposals and cooperation in running projects a Research Information Platform was launched on the Exceed website and the Exceed members can search for suitable research projects or even for likely interested partners. The students interested in exchange stays abroad can contact the chair people of these projects and figure out working opportunities.

Spin Offs, Dissemination, and Policy Advice

The research topics of Exceed SWM enabled to extend the cooperation of Exceed members with further scientists dealing with similar topics of environmental protection. The two projects with Tunisian scientists, already listed above, are direct spin offs of the Exceed SWM project. These two projects are initiated within the Transformation Partnership Program of German Foreign Office and granted by DAAD. In particular, the SASAR Tunisia project aims at including

German agronomists with their counterparts in MENA countries for supporting the agricultural research and practice through transferring recent results of the Federal Agricultural Research Institutes “von Thünen” and “Julius Kühn” in the fields of plant production and sustainable irrigation. Methods of monitoring are also subject of knowledge transfer.

As the research projects are usually conducted with participation of public and economic stakeholders, the outcomes of the joint work is disseminated in the respective community through well-organized media coverage. Usually, mayors or ministers come to opening sessions that attract local and regional media, which report about the events often rather detailed. The topics of the conferences and workshops initiate lively debates in the respective regions. This often initiates further measures of stakeholders in terms of SWM and Good Governance Structures in the respected regions.

The outcomes of Exceed research projects are published in peer-reviewed international journals and are listed in the “References” section. Moreover, two Special Issues in ISI journals are published about Exceed outcomes already and two further are almost finalized.

Politicians at partner countries as well as in Germany realized the importance of the scientific links through the project. Before German Ministers visit Exceed countries they often ask in advance for making contacts with Exceed members and for organizing scientific visits in order to learn the local situation from an insider. Ministers, Government Authorities, and Mayors in partner countries ask for advice and support while planning or upgrading environmental services in the competence fields of Exceed SWM.

Conclusions and Outlook

Global problems do not stop at national borders. The worldwide migration of people from least developed countries is often caused by bad living conditions and lacking prosperity at home. As a consequence of climate change even European Countries will be confronted soon with similar problems like in Developing Countries. A global networking and knowledge transfer might help to find suitable solutions for the global problems. Exceed SWM project aims to develop sustainable solutions for urgent problems through research, education, and capacity building in partner countries and beyond, because international events organized and scholarships for exchange are open also for participants from non-member developing countries. With this, the Exceed SWM project has a wide-broader impact than just on the member institutions.

The results of the mid-term evaluation of all five Exceed Projects in Germany (Braunschweig, Cologne, Hohenheim, Kassel, and Munich) were so satisfactory

that DAAD and BMZ agreed on the prolongation of the Exceed Program in order to consolidate the networks built world-wide and to reach self-sustaining structures for an unlimited successful cooperation of the network partners in future to the benefit of the One World we live on.

As the Chairman of the Exceed SWM project, which is running out end of 2014, I'd like to wish all Exceed projects much success in the coming years.

Acknowledgement

The Exceed SWM Project was granted for 2009–2014 through DAAD German Academic Exchange Service and BMZ Federal Ministry for Economic Cooperation and Development. Exceed members and its chairman gratefully acknowledge this substantial financial support.

References

Five Years of Exceed – Sustainable Water Management in Developing Countries (Ed.: M. BAHADIR, A. HAARSTRICK), TU Braunschweig, p. 1–331 (2014), ISBN: 978-3-00-046519-2.

Special Issue: Water in Africa – Sustainable Water Management in Developing Countries (Ed.: A.M. BAHADIR, K. MAVUTHI), *Ecohydrol. Hydrobiol.* **13** (2013) 233–271.

Focused Issue: Water Management in Latin America (Ed.: A. MARTINS, V.A. GONZALES), *CLEAN – Soil, Air, Water* **40** (2012) 887–1000.

AYDIN, M.E., A. TOR & S. ÖZCAN 2010: Proceedings of the International Sustainable Water and Wastewater Management. ISBN: 978-605-389-037-9. p 1–1431. KOSKI, Konya, Turkey.

Special Issue: Water Management for Agriculture and Energy Security in Asia (Ed.: S. WAHID, T.T. VAN NGO, M. BABEL), *CLEAN – Soil, Air, Water* **42** (2014) xxx (in preparation).

Special Issue: Emerging pollutants in water and wastewater for irrigation in agriculture (Ed.: O. MAHJOUB, S. CHIRON, B. JIMENEZ-CISNEROS, C. SIEBE), *CLEAN – Soil, Air, Water* **43** (2015) xxx (in preparation).

AGORO, D.J., C.O. KOWENJE, J.O. LALAH, E.T. OSEWE & J.A. OGUNAH 2013: Effects of zeolite X on dissipation of hexazinone from agricultural waste waters in Western Kenya, *Int. J. Eng. Res. Technol.* **2** (10), 177–185.

AKCEYLAN, E., M. BAHADIR & M. YILMAZ 2009: Removal efficiency of a calix[4]arene based polymer for watersoluble carcinogenic direct azo dyes and aromatic amines. *J. Hazard. Mater.* **162**, 960–966.

AKOMA, A.C. 2010: Hydrobiological survey of the Bahir Dar Gulf of Lake Tana, Ethiopian Int. Multi-Discipl. J. **4** (2), 57–70.

- AL-OMARI, A., A. MUHAMMETOGLU, E. KARADIREK, A. JIRIES, M. BATARSEH, B. TOPKAYA & S.A. SOYUPAK 2014: Review on Formation and Decay Kinetics of Trihalomethanes in Water of Different Qualities. *Clean - Soil, Air, Water* (*accepted*) DOI: 10.1002/clen.201300347
- AL-TARAWNEH, I., M. EL-DOSOKY, A. WIDYASARI, M. ALAWI, M. BATARSEH, R. KREUZIG & M. BAHADIR 2014: Studies on human pharmaceuticals in Jordanian wastewater. *Clean - Soil, Air, Water* (*accepted*) DOI: 10.1002/clen.201300920.
- ATABARUT, T., H. ŞAHİN & B. TOPKAYA 2014: Water Footprint as Decision Support Tool for Sustainable Water Management in the Mediterranean Region. *Fresen. Environ. Bull.* (*accepted*).
- BAHADIR, M. 2013: Preface UNESCO/DAAD/Exceed Conference “Water in Africa”, Kisumu, Kenya, October 1–3, 2012. *Ecohydrol. Hydrobiol.* **121**, 13, 234–235.
- BATARSEH, M. & R. TARAWNEH: Multiresidue (2013). Analysis of Pesticides in Agriculture Soil from Jordan Valley. *Jordan J. Chem.* **8**, 152–168.
- BATARSEH, M. 2011: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAH) and heavy metals in dry and wet sludge from As-Samra wastewater treatment plant, Jordan. *Soil Sediment Cont. Int. J.* **20**: 535–549.
- ERDEMİR, S., M. BAHADIR & M. YILMAZ 2009: Extraction of carcinogenic aromatic amines from aqueous solution using calix[n]arene derivatives as carrier. *J. Hazard. Mater.* **168**, 1170–1176.
- HARNISCH, F., C. GIMKIEWICZ, B. BOGUNOVIC, R. KREUZIG & U. SCHRÖDER 2013: On the removal of sulfonamides using microbial bioelectrochemical systems. *Electrochem. Commun.*, **26**, 77–80.
- KANAKOUDIS, V. & H. MUHAMMETOGLU 2014: Urban Water Pipe Networks Management Towards Non-Revenue Water Reduction: Two Case Studies from Greece and Turkey. *Clean - Soil, Air, Water* **42**, 880–892. doi: 10.1002/clen.201300138.
- KANIK, F.E., M. KOLB, S. TIMUR, M. BAHADIR & L. TOPPARE 2013: An amperometric acetylcholine biosensor based on a conducting polymer. *Intern. J. Biol. Macromol.* **59**, 111–118.
- KESİK, M., F.E. KANIK, J. TURAN, M. KOLB, S. TIMUR, M. BAHADIR & L. TOPPARE 2014: An acetylcholinesterase biosensor based on a conducting polymer using multiwalled carbon nanotubes for amperometric detection of organophosphorus pesticides. *Sensors and Actuators B* **205**, 39–49.
- KHAIRY, M.A., M. KOLB, A.R. MOSTAFA, A. EL-FIKY & M. BAHADIR 2011: Risk posed by chlorinated organic compounds in Abu Qir Bay, East Alexandria, Egypt. *Environ. Sci. Pollut. Res.* (*online publication*), DOI 10.1007/s11356-011-0605-2.
- KOWENJE, C.O., E.O. TETTY & J.O. LALAH 2013: Effects of faujasite X and Y zeolites on the 1,1,1-Trichloro-2,2' bis(p-chlorophenyl)ethane (DDT) degradation during water purification. *Int. J. Environ. Protect. Policy* **1**(1), 9–15.

- KUYELI, S.M., W.R.L MASAMBA, E. FABIANO & S.M.I. SAJIDU 2009: Temporal and spatial physicochemical water quality in Blantyre Urban streams. *Malawi J. Sci. Technol.* **9**(1), 5–10.
- OUÉDRAOGO R., S. PARÉ, A.M. TOÉ & I. GUISSOU 2012: Pesticides risk assessment by PIRI for surface water in sugar cane cultivation in Burkina Faso. *J. Environ. Hydrol.* **20** (16), 1–10.
- PARÉ, S., B. KABORÉ, C. STECHERT, M. KOLB, M. BAHADIR & L.Y. BONZI-COULIBALY 2014): Agricultural practice and pesticide residues in soils and pool sediments from the Pendjari Biosphere Reserve area in Benin, West Africa. *Clean – Soil, Air, Water (accepted)* DOI.10.1002/clen.201200371.
- PARÉ, S., I. PERSSON, B. GUEL & D. LUNDBERG 2013: Trivalent Chromium removal from aqueous solution using raw natural mixed clay from Burkina Faso. *Int. Res. J. Environ. Sci.* **2** (2), 30–37.
- PARÉ, S., I. PERSSON, B. GUEL, D. LUNDBERG, L. ZERBO, S. KAM & K. TRAORÉ 2012: Heavy metal removal from aqueous solutions by sorption using natural clays from Burkina Faso, African J. Biotechnol. **11** (45), 10395–10406.
- PEHLIVAN, P., T.H. TRAN, W.K.I. OUÉDRAGO, C. SCHMIDT, D. ZACHMAN & M. BAHADIR 2013): Sugarcane bagasse treated with hydrous ferric oxide as a potential adsorbent for the removal of As(V) from aqueous solutions. *Food Chemistry* **138**, 133–138.
- PEHLIVAN, P., T.H. TRAN, W.K.I. OUÉDRAGO, C. SCHMIDT, D. ZACHMAN & M. BAHADIR 2013: Removal of As(V) from aqueous solutions by iron coated rice husk. *Fuel Process. Technol.* **106**, 511–517.
- SAHIN, H., T. ATABARUT & B. TOPKAYA 2014: Water Resources In The Middle East: Proposals for Sustainable Development in the Region. *Fresen. Environ. Bull. (accepted)*
- SALAZAR-PEÑA, R., V. ALCARAZ-GONZALEZ, V. GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, R. SNELL-CASTRO & H.O. MÉNDEZ-ACOSTA 2014: Neural network modeling of the light profile in a novel photobioreactor. *Bioprocess Biosyst. Eng.* **37** (6), 1031–1042. DOI 10.1007/S00449-013-1073-5.
- SÉGBÉAYA, K.N., G. FEULLADE-CATHALIFAUD, G. BABA, K. KOLEDZI, V. PALLIER, G. TCHANG-BEDJI & G. MATEJKA 2012: How the origin of fresh household waste affects its ability to be biodegraded: An assessment using basic tools and its application to the city of Kara in Togo. *Waste Manage.* **32**, 2511–2517.
- SÉGBÉAYA, N.K., G. BABA, G. FEULLADE, K. DJAHINI, V. PALLIER, K.E. KOLÉDZI, K. KILI & G. MATEJKA 2012: Caractérisation de la matière organique dans les matrices déchets, eaux et sédiments comme indicateur d'évaluation de la dégradation de la qualité de la rivière Kara par les déchets solides municipaux, *European J. Sci. Res.* **75** (4), 598–610.
- STECHERT, C., M. KOLB, M. BAHADIR, B.A. DJOSSA & J. FAHR 2014: Insecticide residues in bats along a land use-gradient dominated by cotton cultivation in northern Benin, West Africa. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **21**, 8812–8821.

SUHERMAN, S., C. SCHMIDT, M. KOLB, D. ZACHMANN & M. BAHADIR 2013: Partitioning of copper and lead between solid and dissolved organic matter in a humus-rich soil of the Harz Mountains (Germany) and ecotoxicity test with *Lepidium Sativum*. *Fresen. Envir. Bull.* **22**, 318–327.

TOÉ, A.M., R. OUÉDRAOGO & S. PARÉ 2012: Groundwater risk assessment of pesticides used by SNSOSUCO for sugar cane cultivation in Burkina Faso. *J. Environ. Hydrol.* **20** (3), 1–9.

WU, X., T. DOCKHORN & N. DICHTL 2010: Removal of microcystin-LR through biofilters using different filter materials. IWA World Water Congress, Montreal, Canada, 09/19-24/2010.

Demokratisierter Leichtbau*

KLAUS DILGER

Institut für Füge- und Schweißtechnik, Technische Universität Braunschweig
Langer Kamp 8, D-38106 Braunschweig

Stetig gestiegene Anforderungen hinsichtlich Komfort, Sicherheit und Fahrdynamik haben lange Zeit zu einem ansteigenden Fahrzeuggewicht bei Modellwechseln innerhalb eines Fahrzeugsegments geführt. Dieser Trend konnte erst vor wenigen Jahren durch den intensiven Einsatz von Leichtbauwerkstoffen (Leichtmetalle, höchstfeste Stähle, faserverstärkte Kunststoffe) gestoppt und in eine aktuell stagnierende bzw. leicht abnehmende Gewichtstendenz bei Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben überführt werden. Diese Tendenz und der damit verbundene Fokus auf das Forschungsgebiet Leichtbau ist speziell beim Einsatz alternativer Antriebssysteme und vor dem Hintergrund des in der deutschen Automobilindustrie erreichten Standards an Qualität, Ökologie und Wirtschaftlichkeit zu schärfen.

Grundlegendes zum Leichtbau im Fahrzeugbau

Leichtbauweise ist eine Konstruktionsphilosophie, die maximale Gewichtseinsparung bei gleich bleibenden oder verbesserten Eigenschaften zum Ziel hat.

Dabei handelt es sich um den Einsatz von Werkstoffen, Konstruktionen und Fertigungstechnologien, die für den jeweiligen Anwendungszweck ausgelegt werden. Daraus resultiert häufig ein Mix aus verschiedenen Leichtbauwerkstoffen mit ihren spezifischen Eigenschaften. Bauteilgeometrien sowie Be- und Verarbeitungsverfahren dieser Materialien sind dabei zu berücksichtigen.

Leichtbau bedeutet somit nicht die Substitution von konventionellen Materialien, deren Gestaltung und Auslegung, Herstellungstechnologien und Weiterverarbeitung, sondern eine sinnvolle Kombination der Gebiete

- werkstoffbezogener Leichtbau
- konstruktiver Leichtbau
- fertigungsbezogener Leichtbau,

* Der Vortrag wurde am 14.03.2014 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

d.h., die Ausnutzung spezieller innovativer Fertigungs- und Konstruktionsmöglichkeiten der Leichtbauwerkstoffe.

Klassische Leichtbauwerkstoffe sind höher- und höchstfeste Stähle, Aluminiumlegierungen, Magnesiumlegierungen, faserverstärkte Kunststoffe und Sandwichmaterialien. Diese Werkstoffe können als großflächige Halbzeuge und Bauteile vorliegen, wie z.B. als Bleche im Falle der Stähle oder Aluminium-Legierungen. Für Anwendungen in den tragenden Fahrzeugstrukturen kommen häufig massivere Bauteile zum Tragen. Eine große Rolle spielen hier (geschlossene) Profile, die z.B. mittels Strangpressen hergestellt werden.

Leichtbau hat sich in verschiedenen Formen in den letzten Jahren zu einem maßgebenden Stellhebel für den Mobilitätssektor zur Senkung des CO₂-Ausstoßes und zur nachhaltigen Verringerung des Rohstoffverbrauchs entwickelt und wird dauerhaft ein wesentlicher Treiber zur Reduzierung von CO₂-Emissionen bleiben. Aktuelle Studien belegen, dass der mit dem Einsatz alternativer Antriebskonzepte verbundene Gewichtsanstieg von Fahrzeugen einen weiteren Anstieg des Anteils von Leichtbauwerkstoffen im Karosseriebau erforderlich macht. Es wird erwartet, dass der Markt für Leichtbaukomponenten aus hochfesten Stählen, Leichtmetallen und faserverstärkten Kunststoffen in der Automobilindustrie von heute 70 Mrd. € auf ca. 300 Mrd. € im Jahr 2030 wachsen wird.

Ein entscheidender Beitrag zur Senkung von Emissionen und zur Erfüllung der strengen EU-Gesetzgebung, die sich auf den durchschnittlichen maximalen CO₂-Ausstoß der Fahrzeugflotte eines Herstellers bezieht, liegt in der Gestaltung der Karosserie von Fahrzeugen der Großseriensegmente aus Leichtbauwerkstoffen. Hier verursachen bereits moderate Gewichtseinsparungen je Fahrzeug einen großen kumulativen Effekt und liefern folglich einen signifikanten Beitrag zur Senkung des CO₂-Ausstoßes der Gesamtflotte.

Bei der Umsetzung von Leichtbaustrategien müssen die Automobilhersteller die Technologien und Fertigungsprozessketten möglichst kompatibel zur bestehenden Anlagentechnik gestalten. Dabei müssen hohe Neuinvestitionen vermieden, Rohstoffe mit hoher Verfügbarkeit eingesetzt und die Erfahrungen im Umgang mit den eingesetzten Fertigungstechnologien mit dem Ziel einer hohen Wirtschaftlichkeit verbunden werden. Hieraus leiten sich die klassischen Ansätze des Stahl-Mischbaus und des Stahl-Aluminium-Mischbaus ab. Beide Leichtbaukonzepte beruhen auf langjährig optimierten und in den Grundzügen weitgehend bestehenden Produktionsabläufen der Blechverarbeitung und weiter entwickelter werkstoffspezifischer Fügetechnologien.

Das Leichtbaupotenzial dieser Ansätze ist jedoch im Vergleich zu den Konzepten auf Basis faserverstärkter Kunststoffe stark eingeschränkt. Lastpfadoptimierte Bauteile und Tragstrukturen aus faserverstärkten Kunststoffen (FVK) zeigen deutliche Gewichtseinsparungen bei gleicher oder höherer Steifigkeit bzw. Fes-

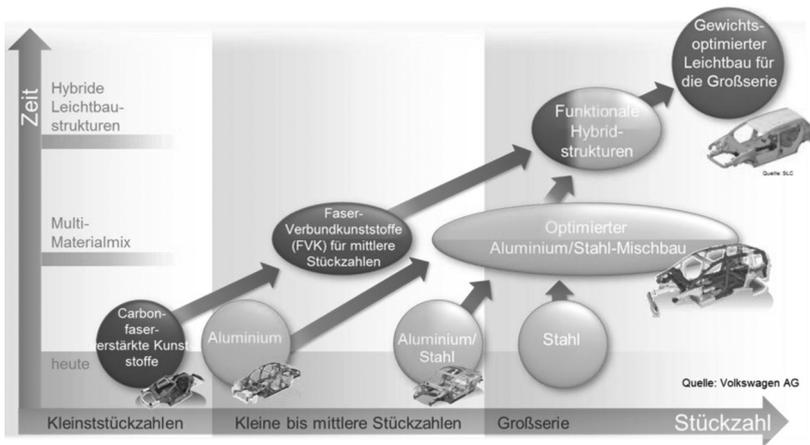


Abbildung 1: Darstellung der Hybridisierung von Werkstoffen um den gewichtsoptimierten Leichtbau in der Großserie zu ermöglichen. Quelle: Volkswagen AG.

tigkeit. Dies zeigt sich im intensiven Einsatz in der Luftfahrtbranche. Die hohen Materialkosten, der hohe Energieverbrauch bei der Herstellung und Verarbeitung, die Inkompatibilitäten zu bestehenden Fertigungsprozessen und der geringe Automatisierungsgrad haben dazu geführt, dass der Einsatz dieser Werkstoffe im Automobilbau trotz intensiver Forschung zurzeit auf Kleinserien im Rennsport-, Luxus- und Prestigesegment beschränkt ist.

Die Verbindung von FVK-Strukturen mit Stahl- bzw. Stahl-Aluminium-Strukturen ist derzeit aufgrund der hohen Materialkosten der Faserwerkstoffe nicht großserienfähig. Daneben sprechen auch die langen Prozesszeiten bei der Herstellung von FVK-Bauteilen gegen eine Produktion von Mischstrukturen mit FVK-Bestandteilen im Großserienmaßstab (Abbildung 1).

Umsetzung des „Demokratisierten Leichtbaus“ in der Open Hybrid LabFactory

Den ökologischen und ökonomischen Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte kann unter den Randbedingungen eines sich ständig verschärfenden internationalen Wettbewerbs nur erfolgreich begegnet werden, wenn sowohl Basisinnovationen wie auch inkrementelle Innovationen schnell zu einer industriellen Umsetzung gelangen. Voraussetzung dafür ist neben der schnellen und unmittelbaren Kommunikation zwischen unterschiedlichen Industrieunternehmen und einer gleichgerichteten Kommunikation zwischen Wirtschaft und Wissenschaft die Möglichkeit, gemeinsam auf Räume und Einrichtungen zurückgreifen zu können, die eine

schnelle, wirtschaftliche und industriennahe organisatorische und technologische Umsetzung der Innovationen erlauben. Dieser Herausforderung zur Realisierung neuer Technologien haben sich die in der Open Hybrid LabFactory zusammenarbeitenden Partner gestellt.

Unter der Leitung des Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF) hat sich ein Konsortium aus ausgewiesenen wissenschaftlichen Partnern, marktführenden Industrieunternehmen und hochinnovativen kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) gebildet. Dieses hat sich im Rahmen der Förderinitiative „Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) mit der **„Open Hybrid LabFactory – Materialentwicklung und Produktionstechnik für den wirtschaftlichen und multifunktionalen Leichtbau“** erfolgreich dem Wettbewerb gestellt. In der einjährigen Vorphase wurden im Rahmen der einjährigen Initialprojekte wichtige Schlüsseltechnologien erarbeitet, die notwendig sind, um die Prozesskette für den **„demokratisierten Leichtbau“** in der Hauptphase umzusetzen. Zusätzlich wurde der Forschungscampus selbst weiterentwickelt. Schwerpunkte dieser Evolution waren die weitere Ausgestaltung und Präzisierung der Forschungsfelder, die Anpassung und der Aufbau einer Forschungsinfrastruktur sowie die Umsetzung und Anpassung der Organisationsform der Open Hybrid LabFactory, um unter den komplexen Randbedingungen den erfolgreichen Betrieb einer Forschungseinrichtung in einem Modell des „Public Private Partnership, PPP“ zu gewährleisten.

Die Open Hybrid LabFactory „Materialentwicklung und Produktionstechnik für den wirtschaftlichen und multifunktionalen Leichtbau“ hat sich zum Ziel gesetzt, die Planung und Herstellung hybrider Strukturen für eine neue Generation von Fahrzeugen zu entwickeln und die Voraussetzungen dafür in einer neugestalteten, örtlich konzentrierten Symbiose von Industrie und Wissenschaft zu erforschen. Hierzu muss eine derzeit noch nicht verfügbare Prozesstechnologie erarbeitet werden, die die Nachteile der bestehenden Fertigungstechnologien der FVK für hochfeste, textile Faserstrukturen eliminiert, diese aber mit den Vorteilen hoch entwickelter bestehender Prozesse vereint und gleichzeitig die kumulierten Herstellungskosten einer Komponente signifikant reduziert.

Einen wesentlichen Beitrag zu dieser dringend erforderlichen Kostenreduktion insbesondere für Kohlenstofffasern, als einer Hochleistungsfaser mit zentraler Bedeutung für den automobilen Leichtbau leistet die Erarbeitung neuer werkstofflicher und technologischer Ansätze in der Faserherstellung. Ausgangspunkt der Forschungstätigkeiten soll hier die Evaluation neuer kostengünstiger Precursoren für Kohlenstofffasern sein. In prototypischen Laboranlagen ist geplant, fadenbildende Herstellungsverfahren für alternative Precursoren zu untersuchen und technologisch zu bewerten. In nachgeschalteten Prozessschritten sollen diese neuartigen Precursor-Fäden dann zu Kohlenstofffasern konvertiert werden. Vor dem Hintergrund steigender Anforderungen an die Ressourcenschonung liegt

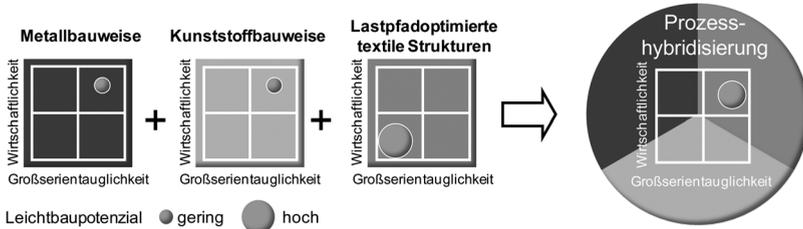


Abbildung 2: Produkt- und Prozessstrategie in der Open Hybrid LabFactory.

ein weiterer Schwerpunkt der geplanten Arbeiten auf der Untersuchung neuer Ansätze zur Nutzung regenerativer Energiequellen für die energieintensiven Fertigungsschritte der Faserherstellung, wobei vor allem die verfahrens- und maschinentechnischen Anforderungen bei Nutzung von fluktuierenden regenerativen Energiequellen näher analysiert und erste Pilotlinien prototypisch realisiert werden sollen. Diese neuartigen Prototyp-Fasern können dann in den nachgeschalteten Halbzeug- und Bauteil-orientierten Schritten der neuen hybriden Prozesskette erstmals geschlossen weiterverarbeitet werden.

Die Produkt- und Prozessstrategie der Open Hybrid LabFactory ist anschaulich in Abbildung 2 dargestellt.

Explizit wird hierbei die Entwicklung von integralen Verfahren für Multi-Material-Hybride (MMH) sowohl in flächiger als auch in profilorientierter Grundgeometrie angestrebt, um für unterschiedliche Konstruktionsprinzipien von Fahrzeugen wirtschaftliche Lösungen anbieten zu können. Die Hybridisierung (Abbildung 3) beruht auf der Synthese von Urform-, Umform- und fügetechnischen Prozessen in einem Arbeitsgang innerhalb einer Anlage. Die Idee lässt sich mit „ein Takt - ein Hybridbauteil“ zusammenfassen und zielt auf ein integriertes und funktionsspezifisch gestaltetes hybrides Werkstoffkonzept innerhalb eines Bauteils ab. Es soll ein Bauteil aus verschiedenen Materialien und Halbzeugen, die gemäß ihrer Eigenschaften lokal an der geeigneten Stelle integriert werden, in einem Schritt erzeugt werden. Gleichzeitig wird hinsichtlich der Integration des Prozesses in die gesamte Fertigungskette eine Kompatibilität zu den derzeitigen Abläufen in der Automobilfertigung gewährleistet. Die durch diese Verfahren erzeugten Multi-Material-Komponenten verbinden die spezifischen Vorteile der kombinierten Werkstoffe.

Das vorliegende Konzept beinhaltet neben der Herstellung der Produkte bzw. Bauteile und Baugruppen die Betrachtung geeigneter Rohstoffe und Halbzeuge. Aus diesem Grund wird im Rahmen des Clusters auch die Fertigungskette für Halbzeuge dargestellt. Wesentliche Bestandteile sind hier die anwendungsgerechte und wirtschaftliche Herstellung von Kohlenstofffasern und deren Weiterverarbei-

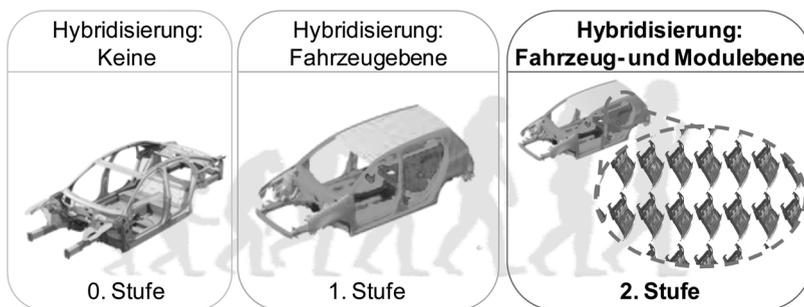


Abbildung 3: Die zweite Evolutionsstufe der Hybridisierung (Quelle: Volkswagen).

tung zu Halbzeugen, die für die vorgesehene Fertigungskette geeignet sind bzw. die Voraussetzung für eine entsprechende Fertigung darstellen. Im Folgenden sind Kernpunkte der geplanten Fertigungskette skizziert

1. Faserherstellung

Der Forschungsschwerpunkt der Faserherstellung umfasst eine Pilotanlage zur Herstellung von Kohlenstofffasern, die auf einer Textillege- und Wirkmaschine zu flächigen Halbzeugen weiterverarbeitet werden. Im nächsten Prozessschritt können diese in einer Imprägnieranlage mit dem Matrixwerkstoff (Kunststoff) imprägniert oder trocken weiterverarbeitet werden. Abschließend werden die imprägnierten Fasern mit entsprechender Handhabungstechnik zu mehrschichtigen Lagenpaketen (Organoblech) aufgebaut, die als Versuchsmaterialien im Rahmen der Entwicklung neuer Fertigungstechnologien eingesetzt werden.

Ein besonderer Schwerpunkt wird in diesem Zusammenhang auf die Herstellung von Kohlenstofffasern unter Nutzung regenerativer Energien gelegt. Dies ist zum einen notwendig, um im Rahmen einer Gesamtbilanzierung wirklichen Nutzen für die Umwelt zu erzielen, andererseits stellt die Nutzung regenerativer Energien zur Faserherstellung eine besondere Herausforderung dar, da diese Energien eher diskontinuierlich zur Verfügung stehen und somit ein variables Produktionskonzept für eine qualitätssichere Fertigung voraussetzen.

2. Integrierte Fertigungstechnologien für Hybridstrukturen

Der Forschungsschwerpunkt zur Entwicklung neuer, integrierter Fertigungstechnologien für Hybridstrukturen umfasst die Anlagentechnik für die Erforschung des Ziels „ein Takt - ein Hybridbauteil“. Die Erfüllung dieser Zielvorgabe wird durch die Untersuchung zweier Prozessrouten forciert, die beide auf die angrenzende Faserherstellung zurückgreifen:

- Eine Prozessroute untersucht Fertigungsverfahren zur kontinuierlichen, vollvariablen Herstellung von hybriden Profilstrukturen.
- Die zweite Prozessroute zielt auf die Untersuchung von flächigen Strukturen ab, die über Presstechnologien, kombiniert mit Kunststoff-Spritzgussanlagen (Multifunktionale-Spritzguss-Hybridpresse - MSH), endkonturnahe und verschnittarme Bauteile erzeugt.

Ergänzt werden die beiden Forschungsschwerpunkte durch die Bereiche Life Cycle Design & Engineering, die die für eine lebenszyklusorientierte Produkt- und Prozessentwicklung verfügbaren Softwarewerkzeuge zu einer geschlossenen Werkzeugkette verbinden. Diese Querschnittsfunktionen umfassen Engineering-Werkzeuge aus dem CAD/CAE, der numerischen Simulation von Fertigungsprozessen und Bauteileigenschaften sowie aus dem Bereich des Life Cycle Engineering & Assessment einschließlich der notwendigen Produktdatenmanagement-Systeme bzw. Schnittstellen zu Materialdeklarationssystemen. Aus dem Life Cycle Design & Engineering Lab kann auf Messdaten (Verbräuche von Energie- und Hilfsstoffen) zugegriffen werden. Hierzu wird die Anlagentechnik innerhalb der LabFactory mit entsprechender Mess- und Monitoringtechnik ausgestattet.

Handlungsfelder der Open Hybrid LabFactory

Entlang der Prozesskette zur Fertigung hybrider Strukturen wurden die fünf Handlungsfelder „Konstruktion/Simulation“, „Faser/Matrix/Halbzeug“, „Bauteilherstellung und Automatisierung“, „Bauteilqualität und Prüftechnik“ sowie „Umwelt und Recycling“ zur gezielten Bearbeitung wissenschaftlicher Fragestellungen definiert (Abbildung 4). Die anwendungsgerechte Gestaltung der Forschungsinhalte wird durch mindestens je einen Handlungsfeldverantwortlichen aus Industrie und Wissenschaft sichergestellt.

Die Forschungsroadmap der Open Hybrid LabFactory leitet sich aus den Inhalten der Handlungsfelder ab und bildet die Grundlage für die weitere zeitliche Planung der Forschungsaktivitäten in der Open Hybrid LabFactory. Angelehnt an die Hauptphasen des ForschungsCampus ist auch die Einteilung der Forschungsziele zur „Vision 2030“ in drei Phasen untergliedert (Abbildung 5).

Im Handlungsfeld „Konstruktion / Simulation“ konzentrieren sich die Aktivitäten in der ersten Phase auf den Aufbau eines Methodenkatalogs für die Gestaltung von Multi-Material-Bauteilen, die Entwicklung von Berechnungsmethoden für Fügetechnologien sowie die Entwicklung von Optimierungs- und Validierungsmethoden für statische Lastfälle. In der zweiten Phase werden diese Inhalte durch Crash-Analysen, die Optimierung für dynamische Lastfälle und die Entwicklung von Methoden zur Berechnung von Dauerfestigkeit und Ausfallwahrscheinlichkeit sowie die Validierung im Versuch ergänzt. Die letzte Phase zur Vision 2030 sieht

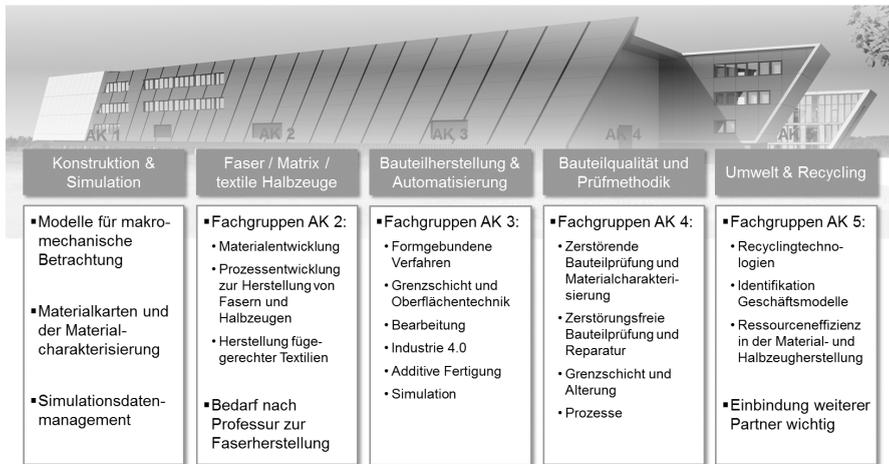


Abbildung 4: Handlungsfelder der Open Hybrid LabFactory.

die Schaffung einer Konstruktions- und Optimierungsumgebung für komplexe Multi-Material-Bauteile unter der Berücksichtigung statistischer Effekte sowie einer gekoppelten, parametrischen CAD/FEM-Optimierung vor.

Das Handlungsfeld „Faser/Matrix/Halbzeug“ wird in der ersten Phase die Weiterentwicklung bestehender Matrix- und Fasersysteme aus Luft- und Raumfahrt vorantreiben, bevor in der zweiten Phase die Faserherstellung unter Automotive-Gesichtspunkten optimiert werden soll. Die Vision 2030 sieht schließlich eine für den jeweiligen Anwendungsfall designte, kostengünstige Faser- und Matrixqualität vor. Weitere Forschungsinhalte dieses Handlungsfelds bestehen in der Entwicklung lastpfadoptimierter Halbzeuge.

Im Handlungsfeld „Bauteilherstellung und Automatisierung“ erfolgt in der ersten Phase neben der Weiterentwicklung bestehender Technologien durch Grundlagenuntersuchungen zur Press-, Spritzguss- und Profilierverfahren die Optimierung bestehender Modelle und Methoden zur entsprechenden Prozesssimulation. Des Weiteren werden Technologien zur automatisierten Verkettung einzelner Prozessschritte evaluiert. Die zweite Phase hat die Optimierung bezüglich der Stückzahlen und Taktzeiten durch die Integration einzelner Fertigungsprozesse, z.B. Pressen/Spritzguss oder Pultrusion/Rollprofilieren sowie die Integration von Fertigungsoperationen in die automatisierte Handhabung zum Inhalt. In der Vision 2030 erfolgt die Kombination von integrierten Prozessen und funktionsintegrierter Handhabung zu automatisierten und varianten- sowie stückzahlgerechten Produktionskonzepten.

	Phase I 2013 - 2017	Phase II 2018 - 2022	Vision 2030
Konstruktion und Simulation Prof. Vietor (TUBS, IK) Dr. Helm (VW, Vorentwicklung) Dr. Manz (VW, Entwicklung)	<ul style="list-style-type: none"> Optimierungs- und Validierungsmethoden für statische Lastfälle 	<ul style="list-style-type: none"> Crash-Analysen und Optimierung für dynamische Lastfälle 	<ul style="list-style-type: none"> Konstruktionsumgebung mit Kopplung von parametrischer CAD/FEM-Optimierung
Faser/Matrix/Halbzeug Dr. Täger (VW, Forschung) N.N. (TUBS, Stiftungsprof.)	<ul style="list-style-type: none"> Effiziente Prozesse für textile Halbzeuge, Prepregs und C-Fasern 	<ul style="list-style-type: none"> Alternative C-Fasern Automatisierung der Prozesskette Textiles Halbzeug und Prepreg 	<ul style="list-style-type: none"> Serienreife Umsetzung der Faser- und Halbzeugherstellung Deutliche Kostensenkung
Bauteilherstellung und Automatisierung Prof. Dröder (TUBS, IWF) Hr. Ortelt (VW, Komponente) Hr. Becke (VW, Produktion)	<ul style="list-style-type: none"> Technologieentwicklung und Automatisierung von Prozessen 	<ul style="list-style-type: none"> Verfahrensoptimierung bzgl. Stückzahlen und Taktzeiten sowie Verfahrensintegration 	<ul style="list-style-type: none"> Wirtschaftliche Großserienfertigung
Bauteilqualität und Prüfmethodik Prof. Dilger (TUBS, ifs) Dr. Wollenberg (VW, Forschung)	<ul style="list-style-type: none"> Grundlegende Messprinzipien zur Schadensdetektion 	<ul style="list-style-type: none"> Schadensauswirkungen Entwicklung von Verfahren zur Bauteilprüfung und Reparatur 	<ul style="list-style-type: none"> Sicherung der Qualität hybrider Strukturen und Bauteile über die Gesamtlebensdauer
Umwelt und Recycling Prof. Herrmann (TUBS, IWF) Dr. Krinke (VW, Forschung)	<ul style="list-style-type: none"> Recyclingkonzepte Life Cycle Assessment 	<ul style="list-style-type: none"> Recyclinggerechtes Design Recyclingtechnologien 	<ul style="list-style-type: none"> Umweltorientierte Analyse aller Bauteil-Prozess-Kombinationen

Abbildung 5: Forschungsroadmap der Open Hybrid LabFactory.

Die Ziele und Inhalte im Handlungsfeld „Bauteilqualität und Prüftechnik“ bestehen in der ersten Phase in Entwicklung von Methoden zur Schadensdetektion sowie von Prüftechnik zur Bestimmung von Kenngrößen zur Auslegung hybrider Bauteile. In der zweiten Phase wird darüber hinaus an Reparaturkonzepten für Bauteile in Multi-Material-Bauweise geforscht. Die Vision 2030 sieht die Entwicklung von Systemlösungen und die Integration der Prüftechnik in großserienfähige Prozessketten vor.

Die Forschungsinhalte des Handlungsfelds „Umwelt und Recycling“ können in die drei Ebenen „Umweltbewertung“, „Recyclingtechnologien und Geschäftsmodelle“ sowie „Design for Environment mit neuen Werkstoffkombinationen“ unterteilt werden. Auf der Ebene der Umweltbewertung erfolgen in der ersten Phase unter anderem Arbeiten zur ökologischen Potenzialanalyse verschiedener Werkstoffe für hybride Anwendungen sowie die Vereinheitlichung der Life Cycle Assessment-Datenerfassung für Werkstoffe und Prozesse. Zur Vision 2030 werden diese Inhalte bis zur durchgängigen Aussagefähigkeit der Produktentwicklung durch die technische und inhaltliche Interoperabilität verschiedener IT-Anwendungen weiterentwickelt und sollen so eine richtungssichere Life-Cycle Umweltbewertung durch Informationsintegration entlang der Wertschöpfungskette ermöglichen. Auf der Ebene der Recyclingtechnologien und Geschäftsmodelle werden Recyclingtechnologien und Verwertungskonzepte für Multi-Material-Mischbauweisen hinsichtlich ihrer ökologischen und ökonomischen Eigenschaften bewertet und in der zweiten Phase Pilotverfahren für neue Recyclingtechnologien umgesetzt. Das Ziel in der Vision 2030 besteht in der Bereitstellung von Closed-

Loop-Recyclinglösungen für materialhybride Anwendungen. In Zusammenarbeit mit dem Handlungsfeld „Konstruktion / Simulation“ werden auf der Ebene des Designs for Environment Zusammenhänge zwischen Produkteigenschaften, Prozessen und Umweltwirkungen identifiziert, um über die gezielte Konstruktion mit Recyklaten und alternativen Werkstoffen (z.B. Biopolymere oder Naturfasern) in der Vision 2030 einen ökologisch optimierten Entwicklungsprozess mit den Aspekten Konstruktion, Fertigung und Umwelt zu ermöglichen.

Eine inhaltliche Ergänzung der Forschungsroadmap erfolgt durch die Beteiligung der Fraunhofer Gesellschaft in Form eines Projektzentrums in den Schwerpunkten Hybridisierung mit metallischer Matrix, textile Fertigungskette und E-Fahrzeugkomponenten.

Konvergierende Technologien: Perspektiven der Mikro-Nano-Bio-Integration

STEPHANUS BÜTTGENBACH

Institut für Mikrotechnik der Technischen Universität Braunschweig,
Alte Salzdahlumer Straße 203, D-38124 Braunschweig

Der Begriff „Konvergierende Technologien“

Die Geschichte der Technikwissenschaften ist gekennzeichnet durch eine zunehmende Spezialisierung. Impulse für Innovationen und wirtschaftliches Wachstum beruhen in der Vergangenheit auf Entwicklungen in einzelnen Schlüsseltechnologien wie zum Beispiel der Mikroelektronik. Die Behandlung komplexer Probleme erfordert jedoch zunehmend die Integration von Erfahrungen und Kenntnissen, die über die Grenzen eines einzelnen Fachgebietes hinausgehen. Interdisziplinäre Zusammenarbeit gewinnt daher mehr und mehr an Bedeutung. Ökonomischer Fortschritt wird zukünftig weniger von der Entwicklung in einzelnen Technologien abhängen, sondern von der Konvergenz verschiedener Spitzentechnologien.

Ein bekanntes Beispiel dafür ist die Mechatronik. Um steigenden Produkthanforderungen bezüglich Funktionalität, Zuverlässigkeit, Energieverbrauch und – wo immer möglich – Portabilität gerecht zu werden, müssen Mechanik, Elektronik, Regelungstechnik, Informationstechnik und gegebenenfalls weitere relevante Technologien eng zusammenwirken (Bild 1). Dies wird mit dem Kunstwort Mechatronik bezeichnet, das durch Verschmelzen der Begriffe Mechanik und Elektronik entsteht. Mechatronik ist auch eine multifunktionale Technologie: mechatronische Systeme enthalten Sensoren, Aktuatoren sowie signal- und informationsverarbeitende Funktionen.

Konvergierende Technologien verändern den Prozess der Produktentwicklung. Die traditionelle „Throw it over the wall“-Methode, bei der jeder Teil des Entwicklungsprozesses separat ausgeführt wird und der Informationsfluss nur in einer Richtung erfolgt, muss weiterentwickelt werden zu einer interdisziplinären Methode. Alle Mitglieder der Projektgruppe besitzen gründliche Kenntnisse auf mehreren Technologiefeldern und tauschen Informationen kontinuierlich untereinander aus. Dies bedeutet, dass junge Ingenieure, die auch heute oft einen stark disziplinär ausgerichteten universitären Hintergrund haben, ihre interdisziplinären Erfahrungen ausweiten müssen.

* Der Vortrag wurde am 11.04.2014 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

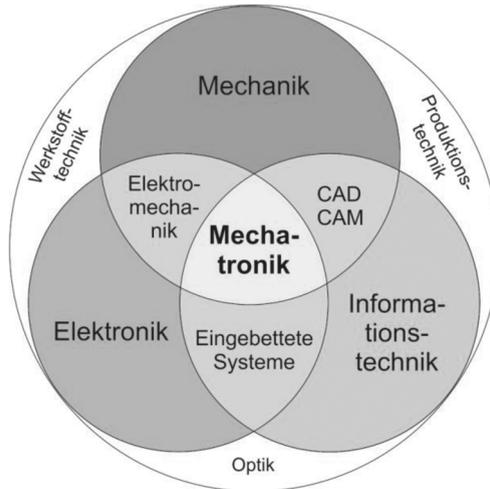


Bild 1. Disziplinen der Mechatronik.

Von der Mechatronik zur Mikrosystemtechnik

Die Entwicklung der Mechatronik ist eng verbunden mit der Entwicklung der Mikroelektronik: die hoch integrierten elektronischen Schaltkreise ermöglichen fortgeschrittene regelungstechnische und informationsverarbeitende Funktionen in mechatronischen Systemen. In der Folge wurden die hochentwickelten Fertigungstechniken der Mikroelektronik genutzt, um mechanische, optische und fluidische Bauelemente zu miniaturisieren und mit mikroelektronischen Schaltkreisen zu integrieren. Die so entstehenden mikromechatronischen Systeme – häufig als Mikrosysteme bezeichnet – vereinigen sensorische, aktuatorische und informationsverarbeitende Funktionen auf engstem Raum. Sie bieten vielfältige Vorteile: sie sind klein, leicht, verbrauchen wenig Energie, besitzen hohe Zuverlässigkeit und Multifunktionalität und können im Allgemeinen kostengünstig hergestellt werden.

Mikrosystemtechnik entsteht aus der Integration von Mikro- und Systemtechniken (Bild 2). Sie ist eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts und kann ähnliche technische und gesellschaftliche Veränderungen bewirken wie die Mikroelektronik seit den 1960er Jahren. Mikrosysteme werden heute in vielen Anwendungsfeldern, zum Beispiel in der Fahrzeugtechnik, der Kommunikationstechnik, im Maschinen- und Anlagenbau und im Konsumgüterbereich, eingesetzt:

– In Kraftfahrzeugen bilden Beschleunigungs- und Drehratensensoren die Basis für Airbags und elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP).

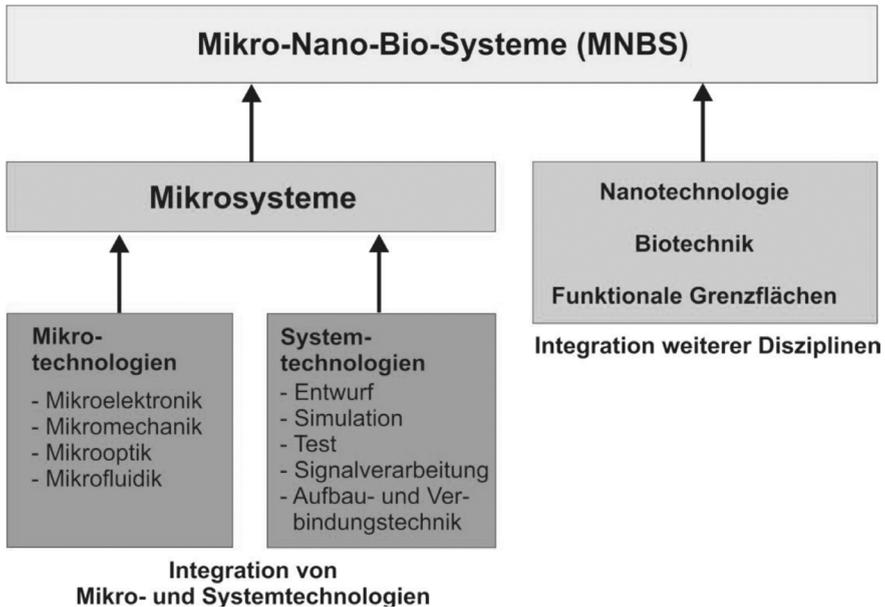


Bild 2. Konvergenz von Mikrosystemtechnik, Nanotechnologie und Biotechnik.

– In Druckköpfen für Tintenstrahldrucker sind Mikroprozessoren mit Mikrokanälen auf einem Chip integriert. Die Mikrokanäle führen mehreren Tausend Düsen mit einem Durchmesser unter $30\ \mu\text{m}$ die Tinte zu.

– In Hörgeräten, Mobiltelefonen und Tablet-Computern wandeln miniaturisierte Mikrofone Schallschwingungen mit Hilfe einer mikrotechnisch hergestellten Membran in elektrische Signale um.

Der Weltmarkt für mikrosystemtechnische Produkte wird einer Studie der Yole Développement [1] zufolge von 10 Milliarden US-Dollar im Jahr 2011 auf 21 Milliarden US-Dollar im Jahr 2017 steigen.

Mikro-Nano-Bio-Systeme

Eine ganze Reihe von Mikrosystemen integrieren bereits zusätzliche Technologien, insbesondere Nanotechnologie und Biotechnik einschließlich der Technologie funktionaler Grenzflächen. Durch diesen Prozess, der auch unter dem Begriff „Smart Systems Integration“ bekannt ist, entstehen sogenannte Mikro-Nano-Bio-Systeme (MNBS, Bild 2).

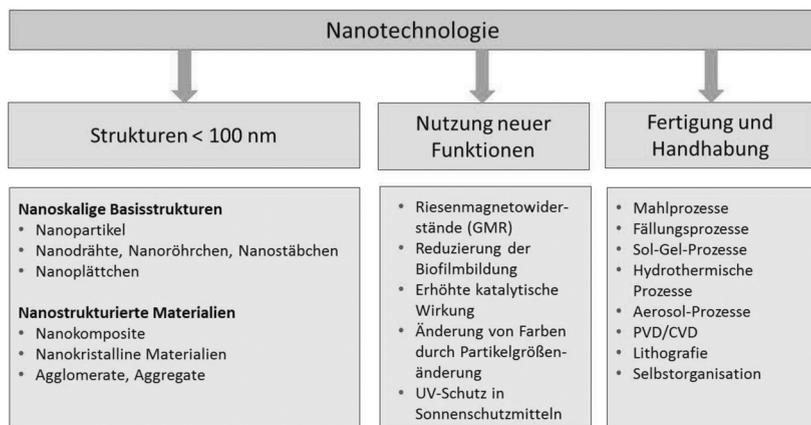


Bild 3. Erläuterung des Begriffs Nanotechnologie.

Bild 3 erläutert den Begriff „Nanotechnologie“. In Anlehnung an die Definition der Internationalen Standardisierungs-Organisation (ISO) lassen sich drei wichtige Felder erkennen [2]:

1. Die Nanotechnologie befasst sich mit Materialien die in einer oder mehreren Dimensionen Strukturen kleiner als 100 nm aufweisen. Bei Nanomaterialien kann es sich um nanoskalige Basisstrukturen oder nanostrukturierte Materialien handeln. Zu ersteren zählen Nanopartikel (drei Dimensionen im Nanomaßstab), Nanodrähte, -röhrchen und -stäbchen (zwei Dimensionen im Nanomaßstab) und Nanoplättchen (eine Dimension im Nanomaßstab). Bei den nanostrukturierten Materialien können Nanokomposite, nanokristalline Materialien und Agglomerate (lose gebundene Partikel) und Aggregate (stark gebundene Partikel) unterschieden werden.
2. Es werden neue Funktionen genutzt, die überwiegend aus dem veränderten Verhältnis von Oberflächenatomen zu Volumenatomen und dem quantenmechanischen Verhalten resultieren. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von größeninduzierten Funktionalitäten.
3. Nanotechnologie befasst sich mit der gezielten Herstellung und Handhabung von Nanoobjekten. Bei den Herstellungsprozessen gibt es grundsätzlich zwei verschiedene Gruppen von Verfahren (Bild 4): Die Top-Down-Verfahren nutzen weiterentwickelte Prozesse der Mikrosystemtechnik zur Herstellung von Strukturen kleiner als 100 nm, das heißt die Struktur wird dem Material von außen aufgeprägt. Zu den Top-Down-Verfahren zählen auch mechanische Mahlverfahren zur Herstellung von Nanopartikeln. Bei den Bottom-Up-Verfahren werden komplexe Strukturen gezielt auf Basis der physikalisch-chemischen Prinzipien der Selbstorganisation aus Atomen und Molekülen aufgebaut.

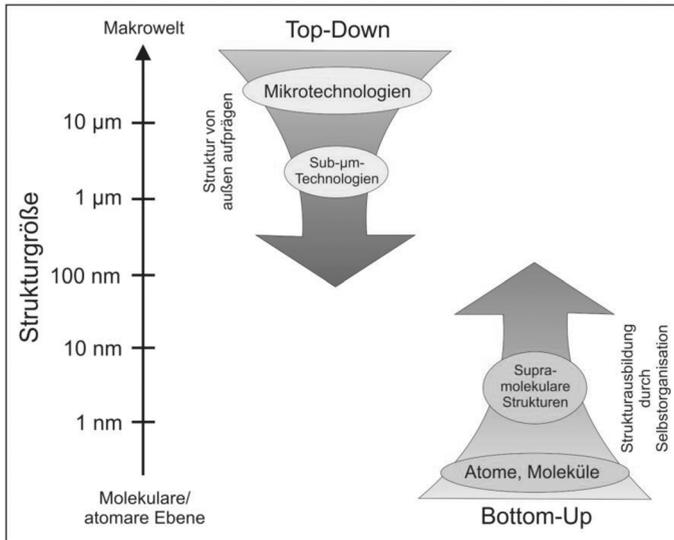


Bild 4. Herstellungsverfahren der Nanotechnologie (in Anlehnung an [3]).

Anwendungen von Mikro-Nano-Bio-Systemen in den Lebenswissenschaften

Durch die Integration von Nano- und Biomaterialien in Mikrosysteme werden in hohem Maße neuartige Anwendungen in den Lebenswissenschaften ermöglicht. Aktuelle Felder in Forschung und Entwicklung sind:

- Verfahren der molekularen In-vitro-Diagnostik und biochemischen Analyse (Lab-on-a-Chip)
- Interaktion von MNBS mit Zellen
- MNBS in der Therapie (Wirkstoffverabreichung, tragbare und implantierbare Geräte)

Einige Beispiele sollen dies verdeutlichen:

Immunosensor für C-reaktives Protein [4,5]. Die Konzentration von C-reaktivem Protein (CRP) im Blutserum steigt bei entzündlichen Erkrankungen stark an. Es ist ein Marker der akuten Phase und seine Konzentration wird daher häufig zur Diagnostik benutzt. Der Nachweis erfolgt üblicherweise in speziellen Labors und ist daher zeitaufwändig. An einer zeitnahen Bestimmung der CRP-Konzentration in den Arztpraxen oder direkt am Krankenbett (Point-of-Care-Diagnostik) besteht deshalb großes Interesse.

Der entwickelte Immunosensor zur Detektion von CRP im Blutserum besteht aus drei Teilen, CRP-Antikörpern als biologisch sensitive Komponente, einer Quarz-Mikrowaage als Wandler, der das Signal, das durch die Wechselwirkung des Analyten mit der biologisch sensitiven Komponente entsteht, in ein elektrisches Signal umsetzt, und einer Signalverarbeitung, die das Ergebnis benutzerfreundlich anzeigt. Bei der Quarzmikrowaage handelt es sich um eine Quarzmembran mit einem Durchmesser von 3 mm und einer Dicke von etwa 80 μm . Mit Hilfe von beidseitig aufgetragenen Goldelektroden wird die Membran zu Dickenscherschwingungen angeregt. Auf den Goldelektroden werden CRP-Antikörper immobilisiert. Um eine gute Haftung der Antikörper auf den Elektroden zu erreichen, wird zunächst eine selbstorganisierende Monolage eines Thiolats als Crosslinker auf die Goldoberflächen aufgebracht. Selbstorganisierende Monolagen sind Nanostrukturen, die durch Adsorption molekularer Bausteine auf Festkörperoberflächen entstehen. Die Adsorbate organisieren sich spontan in kristalline oder teilkristalline Strukturen. Die Quarzresonatoren werden in eine Fließzelle aus Polymer integriert, durch die das Blutserum fließt. Infolge der Anlagerung von CRP an die Antikörper auf der Resonatoroberfläche vergrößert sich die schwingende Masse und dadurch verringert sich die Resonanzfrequenz. Die durchgeführten Experimente zeigen eine lineare Relation zwischen der CRP-Konzentration und dem Frequenzabfall. Einige zehn Messungen konnten bei einem Reinigungsschritt mit einer Pufferlösung nach jeder Messung mit derselben Quarzmikrowaage durchgeführt werden.

Mikroplasma-Stempel zur selektiven Funktionalisierung von Oberflächen bei Atmosphärendruck. Eine geometrisch selektive Funktionalisierung von Oberflächen kann mit Hilfe von Atmosphärendruck-Mikroplasma in Kavitäten mit begrenzten Geometrien durchgeführt werden. Die dazu entwickelten Mikroplasma-Stempel mit einem Durchmesser von etwa 2 cm basieren auf dem Prinzip der dielektrisch behinderten Entladung. Als Barrierematerial wird Polydimethylsiloxan (PDMS) verwendet, in das kreisförmig angeordnete zylindrische Kavitäten mit einem Durchmesser von 100 - 500 μm und einer Höhe von 350 μm mit Hilfe eines Abformverfahrens strukturiert werden. Diese strukturierte PDMS-Membran wird auf einen Glasträger gebondet, auf dessen Rückseite sich eine Goldelektrode befindet. Das zu behandelnde Substrat ist zwischen einer Vakuum-Spannvorrichtung aus Aluminium, die gleichzeitig als Gegenelektrode dient, und dem Stempel angeordnet. Das Plasma wird in den geschlossenen zylindrischen Kavitäten erzeugt, die durch Anpressen zwischen dem Stempel und dem zu behandelnden Substrat entstehen. Dieser Plasmaprozess integriert Oberflächenmodifikation und laterale Strukturierung in einem Prozessschritt [6].

Das endgültige Ziel der Entwicklung ist die Synthetisierung einer Peptid-Bibliothek mit bis zu 10.000 individuellen Verbindungen mit Hilfe eines BioDisc-Synthesizers [7]. Als vorbereitender Schritt für die Peptid-Synthese ist eine strukturierte Aminofunktionalisierung der Polypropylen-Kohlenstoff (PP/C)-BioDisc notwendig, die mit Hilfe der Mikroplasmastempel in einem (N_2+H_2)-Plasma

erfolgt. In einer Machbarkeitsstudie konnte gezeigt werden, dass die aminofunktionalisierten Spots auf der PP/C-Scheibe als Ankerpunkte für eine chemische Peptid-Synthese sehr gut geeignet sind.

Quantenpunkte als integrierte Lichtquelle in photonischen Mikrobioreaktoren [8,9]. Mikrobioreaktoren werden üblicherweise als Kultivierungsplattform zum Screening von Bioprozessen und Wirkstoffen benutzt. Dabei ist häufig die Integration einer online Analytik notwendig. Das vorgestellte Beispiel nutzt eine Absorptionsmessung, die auf einer mehrfachen internen Totalreflexion beruht. Der Mikroreaktor besteht aus einer Reaktionskammer aus PDMS mit einem Volumen von 3,3 μL , die mit Einlass- und Auslass-Reservoirien verbunden ist. In das mikrofluidische System sind folgende optische Komponenten monolithisch integriert: Kanäle zur Führung optischer Fasern, bikonvexe Linsen und totalreflektierende Luftspiegel, die die unterschiedlichen Brechungsindizes von Luft und PDMS ausnutzen und die den optischen Weg verlängern. Licht breitet sich im Reaktor auf einem Zick-Zack-Pfad aus und wird mit einer optischen Faser in ein Mikrospektrometer eingekoppelt. Dieser optische Mikrobioreaktor kann zum Beispiel zur pH-Analyse während einer Zellkultivierung eingesetzt werden.

Eine integrierbare Lichtquelle würde die aufwendige Einkopplung von Licht einer externen Quelle überflüssig machen. Hierzu können beispielsweise Quantenpunkte genutzt werden. Quantenpunkte sind Halbleiter-Nanokristalle. Ihre Emissionswellenlänge ist größenabhängig, sie zeigen starke Emission, eine große Stokes-Verschiebung, ein breites Absorptions- und ein schmales Emissionsspektrum. Mit Quantenpunkten verschiedener Größe erhält man daher eine Lichtquelle für unterschiedliche Emissions-Wellenlängen. Quantenpunkte in einer Sol-Gel-Matrix konnten erfolgreich in das Mikrosystem integriert und für den Nachweis des Cofaktors ABTS benutzt werden.

Antiseptische Oberflächen in Mikrobioreaktoren auf Basis von Silber- und Kupfer-Nanopartikeln [10]. Bei Langzeitkultivierungen in Mikrobioreaktoren ist es wünschenswert, antiseptische Oberflächen in den Reaktor zu integrieren, um ein Zellwachstum an unerwünschten Stellen zu verhindern. Durch Einbringen von grenzflächenaktiven metallischen Nanopartikeln in eine PDMS-Matrix kann ein langfristiger antiseptischer Effekt erreicht werden aufgrund der Tatsache, dass die Volumenphase ein Reservoir darstellt, aus dem Ionen kontinuierlich an die Oberfläche des PDMS diffundieren. Bei ersten Untersuchungen mit Kupfer- und Silber-Nanopartikeln wurde ein antiseptischer - aber kein toxischer - Effekt des Nanopartikel-PDMS-Komposits beobachtet.

Integrierte Herstellung und Beladung von Lipidnanopartikeln als Arzneistoffträger [11,12]. Feste Lipid-Nanopartikel werden sowohl in der Kosmetik wie auch in der Pharmazie eingesetzt. In der Pharmazie dienen sie als Trägersysteme für Wirkstoffe. Feste Lipid-Nanopartikel sind kolloidale Partikel, die aus einem kristallinen Lipid-Kern und einer stabilisierenden Emulgatorhülle bestehen. Für

Anwendungen im Bereich des Wirkstoff- und Formulierungsscreenings sind Untersuchungen mit sehr geringen Stoffmengen wünschenswert, da auf diese Weise sowohl Kosten wie auch Arbeitsaufwand reduziert werden können. Zu diesem Zweck ist die Entwicklung entsprechender Mikroreaktoren erforderlich, wobei hohe Anforderungen hinsichtlich Temperatur- und Druckstabilität, Widerstandsfähigkeit gegenüber Abrasion, chemische Beständigkeit und Biokompatibilität gestellt werden. Daher bietet sich Edelstahl als Strukturwerkstoff an, der mittels Mikrofunktenerosion strukturiert werden kann. Das entwickelte Mikrosystem ist modular aufgebaut, um eine hohe Flexibilität zu gewährleisten. Es besteht aus mehreren übereinander platzierten Mikrokomponenten und erlaubt die Durchführung aller relevanten Prozessschritte: Dispersion, Voremulgierung und Emulgierung. Ausgangsstoffe sind eine lipophile Phase, in der die Wirkstoffkristalle suspendiert sind, und eine wässrige Phase. Beide werden außerhalb des Mikroreaktors präpariert. Ebenso erfolgt die abschließende Kristallisation in einem separaten Mikrosystem. Als Ergebnis erhält man mit dem Wirkstoff beladene Lipid-Nanopartikel. Erste Experimente lieferten bei einer Druckdifferenz von 1500 bar Partikel mit einer Größenverteilung von 60 bis 160 nm.

Nano-Bio-Info-Cogno-Integration und „technische Verbesserung“ des Menschen

Diese Anwendungsbeispiele geben einen Eindruck von dem großen Potential des Zusammenwirkens von Mikrosystemtechnik, Nanotechnologie und Biotechnik. Die Integration weiterer Wissenschaftsbereiche wird vor allem in den USA unter der Bezeichnung NBIC diskutiert. Hierbei liegt der Fokus auf Nano-, Bio- und Informationstechnologie sowie Kognitionswissenschaft (Cognitive Science) (Bild 5). Im Mittelpunkt dieser Diskussion steht die „technische Verbesserung“ des Menschen (Human Enhancement) [13]. Die Unzufriedenheit des Menschen mit sich selbst ist nicht neu. Albert Camus hat 1951 darauf hingewiesen [14]: „Man is the only creature that refuses to be what he is.“

Es lassen sich drei relevante Forschungs- und Entwicklungsbereiche für Human Enhancement erkennen [15]:

– **Therapie**. Beispiele sind: Wiederherstellung der Hörfunktion, Wiederstellung des Sehens, Nachbildung von Organstrukturen, personalisierte Medizin, genetische Impfstoffe.

– **Augmentation**. Beispiele sind: Verbessertes Gedächtnis, weiträumiges Sehen, präventive Medizin.

– **Geplante Evolution**. Beispiele sind: Optimierte Immunabwehr, Erhöhung der Lebensdauer, Regeneration von Knochen durch Selbstorganisation, Mensch-Maschine-Hybrid.

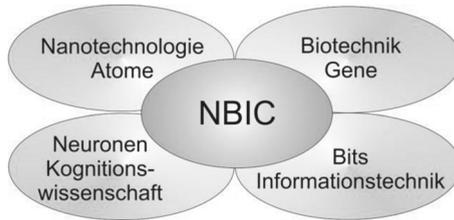


Bild 5. Technologische Konvergenz NBIC (in Anlehnung an [13]).

Obwohl die NBIC-Debatte einen hochgradig visionären Charakter aufweist, zeichnen sich gesellschaftliche Konflikte ab [16]:

„In Bezug auf die *Zukunft der Natur des Menschen* stehen damit neue Entscheidungsmöglichkeiten im Raum, zu denen sich ‚die Gesellschaft‘ eine Meinung nicht nur bilden *darf*, sondern auch bilden *muss*. Beispiele sind die Fragen, wo ethische Aspekte des Verbesserns liegen, wie mögliche Grenzziehungen begründet werden können und wie belastbar diese sind, welche Risiken für die betroffenen Individuen zu beachten sind und wie ein Missbrauch von Verbesserungstechnologien vorbeugend verhindert werden kann, welche Folgen eine ‚technische Verbesserung‘ des Menschen unter Aspekten der Verteilungsgerechtigkeit hat und ob bislang akzeptierte und praktizierte Lebensformen (zum Beispiel das Leben als behinderte Person) abgewertet oder unmöglich gemacht werden.“ (Grunwald 2007, [17] S. 951 f.)

Danksagung

Die im Abschnitt „Anwendungen von Mikro-Nano-Bio-Systemen in den Lebenswissenschaften“ vorgestellten Beispiele wurden im Institut für Mikrotechnik (IMT) der Technischen Universität Braunschweig in Zusammenarbeit mit Partnern in- und außerhalb der TU bearbeitet. Allen beteiligten Mitarbeitern des IMT und der Partnerinstitute sei herzlich gedankt für die hervorragende Zusammenarbeit. Die Arbeiten wurden gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 578 „Vom Gen zum Produkt“ und der Forschergruppe FOR 856 „Mikrosysteme für partikuläre Life-Science-Produkte“, durch die VW-Stiftung im Rahmen des Verbundprojekts „Microstructured Surface Treatment by Atmospheric-Pressure Microplasmas“ und durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Verbundprojektes „Nanomaterialien für Mikrosystem- und Halbleitertechnik“. Der Autor dankt der VW-Stiftung für finanzielle Förderung im Rahmen einer Niedersachsenprofessur.

Literatur

- [1] MOUNIER, E. MEMS 2012: Markets and Applications, 2nd Workshop on Design, Control and Software Implementation for Distributed MEMS, Besançon, Frankreich, 2–3 April 2012, URL: dmems.univ-fcomte.fr/presentations/mounier.pdf (Stand 03.01.2015)
- [2] Mikro-Nano-Integration – Einsatz von Nanotechnologie in der Mikrosystemtechnik, Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech, Band 13, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden, 2011
- [3] RAAB, C., M. SIMKÓ, U. FIEDELER, M. NENTWICH & A. GAZSÓ 2008: Herstellungsverfahren von Nanopartikeln und Nanomaterialien, NanoTrust-Dossier Nr. 006.
- [4] BALCK, A., M. MICHALZIK, L. AL-HALABI, S. DÜBEL & S. BÜTTGENBACH 2011: Design and fabrication of a lab-on-a-chip for point-of-care diagnostics. *Sensors & Transducers* **127**: 102–111.
- [5] AL-HALABI, L., A. BALCK, M. MICHALZIK, D. FRÖDE, S. BÜTTGENBACH, M. HUST, T. SCHIRRMANN & S. DÜBEL 2013: Recombinant antibody fragments allow repeated measurements of C-reactive protein with a quartz crystal microbalance immunosensor, *mAbs* **5**: 140–149.
- [6] LUCAS, N., R. FRANKE, A. HINZE, C.-P. KLAGES, R. FRANK & S. BÜTTGENBACH 2009: Microplasma stamps for the area-selective modification of polymer surfaces. *Plasma Processes and Polymers* **6**: S370-S374.
- [7] Franke, R., A. Hinze, N. Lucas, S. Büttgenbach, C.-P. Klages & R. Frank 2008: A compact disc-sized biochip structured and functionalized by microplasma-based patterned amination as substrate for an automated chemical synthesizer. *Proc. 30th European Peptide Symposium, Helsinki*, S. 484–485.
- [8] VILA-PLANAS, J., E. FERNÁNDEZ-ROSAS, B. IBARLUCEA, S. DEMMING, C. NOGUÉS, J.A. PLAZA, C. DOMÍNGUEZ, S. BÜTTGENBACH & A. LLOBERA 2011: Cell analysis using a multiple internal reflection photonic lab-on-a-chip. *Nature Protocols* **6**: 1642–1655.
- [9] DEMMING, S. 2011: Disposable Lab-on-Chip Systems for Biotechnological Screening, *Berichte aus der Mikro- und Feinwerktechnik, Band 30*, Shaker, Aachen.
- [10] DEMMING, S., A. HAHN, A. EDLICH, E. FRANCO-LARA, R. KRULL, S. BARCIKOWSKI & S. BÜTTGENBACH 2010: Softlithographic, partial integration of surface-active nanoparticles in a PDMS matrix for microfluidic biodevices. *Phys. Status Solidi A* **207**: 898–903.
- [11] RICHTER, C., D. STEGEMANN, A. VIERHELLER, T. GOTHSCHE, J.H. FINKE, A. KWADÉ, C.C. MÜLLER-GOYMANN, A. DIETZEL & S. BÜTTGENBACH 2013: Innovative process chain for the development of 3D metal microsystems. *Microelectronic Engineering* **110**: 392–397.
- [12] FINKE, J.H., S. NIEMANN, C. RICHTER, T. GOTHSCHE, A. KWADÉ, S. BÜTTGENBACH & C.C. MÜLLER-GOYMANN 2014: Multiple orifices in customized microsystem high-pressure

- emulsification: The impact of design and counter pressure on homogenization efficiency. *Chemical Engineering Journal* **248**: 107–121.
- [13] ROCO, M.C. & W.S. BAINBRIDGE (eds.) 2003: *Converging Technologies for Improving Human Performance*, Kluwer, Dordrecht.
- [14] CAMUS, A. 1951: *The Rebel: An Essay on Man in Revolt*, Vintage International, New York.
- [15] CANTON, J. 2004: *Designing the Future – NBIC Technologies and Human Performance Enhancement*. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* **1013**: 186–198.
- [16] COENEN, C. 2008: *Konvergierende Technologien und Wissenschaften. Der Stand der Debatte und politischen Aktivitäten zu »Converging Technologies«*, Hintergrundpapier Nr. 16, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- [17] GRUNWALD, A. 2007: *Orientierungsbedarf, Zukunftswissen und Naturalismus – Das Beispiel der „technischen Verbesserung“ des Menschen*, *DZPhil* **55**: 949–965.

Managed and Continuous Evolution of Dependable Automotive Software Systems*

ANDREAS RAUSCH¹

OLIVER BROX², AXEL GREWE, MARCEL IBE, STEFANIE

JAUNS-SEYFRIED², CHRISTOPH KNIEKE, MARCO KÖRNER, STEFFEN KÜPPER, MALTE MAURITZ, HENRIK PETERS, ARTHUR STRASSER, MARTIN VOGEL, NORBERT WEISS²

TU-Clausthal, Institute for Applied Software Systems Engineering,
Wallstr. 6, D-38640 Goslar

Abstract

Automotive software systems are an essential and innovative part of nowadays connected and automated vehicles. Automotive industry is currently facing the challenge to re-invent the automobile. Consequently, automotive software systems, their software systems architecture, and the way we engineer those kinds of software systems are confronted with major challenges: managing complexity, providing flexibility, and guaranteeing dependability of the desired automotive software systems and the corresponding engineering process. In this paper we will present an improved and sophisticated engineering approach. Our approach is based on the managed and continuous evolution of dependable automotive software systems. It helps engineers to manage system complexity based on continuous engineering processes to iteratively evolve automotive software systems and thereby guarantee the required dependability issues. Based on a running sample, we will present and illustrate the main assets of the proposed engineering approach for managed and continuous evolution of dependable automotive software systems.

1. Introduction

The over 125-year-old automotive industry stands for the production of motorised vehicles – motorcycles, passenger cars, commercial vehicles – and with their products for the fulfillment of the human need for mobility. The automotive industry

* Der Vortrag wurde am 12.07.2014 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

¹ Korrespondenzautor

² Volkswagen AG

is one of the most important industries; in particular for the German economy with a turnover of 357 billion euros and 750,000 employees in 2012. Moreover, there are engineering firms, car dealers, repair shops, and gas stations³.

The automotive industry is also top positioned in terms of investments: Between 2002 and 2012, 100 billion euros have been invested in Germany. This corresponds to a share of 23 percent of total industrial investment in Germany. In addition, the automotive industry has invested 77 billion in research and development between 2007 and 2012; almost a third of all expenditures of the German industry for research and development. With its research activities, automotive industry helps to ensure innovation, strengthens the economic, and pushes sustainability in Germany and all over the world.

Since several years, automotive industry is facing the challenge to “re-invent” the automobile (Dieter Zetsche)⁴. Individual mobility is nowadays mainly driven by the following trends: (a) the mobilization of the population in the developing countries promotes the transition from the bike to the car, (b) the differentiated value of cars in the developed countries from a status symbol to a sustainable high-tech mobility service provider, and (c) the common expectations to evolve vehicle towards an integrated, networked piece of the global inter-connected mobility service puzzle.

In the 1970s, the total number of lines of code in vehicle’s embedded software was less than 100. 2008, the average in premium vehicles was 10 million lines of code. Software has become an essential part in today’s vehicles. Nowadays, 30% to 40% of the added value in the automotive industry is based on software. And, even more important, software is responsible for up to 80% of the innovation in premium vehicles⁵.

Thereby, automotive software is not longer restricted to embedded software in vehicles, like control software for the engine or in-vehicle comfort functions. Due to further developments towards the connected car, today’s vehicles are equipped with internet access. Hence, the embedded software in vehicles is connected with various Information and Communication Technology (ICT) software and services available via Internet. Consequently, automotive software systems shift towards cyber physical automotive systems based on new system architectures

³ cf. <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Magazine/emags/economy/051/sp-2-die-automobil-industrie-eine-schluesselindustrie-unseres-landes.html>

⁴ cf. Zetsche, D.: Speech on Reinventing the Automobile Industry in the 21st Century, <http://www.worldcarfans.com/104052610585/reinventing-the-automobile-industry-in-the-21st-century>

⁵ cf. eCar-IKT-Systemarchitektur für Elektromobilität: Mehr Software (im) Wagen: Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) als Motor der Elektromobilität der Zukunft. <http://download.fortiss.org/public/ikt2030/ikt2030de-gesamt.pdf>

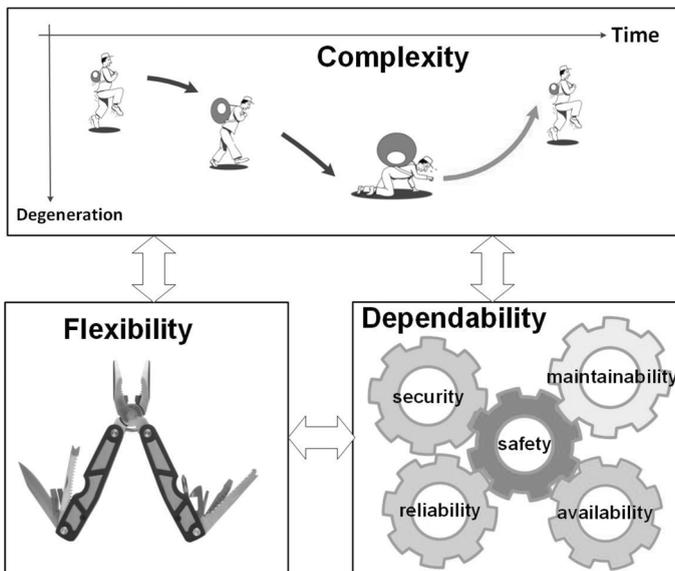


Fig. 1: Three main challenges for automotive software systems engineering.

and development tools that address the complexity and enable the implementation and exploitation of massive amounts of interconnected ICT devices and software services as well as embedded software in physical objects at different locations⁶. To sum up, automotive software systems are an essential and innovative part of nowadays connected and automated vehicles. Automotive industry is currently facing the challenge to re-invent the automobile. Consequently, automotive software systems, their software systems architecture, and the way we engineer those kinds of software systems have to be re-invented. We have identified three main challenges to strengthen automotive software systems engineering for the upcoming (r)evolution, as illustrated in Fig. 1.

a) **Complexity** of automotive software systems and engineering processes has still to be **manageable**.

Usually many variants of a vehicle exist – different configurations of comfort functions, driver assistance systems, connected car services, or powertrains can

⁶ cf. agendaCPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. <http://www.acatech.de/de/publikationen/empfehlungen/acatech/detail/artikel/acatech-studie-agendacps-integrierte-forschungsagenda-cyber-physical-systems.html>

be variably combined, creating an individual and unique product. To keep the vehicles cost efficient, modular components with a high reuse rate cross different types of vehicles are required. With respect to innovative and sophisticated functions, coming with the connected car and automated resp. autonomous driving the functional complexity, the technical complexity, and the networked-caused complexity is continuously and dramatically increasing. It is, and will be in future, a great challenge to further manage the resulting complexity.

b) **Flexibility** of automotive software systems and engineering processes has still to be **provided**.

Developing a new vehicle takes in average about 4 years. Commodity software used for vehicles, like operating systems, multimedia and infotainment software, or network drivers, is updated up to five times faster during vehicle development. This relation is even worse during vehicle operation. Customers expect that new functionality can be easily integrated into vehicles in a plug & play manner. However, nowadays integration of new hardware and software is very expensive. The adaptation of existing components is complex and error-prone. In order to respond quickly to these requirements, the development process must provide a high degree of flexibility.

c) **Dependability** of automotive software systems and engineering processes has still to be **guaranteed**.

Although a high flexible development process and a high reuse rate of automotive software components cross all vehicle types and variants are required, it is crucial to guarantee a high degree of dependability. As dependability, we summarize the essential software quality attributes for vehicles like availability, reliability, maintainability, safety, and security. Due to the connected car and automated resp. autonomous driving, safety and security becomes more and more critical. The actual high warranty costs of about 15% to 20% from earnings before interest and taxes caused by errors in automotive software have to be reduced. Guaranteeing dependability is a great challenge during development and operation of automotive software systems.

To cope with these challenges, we have developed an improved and sophisticated engineering approach for automotive software systems: Our engineering approach is based on the **managed and continuous evolution of dependable automotive software systems**. It helps engineers to manage system complexity based on continuous engineering processes to iteratively evolve automotive software systems, and thereby guarantee the required dependability issues.

The rest of the paper is structured as follows: In the next section we present our research association Institute for Applied Software Systems Engineering (IPSSSE). In section 3, we will describe a running example, helping to illustrate the essential

parts of our engineering approach. The main part of the paper, section 3, presents our engineering approach. A short conclusion and outlook rounds the paper up.

2. Research Agenda of Institute for Applied Software Systems Engineering (IPSSSE)

The research association Institute for Applied Software Systems Engineering (IPSSSE) was found in late 2011 as cooperation between TU Clausthal, TU Braunschweig and Volkswagen AG. The research goal of IPSSSE lies in methods and tools for the development of embedded systems. In this scope, one of the prevailing themes of IPSSSE is the application of model-driven approaches to automotive software engineering. Therefore we provide a kit containing methods, techniques and tools for successful engineering of embedded software. Our task is to improve this kit with valid and consolidated findings from research, and to transfer it to practice.

Currently, there are five areas of expertise: Reliable reactive systems, adaptive and modular architectures, platform and development tools, hardware/software co-design, and continuing education. IPSSSE has a recognized expertise in these fields, on both academic and industrial level.

Concrete approaches in these fields are

- Model-based development with support of product variants, reuse and evolution
- Design of modular architectures
- Measurement and evaluation of architecture erosion and quality with the goal of continuous architecture improvement
- Definition and development of platforms, for example in the multi-core environment
- Model management and automated consistency and quality assurance of models
- Design and implementation of modelling and development tools, e.g. for implementation and testing
- Test-driven development and model-based testing
- Software quality: Formal methods, validation and verification
- Design procedures for real-time systems and distributed realtime systems, also with the aid of co-design
- Transcoding for systems with various design and execution paradigms
- Safety: Detection of execution errors (during runtime) in programs and hardware (in-situ monitoring)

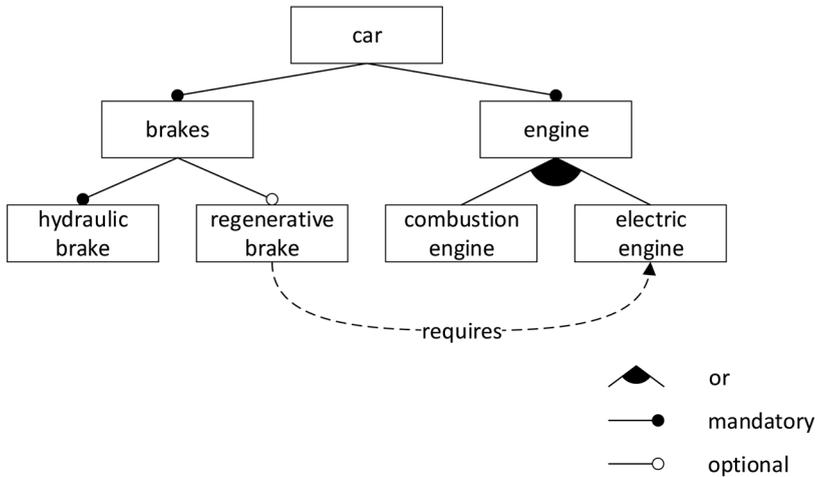


Fig. 2: Feature diagramm (excerpt) of a car.

All research results are demonstrated in demonstrators, prototypes or full-featured tools. Seamless tool support is realised within demonstrating scenarios. The results are validated in the environment of the industrial partners and with their close cooperation⁷.

3. Running Example

To illustrate the essential parts of the proposed automotive software systems engineering approach we use a small example from the automotive domain: the brake system. In the following we will present parts of a brake system in an abstract and simplified manner. These aspects will be consequently used in the following sections to illustrate the proposed engineering approach.

The requirements for braking systems became more complex over the years. Conventional hydraulic brakes set the brake pressure, desired by the driver, with the assistance of a pneumatic brake booster. With new engine types, e.g. electrical engine, new brake systems are possible, such as brake energy regeneration for deceleration.

This means the electrical engine is used as a generator to transform kinetic energy into electrical energy; energy is not lost as if using hydraulic brakes.

⁷ see <http://www.ipsse.de/>

Table 1: Configurations of this example's software product line.

	1	2	3	4	5
Hydraulic brake	✓	✓	✓	✓	✓
Regenerative brake				✓	
Combustion engine	✓		✓		✓
Electric engine		✓	✓	✓	✓

Existing concepts are not replaced by new ones; they are just enlarged by new technologies.

Corresponding software systems need to support certain features to cover this technical evolution. Thus, the different products can be described as a software product line (SPL) to manage the emerging complexity; a potential feature diagram⁸ is shown in Fig. 2.

Even small software product lines can result in a high amount of different configurations. The variety of configurations for this small example is shown in Table 1. Considering the fact, realising features by various implementations results in an increased number of products.

Changing requirements during the software systems engineering process is demonstrated as well. Therefore, the described software product line is enhanced with the requirements resp. features “cruise control” and “distance sensor”, see Fig. 3. This enhancement evolves the architecture and increases the complexity of the architecture.

The integration of these features into the product line represents a major change. Additionally, cruise control is demanded by the customer and needs to be realised soon. Only a high degree of flexibility allows quick response to these new requirements.

For automated driving functionalities high requirement on safety and security do apply; “cruise control” is an example for such functionality. Without guaranteed dependability of the software systems, this feature cannot be realised.

⁸ For simplicity reasons, the provided feature model is a reduced excerpt from real existing solutions. For example, regenerative brakes can not only be used in combination with an electric engine.

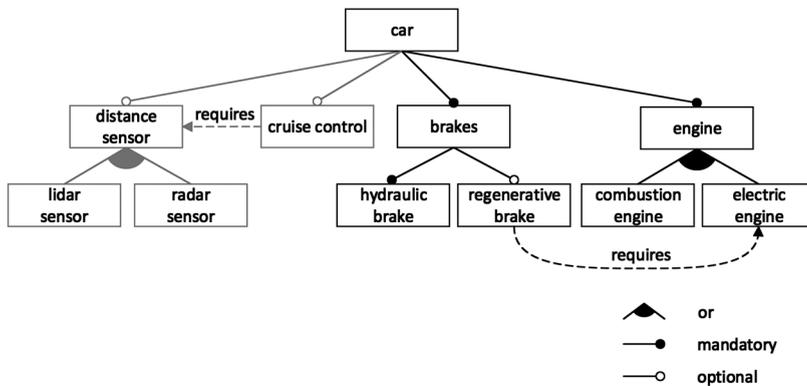


Fig. 3: Extended feature diagramm (excerpt) of a car.

4. Approach: Managed and Continuous Evolution of Dependable Automotive Software Systems

As described in Section 1, the connected and automated car comes with three main challenges which are relevant for automotive software systems engineering: **Managing complexity, providing flexibility, and guaranteeing dependability** of the desired automotive software systems and the corresponding engineering process. Therefore, we have developed an improved and sophisticated engineering approach based on the **managed and continuous evolution of dependable automotive software systems**.

The proposed approach helps engineers to **manage functional software systems complexity** based on modular, well-defined, and linked requirements as well as architectures (see Fig. 4). The goal is to create solid requirements and adequate architectures with the help of abstract principles, patterns, and describing techniques. In addition, we describe how a degenerated architecture can regenerate.

Based on a modular and inter-connected modelling approach for requirements and architectures, we have elaborated an **agile and structured software systems development approach**. This development approach integrates modern agile software development principles with the well established systems development approach based on the classical V-Model. Our approach bases on four driving factors: Systems engineering and agile function development, feature- and function-driven team development, agile management principles, and a seamless tooling infrastructure supporting continuously and iteratively evolving automotive software systems.

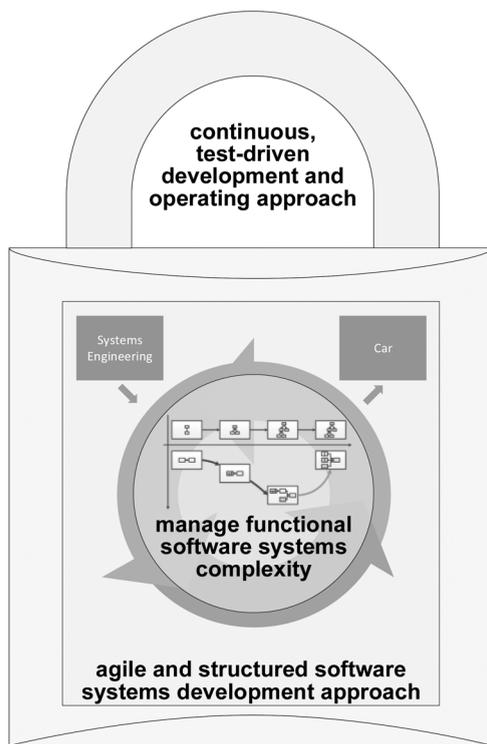


Fig. 4: Managed, continuous evolution of dependable automotive software systems.

And the third element of the proposed approach is a **continuous, test-driven development and operating approach** to guarantee dependability. Thereby, we cover the complete quality assurance lifecycle; from creating test cases to test-driven development during development time as well as during operation time.

5. Conclusion

Nowadays, automotive software systems are an essential and innovative part of connected and automated vehicles. Automotive industry is currently facing the challenge to re-invent the automobile. Consequently, automotive software systems, their software systems architecture, and the way we engineer those kinds of software systems are confronted with major challenges: managing complexity, providing flexibility, and guaranteeing dependability of the desired automotive software systems and the corresponding engineering process.

In this paper we have presented an improved and sophisticated engineering approach. Our engineering approach is based on the managed and continuous evolution of dependable automotive software systems. It helps engineers to manage system complexity based on continuous engineering processes to iteratively evolve automotive software systems, and thereby guarantees the required dependability issues.

But so far, not all parts of the presented approach have been applied combined in a single industrial project. Hence, more research and empirical studies are required to validate the approach as a whole. This will be done in the near future by our IPSSE group, and corresponding empirical research results will be published.

Göttinger Forschung in Urumtschi: Aus der Werkstatt eines Turkologen

JENS PETER LAUT

Seminar für Turkologie und Zentralasienkunde der Universität Göttingen,
Heinrich-Düker-Weg 14, D-37073 Göttingen

Es sei erlaubt, zu Beginn ein wenig „Basisinformation“ zu geben, denn ich kann mich des Eindrucks nicht erwehren, daß die sog. Turfan-Turkologie – trotz ihrer Bedeutung für unsere Wissenschaft – nicht immer den Bekanntheitsgrad erreicht, den sie m.E. verdient hätte.

Das ost-ugurische Königreich mit seinem Zentrum in der heutigen Mongolei, der einzige Staat der Weltgeschichte mit manichäischer Staats- oder vielleicht besser: Hofreligion, bestand von 744 bis 840. Das sich daran anschließende west-ugurische Königreich an der Seidenstraße war vor allem vom Buddhismus in seinen verschiedenen Schulrichtungen geprägt und hatte eine große Ausstrahlung auf die tangutische und mongolische Kultur, bis das östliche Zentralasien nach dem Fall der Mongolen-Herrschaft in China (1368) sich für den Islam öffnete.

Die literarische Hinterlassenschaft dieser Staaten wurde vor allem von den vier Preußischen Turfan-Expeditionen (1902–1914), unter besonderer Anteilnahme des deutschen Kaisers, geboren. Die Präsentation der Bildwerke aus den manichäischen und buddhistischen Höhlenklöstern an der Seidenstraße und die Publikation der ersten Texte in den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts waren eine wissenschaftliche Sensation, und überhaupt ist das uigurische Textmaterial zum überwiegenden Teil in Deutschland bearbeitet und publiziert worden. Die Uiguristik gehört nach wie vor, als zentraler Bereich der Turkologie, zu denjenigen Disziplinen, bei denen das Deutsche als Wissenschaftssprache eine führende Rolle innehat.

Was die Turkologie hier vor allem leisten muß, ist die Bestandsaufnahme, Bearbeitung und Bewahrung des insbesondere in den Texten erhaltenen Erbes einer bedeutenden Kulturnation, die heute in ihrer kulturellen Existenz bedroht und (noch) nicht in der Lage ist, diese Aufgaben selbst in die Hand zu nehmen. Gerade die Ereignisse der letzten Zeit haben deutlich gezeigt, dass die radikale Sinisierungspolitik der chinesischen Regierung der uigurischen Minderheit eine

* Der Vortrag wurde am 10.10.2014 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft in der gemeinsamen Sitzung mit der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen gehalten.

eigenständige Aufarbeitung ihres kulturellen Erbes sehr erschwert. Zwar beschäftigen sich die japanische – und in letzter Zeit auch die chinesische – Forschung intensiv mit Zentralasien, weil ja der Buddhismus über Zentralasien nach Ostasien gelangt ist. Die dortige Forschung befasst sich aber vor allem mit historischen und religionswissenschaftlichen Themen und ist in philologischer, sprach- und textwissenschaftlicher Hinsicht nach wie vor von der deutschen Forschung abhängig. Es ist daher die Aufgabe insbesondere der deutschen Uiguristik, die alten – vor allem buddhistischen und manichäischen – Hochkulturen der Uiguren in ihren über einen Zeitraum von mehr als 600 Jahren (8.–14. Jh.) tradierten schriftlichen Zeugnissen wissenschaftlich zu erschließen und als Weltkulturerbe zu erhalten. Diese Erschließungsaufgabe der deutschen Uiguristik stellt sich auch unter einem weiteren, übergeordneten Aspekt. Fast alle Türkvölker, besonders die turkophonen Völker Zentralasiens, aber auch die Türkei-Türken, betrachten das Uigurische als den Beginn ihrer hochsprachlichen Überlieferung. Die uigurischen Texte sind die ältesten handschriftlich (und später in Blockdrucken) überlieferten türkischen Texte, und sie sind daher grundlegend für die Erforschung aller türkischen Sprachen. Das Korpus dieser Texte ist wesentlich größer als das aller anderen „antiken“ zentralasiatischen Idiome und kann ohne weiteres mit dem Korpus des späteren islamisch-türkischen Schrifttums in Zentralasien verglichen werden.

Die Erforschung der vorislamischen türkischen Sprache und Kultur – derzeit vorwiegend in Deutschland betrieben – hat in der Türkei durchaus eine längere Tradition und ist insbesondere zu Lebzeiten ATATÜRKs (†1938) gefördert worden. Gerade in der letzten Zeit jedoch ist diese Tradition – durch eine schleichende Re-Islamisierung auch des Wissenschaftsbetriebs – gefährdet. Wichtig ist jedoch ein Zugang zur türkischen Kultur außerhalb dieser religiös gebundenen Betrachtungsweise, und ein solcher Zugang wäre für die türkische Wissenschaft eine große Chance, an der aktuellen Forschung zur vorislamisch-türkischen Sprache und Kultur Zentralasiens teilzunehmen. Zum Glück gibt es einige Kolleginnen und Kollegen in der Türkei und in Xinjiang, die sich aktiv und produktiv an dieser Erforschung beteiligen.

Was wir brauchen, sind Beiträge nicht nur zur linguistischen und lexikologischen, sondern auch zur kulturwissenschaftlichen Erschließung des Altuigurischen. Eine solche bisher nur in Ansätzen erfolgte „Gesamtschau“ wird sowohl in sprach- als auch in kulturwissenschaftlicher Hinsicht einen großen Innovationsschub für die Turkologie/Zentralasienkunde bedeuten, aber auch für viele Nachbardisziplinen von erheblicher Relevanz sein.

Wenn es mir gelungen ist, Ihnen mit diesen wenigen Worten die Bedeutung insbesondere der deutschen Uiguristik innerhalb der Turkologie ans Herz zu legen, könnte ich das Podium verlassen. Ich möchte Ihnen aber über einen Neufund, einen spektakulären Neufund, von Fragmenten eines überaus wichtigen alttürkisch-buddhistischen Textes berichten. Wenn wir in den Zeiten der Turfanexpeditionen

lebten oder wenn unsere Texte aus Qumran stammten, hätte dieser Neufund sicherlich hierzulande ein größeres Medienecho gefunden. So aber sind die Neufunde bisher nur in einer deutschen Fach- und in einer uigurischen Literaturzeitschrift thematisiert worden (s. unten Literatur!).

Die *Maitrisimit* („Das Zusammentreffen mit [dem Buddha der Zukunft] Maitreya“), und um diesen Text geht es, gehört zweifellos zu den bedeutendsten und umfangreichsten Werken der alttürkisch-buddhistischen Literatur. Eine Besonderheit dieses Werkes ist, dass es sich hierbei um eine Art Drama handelt, das aus der indogermanischen Sprache Tocharisch A ins Altürkische übersetzt und u.U. zumindest in Teilen als Theaterstück aufgeführt worden ist.

Nachdem im Jahr 1906 eine umfangreiche Handschrift in den Tempelanlagen der Säjim-Schlucht und einige Fragmente eines weiteren Manuskripts in Murtuk (bei Turfan) gefunden wurden, erwachte ein großes Interesse an zentralasiatischen Studien, besonders im religions- und sprachwissenschaftlichen Bereich. Dieses Interesse hält, wie Sie u.a. an meiner Person sehen können, bis zum heutigen Tage an.

Im Jahr 1956 fand der uigurische Nomade YÄHYA RÄHİM in seinem Geburtsort Tömürti, in der Gebirgsregion Qomul (chin. Hami), eine weitere, ebenfalls sehr umfangreiche Handschrift der alttürkischen *Maitrisimit*. Dieses Manuskript ist unter der Bezeichnung „Hami-Handschrift“ bzw. „Hami-Version“ in der Fachwelt bekannt, doch sollte es in Zukunft, der Genauigkeit halber, nach dem uigurischen Fundort als „Tömürti-Manuskript“ fungieren.

Als in Göttingen, im Seminar für Turkologie und Zentralasienkunde, eine Gesamtedition der drei Versionen aus Säjim, Murtuk und Tömürti zum Abschluss gebracht werden sollte, erhielten wir Anfang November 2012 die sensationelle Nachricht über einen neuen Fund in dem kleinen Dorf Närnasi, das 20 km von Tömürti entfernt liegt.

Es handelt sich um den Zufallsfund dreier damals fünfzehn- und sechzehnjähriger Hirtenjungen, die im April 2006 insgesamt ca. 436 Bruchstücke in einer Höhle auf dem Boden fanden, vollständig aufsammelten und nach Hause nahmen. Aus verschiedenen Gründen hatten sich die Kinder erst Anfang Oktober 2012 entschieden, ihre Entdeckung der Öffentlichkeit zu überlassen.

Auf diese Bruchstücke wurden wir freundlicherweise von Herrn ABLIZ ORHON und DR. ALI EYSA (Urumtschi) aufmerksam gemacht. Und es ist uns gelungen, rechtzeitig Fotos von diesem neuen Fund zu bekommen und viele der Fragmente in nicht immer einfacher Puzzle-Arbeit zu lokalisieren, so dass wir nunmehr sicher sind, dass diese größtenteils sehr fragmentarischen Handschriften-Teile zur Tömürti-Handschrift der *Maitrisimit* gehören. Die neuentdeckten Fragmente scheinen sich schon zur Zeit des ursprünglichen Gebrauchs der Handschrift von dieser gelöst zu haben. Die eher kleinen Fragmente wurden anscheinend von den

Benutzern der *Maitrisimit* gesammelt und zusammen verwahrt. Später sind sie offenbar in Vergessenheit geraten und haben sich so erhalten. Ob die Höhle, in der die Bruchstücke aufgefunden wurden, zugleich auch der ursprüngliche Aufbewahrungsort der gesamten Handschrift war, oder der gesonderten Aufbewahrung der Bruchstücke diente, läßt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht bestimmen. Da aber nicht anzunehmen ist, daß Fragmente heiliger Schriften einfach vernichtet wurden, scheint hier vielleicht eine Situation vorzuliegen, wie wir sie aus anderen Religionen kennen, und es drängen sich Vergleiche zu den Qumran-Funden auf. Auch ist zu erwägen, ob die Höhle ein Versteck für die Fragmente gewesen sein könnte, handelt es sich doch bei der Region um einen der letzten Rückzugsräume des uigurischen Buddhismus. Wie dem auch sei: Beim zumeist fragmentarischen Zustand der altuigurischen Texte ist natürlich jedes Fragment, das neu hinzukommt, von ganz besonderer Bedeutung. So auch in diesem Fall: Mögen die aufgefundenen Bruchstücke auch von eher geringer Größe sein, so ist ihre Bedeutung für die Tömürti-Handschrift der *Maitrisimit* doch kaum zu überschätzen. Der Text läßt sich unter Hinzuziehung dieser wichtigen Materialien erheblich vervollständigen, was den besonderen Wert dieser Fragmente ausmacht.

In jedem Fall zeigt der Neufund, daß man auch auf dem Gebiet der Uiguristik vor Überraschungen nie sicher ist: Es bleibt zu hoffen, daß die chinesisch-ugurische Seite, mit der wir seit langer Zeit in Kontakt stehen, das Ihre tut, damit dieser nicht nur für die Turkologie, sondern auch für das uigurische Selbstverständnis so wichtige Text zügig und vollständig bearbeitet und in nicht allzu ferner Zukunft in Transkription, Übersetzung, Kommentar und Faksimile veröffentlicht werden kann. Bei einem Arbeitsbesuch in Urumtschi im August 2014 waren ich und meine beiden Mitarbeiter Dr. Ablet Semet und Dr. Jens Wilkens erstmals in der Lage, im dortigen Museum ungehindert mit allen alttürkischen Fragmenten zu arbeiten: Ein ermutigendes Zeichen der Normalität im Zeitalter der Globalisierung! Unsere „Werkstatt“ in Göttingen jedenfalls, wo wir u.a. die Fragmente zusammenpuzzeln, steht allen Interessierten offen!

Literatur

ISRAPIL, DILARA, JENS PETER LAUT & ABLET SEMET 2012/2013: Neu entdeckte Bruchstücke der *Maitrisimit* aus Närnasi in Qomul (VR China). In: Ural-Altäische Jahrbücher, Neue Folge **25**: 220–227.

KASAI, YUKIYO, ABDURISHID YAKUP & DESMOND DURKIN-MEISTERERNST (edd.) 2013: Die Erforschung des Tocharischen und die alttürkische *Maitrisimit*. Turnhout. (Silk Road Studies. 17.)

ORHUN, ABLIZ 2012: Närnasi *Maitrisimit* yapaqlirining tepilix hikayisi [„Die Entdeckungsgeschichte der *Maitrisimit*-Fragmente aus Närnasi“]. In: Qomul Ädäbiyati **6**: 35–47.

Windenergieforschung in Hannover im nationalen Forschungsverbund Windenergie*

RAIMUND ROLFES

Institut für Statik und Dynamik der Leibniz Universität Hannover
Mitglied des Vorstands von ForWind

Leiter des Standorts Hannover des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und
Energiesystemtechnik (IWES), Appelstraße 9 A, D-30167 Hannover

Das universitäre Forschungszentrum ForWind

ForWind, das Zentrum für Windenergieforschung vereint die Forschungsvorhaben im Bereich der Windenergie an den Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen. In Kooperation arbeiten die ForWind-Partner an diversen Forschungsvorhaben aus den Bereichen der Grundlagenforschung und der anwendungsnahen Forschung.

Im Jahr 2014 feierte ForWind sein 10 jähriges Bestehen und blickt auf eine starke fachliche und strukturelle Entwicklung zurück. Umfasste das Zentrum für Windenergieforschung anfangs noch neun Institute und Gruppen an zwei Universitäten (Hannover und Oldenburg), wurde dies in den vergangenen zehn Jahren stark ausgebaut. 2014 zählten 28 Institute und Gruppen an drei Universitäten (Bremen trat 2009 bei) zu den Mitgliedern von ForWind. Bedingt durch die langjährige Forschungserfahrung in der Windenergie stellt sich ForWind fachlich breit auf und bedient die Bereiche Windphysik, Tragstrukturen, elektro-mechanischer Triebstrang, Anlagentechnik, Netzanbindung, Sozioökonomie sowie Umwelteinwirkungen. Um ein umfassendes Verständnis von Windenergieanlagen und Windparks zu erlangen, setzt ForWind auf eine hohe interdisziplinäre Zusammenarbeit. Die vorhandenen Ressourcen innerhalb des Forschungszentrums nutzt ForWind auf strategisch abgestimmte Weise. So lassen sich leichter Problemlösungen finden und Innovationen erlangen.

In den Jahren 2010 bis 2013 hat sich ForWind erfolgreich entwickelt. Die niedersächsischen ForWind Mitglieder akquirierten in dieser Zeitspanne Drittmittelprojekte im Bereich der Windenergie mit einem Fördervolumen von insgesamt 72 Millionen Euro. Die eingeworbenen Mittel werden zu einem großen Teil für Forschungsbauten und -großgeräte genutzt, beispielhaft seien hier das Testzen-

* Der Vortrag wurde am 14.11.2014 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

trum Tragstrukturen in Hannover (u.a. mit Grundbauversuchsgrube, Spannungsfeld und einem 1 MW Generator-Umrichter-Prüfstand), der Turbulenzwindkanal in Oldenburg sowie das Großverzahnungslabor in Bremen erwähnt. Aber auch zahlreiche Verbundforschungsvorhaben auf nationaler und europäischer Ebene wurden akquiriert.

Denn auch international hat sich ForWind als kompetenter Partner erwiesen. Neben Allianzen, in der europäischen Wissenschaft und Industrie zur gemeinsamen Arbeit an internationalen Forschungsprojekten, hat sich ForWind in führenden Positionen von Gremien zur europäischen und internationalen Windenergieentwicklung etabliert.

ForWind ist unter anderem in den folgenden Gremien und Netzwerken eingebunden:

- European Wind Energy Technology Platform (TPWind)
- European Energy Research Alliance (EERA) / Joint Programme on Wind Energy (JP Wind)
- European Academy of Wind Energy (EAWE)
- International Energy Agency Implementing Agreement for Co-operation in the Reserach, Development and Deployment of Wind Energy Systems (IEA Wind)

Als universitäre Einrichtung engagiert sich ForWind zudem im Bereich der akademischen Ausbildung. Als Basis werden Bachelorstudiengänge mit ingenieurwissenschaftlichem oder physikalischem Schwerpunkt angeboten. Darauf aufbauend gibt es an der Leibniz Universität Hannover die Möglichkeit, den Masterstudiengang Windenergie-Ingenieurwesen zu belegen, an der Universität Oldenburg kann der Erasmus Mundus European Wind Energy Master absolviert werden, der in Zusammenarbeit mit drei technischen Universitäten aus den Niederlanden, Dänemark und Norwegen angeboten wird. Es werden ferner berufsbegleitende Studienprogramme für die On- und Offshore-Windenergie zur Qualifizierung der Beschäftigten in der Windenergiebranche angeboten.

Die Geschäftsstelle in Oldenburg vertritt ForWind koordiniert nach außen.

ForWind-Hannover

In Hannover gehören 14 Institute mit 15 Professoren an den fünf Fakultäten Bauingenieurwesen und Geodäsie, Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik, Wirtschaftswissenschaften sowie Naturwissenschaften zu Forwind. An der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie ist die Koordinierungsstelle von ForWind-Hannover angesiedelt.

In Hannover forschen die ForWind-Institute auf den folgenden Gebieten:

Tragstrukturen

Antriebsstrang und Netzanbindung

Umwelt und sozioökonomische Einflüsse

Windressourcen und Rotorsystem

Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Tragstrukturen. Bereits seit dem Jahr 2000 forscht ForWind-Hannover im Rahmen der GIGAWIND-Projekte an bau- und umwelttechnischen Problemstellungen der Offshore-Windenergieanlagen. Das nunmehr vierte Forschungsprojekt der GIGAWIND-Reihe, GIGAWINDlife, bietet den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern derzeit die Möglichkeit, Lebendauer-Forschung an den Offshore-Tragstrukturen im deutschen Testfeld Alpha Ventus zu betreiben. In fünf Teilprojekten arbeitet ForWind mit dem Fraunhofer IWES und dem französischen Energieversorger AREVA Wind zusammen. Bis heute konnte die Forschungsgruppe GIGAWIND auf dem von ihr bearbeiteten Gebiet eine wegweisende Position erlangen. Die vier GIGAWIND Projekte werden auf Bundesebene von den Ministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU, 2000–2013) sowie für Wirtschaft und Energie (BMWi, seit 2013) gefördert.

Weitere Beispiele großer Verbundprojekte sind GROW und GROWup zu Untersuchungen der Pfahl-in-Pfahl-Verbindungen großer Stahlrohre (Grouted Joints), WINDBUCKET zu Entwurf und optimaler Bemessung neuartiger Saugeimer-Gründungen von Offshore-Anlagen (Suction-Buckets), HYCONCAST zu hybriden Substrukturen aus hochfestem Beton und Sphäroguss oder HYPROWIND zur Erstellung von Lärmkarten für die Nordsee, die dem Schutz der Meeressäuger bei der Errichtung von Offshore-Parks dienen. Das soeben begonnene Projekt „ventus efficiens“, das gemeinsam mit ForWind-Oldenburg durchgeführt und von der VW-Stiftung gefördert wird, zielt auf Effizienzsteigerungen des Gesamtsystems ab, um die Kosten signifikant zu senken.

Das Testzentrum Tragstrukturen (TTH) und der Große Wellenkanal (GWK)

Im TTH und dem GWK schlägt sozusagen das experimentelle Herz von ForWind-Hannover. Beide Großversuchseinrichtungen bieten außergewöhnliche Möglichkeiten für die Forscher. In der 10m tiefen Grundbauversuchsgrube des TTH wird die Boden-Bauwerksinteraktion von Gründungsstrukturen bis zu einem Maßstab von etwa 1:5 untersucht. Wichtige Fragen sind die Zugtragfähigkeit großer Pfähle, die Ermüdung des Baugrunds unter zyklischen Belastungen sowie das Gründungsmonitoring. Das Spannungsfeld mit den über Eck angeordneten 8m hohen



Das Testzentrum Tragstrukturen Hannover (TTH) ist eine neue Großversuchseinrichtung für Tragstrukturen von Windenergieanlagen der Fakultät Bauingenieurwesen und Geodäsie der Leibniz Universität (Foto: Leibniz Universität Hannover).

Belastungswänden bietet die Möglichkeit Komponenten von Tragstrukturen bis zum Maßstab 1:1 (z.B. Knoten einer Jacket-Gründung oder Groutverbindungen) dreidimensional sowohl statisch als auch dynamisch zu testen. Insbesondere die Ermüdung unter hohen Lastwechselzahlen steht im Vordergrund der Untersuchungen, aber auch Systeme zur Schadensfrüherkennung (Structural Health Monitoring) werden getestet. Ebenfalls im TTH untergebracht ist der 1 MW Generator-Umrichterprüfstand (GeCoLab). Direkt neben dem TTH befindet sich der GWK mit einer Länge von über 300 m. Dort können die Wellenbelastungen auf Gründungsstrukturen sowie Auskolkungen großmaßstäblich untersucht werden.

Der Forschungsverbund Windenergie (FVWE)

Bereits seit der Gründung des Fraunhofer Institutes für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) im Jahr 2009 arbeitet dieses eng mit ForWind zusammen. Ziel ist es, die grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung von ForWind mit den industrienahen Forschungsthemen des Fraunhofer IWES abzustimmen und Synergien zu erzeugen. Um eine starke Verbindung zwischen ForWind und dem Fraunhofer IWES zu erlangen, wurden an den ForWind Standorten in Oldenburg, Hannover Projektgruppen und am Standort Bremer-

haben ein Anwenderzentrum des Fraunhofer IWES eingerichtet. Der Leiter des IWES wurde zugleich auf die Professur für Windenergiesysteme an der Leibniz Universität berufen. Die Standortleiter des IWES in Oldenburg und Hannover sind Professoren der jeweiligen Universitäten. Der Aufbau der Projektgruppen und die Weiterentwicklung von ForWind werden nachhaltig vom Land Niedersachsen unterstützt.

Um die gemeinsame Forschung von ForWind und dem Fraunhofer IWES Nordwest weiter zu stärken wurde der Verbund im Jahr 2013 um das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) erweitert. Es gründete sich der Nationale Forschungsverbund Windenergie (FVWE). Gestützt durch einen Kooperationsrahmenvertrag der drei Mitglieder will der Verbund wegweisende Impulse für die regenerative Energieversorgung der Zukunft geben. Basierend auf der einmaligen Forschungsinfrastruktur der Partner (u.a. Zentrum für Leichtbauproduktionstechnik in Stade, Rotorblattversuchsstände und Gondelprüfstand DYNALAB in Bremerhaven, Testzentrum Tragstrukturen und Großer Wellenkanal in Hannover, Turbulenzwindkanal in Oldenburg) und dem breiten Expertenwissen aus Universitäten und Großforschungseinrichtungen kann der FVWE wichtige Großprojekte von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung erfolgreich bearbeiten. Darüber hinaus fungiert der FVWE als Partner für Hersteller, Zulieferer und Energieversorger.

Dem FVWE kommen die einzelnen Schwerpunkte der drei Verbundpartner zu gute. So setzt jeder Partner seine Kompetenzen ein, um eine optimale Nutzung der Synergien zu gewährleisten.

ForWind bringt ein breites Wissensspektrum an ingenieurwissenschaftlichen und physikalischen Forschungsschwerpunkten ein. Die Forschungsprioritäten liegen in experimenteller und numerischer Modellierung von Windströmungen auf allen relevanten Skalen, der Auslegung mechanischer und elektrischer Komponenten, dem Entwurf und der Fertigung von Tragstrukturen sowie der Überwachung und Analyse des Betriebes von Windenergiesystemen. Das Fraunhofer IWES befasst sich in seiner Forschung mit der gesamten Bandbreite der Windenergie. Außerdem umfassen die Forschungen die Integration der erneuerbaren Energien in Versorgungsstrukturen. Das DLR lässt den FVWE an seinem Wissen aus der Luftfahrt teilhaben. Aus den Schwerpunktbereichen Aerodynamik, Aeroakustik, Aeroelastik und der Materialforschung können Kenntnisse für leistungstärkere und leisere Windenergieanlagen gewonnen werden.

Durch seine mehr als 600 Forscher und Forscherinnen, in sieben deutschen Bundesländern, sowie durch die Vernetzung mit Industrie und Politik können richtungsweisende Anstöße für die Windenergiebranche gegeben werden. Diese Basis an breiten Kompetenzen und Ressourcen soll die deutsche Windenergieindustrie dabei unterstützen auch auf internationalem Parkett ihre Technologieführerschaft zu behaupten.

Ein wichtiges Großprojekt des FVWE ist die Entwicklung und Konstruktion von intelligenten Rotorblättern innerhalb des Forschungsvorhabens „Smart Blades“. Koordiniert vom DLR, verfolgt das Projekt das Ziel, die Machbarkeit und Effizienz von drei unterschiedlichen Konzepten für intelligente Rotorblätter zu untersuchen.

Der nächste Meilenstein des FVWE soll die Errichtung von Forschungs-Windenergieanlagen sein.

Klassensitzungen

Vorhersagen von Struktur-Aktivitäts-Beziehungen für die Wirkstoffforschung*

KNUT BAUMANN

Institut für Medizinische und Pharmazeutische Chemie, TU Braunschweig
Beethovenstraße 55, D-38106 Braunschweig

Wirkstoffe durchlaufen einen aufwändigen Optimierungsprozess von ihrem ersten Auffinden bis hin zum fertigen Arzneistoff. In vielen Optimierungsschritten wird der Wirkstoff abgewandelt, um eine ganze Schar von wichtigen Eigenschaften zu verbessern. Dieser Prozess ist sehr langwierig und teuer. Die Auswirkung einer chemischen Modifikation des Wirkstoffs auf die untersuchte Eigenschaft ist dabei vielfach nicht bekannt. Wäre sie bekannt, dann könnte die Optimierung deutlich zielgerichteter betrieben werden. Hier setzt die Analyse von Struktur-Aktivitäts-Beziehungen an. Deren Ziel ist es, eine qualitative oder quantitative Beziehung zwischen der Bioaktivität (oder ganz allgemein einer bestimmten Eigenschaft) eines Wirkstoffs und dessen chemischer Struktur herzustellen. Bereits im Jahr 1868 postulierten die schottischen Pharmakologen A. Crum-Brown und T.R. Frazer, dass die physiologische Wirkung (Φ) einer Substanz eine Funktion der chemischen Konstitution (C) sein müsse [1]. Sie benutzen dabei die folgende Gleichung, um den Sachverhalt mathematisch darzustellen:

$$\Phi = f(C).$$

Nur in Ausnahmefällen gelingt es die Funktion f in dieser Gleichung zu bestimmen. Wesentlich einfacher ist es die Veränderung der physiologischen Wirkung ($\Delta\Phi$) in Abhängigkeit von der Veränderung der chemischen Konstitution (ΔC) zu modellieren:

$$\Delta\Phi = g(\Delta C).$$

Die besondere Herausforderung ist es dabei die chemische Konstitution so zu beschreiben, dass sich damit ein bedeutungsvolles mathematisches Modell erstellen lässt. Chemische Strukturformeln sind sehr gut geeignet chemische Moleküle und deren Reaktionen zu beschreiben. Sie sind jedoch nicht ohne weiteres als Eingabe für die Funktion g geeignet. Dazu muss die chemische

* Der Vortrag wurde am 14.02.2014 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

Information zunächst in einen Zahlenstrang kodiert, d.h. übersetzt werden. Mit dieser numerischen Repräsentation steht und fällt die Analyse. Ist sie ungeeignet, wird sich für die Funktion g keine geeignete Form finden lassen. Mittlerweile steht für die numerische Repräsentation chemischer Moleküle zur Analyse der Struktur-Aktivitäts-Beziehungen eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Verfügung [1]. Keine ist perfekt, sie muss dem Problem jeweils angepasst werden. Vielfältig einsetzbar sind sogenannte chemische Fingerabdrücke. Bei Letzteren handelt es sich um einen Vektor pro Molekül. Jeder Eintrag in diesem Vektor gibt die Anzahl einer bestimmten chemischen Substruktur im Molekül an. Welche Substrukturen erfasst werden ist in einer Bibliothek an Substrukturen festgelegt oder kann auch durch einen Satz an Rechenvorschriften beschrieben werden. Nachdem die Moleküle kodiert sind und deren biologische Eigenschaften experimentell ermittelt wurden, werden Techniken des Maschinellen Lernens angewendet, um die Funktion g zu ermitteln. Mit Hilfe eines Trainingsdatensatzes, der aus der numerischen Repräsentation einer Schar an Molekülen und deren zugehöriger biologischer Aktivität besteht, wird die Funktion g erlernt. Im einfachsten Fall kann es sich um ein lineares Modell handeln. Bei schwieriger zu modellierenden Eigenschaften werden nichtlineare Modelle wie Wälder von Entscheidungsbäumen (sog. Random Forests) eingesetzt [2].

Zwei Eigenschaften dieser Modelle sind dabei von großer Bedeutung. Zum einen sollen die Modelle für Medizinische Chemiker intuitiv zu erfassen sein, so dass der nächste Optimierungsschritt aus dem Modell leicht abzuleiten ist. In dieser Hinsicht sind lineare Modelle ideal. Hier kann der Effekt einer Veränderung der chemischen Struktur sehr leicht ermittelt und auch visualisiert werden. Im Gegensatz dazu ist das bei Random Forests nicht einfach möglich, selbst dann, wenn die Funktion g sehr gut gelernt wurde. Zum anderen müssen die Modelle möglichst zuverlässige Vorhersagen liefern, damit der Optimierungsprozess in die richtige Richtung geleitet wird. Um die Zuverlässigkeit der Vorhersagen beurteilen zu können, wird mit dem oben erwähnten Trainingsdatensatz der Vorhersagefehler des Modells mit Hilfe der Kreuzvalidierung oder des Bootstrappings bestimmt [3]. Es zeigt sich, dass je nach chemischer Klasse des Eingabemoleküls der Vorhersagefehler im modellierten Datenraum stark variieren kann. Ideal wäre folglich die Angabe eines individuellen Zuverlässigkeitsmaßes (im Sinne eines Vorhersageintervalls) für jedes Molekül statt eines globalen Vorhersagefehlers für das gesamte Modell. Derartige Techniken werden derzeit intensiv in der Statistik erforscht [4,5] und in weiterer Folge auf ihre Anwendbarkeit für die Analyse der Struktur-Aktivitäts-Beziehungen überprüft werden.

Neben der quantitativen Modellierung des Zusammenhangs zwischen Struktur und Aktivität, gewinnt die Visualisierung großer chemischer Datensätze (> 1000 Moleküle) zunehmend an Bedeutung. Durch öffentlich zugängliche Datenbanken (z.B. ChEMBL [<https://www.ebi.ac.uk/chembl/>]) oder in den jeweiligen Insti-

tutionen erstellte Datenbanken stehen Medizinischen Chemikern heute riesige Datenbestände zur Verfügung, die durch manuelles Inspizieren der Daten nicht mehr effizient auszuwerten sind. Ein automatisiertes Gruppieren und Anordnen der Moleküle nach Stoffklassen und biologischer Aktivität ist hier von Nöten. Bevor diese Gruppierung vorgenommen werden kann, müssen die Moleküle erneut kodiert werden. Würde man die Gruppierung und Anordnung auf Basis von chemischen Substrukturen vornehmen, so wie es oben bei den chemischen Fingerabdrücken beschrieben wurde, dann würde eine viel zu kleinteilige Gruppierung resultieren und die Visualisierung dieser Gruppierungen würde sehr unübersichtlich werden, so dass kein Informationsgewinn für den Medizinischen Chemiker resultiert. Folglich muss die chemische Information der Moleküle stark abstrahiert werden. Das gelingt dadurch, dass ganze Substrukturen eines Moleküls zu Pseudoatomen zusammengefasst werden. Die Pseudoatome werden so ausgewählt, dass sie das Potential für nicht-kovalente Interaktionen des zu kodierenden Wirkstoffs mit Rezeptoren oder Enzymen widerspiegeln (eine chemische Reaktion des Wirkstoffs mit Enzymen oder Rezeptoren stellt die Ausnahme dar und wird deshalb nur in Spezialfällen kodiert). Typischerweise werden elektrostatische Interaktionen, das Potential für Wasserstoffbrückenbindungen und das Potential für sogenannte hydrophobe Wechselwirkungen kodiert. Positiv oder negativ ionisierbare funktionelle Gruppen (PI/NI) können beispielsweise mit positiv oder negativ geladenen Aminosäuren aus Rezeptorproteinen interagieren. Zur Abstraktion der Moleküle wird nun jede negativ ionisierbare Gruppe im Wirkstoff gegen das Pseudoatom NI ersetzt, unabhängig von der exakten chemischen Struktur der jeweiligen Gruppe. Die chemischen Bindungen zu den Nachbargruppen bleiben dabei erhalten. Genauso wird mit positiv ionisierbaren Gruppen und allen anderen Interaktionstypen verfahren. Auf diese Weise entstehen Pseudomoleküle, die auf das Interaktionspotential beschränkt sind und wesentlich weniger komplex sind als die „echten“ Wirkstoffe. Durch diese Reduktion der Moleküle auf das Wesentliche können komplexere Rechnungen durchgeführt und größere Datensätze verarbeitet werden. Zur Anordnung und Gruppierung der Moleküle eines großen Datensatzes werden nach der Kodierung die Pseudomoleküle verglichen. Immer dann, wenn zwei Pseudomoleküle in bestimmten Pseudomolekülteilen übereinstimmen werden sie in einem hierarchischen Netzwerk einer Gruppe zugeordnet. Je größer die Übereinstimmung ist, desto höher werden die Moleküle in der Hierarchie angeordnet. Auf diese Weise entsteht ein Netzwerk, welches auf der höchsten Hierarchieebene Gruppen von Molekülen mit sehr ähnlichem Interaktionspotential anzeigt. Die Analyse der Moleküle in den Gruppen und deren Beziehungen in dem Netzwerk erlauben es dem Medizinischen Chemiker schnell in großen Datensätzen zu navigieren und Struktur-Aktivitäts-Beziehungen abzuleiten [6]. Das Erstellen des Netzwerkes erfolgt lediglich durch Analyse der Ähnlichkeit der Pseudomoleküle. Färbt man allerdings das Netzwerk mit den biologischen Aktivitäten der gruppierten Moleküle ein, so stellt man fest, dass

sich sehr homogene Gruppen bezüglich der Bioaktivität in diesem Netz bilden. Das zeigt, dass die gewählte Molekülrepräsentation auf Basis des Interaktionsmusters sehr gut geeignet ist.

Kern des Verständnisses der Variation der Bioaktivität verschiedener Moleküle an einer bestimmten biologischen Zielstruktur ist das Wissen darüber, wie die chemische Struktur die biologische Aktivität beeinflusst. Mit Techniken der Chemieinformatik lässt sich diese Information wie oben beschrieben vielfach sehr effizient extrahieren.

Literatur

- [1] a) BAUMANN, K. 1999: Uniform-length molecular descriptors for Quantitative Structure-Property Relationships (QSPR), Quantitative Structure-Activity Relationships (QSAR), classification studies, and similarity searching. *TrAC* **18**: 36–46. b) STIEFL, N. & K. BAUMANN 2003: Mapping Property distributions of molecular surfaces (MaP): Algorithm and evaluation of a novel 3D Quantitative Structure-Activity Relationship technique. *J. Med. Chem.* **46**: 1390–1407.
- [2] BREIMAN, L. 2001: Random Forests. *Mach. Learning* **45**: 5–32.
- [3] BAUMANN, K. 2003: Cross-validation as the objective function for variable selection techniques. *TrAC* **22**: 395–406.
- [4] POLITIS, D.N. 2013: Model-free model-fitting and predictive distributions. *Test* **22**: 183–221.
- [5] EFRON, B. 2014: Estimation and accuracy after model selection. *J. Amer. Statist. Assoc.* **109**: 991–1007.
- [6] WOLLENHAUPT, S. & K. BAUMANN 2014: InSARa: Intuitive and interactive SAR interpretation by reduced graphs and hierarchical MCS-based network navigation. *J. Chem. Inf. Model.* **54**: 1578–1595.

Das Immunsystem der Pflanzen*

THOMAS HARTMANN

Institut für Pharmazeutische Biologie, TU Braunschweig
Mendelssohnstraße 1, D-38106 Braunschweig

Beim Immunsystem denkt man gewöhnlich an die Abwehr von Krankheiten bei Mensch und Tier, weniger an die doch so anders organisierten Pflanzen. Bis vor etwa 10 Jahren traf dies auch zu und niemand wäre auf die Idee gekommen über ein *pflanzliches Immunsystem* zu sprechen. Der Begriff Immunität beschreibt allgemein den Zustand eines Lebewesens über genügend Widerstandskraft zu verfügen, um Infektionen und Krankheiten zu vermeiden. Da diese Definition für alle höher entwickelten Lebewesen gilt, kann man auch die Fähigkeiten der Pflanzen mit mikrobiellen Infektionen umzugehen als Immunantwort beschreiben. Hinzu kommt, dass in letzten Jahren bemerkenswerte Parallelen in der molekularen Organisation der Immunsysteme von Tier und Pflanze aufgedeckt werden konnten. Dies betrifft sowohl die Mechanismen zur Erkennung von „fremd (nicht-selbst)“, die Grundvoraussetzung für eine gezielte Immunantwort, und die antimikrobiellen Abwehrsysteme selbst. Die immunbiologischen Gemeinsamkeiten von Pflanze und Tier, haben die bisher völlig getrennt operierenden Wissenschaftsgebiete der *Medizinischen Immunologie* und *Phytopathologie*, zumindest auf molekularer Ebene, näher zusammengebracht. Dies betrifft auch die Angleichung der unterschiedlichen Nomenklatur zu einer einheitlichen Sprache. So werden althergebrachte Begriffe aus der Phytopathologie, wie *Resistenz* und *Suszeptibilität*, heute zu *Immunität* und *Pathogenität*.

Im Vortrag wird das Immunsystem der Pflanzen vorgestellt und an aktuellen Beispielen veranschaulicht. Dabei werden, wo möglich, Gemeinsamkeiten und Unterschiede zum Immunsystem der Tiere aufgezeigt. Den roten Faden bilden unter Einbeziehung jüngster molekulargenetischer Erkenntnisse, folgende Teilfragen des Immunologie: (1) Wie erkennt die Pflanze ein Pathogen, wie unterscheidet sie zwischen „selbst“ und „nicht-selbst“ oder „Feind“ und „Freund“? (2) Welche Signalwege sind an der zellulären Weiterleitung eines erkannten und aufgenommenen Abwehrsignals (defense signal) beteiligt? (3) Wie wird das Signal in eine Neuprogrammierung der Zelle auf Abwehrmodus umgesetzt? (4) Wie sieht die Immunantwort der Pflanze aus?

* Kurzfassung des Vortrags, der am 11.04.2014 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten wurde.

Visionen eines blinden Mathematikers: Über die Kunst, eine Sphäre umzustülpen, ohne ihr wehzutun*

RAINER LÖWEN

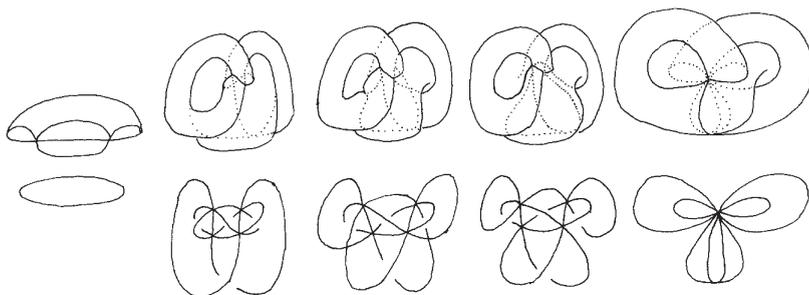
Institut für Analysis und Algebra der TU Braunschweig,
Pockelsstr. 14, D-38106 Braunschweig

Im Jahr 1959 veröffentlichte Stephen Smale ein sehr allgemeines Ergebnis, das er mit den abstrakten Methoden der algebraischen Topologie gewonnen hatte. Als eine kleine konkrete Anwendung seines Satzes ergab sich, daß es möglich sein muß, eine Kugeloberfläche (auch *Sphäre* genannt) im 3-dimensionalen euklidischen Raum in einem stetigen Prozeß so zu deformieren, daß ihre Innenseite nach außen gestülpt wird, ohne daß sie dabei zerrissen oder auch nur geknickt wird. Selbstdurchdringungen sind dabei aber erlaubt. Smale hatte keine Idee, wie das konkret bewerkstelligt werden könnte. Jahre später entwickelte Arnold Shapiro eine Vorstellung davon, fand aber keine Möglichkeit, sie in eine schriftlich kommunizierbare Form zu bringen und verstarb ohne etwas dazu veröffentlicht zu haben. Eine erste, sehr komplizierte und kaum nachvollziehbare Methode für die Umstülpung wurde 1966 von Athony Phillips in Scientific American vorgestellt.

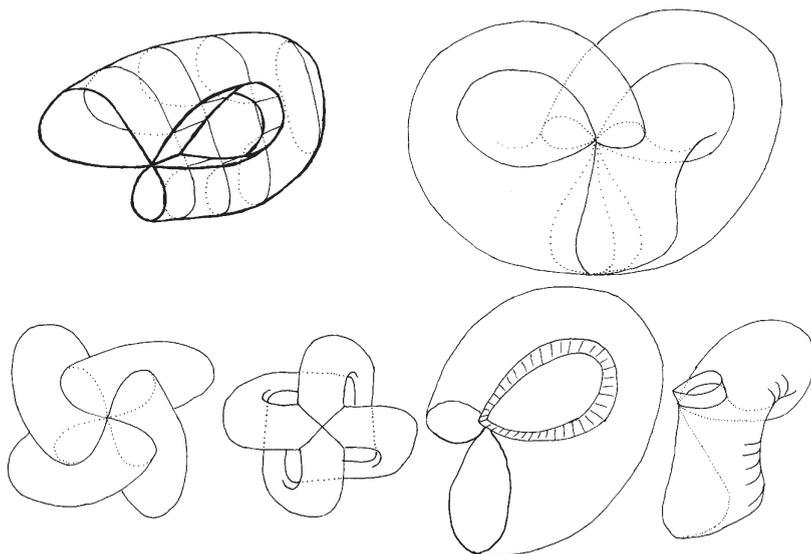
Die erste gut nachvollziehbare Lösung des Problems wurde von Bernard Morin, einem blinden französischen Mathematiker, erdacht und von ihm zusammen mit dem (sehenden) Kollegen Jean-Pierre Petit 1980 veröffentlicht. Auch Jahrzehnte später und nachdem ungezählte computeranimierte Videos ähnlicher Umstülpungsprozesse erschienen sind, scheint mir seine Konstruktion immer noch am besten durchschaubar. Sie beruht auf dem Grundgedanken von Shapiro, die Sphäre zunächst in eine Position zu manövrieren, in der sie durch eine bloße Drehung um 90° umgestülpt werden kann, weil Innenseite und Außenseite auf vier „Windmühlenflügeln“ abwechselnd sichtbar sind. Anschließend macht man das Manöver rückgängig, das die Sphäre in diese Position gebracht hat. Eine Übersicht über den gesamten Ablauf geben die folgenden Skizzen. Der Teufel steckt aber wie immer im Detail. Der Beginn ist nicht gezeichnet: die runde Kugeloberfläche. Alle nachfolgenden Stadien haben Selbstdurchdringungen, deren Verlauf jeweils unter dem Bild der Fläche dargestellt ist. Ganz rechts sieht man die *Morinsche Fläche* oder das *zentrale Modell*, das in der zweiten Gruppe von Zeichnungen ausführlicher dargestellt ist. Der ganze Vorgang läuft zunächst von

* Kurzfassung des Vortrags, der am 12.06.2014 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten wurde.

links nach rechts ab, dann erfolgt die eigentliche Umstülpung, und schließlich läuft die Bilderreihe nochmals rückwärts ab, von rechts nach links.



Die folgenden Skizzen zeigen in der linken Hälfte den prinzipiellen Aufbau des zentralen Modells, und zwar oben einen der vier gleichartigen „Flügel“ und darunter, von oben und von unten gesehen, die daraus zusammengesetzte Fläche in ihrer symmetrischen Gestalt. Rechts sieht man diese Fläche in der etwas verzerrten Gestalt, wie sie in der oben gezeigten Bewegungsfolge entsteht.



Erdbebenwirkung bei ausgedehnten Tragwerken: Phasenverschobene Fußpunkt-Erregung*

UDO PEIL UND MATHIAS CLOBES

Institut für Stahlbau, TU Braunschweig,
Beethovenstr. 51, D-38106 Braunschweig

1. Einleitung

Wie Messungen bei Erdbeben gezeigt haben, können sich die Bodenbeschleunigungen benachbarter Messpunkte signifikant unterscheiden, insbesondere wenn die räumliche Distanz der Messpunkte im Bereich der Abmessungen großer Tragwerke liegt. Trotzdem wird bei der Berechnung von Tragwerken oftmals eine simultane Erregung aller Fundamentpunkte unterstellt. Diese Vereinfachung ist nur gerechtfertigt, wenn die verschiedenen Fundamentpunkte des Tragwerkes durch eine steife Basis verbunden sind, oder wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle sehr groß ist. Bei abgespannten Masten kann die räumliche Distanz der Fundamentpunkte viele hundert Meter betragen. Unterschiedliche Zeitverläufe der Basiserregungen können dabei prinzipiell folgende Ursachen haben:

- a. Wellenfortpflanzung: Die unterschiedlichen seismischen Wellentypen treffen zu unterschiedlichen Zeitpunkten an den Fundamenten ein.
- b. Korrelationseffekte: Reflexion und Refraktion der Wellen an Inhomogenitäten im Baugrund führen zu einer Reduktion der statistischen Bindung.
- c. Untergrund: Variationen in den lokalen Bodenbedingungen unter den einzelnen Fundamenten führen zu einem veränderten Frequenz- und Amplitudengehalt der Bodenbewegung.

In diesem Beitrag wird über numerische Untersuchungen berichtet, bei denen abgespannte Maste unter Einwirkung einer räumlichen Erdbebenwelle berechnet wird. Die rechnerische Simulation des Tragwerks erfolgt unter Berücksichtigung der geometrischen Nichtlinearitäten infolge des Seildurchhangs und der Theorie 2. Ordnung. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit einer Untersuchung der Strukturen im Zeitbereich. Die Berechnung wird so durchgeführt, dass die bauaufsichtlichen Regelungen des Eurocode 8 eingehalten werden, so dass es keine Probleme bei der Anwendung und Umsetzung auf reale Bauwerke gibt. Die

* Der Vortrag wurde am 14.02.2014 in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

Simulationsergebnisse aus einer Vielzahl künstlicher Acclerogramme werden statistisch ausgewertet.

In diesem Beitrag wird über numerische Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Wellengeschwindigkeiten auf die Beanspruchung eines 344 m hohen abgespannten Mastes mit variierenden Vorspanngraden berichtet.

2. Ermittlung der Erdbeben-Zeitverläufe

Die an einem Ort gemessene Bodenbeschleunigung ist die Folge einer Überlagerung der Raumwellen P-Welle und S-Welle sowie der Oberflächenwellen Love-Welle und Rayleigh-Welle. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Wellentypen unterscheiden sich so signifikant, dass der Zeitabstand zwischen den beiden Wellentypen geeignet ist, den Abstand zum Epizentrum zu bestimmen.

Da im Rahmen dieser Untersuchung eine Sensitivitätsanalyse im Vordergrund steht, erfolgt eine Simulation der räumlichen, zeitversetzten Anregung vereinfachend durch einen Zeitversatz identischer Zeitreihen der Bodenbeschleunigung.

Nach [3] liegt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen in der gleichen Größenordnung wie die Scherwellengeschwindigkeit des Bodens. Zur Berechnung des Zeitversatzes wird deshalb die für die Bauwerksschädigung relevante Scherwellengeschwindigkeit angenommen. Dem Eurocode 8 [4] können hierzu u.a. folgende Werte für die Scherwellengeschwindigkeit entnommen werden:

- Baugrundklasse A: Fels mit $v_s > 800$ m/s
- Baugrundklasse B: Dicht gelagerter Sand oder steifer Ton mit $360 \text{ m/s} < v_s < 800$ m/s
- Baugrundklasse C: Dichter oder mitteldichter Sand mit $180 \text{ m/s} < v_s < 360$ m/s
- Baugrundklasse D: Loser bis mitteldichter kohäsionsloser Boden mit $v_s < 180$ m/s

Es wird im Rahmen dieser Untersuchung von einem Baugrund der Klasse C ausgegangen. Die in den Berechnungen angenommenen Scherwellengeschwindigkeiten von $v_s=150$ m/s und $v_s=350$ m/s decken somit die Bandbreite für diesen Baugrundtyp ab. Es wird Untergrundklasse S angenommen.

Zur Berechnung der Tragwerksreaktion im Zeitbereich werden künstliche Zeitverläufe der Bodenbeschleunigung verwendet, um vergleichbare Eingangsdaten für alle Berechnungen ansetzen zu können. Die Generierung der Zeitverläufe der Bodenbeschleunigung erfolgt mit dem in [5] beschriebenen Verfahren. Hierbei wird zunächst aufbauend auf einem normalverteilten weißen Rauschen für die Bodenbeschleunigung $a_g(t)$ eine Modulation der Ordinaten mittels einer Inten-

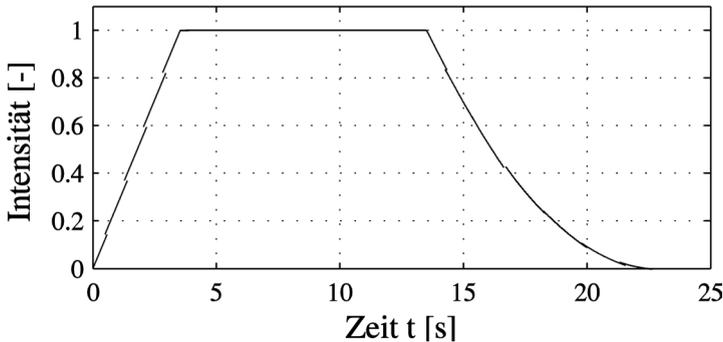


Bild 1: Intensitätsfunktion.

sitätsfunktion vorgenommen, die den zeitlichen Erdbebenverlauf erfasst. Der zeitliche Verlauf der Intensitätsfunktion ist in Bild 1 dargestellt.

Die Gesamterdbebendauer wird aus der empirischen Funktion der Gleichung (1) in Abhängigkeit von der Magnitude und der Herdentfernung bestimmt [6]. Als Magnitude wird ein Wert von $M=7$, als Herdentfernung $r=50$ km angenommen.

$$T_d = \exp(-0,32 + 0,46 \cdot M + 0,0046 \cdot r) \quad (1)$$

Die Gesamterdbebendauer beträgt damit 23 Sekunden. Die Starkbebendauer wird – dem EC8 folgend – zu $T_s=10$ s festgelegt.

Die Bodenbeschleunigung eines Erdbebens wird durch den unter dem Bauwerk anstehenden Boden gefiltert d.h. er besitzt im Frequenzbereich nicht den konstanten Amplitudenverlauf eines weißen Rauschens. Zur Berücksichtigung der spektralen Eigenschaften der Bodenbeschleunigung wird von einem Einfreiheitsgradschwinger zur Beschreibung des unter dem Bauwerk anstehenden Bodens ausgegangen. Zur Beschreibung des Frequenzgangs hat sich die Verwendung des Kanai-Tajimi-Filters in der Form

$$H_{K-T} = \frac{1 + 2i \cdot \zeta_1 (\omega/\omega_1)}{1 - (\omega/\omega_1)^2 + 2i \cdot \zeta_1 (\omega/\omega_1)} \quad (2)$$

bewährt, wobei für weiche Böden der Baugrundklasse C die Parameter $\omega_1=5$ rad/s und $\zeta_1=0,9$ gewählt wurden [6]. Langwellige Anteile werden durch einen Hochpassfilter mit $\omega_2=1$ rad/s beseitigt.

$$H_{HP} = \frac{\omega^2 + i \cdot (\omega \cdot \omega_2)}{\omega^2 + \omega_2^2} \quad (2a)$$

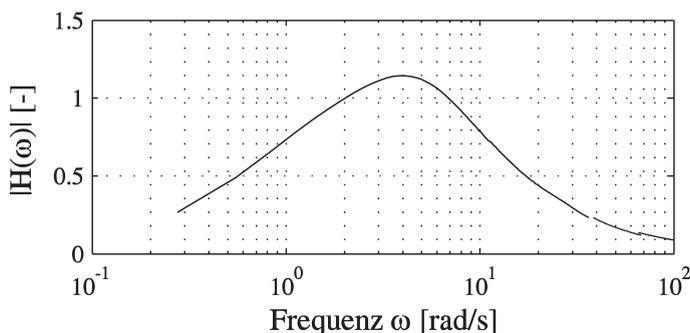


Bild 2: Amplitudengang des Baugrundmodells.

Die Kombination der vorstehenden Funktionen führt zu dem in Bild 2 dargestellten Frequenzgang für den Baugrund, mit dem die Zeitreihe $a_g(t)$ gefiltert wird.

Eine Beben der Magnitude 7 besitzt eine MSK-Intensität von ca. 7,3, dies entspricht nach EC8 einer Erdbebenzone 2 mit einem Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung von $a_{gR} = 0,6 \text{ m/s}^2$. Mit diesem Wert wird der Zeitverlauf der Bodenbeschleunigung $a_g(t)$ skaliert.

EC8 verlangt für künstliche Beschleunigungszeitverläufe, dass diese ein elastisches Antwortspektrum für 5% Lehrsche Dämpfung besitzen, dessen Verlauf maximal 10% unterhalb des Antwortspektrums für die entsprechenden Untergrundverhältnisse liegen darf. Der gemäß vorstehendem Algorithmus berechnete Zeitverlauf der Bodenbeschleunigung $a_g(t)$ weist zunächst noch nicht ein solches Antwortspektrum auf. Dieses wird anschließend durch Vergleich des vorhandenen Antwortspektrums mit dem Soll-Antwortspektrum nach EC8 und iterativem Anpassen des Amplitudengangs im Frequenzbereich sichergestellt.

In Bild 3 ist der Vergleich zwischen dem horizontalen elastischen Antwortspektrum nach EC8 für 5% Dämpfungsmaß, den Untergrund C-S und die Bedeutungskategorie II dargestellt.

Das Antwortspektrum des künstlich generierten Zeitverlaufs liegt deutlich weniger als 6% unterhalb des vorgegebenen Antwortspektrums. Der Beschleunigungsspektralwert für die Nullperiode strebt, wie im EC8 gefordert, zum Wert

$$a_g \cdot S = 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,75 = 0,45 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (3)$$

Das so generierte Akzelerogramm ist in Bild 4 dargestellt. Es werden auf gleiche Weise unkorrelierte Akzelerogramme für die zweite horizontale (y-Richtung),

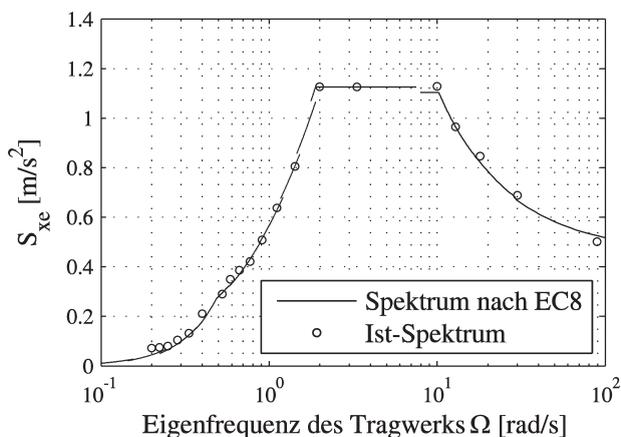


Bild 3: Vergleich der horizontalen elastischen Antwortspektren.

sowie für die vertikale Richtung (z-Richtung) erzeugt. Für die y-Richtung wird 85% und für die z-Richtung 50% des Referenz-Spitzenwerts der Bodenbeschleunigung angesetzt, siehe [5; 7]. Für die z-Richtung wird Übereinstimmung mit dem vertikalen elastischen Antwortspektrum nach EC8 hergestellt.

Die Akzelerogramme für die drei Raumrichtungen werden an jedem der sieben Fundamentpunkte des Mastes angesetzt. Die Bodenverschiebungen folgen aus

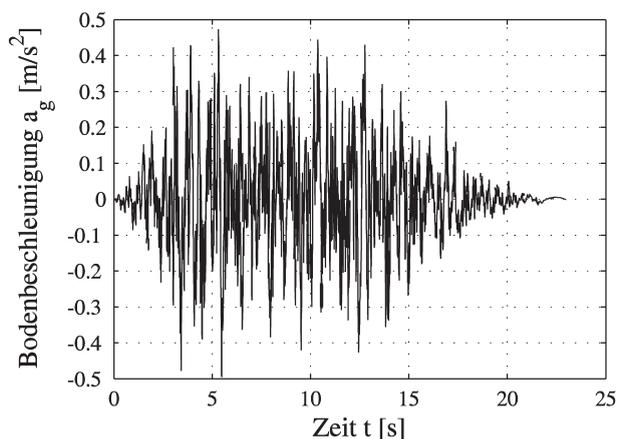


Bild 4: Zeitverlauf der Bodenbeschleunigung, x-Richtung.

den Akzelerogrammen mittels zweifacher numerischer Integration und Basislinienkorrektur.

Der EC8-Teil 1 gibt keine Regeln zur Berücksichtigung der räumlichen Veränderlichkeit der Erdbebenbeanspruchung vor, sondern verweist hierzu auf die entsprechende Fachnorm. EC8-Teil 6 „Türme, Maste und Schornsteine“ enthält keine Informationen [8]. Ein umfangreiches Modell, welches sowohl den Verlust an Korrelation, als auch eine endliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit berücksichtigt, ist in EC8-Teil 2 „Brücken“ zu finden, wobei für die zur Anwendung notwendigen Parameter auf weiterführendes Fachschrifttum verwiesen wird.

Im Rahmen dieser Untersuchungen werden für die drei Raumrichtungen auf sicherer Seite jeweils identische, also in der entsprechenden Raumrichtung voll korrelierte Akzelerogramme verwendet, diese aber mit einem aus der Fundamentdistanz und der Scherwellengeschwindigkeit berechneten Zeitversatz in der Berechnung berücksichtigt. Die endliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Erdbebens führt also zu einer Zeitverschiebung von bis zu 2,25 Sekunden zwischen den äußeren Pardunenfundamenten bei $v_s=150$ m/s. Die Laufrichtung des Erdbebens wird in x-Richtung angenommen, siehe Bild 5.

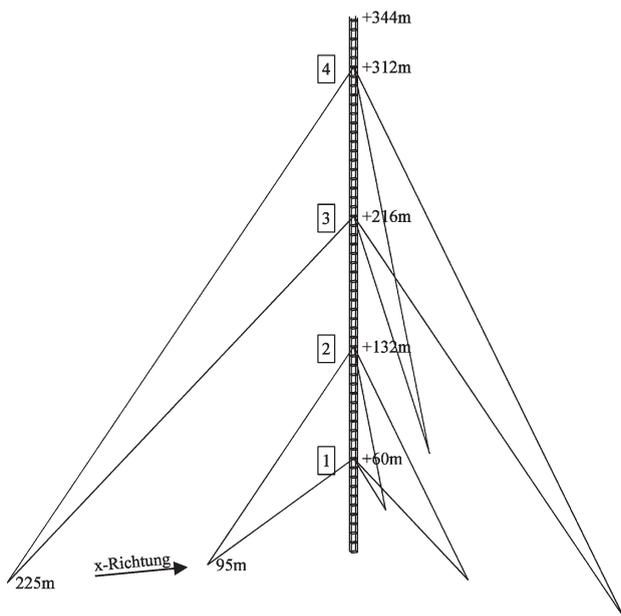


Bild 5: Geometrie des untersuchten abgespannten Mastes

3. Numerische Modellierung der Tragwerksreaktion

Die Geometrie des untersuchten Mastes ist in Bild 5 gezeigt. Der Mast ist insgesamt 344m hoch und dreiseitig in vier Ebenen abgespannt. Der Fundamentradius beträgt 95 m bzw. 225 m.

Der Schaft besteht aus einem vierstieligen Fachwerkmittermast mit einer Kantenlänge von 4 m. Die Querschnittsfläche eines Eckstieles variiert von 350 cm² bis 235 cm². Die Seile haben einen Durchmesser zwischen 50 mm in der untersten und 82 mm in der obersten Abspannebene, wobei die Seile der obersten Abspannebene als Doppelseile ausgebildet sind.

Die rechnerische Simulation des Tragwerks erfolgt unter Berücksichtigung der geometrischen Nichtlinearitäten infolge des Seildurchhangs, aber werkstofflich linear. Die Berechnung wird im Zeitbereich mit Basiserregung aller sieben Fundamentpunkte in den drei Raumrichtungen durchgeführt. Zur Reduzierung des Modellierungsaufwandes wird der Fachwerkschaft des Mastes über schubweiche Balkenelemente beschrieben. Der Seildurchhang wird durch eine polygonale Annäherung des wahren Seildurchhangs erfasst. Die Seile der 1. und 2. Abspannebene wurden mit 9, die 3. Abspannebene mit 16 und die der 4. Abspannebene mit 20 Elementen dargestellt. Der Seildurchhang macht eine iterative Berechnung zur Anpassung der Steifigkeitsmatrix in jedem Zeitschritt erforderlich.

Zur numerischen Lösung der Schwingungsdifferentialgleichungen kommt das Mehrschrittverfahren nach Houbolt zum Einsatz. In jedem Zeitschritt der dynamischen Berechnung wird der Gleichgewichtszustand über die modifizierte Newton-Raphson-Iteration erreicht. Zur Aufstellung der Dämpfungsmatrix wird die Rayleigh-Dämpfung angewendet, wobei für die untere Eckfrequenz f_1 in diesen Berechnungen ein Wert von 0,1 Hz und für die obere Eckfrequenz f_2 ein Wert von 0,5 Hz festgelegt wird. Als log. Dämpfungsdekrement infolge Material und Bauteildämpfung wird ein Wert von 5% verwendet.

Der numerische Weg ist in in [14] im Detail formelmäßig vorgestellt, er soll hier nicht noch einmal wiederholt werden. Nach Separation der Schwingungsdifferentialgleichung nach unbekanntem Freiheitsgraden und Freiheitsgraden an denen die (bekannten) Verläufe der Erdbeben-Zeitreihen vorgegeben sind, folgt eine Differentialgleichung, aus der sich – bei Annahme, dass die Massen nur als konzentrierte (lumped) Massen vorliegen und die Dämpfungskräfte gegenüber den anderen Kräften vernachlässigt werden können – der effektive Erregerkraftvektor als Funktion der nichtlinearen Steifigkeit des Tragwerkes ergibt. Er wird in jedem Zeitschritt aus den einwirkenden Bodenverschiebungen neu bestimmt.

4. Berechnungsergebnisse

4.1. Statistische Absicherung der Berechnungsergebnisse

Die aus den Zeitbereichssimulationen gewonnenen Berechnungsergebnisse unterscheiden sich wegen des stochastischen Charakters der Akzelerogramme signifikant, auch wenn diese vom gleichen elastischen Antwortspektrum ausgehen. Jede einzelne Zeitbereichssimulationen ist somit lediglich Teil einer Stichprobe eines zufälligen Vorganges im Sinne einer Monte-Carlo-Simulation. Es ist deshalb notwendig, eine gewisse Anzahl von Berechnungen durchzuführen, um Informationen über die statistische Verteilung der interessierenden Antwortgröße zu erhalten. Der Eurocode 8 Teil 1 verlangt mindestens drei unterschiedliche Akzelerogramme für eine Berechnung zu verwenden, wobei der ungünstigste Wert für die Bemessung zu verwenden ist. Sofern mindestens sieben Akzelerogramme verwendet werden darf nach EC8-1 der Mittelwert der Antwortgrößen für eine Bemessung verwendet werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass mit dem Mittelwert der Antwortgröße nicht der zeitliche Mittelwert z.B. des Biegemomentes, sondern der Mittelwert der Maximalwerte aus jeder Berechnung gemeint ist, auch wenn im EC1-Teil 1 dies nicht explizit so formuliert wurde. EC8-Teil 6 „Türme, Maste und Schornsteine“ enthält keine weiteren Regelungen. Der EC8-Teil 2 „Brücken“ verlangt so viele unterschiedliche Akzelerogramme zu verwenden, bis der Mittelwert der Maximalwerte zuverlässig geschätzt werden kann.

Die letztgenannte Methode sollte auch bei der Auslegung abgespannter Maste verwendet werden vgl. Bild 6. Aufgetragen ist dort der Mittelwert des maximalen Biegemomentes an zwei Stellen des Mastschaftes über der Anzahl an Berechnungen, die zur Bestimmung des jeweiligen Mittelwertes notwendig gewesen sind. Offenbar kann bei diesem Beispiel ein Mittelwert für das maximale Biegemoment erst nach mindestens 20 Berechnungen annähernd zuverlässig geschätzt werden.

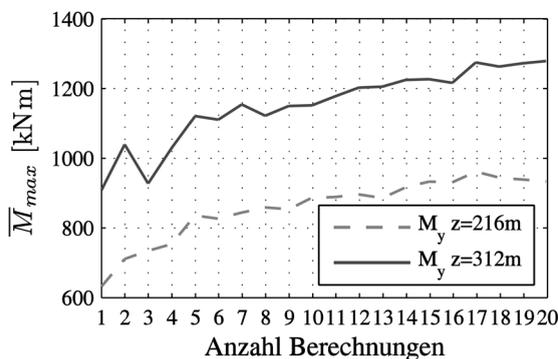


Bild 6: Mittelwert der maximalen Biegemomente, $v_g=5.000$ m/s.

Der Ansatz des EC8 Teil 1, aus drei Berechnungen den Größtwert, oder aus sieben Berechnungen den Mittelwert der maximalen Antwortgröße zu verwenden, kann zu einem deutlichen Unterschätzen der Beanspruchungen führen.

4.2. Einfluss der Scherwellengeschwindigkeit

Um den Einfluss der Scherwellengeschwindigkeit auf die Beanspruchung des Tragwerks zu untersuchen, wird die Scherwellengeschwindigkeit variiert. Die Scherwellengeschwindigkeiten $v_s = 150$ m/s und $v_s = 350$ m/s sind für den Baugrund der Klasse C charakteristisch. Der ebenfalls untersuchte Grenzwert $v_s = 5.000$ m/s steht für den Grenzfall einer gleichzeitigen Erregung aller Basispunkte, der maximale Zeitversatz beträgt lediglich 0,07 Sekunden.

In Bild 7 sind vier charakteristische Beanspruchungsgrößen, das Biegemoment M_y im Mastschaft in den Höhen $z=216$ m und $z=312$ m, sowie die Seilkräfte des 3. und 4. Abspannseils, für variierende Scherwellengeschwindigkeiten dargestellt. Die Beanspruchungsgrößen sind auf den Wert bei $v_s=5.000$ m/s – also der bisher üblichen Annahme einer gleichzeitigen Erregung aller Fußpunkte – bezogen. Der untersuchte Mast wird hierbei mit einer planmäßigen Vorspannung versehen, die etwa zu einem Sehnenlängen/Durchhang-Verhältnis $s/f \approx 100$ gehört. Dies entspricht etwa einer mittleren Vorspannung [10,13]. Die maximalen Beanspruchungen unter den Erdbeben betragen im Mastschaft ca. -160 N/mm², die Spannungen in den Abspannseilen maximal 290 N/mm².

Die Kräfte in den Abspannseilen bleiben weitgehend unbeeinflusst von der Scherwellengeschwindigkeit. Die Biegemomente im Mastschaft sind bei $v_s = 350$ m/s signifikant niedriger als bei gleichzeitiger Beanspruchung aller Fundamentpunkte. Alle Werte sind Mittelwerte maximaler Beanspruchung aus 20 Berechnungen.

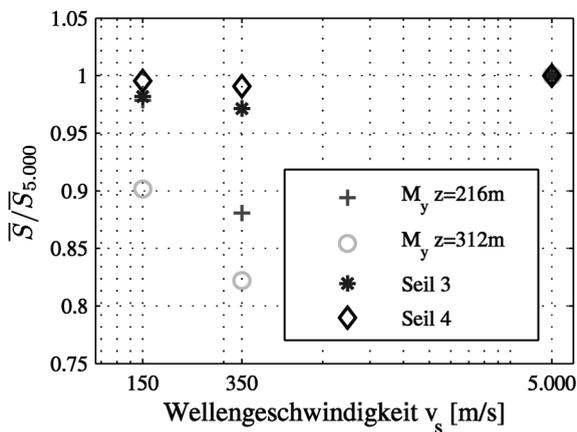


Bild 7: Mastbeanspruchungen in Abhängigkeit von der Wellengeschwindigkeit, $s/f=100$.

4.3. Einfluss der Vorspannung

Die Seilvorspannung ist ein wesentlicher, das Tragverhalten eines abgespannten Mastes steuernder Parameter [10,11, 12 13].

Zur Beurteilung des Einflusses der Vorspannung auf die Mastbeanspruchung bei unterschiedlichen Wellengeschwindigkeiten wird diese entsprechend einer niedrigen Vorspannung mit $s/f=70$, einer normalen Vorspannung mit $s/f=100$ und einer hohen Vorspannung mit $s/f=120$ angesetzt. Hierbei ist s die Sehnenlänge des Seils und f der Stich rechtwinklig zur Seilsehne in der Seilebene im Lastfall Eigengewicht und Vorspannung.

Die Mastschaft-Biegemomente an der drittobersten Abspannung bei $z=216\text{m}$ und an der obersten Abspannung bei $z=312\text{m}$ – also das Kragmoment – werden in absoluten Zahlen in Tabelle 1 dargestellt.

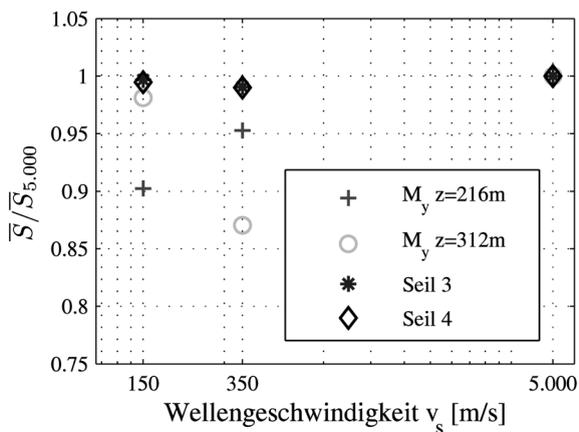
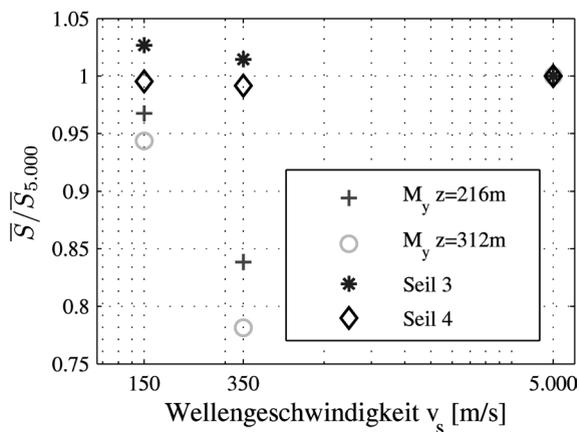
Wie in Bild 8 und Bild 9 zu sehen, nehmen die Seilkräfte bei gleichen Wellengeschwindigkeiten und geringerer Vorspannkraft ab. Bei hoher Vorspannung steigen sie dagegen etwas an. Die Biegemomente im Mastschaft verhalten sich umgekehrt: Bei steigender Vorspannung sinken die Biegemomente, bei sinkender Vorspannung steigen sie. Die geringsten Beanspruchungen (Seile und Mastschaft-Biegemomente) treten hier bei einer Wellengeschwindigkeit von $v=350\text{m/s}$ auf.

Tabelle 1: Mastschaft-Biegemomente in Abhängigkeit von Vorspannung und Wellengeschwindigkeit. Bending moments in relation to the shear wave velocity and the prestress grade.

	My (z=216m) [kNm]			My (z=312m) [kNm]		
	v=150 m/s	v=350 m/s	v=5000 m/s	v=150 m/s	v=350 m/s	v=5000 m/s
s/f=70	963	1017	1067	1293	1147	1318
s/f=100	912	821	932	1153	1051	1279
s/f=120	859	744	888	1148	951	1217

Diese Ergebnisse dürfen, wegen der Abhängigkeit vom jeweiligen dynamischen Verhalten nicht auf andere Masten übertragen werden. Beim untersuchten Mast wird bei der zugrunde gelegten Erdbebenbeanspruchung etwa die Streckgrenze in den Eckstielen erreicht.

Das Erdbeben wurde frei so gewählt, dass der untersuchte Mast - der ja ursprünglich nicht für Erdbebenwirkung ausgelegt war – etwa bis an die Streckgrenze beansprucht wird. Durch Wahl anderer Erdbebenszenarios lassen sich leicht völlig andere Beanspruchungszustände hervorrufen. Ein Vergleich mit der Beanspruchung durch planmäßigen Wind wird deshalb auch nicht vorgenommen. Man kann im Allgemeinen davon ausgehen, dass bei Masten die Auslegung unter planmäßigem Wind zu ähnlichen Beanspruchungsniveaus führt. Der hier untersuchte Mast wurde allerdings nach Kriterien der Verformungsbegrenzung

Bild 8: Mastbeanspruchungen in Abhängigkeit von der Wellengeschwindigkeit, $s/f=70$.Bild 9: Mastbeanspruchungen in Abhängigkeit von der Wellengeschwindigkeit, $s/f=120$.

ausgelegt, da er große Funkspiegel am Kopf trägt und die Spiegel auch unter hoher Windbelastung nicht ihren Partner „aus dem Auge“ verlieren dürfen.

5. Zusammenfassung

Der Einfluss der örtlichen und zeitlichen Veränderlichkeit der Erdbeneinwirkung auf die Beanspruchung eines 344 m hohen, abgespannten Mastes wurde untersucht.

Hierzu wurden für variierende Scherwellengeschwindigkeiten die relevanten Schnittgrößen infolge Erdbeben für ein Erdbeben der Magnitude 7 bestimmt. Zur Beschreibung der Bodenbeschleunigung wurden künstlich generierte Zeitreihen für alle drei Raumrichtungen verwendet, deren elastische Antwortspektren denen des EC8 für die Untergrundverhältnisse C-S entsprechen.

Im Eurocode 8-Teil 1 wird nur allgemein auf die Notwendigkeit einer Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Veränderlichkeit der Erdbebeneinwirkung hingewiesen. Eurocode 8 Teil-6 enthält keine weitergehenden Regelungen für abgespannte Maste. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden voll korrelierte Zeitreihen der Bodenverschiebung mit unterschiedlichem Zeitversatz an den Fundamentpunkten aufgebracht und zusätzlich der Grad der Vorspannung in einem baupraktisch relevanten Bereich variiert.

Um statistisch abgesicherte Beanspruchungsgrößen zu erhalten ist eine Vielzahl an Simulationen durchzuführen. Zur Bestimmung der maßgebenden Einwirkungsgrößen werden die Regelungen des EC8-Teil 6 „Brücken“ empfohlen.

Es zeigt sich, dass die Seilbeanspruchungen praktisch unabhängig von der Scherwellengeschwindigkeit sind. Die Biegebeanspruchungen im Mastschaft sind bei realistischen Scherwellengeschwindigkeiten bis zu 20% niedriger als im Fall der simultanen Erregung der Fundamentpunkte. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu den Untersuchungen in [2]. Allerdings wurden dort lediglich drei unterschiedliche, natürliche Akzelerogramme zur Berechnung verwendet, so dass über die statistische Absicherung dieser Ergebnisse an dieser Stelle keine Aussage getroffen werden kann. Bild 6 macht in diesem Zusammenhang deutlich, dass eine zu geringe Zahl an Realisationen die Antwortgrößen erheblich unterschätzen kann. Die Komplexität des Tragverhaltens eines abgespannten Mastes lässt eine verallgemeinernde Aussagen vermutlich nicht zu.

Es ist deshalb zu empfehlen, bei der Berechnung abgespannter Maste auch den Einfluss einer räumlichen Variation der Basiserregung zu überprüfen. Hierbei müssen zur statistischen Absicherung der Ergebnisse mehrere Zeitreihen der Bodenbewegung untersucht werden, welche auch einen örtlich charakteristischen Zeitversatz der Erdbebenerregung beinhalten.

6. Literaturverzeichnis

- [1] HARICHANDRAN, R.S. 1999: Spatial Variation of Eartquake Ground Motion. Report of the Michigan State University, S. 1–23.
- [2] FARIDAFSHIN, F. et al. 2008: Response of tall guyed telecommunication masts to seismic wave propagation. The 14th World Conference on Earthquake Engineering.

- [3] RUTENBERG, A. & A.C. HEIDEBRECHT 1988: Approximate spectral multi-support seismic analysis: Traveling wave approach. Proc. Instn. Civ. Engrs., Part 2, S. 223–236.
- [4] DIN EN 1998-1: Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, 2010.
- [5] CLOUGH, R. W. & J. PENZIEN 1993: Dynamics of Structures. Mc Graw-Hill, Singapore, Second Edition.
- [6] RACKWITZ, R. 1997: Einwirkungen auf Bauwerke. In: Der Ingenieurbau Hrsg. G. Mehlhorn, Ernst & Sohn.
- [7] DIN EN 1998-1/NA: Nationaler Anhang – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, 2011.
- [8] DIN EN 1998-6: Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 6: Türme, Maste und Schornsteine, 2006.
- [9] LINK, M. 2002: Finite Elemente in der Statik und Dynamik, B.G. Teubner GmbH, Stuttgart.
- [10] PEIL, U. 2004: Maste und Türme. In: Stahlbau-Kalender 2004, Hrsg. U. Kuhlmann, Ernst & Sohn.
- [11] SCHEER, J. & U. ULLRICH 1978: Zur Berechnung abgespannter Maste. Bauingenieur 53, S. 43–50.
- [12] SCHEER, J. & J. FALKE 1982: Iterative Berechnung von Seilabspannungen mit Hilfe des scheinbaren E-Moduls. Bauingenieur 57, S. 155–159.
- [13] SCHEER, J. & U. PEIL 1985: Zum Ansatz von Vorspannung und Windlast bei abgespannten Masten. Bauingenieur 60, S. 185–190.
- [14] PEIL, U. & M. CLOBES: Erdbebenbeanspruchung abgespannter Maste. Bauingenieur 89, Nr. 3, S. 124–129.

Ermittlung des Einflusses der Infrastruktur auf die Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs für den Verkehrsträger Schiene

THOMAS SIEFER

Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb,
TU Braunschweig, Pockelsstr. 3, D-38106 Braunschweig

Zuverlässigkeit im Sinne von Gleichheit zwischen geplanter und tatsächlicher Ankunftszeit von Zügen ist im Schienenverkehr ein zentraler Qualitätsparameter. Das Phänomen der Zuverlässigkeit ist für den Fahrgast im Personenverkehr oder Verlager im Güterverkehr leicht messbar, ein einfacher Vergleich zwischen Soll- und Ist-Zeit. Aus verkehrlicher Sicht steht im Vordergrund, dass individuell zusammengestellte umsteigebehaftete Reiseketten (insbesondere im Personenverkehr) aus verschiedenen Gründen unterbrochen werden können und dass somit die Zuverlässigkeit dieser Reiseketten individuellen Bewertungsmaßstäben unterliegen. Aus betrieblicher Sicht (der Infrastruktur- und Eisenbahnverkehrsunternehmen) steht dabei im Vordergrund, dass im System Schiene – aufgrund seines spurgeführten Netzcharakters – initial auftretende Störungen des Bahnbetriebs vielfältiger Art Folgestörungen in verschiedensten räumlichen und zeitlichen Ausprägungen zum Ergebnis haben können.

Aus eisenbahnbetrieblicher Sicht steht für das fahrplanbasierte System Schiene die adäquate Erfassung von ursprünglichen Störungen (sogenannten Urverspätungen) und den daraus ableitbaren Folgeverspätungen im Vordergrund. Folgeverspätungen umfassen dabei im Wesentlichen

- weitere Verspätungen des von der Urverspätung betroffenen Zuges,
- Verspätungen anderer Züge, die warten, um Umsteigebeziehungen aufrecht zu erhalten,
- Verspätungen anderer Züge, die sich aus Kapazitätsrestriktionen der Infrastruktur (Strecken, Knoten u.a.) ergeben.

Eine nachfrageorientierte verkehrliche Sichtweise betont insbesondere den Aspekt der Umsteigevorgänge. Insbesondere im Personenverkehr ist nicht nur die Zuverlässigkeit einzelner Züge von Bedeutung, sondern als Konsequenz auch die Zuverlässigkeit einer Kette von Zügen (sog. „Reisekette“).

* Der Vortrag wurde am 11.04.2014 in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

Bei der Erklärung der Zuverlässigkeit steht dabei der funktionale Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeit (Ergebnisgröße) sowie der Eisenbahninfrastruktur, dem Betriebsprogramm und anderen Faktoren im Mittelpunkt.

- Die Infrastruktur eines Bahnsystems in Form von Strecken und Bahnhöfen, Leit- und Sicherungstechnik, Energieversorgung sowie anderen bautechnischen Elementen kann selbst Ursache von Störungen sein (Funktionsstörungen an Signalen oder Weichen, der Oberleitung usw.). Die Infrastrukturausstattung jedoch kann auch selbst ein wichtiger Indikator für den Auf- oder Abbau von Verspätungen (Anzahl der Haltegleise in einem Bahnhof, Streckenhöchstgeschwindigkeiten, Leit- und Sicherungstechnik, Überholgleise auf der Strecke usw.) sein.
- Das Betriebsprogramm (Anzahl der Fahrten nach Zuggattungen, Reihenfolge und Geschwindigkeit der Züge, Haltemuster, Anschlussregeln usw.) kann ebenfalls den Auf- oder Abbau von Verspätungen erheblich beeinflussen. Das Betriebsprogramm hat durch die Konstruktionsregeln für die Erstellung eines Fahrplans sehr weitreichenden Einfluss auf den Verspätungsaufbau bzw. den Verspätungsabbau. Insbesondere kann hier sehr kurzfristig durch Fahrplanänderungen reagiert werden, wenn sich zeigt, dass ein Betriebsprogramm sehr unzuverlässig ist.
- Weitere Faktoren können insbesondere für Störungen (Urverspätung) von Bedeutung sein, z.B. die Anzahl der zu- und aussteigenden Fahrgäste an einem Bahnhof, Wetterbedingungen oder die Verfügbarkeit von Fahrzeugmaterial.

Die Bundesverkehrswegeplanung untersucht die Effekte von Infrastrukturinvestitionen, daher kommt dem Einfluss der Infrastruktur auf die Zuverlässigkeit eine wichtige Bedeutung zu. Da für das herangezogene Prognosejahr 2030 aber auch mit höheren Zugzahlen zu rechnen ist – deren qualitätsgesicherter Betrieb letztendlich das zentrale Ziel der Infrastrukturinvestitionen ist – kommt dem Betriebsprogramm ebenfalls eine dominierende Bedeutung zu. Aktuelle Ansätze sprechen von „**fahrplanbasiertem Infrastrukturausbau**“, in denen der Fahrplan eine prägende Kenngröße zur Entscheidungsfindung liefern soll, wo und in welcher Form im Eisenbahnnetz in Infrastruktur investiert werden soll.

Die Zuverlässigkeit oder besser Unzuverlässigkeit des Systems Bahn wird vielfach falsch eingeschätzt. Um Aussagen über die Ist-Situation zu gewinnen, wurden im Rahmen eines Projektes die sogenannten LeiDis-Daten (Leit- und Dispositionssystem) der DB Netz AG ausgewertet. Hierdurch wurde es möglich, weitestgehend objektive Informationen über die tatsächliche Zuverlässigkeit der Bahn zu gewinnen.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden in ein IT-basiertes Berechnungsmodell auf mikroskopischer Datenbasis integriert, um den aktuellen Betriebsablauf der Bahn simulativ nachzubilden. Ein Vergleich zwischen Realität und Simulation

(Stresstest) zeigt, ob durch die aus LeiDis übernommenen Störungen in der Simulation die gleichen Abweichungen vom Sollfahrplan erzeugt werden wie in der Realität. Nachdem das Simulationsmodell entsprechend kalibriert wurde, können auch Aussagen für Modifikationen an der Infrastruktur durch weitere Stresstests gewonnen werden.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde auf einer hochgenauen Datenstruktur gearbeitet, die sekundengenaue Ergebnisse ermöglicht. Untersuchungen für den BVWP erfolgen bislang auf einer makroskopischen Ebene, die eine nicht so exakte Modellierung zulässt.

Zur Ermittlung des funktionalen Zusammenhangs zwischen Zuverlässigkeit (Ergebnisgröße) sowie als Eingangsgrößen die Eisenbahninfrastruktur, das Betriebsprogramm und andere Faktoren erfolgt im Projekt eine statistische Analyse für einzelne Netzelemente. Hierzu wird grundsätzlich zwischen Strecken und Bahnhöfen in der Realität, bzw. Kanten und Knoten im Modell unterschieden. Die Datenbasis der statistischen Analyse ergibt sich aus den Ergebnissen realistischer Eisenbahnbetriebssimulationen.

Die Zuglaufdaten werden auf ihre Abweichung vom Fahrplan hin untersucht und als Störungsverteilung an die Betriebssimulation übergeben. Die Eisenbahnbetriebssimulationen werden für diverse Beispielnetze durchgeführt, die so gewählt sind, dass die abgeleiteten funktionalen Zusammenhänge auf die im Rahmen der anstehenden BVWP betrachteten Netzelemente übertragen werden können. Hierfür kommt das in der Praxis bewährte und anerkannte Fahrplantrassen- und Infrastrukturmanagementsystem RailSys zum Einsatz, das vom Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb (IVE) der TU Braunschweig mitentwickelt wurde.

Das Programmsystem RailSys¹ dient u.a. der Analyse, Planung und Optimierung von Betriebsanlagen und -abläufen spurgeführter Verkehrssysteme. RailSys arbeitet in der Regel auf mikroskopischer Datenbasis, so dass alle Gleise, Weichen und Signaleinrichtungen sowie die Sicherheitslogik detailliert abgebildet werden können. Hierdurch ist es möglich, die Fahrbeziehungen der Züge untereinander auf der Strecke, aber auch in den Bahnhöfen nach Ort und Zeit exakt zu bestimmen. Durch dieses Verfahren lassen sich im Gegensatz zu makroskopischen Verfahren u. a. einzelne Konflikte zwischen zwei oder mehr Fahrten belastbar und detailliert ermitteln. Es ist somit möglich, dass nicht nur quantitative Kapazitätsbelastungen ermittelt werden können, sondern auch qualitative Aussagen zum herangezogenen Gefüge aus Infrastruktur und Fahrplan getroffen werden.

¹ RailSys® ist ein eingetragenes international geschütztes Markenzeichen.

Für die Abbildung der Zuverlässigkeitsfunktion, d. h. der Zuverlässigkeitsänderung in Sekunden, legen die Analysen die Verwendung der Normalverteilung mit den Parametern μ (Mittelwert) und σ (Standardabweichung) nahe.

Die Normalverteilung hat die Dichtefunktion

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Ausgangspunkt sind dabei jeweils die Angebotskonzepte:

- Schienengüterverkehr
 - Einzelwagenverkehr
 - Ganzzüge und Kombiniertes Verkehrr
- Personenfernverkehr
 - ICE
 - IC/EC
- Schienenpersonennahverkehr
 - „Schneller SPNV“, der die Kategorien FernExpress-Züge und Regional-Express umfasst
 - „Langsamer SPNV“, der die Kategorien RegionalBahn, S-Bahnen beinhaltet.

Als empirisch wichtige Variable haben sich dabei die Indikatoren Streckenauslastung, Blocklänge, Sicherungssystem und Knotentyp erwiesen. Die Auswahl der Variablen erfolgte empirisch und nach eisenbahnbetrieblicher Plausibilisierung.

Die Zuverlässigkeit ist für Kanten in Sekunden pro km definiert. Vor einer Verwendung müssen Mittelwert und Standardabweichung entsprechend mit der Länge der Kante multipliziert werden. Die resultierende Verteilung ist wiederum normalverteilt.

Bei der Bildung von **Routen** (d.h. einer Abfolge von Knoten und Kanten) ist die Faltung der Verteilungen über alle betrachteten Knoten und Kanten erforderlich.

Es wird generell die Verwendung der Annahme stochastischer Unabhängigkeit empfohlen. Wie die durchgeführten Regressionsanalysen gezeigt haben, ist der Zusammenhang zwischen Einbruchsverspätung und Zuverlässigkeitsänderung nur schwach ausgeprägt, so dass der eventuelle Fehler dieser Vereinfachung akzeptabel erscheint.

Bei stochastischer Unabhängigkeit gilt für die Faltung:

- die resultierende Zufallsgröße ist normalverteilt, mit
- dem Mittelwert: $\mu_n = \sum_{i=1}^n \mu_i$ und
- der Standardabweichung: $\sigma_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}$

wobei i Knoten und/oder Kanten und n die Anzahl der auf der Route vorkommenden Knoten/Kanten darstellen.

Im Rahmen der Analyse wurde der Einfluss infrastruktureller Variablen, des Betriebsprogramms und der Auslastung auf die Zuverlässigkeit untersucht. Dabei zeigte sich generell ein geringes Bestimmtheitsmaß aller Einflussgrößen, insbesondere auch der infrastrukturellen Variablen auf die Zuverlässigkeit. Dieser tendenziell geringe Einfluss kann damit erklärt werden, dass bei einer gegebenen Infrastruktur Fahrpläne bzw. das Betriebsprogramm auf die Möglichkeiten der Infrastruktur abgestimmt werden. Durch die in den geplanten Zugtrassen eingebauten Zeitzuschläge ist ein bestimmtes Maß an Verspätungsabbau bei jeder Verspätung ohne Einfluss der Infrastruktur möglich. Außerdem sind zwischen zwei Fahrplantrassen Pufferzeiten eingeplant, so dass eine (geringfügige) Verspätung nicht von einem Zug auf den Folgenden übertragen wird. Durch ein gut konstruiertes Betriebsprogramm oder ein Mischungsverhältnis der Züge, das die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Züge berücksichtigt, kann ein entscheidender Beitrag zur Zuverlässigkeit geliefert werden.

Es zeigt sich, dass ein stärker verspäteter Zug oftmals dispositiv auf einer Trasse eines anderen Zuges geführt wird und einen Untersuchungsabschnitt ohne Verspätungszunahme durchfahren kann. Gleiches gilt auch für verfrühte Güterzüge, sie fahren meist ebenfalls auf einer anderen Trasse ohne Veränderung der Verspätung durch einen Untersuchungsbereich. Entsprechende Effekte und Dispositionen aus dem realen Eisenbahnbetrieb können nur mit einem mikroskopischen, synchronen Simulationstool nachgebildet werden. Es zeigt aber auch, dass fahrplanunabhängige Systeme diese Effekte nicht abbilden können.

Wenn durch beliebige Ereignisse die Zugfahrten so verspätet werden, dass weder Zeitzuschläge noch Pufferzeiten die Verspätungsübertragung verhindern können, werden Zugfahrten in der Realität und im Simulationsmodell verspätet. Erst jetzt kommt es – zumindest auf hochbelasteten Strecken – zu einer Verspätungsübertragung und einem Aufbau von Verspätungen.

Hier wurden verschiedene Ansätze der Infrastrukturmodifikation wie Blockverdichtung, Erhöhung der Streckengeschwindigkeit, Verbesserung der Überholmöglichkeiten oder Verringerung niveaugleicher Kreuzungen durch Überwerfungsbauwerke in der Simulation auf ihren Einfluss zur Steigerung der Zuverlässigkeit untersucht.

Die Blockverdichtung bewirkt eine Zunahme der Pufferzeiten und damit eine Verringerung der Verspätungsübertragung. Gleichzeitig erlaubt eine solche Möglichkeit in der Regel eine Erhöhung der Zugzahlen. Sobald diese Möglichkeit jedoch genutzt wird, geht der positive Effekt der größeren Pufferzeiten wieder verloren. Eine Blockverdichtung ausschließlich zur Erhöhung der Zuverlässigkeit wird kaum eintreten, da die gewonnene Kapazität sicherlich genutzt wird.

Eine reine Erhöhung der Streckengeschwindigkeit vergrößert die Geschwindigkeitsschere und führt damit in der Regel ebenfalls nicht zu einer Erhöhung der Zuverlässigkeit. Eine Erhöhung der Streckengeschwindigkeit durch Abbau von Geschwindigkeitseinbrüchen führt hingegen zu einer Harmonisierung des Verkehrs und damit zu einer höheren Zuverlässigkeit.

Die Verbesserung der Überholmöglichkeiten erhöht die Flexibilität in der Disposition. Überholungen können bedarfsgerechter geplant und im Betrieb flexibler angeordnet werden. Allerdings muss beachtet werden, dass Züge, die nur von Überholung zu Überholung fahren, keine marktfähigen Reisegeschwindigkeiten erreichen und kommerziell nicht geplant werden sollten.

Eine weitere wirksame Maßnahme zur Steigerung der Zuverlässigkeit ist die Verringerung niveaugleicher Kreuzungen durch Überwerfungsbauwerke. Bei Überwerfungsbauwerken kann ein Betrieb deutlich flexibler geplant, aber auch disponiert werden.

Alle diese geschilderten Infrastrukturmaßnahmen sind aber bei der Konstruktion eines Fahrplans bekannt und werden auch berücksichtigt. Da der realisierte Betrieb ein Abbild der Randbedingungen der Planung ist, können sich Zuverlässigkeitsgewinne nur in beschränktem Maß ergeben.

Es zeigte sich in der gesamten Untersuchung, dass die betrieblichen Vorgaben einen stärkeren Einfluss auf die Verbesserung der Zuverlässigkeit haben, als die infrastrukturellen Verbesserungen. Es wurde klar, dass der durch einen Fahrplan determinierte Eisenbahnbetrieb die Randbedingungen der Infrastruktur bestmöglich ausnutzt und damit bereits durch die Fahrplankonstruktion – zumindest wenn sie den Vorgaben entsprechend durchgeführt wird – einen wichtigen Beitrag zur Zuverlässigkeit leistet.

Erdbeobachtung mit optischen und Radarsatelliten – Potenzial und Anwendungen*

CHRISTIAN HEIPKE

Institut für Photogrammetrie und GeoInformation
Leibniz Universität Hannover, Nienburger Str. 1, D-30167 Hannover

Die *Erdbeobachtung* hat sich seit dem Start des ersten Satelliten Sputnik im Jahre 1957, und insbesondere seit 1972 mit Landsat der erste zivile bildgebende Sensor ins All geschossen wurde, für diverse Anwendungen als unverzichtbar erwiesen. Neben der täglichen Wettervorhersage zählen dazu u.a. die Umweltbeobachtung, die Land- und Forstwirtschaft, das Katastrophenmanagement und – vielfach als Grundlage weiterer Felder – die Geodäsie und Geoinformatik. Gerade letztere versorgt mittels optischer und Radarsensoren die lokale, regionale und globale Geodateninfrastruktur mit aktuellen, zuverlässigen, genauen und detaillierten Geoinformationen. Derartige Informationen sind für viele Bereiche des heutigen Lebens, von der Anpassung an den bzw. die Bewältigung der Folgen des globalen Wandel(s) über politische Entscheidungen im Zusammenhang mit der nachhaltigen Entwicklung von Stadt und Land im Zeichen von *smart cities* bis hin zur Planung einzelner, energieeffizienter Bauwerke und Verkehrsstrassen von entscheidender Bedeutung.

Der Vortrag verdeutlicht die Möglichkeiten und Grenzen einer bildlichen und damit berührungslosen Beobachtung der Erdoberfläche aus dem Weltraum. Diskutiert werden das Zusammenspiel zwischen geometrischer, radiometrischer, spektraler und zeitlicher Auflösung, die Verbindung zwischen Satellitenbahn (insbesondere der Bahnhöhe) und Wiederholbarkeit von Beobachtungen, die geometrischen Voraussetzungen für eine hochgenaue Abbildung der Erdoberfläche und der darauf ablaufenden Prozesse, und die Unterschiede zwischen optischen und Radarbildern. Danach wird die technische Entwicklung der Erdbeobachtung anhand verschiedener Satellitenmissionen und aktueller Planungen nachgezeichnet. Die wichtigsten Stichworten sind dabei die zuverlässige und schnelle Verfügbarkeit der Bilddaten über lange Zeiträume, die u.a. durch Programme wie Copernicus (EU in Verbindung mit ESA) und Landsat Data Continuity Mission (LDCM, USA) gewährleistet wird, die zunehmende Miniaturisierung der Satelliten (*small satellites*), das Aufkommen mehrerer zusammen gehörender Satelliten zur Verbesserung der Wiederholbarkeit von Beobachtungen (*satellite constellations*) sowie

* Kurzfassung des Vortrags, der am 13.06.2014 in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten wurde.

die Entwicklung neuer Technologien, etwa von geometrisch hoch auflösenden Radarsatelliten (TerraSAR-X, TanDEM-X) oder von Hyperspektralsatelliten wie dem deutschen EnMAP. Die damit einhergehenden, immer größer werdenden Datenmengen, die nur noch automatisch verarbeitet werden können, sind ein weiterer Aspekt der heutigen Erdbeobachtung, der unter dem Stichwort *big data* auch in anderen Disziplinen an Bedeutung gewinnt. Er kann im Rahmen des Vortrags aus Zeitgründen allerdings nur gestreift werden.

Der Beitrag schließt mit der Vorstellung einer Reihe von Anwendungen sowie einigen Bemerkungen zum gesellschaftlichen Umfeld der Erdbeobachtung im Zusammenhang mit der internationalen Kooperation zur Finanzierung der Missionen und zur gemeinsamen Bewältigung kommender Herausforderungen (etwa des prognostizierten Meeresspiegelanstiegs), die auch vor dem Hintergrund des nationalen Prestige, das bei jeder Weltraummission auch heute noch mitschwingt, gesehen werden muss.

Der irisch-englische Frühaufklärer John Toland zwischen Philosophiegeschichte und Latinistik*

WALTHER LUDWIG

Reventlowstr. 19, D-22605 Hamburg

Der irisch-englische Frühaufklärer John Toland hatte sich vom christlichen Glauben schon zu einer Zeit völlig entfernt, als dies in deutschen Landen noch kaum vorstellbar war. Er wurde 1670 in Nordirland geboren und war zunächst katholisch erzogen worden. Dann konvertierte er zur anglikanischen Kirche und wandte sich schließlich vom Christentum insgesamt ab, verneinte einen personalen außerweltlichen Gott und eine persönliche Unsterblichkeit und erwarb eine Überzeugung, die er Pantheismus nannte. 1722 starb er bei London. Er hatte nicht nur eine humanistische Ausbildung genossen und war nicht nur durch sein Studium an irischen, schottischen, englischen und niederländischen Schulen und Universitäten mit der lateinischen Sprache sehr vertraut, er war auch ein begeisterter Leser der antiken griechischen und lateinischen Autoren, die sein Weltbild stark beeinflussten. Toland hat die Aufmerksamkeit von Philosophiehistorikern und Experten der englischen Literatur des 18. Jahrhunderts gewonnen. Zuletzt erschien 2007, herausgegeben vom Editorial Board des *Journal of the History of Philosophy*, mit dem umfassendem Anspruch einer Neudeutung die Monographie des amerikanischen Philosophiehistorikers Daniel C. Fouke „*Philosophy and Theology in a Burlesque Mode. John Toland and ‚The Way of Paradox‘*“. Ich sehe Veranlassung, mich mit dieser Monographie sehr kritisch auseinanderzusetzen und beschränke mich hier auf seine 1720 unter einem Pseudonym erschienene lateinische Schrift *Pantheisticon*.

Im *Pantheisticon* entwirft Toland eine *Sodalitas Socratica*. Gedruckt ist das Buch angeblich *Cosmopoli*, in Wirklichkeit in London oder Den Haag. Die wenigen auf Tolands Kosten produzierten Exemplare der die christlichen Kirchen nicht nennenden, aber radikal anti- oder achristlichen und deshalb für ihren Autor sehr riskanten Schrift sollen von ihm vor allem an Freunde verschickt worden sein. Fouke sah in dieser Schrift eine burlleske Travestie herkömmlicher christlicher Theologie: „I will argue that in ‚*Letters to Serena*‘ (1704) and *Pantheisticon*, Toland presented a materialistic philosophy that he elevated to the status of religion by manipulating theological discourse. The discourse Toland constructed was not a straightforward

* Kurzfassung des Vortrages, der am 14.02.2014 in der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten wurde.

presentation of his ‚private religion‘, but a self-conscious travesty of traditional divinity, a burlesque that applies forms of religious discourse to the material universe.“ Foukes Buch erhielt ein positives Echo. Meine Untersuchung kam zu dem Ergebnis, daß seine Interpretation, die sich nicht nicht auf den lateinischen Originaltext, sondern auf eine anonyme englische Übersetzung von 1751 stützt, nicht hilfreich ist, sondern den wirklichen Zweck des *Pantheisticon* total verfehlt.

An den Anfang seines *Pantheisticon* stellte Toland einen Brief an den Leser, in dem das Ziel der Schrift angegeben wird. Der Leser soll nicht den Meinungen der Menge folgen, sondern seiner eigenen Ratio und unter ihrer Führung sein Los mit Gleichmut tragen, sich von Ehrgeiz und Neid fernhalten, kurzlebige Ehren verachten, ein angenehmes und ruhiges Leben führen und sich vor nichts fürchten, auch nicht vor Schicksalsschlägen oder Höllenstrafen. Das ist gewiß keine Einstimmung in eine Burleske, sondern läßt für den Autor und die Leser wichtige Ausführungen erwarten.

Das *Pantheisticon* selbst gliedert sich dann in zwei, *Diatriba* bzw. *Dissertatiuncula* genannte Essays, zwischen die unter dem Titel *Formula celebrandae Sodalitatis Socraticae* eine Darstellung des formellen Verlaufs einer Zusammenkunft dieser Gesellschaft gestellt ist. Sie kann und will nicht die wechselnden Diskussionen zu verschiedenen philosophischen Themen wiedergeben, die innerhalb der Zusammenkünfte stattfinden sollen, aber die diesen Diskussionen vorausgehende, von Toland entworfene Liturgie, in der der jeweilige Vorsitzende im Dialog mit den übrigen Mitgliedern gezeigt wird und beide zusammen fundamentale Überzeugungen der Gesellschaft kund tun und in der alle Mitglieder gelegentlich auch zusammen als Chor Lieder singen, deren Texte Dichtungen antiker Autoren entnommen sind wie z.B. den Oden des Horaz.

Sowohl die fixierten dialogischen Strukturen als auch die eingelegten Choräle erinnern als solche an gewisse liturgische Bräuche der christlichen Kirchen. Fouke sieht deshalb in der Liturgie „elements of religious satire and parody“ bzw. eine „travesty of the Anglican liturgy“ und damit „burlesque qualities“. Damit wird die Funktion dieser Imitation jedoch verkannt. Sie ist nicht geschrieben mit dem Ziel, die christliche Liturgie durch eine Parodie zu verspotten, sondern mit dem Ziel, im Sinne einer Kontrastimitation der alten Liturgie der christlichen Kirche die neue der Freidenker entgegenzusetzen. Mit der Aufnahme der dialogischen Strukturen und des Chorgesangs und auch mit der gelegentlichen Wiederverwendung christlicher Wendungen werden diese Elemente der christlichen Liturgie und christlicher Texte als solche keiner Satire und keinem Spott preisgegeben, sie werden hier verwendet bzw. gebraucht, um die Überzeugungen der Mitglieder der *Sodalitas Socratica* darzustellen. Die Vorstellung, hier sei eine Burleske produziert worden, übersieht völlig, daß es sich hier um eine Kontrastimitation handelt. Der Unterschied zwischen einer verspottenden Parodie und einer Kontrastimitation, die eine Form übernimmt, um sie mit neuem Inhalt zu füllen, wurde hier leider

übersehen. Das Ziel einer verspottenden Parodie ist, die Vorlage lächerlich zu machen, Ziel einer Kontrastimitation ist, die neue Aussage zu betonen.

Toland wünschte als Präsentation seiner eigenen freidenkerischen Überzeugungen und als Praxis einer gleichgesinnten Gemeinschaft eine bekennnishaft Liturgie und einen gemeinschaftlichen Chorgesang, wie er sie aus der christlichen Kirche gewohnt war. Weit entfernt davon, die Form der christlichen Liturgie als solche zu verspotten, sah er ihre sinnstiftende und gemeinschaftsbildende Qualität, wollte sie aber von ihren falschen Glaubensinhalten lösen und seinen Anhängern ein formales Äquivalent geben. Sie sollten auch zusammen in der Wechselrede von Leiter und Gemeinde ihre Überzeugungen artikulierend bekennen und damit festigen und in gemeinsamen Gesängen sich ihrer Vorstellungen und Intentionen freudig vergewissern, aber nun eben keine irrigen christlichen Dogmen, sondern ihre Liebe zur freien Erkenntnis der Wahrheit und zu einer humanen Ethik kundtun.

Toland beschreibt in seinem *Pantheisticon* eine *Sodalitas Socratica* als bestehende Einrichtung. Erst im letzten Kapitel seiner *Dissertatiuncula* gesteht er, sie sich in dieser Form ausgedacht zu haben, so wie Plato sich in seinem „Staat“ beispielhaft den besten Staat ausdachte. Aber er ist sich gewiß, daß ohne Zweifel an vielen Orten pantheistisch gesinnte Freidenker vorhanden sind. Toland beschreibt sie als philosophische Köpfe, die wie Horaz nicht auf die Worte eines Meisters schworen, durch keine Erziehung oder Religion gehindert wurden, frei zu denken und die über alle Dinge vorurteilslos disputieren konnten. Er nannte sie Pantheisten, da sie über Gott und das Universum eine eigene Auffassung hatten, die Gott und das Universum nicht trennte, sondern in Eins setzte.

Toland skizziert das aus einzelnen Elementen bestehende, unendliche und ewige Universum mit der ihm inhärenten, es bewegenden Energie, die Gott genannt werden könne, und kommt dann auf die Pantheisten und ihre Zusammenkünfte zu *sprechen*. Sie würden sich für die Freiheit zu denken und zu handeln einsetzen und seien Feinde jeder Tyrannei, ob sie nun von Monarchen, Oligarchen oder Demagogen käme. Sie seien in Paris, den Niederlanden, vor allem in Amsterdam, selbst in der römischen Curie und besonders in London anzutreffen. In ihren Zusammenkünften sollten sie „mit Hilfe der Strahlen des Lichts der Vernunft alle Dunkelheiten vertreiben, leere Ängste beseitigen, besonders getürkte Offenbarungen zurückweisen und ebenso erdichtete Wunder, unsinnige Mysterien und doppeldeutige Orakel entlarven, und alle Listen, Tricks, Täuschungen, Betrügereien und schließlich auch alle Altweibermärchen enthüllen, durch die der Religion eine häßliche Wolke und der Wahrheit die finsterste Nacht übergestülpt wird“. In dem gesamten Essay kommen die Worte Christus und christlich nie vor, aber diese Worte sind natürlich verdeckt gegen die christlichen Kirchen gerichtet. Wer dieses Essay aufmerksam liest, erkennt, daß Toland hier seine Vorstellungen vom Universum und von Gott sowie über die Gesprächszusammenkünfte gleichgesinnter Freidenker ernsthaft und mit dem Ziel, seine Leser dafür einzunehmen, gegeben

hat. Toland knüpft als Humanist immer an Aussagen der antiken Literatur an und bezieht sich zugleich im astronomischen und naturwissenschaftlichen Bereich auf die Ergebnisse neuerer Forschungen.

In dem Vortrag wurde die im *Pantheisticon* entworfene fiktive Schilderung einer Zusammenkunft der Pantheisten näher analysiert. Eine genaue Lektüre dieses Textes erweist, wie sehr man in die Irre geht, wenn man in ihm eine Burleske oder Komödie entdecken will oder seinen Zweck in einer Parodie christlicher Bräuche sucht, und daß er im Gegenteil grundlegende und zum Teil langjährige philosophische und religiöse Überzeugungen Tolands in eine für die gewünschten Zusammenkünfte geeignete Form brachte. Wenn Toland für seine pantheistische Religionsphilosophie auf antike Belege zurückgreift, tut er dies vor allem um zu zeigen, daß der Pantheismus nicht eine zu Anfang des 18. Jahrhunderts von einem christlichen Apostaten entwickelte Ersatzreligion ist. Der Pantheismus geht nach Toland zurück auf den griechischen Ursprung der Philosophie. Diese Auffassung sei immer wieder von griechischen und römischen Denkern geteilt und ausgesprochen worden; ja bei den Hebräern sei sogar Moses, bei den Chinesen Confucius vom Pantheismus überzeugt gewesen. So sei der Pantheismus lange vor der christlichen Zeit über die ganze Erde verbreitet gewesen und weit älter als der zu Tolands Zeit Europa beherrschende christliche Glaube an einen personalen außerweltlichen Gott. Toland wollte so zeitgenössischen Pantheisten aus seinem humanistischen Wissen heraus die Gewißheit und Sicherheit geben, eine sowohl richtige als auch uralte Religions- und Lebensphilosophie zu besitzen, bzw. Sympathisanten ermutigen, sie sich anzueignen.

Fouke mißversteht Toland, wenn er den Äußerungen im *Pantheisticon* die Ernsthaftigkeit abspricht, wenn er Toland nicht die Absicht einer positiven Lehre zuerkennt, sondern in dessen Darstellung eine Komödie sieht, die ernsthaft allein den Zweck habe, die christliche Kirche zu attackieren und lächerlich zu machen. Das ist eine Verkennung von Tolands Intentionen. Das originale *Pantheisticon* stellt im Gegenteil eine Bekenntnisschrift des 50jährigen Humanisten John Toland dar, der hier auf dem Hintergrund des vorherrschenden und gegenüber Abtrünnigen immer noch gefährlichen Christentums seine Philosophie und Religiosität und die von ihm gewünschte Form ihrer Verbreitung ausgewählten Freunden darlegte, und zwar unter dem Schutz eines Pseudonyms, der lateinischen Sprache und eines unbenannten Druckers und Druckorts.

Eine ausführlichere Darstellung dieses Themas wurde von mir unter dem Titel „John Tolands *Pantheisticon* zwischen Philosophiegeschichte und Latinistik“ in: Neulateinisches Jahrbuch, Journal of Neo-Latin Language and Literature 16, 2014, S. 173–212, veröffentlicht.

Zwischen Bettelei und Brauchtum Heischegänge zum Neujahrsfest in Kurhessen*

NIKLOT KLÜSSENDORF

Koppelkaute 2, D-35287 Amöneburg

Die Inspiration zu diesem Thema steht im Kontext des Jubiläumsjahrs der BWG, zu deren Gründergeneration Wilhelm Jesse (1887–1971) gehörte, dem sich der Vortragende inhaltlich besonders verbunden fühlt. Dies rührt gleichermaßen aus der Verknüpfung mit der Volkskunde, die viele Numismatiker mit einem Hamburger Hintergrund pflegten, wie aus der Tradition der Lehre in Numismatik und Geldgeschichte an der Archivschule Marburg.

In der Frühneuzeit pflegten viele Territorien durch spezielle Armen- und Bettelordnungen das Betteln stark zu reglementieren. Vor allem ging es darum, auswärtige Bettler fernzuhalten, karitative Sammlungen in die richtigen Kanäle zu leiten, etwa durch öffentliche Sammelbüchsen, fallweise Genehmigungen und Einbeziehung der Kirchen in die Armenpflege. Einzelne Städte in der Landgrafschaft Hessen-Kassel erhielten sogar eigene Ordnungen, so Schmalkalden am 29. Mai 1767 und die Residenzstadt Kassel am 6. August 1773. Hiernach war Straßen- und Hausbettelei verboten, das Unterstützungswesen für wirklich Bedürftige geregelt. Verstöße wurden mit Sanktionen bis zur Haft geahndet, Fremden drohte die Landesverweisung. Neben der vorrangig im Visier der Beamten stehenden Gassenbettelei gab es weitere Formen des Bettelns, so durch fechtende Studenten, Handwerksgelesen auf Wanderschaft, Hausierer mit Angeboten belangloser Waren sowie durch Abgesandte aus abgebrannten Dörfern, die man fallweise mit speziellen Lizenzen für den Wiederaufbau kollektieren ließ. Spätestens, wenn die Zahl der mit irgendeinem Anliegen von Haus zu Haus Gehenden zunahm, rief dies die Ordnungskräfte auf den Plan.

Mit den „Maßregeln der Sicherheitspolizei, zur Kontrolle von Erwerbs- und Heimatlosen und ähnlichen Verdächtigen sowie von Reisenden und Fremden“ vom 29. November 1823 verstärkte das nunmehrige Kurfürstentum Hessen den Kampf gegen die Bettelei. Im Land war bereits die Fürsorge für den Unterhalt von wandernden Handwerksgelesen eine berufsständische Angelegenheit. Daher oblag den örtlichen Meistern Mitsorge, wenn sie keine Arbeit für Vorsprechende hatten. Letzteren war also das Betteln untersagt. Wer an seinem Heimatort bettelte,

* Kurzfassung des Vortrags, der am 11.04.2014 in der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten wurde.

riskierte eine Strafe, die bereits bei der zweiten Wiederholung mit Einweisung in ein Zwangsarbeitshaus drohte. Schärfer wurde auf das Betteln von Auswärtigen und Ausländern reagiert, das als Landstreicherei galt (Begriff in anderen Territorien: *Vagabundieren*). Im Verkehr mit den Nachbarstaaten kam es auf diesem Gebiet bisweilen zu drastischen Maßnahmen: Im Hungerjahr 1847 wurden allein in Sachsen-Gotha 100 bettelnde Personen aus kurhessischen Notstandsgebieten verhaftet und ausgewiesen, drei bis vier Tage von Behörde zu Behörde verschoben und im eigenen Land gerichtlich abgeurteilt. Die Maßregeln gaben auch die Möglichkeit körperlicher Züchtigung. Dies präzisierte noch nach der Revolution von 1848 das Gesetz vom 4. August 1853: An die Stelle von Freiheitsstrafen „für Diebstahl, Landstreicherei oder Betteln“ bis zu sechs Wochen Gefängnis bzw. bis zu vier Wochen Zwangsarbeit konnte Züchtigung treten – maximal mit vierzig Streichen.

Die Maßregeln blieben über das Ende des Kurstaats (1866) hinaus in Kraft, und zwar bis 1871. In den 1821 gebildeten vier Provinzen wurden sie unterschiedlich umgesetzt. So wurden 1825 in Niederhessen 61 Bettler, in Hanau 22, in Fulda drei und in Oberhessen nur einer gestellt. Zu einheitlichen Ausführungsbestimmungen kam es nicht einmal, als das Innenministerium 1843/44 aus mehreren Provinzen wegen des missliebig werdenden Neujahrsbettelns eingeschaltet wurde.

Das Überbringen von Festtagsglückwünschen, für die ein kleines Geschenk oder ein Trinkgeld gewährt wurde, galt vielerorts als legitime Übung von Dienstleistenden. Reste dieser Praxis sind noch heute festzustellen. Mit dem Begriff „Heischebrauch“ für solche oft seit Generationen ausgeübten Umgänge grenzt die Volkskunde diese von der ordnungswidrigen Bettelei ab. Auch wenn der Umgang heischender Gratulanten gerade zu Neujahr dem Herkommen entsprach, erregte ihr massenhaftes Erscheinen leicht Unwillen. Denn zwischen akzeptierte Personen wie die als Glücksbringer geltenden Schornsteinfeger drängten sich oft weitere Leute zum Gratulieren. Mit dreistem Auftreten kamen Überbringer unerbetener Neujahrswünsche leicht in den Ruf des strafwürdigen Bettelns. Zudem minderten sie das Ansehen und die Chancen der traditionellen Umgänger. Wenn Gratulanten statt eines Geschenks oder neben demselben Alkohol gereicht wurde, dürften die Umgänge zunehmend lustiger und lauter geworden sein. Dies nahm die Obrigkeit vor dem Jahreswechsel oft zum Anlass, Bettelverbote in die Amtsblätter zu setzen. Auch die Vorsprache von Kunden bei Gewerbetreibenden, ob persönlich oder durch vorgeschickte Kinder, um Neujahrsgaben zu erlangen, stand als *verkappte Bettelei* unter Strafandrohung – sogar gegenüber Kaufleuten, die mit ihren Kunden großzügig umgehen wollten.

Ärger erregten zuweilen Postillions, die in Dienstkleidung durch ihren Bezirk ritten und bis in den Februar mit Hornsignalen das Neue Jahr *anbliesen*, so 1836 im oberhessischen Frankenberg. Als man Anfang 1840 in der Stadt Schmalkalden 23 Neujahrsgatulanten zählte, war das Maß voll. Dies waren zwei evangelische

und zwei reformierte Herren-Schüler, ein Nachtwächter, vier Weihnachtswächter, vier Glockenläuter, ein Orgel-Balgtreter, ein Feldhüter, zwei Postillions, diese zu Pferde und blasend, sowie acht Musikanten, die in den Häusern Musikstücke zu spielen anboten. Eine Beschwerde über dreiste Glockenläuter veranlasste den Landrat, Kontakt mit den Bürgermeistern der Stadt und der eingepfarrten Dörfer aufzunehmen, um die Neujahrsbettelei zu beseitigen. Dabei unterschied er nicht zwischen regelrechtem Betteln und den herkömmlichen Umgängen.

Der Denkprozess in dieser Sache war in den vier Provinzen ebenso unterschiedlich wie die Ordnungsvorstellungen der Kreis- bzw. Landräte, von denen manche jeglichen Übermut zu Neujahr mit Verboten belegten. So drohte Gemeinden, in denen der Jahreswechsel mit Freudenschüssen begrüßt wurde, ein ganzjähriges Verbot von Tanzlustbarkeiten und der Kirmes. Es erschienen Warnungen vor Alkoholmissbrauch, gegen Neujahrsbettler wurden Patrouillen entsandt, und selbst Anträge von Berufsmusikern auf Erlaubnis zum Aufspielen wurden abgelehnt. Derartige Maßnahmen waren keine Besonderheit von Kurhessen, das uns hier als Exempel eines Flächenstaats mit guter Quellenlage dient. Paralleles Vorgehen gegen das Neujahrsbetteln lässt sich etwa aus Nürnberg (1827), Augsburg (1830) und Hessen-Homburg (1834) anführen.

Bald nach Erlass der Maßregeln von 1823 erschienen erste Erläuterungen zu den in dem Regelwerk gar nicht erwähnten Neujahrsbräuchen, die viele Kontroversen auslösten. Örtliche Verfügungen der Behörden erschienen unterhalb der Gesetzblätter in den Zeitungen, namentlich den Wochenblättern der vier Provinzen und den Verkündungsorganen der Exklaven. Dies begann in Schmalkalden, wo ein rigider Kreisrat das Sagen hatte, der schon 1822 das Ziel erklärt hatte, im Kreis das Betteln völlig zu beseitigen. Bei den unterschiedlichen Lösungsansätzen in Bezug auf die Neujahrsbettelei war fast immer die Abwägung zwischen Eingriffen der Ordnungskräfte und Toleranz geboten. Lassen wir die Beispiele aus kurhessischen Behörden Revue passieren, stellt sich Folgendes heraus:

- Bettelei war, wie in den meisten anderen Staaten im Deutschen Bund, ein mit Polizeistrafe von Züchtigung bis zu Haft und Arbeitshaus bedrohtes Delikt. Heischende Neujahrsgratulanten riskierten die Bestrafung.
- Neujahrgaben anderer Art, etwa in der Beziehung zwischen Kaufleuten und Kunden, liefen Gefahr, in den Zusammenhang der Bettelei gestellt zu werden.
- Umgänge, deren Ertrag als Teil der Besoldung galten, wurden fallweise von der Anwendung der Bettelbestimmungen ausgenommen.
- Verbote solcher herkömmlichen Umgänge griffen in soziale Besitzstände und zogen die Forderung nach finanzieller Abgeltung nach sich.
- Die Bereitschaft zum Geben von Neujahrsgeschenken konnte kanalisiert werden, indem man die milden Gaben in einen Almosenkasten umlenkte.

Frühe Verbote wurden bereits 1822 in Fulda gegen Flurschützen und Nachtwächter verhängt, in einem Zuge mit der Abschaffung der traditionellen Vorsprache für eine Gabe zum Fastnachtsbraten. Zum Ersatz bewilligte man den Betroffenen eine kleine Zahlung aus der Stadtkasse. Neujahrsgaben der Bürger wurden bald komplett in die örtliche Armenkasse umgeleitet, eine Lösung, die später auch in Hünfeld erfolgte. Verbote erschienen in Schmalkalden, 1823 noch abgemildert, 1825/26 wieder verschärft, dann versuchsweise 1840/41. In Kassel gab es in manchen Jahren pauschale Verbote, so 1843/44, in anderen wieder nicht. In Hanau setzten die jährlichen Verbote 1836 ein, in Marburg versuchte man sich an einem solchen 1844.

Toleranzregelungen für Umgänge erschienen in Schmalkalden 1823, erneut 1826, diesmal nicht vom Kreisrat unterschrieben, der zur gleichen Zeit ein Verbot verhängte und für Spenden an die Armenkasse warb, sondern von dessen Vertreter. Ende 1841 wurde die Toleranz bis auf Weiteres erneuert, nachdem ein neuer Landrat vergebens die Abschaffung betrieben hatte. In Hanau wurden jährliche Verfügungen zugunsten legitimer Umgänger von 1824 bis zu dem erwähnten Verbot erlassen, in Marburg zuerst 1825, in Kassel in den meisten Jahren von 1833 bis 1846. Nach einem erfolglosen Verbot in Marburg im Frühjahr 1844 ging man im gleichen Jahr dazu über, in Abstimmung mit dem Innenministerium eine Liste berechtigter Umgänger, damals 18 Personen, zu veröffentlichen. Diesen blieben die Einnahmen aus den Umgängen als Teil ihrer Besoldung, künftigen Funktionsträgern aber nicht. Als 1864 eine Kirchengemeinde neues Personal bestellte und ihm aus Versehen den Umgang zubilligte, war wieder eine Ausnahme fällig. Oft erwähnten die Toleranzregelungen, Berechtigte könnten sich durch einen Dispens legitimieren. Alle anderen Personen seien als Bettler zu behandeln. Die Wechsel zwischen teilweiser Duldung und Verboten waren für das Polizeipersonal oft ebensowenig zu durchschauen wie für die Umgänger.

Wurde ein Umgang durch einen Festbetrag abgefunden, galt er als endgültig beseitigt. Alle, welche die alte Praxis fortführten, traf die volle Härte der Bestimmungen. Auch hiervor wurde öffentlich gewarnt. Das Problem bei angestrebten Ablösungen war oft, dass keine kommunale oder kirchliche Kasse das Geld aufbringen konnte. Daher blieben die Umgänge vor Ort erst einmal erhalten. Das prägnanteste Beispiel liefert Schmalkalden. Dort lehnten 1840 bei Überprüfung der Rechte der Glockenläuter alle in Betracht kommenden Kassen ab, Mittel zur Ablösung zu stellen. Der Landrat stand am Ende allein gegen die Voten der Bürgermeister und der Mitglieder der Polizeikommission mit Einschluss des Landrichters, die den Brauch aus Gründen der Billigkeit erhalten wollten. Denn die Umgänger wurden aus der Stadtkasse nur symbolisch honoriert, hinzu kamen Akzidentien aus kirchlichen Amtsandlungen. Die Betroffenen verteidigten ihr im späten 16. Jahrhundert wurzelndes Recht. Der Streit, entzündet an 2 Groschen Trinkgeld für vier Glockenläuter, zeigt, dass der Umgang in dem großen Bezirk von Stadt und Umlandgemeinden für jeden rund 20 Taler im Jahr wert war. Seit

Ende 1841 blieb Turm- und Nachtwächtern, Glockenläutern und dem Balgtreter zu Neujahr das Recht zum Sammeln *freiwilliger* Gaben, ferner Feldhütern und Hirten bei ihren Auftraggebern. Die Postillions und der Stadtmusikant schieden wegen ihrer gegenüber der umfassenden Ortsregelung von 1823 verbesserten Bezüge aus dem Kreis der Umgänger aus.

Zahlreiche lokale Verfügungen gegen Bettelei, die oft Neujahrsumgänger mitbetrafen, zeigen, dass in Kurhessen die Heischegänge weit verbreitet waren. Nach seiner über Generationen tradierten Ausübung war das Gratulieren zu Neujahr keine Bettelei, sondern ein Besitzstand von Inhabern kirchlicher und kommunaler Nebenämter, der kaum zu beseitigen war. Die Berechtigten gerieten nur in Verruf, wenn sie zu dreist forderten oder wenn Unbefugte sich in den Brauch drängten. Die Bestimmungen zur Abschaffung zeigen mitsamt den nötig werdenden Wiederholungen, dass Umgänge nicht einfach wegbefohlen werden konnten, sondern als Gewohnheit lange erhalten blieben, bis sie, zum Teil erst in preußischer Zeit, abgelöst wurden (so in Marburg und in Schmalkalden).

Der Kern der Umgänge war die soziale und wirtschaftliche Anerkennung von meist im Jahreslauf geleisteten Diensten. Drohte diese Anerkennung zu entfallen, kam es zwangsläufig zu Konflikten mit der Rechtsordnung, bis der Brauch beseitigt war. Doch ging dies fast nur mit Verfahren, die einen Ausgleich für das Geleistete über pauschale Entlohnung schufen.

Die Informationen zur Praxis der Neujahrsumgänge und zu anderen im Visier der Ordnungshüter stehenden Neujahrssitten bereichern die historische Volkskunde für das 19. Jahrhundert, besonders aber die rechtliche Volkskunde, das Gebiet an der Grenze zwischen Brauchtum und Recht. Zu den Eigenheiten solcher Thematik gehört zwangsläufig, dass die besten Quellen zu legitimen Umgängen fast immer im Zusammenhang von Maßnahmen gegen vermeintliche Missbräuche stehen.

Weiterführende Hinweise: Der Vortrag steht in einer Projektreihe zur Armenfürsorge, deren erste Ergebnisse in den Hessischen Bll. für Volks- und Kulturforschung, N. F., Bde. 49/50 (2014/15), den Eschweger Geschichtsbll. 25 (2014) und in der Zs. für Thüringische Geschichte 69 (2015) erscheinen. Von Einzelbelegen aus meist ungedruckten Quellen war hier abzusehen. Grundlage sind die Akten mehrerer Verwaltungsebenen im Hessischen Staatsarchiv Marburg und im Stadt- und Kreisarchiv Schmalkalden, die Gesetzsammlungen, die Wochenblätter der vier Provinzen ab 1821 und der Schmalkalder Anzeiger. Schrifttum: R.W. BREDNICH, Grundriß der Volkskunde, Berlin ³2001; P. SARTORI, Sitte und Brauch, Bd. 3: Zeiten und Feste des Jahres (Handbücher zur Volkskunde, Bd. VII/VIII), Leipzig 1914; R. JÜTTE, Disziplinierungsmechanismen in der städtischen Armenfürsorge der Frühneuzeit, in: Soziale Sicherheit und soziale Disziplinierung. Beiträge zu einer historischen Theorie der Sozialpolitik, hg. von C. SACHSSE und F. TENNSTEDT (Edition Suhrkamp 1323), Frankfurt a. M. 1986, S. 101–118; C. SACHSSE und F. TENNSTEDT, Geschichte der Armenfürsorge in Deutschland, Bd. 1: Vom Spätmittelalter bis zum Ersten Weltkrieg, Stuttgart ²1988; W. SPEITKAMP, Der Rest ist für Sie! Kleine Geschichte des Trinkgeldes (Reclam Taschenbuch 20170), Stuttgart 2008.

Die abenteuerliche Reise einer griechischen Handschrift von Konstantinopel nach Bremen und was Braunschweiger Gelehrte zu ihrer Wirkungsgeschichte beigetragen haben, bevor sie in Vergessenheit versank*

KLAUS ALPERS

Kolberger Str. 12, D-21339 Lüneburg

Ein zum Geflügelten Wort gewordener Vers des lateinischen Grammatikers aus dem Ende des zweiten nachchristlichen Jahrhunderts Terentianus Maurus lautet in der gewöhnlich zitierten verkürzten Fassung *Habent sua fata libelli*, „Bücher haben ihre Schicksale“. Aber auch die kurze Version ist eine zutreffende Aussage und gilt nicht nur für *libelli* im Sinne von „Werken“, sondern auch von „Handschriften“. Diese Aussage trifft in ganz einzigartiger Weise für jene Handschrift zu, über die in diesem Vortrag gesprochen wurde.

Ein in sehr zahlreichen Handschriften überliefertes spätantikes griechisches Lexikon ist das sogenannte Kyrill-Lexikon aus der ersten Hälfte des 6. Jahrhunderts. Dessen Text ist immer noch nicht vollständig ediert worden, es gibt nur gedruckte Auszüge daraus an verschiedenen Stellen. Einer davon waren die Specimina, die Moritz Schmidt (1823–1888) im vierten Bande von 1862 seiner Ausgabe des bedeutendsten spätantiken Lexikons des Hesychios (um 500) unter dem Titel *Cyrillus Bremensis* gedruckt hat. Höchst verwunderlich war, dass keiner der Philologen, die sich nach 1862 intensiv mit der Sammlung und Erforschung der zahllosen Handschriften dieses Kyrill-Lexikons beschäftigt hatten, die von Schmidt genannte Handschrift jemals auch nur erwähnt hat. Hatten sie alle sie vielleicht als wertlos angesehen, was verwunderlich wäre, da Schmidt in seiner kurzen Beschreibung zwar keine Datierung nennt, aber angibt, es handele sich um eine Pergamenthandschrift. War sie nach 1862 etwa verlorengegangen?

Im Dezember 1988 konnte ich den Bremer Codex (Bremen msc. 0011) einsehen. Es hat sich ergeben, dass der *Bremensis* eine höchst bemerkenswerte und wertvolle Handschrift ist. Zunächst in paläographischer Hinsicht. Es war sogleich erkennbar, daß es eine Handschrift sehr hohen Alters ist, eine sehr frühe, oberzeitliche, leicht nach links geneigte Minuskel mit altertümlichen Buchstabenformen. Meine

* Kurzfassung des am 13. Juni 2014 in der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags. Der vollständige Text wird erscheinen in: Griechisch-byzantinische Handschriftenforschung. Traditionen, Entwicklungen, neue Wege. Hrsg. v. Brockmann, Christian / Harlfinger, Dieter / Valente, Stefano, Berlin/Boston (de Gruyter) 2016

genaueren paläographischen Untersuchungen und zusätzlich die Begutachtung von Photos der Handschrift durch befreundete Spezialisten für griechische Paläographie und Kodikologie haben ergeben, dass der Bremensis wohl in die Zeit um 900 zu datieren ist und, wie zumal die byzantinische Einbandtechnik zeigt, wohl aus Konstantinopel stammt. Der Bremensis ist damit die älteste aller bisher bekannten etwa 70 bis 80 Handschriften des Kyrill-Lexikons. Bemerkenswert ist der Codex auch durch seinen Inhalt als eine von den anderen Handschriften des Kyrill-Lexikons zum Teil beträchtlich abweichende Version und dann vor allem auch durch seine ganz ungewöhnlich spannende, sehr detailliert nachweisbare Geschichte von seiner Entstehung bis zu seinem Weg nach Bremen und durch seine starke Wirkungsgeschichte im 18. Jahrhundert und frühem 19. Jahrhundert, bevor er nach 1862 in einen länger als 120 Jahre währenden „Dornröschenschlaf“ fiel.

Das Kyrill-Lexikon ist wohl das am weitesten verbreitete und wirkungsmächtigste der griechischen Lexika. Überliefert wird es in ca. 70–80 Handschriften, die in Bestand und Reihenfolge der Glossen stark differieren und deren Texte oft stark korrupt sind. Die Entstehungszeit des Kyrill-Lexikons lässt sich ungefähr auf die 1. Hälfte des 6. Jahrhunderts festlegen.

Der Text des Bremensis unterscheidet sich nach Inhalt und Anlage erheblich von den übrigen Handschriften. Er besteht aus einem Grundtext in meistens Dreibuchstabenordnung, der eine stark verkürzte Version bietet. Dieser alphabetische Grundtext, etwa zwei Drittel des Umfangs, ist durch sehr viele nichtalphabetische Glossen erweitert worden, die einerseits zwischen die alphabetisierten Reihen eingeschoben und andererseits in teilweise langen Reihen ans Ende der Buchstaben angehängt worden sind. Der Bremensis läßt uns einen interessanten Blick in das Scriptorium eines byzantinischen Lexikographen werfen.

Eine für die byzantinische Literatur- und Sprachgeschichte aufschlußreiche Beobachtung läßt sich an folgenden zwei Glossen des Bremensis machen (*theosthneî* und *theostólou*). Belegt sind die Wörter *theosthenēs* und *theóstolos*, die in keinem anderen bekannten Kyrill wiederkehren, in der gesamten durch den Thesaurus Linguae Graecae von Irvine erschlossenen Gräzität einzig bei dem berühmten griechischen Abt des Studiou-Klosters in Konstantinopel Theodoros Studites (um 759 bis 11.11.826). Die genaue Analyse dieser Koinzidenzen führt auf die Vermutung, dass Theodoros ein mit dem Bremensis verwandtes Lexikon benutzt hat, und diese Annahme wird durch einen Brief des Theodoros an einen Freund bestätigt, in dem er schreibt: „Du brauchst mir auch die Bücher nicht zu schicken, es sei denn vielleicht das *Lexikon* und das Notizbuch, in das ich in Kurzschrift einen Text geschrieben habe usw.“ Er hat also nachweislich ein Lexikon gehabt und benutzt. Eine sehr sonderbare Glosse des Bremensis, die in keiner der bekannten Versionen des Kyrill-Lexikons vorhanden ist, findet ihre überraschende Erklärung durch einen Passus über den Gründer des Studiten-Klosters in einer Vita des Theodoros Studites. Diese Glosse des Bremensis ist ein weiterer Beleg für seine Beziehung zum Studiou-Kloster. Hinzu kommen ferner einige

paläographische Charakteristika studitischer Handschriften, die der Bremensis auch aufweist. Der erwähnte Brief Theodors wurde im Sommer 816 geschrieben und bildet damit den *terminus ante quem* für das von Theodor benutzte Lexikon. Dieses war aufs engste mit dem im Bremensis überlieferten verwandt. Dieser Codex, um 900 also wohl im Stadiu-Kloster geschrieben, dürfte ein Nachkomme von jenem sein. Es ist eine für die Geschichte der byzantinischen Lexikographie und Kultur sehr interessante Erkenntnis, dass man in der Zeit schon vor 816 im Kreise der Studiten eine ihre Bedürfnisse berücksichtigende Neubearbeitung des Kyrill-Lexikons in Angriff genommen hat. Damit kennen wir nun die Herkunft und Ursprung unseres Bremensis.

Auf fol. 2 ist ein Epigramm, ein Distichon, eingetragen, das nach aller Wahrscheinlichkeit in den letzten 500 Jahren niemals erwähnt oder beachtet, geschweige denn gedeutet und verstanden worden war. Es ist ein Exlibris und gibt uns Aufschluss darüber, dass unser Bremensis und einer seiner Besitzer in eine der dramatischsten Episoden der europäischen Geschichte verwickelt waren. Es lautet:

Pusculus hu(n)c habeo baptiste mun(er)e gritti

Librum, pro quo etiam Libera vita mihi est

Ich, Pusculus, habe dieses Buch durch Geschenk von Baptista Grittus,
durch den ich auch ein freies Leben habe.

Die spannende Geschichte, die sich hierhinter verbirgt, ist ganz knapp zusammengefaßt folgende. Der italienische Humanist Ubertinus Pusculus, geboren um 1431 in Brescia, ging nach seinem Studium bei Guarino Veronese zur Vertiefung seiner Griechischkenntnisse nach Konstantinopel. Hier wurde er in den Strudel der Ereignisse des Jahres 1453 gerissen und nahm aktiv, wie auch der Venezianer Kaufmann und Diplomat Battista Gritti, an der Verteidigung der Stadt gegen die Osmanen teil. Beide gerieten nach dem Fall der Stadt in türkische Gefangenschaft, aus der Gritti als Diplomat schon bald wieder frei kam, während Pusculus verkauft wurde und ein ganzes Jahr lang Sklave eines Türken war. Gritti, damals Venezianischer „Probaiulus“ (Vizegesandter), hat 1454 den Freikauf des Pusculus erreicht, wie dieser in seiner Rede *De laudibus Brixiae*, „Lob Brescias“, im Jahre 1458 geschildert hat. Gritti dürfte den Bremer Codex, den er dann Pusculus schenkte, um Geringes aus der Masse der nach der Einnahme der Stadt aus den Bibliotheken geplünderten und billig verschleuderten Bücher erworben haben. Nach seiner Befreiung lebte Pusculus noch ein weiteres Jahr in Pera bei Konstantinopel. Auf der Heimreise wurde sein Schiff von Piraten überfallen. Pusculus, verletzt und nach Rhodos verschleppt, konnte den Räubern entkommen und gelangte auf einem zu Spionagezwecken heimlich nach Kreta entsandten Boot dorthin und von Kreta endlich nach Italien und in seine Vaterstadt Brescia. Auf dieser abenteuerlichen Reise hat ihn also unser Bremensis begleitet. Gestorben ist Pusculus im Jahre 1488.

Auf fol. 3^v ist von sehr später griechischer Hand ein Pinax (Inhaltsangabe) eingetragen: *Kyrills (Lexikon) zu den schwierigen Wörtern der Heiligen Schrift*. Wie sich durch Vergleich mit vielen namentlich subscribierten Handschriften eindeutig feststellen lässt, ist das die Hand des bekannten und berüchtigten aus Monembasia gebürtigen Kopisten, Handschriftenhändlers und Handschriftenfälschers Andreas Darmarios (zweite Hälfte des 16. Jahrhunderts). Er hat den im Bremensis anonymen Text korrekt als Kyrill-Lexikon identifiziert. Das Lexikon ist am Beginn verstümmelt, mindestens ein Blatt fehlt. Um das zu vertuschen, hat Darmarios den Anfang der Handschrift durch das Vorsetzen eines großen A als „Initiale“ markiert. Das Motiv ist klar: der Handschriftenhändler wollte seinem Verkaufsobjekt den wertmindernden Makel des unvollständigen Anfangs nehmen. Irgendwann zwischen etwa 1560 und 1587, den Jahren, in denen er als Händler tätig war, muss der Bremensis nach dem Tode des Pusculus (1488), in die Hände des Darmarios gelangt sein.

Der nächste bekannte Besitzer war, wie der Eintrag *Ex Bibliotheca Goldasti* auch auf fol. 3^v zeigt, der 1578 geborene gebürtige Schweizer Melchior Goldast von Haiminsfeld, ein bedeutender Jurist, Philologe, Polyhistor und Handschriftensammler. Seit 1624 befand sich seine kostbare Bibliothek zum Schutz vor den Wirren des Dreißigjährigen Krieges, in zahlreiche Fässer verpackt, hinter den sicheren Mauern Bremens im Katharinenkloster. Als Goldast im August 1635 in Gießen gestorben war, wollte der Bremer Rat die kostbare Büchersammlung erwerben. In langwierigen, bis 1646 dauernden Verhandlungen mit seinen Erben gelang es dem Bremer Rat, den Schatz für die Hansestadt zu sichern. Die abenteuerliche Reise des Buches von Konstantinopel nach Bremen war an ihr Ende gekommen.

Im Gegensatz zu der völligen Nichtbeachtung des Bremensis durch die moderne Forschung erregte der Codex seit dem frühen 18. Jahrhundert überraschend starkes Interesse bei Philologen und Theologen und damit eine erstaunliche Wirkungsgeschichte. Seine erste mir bekannte Erwähnung stammt von dem Theologen Johann Friedrich Burg (1689–1766). Auf seiner wissenschaftliche Reise durch Deutschland, Belgien, Holland und England erregte in Bremen unser Bremensis seine Aufmerksamkeit. Am 19. August 1710 berichtete er dem berühmten Hamburger Gelehrten Johann Albert Fabricius über seinen Fund. Fabricius hat daher 1721 im 10. Band seiner *Bibliotheca Graeca* den Bremensis erwähnt. Ein anderer gelehrter Theologe und Philologe, der für die Wirkungsgeschichte des Bremensis größte Bedeutung hatte, war der Braunschweiger Johann Christian Biel (1687–1745). Im Jahre 1713 unternahm er eine Reise nach Holland und England. In Cambridge besuchte Biel einen der berühmtesten Philologen jener Zeit, den Master of Trinity College Richard Bentley und besprach mit ihm seinen Plan, ein Lexikon mit dem Titel *Hesychius Sacer* zu verfassen, in dem die im Lexikon des Hesych überlieferten Bibel-Glossen zur Interpretation der Bibel herangezogen werden sollten. In seinem Brief vom Juli 1714 an Bentley berichtet Biel, dass er 1713 auf seiner Rückreise aus England in der Bremer Bibliothek den Bremensis abgeschrieben habe.

In einem kurzen Specimen *Hesychius Sacer* hat Biel bereits einzelne Glossen aus dem Bremensis veröffentlicht, doch hat er dieses Projekt nicht weiter verfolgt, sondern im Jahre 1740 in einem Buch sein Vorhaben vorgestellt, einen *Novus Thesaurus Philologicus* zur Septuaginta herzustellen und nennt unter seinen Quellen auch ausführlich wieder den Bremer Kyrill und publiziert darin auch Zitate aus dem Bremensis. Besonders bedeutsam für die Wirkung des Bremensis war, dass Biel umfangreiche Exzerpte aus seiner Abschrift an den Niederländer Joannes Alberti (1698–1762) geschickt hat, die dieser in seiner monumentalen und glänzenden Hesychausgabe (Bd. 1: 1746) benutzt hat (Band 2 von David Ruhnken vollendet erschien 1766).

Als Biel 1745 starb, war sein *Thesaurus Novus* noch nicht im Druck erschienen, doch hatte sich das Manuskript bei Biels Sohn Christian Andreas (1740 bis 1805) erhalten. Dem Braunschweiger Abt Johann Friedrich Wilhelm Jerusalem ist zu verdanken, dass Biels *opus maximum* doch noch gedruckt wurde. Zu einem Kreis um Jerusalem gehörte der gebürtige Hamburger Esdras Heinrich Mutzenbecher (1744 bis 1801), der von 1770 bis 1772 in Braunschweig lebte und 1775 zum Pastor der lutherischen Gemeinde in Den Haag berufen worden war. Abt Jerusalem drängte Mutzenbecher, in Den Haag einen Verleger für Biels nachgelassenes Manuskript zu finden, was ihm auch gelang, so dass Biels Riesenwerk von knapp 3000 Seiten in drei Bänden 1779–1780 in Den Haag erschienen ist. Dadurch wurden zahlreiche Glossen des Bremensis der gelehrten Welt bekannt gemacht. Biels *Thesaurus Novus* ist dann 40 Jahre später so gut wie völlig in eine stark erweiterte Neubearbeitung eingeflossen, die Johann Friedrich Schleusner (1759–1831) wiederum unter dem Titel *Novus Thesaurus* 1820–1821 nunmehr in 5 Bänden in Leipzig herausgebracht hat. Eine zweite Auflage von Schleusners Thesaurus erschien schon nur zwei Jahre später 1822 in Glasgow. Damit war aber die Nachwirkung von Biels Thesaurus noch nicht beendet, denn die Glasgower Ausgabe wurde noch 1994 im belgischen Verlag Brepols nachgedruckt. In der Tat eine imponierende Wirkungsgeschichte der Bielschen Abschrift von 1713.

Der aus Bremen gebürtige Lüder Kulenkamp (1724–1794), der seit 1755 in Göttingen als reformierter Prediger und Philologieprofessor an der Universität tätig war, hat eine 1765 in Göttingen gedruckte Abhandlung von gut 40 Seiten mit Emendationen und Beobachtungen zum *Etymologicum Magnum* publiziert und sich dazu aus Bremen unseren Bremensis kommen lassen. Diese Abhandlung von 1765 wurde 1766 in Bremen und noch einmal 1818 von Friedrich Wilhelm Sturz in der Einleitung zu seiner Ausgabe des *Etymologicum Gudianum* nachgedruckt (Nachdruck noch 1973 in Hildesheim). Als erster überhaupt, soweit mir bekannt, hat Kulenkamp sich an eine Datierung des Bremensis gewagt: „Sæculi vel XIII vel XIV“, aber damit das richtige Alter weit verfehlt.

Der jenaische Professor Moritz Schmidt (1823–1888) hat in der Zeitschrift *Philologus* 14, 1859 berichtet, er habe den Bremensis benutzen können, und druckt

aus den Buchstaben β und γ eine Reihe von Glossen ab. In den Noten zu seiner großen Hesychausgabe, die von 1858 bis 1862 erschienen ist, zitiert er an vielen Stellen Glossen des Bremensis, beschreibt den Codex in Band IV auf einer halben Seite und druckt sogar auf vier Seiten ein Specimen des Buchstabens ϵ . Es ist ein Rätsel, warum nach 1862 keiner der Gelehrten, die sich intensiv mit Kyrill und Hesych beschäftigt haben, die doch alle Schmidts Ausgabe notgedrungen benutzen mußten, den Bremensis *totaliter* übergangen haben. Eigentlich unentschuldigbar ist aber, daß Kurt Latte offenkundig wider besseres Wissen behaupten konnte (Hesychii Lexicon, Bd. 1, 1953, S. XXXV): „Habuit Schmidt ... Cyrillos w, Mosquensem, recentiores denique nonnullos Vindobonenses qui nullius pretii sunt.“ Vom Bremensis kein Wort!

Vielleicht kann ein zweites Rätsel zur Lösung des ersten beitragen. In Heinrich Rumps 1834 gedrucktem „Verzeichniß der handschriftlichen Bücher und einiger alter Drucke der Bremischen öffentlichen Bibliothek“ wird auf S. 28 unser Bremensis verzeichnet. In dem bis vor wenigen Jahren maßgeblichen Katalog der griechischen Handschriften in Hamburg, Bremen und Lübeck, Henri Omonts „Notes“ im Centralblatt für Bibliothekswesen von 1890, wird zwar Rumps Verzeichnis mit falschem Namen Rumpf und falschem Datum 1843 statt 1834 erwähnt, aus unerfindlichen Gründen aber nur Rumps Nr. 7 und Nr. 8, jedoch *nicht* Nr. 11, das Kyrill-Lexicon, aufgeführt. Sollte Omonts Fehler wesentlich dazu beigetragen haben, dass diese sehr bedeutsame und wertvolle Handschrift mit ihrer abenteuerlichen und spannenden Geschichte in der neueren Zeit in so totale Vergessenheit sinken konnte?

Feierliche Jahresversammlung am 09. Mai 2014

159

KOHLENSTOFF – mehr als Kohle und Graphit

ANKE KRUEGER

Institut für Organische Chemie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Am Hubland, D-97074 Würzburg

Das Element Kohlenstoff spielt in unserem Leben eine recht große Rolle. Wir nutzen es u.a. zur Energiegewinnung und zahlreiche Materialien enthalten Kohlenstoff in elementarer Form. So finden sich Kohlefasern in mechanisch besonders widerstandsfähigen Kunststoffen, die selbst in der Luftfahrt und in Hochleistungssportgeräten eingesetzt werden. Jeder Autoreifen enthält eine erhebliche Menge Ruß als Füllstoff und die Druckerschwärze erhält von eben diesem ihre satt schwarze Farbe. Dem Chemiker begegnet elementarer Kohlenstoff darüber hinaus auch in Form der Aktivkohle, die z.B. zur Abtrennung von unerwünschten Komponenten eines Substanzgemisches, aber auch als Träger für Katalysatoren dienen kann. Außerdem schätzen wir Kohlenstoff in seiner dichtesten Form als Diamant, nicht nur als Schmuck, sondern ebenso als Schneid-, Schleif- und Poliermittel.

Was macht den Kohlenstoff nun so besonders? Er steht in der Mitte der zweiten Periode des Periodensystems der Elemente, was ihm die Fähigkeit zu einer Vielzahl von Bindungssituationen gibt. So kann ein Kohlenstoffatom neben vier äquivalenten Einfachbindungen auch Doppel- und Dreifachbindungen ausbilden, wobei stets maximal vier Valenzen betätigt werden können (Abb. 1)

Bereits als Element zeigt sich die Fähigkeit zu unterschiedlichen Bindungen deutlich. Es existieren unter normalen Umgebungsbedingungen mehrere Modifikationen nebeneinander. Die seit der Antike bekannten (aber zunächst nicht als unterschiedliche Formen des gleichen Elementes erkannten) Modifikationen sind der Graphit und der Diamant. Ihre Eigenschaften waren bereits seit langer Zeit umfassend bekannt und das Phasendiagramm des Kohlenstoffs schien außer im Bereich hoher Drücke und Temperaturen keine Überraschungen mehr bereitzuhalten. Dass dies ein Trugschluss war, zeigte sich Mitte der achtziger Jahre, als erste Berichte über die Existenz völlig andersartiger Substanzen erschienen, die eine Käfigstruktur für die Anordnung der Kohlenstoffatome im Raum postulierten. Ganz so neu war diese Idee jedoch nicht. Bereits 1970 hatte der japanische Chemiker Eii Osawa in einer theoretischen Arbeit die Existenz und Eigenschaften derartiger „Fußballmoleküle“ aus Kohlenstoff korrekt vorhergesagt.[1] Diese

* Der Vortrag wurde am 09.05.2014 beim Carl-Friedrich-Gauß-Kolloquium anlässlich der Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

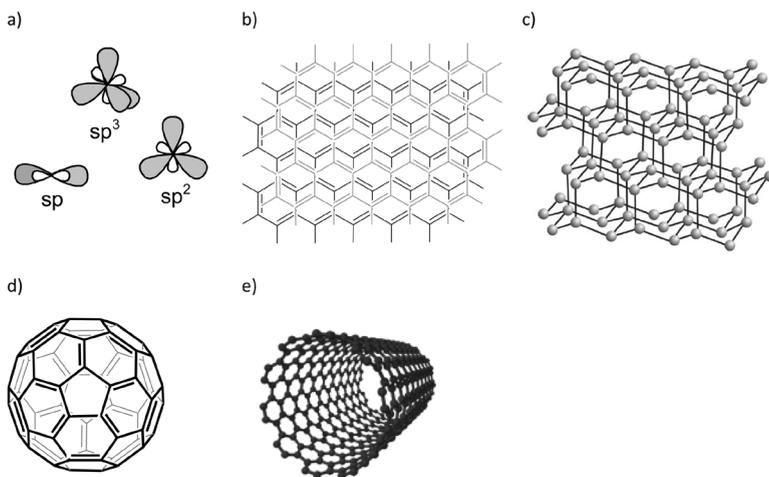


Abb. 1. Orientierung der Hybridorbitale des Kohlenstoffatoms bei unterschiedlicher Hybridisierung (a) und die klassischen Elementmodifikationen Graphit (b als Draufsicht von zwei Lagen) und Diamant (c), sowie zwei Vertreter der „neuen“ Kohlenstoffallotrope: Fulleren C₆₀ (d) und eine einwandige Kohlenstoff-Nanoröhre (e).

Arbeit fand in Europa jedoch nicht die verdiente Resonanz, da nur eine Zusammenfassung auf Englisch verfügbar war, der Originalartikel jedoch in Japanisch publiziert war. Erst der experimentelle Beweis der Existenz dieser molekularen Allotrope des Kohlenstoffs im Jahr 1985 brachte diese Vorhersage wieder ans Licht.[2] Neben dem archetypischen C₆₀ sind inzwischen eine Vielzahl weiterer sog. Fullerene bekannt und ihre Eigenschaften gut untersucht. Wie in weiteren Beiträgen zu diesem Jahrbuch erläutert wird, ist die Chemie dieser Modifikationen des Kohlenstoffs inzwischen ein eigenständiges Feld, das molekulare Materialien für eine Reihe interessanter Anwendungen, z.B. in der organischen Photovoltaik, geliefert hat, aber ebenso zum tieferen Verständnis von Bindungsverhältnissen unter Krümmung und Spannung beigetragen hat. Neben den Fullerenen sind Kohlenstoff-Nanoröhren eine weitere Variante des Kohlenstoffs, die in den letzten Jahrzehnten große Aufmerksamkeit erfuhr. Es sind sowohl einwandige als auch mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhren bekannt, die sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften z.T. erheblich unterscheiden. Allen gemeinsam ist jedoch das große Aspektverhältnis zwischen dem im meist einstelligen Nanometerbereich liegenden Durchmesser der Röhren und den bis in den Mikrometerbereich reichenden Längen. Dies prädestiniert die mechanisch sehr stabilen Nanoröhren für die Verstärkung von Kompositmaterialien auf der Nanoebene, was durch die Funktionalisierbarkeit ihrer Oberfläche in noch breiterem Maße möglich ist. Auch für die Kohlenstoffnanoröhren ist eine vielfältige Oberflächenchemie bekannt und ihre physikalischen Eigenschaften wurden umfangreich untersucht.[3]

Alle bereits erwähnten Modifikationen des Elementes Kohlenstoff leiten sich letztendlich von Graphen ab, der aus einer einzelnen Lage Kohlenstoffatome aufgebaut ist, die alle sp^2 -hybridisiert sind. Graphen, dessen experimentelle Erzeugung und Beschreibung mit dem Nobelpreis für Physik im Jahr 2010 gewürdigt wurde, stellt das archetypische sp^2 -Allotrop des Kohlenstoffs dar.[4] Seine Eigenschaften lassen für die Zukunft eine Vielzahl spannender Erkenntnisse und Anwendungen erwarten. Bislang ist jedoch die gezielte Herstellung einlagiger, defektfreier Graphenlagen eine formidable experimentelle Herausforderung.

Wie bereits oben erwähnt, existieren jedoch auch Allotrope, die aus sp^3 -hybridisierten Kohlenstoffatomen aufgebaut sind. Dazu zählen alle Diamant- und diamantartigen Materialien sowie die sogenannten Diamantoide.[5] Diese sind aus Adamantaneinheiten aufgebaut und stellen die kleinsten Vertreter der „ sp^3 -Familie“ dar. Im Gegensatz zu den Fullerenen, die ja ebenfalls molekulare Allotrope sind, müssen Diamantoide auf ihrer Oberfläche in irgendeiner Form abgesättigt sein, da pro Kohlenstoffatom sonst ein oder zwei Bindungsstellen (je nachdem, ob es sich um ein Eckenatom oder ein Kantenatom handelt) nicht betätigt würden und somit hochreaktive Zentren auf der Oberfläche existierten. Im einfachsten Fall handelt es sich bei diesen Terminierungen um Wasserstoffatome, so dass die Diamantoide zur Klasse der gesättigten Kohlenwasserstoffe gehören. Wird die Zahl der Kohlenstoffatome größer, spricht man von Nanodiamanten.[6] Diese werden dann auch nicht mehr durch klassische organische Synthesechemie hergestellt, sondern aus anderen Vorläufern gewonnen.

Die Herstellung von Nanodiamant kann entweder mit sog. *bottom up*-Methoden, d.h. durch Verwendung molekularer Vorläufer oder aber durch Miniaturisierung bereits bestehender, deutlich größerer Diamantstrukturen erfolgen (*top down*-Methoden). Letzteres gelingt in der Regel durch mechanische Verfahren, z.B. Jet-Vermahlung, wobei ein gewisser Anteil des Ausgangsmaterials in Nanopartikel zerlegt und dann in aufwändigen Klassierverfahren aussortiert wird.

Eine Möglichkeit zur *bottom-up*-Produktion besteht in der Verwendung von Methan als Vorläufer, welches in einem geeigneten Reaktor zunächst in kleinere Fragmente gespalten und dann auf der Oberfläche eines Substrates deponiert wird. Dieses Verfahren wird chemische Gasphasenabscheidung (CVD, chemical vapour deposition) genannt und dient normalerweise zur Herstellung kontinuierlicher Diamantfilme. Stoppt man den Abscheidungsprozess jedoch sehr früh, so werden nur kleine Kristallite oder Aggregate von Kristalliten gebildet, die im Idealfall eine sehr geringe Größe mit geringer Varianz besitzen. Damit bei diesem Verfahren nicht Graphit anstelle der Diamantpartikel abgeschieden wird, muss dem Eduktgas Wasserstoff zugefügt werden, der dafür sorgt, dass die Oberflächen der sich bildenden Kohlenstoffcluster stets vollständig abgesättigt sind und somit das Wachstum von Diamant begünstigt wird.

Eine weitere Methode, um aus molekularen Vorläufern Diamant-Nanopartikel zu erzeugen, mutet auf den ersten Blick sehr exotisch an, ist inzwischen jedoch zu industrieller Reife gelangt und liefert preisgünstig auch größere Mengen an Nanodiamant. Der Prozess beruht darauf, geeignete Sprengstoffgemische in einem Hochdruckreaktor zur Detonation zu bringen. Der dabei entstehende Ruß kann bei optimaler Durchführung des Prozesses bis zu achtzig Prozent Diamant enthalten. Bei genauerer Betrachtung erscheint dieses bereits in den sechziger Jahren in der damaligen Sowjetunion entwickelte Verfahren recht logisch. Die Detonation von Hexolit (eine kommerziell verfügbare Mischung aus TNT und Hexogen) in einem geschlossenen Reaktor stellt letztlich eine Verbrennung unter Sauerstoffmangelbedingungen dar. Unter diesen Bedingungen reicht der vorhandene Sauerstoff nicht aus, um die gesamte organische Materie in CO_2 , Wasser und Stickoxide umzuwandeln. Es kommt vielmehr zu Bildung von u.a. elementarem Stickstoff, Kohlenmonoxid und elementarem Kohlenstoff. Durch die während der Detonation herrschenden extremen Bedingungen bildet sich letzterer nicht wie sonst üblich als graphitischer Ruß, sondern als Diamant. Da die Druckwelle aber nur eine kurze Dauer besitzt, und somit die Bedingungen für Diamantwachstum nur für eine kurze Zeit gegeben sind, bilden sich lediglich Nanopartikel. Allerdings sinkt die Temperatur im Reaktor deutlich langsamer ab als der Druck, so dass es nachträglich zu einer Graphitisierung der gebildeten Diamantkristallite bzw. zu einer weiteren Rußbildung kommen kann. Daher ist nicht nur eine optimierte Prozessführung mit einer raschen Abkühlung des Reaktionsgemisches (z.B. durch Injektion von Wasser oder Eis im Moment der Detonation), sondern auch eine sorgfältige Reinigung des Rohproduktes mit Hilfe oxidierender Mineralsäuren oder durch Hochtemperaturoxidation mittels Luftsauerstoff oder Ozon nötig. Dies sorgt dann natürlich für eine entsprechend oxidierte Oberfläche der einzelnen Partikel und die Entfernung von Verunreinigungen durch Reaktormaterial und sp^2 -Kohlenstoff (letzter besitzt eine höhere Reaktivität als der Diamant). Die verschiedenen funktionellen Gruppen sind darüber hinaus zu weiteren Reaktionen in der Lage, die u.a. dafür sorgen, dass die einzelnen Nanokristallite nicht nur durch elektrostatische Wechselwirkungen (wie bei allen Nanopartikeln beobachtet), sondern durch z.T. sogar kovalente Bindungen miteinander verknüpft sind. Daher ist es nötig, die Partikel durch geeignete Verfahren voneinander zu trennen und z.B. als kolloidale Lösung zu präparieren. Das gelingt z.B. durch die sogenannte Attritionsvermahlung, bei der die Partikel in einem sich schnell bewegendem Bett von harten Mahlkörpern einem hohen Energieeintrag ausgesetzt sind, der sogar zum Bruch kovalenter Bindungen führen kann. Die resultierenden kolloidalen Lösungen sind auch ohne Detergenz-Zusatz stabil, was u.a. auf das hohe Zetapotential und die gute Solvation in polaren Medien (z.B. Wasser, DMSO) zurückzuführen ist.

Die Struktur und die Eigenschaften nanoskaliger Diamantpartikel entsprechen in vielen Details denen größerer Kristalle. So nimmt z.B. die Härte im Vergleich zum *bulk*-Material nur wenig ab (ist aber durchaus abhängig von der Orientie-

rung der äußeren Kristallflächen). Auch die spektroskopischen Eigenschaften verändern sich nur geringfügig. Die charakteristische Linie des Diamanten im Raman-Spektrum bei 1331 cm^{-1} wird erst bei sehr kleinen Kristalliten im einstelligen Nanometerbereich zu etwas geringeren Wellenzahlen verschoben. Wie das *bulk*-Material können auch Nanodiamanten mit Fremdatomen dotiert sein, was einen erheblichen Einfluss auf ihre Eigenschaften haben kann. So verursacht eine Bordotierung, dass aus dem idealen Isolator Diamant (Bandlücke bei etwa 5.5 eV) ein Halbleiter vom p-Typ wird, der für eine Vielzahl elektronischer und elektrochemischer Anwendungen einsetzbar ist, wo dann seine weiteren Eigenschaften, z.B. die chemische Widerstandsfähigkeit auch unter extremen Bedingungen zum Tragen kommen. Andere Gitterdefekte sorgen für interessante optische und magnetische Eigenschaften. Ein Beispiel hierfür stellt das sog. NV-Zentrum dar. Es besteht aus einem anstelle eines Kohlenstoffatoms in das Diamantgitter eingebauten Stickstoffatom, in dessen direkter Nachbarschaft eine Fehlstelle lokalisiert ist. Dieser Gitterdefekt besitzt eine charakteristische Lumineszenz im roten Bereich des Lichtspektrums, welche bei idealen Bedingungen weder ausbleicht (wie das organische Fluoreszenzfarbstoffe tun) noch blinkt (ein Phänomen, das z.B. bei anorganischen Quantenpunkten für eine Einschränkung der Anwendbarkeit verantwortlich ist). Dies macht Diamant-Nanopartikel, die diese stabilen NV-Zentren enthalten, zu einem idealen Markierwerkzeug im Bereich der biomedizinischen Forschung. Auch die kürzlich mit dem Chemie-Nobelpreis gewürdigte STED-Methode zur Lichtmikroskopie unterhalb des Abbe'schen Limits profitiert von der Verwendung des Lichtes aus NV-Zentren. Darüber hinaus wird momentan an Konzepten zur Nutzung der optisch detektierten Magnetresonanz (ODMR) von negativ geladenen NV-Zentren gearbeitet, was z.B. für bildgebende Verfahren im Bereich der Magnetresonanz völlig neue Perspektiven eröffnet. Quantenoptische Anwendungen defekthaltiger Diamanten stellen einen weiteren Schwerpunkt der aktuellen Forschung dar.

Für eine Vielzahl der möglichen Anwendungen von Nanodiamant ist es jedoch erforderlich, die zunächst in der Regel undefinierte Oberflächenterminierung nicht nur zu homogenisieren, sondern auch eine weitere Funktionalisierung zu erreichen. [7] Am einfachsten wird dies durch die nichtkovalente Wechselwirkung entsprechender Verbindungen mit der Partikeloberfläche erreicht, wobei insbesondere hydrophil terminierte Nanodiamanten (durch die Existenz von Carboxyl-, Keto- und Hydroxylgruppen) zur Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen befähigt sind. Darüber hinaus ist es für eine bessere Kontrolle der Konjugatarchitektur und -stöchiometrie wünschenswert, eine kovalente Anbindung der Reaktionspartner an der Diamantoberfläche zu erreichen. Dies wird durch die Zugehörigkeit des Diamanten zur Klasse der Kohlenstoffallotrope begünstigt. Letztlich kann man jedes einzelne Nanodiamantpartikel als einen (zugegebenermaßen äußerst kohlenstoffreichen) Kohlenwasserstoff betrachten, den man in einer klassischen organischen Synthesechemie einsetzt. Neben der direkten Anbindung von Funktionsmolekülen an bereits auf der Partikeloberfläche existierende funktionelle

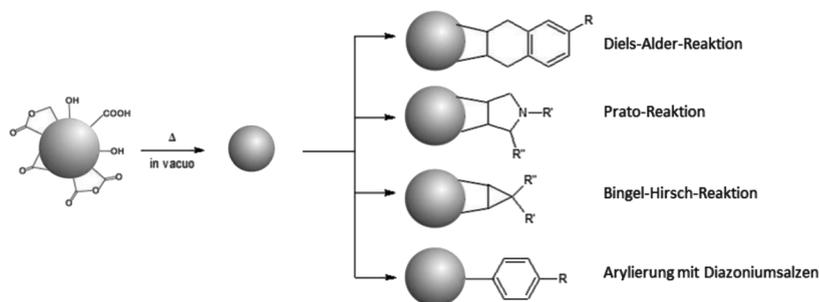


Abb. 2. Die Oberflächenchemie an Nanodiamant bietet ein breites Portfolio an Reaktionen, die zu einer stabilen Verknüpfung des Diamantpartikels mit den molekularen Bindungspartnern führen.

Gruppen (Hydroxyl- oder Carboxylgruppen u.a. aus der oxidativen Reinigung) kann auch direkt eine Verknüpfung über Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen ins Auge gefasst werden. Hierzu muss die Oberfläche der Partikel jedoch zunächst von den bestehenden Gruppen befreit werden. Dies gelingt durch thermische Behandlung im Vakuum – an Luft würde Diamant brennen – zur Decarboxylierung, Decarbonylierung und Dehydratisierung der Oberfläche. Dabei kommt es zur sog. Oberflächenrekonstruktion auf den Kristallflächen, was für die Absättigung der durch Bindungsbruch erzeugten *dangling bonds* (nicht abgesättigte Bindungsstellen) sorgt. Im Zuge dieser Umorganisation der Partikeloberfläche bilden sich π -Bindungen, also Orte, die wie Alkene reagieren können. Bereits in den frühen 2000er Jahren wurde in theoretischen Arbeiten vorhergesagt, dass dieser Prozess auf Diamantnanopartikeln zur Ausbildung fullerenerartiger Teilstrukturen führen sollte. Und in der Tat ist es möglich, die für Fullerene bekannte Chemie auf thermisch ausgeheilten Nanodiamant zu übertragen und somit eine direkte Anknüpfung von Funktions- oder Linkermolekülen zu erreichen. Auf diese Art gelingt dann eine sehr homogene Terminierung mit den gewünschten funktionellen Gruppen, die dann z.B. auch zur Anbindung biologisch aktiver, weitaus größerer Strukturen bereit stehen. Abb. 2 zeigt eine Reihe von Reaktionen, die auf der thermisch ausgeheilten Diamantoberfläche zur variantenreichen Funktionalisierung verwendet werden können.

Diese breite Variabilität der Oberflächenstruktur und die Möglichkeit, kontrolliert Konjugate mit Funktionsmolekülen zu erzeugen, öffnet die Tür zu einer Reihe von Anwendungen. Funktionalisierter Nanodiamant kann als Vehikel zum Transport und der kontrollierten Freisetzung von Wirkstoffen an deren Wirkort verwendet werden. Nanodiamanten mit stabilen, lumineszenten Gitterdefekten bieten darüber hinaus die Chance, mehr über biologische Prozesse auf zellulärem Niveau zu erfahren und dabei auch Langzeituntersuchungen durchführen zu können. Insbesondere die bisher sehr günstig beurteilte Biokompatibilität des Materials

und seine Stabilität unter physiologischen Bedingungen machen es zu einem attraktiven Material auch für andere biomedizinische Anwendungen, die eine Langzeitexposition erfordern. So sind bereits zahlreiche Arbeiten zur Verwendung von Nanodiamant in Knochenersatzmaterialien und anderen medizinisch verwendbaren Polymermaterialien erschienen, die zeigen, dass Polymerkomposite mit Nanodiamant einen sehr günstigen Effekt auf den Heilungsprozess besitzen. Weitere Anwendungen funktionalisierter Nanodiamanten umfassen die Herstellung von mechanisch und thermisch optimierten Kompositmaterialien, die Katalyse, die Detektion von Pathogenen oder Markersubstanzen im Serum, die Elektrochemie und viele weitere.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass es sich bei dieser weiteren Form des Kohlenstoffs um ein interessantes Forschungsobjekt handelt, das trotz der erst kurzen Zeit seiner intensiven Untersuchung bereits eine Fülle von interessanten Entdeckungen und das Erschließen einer Reihe von Anwendungsfeldern ermöglicht hat. Die Zukunft wird zeigen, ob sich die momentan favorisierten Applikationen tatsächlich in voller Breite durchsetzen werden oder lediglich Nischenanwendungen des Materials die weiteren Entwicklungen überdauern. Zum Verständnis des Elementes Kohlenstoff und seiner zahlreichen Erscheinungsformen hat die Klasse der sp^3 -hybridisierten Allotrope auf jeden Fall einen wichtigen Beitrag geleistet.

Literatur

- [1] EIJI OSAWA (大澤映二) 1970: Superaromaticity, 化学 (Kagaku) **25**, 854–863.
- [2] KROTO, H.W., J.R. HEATH, S.C. O'BRIEN, R.F. CURL & R.E. SMALLEY 1985: C60: Buckminsterfullerene, Nature **318**, 162–163.
- [3] ANKE KRÜGER 2007: Kohlenstoffnanoröhren, in: Neue Kohlenstoffmaterialien, B.G. Teubner Verlag, Wiesbaden, S. 125–286.
- [4] NOVOSELOV, K.S., A.K. GEIM, S.V. MOROZOV, D. JIANG, Y. ZHANG, S.V. DUBONOS, I.V. GRIGORIEVA & A.A. FIRSOV 2004: Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films, Science **306**, 666–669.
- [5] SCHWERTFEGER, H. & P.R. SCHREINER 2010: Diamantoide. Chemie mit Nanojuwelen, Chemie in unserer Zeit **44**, 248–253.
- [6] ANKE KRÜGER 2007: Nanodiamant, in: Neue Kohlenstoffmaterialien, B.G. Teubner Verlag, Wiesbaden S. 331–388.
- [7] KRUEGER, A. 2014: The Chemistry of Nanodiamond, in: O.A. Williams (Hrsg.), Nanodiamond, Royal Society of Chemistry, London, S. 49–88.

Chemische Funktionalisierung von synthetischen Kohlenstoffallotropen

ANDREAS HIRSCH

Institut für Organische Chemie II, Universität Erlangen-Nürnberg
Henkestr. 42, D-91054 Erlangen

Synthetische Kohlenstoffallotrope wie das 0-dimensionale C₆₀, die 1-dimensionalen Kohlenstoffnanoröhren und das 2-dimensionale Graphen haben in den letzten Jahren sehr viel Aufmerksamkeit erregt. Dies liegt unter anderem daran, dass diese Nanostrukturen über präzedenzlose Eigenschaften, insbesondere im Bereich von Elektronentransferreaktionen aber auch in Bezug auf mechanische Belastbarkeit aufweisen. Für präparative Chemiker ist es interessant, solche neue Formen von Kohlenstoff auch chemischen Funktionalisierungsreaktionen zuzuführen. Damit eröffnet sich im Prinzip die Möglichkeit, die einzigartigen Stoffeigenschaften der synthetischen Kohlenstoffallotrope mit dem von anderen Stoffklassen zu kombinieren. Zudem kann die Verarbeitbarkeit zu neuen Materialien oder auch eine Steigerung der Löslichkeit durch kovalente und nicht kovalente Funktionalisierung herbeigeführt und verbessert werden. Schließlich ist es auch von grundsätzlichem Interesse das chemische Verhalten dieser synthetischen Kohlenstoffallotrope zu analysieren, Reaktionsprinzipien zu identifizieren und die verschiedenen Formen in Bezug auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede in chemischen Reaktionen zu untersuchen.

Unsere Arbeitsgruppe hat sich in den vergangenen Jahren intensiv mit der Erforschung der Chemie von synthetischen Kohlenstoffallotropen auseinandergesetzt. Dabei haben wir zunächst mit der Funktionalisierung von Fullerenen begonnen und dabei wichtige Reaktionsprinzipien wie zum Beispiel Regioselektivitäten bei Mehrfachadditionen entschlüsseln können. Schließlich ist es auch aus chemischer Sicht interessant, sich mit der Entschlüsselung der Reaktionsprinzipien von Kohlenstoffallotropen zu beschäftigen und dabei z. B. charakteristische Reaktionsmuster und Selektivitäten zu identifizieren. Zunächst haben wir uns der chemischen Funktionalisierung von Fullerenen zugewandt und dabei eine Reihe von wichtigen Reaktionsprinzipien interpretieren können. Dies hat es auch ermöglicht, dass wir eine Vielzahl von wohldefinierten Fullerenderivaten synthetisieren konnten, die eine Reihe von sehr interessanten Eigenschaften aufweisen. Dazu gehören z.B. photoinduzierter Elektronentransfer oder neue mikrobielle Eigenschaften. Diese

* Der Vortrag wurde am 09.05.2014 beim Carl-Friedrich-Gauß-Kolloquium anlässlich der Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

Kenntnisse konnten wir dann auch auf die etwas anspruchsvollere chemische Funktionalisierung von Kohlenstoffnanoröhren übertragen und dabei eine Reihe von neuen Reaktionen entwickeln, die zum Beispiel zur Individualisierung der eindimensionalen Nanostrukturen in Lösungsmitteln führen. Als jüngste Verbindungsklasse haben wir uns der Chemie des Graphens zugewandt. Dabei ist es uns unter anderem gelungen, durch reduktive Funktionalisierung alkylierte Graphene oder auch hoch hydrierte Graphene herzustellen, die über ein interessantes Fluorrenzverhalten verfügen. In Zukunft werden wir weiter gezielt die chemische Funktionalisierung der synthetischen Kohlenstoffallotrope verfolgen und dabei insbesondere auch die Entwicklung von neuen Materialien, die zum Beispiel in der molekularen Elektronik eine Rolle spielen, im Auge behalten.

The Evolution of Carbon in the Chemical Industry

JOSEF R. WÜNSCH

BASF The Chemical Company, BASF SE,
GVM-J 550, D-67056 Ludwigshafen

Carbon, in its elemental state and in compounds, has been vital in developing and sustaining life on Earth. The rise of the industrial era is greatly owed to coal energy, and coal is still an important energy source. Several allotropes of elemental carbon are important for several industries due to their unique properties. For example: graphite, with its layered structure, high thermal stability and earth abundance, has been used as a lubricant and coating component since before modern times.

More complex compounds which are of utmost importance to us are also derived from carbon sources. The coal, next to its continued value as a major energy source, has been a source for synthetic hydrocarbons by Fischer Tropsch conversion which has become a commercial process by Sasol, South Africa. Coal and coal tars had been the origin of chemical development, i.e. tars were converted to the first industrial dyes, laying the foundation for BASF as a chemical company. Organic products that followed such as surface modifiers, food-additives and plastics have all derived from these carbon sources. Along with its role as an energy source, carbon in the graphite and activated carbon forms is also an important component of energy storage systems.

Carbon-based materials continue to be one focus of the rapid innovation within the chemical industry. Their use has evolved from additives for hardening rubber to high performance composites. Carbon fibers, with their impressive mechanical properties, ensure that composites are further developed for automotive and aeronautical sectors for their light weight and improved safety. Japanese companies, i.e. Toray have been leading the process of carbon fiber manufacturing. Polyacrylonitrile is the predominant source due to its excellent processability (spinning, oxidative stabilization, carbonization and graphitization). Many companies are covering the full value chain of carbon-fiber intermediates. BASF has partnered with SGL Carbon where both competencies are leveraged to address emerging markets in wind blade manufacturing or in automotive industries (BASFs' growth fields: Lightweight Composites, Energy management, Wind Energy). The major challenge to reduce "cost-per-part" must be resolved in order to allow penetration of CFRP into mass markets.

* Der Vortrag wurde am 09.05.2014 beim Carl-Friedrich-Gauß-Kolloquium anlässlich der Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

On the electronics side, the increasing adoption of organic materials in new mobile technologies shows that sustainable sources can be used for high end consumer devices. Activated carbon, predominately gained market success as an active ingredient for filtration devices in water treatment, air & gas purification as well as processing in food, chemical and pharmaceutical industries. Due to its tunable surface – performance property, activated carbon is considered as material of choice for energy storage devices, i.e. Lithium Ion batteries, supercapacitors or fuel-cell applications. Certain features like high surface area, high packing density, low impurity content and low electrical resistance are focus of research development.

Development of carbons for the future needs of the chemical industry and society owe much to the contributions of researchers in the area. The discovery of the nanoscale forms: fullerenes, carbon nanotubes and graphene, show that there is a bright future for carbon. Professor Klaus Müllen has been driving those developments, having published pioneering syntheses of a wide variety of carbon derivatives and demonstrating equally diverse applications. Consequently, BASF has partnered with Professor Müllen and inaugurated the Carbon Materials Innovation Center (CMIC) for the research of advanced carbon-based solutions for the chemical industry in 2012. At CMIC, both pathways to graphene are explored, i.e. top-down by exfoliation from graphite using conventional techniques as well as bottom-up synthesis from distinct monomers to CVD process technologies for better control of property-performance relationship. The unique setup of CMIC allows immediate development and testing of devices, like modification of silicon anode materials by certain graphenic structures produced. First results showing enhanced cycle-rechargeability at interesting discharge capacities look extremely promising.

FESTVERSAMMLUNG IM ALTSTADTRATHAUS

PROF. DR. RER. NAT. DIETMAR BRANDES

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Begrüßung

Hohe Festversammlung,
verehrte Gäste,
meine sehr geehrten Damen und Herren,

zur Jahresversammlung 2014 unserer Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft darf ich Sie alle sehr herzlich begrüßen und in der Dornse des Altstadtrathauses willkommen heißen. Mit Ihrer Anwesenheit beweisen Sie wieder Ihr Interesse an unserer akademischen Institution und an unserer Arbeit. Für diese Verbundenheit sind wir Ihnen dankbar.

Seit 65 Jahren ist die Verleihung der Carl Friedrich Gauß-Medaille für herausragende wissenschaftliche Leistungen der wissenschaftliche Kern unserer Jahresversammlung. Dazu haben wir für das Jahr 2014 einen Preisträger aus dem Bereich der Naturwissenschaften ausgewählt. Es ist dies:

Herr Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Klaus Müllen
Direktor am Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz.

Ich darf Sie, sehr geehrter Herr Kollege Müllen, Ihre Frau und Ihre Doktoranden hier in Braunschweig besonders herzlich begrüßen und Ihnen danken, dass Sie zur Entgegennahme der Auszeichnung nach Braunschweig gekommen sind. Ich hoffe und wünsche, dass Sie sich in unserer Mitte wohl fühlen werden. Ebenso darf ich auch die Vortragenden des Carl-Friedrich-Gauß-Kolloquiums, das wir heute Morgen durchgeführt haben, begrüßen.

Damit Sie – und auch alle Gäste erfahren –, in welchem Kreis sie sich befinden, darf ich nun einige Anwesende namentlich begrüßen.

Mein erster besonderer Gruß gilt Frau Dr. Anja Hesse, Dezernentin für Kultur und Wissenschaft der Stadt Braunschweig. Ich danke Ihnen, liebe Frau Dr. Hesse, nicht nur für Ihr Interesse an der BWG, sondern auch dafür, dass Sie uns das Grußwort der Stadt Braunschweig überbringen werden. Wir sind der Stadt Braunschweig sehr dankbar, dass wir uns unseren Gästen in diesen historischen Räumen präsentieren dürfen und auch sonst in vielfältiger Weise die Unterstützung der Stadt erfahren. Die enge Verbindung zur Stadt Braunschweig wird auch dadurch deutlich, dass

Sie, lieber Herr Steffens, als langjähriger ehemaliger Oberbürgermeister unserer Einladung wieder gefolgt sind – seien Sie herzlich willkommen.

Als Körperschaft des öffentlichen Rechts sind wir eine Institution des Landes Niedersachsen, das im Niedersächsischen Landtag seine Repräsentation findet. So freue ich mich, Herrn Klaus-Peter Bachmann als Vizepräsidenten des Landtages unter uns begrüßen zu dürfen. Der Haushalt des Landes liefert die verlässliche finanzielle Basis für unsere Arbeit, wofür ich Ihnen, lieber Herr Vizepräsident, stellvertretend herzlich danken möchte.

Für die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen darf ich Herrn Kollegen Henning Hopf als Vertreter des Präsidenten herzlich begrüßen. Die Präsidenten der Leopoldina, der Akademie der Wissenschaften zu Heidelberg, der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, der Sächsischen Akademie der Wissenschaften sowie der Akademie der Wissenschaften und der Literatur zu Mainz grüßen und wünschen uns einen guten Verlauf. Den befreundeten Akademien danke ich für dieses Zeichen der Verbundenheit.

Die Wissenschaft im Raum Braunschweig ist durch den Verbund ForschungRegion Braunschweig e. V. seit Jahren erfolgreich vernetzt. Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hat sich seit der Gründung in diesem Kreis besonders engagiert, und so freue ich mich, dass auch in diesem Jahr zahlreiche Institutionen vertreten sind. So begrüße ich die Kollegen Prof. Dr. Georg Backhaus, Präsident des Julius-Kühn-Instituts (JKI), Prof. Dr. h.c. Gerd Biegel, Direktor des Instituts für Braun-schweigische Regionalgeschichte, Prof. Dr. Joachim Block, Leiter des Standortes Braunschweig des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, Prof. Dr. Dirk Heinz, Wissenschaftlicher Geschäftsführer des Helmholtz-Zentrums für Infektionsforschung (HZI), Prof. Ulrich Joger, Direktor des Staatlichen Naturhistorischen Museums Braunschweig, Frau Dr. Angela Klein, Mitglied im Vorstand der ForschungRegion Braunschweig e.V., Prof. Dr. Jörg Overmann, wissenschaftlicher und administrativer Geschäftsführer des Leibniz-Instituts DSMZ – Deutsche Sammlung für Mikroorganismen und Zellkulturen, Frau Dr. Heike Pöppelmann, Direktorin des Braunschweigischen Landesmuseums.

Darüber hinaus sind zahlreiche Gäste aus Universitäten und wissenschaftlichen Instituten unserer Einladung gefolgt, für die ich stellvertretend Herrn Prof. Dr. Thomas Hanschke, den Präsidenten der Technischen Universität Clausthal, herzlich willkommen heißen darf.

Ebenso begrüße ich unsere Gäste, die aus den Bereichen der Wirtschaft und der Verwaltung zu uns gekommen sind. Abschließend heiße ich alle unsere Mitglieder und ihre Begleitungen sowie die Witwen unserer verstorbenen Mitglieder sehr herzlich willkommen.

Ich darf nun Sie, verehrte Frau Dr. Hesse, bitten, das Grußwort der Stadt zu überbringen.

Bericht

Hohe Festversammlung,
meine sehr geehrten Damen und Herren,

am Anfang des Berichts stehen Personalien. Hier ist es meine traurige Pflicht, zunächst der im Berichtsjahr verstorbenen Mitglieder unserer Gesellschaft zu gedenken.

Nachrufe

Am 3. Mai 2013 verstarb Günter Lautz, Dr. rer. nat., em. Prof. für Elektrophysik an der TU Braunschweig. Er war seit 1967 ordentliches Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften, also seit 46 Jahren.

Am 5. Juli 2013 verstarb Paul Raabe, Dr. phil. Dr. h.c. mult., Prof. für Deutsche Literaturwissenschaften, Direktor a. D. der Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel. Er war ordentliches Mitglied in der Klasse für Geisteswissenschaften seit 1988.

Am 26. Juli 2013 verstarb Christoph Scriba, Dr. rer. nat., Prof. für Geschichte der Naturwissenschaften an der Universität Hamburg. Er war seit 1988 korrespondierendes Mitglied in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften.

Am 30. August 2013 verstarb Eva Johanna Engel Holland, Dr. phil., Prof. für Germanistik und Romanistik, Wellesley College/Boston, USA. Frau Engel Holland war seit 1999 korrespondierendes Mitglied der Klasse für Geisteswissenschaften.

Am 4. Dezember 2013 verstarb Heribert Boeder, Dr. phil., Prof. für Philosophie an der Universität Osnabrück. Er war ordentliches Mitglied der BWG seit 1978, korrespondierendes Mitglied der Klasse für Geisteswissenschaften seit 2012. Herr Kollege Boeder war Vorsitzender der Klasse für Geisteswissenschaften 1990–1991.

Am 25. Januar 2014 verstarb Hans-Dieter Baehr, Dr.-Ing. Dr. E. h., Prof. für Thermodynamik an der Leibniz Universität Hannover. Er war seit 1983 ordentliches der Klasse für Ingenieurwissenschaften, seit 1997 korrespondierendes Mitglied.

Am 31. März 2014 verstarb Rudolf Jeschar, Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h., Prof. em. für Energieverfahrenstechnik an der TU Clausthal. Er war ordentliches Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1974 und Vorsitzender dieser Klasse von 1994–1996.

Den Verstorbenen werden wir ein ehrendes Gedenken bewahren – und ich danke Ihnen, dass Sie sich von Ihren Plätzen erhoben haben.

Zuwahlen und personeller Stand

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft ist eine Wissenschaftsgesellschaft, die das Recht auf personelle Selbstergänzung hat. Die Zuwahlen geben uns die Möglichkeit, Lücken im Fächerspektrum zu schließen und auch – dem beschleunigten Wandel der Wissenschaft folgend – neue Forschungsfelder für uns zu erschließen. Die Zuwahlen haben daher eine große Bedeutung für uns und stellen die Weichen für unsere Arbeit.

Gewählt wurden zu ordentlichen Mitgliedern in der Wahlsitzung vom 13.12.2013:

Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

Prof. **Hermann G. Matthies**, Ph.D., Professor für Wissenschaftliches Rechnen der TU Braunschweig

Klasse für Ingenieurwissenschaften

Prof. Dr. rer. nat. **Insa Neuweiler**, Professorin für Strömungsmechanik und Umweltphysik im Bauwesen an der Leibniz Universität Hannover

Zu ordentlichen Mitgliedern in der Wahlsitzung vom 11.04.2014:

Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

Prof. Dr. rer. nat. **Martin Korte**, Professor für Zelluläre Neurobiologie an der TU Braunschweig

Klasse für Ingenieurwissenschaften

Prof. Dr.-Ing. **Karsten Lemmer**, Leiter des Instituts für Verkehrssystemtechnik der DLR, Braunschweig

Damit gehören der BWG am 28.04.2014 an: 152 ordentliche Mitglieder, davon 80 unter 70 Jahre (sowie 72 über 70 Jahre), die vor allem aus den drei benachbarten Universitäten Braunschweig, Hannover und Clausthal kommen. Weitere Mitglieder kommen von den Universitäten Göttingen, Hildesheim, Osnabrück, Hamburg und Magdeburg sowie von außeruniversitären Forschungsanstalten. Zusammen mit den 68 korrespondierenden Mitgliedern, die aus zahlreichen Hochschulen berufen wurden, hat die BWG ein Netzwerk von derzeit 220 Mitgliedern, seit ihrer Gründung waren es insgesamt mehr als 500 Mitglieder.

In der Leitungsebene unserer Gesellschaft gab es folgende Veränderungen: Als der BWG-Präsident mit der längsten Amtszeit hat Herr Prof. Klein die BWG in vielerlei Hinsicht geprägt und neue Impulse gesetzt: *Er hat sich um die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft in hohem Maße verdient gemacht.*

Nach 14 Jahren als Präsident bewarb sich Herr Kollege Klein nicht mehr um eine neue Amtsperiode. Als sein Nachfolger wurde ich im Dezember 2013 als Präsident für die 3jährige Amtszeit 2014 bis 2016 gewählt. Zum neuen Präsidium der BWG gehören Herr Kollege Prof. Dr. Klaus Gahl mit der Amtszeit 2012 bis 2014 und Frau Kollegin Prof. Dr. Christel Müller-Goymann mit der Amtszeit 2014 bis 2015. Die Satzung der BWG legt Wert auf eine Verzahnung der Amtszeiten von Präsident und Vizepräsidenten, so dass jedes Jahr eine Funktion neugewählt wird. Herr Gahl stellt die Kontinuität innerhalb des Präsidiums dar. Frau Müller-Goymann übernahm das Vizepräsidentenamt mit Beginn des Jahres von mir. Mit ihr hat die BWG eine ausgewiesene Forscherpersönlichkeit gewinnen können, die ihre fachliche Kompetenz und ihre gute Vernetzung sogleich für die Themenauswahl unserer Plenarversammlungen wie auch für das Bioethiksymposium einsetzte. Zugleich ist sie die erste Vizepräsidentin der BWG – endlich.

Als Vorsitzender der Klasse für Geisteswissenschaften wurde Herr Kollege Prof. Dr. Klaus Alpers für die Amtsperiode von 2014 bis 2016 wiedergewählt. Ihm gelten meine herzlichen Glückwünsche.

Interne Veranstaltungen

Der interdisziplinäre wissenschaftliche Gedankenaustausch erfolgt in den internen Sitzungen der BWG. Insgesamt fanden im Berichtsjahr 9 Plenarversammlungen mit 12 Vorträgen sowie 14 Sitzungen der Klassen mit 6 Vorträgen statt. Über Themen und Inhalt gibt das Jahrbuch 2013 Auskunft, das gerade erschienen ist und Ihrer Lektüre empfohlen sei.

Im November 2013 fand in Göttingen eine gemeinsame Sitzung mit der Göttinger Akademie der Wissenschaften statt, die inhaltlich durch die Vorträge der Kollegen Kowalsky und Rosenwinkel von der BWG geprägt war. Bereits 2012 hatten Göttinger Kollegen auf einer ersten gemeinsamen Sitzung vorgetragen. An dieser engen Verbundenheit mit unserer älteren akademischen Schwester in Göttingen liegt uns sehr, sie wird im Oktober fortgesetzt werden, diesmal wieder in Braunschweig.

Im Jahr 2012 haben wir das Konzept der Thementage eingeführt, um damit den Gedankenaustausch *zwischen* den Mitgliedern unserer drei Klassen zu intensivieren. In einer Plenarversammlung wird dabei ein Leitthema in drei Vorträgen aus dem jeweiligen Blickwinkel der Naturwissenschaften, der Technikwissenschaften und der Geisteswissenschaften in seiner Diversität beleuchtet und diskutiert. Dieses Konzept hat sich gut bewährt und wird beibehalten.

Am 26.4.2013 fand die feierliche Jahresversammlung der BWG statt, auf der Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schröder die Gauß-Medaille für seine Verdienste um die numerische Strömungsmechanik und ihre medizinische Anwendung erhielt.

Symposien

Am 26.4.2013 fand unser Gauß-Kolloquium mit drei Vorträgen zum Themenfeld Strömungsmechanik und Medizintechnik statt.

Am 31.5.2013 wurde im Institut für Braunschweigische Regionalgeschichte ein Symposium zu Carl I. und seiner Politik unter dem Titel „Bildung und Kultur“ veranstaltet. Hieran waren vier Mitglieder der BWG mit Vorträgen oder Moderation beteiligt.

Innerhalb des Berichtszeitraums hat die BWG zwei Symposien zur Bioethik veranstaltet:

- Infektionsmedizin der Zukunft – Herausforderung für Individuum und Gesellschaft (9. Bioethik-Symposium am 19.6.2013)
- Vom Wirkstoff zum Arzneimittel (10. Bioethik-Symposium am 20.2.2014)

Die Bioethik-Symposien stellen ein Erfolgsmodell dar und stehen als interdisziplinäre Veranstaltungen unserer Wissenschaftlichen Gesellschaft gut an. Wir werden diese Symposien weiter führen, schon deswegen, weil wir uns längst noch nicht mit allen Aspekten der Bioethik beschäftigt haben.

Am 6. und 7. Oktober wurde in Hannover die erste Konferenz über Wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen Niedersachsen und Israel veranstaltet. Die Organisation erfolgte durch die BWG, vertreten durch unser Mitglied Prof. Dr. Thomas Scheper, dem hierfür unser ausdrücklicher Dank gilt.

Am 27. November 2011 haben wir anlässlich des 70jährigen Bestehens der BWG eine akademische Feierstunde gemeinsam mit der Universitätsbibliothek Braunschweig veranstaltet. Gelegentlich verursacht unser Gründungsdatum 1943 Stirnrunzeln, weswegen wir von Daniel Wesselhöft, einem in der Erforschung der NS-Zeit ausgewiesenen Historiker die BWG-Geschichte – und hier insbesondere die Gründungsgeschichte – anhand der Akten und Dokumente aufarbeiten ließen. Die Analyse der Gründungsgeschichte ergab, dass trotz der Gründung im Jahr 1943 weder in der Satzung noch in den Gründungsansprachen Zugeständnisse an eine nationalsozialistische Diktion oder gar an nationalsozialistisches Gedankengut erfolgten. Ich bin sehr erleichtert, dass die BWG vor 70 Jahren als eine eindeutig der Wissenschaft verpflichtete Einrichtung gegründet wurde.

Leider verstarb Herr Wesselhöft noch vor der Fertigstellung seines Werkes, für dessen Fortführung bzw. Abschluss Herr Oliver Matuschek von Herrn Kollegen Klein gewonnen werden konnte. Ich darf Ihnen dieses Werk zur Lektüre empfehlen. Im Zentrum der Feierstunde stand ein Podiumsgespräch mit Vertretern der Leopoldina, der Göttinger Akademie der Wissenschaften und von acatech über die Aufgaben von Wissenschaftlichen Akademien.

Öffentliche Vorträge

Neben der internen Arbeit als Gelehrtengesellschaft sehen wir es als unsere zweite Hauptaufgabe an, mit Veranstaltungen in der Öffentlichkeit die Basis für den Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft zu verbreitern und zu stärken. Wir sind hier auch auf einem guten Weg und fühlen uns vom Bundespräsidenten Gauck bestätigt, der im vergangenen Oktober bei seiner Leopoldina-Ansprache die Akademien aufforderte, sich der Vermittlung wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Gesellschaft hinein noch stärker zu widmen.

Seit dem Braunschweiger Wissenschaftsjahr 2007 veranstalten wir die die Reihe „Akademie-Vorlesungen im Schloss“ in Kooperation mit dem Kulturinstitut der Stadt Braunschweig. Zum Leitthema „Phänomen Raum“ wurden 7 Vorträge veranstaltet, zwei werden im Herbst diesen Vortragszyklus abschließen. Gemeinsam mit der Stadt Braunschweig werden wir diese Reihe fortsetzen.

Eine ähnliche Erfolgsgeschichte stellen die Vorträge dar, die wir seit Jahren im phäno in Wolfsburg in Kooperation mit der Akademie der Wissenschaften in Göttingen anbieten. 2013 wurden 5 Vorträge in der Vortragsreihe MatheXAnders gehalten, davon 3 von Mitgliedern der BWG.

Die Verleihung des „Braunschweiger Bürgerpreises für herausragende studentische Leistungen“ findet jeweils zum Nikolaustag, also am 6. Dezember im Braunschweigischen Landesmuseum statt. Hier trägt die BWG durch Einladung eines prominenten Wissenschaftlers zum wissenschaftlichen Höhepunkt der Veranstaltung bei. Ebenso haben die Präsidenten der BWG bei weiteren Veranstaltungen, z.B. der TU Braunschweig oder der Abt Jerusalem Akademie, mitgewirkt.

Dokumentation

Die Dokumentation unserer Arbeiten erfolgt im „Jahrbuch der BWG“, das pünktlich zum heutigen Termin erschienen ist, wofür ich dem Verlag J. Cramer, vertreten durch Frau Christina Jäcker, für seine Verlässlichkeit und Sorgfalt danke.

Die in den Veröffentlichungen der BWG publizierten Arbeiten werden sämtlich auch in digitaler Form in der Braunschweiger Digitalen Bibliothek gespeichert, so dass sie dauerhaft und weltweit im Internet verfügbar sind. Man findet die Volltexte nicht nur über Suchmaschinen wie Google, sondern auch in Bibliothekskatalogen. Eine Suchmaske, über die sie bequem zu finden sind, ist auf unserer Homepage implementiert.

Dank und Überleitung

All diese Arbeit, über die ich Ihnen berichten durfte, war nur möglich als Beitrag vieler Engagierter im Rahmen der BWG, für die ich mich bei unserem jetzigen

Altpräsidenten, den Kollegen Vizepräsidenten, bei den Klassenvorsitzenden, bei allen Mitgliedern der BWG, bei unseren Kooperationspartnern sowie in besonderem Maße bei Frau Petersen und Frau Mumcu von unserer kompetenten und stets einsatzbereiten Geschäftsstelle herzlich bedanken möchte.

Meine sehr verehrten Damen und Herren, nach diesem Rechenschaftsbericht kommen wir nun zum Höhepunkt und zum wissenschaftlichen Kern unserer Festveranstaltung und ich darf nun Herrn Kollegen Hopf um seine Laudatio auf Herrn Prof. Dr. Müllen, unseren diesjährigen Preisträger, bitten.

Grußwort der Stadt Braunschweig anlässlich der Feierlichen Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Altstadtrathaus

ANJA HESSE

Stadt Braunschweig, Kultur- und Wissenschaftsdezernat
Schlossplatz 1, D-38100 Braunschweig

Sehr geehrter Herr Präsident Professor Brandes,
sehr geehrter Professor Klein,
sehr geehrter Professor Hesselbach,
Meine sehr geehrten Damen und Herren,

Im Namen von Herrn Oberbürgermeister Dr. Gert Hoffmann begrüße ich Sie anlässlich Ihrer Feierlichen Jahresversammlung hier im Altstadtrathaus.

Zur diesjährigen Versammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gilt ein besonderer Gruß und Dank Ihnen, Herr Professor Klein, denn Sie haben die Entwicklung der WBG während Ihrer langjährigen Präsidentschaft seit dem Jahr 2000 nachhaltig geprägt. Dass Ihr Nachfolger im Amt Herr Prof. Brandes, diese positive Entwicklung der Wissenschaftlichen Gesellschaft fortsetzen und sicher auch durch persönliche Akzente bereichern wird steht außer Frage.

Als Tagungsort haben Sie sich traditionell die Große Dornse unseres Altstadtrathauses gewählt. Ein Ort mit reicher Geschichte, der in Verbindung mit dem einzigartigen Ensemble des Altstadtmarktes geeignet ist, an die große Geschichte unserer Stadt als autonomes bürgerliches Gemeinwesen in Mittelalter und Früher Neuzeit zu erinnern. Der aber zugleich, in seiner heutigen Nutzung als „gute Stube der Stadt“ eine charakteristische Eigenart Braunschweigs erlebbar macht: Fest in der eigenen Geschichte und Tradition verwurzelt, aber zugleich der Zukunft zugewandt, modern und weltoffen.

Damit sind wir zugleich bei Ihrer heutigen Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft. Auch ihre Jahresversammlung in diesen historischen Räumen führt zu einem symbolischen Treffen der Vergangenheit mit der Gegenwart und Zukunft. Erst im vergangenen Jahr feierten Sie den 70. Jahrestag des Bestehens der Wissenschaftlichen Gesellschaft. Gegründet in einer problematischen Zeit des Jahres 1943 hat sich die Gesellschaft in den Jahrzehnten ihres Bestehens kontinuierlich weiterentwickelt und ist heute ein bedeutender Träger des wissenschaftlichen und insbesondere auch des gesellschaftlichen Diskurses sowie ein fester Bestandteil der Wissenschaftsstadt Braunschweig.

Der Wissenschaftsstandort Braunschweig kann auf eine lange Vergangenheit zurückblicken, die durch große Namen geprägt wird. Hier wirkte, zumindest für kurze Zeit, der gebürtige Braunschweiger Carl Friedrich Gauß, sein späterer Schüler Julius Wilhelm Richard Dedekind aber auch Nobelpreisträger, wie Manfred Eigen, Georg Wittig sowie Klaus von Klitzing. Die Exzellenz des Wissenschaftsstandortes lässt sich mit dem Satz ausdrücken, der auf der Rückseite der Gauß-Medaille steht, die Ihre Gesellschaft seit 1949 verleiht: PRO SUMMIS LITERARUM MERITIS (Den um die Wissenschaft am höchsten Verdienten).

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft blickt auf eine lebendige Vergangenheit zurück. Die erste Gründungsidee geht auf die damalige Rivalität zwischen der preußischen Gauhauptstadt Hannover und der Hauptstadt des eigenständigen Landes Braunschweig zurück. So wurde 1941 die Gründung einer Leibniz-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaft in Niedersachsen in Hannover vorangetrieben. Im Zuge der Abstimmungsgespräche mit dem Reichserziehungsministerium in Berlin wurde dann überraschend die Gründung einer eigenen wissenschaftlichen Gesellschaft in Braunschweig ins Gespräch gebracht. Der Vorschlag wurde durch die sowohl enge Verbindung zwischen der TH Braunschweig und der Bergakademie Clausthal als auch die Bemühungen – und auch das gehört zur historischen Wahrheit dazu – des damaligen nationalsozialistischen Ministerpräsidenten Klagges, Braunschweig unter anderem auch als kulturelles und gesellschaftliches Zentrum zu etablieren, befördert. Im Ergebnis wurde keine zwei Jahre nach diesen Ereignissen die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft gegründet.

Aus heutiger Sicht kaum noch verständlich wirkt die Tatsache, dass im Jahr 1978 erstmals eine Frau, Maria Esslinger, als ordentliches Mitglied in die Gesellschaft aufgenommen wurde. Die damalige Debatte verlief turbulent und kontrovers. Seit dieser Zeit entscheiden einzig die wissenschaftlichen Verdienste über die Mitgliedschaft in der BWG und nicht das Geschlecht des Wissenschaftlers. Heute, im Jahr 2014, ist die gesellschaftliche und insbesondere wissenschaftliche Entwicklung ohne Frauen gar nicht mehr möglich. Das lässt sich anhand zahlreicher Beispiele belegen. So haben wir nicht nur mit Professorin Johanna Wanka eine exzellente Bundesministerin für Bildung und Forschung, auch im regionalen Wissenschaftsumfeld gibt es zahlreiche Beispiele für erfolgreiche und verdienstvolle Frauen. Gestatten Sie mir zwei Beispiele, Professorin Rosemarie Karger, seit letztem Jahr Präsidentin der Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften und Professorin Simone Kauffeld, Vizepräsidentin der TU Braunschweig. Und schließlich erhielt mit Professorin Angela Friederici unlängst auch erstmals eine Frau die Gauß-Medaille.

Zu den regelmäßigen Aufgaben der BWG gehören die gemeinsamen Sitzungen und Versammlungen. Bereits seit 1989 finden die Sitzungen auch in Clausthal und seit 2003 auch in Hannover statt. Damit hat die BWG bereits lange vor der Errich-

tung der Niedersächsischen Technischen Hochschule die Grundidee einer engen wissenschaftlichen Vernetzung vorweggenommen und erfolgreich praktiziert.

Heute, im Jahr 2014, ist die BWG ein wichtiger Akteur sowohl innerhalb der Forschungsregion Braunschweig als auch in der überregionalen Wissenschaftsgemeinschaft. Davon zeugt die hervorragende Vernetzung zur Stadt Braunschweig, den einzelnen Wissenschaftseinrichtungen, exemplarisch seien die TU Braunschweig und die Landesmuseen erwähnt sowie den weiteren Institutionen, Akteuren und Vereinigungen.

Darüber hinaus ist auch der Brückenschlag zur Gesellschaft ein wichtiges Anliegen der BWG, Veranstaltungsreihen wie die Akademie-Vorlesung im Schloss als niedrigschwelliges Angebot im Zentrum der Stadt mit komplexen Themen zwischen Gesellschaftspolitik und Wissenschaft leisten hier einen gewichtigen Beitrag zum Austausch mit breiten Teilen der Gesellschaft.

Daraus lässt sich resümieren, dass die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft eine herausragende Position im Gefüge der regionalen Wissenschaftslandschaft einnimmt.

Abschließend möchte ich feststellen, dass Forschung und Wissenschaft entscheidende Teilbereiche unserer Wissensgesellschaft sind. Sie liefern einen wesentlichen Beitrag zur Lösung verschiedenster Fragestellungen, sind ein wesentlicher Standortfaktor im Hinblick auf die regionale bis internationale Wettbewerbsfähigkeit und tragen so entscheidend zur Zukunftsfähigkeit und -sicherung unseres Landes bei.

Meine Damen und Herren, noch einmal heiße ich Sie im Altstadtrathaus in Braunschweig herzlich willkommen.

Ich wünsche Ihrer Jahresversammlung einen erfolgreichen Verlauf und uns allen einen angenehmen Abend.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Laudatio zur Verleihung der Gauß-Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft an Professor Dr. Klaus Müllen

HENNING HOPF

Institut für Organische Chemie der Technischen Universität Braunschweig,
Hagenring 30, D-38106 Braunschweig

Sehr geehrter Herr Präsident der BWG, hohe Festversammlung, sehr geehrter Gauß-Preisträger 2014 Professor Dr. Müllen, lieber Klaus!

Manche von Ihnen werden sich vielleicht gefragt haben, was der Namensgeber der höchsten Auszeichnung, die die BWG vergibt, mit der Chemie zu tun hat – und ohne Antwort geblieben sein. Schließlich war Gauß Mathematiker, Physiker und Astronom.

Chemikern geht es da ein wenig anders, denn sie verwenden heute z.B. routinemäßig ein quantenchemisches Rechenprogramm, das nach Gauss benannt und heute das am weitesten verbreitete Rechenprogramm der Theoretischen Chemie ist.

Und auch zwischen der Gaußmedaille und der Wissenschaft Chemie gibt es viele Beziehungen.

Nicht nur wurden im Laufe der Jahrzehnte eine beträchtliche Anzahl prominenter Chemiker mit der Verleihung der Gauß-Medaille geehrt, mehr noch: der allererste Gauß-Preisträger überhaupt war ein Chemiker: Professor Walter Reppe von der BASF, der diese Auszeichnung im Jahre 1949 erhielt.

Es ist glückliche Fügung, dass die wissenschaftliche Arbeit unseres heutigen Preisträgers auf vielfältige Art und Weise mit den bahnbrechenden Arbeiten Reppes verknüpft ist.

Zwischen der Chemie und der Öffentlichkeit besteht eine gewisse Sprachlosigkeit. Wir wissen alle, dass wir die hohe Qualität unseres modernen Lebens zu einem beträchtlichen Teil der Chemie zu verdanken haben.

Warum das so ist, wissen die meisten allerdings nicht.

Gestatten Sie mir deshalb heute den Versuch, diese Sprachlosigkeit ein wenig überwinden zu helfen, ein Versuch, der die Würdigung unseres Preisträgers einschließen wird.

Nach Kekulé ist die Chemie die Wissenschaft von der „Metamorphose der Materie. Ihr eigentlicher Gegenstand ist nicht der existierende Stoff, sondern das was aus ihm werden kann“.

Die Stoffe, mit denen der Chemiker arbeitet, stammen zunächst ausschließlich aus der Natur. Es sind letztlich die rund 100 Elemente, aus denen nicht nur unsere Erde, sondern auch das gesamte Universum besteht, uns selbst eingeschlossen. Diese Elemente können in eine Ordnung gebracht werden: das Ihnen allen bekannte Periodische System der Elemente. Im Prinzip können alle diese Elemente mit sich selber und mit all den anderen reagieren. In der Praxis ist dieses Reaktionspotential auch nicht annähernd ausgeschöpft. Diese Reaktionsmöglichkeiten herauszufinden, ist eine der Hauptaufgaben der Chemiker in der Grundlagenforschung. Triebkraft ist allein die wissenschaftliche Neugier, auch wenn immer wieder praktische Anwendungen aus diesen Studien resultieren, die den gesellschaftlichen Wandel nicht nur grundlegend vorantreiben, sondern ihn auch ganz wesentlich bedingen.

Im Zentrum des Periodischen System steht ein Element, ohne das es kein Leben auf der Erde gäbe: der Kohlenstoff. Und weil es zentral steht, ist es ein echter Alleskönner, der mit jedem anderen Element des PSEs reagieren kann und auch mit sich selbst.

Kohlenstoff, das wissen Sie alle, kommt in unserer Umgebung in verschiedenen Formen vor – elementar, als Kohle, in oxidiert Form, als Kohlendioxid, und in reduzierter Form als Methan oder Erdgas. Diese drei Oxidationsstufen unterscheiden sich im Energieinhalt: Wenn wir Kohle zu CO_2 verbrennen, wird Energie frei. Und wenn wir Methan – in verallgemeinerter Form: Erdöl - zu Kohlendioxid verbrennen, wird noch mehr Energie frei. Beide Verbrennungsprozesse führen wir in sehr großem Maße durch: damit wir es zuhause warm haben und kochen können, damit wir außer Haus mit dem Auto fahren oder fliegen können. Beide Verbrennungsprozesse rufen große und in steigendem Maße ernste politische und ökologische Probleme hervor.

Der elementare Kohlenstoff kommt auch wieder in unterschiedlichen Formen vor, die sie fast alle kennen. Hier im Raume vermutlich am weitesten verbreitet ist der Diamant. Dann als Graphit, den Sie aus den Bleistiften kennen und eben als Kohle – in der Nachkriegszeit und bis in die 60er Jahre den meisten noch wohlbekannt, jüngere Menschen haben heute vermutlich noch nie ein Stück Kohle in der Hand gehabt.

In diese Kohlenstoffwelt schlug im Jahre 1985 eine Entdeckung wie ein Blitz ein: Kroto, Smalley, und Curl berichteten über die Entdeckung von kugelförmigem Kohlenstoff, der aus 60, 70 und noch mehr Kohlenstoffatomen aufgebaut ist: die Fullerene. Der berühmteste unter diesen ist das C_{60} , in dem die 60 Kohlenstoffatome so angeordnet sind, dass sie einem molekularen Fußball entsprechen. Die drei Autoren erhielten für ihre revolutionäre Entdeckung 1996 den Nobelpreis für Chemie, der Deutsche Wolfgang Krätschmer vom Max-Planck-Institut in Heidelberg, dem es erstmalig gelang, größere Mengen an C_{60} herzustellen, ging leider leer aus. Krätschmer ist übrigens Gauß-Preisträger des Jahres 2002.

Ist C_{60} etwas exotisches? Mitnichten, Sie alle sind damit schon in Kontakt gekommen. Es findet sich ubiquitär in der Natur, und z.B. in so einfachen Dingen wie dem Ruß von Kerzen.

Die Fullerenentdeckung führte zu eine Fülle weiterer Entdeckungen auf dem Kohlenstoffgebiet – viele von ihnen von großer Bedeutung für die Grundlagenforschung. Aber bei den praktischen Anwendungen erfüllten sich viele Hoffnungen bisher noch nicht.

Und schon bald erfolgte mit der Herstellung des sog. Graphens ein zweiter Durchbruch, einer Kohlenstoffmodifikation mit blattförmiger/zweidimensionaler Struktur, die eine Bienenwabenstruktur besitzt.

Die Darstellung einschichtiger Graphenkristalle gelang erstmalig von 10 Jahren den beiden ursprünglich russischen Wissenschaftlern Novoselov und Geim; nur 6 Jahre später erhielten sie für ihre Arbeiten den Nobelpreis für Physik. Strukturell ist das Graphen mit dem Graphit verwandt. Stapelt man nämlich seine einzelnen Schichten übereinander, so erhält man den lagigen Graphit.

Graphen hat höchst ungewöhnliche Eigenschaften, die es sowohl für die Grundlagenforschung als auch für Anwendungen interessant machen, und zwar vor allem in den Materialwissenschaften. Seine Zugfestigkeit ist mehr als 100mal höher als die von Stahl. Dabei wiegt es fast nichts – ein Quadratkilometer ist deutlich leichter als 1 kg (757 g).

Die entscheidende Frage lautet jetzt: Wie stellt man ein derartiges Wundermolekül her?

Auf diese Frage gibt es zwei Antworten.

Man fängt entweder im Sicht- und Greifbaren an – z.B. beim Graphit – und macht die Strukturen immer kleiner, bis man auf der molekularen Ebene angekommen ist – das nennt man top-down-approach. Die Methoden, die hierbei zur Anwendung kommen sind häufig physikalischer Art. Der Vorteil dieser Vorgehensweise: sie ist verhältnismäßig einfach. Nachteil: man erhält Gemische von Graphenmolekülen, die mal größer, mal kleiner sein können.

Das ist für einen Chemiker eine höchst unbefriedigende Situation. Chemiker lieben keine Gemische, sie wollen den reinen Stoff, der eindeutig charakterisiert ist, von dem man – letztlich – eine und nur eine Formel hinschreiben kann.

Und damit sind wir bei Professor Müllen angelangt – er geht genau den umgekehrten Weg – er fängt klein an, und baut dann große Strukturen auf: die Nanographene.

Das ist rasch gesagt, aber so schwer, dass alle anderen Wissenschaftler vor ihm an diesem Problem gescheitert sind.

Die kleinste Einheit, nämlich das Benzol, kennt man seit ihrer Entdeckung durch Faraday seit 1825. Aber wie gelange ich von hier zur Graphenfläche, d.h. der vollständig mit Sechseckfliesen belegten Fläche?

Damit diese Ziele erreicht werden konnten, musste die Müllensche Gruppe zwei Dinge entwickeln. Zuerst mussten neue Synthesemethoden gefunden werden, das ist der eigentliche, der kreative Teil der Arbeiten. Dabei tauchen viele, auch scheinbar triviale Probleme auf: z.B. werden die Moleküle, je größer sie werden, immer schlechter löslich. Man braucht aber Lösungen, um chemische Transformationen durchführen zu können, im festen Zustand, unter heterogenen Bedingungen, laufen viele Reaktionen nicht ab. Diese Wege wurden gefunden und stellen Synthesechemie vom feinsten dar. Herr Müllen musste also chemisch immer auf der Höhe der Zeit, ja ihr eigentlich voraus sein.

Dazu aber kommt ein zweites, genauso schwerwiegendes Problem: Ich hatte oben gesagt, dass die Chemiker am Ende eine Formel für den von ihnen hergestellten Stoff hinschreiben möchten. Woher wissen sie aber am Ende eines Synthesewegs, dass das, was sich in ihrem Kolben befindet auch durch die Formel, die sie – mit dem Bleistift – auf einen Bogen Papier schreiben, repräsentiert wird? Das also die Formel eine Metapher für den ja wirklich vorhandenen Stoff ist.

Dazu verwendet man heute physikalische Methoden. Und mit ihnen ist es wie immer: bei einfachen Problemen, sprich einfachen Strukturen, ist ihre Anwendung einfach, das kann jeder Student vor dem Vordiplom. Bei schwierigen Problemen ist deren Anwendung aber schwieriger und wird mit steigender Komplexität immer schwieriger. Stellen wir uns also Klaus Müllen als einen Chemiker vor, der auf einer Ebene, einer Graphenebene, wandert, die sich aber immer steiler auftürmt. Je länger der Weg, desto schwieriger wird er. Da dürfen einen die Kräfte nicht verlassen! Er musste also, und das zeichnet ihn meinen Augen ganz stark aus, gleichzeitig ein hervorragender Synthesechemiker sein und auch gleichzeitig immer mehr zum Polymerchemiker und Physiker werden. Für diese Entwicklung bot das Max-Planck-Institut für Polymerforschung exzellente, ja einmalige Bedingungen.

Nach Kierkegaard kann bekanntlich „das Leben nur in der Schau nach rückwärts verstanden, aber nur in der Schau nach vorwärts gelebt werden“.

Auf Klaus Müllen angewendet: dass er am MPI in Mainz enden und bei uns Gauß-Preisträger werden würde, stand natürlich nirgendwo geschrieben. Ist aber – im Rückblick - nur konsequent.

Er hat zunächst in Köln Chemie studiert, und dort im Arbeitskreis von Vogel eine hervorragende organisch-präparative Ausbildung erhalten. Ging dann nach Basel zur Promotion zu dem eher physikalisch/theoretisch orientierten Fabian Gerson, einem Fachmann auf dem Gebiet der Spektroskopie. Danach war er Postdoktorand an der ETH in Zürich, wo er sich 1977 habilitierte. Zwei Jahre später wurde er

Professor an der Universität zu Köln und 1983 ging er an die Universität in Mainz. Seit 1989 ist er Direktor am Max-Planck-Institut für Polymerforschung. Seine Forschungsschwerpunkte liegen auf dem Gebiet der präparativen makro- und supramolekularen Chemie. Ein sehr wichtiges Gebiet, die Graphenchemie habe ich ausführlich geschildert. Dazu kommen grundlegende Arbeiten über organische Metalle, über neuartige Farbstoffe, die in Solarzellen Verwendung finden, Halbleitermaterialien für Elektronikbauteile, Nanokomposite für Hochleistungsbatterien und sehr vieles anderes mehr.

Er ist für seine Arbeiten durch viele, viele Preise ausgezeichnet worden, nationale und internationale, hat zahllose Namensvorlesungen gehalten und ist mehrfacher Ehrendoktor. Das alles will ich hier nicht auflisten. Es ist knapp gesagt, auch das, was man für einen Gauß-Preisträger erwartet. Außerhalb seines Faches hat er vielfältig Verantwortung übernommen, sei als bei der Herausgabe von Zeitschriften, bei der Humboldt-Stiftung, der DFG, der Max-Planck-Gesellschaft. Nicht zuletzt war er Präsident der größten kontinentaleuropäischen chemischen Gesellschaft, der Gesellschaft Deutscher Chemiker (2008/2009).

Bei der Auswahlkommission für die Gauß-Medaille, die zu leiten, ich die Freude hatte, wurde gefragt, wie es eigentlich kommt, dass jemand – wie Herr Müllen – eine Publikationsliste mit mehr als 1000 Eintragungen vorlegen kann. Meine Antwort: dafür gibt es, neben sehr großem Fleiß, viele Gründe, von denen einer besonders wichtig ist. Man muss etwas machen oder gemacht haben, dass auch viele *andere* Menschen interessiert. Die eigenen Arbeiten müssen auf Resonanz stoßen, am besten auf weltweite Resonanz – dann stehen die Kollegen und Kolleginnen, die mit einem zusammen arbeiten und forschen wollen sozusagen Schlange. Und auf Resonanz stößt man nur, wenn man etwas Bedeutendes macht.

Dir lieber Klaus, ganz herzlichen Glückwunsch zur heutigen Ehrung und viele weitere Erfolge – und Ihnen allen vielen Dank fürs Zuhören.

Plastikwelt

KLAUS MÜLLEN

Max-Planck-Institut für Polymerforschung
Ackermannweg 10, D-55128 Mainz

Sehr geehrter Herr Präsident, liebe Kolleginnen und Kollegen, meine Damen und Herren,

1. Gelehrsamkeit und Geselligkeit

Ob Auszeichnungen eine Art „Alterserscheinung“ sind oder nicht, lassen Sie mich, die ehrenvolle Carl-Friedrich-Gauß-Medaille im Blick, ein wenig Rückschau halten. Als ich 1984 nach Mainz an die Johannes-Gutenberg-Universität kam, aber nichts von den Menschen dort wusste, habe ich als Einstieg von Carl Zuckmayer „Als wär's ein Stück von mir“ gelesen. Ich erwähne Zuckmayer, weil er seine Biografie in Begegnungen beschreibt. Auch ich möchte Ihnen etwas von Begegnungen erzählen. Denn Wissenschaft ist nicht neutral, ist nicht unpersönlich, sie lebt von Begegnungen. Und wenn ich mich heute für die große Ehre bedanke, dann verbinde ich dies zuerst mit dem Dank an Menschen für Begegnungen und Anregungen.

Da sind meine Lehrer Hans-Otto Hammer am Albertus-Magnus-Gymnasium in Köln, Emanuel Vogel und Harald Günther an der Universität Köln, Fabian Gerson an der Universität Basel und Jean Oth an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, da sind meine Kollegen und Freunde aus der gar nicht schwarzen Kohlenstoff-Welt sowie aus der Welt der Polymere, und da sind eben auch Kollegen und Freunde in Braunschweig.

Ebenfalls Mitte der 80er Jahre, Ihr Neubau war fertig, musste ich mit einer Kommission angereist kommen, um zu schauen, ob Ihre wissenschaftliche Erstausstattung auch vernünftig ausgewählt sei. Seitdem hat es immer auch konkrete wissenschaftliche Kontakte gegeben, damals mit Peter Boldt und Walter Grahn über NLO-Materialien, bis auf den heutigen Tag mit Wolfgang Kowalsky über elektronische Bauelemente und beim Betrieb des Innovation Lab in Heidelberg.

Die engste freundschaftliche Beziehung besteht zu Henning Hopf. Uns verbindet die Freude an π -konjugierten Verbindungen von Kohlenwasserstoffen bis zu großen Graphenmolekülen. Wir haben zu diesen Themen 1995 eine große internationale Tagung in Braunschweig organisiert, wobei Henning Hopf die Hauptlast trug, und er war in seiner akademischen Art mein Vorgänger und Vorbild als Präsident der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh).

Alles in allem, in diesen Augenblicken wird mir bewusst, wie sehr wissenschaftliches Leben im Miteinander besteht, von der Forschungsk Kooperation zum Diskurs eines Seminars bis, ja, bis zum Feiern. So wie ich es vom Mitbegründer des Collegium Carolinum und damit auch Ihrer Universität, Abt Jerusalem, gelernt habe: „Gelehrsamkeit und Geselligkeit“.

Wenn ich Ihnen nun einen Dank in wissenschaftlicher Münze bringe, Sie aber von dem Titel überrascht sind, dann bedenken Sie, dass ich mich 1990 als Organiker in die Polymerforschung gewagt habe, seitdem ein Wanderer zwischen diesen Welten geblieben bin, der möglicherweise nichts von beiden richtig versteht.

2. Strukturkonzepte für Makromoleküle

Polymerforschung hat eine sehr praktische Seite, und das stößt auf die Skepsis der Anhänger reiner Lehre, die im Extremfall einen Anwendungsbezug als Irrtum der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung betrachten. Aber noch einmal: warum Plastikwelt? Materialien, die wie keine sonst unsere Zeit dominieren, sind Kunststoffe. Sie werden pauschal auch als Plastik bezeichnet, eine Formulierung, die sich von der Verformbarkeit des Materials ableitet. Es geht um nichts anderes als um Materialien aus synthetischen Makromolekülen oder Polymeren (Polymer = viele Teile). Es sei daran erinnert, dass Polymere auch in der Natur vorkommen: als Materialien, man denke etwa an Birkenpech oder Bernstein, aber auch als die „Stoffe des Lebens“ wie DNA, Eiweiße oder Polysaccharide.

Chemie ist die Kunst, Moleküle herzustellen, ihre Strukturprinzipien zu verstehen und Beziehungen zwischen Molekülstrukturen und Moleküleigenschaften abzuleiten. Übertragen auf Makromoleküle bedeutet das, kleine Moleküle als Wiederholungseinheiten zu Ketten zusammenzufügen. Aber schauen wir uns den Übergang vom Monomer zum Polymer genauer an (Abbildung 1). Das Polyethylen, aus dem Gas Ethylen entstanden, zeigt einen scheinbar einfachen Aufbau, es kann aber bei seiner Synthese auch Verzweigungen bilden, und es ist diese Abweichung von der regulären Kettenstruktur, welche etwa die Härte des Materials massiv beeinflusst. Ähnliches gilt bei der Polymerisation des Propylens; hier ragen Methylgruppen aus der Kette heraus, und es macht einen großen Unterschied für die Eigenschaften, ob diese Methylgruppen auf einer Seite der Kette liegen oder nicht.

Zu einem völlig anderen Polymeraufbau kommen wir, wenn wir das Sechseck Benzol als Wiederholungseinheit von Ketten verwenden, es entsteht ein sogenanntes Poly-para-phenylen (Abbildung 1). Eine Strukturformel für das Benzol vorgeschlagen zu haben, war eine epochemachende Tat von August Kekulé, die genau 150 Jahre zurückliegt. Nun muss man wissen, dass die Elektronen im Sechseck des Benzols innerhalb des Ringes sehr beweglich und deshalb auch innerhalb

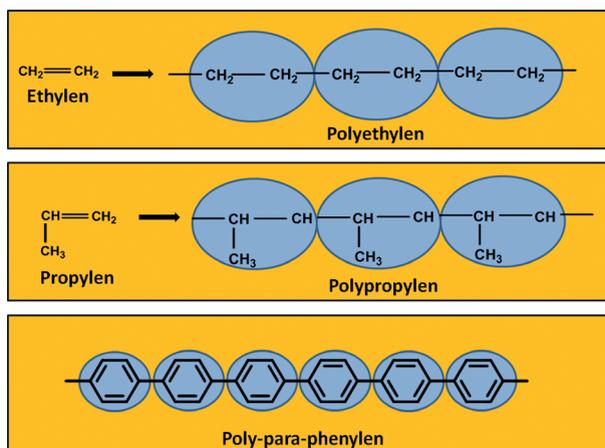


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Struktur von Polymerketten.

der gesamten Polymerkette „delokalisierbar“ sind. Diese Strukturbesonderheit erlaubt es, dem Makromolekül Elektronen hinzuzufügen oder wegzunehmen. Es entstehen dabei elektrische Leiter oder Halbleiter, von deren Bedeutung in der Informations- und Kommunikationstechnologie noch die Rede sein wird. Eine andere Form des Einbaus von Benzolringen in Polymere findet sich in Polycarbonaten (s.u.), auch bekannt unter dem Handelsnamen Makrolon, während im Polystyrol Benzoleinheiten als Seitenketten aus einem Polymerrückgrat herausragen. Benzol kommt aber nicht nur in Polymeren, sondern auch in vielen kleinen Molekülen vor, Aspirin sei als klassisches Beispiel genannt. Schliesslich kann man Benzol-Sechsecke nicht nur zu Ketten aneinanderreihen, sondern auch zu einer zweidimensionalen Honigwabe zusammenfügen, dann entsteht das sogenannte Graphen (Abbildung 2), welches im Gegensatz zu den Ketten mit linearem Aufbau als ein zweidimensionales Polymer zu betrachten ist. Auf dessen Rolle werde ich später noch einmal zurückkommen.

Für die Systematik der Chemie ist neben dem Übergang von eindimensionalen (Ketten) zu zweidimensionalen (Scheiben) Strukturen ebenso wichtig, dass es zwischen dem kleinen Baustein Benzol und dem makroskopischen Graphen als Zwischenglieder kleine Polycyclen gibt, sogenannte polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs), mit Naphthalin, früher als Mottenkugeln verwendet, als einfachstem Beispiel und dem aus 42 Kohlenstoffen bestehenden Hexagon – hier vereinfacht HBC genannt² – als größerem Verwandten (Abbildung 3). Solche PAKs kommen als kohlenstoffhaltige Bestandteile interstellarer Materie vor, sie haben aber dank Erich Clar als berühmtem Pionier auch eine zentrale Rolle in

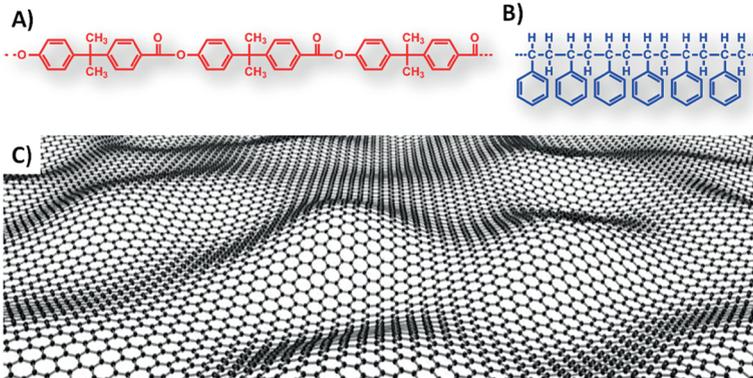


Abbildung 2: Die Strukturvielfalt von Polymeren: A) Polycarbonat; B) Polystyrol; C) Graphen – das 2D-Polymer¹.

der Entwicklung der organischen Chemie gespielt.³ Das hängt wiederum mit der Gegenwart „beweglicher“ Elektronen zusammen, die zu Eigenschaften wie Farbe oder Ladungsspeicherfähigkeit führen.

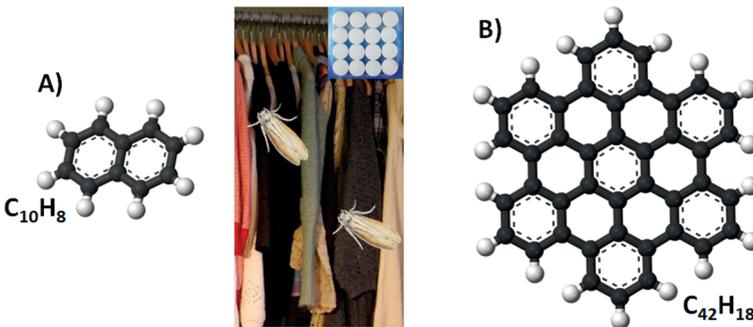


Abbildung 3: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe: A) Naphthalin; B) Hexabenzocoronon (HBC).

3. Plastiktüte und Nanotechnologie

Nachdem wir uns einen Überblick über die Strukturtypen und die Aufbausystematik kleiner und großer Moleküle verschafft haben, lohnt es sich, auf die Methoden der Synthese dieser Moleküle zurückzukommen. Die Synthese von Polyethylen aus dem Ethylengas erfordert, damit sie bei einigermaßen handlichen Bedingun-



Abbildung 4: Patentschrift von Karl Ziegler für die Herstellung von Polyethylen (1953).

gen (Druck, Temperatur) ablaufen kann. Auf Aluminium- und Titanverbindungen gestützte Katalysatoren wurden in den 50er und 60er Jahren von Karl Ziegler⁴ am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung entwickelt, der dafür auch zusammen mit Giulio Natta den Nobelpreis in Chemie erhielt (Abbildung 4). Inzwischen hat die Forschung neue komplexere Katalysatoren entwickelt,⁵ die eine besonders detaillierte Kontrolle über die Mikrostruktur der Ketten erlaubten. Dazu gehört es, im Polypropylen die Methylgruppen nicht irregulär, sondern in definierter Weise, zur Kette anzuordnen.

Wenn ich betone, dass die Chemie Molekülstrukturen in präziser Weise herstellt und dabei Prozesse verwendet, die in einer Lösung ablaufen, dann müssen wir über diesen Ansatz nun hinausgehen. Viele Materialphänomene, nicht zuletzt mechanische Eigenschaften, sind charakteristisch für den Festkörper und damit von der Packung der Moleküle im Festkörper, siehe das Beispiel des Polypropylens, abhängig. Ähnliches gilt für die elektronisch aktiven Polymere wie Polyphenylen und verwandte Strukturtypen, denn ihre Funktion im elektronischen Bauelement hängt empfindlich von der Packung im dünnen Film ab. Vereinfacht formuliert: was aus einer chemischen Verbindung ein Material macht, ist es, einen definierten makroskopischen Zustand herstellen zu können, und das erfordert die sogenannte Verarbeitung, im Englischen „processing“. Dünne Filme und die supramolekulare Organisation der Polymerketten, aber auch die Phasentrennung von Polymerlegierungen sowie das Auftreten von Grenzflächen sind hier in einem Atemzug zu nennen.

Um Polyethylen verarbeiten zu können, zum Beispiel in einem Extruder, ist es wichtig, die Teilchengröße zu steuern, indem man die Katalysatoren auf feste Träger aufbringt. Nur die Polyethylengranulate, nicht deren Pulver, lassen sich

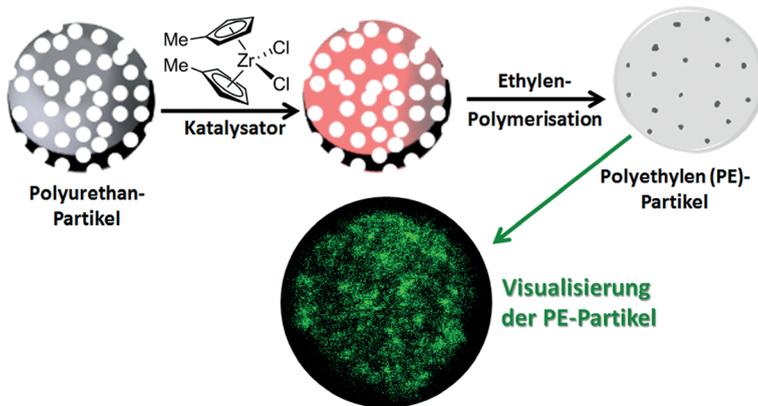


Abbildung 5: Poröse Polyurethan-Mikrosphären als Katalysator-Träger für die Ethylen-Polymerisation.

gut zu Folien, Fasern und dergleichen verarbeiten. Siliciumdioxid ist ein solches Trägermaterial, das polymere Produkt, das Polyolefin, bildet sich dann gleichsam als Replika um den Katalysator-Träger-Komplex. Das nun führt zu einer argen Komplikation, denn am Anfang bildet das polymere Produkt eine „Haut“ um den Katalysator. Die Reaktion kommt zum Erliegen, bis das Katalysator-Träger-Teilchen fragmentiert, um Katalysatorzentren wieder für frisches Monomer zugänglich zu machen. Dieses Problem sind wir angegangen, indem wir nicht anorganische, sondern organische Trägerpartikel verwendet haben. Die Ausgangsverbindung war ein altbekanntes Polymer, nämlich das Polyurethan. Dieses Material begegnet Ihnen in Ihrer Matratze als Schaumstoff, und es ist reizvoll, darauf hinzuweisen, dass man durch die Variation der chemischen Struktur und der Synthesebedingungen die Härte der Matratze einstellen kann. Wir haben nun Polyurethan in Form kleiner Nanokügelchen erzeugt und zusätzlich, so wie bei einem Schaumstoff, in diese Kügelchen Poren „hineingeböhrt“. In diese Hohlräume kann der Katalysator eingelagert werden.⁶ Abbildung 5 zeigt dieses Prinzip, erklärt aber auch, warum ein solches Katalysator-Träger-Teilchen in Gegenwart des Olefinmonomers besonders leicht fragmentieren kann. Dass die Fragmentierung wirklich abläuft, ist im unteren Teil optisch sichtbar gemacht. In einer „Konfokalmikroskopie“ wird dem Katalysator-Träger-Teilchen ein Farbstoff zugemischt und dessen weiterer Verbleib an seiner Fluoreszenz verfolgt.

Die Polyolefinsynthese, die formal so einfache Erzeugung langer Ketten, ist also in der Wirklichkeit ein Resultat anspruchsvoller Nanotechnologie, bei der ein komplexes System aus Träger, Katalysator, Monomer und Produktpolymer auf den Fortgang der Reaktion reagieren muss. Die Folge einer solch verfeinerten Synthesetechnik ist, dass das Polyolefin nur wenig teurer ist als der Einsatzstoff,

das Ethylen. Dies wiederum ist Fluch und Segen zugleich und hat den nachlässigen Umgang mit Kunststoffen gefördert, so dass Kunststoffe zum Inbegriff unserer Wegwerfgesellschaft geworden sind. Das ändert nichts daran, dass Kunststoffe, und viele sind Ihnen bereits an Ihren Handelsnamen wie PVC, Styropor, PET oder Teflon bekannt, unverzichtbarer Bestandteil unseres Alltags und unserer Technik geworden sind. Man sollte auch nicht vergessen, dass Kunststoffe bereits wegen ihres geringen Gewichts energieschonend sind. Wenn z. B. Joghurt in Glasgefäßen transportiert wird, dann hat man es mit einem deutlich größeren Gewichtsanteil der Verpackung zu tun. Sind Kunststoffe aber außer energie- auch ressourcenschonend? Immerhin gewinnen wir Ausgangsmaterialien aus dem Erdöl, und dieses wiederum ist kostbar. Man bedenke aber, dass nur 5% des vorhandenen Erdöls für die Kunststoffherzeugung ausgeschleust werden, während der übergroße Anteil zwecks Energiegewinnung verbrannt wird.⁷

Damit soll keineswegs gesagt sein, dass man die Nachteile der Plastikwelt wie die berühmte Vermüllung der Weltmeere verniedlichen dürfe oder dass Recycling keine wichtige Aufgabe sei. Es muss aber auch klar sein, dass die wissenschaftlichen und technischen Voraussetzungen für Recycling längst vorhanden sind. Entscheidend ist also der gesellschaftliche und politische Wille. Ähnliches gilt für die Bioabbaubarkeit. Wir können sehr wohl Plastiktüten aus bioabbaubarem Material herstellen, und wir können Polymere auch aus nachwachsenden Rohstoffen fertigen. Die Frage bleibt aber, was wir dafür bezahlen wollen, und noch ein weiterer Aspekt sei hinzugefügt: Kunststoffe sind Energieträger, ihr Brennwert ist dem der Kohle vergleichbar. Warum also soll Plastikmüll am Ende seines Lebenszyklus nicht auch verbrannt und zur Energieerzeugung genutzt werden?

Wenn wir an Kunststoffmaterialien wie Folien, PET-Flaschen oder Autoteile denken, dann haben wir es mit sogenannten Volumenmaterialien zu tun. Aber schon das Beispiel des Polyurethan-Teilchens hat gezeigt, dass Polymere oft in Form kleiner Teilchen erzeugt werden, wir sprechen von Polymerlatizes. Abbildung 6 gibt einen Überblick über die Längenskalen und erklärt, wie klein in unserer Materialwelt „klein“ ist. Gibt man eine Seife, also ein Molekül mit einem wasserfreundlichen Kopf und einem wasserunfreundlichen Schwanz, in Wasser, dann bilden sich Tröpfchen, sogenannte Mizellen, aus, deren Innenraum als Miniaturbehälter für wasserunfreundliche Moleküle wie Styrol dienen kann, welche dann in dieser begrenzenden Geometrie zu Polymeren reagieren können. Ein solches Verfahren, Polymere dispergiert in Wasser zu erzeugen, hat viele Vorteile für die Kontrolle des Prozesses, z. B. für die Ableitung der Reaktionswärme, es bietet aber auch die Möglichkeit, die Polymerteilchen später durch Verfilmung weiterzuverarbeiten.

Dass in der Nanowelt die Größe von Partikeln eine zentrale Rolle spielt, lässt sich an vielen Fällen belegen. So werden sehr oft anorganische Teilchen in polymere Filme eingearbeitet, um mechanische, elektrische, magnetische oder optische Eigenschaften zu verbessern. Es ist aber klar, dass diese Teilchen nicht zu groß

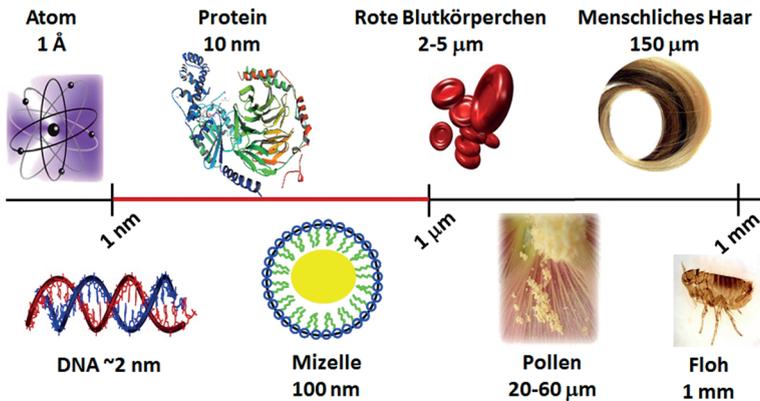


Abbildung 6: Einblick in die Welt des „Kleinen“.

werden dürfen, weil das Licht sonst an ihnen gestreut wird und die Filme eintrüben. Andererseits gibt es nanometergroße Halbleiterpartikel, z.B. Metalloxide, deren Farbe größenabhängig ist. Ein besonders spannender Fall ist schließlich die antibakterielle Ausrüstung von Implantaten. Postoperative Infektionen stellen bekanntermaßen ein arges Problem dar, zugemischte Antibiotika sind nicht langlebig genug, um Entzündungen sicher zu verhindern. Deshalb besteht eine Alternative darin, antibakterielle Silberteilchen in die Materialien zu inkorporieren. Solche Silberteilchen lassen sich erzeugen (Abbildung 7), indem man Silber, das mit einem Lösungsmittel überschichtet ist, durch Laserlicht bestrahlt und dadurch kleine Metallkügelchen „herausschießt“.⁸ Diese Teilchen würden aber sofort wieder zusammenbacken, wenn man sie nicht durch bestimmte Polymere in der Lösung umhüllte, dadurch am Aggregieren hinderte und zugleich in das Implantatmaterial einbaubar machte.

4. Baumartige Makromoleküle als Rezeptoren und Trägersysteme

Kommen wir nun auf die faszinierende Strukturvielfalt von Makromolekülen zurück und die Möglichkeit der Chemie, diese Strukturen auch gezielt herzustellen. Abbildung 8 zeigt das elektronenmikroskopische Bild eines porösen Polyurethan-Teilchens, das wir schon als Katalysatorträger verwendet haben, daneben ein einzelnes Makromolekül, das diesmal aber nicht kettenförmig, sondern dreidimensional ist. Anders als in einer Mizelle, die durch Zusammenlagerung kleiner Moleküle unter der Wirkung schwacher intermolekularer Kräfte zustandekommt, bildet sich das 3D-Makromolekül durch „feste“ Bindungen zwischen den einzelnen Atomen.

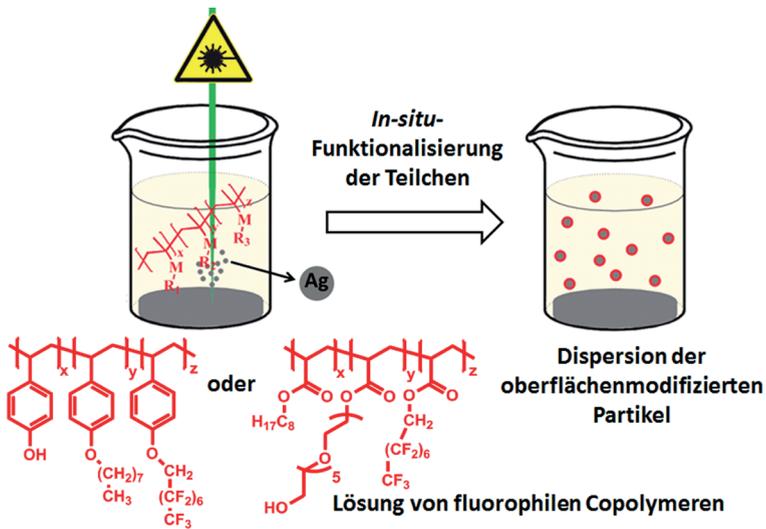
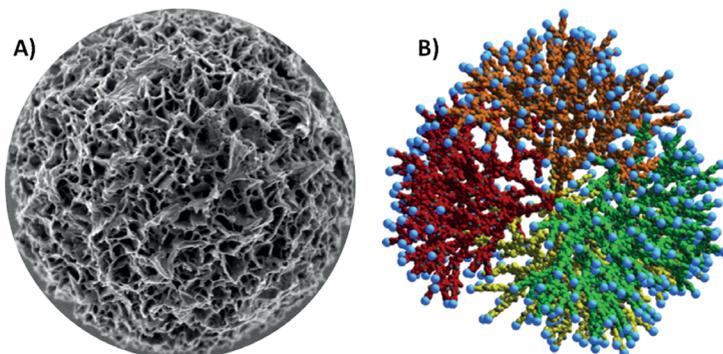


Abbildung 7: Antibakterielle Composite durch Laserablation.

Abbildung 8: A) Polymerlatex-Teilchen ($\phi = 20\text{--}1000\text{ nm}$); B) Dendrimer – eine unimolekulare Mizelle ($\phi = 2\text{--}50\text{ nm}$).

Der dreidimensionale Aufbau ist durch zunehmende Verzweigung von Ketten möglich, wir sprechen deshalb von einem baumartigen Molekül oder auch Dendrimer (Abbildung 9).

Wichtig ist, dass in einem solchen Dendrimer definierte nanoskopische Hohlräume zustandekommen, die sich für die Aufnahme von kleinen Gastmolekülen eignen.



Abbildung 9: Die Verzweigung eines Dendrimers ist der eines Baumes ähnlich⁹.

Ein besonders faszinierendes Beispiel eines dendrimeren Makromoleküls ist in Abbildung 10 gezeigt.¹⁰

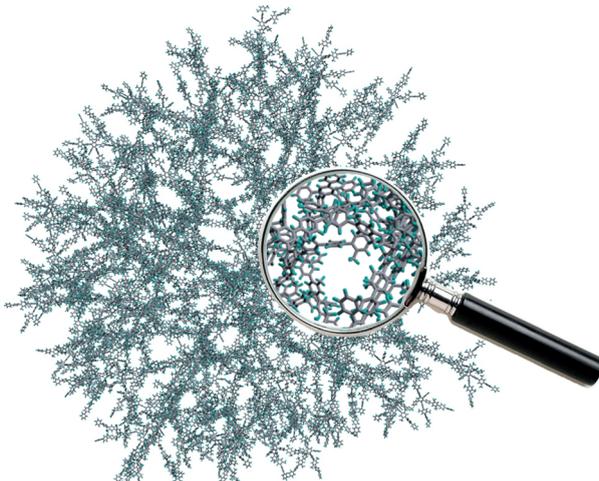


Abbildung 10: Graphische Darstellung eines Polyphenylen-Dendrimers höherer Generation.

Es ist wieder aus Benzol-Sechsecken aufgebaut, die diesmal weder zu Ketten noch zu flächenförmigen Honigwaben, sondern in alle drei Raumrichtungen „polymerisiert“ werden. An dieser Stelle ist es nötig, noch auf ein weiteres Strukturphänomen von Makromolekülen einzugehen. Deren Strukturen werden primär durch die Verknüpfung der kleinen Bausteine bestimmt, aber ebenso durch die räumliche Anordnung. Diese „Stereochemie“ kann sich aber durch Drehung um Atom-Atom-Bindungen verändern. In der Tat können viele Dendrimere, für die wir formal eine sphärische Struktur schreiben, durch solche Drehbewegungen flach wie ein Pfannkuchen werden. Anders ist das im Fall der aus Benzolringen aufgebauten Dendrimere: die Molekülarme können sich nicht beliebig verdrehen und verbiegen, so dass dieses 3D-Molekül formstabil wird. Es ist genau diese Eigenschaft, die für die Nanowissenschaften besondere Konsequenzen hat. Denn ein solches Dendrimer dient nun als Gerüst, in das wir zusätzliche chemische Funktionen wie Katalysatoren, Farbstoffe oder Aminosäuren mit perfekter Ortsdefinition einbauen können. Diese Formstabilität der Dendrimere haben wir ausgenutzt, um eine Rezeptorwirkung für die Sensorik zu erzeugen, wie sie sich etwa bei dem gasanalytischen Nachweis von Sprengstoffen bewährt hat. Hält man einen kleinen Staubsauger über ein Testobjekt und leitet die angesaugte Luft über eine Ultramikrowaage, deren Spitze mit unseren dendritischen Rezeptoren bedeckt ist, so fängt die perfekte Passform des Dendrimerinneren das flüchtige Sprengstoffmolekül ein und erlaubt seinen Nachweis bis hin in den Pikogramm-bereich (Abbildung 11).¹¹

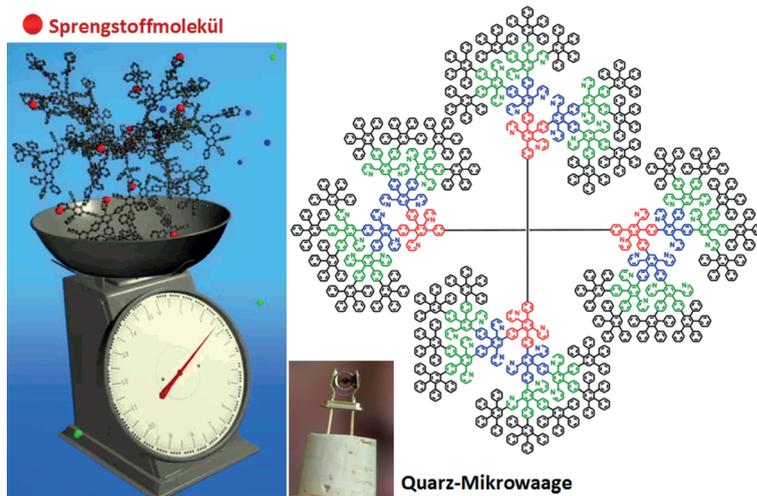


Abbildung 11: Dendritischer Rezeptor für die Sprengstoff-Sensorik.

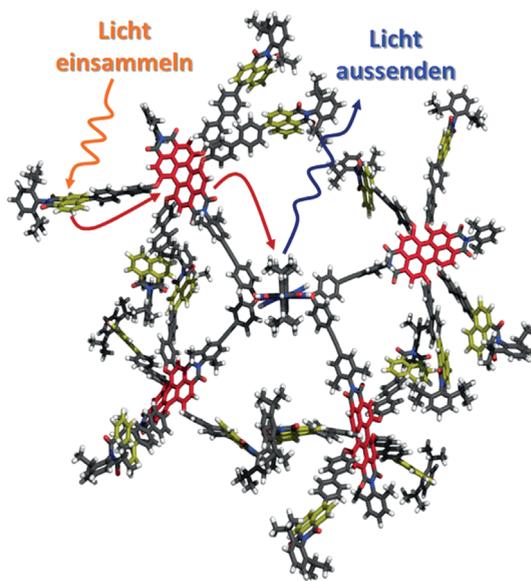


Abbildung 12: Lichtsammelsystem basierend auf einem Multichromophor-Dendrimer.

Zusätzlich zu dem Innenraum kann man unsere Dendrimere auch an der Oberfläche dekorieren. Was mit den Katalysator-Träger-Teilchen begonnen hat und sich mit den makromolekularen Rezeptoren für die Sprengstoffanalytik fortsetzt, findet nun eine weitergehende nanotechnologische Verfeinerung. Wir können (Abbildung 12) auf der Oberfläche Farbstoffmoleküle anbringen, die quasi als Antennen die Lichtenergie einsammeln. Bauen wir zusätzlich Farbstoffmoleküle in das Dendrimerinnere ein, die den Antennen ihre Anregungsenergie abnehmen, dann kann diese Energie nach innen weitergegeben und schliesslich von dort wieder ausgesandt werden.¹² So entstehen komplexe Lichtsammelsysteme, die wir sogar durch Einzelmolekülspektroskopie, also über die Fluoreszenz einzelner (!) Moleküle, nachgewiesen haben. Auf Details der entstehenden Photophysik lässt sich hier nicht eingehen, es ist aber faszinierend, dass wir nun die Wechselwirkung von Materie mit Licht nicht mehr gemittelt über Ensembles von vielen Molekülen, sondern am einzelnen Objekt verfolgen können.¹³

Die Oberflächenfunktionalisierung der Dendrimere kann aber noch in eine andere Richtung zielen. Es leuchtet ein, dass die aus Benzolringen aufgebauten Dendrimere wasserunlöslich sind, sich aber in organischen Lösungsmitteln lösen. Rüstet man die Oberfläche dieser Dendrimere mit wasserfreundlichen, salzartigen Funktionen aus, dann wird das gesamte 3D-Makromolekül wasserlöslich.

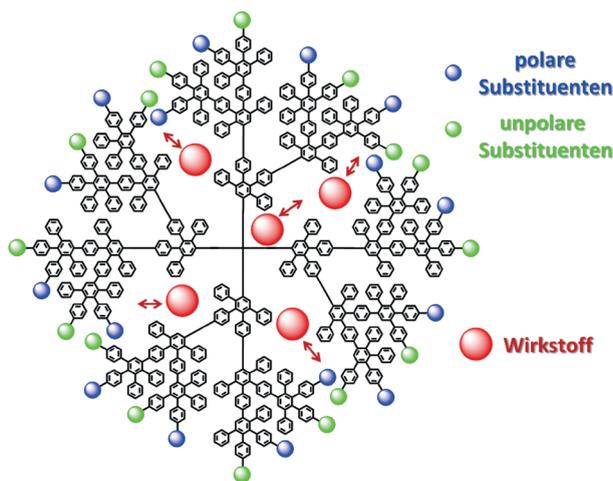


Abbildung 13: Funktionalisierte Dendrimere als Wirkstofftransporter.

Konzentriert man aber die Salzgruppen in kleinen Flecken auf der Oberfläche, dann „frustriert“ man jegliche Molekül-Solvens-Struktur, und die Makromoleküle werden sowohl in Wasser als auch in organischen Lösungsmitteln löslich (Abbildung 13).¹⁴ Die bemerkenswerte Folge ist, dass die Dendrimere auch durch die Wände von Zellen treten können. In dieser Hinsicht ähneln die gefleckten Dendrimere den Serumalbuminen, deren 3D-Struktur ebenfalls durch polare und unpolare Flecken ausgezeichnet ist und die in der Tat zur Formulierung von Wirkstoffen, etwa in der Tumorthherapie, eingesetzt werden. Wir haben nun an Endothelzellen festgestellt, dass die „gefleckten“ Dendrimere sogar in der Lage sind, die Blut-Hirn-Schranke zu durchschreiten. Man muss bedenken, dass unser Gehirn gegen den Zustrom fremder Stoffe enorm gut geschützt ist, was natürlich bei einer Therapie mit Medikamenten ein Problem darstellt. Die massgeschneiderten Dendrimere überwinden aber nicht nur die Blut-Hirn-Schranke, sondern sie besitzen auch Hohlräume, um als Vehikel für Wirkstoffe zu dienen.¹⁵ Weil sie zudem eine verschwindende Zelltoxizität aufweisen, bieten sich enorme Möglichkeiten des gezielten Wirkstofftransports, Möglichkeiten, die letztlich aus der verfeinerten Synthese komplexer Makromoleküle resultieren.

Ich habe bisher das Bild der Chemie als einer Wissenschaft gezeichnet, die gestützt auf gesicherte Struktur-Eigenschafts-Beziehungen komplexe Moleküle und Makromoleküle synthetisieren kann, also letzten Endes gewünschte Eigenschaften produziert. Zusätzlich haben wir diese Prinzipien auf die Kontrolle von Festkörper- und Grenzflächeneigenschaften erweitert. Befragt man den Laien,

welche gesellschaftlichen Zukunftsprobleme Innovationen im Bereich von Naturwissenschaft und Technik besonders notwendig machen, dann fallen die Namen der üblichen „Verdächtigen“, nämlich Gesundheit, Energie, Wasser oder Nachhaltigkeit. Ob wir über Energietechnologie, medizinische Diagnostik und Therapie oder über Meerwasserentsalzung reden, man sollte sich verdeutlichen, dass alle diese Prozesse eng an die vorhandenen Stoffe und Materialien geknüpft sind. Ohne stoffliche „materielle“ Innovation lässt sich also unser Lebensstandard nicht sichern. Chemie als die Wissenschaft der Stoffe ist also einerseits Bildungsauftrag und andererseits allgegenwärtige Technologiegrundlage.

5. Materialien für Energietechnologien

Ich wende mich, um diesen Gedanken weiterzuentwickeln, den Energietechnologien zu. Naheliegendes Ziel in einer solchen Entwicklungskette ist die Energieeinsparung, und es ist erstaunlich, eine welche zentrale Rolle Kunststoffe in diesem Umfeld spielen. Auf „leichte“ Verpackungen wurde schon eingegangen, aber in dasselbe Umfeld gehört der Leichtbau. Im Flugzeug- und Automobilbau leichte, aber mechanisch trotzdem stabile Werkstoffe zu benutzen, macht Kunststoffe unverzichtbar. Allerdings müssen diese durch den gleichzeitigen Einbau von Kohlefasern verstärkt werden. Wärmedämmung wiederum verwendet nanoporöse Materialien, weil Luft der beste Isolator ist. Das bereits erwähnte Aufschäumen von Kunststoffen mag trivial erscheinen, stellt aber beträchtliche Herausforderungen an Synthesetechnologie und Verarbeitung.

Gleiches gilt für die beiden anderen Felder der Energietechnologie, nämlich Energieumwandlung und Energiespeicherung. Dies ist nicht der Ort, über die Verwendung fossiler Brennstoffe und die dramatische Erderwärmung zu reden, genauso wenig über die Vor- und Nachteile der Energiewende. Aber die Rolle der Materialien ist klar. Die Faszination der Photovoltaik, also der Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie, liegt auf der Hand, wenn man bedenkt, dass das während einer Stunde auf die Erde einfallende Sonnenlicht, könnte man es komplett nutzen, den Jahresenergiebedarf der Weltbevölkerung decken würde. Auf die Stoffe, die das Licht einsammeln und dessen Anregungsenergie in elektrische Ladungen umwandeln, wird weiter unten einzugehen sein. Es ist aber hinzuzufügen, dass Windräder ohne die Materialien des Leichtbaus nicht funktionstüchtig wären. Betrachten wir, um die Rolle der Materialien noch aus einem anderen Blickwinkel zu beleuchten, die Brennstoffzelle. Eine Brennstoffzelle soll Wasserstoff und Sauerstoff in kontrollierter Form zur Reaktion bringen und die dabei freiwerdende Energie für Antriebe zu nutzen. Die Propagandisten der sogenannten Elektromobilität sagen uns aber nicht, woher wir den Wasserstoff beziehen, wie wir ihn speichern und wie wir die Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff wirklich bewerkstelligen. Dazu braucht es Katalysatoren. Üblicherweise wird Platin verwendet, aber unsere Welt besitzt nicht genügend

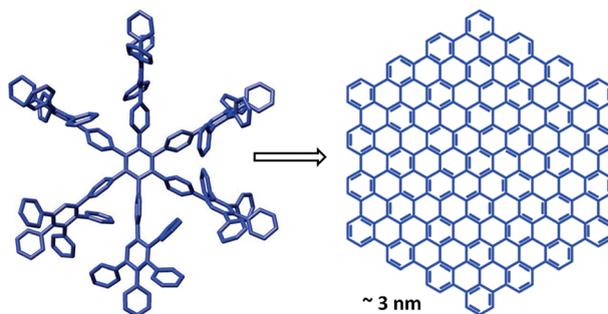


Abbildung 14: Vom dendritischen Polyphenylen zum polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoff mit 222 Kohlenstoffatomen.

Platin, um wachsende Zahlen von Automobilen mit Brennstoffzellen antreiben zu können. An dieser Stelle komme ich auf Graphene zurück, also 2D-Polymere aus Netzwerken von Benzolringen, die den Honigwaben ähneln. Graphen ist, wie schon erklärt, ein zweidimensionaler Ausschnitt, also eine einzelne Scheibe aus dem Graphitgitter. Graphen hat faszinierende elektronische Eigenschaften. Die Fähigkeit von Materialien, Ladungen über große Bereiche zu transportieren, haben wir schon bei den aus Benzol aufgebauten Ketten kennengelernt. Im Graphen kann nun ein solcher Ladungstransport mit besonders hoher Mobilität erfolgen. Diese elektronischen Eigenschaften wurden erstmals von Andre Geim und Konstantin Novoselov beschrieben, die dafür im Jahre 2010 den Nobelpreis für Physik erhielten. Sie gewannen ihr Graphenmaterial in kleinsten Mengen durch Abpellen aus Graphit mit Hilfe eines Klebebandes. Auch wenn dieses Verfahren für physikalische Messungen ausreicht, wird es keineswegs die Grundlage für neue Technologien auf Basis von Graphen sein. Das wiederum wirft die Frage nach der Graphensynthese auf. Man kann Graphen, besser als durch mechanisches Abpellen mit Klebestreifen, auch aus dem Graphitgitter herauslösen, wenn man in einem elektrochemischen Verfahren eine Spannung anlegt.¹⁶ Man würde in diesen Fällen von einer „top-down-Technik“ sprechen, weil man vom makroskopischen Material ausgeht. Umgekehrt kann man Graphen durch „Zusammenfügen“ der Benzol-Sechsringe synthetisieren. Wir würden dann von einem „bottom-up-Verfahren“ reden. Zwischenglied zwischen dem Benzol und der makroskopischen Graphenfläche sind, wie eingangs erwähnt, die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAKs).¹⁷ Das von uns eingeführte Verfahren, PAKs, also gewissermaßen nanometergroße Modellgraphene, sowie ausgedehnte Graphene zu synthetisieren, beruht darauf, dendritische (verzweigte) Benzolpolymere zu planarisieren.¹⁸ Diese Einebnung geschieht dadurch, dass man den Sechsringen ihre anhaftenden Wasserstoffe wegnimmt und sie in die Honigwabenstruktur „kondensiert“ (Abbildung 14).

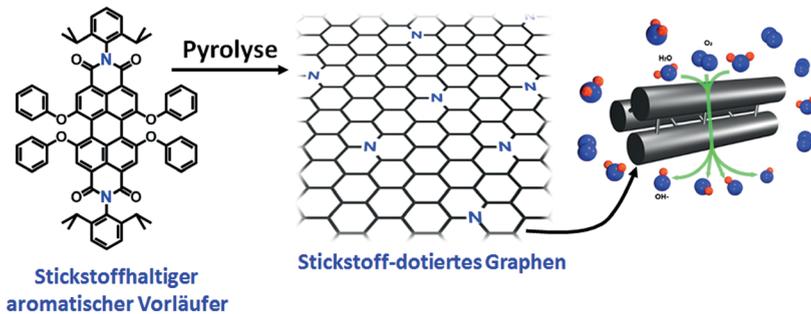


Abbildung 15: Stickstoff-dotiertes Graphen als metallfreier Katalysator für die Sauerstoffreduktion in Brennstoffzellen.

Nach diesem Exkurs in die chemische Synthese von Graphenen komme ich zurück auf den Katalysator der Sauerstoffreduktion. Theoretische Voraussagen ließen erwarten, dass Graphene, in denen einzelne Kohlenstoffatome durch Stickstoffe ersetzt sind, ebenso katalytisch wirksam sind, und genau das konnten wir beweisen. Aber wiederum, wie erzeugt man stickstoffdotierte Graphene? Die Lösung dieser Frage ist bezeichnend für das komplexe Instrumentarium der Chemie. Man kann Graphit erst oxidieren, es dadurch in dispergierbare Sauerstoffderivate von Graphen überführen und anschließend diese oxidierte Form in Gegenwart von stickstoffhaltigen Verbindungen zwecks Stickstoffeinbaus einer thermischen Behandlung unterziehen. Alternativ kann man Graphenschichten auf Metalloberflächen durch Abscheidung kleiner Kohlenstofffragmente aus der Gasphase erzeugen, und man kann stickstoffhaltige organische Verbindungen unter gleichzeitiger Kontrolle der notwendigen Porosität einer Pyrolyse unterwerfen. Abbildung 15 zeigt, dass aus einem industriell verwendeten Farbstoff auf diese Weise ein nützlicher Katalysator für die Sauerstoffreduktion entsteht, ein Katalysator, der, wie elektrochemisch bewiesen werden kann, dem Platin sogar überlegen ist.¹⁹

Nun wird dem Synthesechemiker, der an die präzise Kontrolle seiner Verfahren und der resultierenden Molekülstrukturen gewöhnt ist, angesichts solch eines „Koch- und Back-Prozesses“ Unwohlsein beschleichen: er weiß nicht, welche Umlagerungsprozesse tatsächlich erfolgen, welchen Bindungszustand die Stickstoffzentren haben und warum das resultierende Material katalytisch wirksam ist. Es sei deshalb zu seiner Beruhigung hinzugefügt, dass wir auch Makromoleküle perfekt definierter Struktur unter Einbau von Stickstoffen in die Peripherie der Moleküle synthetisiert haben und in der Folge auch die Wirkungsweise der Katalyse verstehen können. Allerdings kann man aus diesem

Beispiel der Katalyse der Sauerstoffreduktion eine wichtige Lehre zu ziehen. Man muss den Synthesaufwand und die zu erzielende materialwissenschaftliche Funktion in Einklang bringen, nicht alle Materialien erfordern vielstufige Synthesen. Schließlich ist die Effizienz der Materialerzeugung mit entscheidend dafür, ob sich eine nützliche Funktion auch in einer Anwendung bzw. am Markt durchsetzt. Es ist deshalb lohnend, noch einmal auf das zentrale Konzept der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen zurückzukommen. Die Optimierung des Katalysatormaterials geschieht hier durch den Einbau von Stickstoffzentren. Man kann aber auch zu einer komplexeren Struktur fortschreiten, einem sogenannten Hybridmaterial, in dem neben stickstoffhaltigen Graphenen billige Metalle, z.B. Eisenoxide vorkommen, so dass die katalytisch aktiven Stellen aus Stickstoff-Eisen-Zentren bestehen.

Energie, wie auch immer wir sie umwandeln, fällt nicht immer da an, wo sie benötigt wird, was die Frage nach der Energiespeicherung aufwirft. Jedermann geläufig ist ein Speicherkraftwerk: man pumpt Wasser in ein höheres Niveau und wandelt später die so gespeicherte potentielle Energie wieder in elektrische Energie um. Eine Batterie, Sinnbild der elektrischen Energiespeicherung, vollzieht im Grunde nichts anderes. Während, wie schon erwähnt, Batterien für mobile Anwendungen, also wiederum etwa im Automobilbau, unverzichtbar sind, sind sie für die Speicherung größerer Energiemengen nicht geeignet. Hier ist der einzige Weg die Speicherung in Form von energiereichen chemischen Stoffen wie Wasserstoff oder Methanol. Es ist überflüssig zu sagen, dass eine solche chemische Energiekonversion nur auf Basis einer hoch entwickelten Katalysatorchemie möglich ist. Was aber die Batterietechnologie angeht, so setzt sich z. B. eine Lithiumionenbatterie aus einer Sequenz unterschiedlicher Komponenten zusammen, von denen hier die Kathode und Anode betrachtet seien, zwischen denen Ladungen hin und her „gepumpt“ werden. Aus elektrochemischer Sicht stellen sich also die Fragen, wie effizient die Elektrodenmaterialien Ladung speichern und wie schnell die so gespeicherte Energie abfließen kann. Es gibt eine ganze Reihe von Konzepten, die wiederum mit der elektronischen Struktur der Speichermaterialien, aber eben auch mit ihrer Anordnung im Festkörper zusammenhängen. Superkondensatoren, „Batterien“ für das besonders schnelle Be- und Entladen, haben wir in Form weniger Multilagenn von Graphenen gebaut, wobei die Lithiumionen besonders rasch von der Seite in die Zwischenräume der Schichten einströmen können.²⁰ Wir haben allerdings auch gelernt, dass hinsichtlich der Ladungsspeicherkapazität anorganische Materialien wie Silizium oder Metalloxide den Kohlenstoffmaterialien deutlich überlegen sind. Allerdings haben jene Materialien bei allen elektronischen Vorteilen den morphologischen Nachteil, beim Ein- und Auslagern der Ionen nicht stabil zu bleiben. Das wiederum lässt sich beheben, indem man hybride Materialien erzeugt, in denen Graphenschichten die anorganischen Teilchen umhüllen – wir sprechen von Kern-Schale-Nanoteilchen – und ihnen dadurch Halt geben.²¹

6. Plastik und Elektronik

Wenn wir auf die bisher behandelten Materialstrukturen zurückblicken, dann sind Kohlenstoffatome ihre wichtigsten Bestandteile. Das Element Kohlenstoff zeichnet sich durch eine enorme Vielfalt von Bindungsmöglichkeiten aus, die zu einem eigenen Zweig der Chemie, der Organischen Chemie, geführt haben. Als Teil von Molekülen, vielfach mit Wasserstoff als zusätzlichem Bindungspartner, ist uns Kohlenstoff schon im Polyethylen begegnet, das Plastikmolekül ist also letztlich eine Kette aus Kohlenstoffatomen, oder im Benzolring, einem Sechseck aus Kohlenstoffen, und schließlich im Graphen, einem Gitter aus vielen Kohlenstoff-Sechsecken. Eine besonders faszinierendes Charakteristikum von solchen kohlenstoffreichen Molekülen sind, wie schon beschrieben, bewegliche „delokalisierte“ Elektronen, denn das qualifiziert diese Strukturen zum Transport von Ladungen wie in metallischen Leitern oder Halbleitern. Während der bei weitem wichtigste Halbleiter das anorganische Material Silicium ist, gibt es auch eine Vielzahl kleiner organischer Moleküle und kohlenstoffreicher Makromoleküle, die Halbleitercharakteristika besitzen.

Dies führt uns zurück auf ein wichtiges elektronisches Bauelement, die sogenannte Solarzelle (Abbildung 16A). Unter den vielen Möglichkeiten, eine solche zu realisieren, greifen wir einen besonderen Fall heraus: eine ladungsreiche (Donor D) und eine ladungsarme (Akzeptor A) organische Verbindung sind gleichzeitig in einen dünnen Film eingearbeitet, und Licht bewirkt eine Elektronenübertragung vom Donor in den Akzeptor.²² Die entstehenden positiven und negativen Ladungen bewegen sich zu ihren Elektroden, und es kommt zum Aufbau einer Spannung. Moleküle elektronenreich bzw. elektronenarm zu machen, das ist durchaus Teil des Handwerkszeuges der organischen Chemie. Ein Elektronendonator D entsteht z.B. dadurch, dass man vom Benzol zum Thiophen übergeht, einem Fünfring, der aus vier Kohlenstoffen und einem Schwefelatom aufgebaut ist. Die Ladungstrennung, wenn man so will, der Zerfall des elektronisch angeregten Zustandes in ein Paar von positiven und negativen Ladungen, erfolgt an der Grenzfläche zwischen D und A. Danach brauchen die Ladungen einen möglichst ungestörten Wanderungsweg, um entlang von Donoren- bzw. Akzeptoren zu ihren Elektroden zu gelangen. Wiederum ist also die Packung im Festkörper genauso wichtig wie die molekulare Struktur.

Unter den elektronischen und optoelektronischen Bauelementen nehmen die Leuchtanzeigen (LEDs) einen zunehmend wichtigen Platz ein (Abbildung 16B). Ihre Funktion ist auch dem Laien leicht dadurch zu erklären, dass man die Wirkungsweise der Solarzelle „auf den Kopf stellt“. Man injiziert nämlich durch zwei Elektroden positive und negative Ladungen in einen dazwischen liegenden Film. Die Ladungen treffen sich in dem Material, rekombinieren und senden ihre Überschussenergie in Form von Licht aus. Wie in jedem Bauelement ist die Effizienz eine zentrale Frage. In der Solarzelle wollen wir Photonen möglichst effizient in

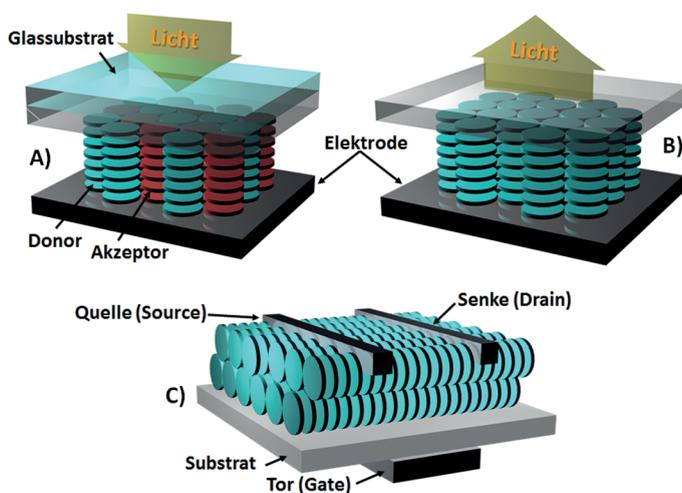


Abbildung 16: Elektronische Bauelemente auf Polymerbasis; A) organische Solarzelle; B) organische Leuchtdiode; C) organischer Feldeffekttransistor.

Ladungen, in der lichtemittierenden Diode Ladungen möglichst effizient in Licht umwandeln. Aber auch in einer LED geht es um die Funktionskontrolle durch gezielte Einstellung der molekularen und supramolekularen Struktur. Schließlich wollen wir Licht einer bestimmten Wellenlänge (Farbe) für die Leuchtanzeige erzeugen, und das, so haben wir gesehen, lässt sich über die Struktur der Emittermoleküle präzise bestimmen.²³

Ein Überblick über die elektronischen Bauelemente wäre nicht vollständig, ohne auf Feldeffekttransistoren (FETs) einzugehen, die letztenendes als durch ein elektrisches Feld betriebener Schalter zu betrachten sind (Abbildung 16C).²⁴ Mittels zweier Elektroden wird in eine Halbleiterschicht Ladung injiziert, und dieser Strom wird dann durch das Feld einer weiteren Elektrode gesteuert. Es leuchtet ein, dass man Schalter möglichst schnell „umlegen“ möchte, und dafür ist die Beweglichkeit der Ladungen im Film von zentraler Bedeutung. Diese Mobilität wiederum hängt empfindlich von der Art der Packung der Moleküle im Festkörper ab, so dass die Ladungen möglichst rasch zwischen den Molekülen hüpfen können. Erneut sieht sich die Chemie vor die Frage gestellt, die „richtigen“ Halbleitermoleküle zu erzeugen und diese zugleich in eine reguläre Packung anzuordnen. Dieses Ziel wird in jüngster Zeit vor allem dadurch angestrebt, dass man in ein Polymer alternierend ladungsreiche (Donor) und ladungsarme Moleküle (Akzeptor) einbaut (Abbildung 17).²⁴ Wir prägen also einem Makromolekül nicht nur die Eigenschaften auf, die es als Halbleiter qualifizieren, sondern wir codieren auch den Bauplan für die supramolekulare Ordnung.

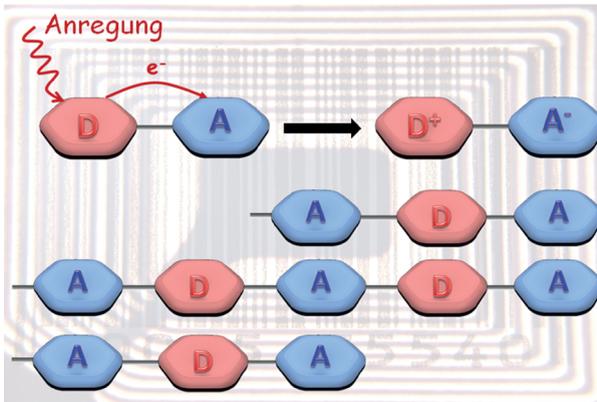


Abbildung 17: Lichtinduzierte Ladungstrennung in einem Donor-Akzeptor-Paar und die Packung von Polymeren mit alternierender Donor- und Akzeptor-Anordnung.

An dieser Stelle lohnt es sich, auf die Tatsache zurückzukommen, dass Graphenschichten durch eine ausgesprochen hohe Ladungsbeweglichkeit ausgezeichnet und deshalb sehr gute Halbleiter-Kandidaten für FETs sind. Nur haben Graphene als weitere charakteristische Eigenschaft eine verschwindende Energielücke zwischen besetzten und unbesetzten Energieniveaus. Wir müssen auf diese Besonderheit nicht näher eingehen, sie führt aber dazu, dass ein auf Graphen basierender Schalter nie „aus“ wäre, also immer ein Strom flösse, und das kann technologisch betrachtet nicht unser Ziel sein. Auch an dieser Stelle wiederum bewährt sich die Struktur-Eigenschafts-Korrelation, die uns erlaubt, die elektronischen Charakteristika präzise einzustellen. Die Theorie sagt nämlich voraus, dass man statt der zweidimensionalen Schicht von Graphen sogenannte Graphennanostreifen mit einer geometrischen Begrenzung erzeugen müsse, Graphenstrukturen also, die

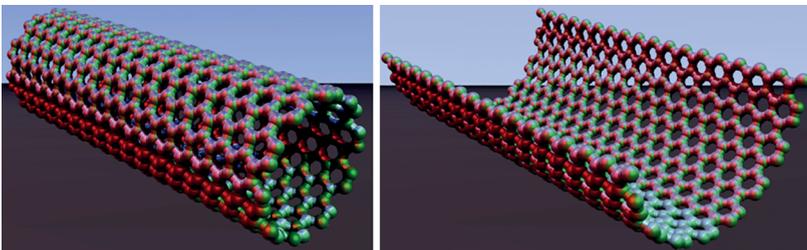


Abbildung 18: Graphennanostreifen aus Kohlenstoffnanoröhren der Länge nach aufgetrennt.²⁵

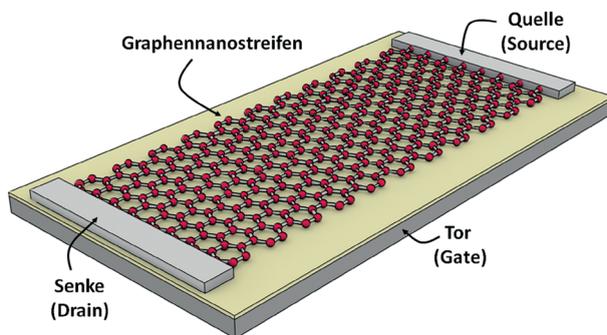


Abbildung 19: Graphennanostreifen: Zweidimensionale Halbleiter für organischen Feldeffekttransistor.¹

ein hohes Längen-Breiten-Verhältnis haben. In der Tat haben angesichts dieser Voraussage viele Materialwissenschaftler versucht, solche Graphennanostreifen zu erzeugen, und meistens wurden dazu drastische Bedingungen verwendet wie etwa das Aufschneiden von Kohlenstoffnanoröhren (Abbildung 18) durch starke Oxidationsmittel oder durch energiereiche Strahlung. Man braucht nicht viel Phantasie dazu, um zu erkennen, dass auf diese Weise viele Strukturdefekte zustandekommen.

Es ist allein unser synthetisches Verfahren der Planarisierung dreidimensionaler benzolreicher Vorläuferverbindungen, das es erlaubt, strukturperfekte Graphennanostreifen zu erzeugen. Weil aber diese Graphennanostreifen zu Filmen verarbeitet werden müssen, ist es ebenso wichtig, jene in organischen Lösungsmitteln löslich zu machen, und genau das konnten wir erreichen.²⁶ Deshalb wird es nun möglich, Streifenmoleküle bis zu 600 nm lang zwischen Elektroden anzuordnen und Strom-Spannungs-Kennlinien, die Grundlage für einen FET, aufzunehmen (Abbildung 19).

Die Anforderungen an Strukturperfektion bei derart großen Molekülen führen aber auch die verfeinerten Synthesemethoden an ihre Grenzen. Wir haben uns deshalb als Alternative zu den in Lösung durchzuführenden Synthesen noch eine Methode ausgedacht, bei der wir auf eine Zusammenarbeit mit Oberflächenphysikern wie Roman Fasel (EMPA Dübendorf, Schweiz) angewiesen sind.²⁷ Da wir Makromoleküle ohnehin auf Oberflächen benötigen, lag die Idee nahe, diese Synthesen gleich auf der Oberfläche durchzuführen. Dazu wurden kleine Moleküle im Ultrahochvakuum auf eine Metalloberfläche aufgedampft, an den geeigneten Kohlenstoffzentren durch thermische Anregung aktiviert, sie wanderten aufeinander zu und bildeten die gewünschten Graphennanostreifen. Das Faszinierende daran ist, dass man den Prozess der Polymerentstehung mit physikalischen Methoden wie der Rastertunnelmikroskopie verfolgen und sogar die gewünschte

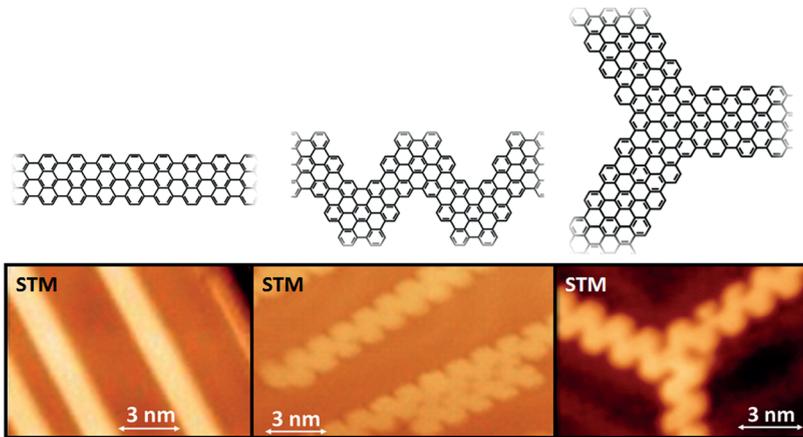


Abbildung 20: Graphennanostreifen unterschiedlicher Topologien, durch Rastertunnelmikroskopie sichtbar gemacht.²⁸

Strukturperfektion im realen Raum nachweisen kann. Die Immobilisierung der Vorläufermoleküle auf Substratoberflächen und die Steuerung ihrer Polymerisation werden völlig neue Möglichkeiten der Synthese von Kunststoffen, dünnen Schichten und Leiterbahnen ermöglichen. Auch hier wiederum bewährt sich also die Arbeitsweise der Chemie: durch die Wahl des kleinen Bausteins steuern wir die Form der Streifen und damit die elektronischen Charakteristika (Abbildung 20).

Zusätzlich können wir Heteroatome wie Stickstoff oder Bor einbauen, so dass diesmal eine Dotierung und damit die Kontrolle der elektronischen Eigenschaften mit extremer Präzision möglich werden.²⁹ Die Zukunft wird weisen, ob Graphennanostreifen, nicht zuletzt bei der Miniaturisierung elektronischer Bauelemente, das Potential haben, Silicium als Halbleiter teilweise abzulösen. Aber weit vor solchen Anwendungen mit hohem Verfeinerungsgrad bieten kohlenstoffreiche Polymere mit eindimensionaler, zweidimensionaler oder dreidimensionaler Struktur enorme Möglichkeiten für Anwendungen, von der leitfähigen Tinte bis zum Ladungsspeicher, vom Katalysator bis hin zum Photodetektor im künstlichen Sehen.

7. Chemie in der Mitte

Wir haben somit den Bogen geschlagen von der Plastiktüte zum Sensor, vom Nanotransporter für Medikamente bis hin zum elektronischen Halbleiter. Allen Anwendungen zugrunde liegt die enorme Fähigkeit der Chemie, durch präzise Kontrolle der molekularen und supramolekularen Struktur die gewünschten Ei-

genschaften gezielt herzustellen. Es steht außer Frage, dass die Chemie etwa in der Tumorthherapie oder in der Fabrikation von elektronischen Bauelementen mit den Nachbargebieten wie Biologie, Medizin und Physik in enger Wechselwirkung stehen muss. Aber ebenso klar ist, dass die Chemie viel mehr ist als Servicedisziplin, denn die wissenschaftlichen Fortschritte hängen untrennbar mit den verwendeten Materialien und deshalb der Wissenschaft von den Stoffen zusammen.

Wenn ich am Anfang meinen Lehrern gedankt habe, so darf zum Schluss der Dank an meine Mitarbeiter und Schüler nicht fehlen. Sie haben mich Vieles gelehrt. Nicht immer haben sie gemacht, was sie sollten, aber das war gut so.

Referenzen

1. This work by JAMES HEDBERG is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License.
2. a) A. STABEL, P. HERWIG, K. MÜLLEN, J. RABE, *Angew. Chem. Int. Ed.* 1995, 34, 1609; b) M. D. WATSON, A. FECHTENKÖTTER, K. MÜLLEN, *Chem. Rev.* 2001, 101, 1267.
3. E. CLAR, "Polycyclic Hydrocarbons" 1964 London, New York, Academic Press.
4. Patent DBP 973626, 1953 „Verfahren zur Herstellung von hochmolekularen Polyäthylenen“, Erfinder: K. ZIEGLER, H. BREIL, E. HOLZKAMP, H. MARTIN
5. M. KLAPPER, D. JOE, S. NIETZEL, J.W. KRUMPFER, K. MÜLLEN, *Chem. Mater.* 2014, 26, 802.
6. R. DORRESTEIJN, S. NIETZEL, D. JOE, Y. GERKMANN, G. FINK, M. KLAPPER, K. MÜLLEN, *J. Polym. Sci.* 2014, 52, 450.
7. <http://www.plasticoceans.net/the-facts/energy-consumption/>
8. a) S.H. STELZIG, C. MENNEKING, M.S. HOFFMANN, K. EISELE, S. BARCIKOWSKI, M. KLAPPER, K. MÜLLEN, *Eur. Polym. J.* 2011, 47, 662; b) J.W. KRUMPFER, T. SCHUSTER, M. KLAPPER, K. MÜLLEN, *Nano Today* 2013, 8, 417.
9. eigene Aufnahme L. GHERGHEL.
10. C.G. CLARK, R.J. WENZEL, E.V. ANDREITCHENKO, W. STEFFEN, R. ZENOBI, K. MÜLLEN, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 3292.
11. a) D. LUBCZYK, C. SIERING, J. LORGEN, Z.B. SHIFRINA, K. MÜLLEN, S.R. WALDVOGEL, *Sens. Actuators B* 2010, 143, 561; b) D. LUBCZYK, M. GRILL, M. BAUMGARTEN, S.R. WALDVOGEL, K. MÜLLEN, *ChemPlusChem* 2012, 77, 102; c) M. BRUTSCHY, D. LUBCZYK, K. MÜLLEN, S.R. WALDVOGEL, *Anal. Chem.* 2013, 85, 10526.
12. a) I. OESTERLING, K. MÜLLEN, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 4595; b) T. WEIL, T. VOSCH, J. HOFKENS, K. PENEVA, K. MÜLLEN, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2010, 49, 9068.

13. a) J.A. HUTCHISON, H. UJI-I, A. DERES, T. VOSCH, S. ROCHA, S. MÜLLER, A.A. BASTIAN, J. ENDERLEIN, H. NOUROUZI, C. LI, A. HERRMANN, K. MÜLLEN, F. DE SCHRYVER, J. HOFKENS, *Nature Nanotech.* 2014, 9, 131; b) S. STÖTTINGER, G. HINZE, G. DIEZEMANN, I. OESTERLING, K. MÜLLEN, T. BASCHÉ, *Nature Nanotech.* 2014, 9, 182.
14. a) R. STANGENBERG, I. SAEED, S. LING KUAN, M. BAUMGARTEN, T. WEIL, M. KLAPPER, K. MÜLLEN, *Macromolec. Rapid Commun.* 2014, 35, 152; b) R. STANGENBERG, Y. WU, J. HEDRICH, D. KURZBACH, D. WEHNER, G. WEIDINGER, S.L. KUAN, M.I.JANSEN, F. JELEZKO, H.J. LUHMANN, D. HINDERBERGER, T. WEIL, K. MÜLLEN, *Adv. Healthcare Mater.* 2014, DOI: 10.1002/adhm.201400291.
15. a) K. EISELE, R. GROPEANU, A. MUSANTE, G. GLASSER, C. LI, K. MÜLLEN, T. WEIL, *Macromol. Rapid Commun.* 2010, 31, 1501; b) S.L. KUAN, B. STÖCKLE, J. REICHENWALLNER, D.Y.W. NG, Y. WU, M. DOROSHENKO, K. KOYNOV, D. HINDERBERGER, K. MÜLLEN, T. WEIL, *Biomacromolecules*, 2013, 14, 367.
16. L. CHEN, Y. HERNANDEZ, X.L. FENG, K. MÜLLEN, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2012, 51, 7640
17. a) K. MÜLLEN, *Adv. Polym. Sci.* 2013, 262, 61; b) Y.-Z. TAN, B. YANG, K. PARVEZ, A. NARITA, S. OSELLA, D. BELJONNE, X.L. FENG, K. MÜLLEN, *Nature Commun.* 2013, doi:10.1038/ncomms3646.
18. C.D. SIMPSON, J.D. BRAND, A.J. BERRESHEIM, L. PRZYBILLA, H.J. RÄDER, K. MÜLLEN, *Chem. Eur. J.* 2002, 6, 1424.
19. R.L. LIU, D.Q. WU, X.L. FENG, K. MÜLLEN, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2010, 49, 2565.
20. Z.-S. WU, K. PARVEZ, X.L. FENG, K. MÜLLEN, *Nature Commun.* 2013, DOI: 10.1038/ncomms3487.
21. S.B. YANG, X.L. FENG, S. IVANOVICI, K. MÜLLEN, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2010, 49, 8408.
22. L. SCHMIDT-MENDE, A. FECHTENKÖTTER, K. MÜLLEN, E. MOONS, R.H. FRIEND, J.D. MACKENZIE, *Science* 2001, 293, 1119.
23. a) T. QIN, J. DING, L. WANG, M. BAUMGARTEN, G. ZHOU, K. MÜLLEN, *J. Am. Chem. Soc.* 2009, 131, 14329; b) R. TRATTNIG, L. PEVZNER, M. JÄGER, R. SCHLESINGER, M.V. NARDI, G. LIGORIO, C. CHRISTODOULOU, N. KOCH, M. BAUMGARTEN, K. MÜLLEN, E.J.W. LIST, *Adv. Funct. Mater.* 2013, 23, 4897.
24. a) S.H. WANG, M. KAPPL, I. LIEBEWIRTH, M. MÜLLER, K. KIRCHHOFF, W. PISULA, K. MÜLLEN, *Adv. Mater.* 2012, 24, 417; b) D. NIEDZIALEK, V. LEMAUR, D. DUDENKO, J. SHU, M.R. HANSEN, J.W. ANDREASEN, W. PISULA, K. MÜLLEN, J. CORNIL, D. BELJONNE, *Adv. Mater.* 2013, 25, 1939; c) Z.B. HENSON, K. MÜLLEN, G.C. BAZAN, *Nature Chem.* 2012, 4, 699.
25. http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube, Picture by Arnero – Own work.
26. a) A. NARITA, X.L. FENG, Y. HERNANDEZ, S.A. JENSEN, M. BONN, H. YANG, I.A. VERZHBITSKIY, C. CASIRAGHI, M.R. HANSEN, A.H.R. KOCH, G. FYTAS, O. IVASENKO, B. LI,

- K.S. MALI, T. BALANDINA, S. MAHESH, S. DE FEYTER, K. MÜLLEN, *Nature Chem.* 2014, 6, 126; b) „Chips vom Blatt“ CHRISTIAN J. MEIER, *Max Planck Forschung. Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck Gesellschaft*, 2013, 4, 34; c) „Graphen aus dem Chemielabor“ KLAUS MÜLLEN, *Spektrum der Wissenschaft*, August 2012, 8, 2.
27. a) J. CAI, P. RUFFIEUX, R. JAAFAR, M. BIERI, T. BRAUN, S. BLANKENBURG, M. MUOTH, A.P. SEITSONEN, M. SALEH, X.L. FENG, K. MÜLLEN, R. FASEL, *Nature* 2010, 466, 470; b) M. TREIER, C.A. PIGNEDOLI, T. LAINO, R. RIEGER, K. MÜLLEN, D. PASSERONE, R. FASEL, *Nature Chem.* 2011, 3, 61.
 28. STM picture reproduced from reference 27a with permission from the Nature publishing group and Macmillan publishers
 29. J. CAI, C.A. PIGNEDOLI, L. TALIRZ, P. RUFFIEUX, H. SÖDE, L. LIANG, V. MEUNIER, R. BERGER, R. LI, X.L. FENG, K. MÜLLEN, R. FASEL, *Nature Nanotech.* 2014, 9, 896.

DIE BRAUNSCHWEIGISCHE WISSENSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT

VERLEIHT DIE

CARL FRIEDRICH GAUSS-MEDAILLE

HERRN

PROF. DR. DR. h. c.
KLAUS MÜLLEN

MAINZ

FÜR SEIN LEBENSWERK IN ANERKENNUNG SEINER GRUNDLEGENDEN BEITRÄGE ZUR CHEMIE POLYCYCLISCHER AROMATISCHER KOHLENWASSERSTOFFE, INSBESONDERE DER ENTWICKLUNG LEISTUNGSFÄHIGER SYNTHESMETHODEN ZUR HERSTELLUNG EINDEUTIG CHARAKTERISierter GRAPHENAUSSCHNITTE. DIE ANWENDUNG DIESER HALBLEITERMATERIALIEN REICHT VON DER VERWENDUNG IN ELEKTRONISCHEN BAUELEMENTEN BIS ZUR NUTZUNG ALS NANOKOMPOSITE IN HOCHLEISTUNGSBATTERIEN.

DIE WELTWEIT MIT HÖCHSTER ANERKENNUNG BEACHTETEN ARBEITEN VON KLAUS MÜLLEN AN DER SCHNITTSTELLE VON ORGANISCHER CHEMIE UND DEN MATERIALWISSENSCHAFTEN HABEN ZU MOLEKÜLSTRUKTUREN GEFÜHRT, DEREN GEZIELTE SYNTHESE DURCH CHEMISCHE METHODEN NOCH VOR EINIGEN JAHREN UNVORSTELLBAR ERSCHIEN.

Braunschweig, den 30. April 2014



Prof. Dr. Dietmar Brandes
Präsident
der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft

Müllen, Klaus, Dr., Dr. h.c. mult., Prof., Direktor am Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Ackermannweg 10, D-55128 Mainz

- 1947 Geburt am 2. Januar in Köln
- 1966–1971 Studium der Chemie an den Universitäten Köln (Dipl.-Chem.) und Basel (Promotion)
- 1972–1978 PostDoc und Habilitation an der ETH Zürich, Privatdozent an der ETH Zürich (1977)
- 1979–1984 Professor für Organische Chemie an der Universität zu Köln
- 1983–1989 Professor für Anorganische Chemie an der Universität Mainz
- 1989– Direktor am Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz
- 1999 Zuwahl als Ordentliches Mitglied in die Leopoldina
- 2001 Ehrendoktorwürde der Universität Sofia
- 2008–2009 Präsident der Gesellschaft Deutscher Chemiker
- 2010 Ehrendoktorwürde des Karlsruhe Institut of Technology (KIT)
- 2012 Zuwahl als korrespondierendes Mitglied in die Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste
- 2013–2014 Präsident der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte e.V.
- 2015 Fellow of the European Academy of Sciences (EURASC)

Forschungsschwerpunkte: Sein wissenschaftliches Werk besticht durch eine enorme Breite mit mehr als 1300 Publikationen. So hat er sich ebenso mit dem Darstellung und dem Studium der chemischen und physikalischen Eigenschaften neuer Biomaterialien wie mit der Synthese sog. „organischer Metalle“ (den elektrischen Strom leitenden organischen Polymeren) beschäftigt. Seiner Forschungsgruppe und ihm gelang die Synthese neuer high-performance-Farbstoffe, die u.a. bei der Herstellung neuartiger Solarzellen verwendet werden. Auf dem Gebiet der Materialforschung hat er sich mit der Herstellung sog. Nanographene befasst, Teilstrukturen des Graphens, das als eines der wichtigsten Zukunftsstoffe (z.B. für die Energiespeicherung) überhaupt gilt. Zur Gewinnung dieser Verbindungen folgt er einem bottom-up-Syntheseprotokoll, in dessen Verlauf die zunehmend komplizierter werdenden Zielmoleküle aus kleineren Vorstufen in genau bekannten Syntheseschritten aufgebaut werden. Der Vorteil dieses typischen „chemischen“ Wegs besteht darin, dass sehr reine Substanzen erhalten werden – und nicht Gemische wie bei den früher meist genutzten „physikalischen“ Wegen. Auf diesem Gebiet sind der Müllenschen Arbeitsgruppe Synthesen von Verbindungen gelungen, von denen man noch vor wenigen Jahren annahm, dass sie sich der Synthesekunst der organischen Chemiker „auf immer“ widersetzen würden.

Schlusswort zur Jahresversammlung der BWG 2014

Meine sehr verehrten Damen und Herren, werthe Festgesellschaft, zuerst ein Wort des Dankes an Sie, sehr geehrter Herr Prof. Müllen, für Ihren so beeindruckenden Vortrag

Kohlenstoff – das hat der Vortrag sehr deutlich gemacht – ist wirklich mehr als ein Material zum Verfeuern (wie es heute Vormittag im Symposium so treffend gezeigt wurde), vom amorphen Ruß bis zum kostbaren Diamanten, von dem festesten natürlichen Material zu den so vielfältig biegsamen und zweckdienlich verformbaren Materialien. Kohlenstoff ist zwar nicht „ein besonderer Saft“ aber dennoch ein *Leben konstituierender und erhaltender Stoff*. Und das – wie wir gehört haben – in mindestens doppelter Hinsicht. Wie uns der Laureatus, Herr Prof. Müllen so eindringlich und plastisch demonstriert hat, in dem Sinne von *Gestaltung der Alltagswirklichkeit* vom Kinderspielzeug bis zu den Materialien der Hightech-Medizin, von den uns fast überflutenden Plastiktüten bis zur Makro- und Nanotechnologie in der Informations- und Mobilitätstechnologie, ja auch hin zur Plastinierung des Menschen als anatomisches Präparat.

Und – davon haben wir heute weniger gehört – *lebensgestaltend* auch in dem Sinne, dass alles lebende Gewebe, Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße unter Beteiligung von Kohlenstoffverbindungen aufgebaut ist. Auch das wieder in doppeltem Sinne: mehr oder weniger feste organische Strukturen *und* fortlaufende Stoffwechselprozesse in Fließgleichgewichten im Auf- und Abbau des Organismus, im Stoffwechsel, in unserer Reproduktion, in unserer Hirnfunktion. Leben ist ohne Kohlenstoff-Verbindungen nicht möglich.

Das quantitative und qualitative Ausmaß der Entwicklung, die schier unabsehbare Nutzbarkeit der im weitesten Sinne Kohlenstoff-Polymere darf uns aber nicht blind machen für die mit der täglichen weltweiten Plastikherstellung verbrauchten Ressourcen der natürlichen Rohstoffe dieser Chemie. So verbraucht beispielsweise China (laut Wikipedia) täglich 1.600 Tonnen Erdöl für die Herstellung von Plastiktüten.

Der französische Philosoph *Roland Barthes* spricht (1964) in seinen „Mythen des Alltags“ davon, *Plastik* sei „weniger eine Substanz als vielmehr *die Idee ihrer endlosen Umwandlung ... die sichtbar gemachte Allgegenwart*.“ Ich möchte ergänzen: Plastik birgt auch die *Gefahr einer Ideologie der grenzenlosen Machbarkeit* – im alltäglichen Leben, in der Medizin, in den Technik- und Ingenieurwissenschaften. So fordert uns dieses Material (dass dieser Begriff die *mater = Mutter* als Ermöglichungsgrund impliziert, wird wenig bedacht) – dieses Material fordert nicht nur zum Staunen sondern auch zum verantwortungsbewussten Umgang mit dem Grundstoff wie auch mit den Erwartungen, die die Entwicklung solcher Technologien wachrufen.

Auch dazu hat uns der fulminante Vortrag von Herrn Prof. Müllen angeregt. Dafür sei Ihnen nochmals sehr herzlich gedankt.

Dank auch an die Referenten und Organisatoren des schönen Symposiums: im Besonderen Herrn Prof. Hopf vom hiesigen Institut für Organische Chemie und der BWG für die Gestaltung und Moderation des Symposiums heute Vormittag.

Ich möchte nicht versäumen, auch den drei Musikern Hecker herzlich zu danken, dass Sie uns im 300. Geburtsjahr von Carl Philipp Emanuel Bach mit dessen schöner Triosonate diese würdige Feier geschmückt haben.

Ihnen, meine sehr verehrten Damen und Herren, danke ich im Namen der BWG für Ihr Interesse, Ihre Teilnahme an unserer schönen Feierstunde.

Veranstaltungen der BWG

215

Akademie-Vorlesungen im Schloss

Phänomen Raum

Veranstaltungstage:	19.02., 08.04., 04.06., 07.10. und 11.11., jeweils 18.30 Uhr
Veranstalter:	Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft, Kulturinstitut der Stadt Braunschweig
Veranstaltungsort:	Roter Saal, Schloss Braunschweig, Schlossplatz 1
Leitung der Vortragsreihe:	Prof. Dr. Dietmar Brandes, Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Unter diesem Namen laden seit 2007 die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft und das Kulturinstitut der Stadt Braunschweig zu Vortragsreihen ein mit dem Ziel, zum Nachdenken und zur Diskussion wissenschaftlicher und lebensweltlicher Themen anzuregen.

Nachdem über zwei Jahre hin die Vorträge zum „Phänomen Zeit“ großen Anklang gefunden hatten, wurde die Reihe unter dem Leitthema „Phänomen Raum“ fortgesetzt.

Wie die Zeit so ist auch der Raum ein komplexes, vielseitiges Phänomen: vom kosmischen Weltraum bis zu den Ordnungsstrukturen biologischer Räume, von der Anschauung in Architektur und Kunst zum Klang- und Lichtraum der Musik, vom messbaren Raum bis zu dem mit unserm Zeiterleben verbundenen Erlebnisraum im Alltag bis hin zu den verzerrten Raumwahrnehmungen im Traum oder bei psychischen Störungen – ein weites Spektrum möglicher Raumerfahrungen! Wie prägen sie unseren sozialen Verhaltensraum? Wie unser Selbstempfinden, unseren „Innenraum“? Wie gestalten und nutzen wir unseren sich mit der Technik und Mobilität erweiternden Lebensraum?

Die Vortragsreihe zum „Phänomen Raum“ beleuchtete die vielfältigen Fragestellungen aus dem Blickwinkel verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen.

An die Vorträge schloss sich stets eine Diskussion mit den Referenten an.

Prof. Dr. **Wolfgang Kemp**, Universität Hamburg (19.02.2014)

Ein Raum mit einer Temperatur: Interieurs und die Energiewende um 1830/40

Deutschlands bekanntestes Bild ist nach wie vor „Der Arme Poet“ von Spitzweg. Der Mann friert, er liegt im Bett, der Ofen ist aus. Ist eigentlich schon mal jemandem aufgefallen, dass der Ofen so groß ist, eine zweite Hauptperson?

Der Vortrag zeigte an diesem und anderen Hauptwerken, dass Energie zu einem wichtigen Thema der Jahre um 1840 wird, in der Kunst und in der Wissenschaft.

Prof. Dr. **Klaus Erich Pollmann**, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, BWG-Mitglied (08.04.2014)

Friedrich Naumanns Vision von Mitteleuropa (1914/16) – ein Vorgriff auf die europäische Einigung oder imperialistische Wunschvorstellung?

Im Zeitalter des Imperialismus verfolgten die europäischen Mächte das Ziel, ihre kolonialen Erwerbungen in Übersee zu sichern und zu erweitern. Zu diesem Zweck begaben sie sich in einen Wettlauf um den Ausbau ihrer Kriegsflotten, der Europa in eine ernste Krise stürzte. Das galt nicht zuletzt für das deutsche Kaiserreich, das sich erst spät um eine Expansion seiner Kolonialgebiete bemühte, nun aber umso energischer seinen „Platz an der Sonne“ beanspruchte.

Wie ist vor diesem Hintergrund die Verlagerung des Blicks von den Kolonialreichen in Afrika, Asien und den Inseln auf den Weltmeeren auf die Mitte des europäischen Kontinents zu bewerten? Wie ordnete sich dieses Konzept in die erbittert geführten Kontroversen um die deutschen Kriegsziele ein? Und was haben uns diese Schriften ein Jahrhundert nach dem Kriegsausbruch von 1914 zu sagen?

Dr. **Christian Stein**, Humboldt-Universität zu Berlin (04.06.2014)

Zwischenraum: Über literarische, physische und virtuelle Räumlichkeit

Was ist eigentlich Raum? Spätestens seit dem *spatial turn* ist diese uns zunächst so selbst-verständlich erscheinende Kategorie brüchig geworden. Aus diesen Brüchen dringen alte und neue Fragen zur Konstruktion, Semiotik, Macht und Kontextualität von Räumlichkeit hervor, die die tradierten Beschreibungskategorien verschieben. Jenseits des physischen Raums entstehen literarische und heute zunehmend auch virtuelle Räume, die sich gegenseitig überlagern, unterwandern und hintergehen. Dieser Vortrag versuchte, verschiedenste Räume auf ihre spezifische Räumlichkeit hin zu beleuchten und so der Frage nach dem Raum interdisziplinär und multiperspektivisch zu begegnen.

Prof. Dr. **Hansjörg Küster**, Institut für Geobotanik, Leibniz-Universität Hannover (07.10.2014)

Landschaft als Lebensraum

Landschaft setzt sich immer aus Natur und Kultur zusammen. Kultur kann Gestaltung bedeuten, aber auch eine Idee - und beides geht vom Menschen aus. Landschaft gibt es also nur dort, wo Menschen leben und über sie reflektieren. Alle Tiere und Pflanzen leben in einer von Menschen gesehenen Landschaft. Wenn wir Tiere und Pflanzen, kurz „die Natur“, bewahren wollen, müssen wir für den Schutz von Landschaft eintreten. Denn nur dann haben Lebewesen einen Lebensraum in der Landschaft. Landschaft ist aber vor allem der Lebensraum der Menschen.

Seit Jahrtausenden wird dieser Lebensraum von Menschen gestaltet: durch Landwirtschaft, Waldnutzung, Pflege des Waldes, Siedlungsbau, Industrie. Dies ließ sich auch an Beispielen aus der sehr vielgestaltigen Umgebung von Braunschweig sehr gut zeigen.

Christiane Schmidt, Mitglied der Deutschen Dante-Gesellschaft e. V., Mannheim (11.11.2014)

Raum- und Zeitlosigkeit in Dantes ‚Göttlicher Komödie‘

Der Dichter Dante Alighieri (1265–1321) musste aus politischen Gründen 1302 seine Geburtsstadt Florenz verlassen und lebte bis zu seinem Tod im Exil. Ab 1307 schrieb er sein Hauptwerk „Die göttliche Komödie“, in der er die Reise eines Pilgers durch die drei Jenseitsreiche beschrieb, durch das Inferno, das Reich der Gerechtigkeit, das Purgatorio, den Läuterungsberg, das Reich der Sehnsucht, und das Paradiso, das Reich der Erfüllung. Da die Fülle der Aspekte zur Beschränkung zwingt, wurden nur einige Passagen näher beleuchtet. Im Mittelpunkt des Vortrags stand Dantes Raumkonzeption, die sich im letzten Teil der Raumlosigkeit annähert.

Richard Wagners Satz aus dem ‚Parsifal‘ „Zum Raum wird hier die Zeit“ könnte als Überschrift über der dargelegten Interpretation des Werkes stehen.

Der Vortrag wurde durch Darstellungen aus sechs Jahrhunderten illustriert.

10. Bioethik-Symposium

Vom Wirkstoff zum Arzneimittel

Veranstaltungstag: Donnerstag, 20. Februar 2014, 14:00 – 18:00 Uhr
Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft
Veranstaltungsort: Haus der Wissenschaft Braunschweig, Pockelsstraße 11,
Raum Veolia, 5. OG

Von der Entdeckung eines potentiellen Wirkstoffs bis zur Einführung eines neuen Arzneimittels ist es ein langer und teurer Weg. Am Anfang steht die Beobachtung, dass eine Substanz normale oder pathologische Vorgänge lebender Zellen und Organismen beeinflusst. Die Grundlagenforschung erarbeitet das Wirkprinzip der Reinsubstanz. Danach werden zunächst im Tierexperiment die Beziehung zwischen Dosis und Effekt, die Aufnahme und die Verweildauer der Substanz im Organismus bis zu ihrer Ausscheidung in der Kurz- und der Langzeitwirkung getestet. Auf der Grundlage der Ergebnisse wird eine einnahmefähige Arzneiform entwickelt und der Weg für die erste klinische Prüfung am Menschen bereitet. Zunächst wird an gesunden Probanden die spätere Dosierung ermittelt. In die folgenden klinischen Prüfungen werden Patienten eingebunden und die gewünschten bzw. unerwünschten Wirkungen erfasst. Dabei ist die Beachtung strenger Prüfregeln gemäß Arzneimittelgesetz gefordert, bis schließlich die bundesbehördliche Zulassung des neuen Arzneimittels die Behandlung von Patienten in großem Maßstab erlaubt.

Die Entwicklung eines neuen Arzneimittels wirft von der ersten klinischen Prüfung bis zur Zulassung ethische Fragen auf. Ist beispielsweise die Arzneimittelprüfung an Kindern oder an nicht einsichtsfähigen Kranken zu verantworten? Wie sind Doppelblinduntersuchungen zu rechtfertigen, bei denen weder der Arzt noch der Patient weiß, ob das zu prüfende Medikament oder ein Placebo verabreicht wird? Und unter welchen Bedingungen ist die Nutzung einer neuen, in ihrer Wirksamkeit noch unbekanntem Substanz als Heilmittel vertretbar?

Wie bei unseren vorausgegangenen Symposien zeigt sich die vielfältige wissenschaftliche und gesellschaftlich relevante Problematik medizinischen Fortschritts: von der Grundlagenforschung, der klinischen Anwendung zu den nationalen und internationalen juristischen Regularien bis zu den ethischen Implikationen neuer Behandlungsverfahren.

Programm:

- 14:00 Prof. Dr. Dietmar Brandes und Prof. Dr. Christel Müller-Goymann:
Begrüßung und Einführung
- 14:15 Prof. Dr. Knut Baumann, Braunschweig:
Arzneimittelentwicklung – von der Laborbank zum Patienten
- 15:00 Prof. Dr. Uwe Heinrich, Hannover:
Vom Blockbuster zur personalisierten Arzneimittelentwicklung
- 16:15 Dr. Jobst Limberg, Bonn:
Arzneimittelzulassung – regulatorische Aspekte
- 17:00 Prof. Dr. Kurt Racké, Bonn:
Ethische Standards in der Forschung am Menschen – Wie wird ihre Einhaltung bei Arzneimittelprüfungen sichergestellt?
- 17:45 Prof. Dr. Klaus Gahl, Braunschweig:
Schlusswort

Referenten und Moderatoren:

Prof. Dr. Knut Baumann

Geschäftsführender Leiter des Instituts für Pharmazeutische und Medizinische Chemie der TU Braunschweig und MBWG

Prof. Dr. Dietmar Brandes

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG)

Prof. Dr. med. Klaus Gahl

Ehem. CA der Medizinischen Klinik 2 am Klinikum Braunschweig. Vizepräsident der BWG

Prof. Dr. Uwe Heinrich

Direktor des Fraunhofer Instituts für Toxikologie und Experimentelle Medizin (ITEM), Hannover

Dr. Jobst Limberg

Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM), Bonn

Prof. Dr. Christel Müller-Goymann

Geschäftsführende Leiterin des Instituts für Pharmazeutische Technologie der TU Braunschweig. Vizepräsidentin der BWG

Prof. Dr. Kurt Racké

Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Universität Bonn, Vorsitzender der Ethik-Kommission der Universität Bonn, stellvert. Vorsitzender des Arbeitskreises Medizinischer Ethik-Kommissionen der Bundesrepublik

Bericht 10. Bioethik-Symposium*

Vom Wirkstoff zum Arzneimittel

Es ist ein langer, steiniger und teurer Weg von der Entdeckung einer biologisch wirksamen Substanz hin zu einem gezielt wirksamen Arzneimittel, das verlässlich in der medizinischen Therapie bei Jung und Alt eingesetzt werden kann. Mag am Anfang die Beobachtung stehen, dass eine Substanz normale oder pathologische Vorgänge an lebenden Zellen und Organismen beeinflusst, so zielt dann die Grundlagenforschung auf das Wirkprinzip der gewonnenen Reinsubstanz und deren Dosis-Wirkungs-Beziehung und ihrem Verhalten (Aufnahme, Metabolismus, Ausscheidung etc.) im Organismus. Auf der Grundlage der Ergebnisse in vitro und daran anschließend in Tierversuchen können erste, sehr begrenzte Untersuchungen an gesunden und kranken Personen vorgenommen und Darreichungsformen entwickelt werden unter Einhaltung strenger Prüfregeln gemäß dem Arzneimittelgesetz.

Das 10. Bioethik-Symposium der BWG am 20.02.2014 galt diesem langwierigen Prozess mit der Vielfalt seiner wissenschaftlichen, juristischen und ethischen Implikationen und Fragestellungen.

Prof. Dr. Knut Baumann, Geschäftsführender Leiter des Instituts für Medizinische und Pharmazeutische Chemie der TU Braunschweig, gab mit seinem klaren, lebhaften Vortrag „Arzneimittelentwicklung – von der Laborbank zum Patienten“ den Einstieg. Noch vor der Untersuchung der potenziellen Wirksubstanz stellen sich Fragen nach dem Bedarf neuer Medikamente, nach möglichen Therapieverbesserungen und der Bezahlbarkeit – wissend, dass bis zur behördlichen Zulassung und Einführung eines neuen Arzneimittels 10–15 Jahre unter einem durchschnittlichen Aufwand von 1000–1600 Mio. Euro (!) vergehen werden: von der Erforschung der Angriffspunkte (Targets) und der Leitstrukturen (i.D. ca. 5 Jahre) zu ersten Untersuchungen an Tieren und Menschen (nach i.D. 8–10 Jahren).

Wo nicht im kranken Organismus fehlende Stoffwechselprodukte ersetzt werden (müssen), greifen krankheitsmodifizierende Substanzen in ca. 50% der Fälle an biologischen Rezeptoren, in ca. 25% an krankheitsrelevanten Enzymen bzw. Hormonen und Hormonrezeptoren an; in > 10 % wirksamer Substanzen ist der Wirkmechanismus (noch) nicht bekannt.

Ausgehend von der Überlegung, dass jedes Medikament „irgendwie“ in Stoffwechselprozesse – meist rezeptor- oder enzymvermittelt – eingreift, ist zu fragen,

* Vorgelegt von Klaus P.G. Gahl und Christel Müller-Goymann.

welche Rezeptor- und Enzymproteine im Krankheitsgeschehen involviert sind und durch Wirkstoffe beeinflusst werden können, ohne an anderen Stellen zu schaden. Derzeit nutzen unsere Medikamente ca. 200–500 Angriffspunkte von vielleicht 5–10 tausend möglichen Targets bei den wichtigsten 150–400 (nicht seltenen) Krankheiten.

Von der Beobachtung eines Substanzeffektes geht heute die Target-Identifizierung über die Ermittlung im Krankheitsprozess involvierter, d.h. pathogenetisch relevanter Proteine oder Signalträger zu deren gezielter Modulierung und der dadurch gelinderten oder geheilten Störung. So wünschenswert die zunehmende Validierung von der Wirksamkeit an isolierten Enzymen oder Rezeptoren über den Effekt an Zellen und Organen bis hin zur reproduzierbaren, dosisabhängigen Einflussnahme auf den Krankheitsprozess ist, so weit sind wir vom Ziel klinisch validierter Targets in vielen Fällen noch entfernt.

Die Suche nach möglichen Ausgangssubstanzen geht auch heute noch in vielen Fällen zurück auf die zufällige Beobachtung und Erfahrung des Effektes von pflanzlichen oder tierischen oder anorganischen (Gift-) Stoffen oder von Nebenwirkungen von bereits gebräuchlichen Arzneistoffen. Heutzutage sind hochkomplexe (bio)chemische Verfahren (Hochdurchsatz-Screening (HTS) oder kombinatorische Chemie) im Einsatz – allerdings noch immer halbblind auf der Suche nach der Stecknadel im Heuhaufen. Andererseits werden mögliche Wirkstoffe unter Zuhilfenahme der Struktur der Zielproteine oder der Rezeptoren an Zelloberflächen an die jeweilige „Bindetasche“ angepasst. Umgekehrt können auch körpereigene (Boten-) Stoffe als Vorlage dienen. Als Beispiel brachte Baumann die Optimierung der Wirkung eines Hemmstoffes der Blutgerinnung (Thrombin-Inhibitor) auf das körpereigene Fibrinogen durch „passgerechte“ Veränderung eines zunächst suboptimalen Wirkstoffes, der der „Schablone“ des Fibrinogens anmoduliert wird. Im Zuge der Optimierung nimmt dabei seine Wirkstärke zu und es lässt sich damit auch die Aufnahme über die Magenschleimhaut verbessern. Man gelangt hier also von der Wirkung im Reagenzglas über die Wirksamkeit bei Injektion in die Blutbahn zur Applikabilität als Tablette.

Wegen oft mehrerer Targets eines Heilmittels im Organismus gilt es dann, verschiedene Wirkungseigenschaften zu optimieren: Wirkstärke, Selektivität, pharmakokinetische Eigenschaften wie Resorption, Verteilung im Organismus, Verstoffwechslung (Metabolismus) und Ausscheidung bei gleichzeitiger Verminderung toxischer und genom-beeinflussender (mutagener) Effekte. Das Arzneimittel muss auch chemisch stabil, die Grundsubstanz einfach zugänglich, geschmacklich und preislich akzeptabel sein.

So bleibt in der Entwicklung eines zur Zulassung einzureichenden Medikaments auch nach der Synthese noch ein langer Weg präklinischer Prüfungen der gewünschten und der unerwünschten Wirkungen, der akuten und chronischen Toxizität und Kanzerogenität, der Toleranz und Dosisfindung für die Prüfung

am Menschen. Die „präklinische und klinische Prüfung der Phase I“ – i.D. über 6,5 bzw. 1 Jahr – umfasst in vitro- und Versuchstier-Tests bzw. (ungleichzeitige) Untersuchungen an 20–80 gesunden Freiwilligen. Sie zielt auf die biologische und klinische Sicherheit und der berechenbaren Pharmakokinetik. Streng getestet erreichen i. D. neun von etwa 5.000–10.000 untersuchten Substanzen das Ziel der Einsatzfähigkeit in klinischen Prüfungen der Phase II und III. Vor Beginn dieser späteren Phasen ist auch die Darreichungsform zu ermitteln, die die Bioverfügbarkeit, die Resorption durch Haut und Schleimhaut mitbestimmt.

In den Prozess der klinischen Prüfung greifen auch Zulassungsbehörden und Ethik-Kommissionen ein. Der klinischen Prüfung (insgesamt etwa 6 Jahre) schließt sich der Zulassungsprozess an, der ein weiteres Jahr in Anspruch nimmt. Von den zuvor genannten neun Entwicklungskandidaten durchläuft eine Substanz den Gesamtprozess der klinischen Prüfung und der Zulassung erfolgreich und kommt zur Zulassung.

Material-, finanzieller und Zeitaufwand führen die Arzneimittelentwicklung an die Grenzen der ökonomischen Vertretbarkeit. Trotzdem darf die Pharma-Industrie nicht vor der Erarbeitung von Wirksubstanzen auch für seltene Krankheiten Halt machen. Wie aber können Rahmenbedingungen geschaffen werden, die dem medizinischen Bedarf gerecht werden?

Der begeisternde, klare Vortrag Baumanns gab einen sehr guten Überblick über die in der Öffentlichkeit oft wenig bedachte und deswegen kritisierte Basis medikamentöser Therapie.

Nach der Darstellung der Entwicklung eines Arzneimittels aus einer biologischen Primärsubstanz fokussierte *Prof. Dr. Uwe Heinrich*, Direktor des Fraunhofer Instituts für Toxikologie und Experimentelle Medizin (ITEM) in Hannover, mit seinem Vortrag „Vom Blockbuster zur personalisierten Arzneimittelentwicklung“ auf die Möglichkeiten einer individualisierten Therapie, die die genetische Konstellation, das molekularbiologische Substrat und gar den individuellen Lebensstil des Kranken berücksichtigt. Zunächst enttäuschend: eine solche „individualisierte Medizin“, ein solches Medikament wird es in naher Zukunft nicht geben! Jedoch ist aufgrund molekular-biologischer Untersuchungen eine stratifizierende Medizin zunehmend möglich, ja sie wird (besonders in der Onkologie) bereits vielfach genutzt, indem Patientengruppen mit identischen oder sehr ähnlichen genetischen und molekularbiologischen Krankheitsmerkmalen (z.B. Signaltransduktions-Enzymen der Zellentwicklung bei Tumoren) mit darauf zielenden Arzneimitteln behandelt werden. Bezug nehmend auf Baumanns Vortrag wies auch Heinrich auf die langwierigen und kostenaufwändigen Entwicklungen neuer Pharmaka hin und schlüsselte Gründe dafür auf, dass > 60 % der primär möglichen Wirksubstanzen das Ziel der Zulassung nicht erreichen, sei es aufgrund nicht ausreichender oder nicht zielgenauer Wirkungen oder wegen toxischer Wirkungen etc.

Ein neuer Weg der Arzneimittelprüfung ist die Untersuchung an organotypischen Geweben, die in Dünnschnitten aus Organmaterial gewonnen werden können. So kann z.B. bronchoskopisch entnommenes Gewebe aus peripheren Bronchien und angrenzenden Lungenbläschen (Alveolen) in seiner Reaktion auf Allergene bzw. auf bronchialerweiternde Medikamente untersucht werden. Oder es wird engumschrieben bronchoskopisch, d. h. unter Sicht, ein zu testendes Allergen instilliert und beobachtet, welche immun-relevanten Zellen in saline broncho-alveoläre Spülflüssigkeit (sog. BAL) austreten. Auf diese Weise können Asthma auslösende Substanzen (z.B. Pollen) und die Wirksamkeit antiallergischer Substanzen in kleinen Lungenarealen getestet werden. Durch derartige Arzneimittelprüfungen lässt sich die Ansprechbarkeit von Patienten auf therapeutisch indizierte Medikamente individuell ermitteln. Das ist angesichts der großen Zahl sog. Non-Responder (geschätzt 30–70% der Patienten) und der Häufigkeit auch tödlicher Nebenwirkungen (in Deutschland ca. 35.000 Todesfälle pro Jahr!) und der nicht zu unterschätzenden finanziellen Belastung der Kostenträger eine wichtige Aufgabe pharmazeutischer Forschung. Das Ziel individualisierter Medizin – schon von Hippokrates bedacht – wird seit der Mitte des 20. Jhd. verstärkt verfolgt: angestoßen durch die Beobachtung selektiver Toxizität des Anti-Malaria-Medikamentes Primaquin (und anderer Medikamente) bei angeborenem Mangel an Glukose-6-Phosphat-Dehydrogenase (1956). Inzwischen sind für zahlreiche Medikamente Stoffwechsel-, Abbau- und Eliminationsprozesse aufgeklärt worden – in Bezug auf ihre genetisch geprägte Konstellation an „Entgiftungsenzymen“ (z.B. CYP 450). Auch für die Aktivierung mancher Arzneimittel (sog. Pro-Drugs) zu der therapeutisch gewünschten Substanz wurden Mechanismen aufgeklärt.

„Individuelle Medikation“ heißt dann: „the right drug for the right patient at the right time!“ Dazu ist die Erfassung molekularbiologischer, genomischer „Biomarker“ erforderlich, die die Wahrscheinlichkeit zu erkranken, die Ausprägung bestimmter Krankheitssubtypen, den Verlauf von Krankheiten und den Wirkmechanismus der einzusetzenden Medikamente bestimmen.

Die Vielfalt möglicher Ursachen von Verläufen scheinbar gleicher Krankheiten (Heinrich verdeutlichte das am Bild des „Rheuma“ mit seinen ca. 400 verschiedenen Formen) drängt zur diagnostischen und therapeutischen Individualisierung. An diesen Prozessen wie an der Medikamentenwirkung sind (z.T. artspezifische oder individuell kodierte) Eiweiß-/Enzymaktivitäten beteiligt. Zu diesen Erkenntnissen hat die Entschlüsselung des menschlichen Genoms (2001), besonders die inzwischen schnell mögliche Sequenzierung der für die Enzym-Synthese kodierenden und der nicht-kodierenden DNA (ncDNA und ncRNA) wesentlich beigetragen. Die Komplexität der Prozesse von der DNA des Genoms („genomics“) über die Transkription auf die RNA zur Proteinsynthese („Proteomics“) und die Stoffwechselprozesse („metabolomics“) hat auch im Blick auf die Arzneimittelentwicklung eine technologische Revolution in Gang gesetzt. Sie ermöglicht heute für große Patientengruppen eine gezielte Arzneitherapie: in der Krebsbehandlung (ca. 30%

der derzeit zugelassenen individualisierten Therapien), bei der Mukoviszidose = zystischer Fibrose (4.5% mit einer bestimmten Genmutation) und bei der Therapie mit bestimmten Antikoagulantien (ca. 30% der so behandelten Personen haben einen Defekt in der enzymatischen Aktivierung für das Antikoagulans!).

Die ca. 50% der medikamentös behandelten Patienten zeigen keine oder mindestens keine optimalen Effekte der eingesetzten Medikamente. Deswegen muss es das Ziel pharmazeutischer Forschung sein, individuelle Biomarker für den zu behandelnden Krankheitsprozess bzw. für den Wirkmechanismus des jeweiligen Arzneimittels zu finden. Diese Aufgabe ist selbstverständlich nur mit hohem personellen, finanziellen und zeitlichen Aufwand zu leisten.

Auch Heinrichs Vortrag war mit den spannenden, zukunftsweisenden Perspektiven der Pharmaka-Entwicklung faszinierend.

Die Entwicklung eines Arzneimittels bis zur Freigabe für die therapeutische Nutzung wird begleitet von rechtlichen Regelungen. Über diese Aufgaben in Deutschland berichtete *Dr. Jobst Limberg* vom Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte in Bonn. Die Zulassung einer Substanz als Arzneimittel setzt eine Nutzen-/Risiko-Abwägung der therapeutischen Wirksamkeit und der klinischen Sicherheit voraus. Das erfordert die statistische Auswertung explorativer und konfirmatorischer Studien. Über ein vorgeschriebenes Dokumentationsformular sind die Regelungen weitestgehend international gleich und verlangen neben dem Nachweis der pharmazeutischen Qualität prä-/klinische Untersuchungen.

Die „klinische Prüfung“ erfolgt in vier Phasen: 1. Prüfung der Verträglichkeit und Sicherheit am Menschen; 2. Überprüfung des Therapie-Konzeptes und der Dosisfindung; 3. Nachweis der Wirksamkeit für die beantragte Indikation; 4. Studien bereits zugelassener Arzneimittel in der entsprechenden Indikation mit der Ermittlung sehr seltener Nebenwirkungen und/oder zwecks Erweiterung des Indikationsspektrums des Medikamentes. Klinische Unbedenklichkeit wird einem Medikament zuerkannt, wenn weder eine erhöhte Sterblichkeit noch schwerwiegende Nebenwirkungen unter der Anwendung beobachtet werden. Klinische Studien müssen eine symptomatische oder kurative Verbesserung des Krankheitsbildes und eine Lebensverlängerung nachweisen. Auch dürfen keine krankhaften Veränderungen von sog. Surrogatparametern (z.B. Blutdruck, Blutveränderungen u.a.) auftreten. Zu dokumentieren sind pharmakologische Parameter wie die Verläufe der Blutkonzentration der getesteten Substanz (maximale Eliminationszeit u.a.). Änderungen in den Produktions- und den Prüfverfahren wie auch der Rezeptur sind zu beachten.

Zulassungsverfahren werden durch nationale Regelungen und durch internationale Übereinkommen geregelt. Sog. „bridging studies“ (inclusive pharmakokinetischer und Bioverfügbarkeitsprüfungen) sind notwendig, um bei Änderung der Rezeptur („Trägersubstanz“, Begleitstoffe im Fertigpräparat) eine Extrapolation klinischer Ergebnisse zu ermöglichen; nur bei Nachweis der Bioäquivalenz des Test- und des

Referenzproduktes sind Ergebnisse übertragbar. Unabdingbar ist der Nachweis äquivalenter Pharmakokinetik (Resorption, Metabolismus, Elimination) und -dynamik (Wirkmechanismus). Bridging-Studien können in Phase I–III der klinischen Prüfung vorgenommen werden wie auch für bereits zugelassene Medikamente, für die eine Indikationserweiterung beantragt wird. Die pharmazeutische Qualität eines für den Einsatz bei Patienten freigegebenen Arzneimittels sollte dem Prüfmuster, das in der Phase III „bestanden“ hat, möglichst ähnlich sein; diese Forderung gilt für alle späteren Produktionschargen.

So gestaltet sich die Entwicklung diskriminierender Tests der in-vitro-/in-vivo-Korrelation bei Verabreichung des Medikaments als Prüfung auf die Freisetzung der Wirksubstanz aus der Darreichungsform bzw. als Bioäquivalenz-Studie jeweils unter einheitlichen Standardbedingungen.

Die Kontrolle der Qualität gilt der Beschaffenheit des Arzneimittels, damit auch Identität, Gehalt, Reinheit, chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften nach der Vorlage des dokumentierten und validierten Herstellungsverfahrens incl. des Ausgangs-, Zwischen- und Fertig-Produktes und dessen Haltbarkeit. Geprüft wird auch die Homogenität und Konformität der hergestellten Chargen. Nationale und internationale Arzneibücher liefern Referenz- und Standardwerte allgemeiner Anforderungen für die definitive Darreichungsform und Prüfverfahren.

Hat eine Wirksubstanz den aufwändigen, jahrelangen Prozess bis zum Zulassungsantrag passiert, fordern die Zulassungsbehörden eine weitere Validierung und Bewertung der Prüfunterlagen und der klinischen Beobachtung. So komplex das Herstellungsverfahren und die Kontrollen sind, so funktionell weitverzweigt ist das Organigramm der Zulassungsbehörde, des BfArM. Internationale Harmonisierungen der Zulassungsverfahren innerhalb der EU und darüber hinaus sind im Wachsen, haben aber bisher nur zu Teilerfolgen gegenseitiger Anerkennung der Prozeduren geführt – ein weites Feld dringend notwendiger internationaler, globaler wissenschaftlicher, industrieller und rechtlicher Kooperation!

Die sehr komplexe Materie der Arzneimittelzulassung wurde durch Limbergs differenzierten Vortrag klar und eindrucklich dargestellt.

Entwicklung und Zulassung neuer Arzneimittel unterliegen nicht nur strengen juristischen Regelungen sondern werden auch von nationalen Ethik-Kommissionen (EK) kontrolliert. Darüber berichtete *Prof. Dr. Kurt Racké*, Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Universität Bonn, Vorsitzender der Ethik-Kommission der Uni Bonn, stellvertretender Vorsitzender des Arbeitskreises Medizinischer Ethik-Kommissionen der Bundesrepublik.

Nachdem im 10-Punkte-Programm des „Nürnberger Kodex“ von 1947 (noch unter der Aufsicht des US-Militärgerichtshofes) Richtlinien für die Durchführung von Arzneimittelversuchen an Menschen festgelegt worden waren (Freiwilligkeit

der Versuchspersonen, Aufklärung über Zweck, Risiko und Konsequenzen), wurden – seit 1964 wiederholt revidiert bis Okt. 2013 – vom Weltärztebund in der Deklaration von Helsinki „Ethische Grundsätze für die medizinische Forschung am Menschen“ international verbindlich kodifiziert.

In Deutschland sind solche Richtlinien in verschiedenen Gesetzen verankert (Heilberufegesetz und Berufsordnung, EU-Direktive, Medizinproduktegesetz und Verordnung über klinische Prüfung von Medizinprodukten, Stammzellgesetz u.a.); so auch die Aufgaben und die Organisation von EK, die im Arbeitskreis Medizinischer Ethikkommissionen in Deutschland zusammengefasst sind.

Das Arzneimittelgesetz (AMG) von 2004, zuletzt geändert im Okt. 2012, regelt die Zulässigkeit klinischer Prüfungen am Menschen nach einem „dualen Prinzip“ der voneinander unabhängigen zuständigen EK und der zuständigen Bundesbehörden. Auch die „Good-Clinical-Practice-Verordnung“ (GCP-V) regelt in Deutschland die Genehmigung und Durchführung klinischer Studien mit Arzneimitteln, um die Sicherheit der an der Studie beteiligten Personen und die Integrität der Studienergebnisse zu garantieren.

Zu den zentralen Aufgaben der EK gehört es, sicherzustellen, dass die Rechte, das Wohlergehen und die Sicherheit und das Selbstbestimmungsrecht der potenziellen Studienteilnehmer gewährleistet sind. Die EK prüft die Relevanz der klinischen Prüfung und ihrer Planung, den Prüfplan, die Prüferinformationen, die Angemessenheit der Nutzen-/Risiko-Bewertung und andere Prüfbedingungen. Nach einer umfangreichen Checkliste werden die erforderlichen Antragsunterlagen für die jeweils beantragte Studie gemäß dem AMG geprüft. Sehr ausführlich widmete sich Racké den Regelungen von Arzneimittelstudien bei Minderjährigen, für die der gesetzliche Stellvertreter die Einwilligung nach eingehender Information geben muss. Ist der Minderjährige in der Lage, Wesen, Bedeutung der Tragweite der klinischen Prüfung zu erkennen und seinen Willen auszudrücken, so ist auch seine Einwilligung (außer der des rechtlichen Stellvertreters) erforderlich.

Nur kurz sprach Racké über Arzneimittelprüfungen an nicht aufgrund von Minderjährigkeit einwilligungsunfähigen Personen (z.B. mit Demenzprozessen, Bewusstseins Einschränkungen) oder an Schwangeren oder in der Intensivmedizin. Für nicht einwilligungsfähige Personen muss ein gesetzlicher Vertreter oder Bevollmächtigter das „informierte Einverständnis“ (informed consent) geben.

So detailliert die klinischen Prüfungen, wie sie durch EK begleitet werden, dargestellt wurden, es fehlte doch die Diskussion wichtiger ethischer Probleme der Medikamentenzulassung wie Placebo- oder Doppelblind-Studien, die ökonomische Vertretbarkeit der Einführung neuer Therapie-Prinzipien mit unbekanntem Zusatznutzen gegenüber der bislang geltenden Standardtherapie oder die Berücksichtigung der Behandlung von Personen mit sehr seltenen Erkrankungen (sog. orphan diseases bzw. orphan drugs).

Das überaus spannende Symposium hat wieder gezeigt, wie komplex verwoben der geforderte und gebotene Fortschritt in der Medizin einschließlich Pharmakologie, Pharmazie und klinischer Medizin ist und dass interdisziplinäre wissenschaftliche und weltweite wirtschaftliche und soziokulturelle Zusammenarbeit erforderlich sind. Vor allem der lange und sehr teure Weg der Entwicklung neuer Arzneimittel bis zu ihrer Zulassung zum therapeutischen Einsatz wird sicher allzu häufig übersehen in der Kritik an „überteuerten“ Medikamenten. Die faszinierende Darstellung dieser Prozesse durch die Referenten dürfte die Berechtigung deutlich gemacht haben wie auch die Notwendigkeit weiterer pharmakologischer und pharmazeutischer wie klinischer Forschung und der globalen Harmonisierung der juristischen Regularien in dem gleichermaßen auch mit ethischen Problemen beladenen Feld.

Schlusswort zum 10. Bioethik-Symposium

Vom Wirkstoff zum Arzneimittel

KLAUS P.G. GAHL

Sehr verehrte Damen und Herren,

erlauben Sie mir wieder ein kurzes Schlusswort mit dem herzlichen Dank an Frau Prof. Müller-Goymann für die konstruktive Hilfe und Mitarbeit bei der Programmgestaltung und der Gewinnung der Referenten, an die Damen und Herren, die im Hintergrund bei den vielen Vorbereitungen geholfen haben, und nicht zuletzt auch wieder bei Ihnen, dem offenen und engagierten Publikum, die Sie durch ihr Interesse zum Gelingen einer solchen Veranstaltung immer beitragen.

Es ist ein spannendes Thema, es waren spannende Vorträge – dafür sei Ihnen, Herr Baumann, Herr Heinrich, Herr Limberg und Herr Racké, herzlich gedankt. Ich denke, es hat sich gelohnt.

Wir haben wieder gesehen, wie komplex und kompliziert die Entwicklung medizinischer Möglichkeiten ist: beim heutigen Thema von der ersten, vielleicht zufälligen Beobachtung eines Effektes einer Substanz auf einen Organismus hin zur systematischen Untersuchung, zum Ausprobieren und vielleicht schon zum Quantifizieren einer Wirkung und zur Erfassung des Wirkortes und Wirkmechanismus, dann die unabdingbare Erprobung an Lebewesen, auch an Menschen, gesunden oder kranken Probanden vor der offiziellen und legalen Einführung in die gezielte Therapie am Menschen. Dieser Weg wird von juristischen Regeln überwacht und begleitet – nicht zuletzt, weil er quasi gepflastert ist mit vielfältigen ökonomischen und individual- wie sozialemischen Problemen. Wer bedenkt das bei dem alltäglichen selbstverständlichen Gebrauch von billigen oder teuren Arzneimitteln, die uns zur Verfügung stehen, die aber größtenteils der armen Bevölkerung nicht zugänglich sind.

So ist also auch hier wieder der geforderte und angebotene Fortschritt unserer Medizin einzuordnen in interdisziplinäre wissenschaftliche und in weltweite wirtschaftliche und kulturelle Zusammenhänge (wie wir es schon bei dem vorjährigen Symposium zur Infektionsmedizin gesehen haben). Das zu Bewusstsein zu bringen, war das Anliegen des heutigen Symposiums. Dank der fesselnden Vorträge sollte das auch gelungen sein.

Pflanzen ernähren die Welt

Gemeinsame Vorstragsveranstaltung von BWG, JKI und TU Braunschweig anlässlich der Woche der Botanischen Gärten 2014

Veranstaltungsort: Hörsaal des Instituts für Pflanzenbiologie der TU Braunschweig, Humboldtstraße 1

Eröffnungsveranstaltung: Sonntag, den 15. Juni 2014, 11:00 Uhr

Prof. Dr. **Dietmar Brandes** (15.06.2014)

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Institut für Pflanzenbiologie der TU Braunschweig

Pflanzen ernähren die Welt: Die biologischen, historischen und wirtschaftlichen Grundlagen

Prof. Dr. **Frank Ordon** (18.06.2014)

JKI, Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz, Quedlinburg

Moderne Pflanzenzüchtung – Grundstein der Ernährungssicherung

WOR **Jens Pistorius** (19.06.2014)

JKI, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland

Biene-Bestäubung-Pflanzen: Zur Rolle der Honigbiene in der Pflanzenerzeugung

Die Vorträge sind öffentlich.

Pflanzen ernähren die Welt: Die biologischen, historischen und wirtschaftlichen Grundlagen

DIETMAR BRANDES

Institut für Pflanzenbiologie der Technischen Universität Braunschweig,
Mendelssohnstraße 4, D-38106 Braunschweig

Vorbemerkung

Die gemeinsame Vortragsreihe von Braunschweigischer Wissenschaftlicher Gesellschaft, Julius-Kühn-Institut (JKI) und Technischer Universität Braunschweig beschäftigte sich mit der eminent wichtigen Aufgabe, die Ernährung der Menschheit zu sichern – auch vor dem Hintergrund steigender Bevölkerungszahlen und sehr endlicher Anbauflächen. Gerade in der Braunschweiger Region ist die Forschungskompetenz auf den Gebieten der Lebens-, Umwelt- und Agrarwissenschaften sehr hoch. Wir haben daher das Rahmenthema der „Woche der Botanischen Gärten 2014“ gern aufgegriffen, da es sich um eines der wichtigeren Themen für die Zukunft der Menschheit handelt.

Photosynthese als biochemisch wichtigste Reaktion

Die Bedeutung der grünen Pflanzen für das heutige Leben kann kaum überschätzt werden:

- Grüne Pflanzen nutzen das Licht der Sonne aus ca. 150 Millionen km Entfernung
- Photosynthese ist der wichtigste biochemische Prozess auf der Erde
- Menschen und Tiere sind als heterotrophe Organismen direkt und/oder indirekt (über Nahrungsketten bzw. Nahrungsnetze) von der CO_2 -Assimilation der Pflanzen abhängig
- Erst durch die oxygene Photosynthese entstand eine sauerstoffhaltige Atmosphäre sowie der Ozonschild
- Pflanzen können daher als Motor angesehen werden, der alles vorantreibt.

Auf die Einzelheiten der Photosynthese muss hier nicht eingegangen werden, da es sich um leicht zugängliches Lehrbuchwissen handelt. Die globale CO_2 -Fixierung erfolgt fast ausschließlich durch die oxygene Photosynthese (von Pflanzen und photosynthetisch aktiven Bakterien). Pro Jahr werden unter den gegenwärtigen

Bedingungen etwa 123 Milliarden Tonnen Kohlendioxid von Pflanzen gebunden. Davon werden ca. 60 Milliarden Tonnen wieder durch Atmung freigesetzt, 63 Milliarden Tonnen werden in der Biomasse (CO_2 sink) sowie im Boden gebunden. Etwa 69%, also mehr als zwei Drittel, der photosynthetischen Primärproduktion entfallen auf die *terrestrischen* Pflanzen. Zur globalen Sauerstoffproduktion tragen die terrestrischen und die marinen Primärproduzenten etwa im selben Verhältnis bei.

Sauerstoffhaltige Atmosphäre als Grundlage für das heutige Leben auf dem festen Land

Bei der Photolyse des Wassers im Verlauf der Photosynthese entsteht Sauerstoff gewissermaßen als „Abfallprodukt“. Alle aeroben Organismen benötigen den Sauerstoff zur Energiegewinnung (Atmungskette). Wir haben die sauerstoffhaltige Atmosphäre also den photosynthetisch tätigen Organismen zu verdanken. Diese entstanden zunächst im Wasser (flüssiger UV-Filter!), da die frühe Erdatmosphäre die aggressive UV-Strahlung noch nicht absorbieren konnte. Der freigesetzte Sauerstoff wurde zunächst zur Oxidation von Fe(II) und Sulfid verbraucht, sein Anteil in der Atmosphäre stieg dann aber vor etwa 650 Millionen Jahren rasch an. Molekularer Sauerstoff (O_2) absorbiert UV-C vollständig, Ozon (O_3) absorbiert den größten Teil des UV-B, nur das relativ langwellige [und relativ energiearme] UV-A gelangt auf die Erdoberfläche. Unterhalb von ca. 230 nm ist die Ultraviolettstrahlung so energiereich, dass der molekulare Sauerstoff (O_2) in zwei freie Sauerstoffatome (O) gespalten wird. Diese Sauerstoffatome reagieren jeweils mit einem weiteren Molekül Sauerstoff (O_2) zu Ozon (O_3) weiter. Vor 750 bis 400 Millionen Jahren entwickelte sich der Özon-Schild in der Stratosphäre, der erst die Entwicklung des Lebens auf dem Land ermöglichte.

Historische Grundlagen

Die sog. neolithische Revolution war eine entscheidende Phase in der Entwicklung der Menschheit, in der produzierende und sesshafte Bauern die Jäger und Sammler ablösten. Ausgangspunkt war [für unseren Kulturkreis] der „Fruchtbare Halbmond“ im Nahen Osten ab etwa 10000 v. Chr. Mit der neolithischen Revolution und der Entwicklung des Ackerbaus sind die Entwicklung von Viehzucht, Keramikproduktion, Kupferverarbeitung, Tauschhandel und Arbeitsteiligkeit verbunden. Der frühe Ackerbau schuf erst die Voraussetzungen für die Gründung von Städten sowie auch für die Entwicklung der Schrift!

Vor mindestens 11000 Jahren entwickelte sich der Getreidebau im Bereich des Zweistromlandes von Euphrat und Tigris nördlich der Syrischen Wüste sowie an der levantinischen Küste und in Teilen Anatoliens. Die neue Technologie des

Ackerbaus erreichte um 6500 v. Chr. die Westküste Kleinasiens, wobei dann die Ausbreitung nach Nordwesten sehr schnell erfolgte, so kann sie um 6000 v. Chr. bereits für den Balkan nachgewiesen werden bald darauf auch in Mitteleuropa, wo mit den Linienbankkeramikern die älteste Bauernkultur nachweisbar ist. Die nördliche Lößgrenze in Mitteleuropa wurde ca. 5500 v. Chr. erreicht; bekannte Fundorte von bandkeramischen Siedlungen in der Braunschweiger Umgebung befinden sich z.B. in Rosdorf (Kr. Göttingen), Wittmar an der Asse (Kr. Wolfenbüttel) und Derenburg (Kr. Harz).

Welche Kulturpflanzen wurden in der Jungsteinzeit angebaut? Hierüber geben paläoethnobotanische Untersuchungen Auskunft: Emmer (*Triticum dicocum*), Einkorn (*Triticum monococum*), Dinkel (*Triticum aestivum* subsp. *spelta*), Gerste (*Hordeum*), Rispenhirse (*Panicum miliaceum*), Erbse (*Pisum sativum*), Linse (*Lens culinaris*), Lein (*Linum bienne*, *Linum usitatissimum*) sowie Mohn (*Papaver somniferum*).

Wie können wir uns diese rasante Ausbreitung des Ackerbaus vorstellen? Sind die frühen Bodenbauer wirklich vom Nahen Osten nach Nordwesten gewandert oder haben unterschiedliche Bevölkerungsgruppen ihr Wissen jeweils nur an die benachbarte Gruppe im Sinne eines Ideenexports weitergegeben? Während bislang die zweite Hypothese favorisiert wurde, zeigen Untersuchungen der genetischen Distanz zwischen frühneolithischen Bandkeramikern aus Derenburg und modernen Populationen in Europa und dem Nahen Osten die größte Ähnlichkeit zur heutigen Bevölkerung im östlichen Anatolien, im Iran sowie im Nordirak. Nach dem heutigen Stand der Forschung haben die frühen Ackerbauern keine genetischen Spuren in der lokalen Bevölkerung hinterlassen. Offensichtlich war die Neolithisierung in Mitteleuropa zunächst kein flächendeckender Prozess, da parallel zu den Ackerbauern andere Gruppen an ihrer alten Lebensweise festhielten (vgl. zusammenfassende Darstellung bei C. Meyer (2014): Menschliche Skelettfunde als Zeitzeugen der Vergangenheit: die ersten Bauern aus anthropologischer Perspektive. – Archäologie in Deutschland, So.H. 5: 79–86).

Wichtige Entwicklungssprünge der Landwirtschaft, die zur Erhöhung und Verbesserung der Pflanzenproduktion führten, können hier nur stichwortartig erwähnt werden:

- Dreifelderwirtschaft (seit dem Mittelalter): Brache – Winterfrucht – Sommerfrucht
- Einführung von gebietsfremden Kulturpflanzen
- Trennung von Wald und Weide (Anfang des 19. Jh.)
- Drainage
- Tiefpflügen
- Pflanzenzucht

- Künstliche Düngung
- Einsatz von Pestiziden
- Einsatz von biotechnologischen Methoden.

Welche Pflanzenvielfalt nutzen wir?

Weltweit gibt es ca. 300.000 Blütenpflanzenarten, nach einigen Schätzungen vielleicht sogar insgesamt 400.000 Pflanzenarten. 20.000 davon sollen in irgendeiner Weise vom Menschen genutzt werden. Kultiviert werden ca. 500 Nutzpflanzen, von denen lediglich sieben (Weizen, Reis, Mais, Kartoffel, Maniok, Zuckerrohr und Sojabohnen) als Grundnahrungsmittel der Weltbevölkerung dienen.

Tab. 1: Produktion von Nahrungspflanzen im Jahr 2009 (nach FAO 2011).

Zuckerrohr	1.661.251.000 t
Mais	818.823.000 t
Weizen	685.614.000 t
Reis	685.240.000 t
Kartoffel	329.581.000 t
Maniok	233.796.000 t
Sojabohne	223.185.000 t

Quelle: Lieberei & Reisdorff (2012): Nutzpflanzen. 4. Aufl. – Stuttgart.

Bei den Kulturpflanzen und dem Nutzvieh nimmt die Artenvielfalt insgesamt ab, ebenso die infraspezifische Diversität. Die Vielfalt der Produktionssysteme und das damit verbundene traditionelle, regional begrenzte und ortsspezifische Wissen gehen ebenfalls zurück. Mit der weltweit fortschreitenden Vereinheitlichung der Produktionsmethoden sind viele Züchtungen und Rassen zugunsten anderer, ertragreicherer und marktgängiger Rassen verloren gegangen. Auch manche wildlebende Verwandte unserer Nutzpflanzen sind vom Aussterben bedroht. Hier leisten die Genbanken einen wichtigen Beitrag, um das Aussterben von Kulturpflanzen (Generosion) und von mit ihnen verwandten Wildarten zu verhindern.

Ausblick in die Zukunft

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche auf der Erde umfasst 48.817.330 km² (9,6% der Erdoberfläche und damit ca. 1/3 der Landfläche). In semiariden Regionen gehen jedoch zunehmend Anbauflächen verloren. Nach Prognosen wird die Weltbevölkerung im Jahr 2050 mehr als 9 Milliarden Menschen umfassen. Laut *Pflanzenforschung.de* muss die globale Nahrungsproduktion dann um 70 bis 100% steigen, um die Menschheit ausreichend zu versorgen, dies trotz Klimawandel und Wasserknappheit. Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden auch bei Klimaerwärmung das östliche Nordamerika und Mitteleuropa (im weiteren Sinne) für die globale Nahrungsmittelproduktion unverzichtbar sein. Es ist daher sehr fraglich, ob wir uns wirklich die Zweckentfremdung von Ackerböden für den Anbau von Ausgangsstoffen für Biotreibstoffe leisten können.

Wesentliche Lösungsansätze sind vor allem von der Züchtungsforschung zu erwarten. Seit ca. 11.500 Jahren werden Felder bestellt, womit auch die Pflanzenzucht begann, denn keine unserer heutigen Nutzpflanzen war damals in der „freien“ Natur zu finden. Das schmale genetische Spektrum der Nutzpflanzen, die weltweit bedeutend sind, führt zu einer permanenten Suche nach alten Landrassen und Wildpflanzen, bzw. nach deren Genen, um Resistenzen zu erhalten bzw. zu erzeugen. Hieraus ergibt sich gleichermaßen die Forderung nach Erhaltung verwandter Arten unserer Kulturpflanzen in situ wie auch nach dem Ausbau von Genbanken.

Moderne Pflanzenzüchtung – Grundstein der Ernährungssicherung*

FRANK ORDON

Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz, Julius Kühn-Institut (JKI),
Erwin-Baur-Str. 27, D-06484 Quedlinburg

Die Entstehung unserer heutigen Gesellschaft ist eng verknüpft mit der Domestikation unserer Kulturpflanzen, die ca. 10000 Jahre vor Christus in verschiedenen Teilen der Erde begann und den Übergang von der Gesellschaft der Jäger und Sammler zu den sesshaften Bauern und damit eine entsprechende Arbeitsteilung und die Entwicklung von Hochkulturen ermöglichte. In dieser Zeit wurden beispielsweise bei den Getreidearten (z.B. Weizen, Gerste) Pflanzen mit nichtbrüchiger Ährenspindel selektiert, welche eine vereinfachte Ernte erlauben. Nicht alle Kulturpflanzen haben jedoch eine so lange Tradition, so wurden beispielsweise Arten wie Zuckerrübe, Raps oder Triticale, welche heute in großem Umfang in Deutschland angebaut werden, erst in den letzten Jahrhunderten bzw. Jahrzehnten in Kultur genommen.

Die Pflanzenproduktion steht heute vor erheblichen Herausforderungen, so sind im Jahre 2050 ca. 9 Mrd. Menschen zu ernähren, d.h. es sind bei begrenzter Flächenverfügbarkeit erhebliche Ertragssteigerungen, beim Weizen z.B. um ca. 60%, nötig, um dieses Ziel zu erreichen. Am Anfang der pflanzlichen Produktionskette steht das Saat- bzw. Pflanzgut, so dass der Pflanzenzüchtung bzw. der Pflanzenzüchtungsforschung eine besondere Bedeutung bei der Bewältigung zukünftiger Herausforderungen zukommt, da im Verlauf des Produktionsprozesses im Zusammenspiel mit der Umwelt und den Managementmaßnahmen nur diejenigen Eigenschaften realisiert werden können, die im Saat- bzw. Pflanzgut genetisch verankert sind. Pflanzenzüchtung ist somit ein entscheidender Baustein im Hinblick auf die Ernährungssicherung einer steigenden Weltbevölkerung und die Bereitstellung von Rohstoffen für die Bioökonomie vor dem Hintergrund des Klimawandels, des zunehmenden Flächenverbrauchs für die Bioenergiegewinnung und den veränderten Verzehrgewohnheiten vor allem in Schwellenländern.

Die systematische Pflanzenzüchtung nahm ihren Ausgang von der Entdeckung der Gesetzmäßigkeiten der Vererbung durch den Brünner Mönch Gregor Mendel bzw. deren Wiederentdeckung durch Correns, de Vries und von Tschermak

* Kurzfassung des Vortrags, der am 18.06.2014 anlässlich des BWG Kolloquiums „Pflanzen ernähren die Welt“ gehalten wurde.

zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Die Züchtung einer neuen Sorte ist häufig ein langwieriger Prozess, der z.B. bei selbstbefruchtenden Arten wie Weizen und Gerste 10 Jahre und mehr in Anspruch nehmen kann. Die Züchtung einer Sorte lässt sich dabei in 3 Phasen gliedern: (i) die Schaffung von Ausgangsvariation, (ii) die Selektion von Sortenkandidaten und (iii) deren Prüfung, Erhaltung und Vermehrung. Unter Nutzung klassischer Selektionsverfahren konnten in der Vergangenheit erhebliche züchterische Erfolge erzielt werden. So sind z.B. bei Weizen und Gerste die Erträge von 1960 bis heute in Deutschland um ca. 0,7 bzw. 1 dt ha⁻¹ Jahr⁻¹ gestiegen und ca. 30–50% dieser Ertragssteigerung sind auf den Züchtungsfortschritt zurückzuführen. Weiterhin konnten auch erhebliche Verbesserungen in der Kombination der Ertragsleistung mit verbesserten Resistenz- und Qualitätseigenschaften erzielt werden. Klassische Pflanzenzüchtungsverfahren bilden nach wie vor das Rückgrat auch der modernen Pflanzenzüchtung, jedoch stehen der Pflanzenzüchtung heute eine Vielzahl biotechnologischer Verfahren zur Verfügung, welche dazu beitragen die Züchtung neuer angepasster Sorten zu beschleunigen bzw. effizienter zu gestalten.

Im Rahmen der Nutzung bzw. Erzeugung genetischer Variation erlauben Verfahren der Zell- und Gewebekultur eine verbesserte Nutzbarmachung des sekundären und tertiären Genpools, d.h. von Wildarten, die durch eine eingeschränkte Kreuzbarkeit mit der Kulturart gekennzeichnet sind. Darüber hinaus sind effektive gentechnische Verfahren zur Erzeugung genetischer Variation, die weit über das mit konventionellen und zellbiologischen Techniken zu erzeugende Maß hinaus geht, bekannt, jedoch in Europa aufgrund der weitgehenden Ablehnung von untergeordneter Bedeutung. Der anschließende Selektionsprozess kann durch die Erzeugung doppelhaploider Pflanzen über Antheren- bzw. Mikrosporenkultur, die sofort homozygot sind, deutlich verkürzt werden. Molekulare Marker erlauben heute, wenn sie hinreichend eng mit dem Zielgen gekoppelt sind oder auf Sequenzunterschieden im Gen selbst beruhen, eine sichere, umweltunabhängige Selektion auf DNA- bzw. RNA-Ebene in frühen Entwicklungsstadien der Pflanzen. Die Entwicklung dieser Marker war in der Vergangenheit sehr arbeits- und zeitaufwendig, da nur wenige Loci gleichzeitig analysiert werden konnten. Bedingt durch neue Sequenzierungstechniken, die zu einer deutlichen Kostenreduktion seit Beginn dieses Jahrtausends geführt haben, konnten jedoch z.B. Hochdurchsatzmarkertechnologien auf Chipbasis entwickelt werden, welche heute nicht nur die Identifikation von Markern in bi-parentalen Populationen beschleunigen, sondern auch eine Nutzung assoziationsgenetischer Verfahren bzw. die Nutzung genomischer Selektionsverfahren in der Pflanzenzüchtung ermöglichen. Darüber hinaus ist heute bei vielen Kulturarten das gesamte Genom (z.B. Reis) bzw. große Teile des Genoms (z.B. Gerste) entschlüsselt. Ergänzt werden diese Fortschritte in der DNA-Analyse durch Fortschritte in den Präzisionsphänotypisierungstechniken, welche eine sichere und detaillierte Erfassung des Phänotyps erlauben und damit gesicherte Rückschlüsse vom Phänotyp auf den Genotyp bzw. beteiligte

Gene und QTL ermöglichen. So konnte unter Nutzung dieser Techniken z.B. gezeigt werden, dass eine markergestützte Kombination von Resistenzgenen zu verbesserten Resistenzeigenschaften führt, Gene identifiziert werden, die in die Biomassebildung, die Trockenstresstoleranz oder die Stickstoffverwertung involviert sind, oder Gene isoliert werden, die Resistenz gegen Pathogene bedingen.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass sich bedingt durch das umfangreiche biotechnologische Instrumentarium und die Fortschritte in der Phänotypisierung die Zeitdauer für die Züchtung neuer Sorten erheblich verkürzen wird, so dass es der Pflanzenzüchtung zukünftig möglich sein wird, schneller und zielgerichteter auf die künftigen Herausforderungen zu reagieren und damit einen erheblichen Beitrag zur Ernährungssicherung zu leisten.

Vortragsreihe im phæno „Luft“

Veranstaltungstage: Donnerstag, 25.9., 9.10., 16.10. und 23.10.,
jeweils 18.30–19.30 Uhr

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft
Akademie der Wissenschaften zu Göttingen
phæno Wolfsburg

Veranstaltungsort: phæno, Wissenschaftstheater, Willy-Brandt-Platz 1,
38440 Wolfsburg

„*Lufffffft – federleicht und tonnenschwer*“ war der Titel der Sonderausstellung im phæno, deren Schwerpunkt auf den physikalischen Eigenschaften von Luft lag. Bis zum 8. Februar 2015 können die Besucher an 25 neuen Stationen rätselhafte Eigenschaften der Luft entdecken, die Kälte des Windes am eigenen Körper spüren, beim Armdrücken mit Luft gegeneinander antreten und mit einem Propellerfahrrad gegen den Wind fahren und so mit viel Spaß erleben, dass Luft viel mehr als „Nichts“ ist!

In der Vortragsreihe begleitend zur Sonderausstellung haben die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft und die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen das Thema „Luft“ aufgegriffen, um aus den unterschiedlichen Blickwinkeln der Geochemie, der Luftfahrttechnik, der Tierhaltung und der Biologie weiterführende Informationen und Gedanken „rund um die Luft“ zu präsentieren.

Prof. Dr. **Gerhard Wörner**, Georg-August-Universität Göttingen (25.09.2014)

Gerhard Wörner ist seit 1993 Professor für Geochemie am Geowissenschaftlichen Zentrum der Universität Göttingen und Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Er erforscht die Ursachen des Vulkanismus und die geologische Entwicklung von Vulkangebieten im Wechselspiel mit den plattentektonischen Prozessen auf unserer Erde.

Luft mit Geschichte – Die Entstehung der Luft und die Entwicklung unserer Atmosphäre

Luft ist nicht einfach nur Luft, sondern das Produkt einer 4,5 Milliarden Jahre dauernden Entwicklung unserer irdischen Atmosphäre. Alle Planeten haben eine Gashölle, aber die „Luft“ unserer Erde ist etwas ganz Besonderes, das es auf keinem anderen Planeten gibt. Dennoch hatten zu Beginn unseres Sonnensys-

tems der Mars und die Venus eine der Erde ähnliche Atmosphäre. Allerdings hat die Luft heute eine ganz andere Zusammensetzung als die Atmosphären unserer Nachbarplaneten Mars und Venus. Was ist so anders? Warum und wie hat sich die Zusammensetzung der Erdatmosphäre im Verlauf der Erdgeschichte verändert? Wie war die Wechselwirkung zwischen den geologischen Kräften der Erde und der biologischen Evolution? Denn gerade diese Wechselwirkungen bestimmen die Zusammensetzung der Luft in unserer Atmosphäre. Die Zusammensetzung der Luft hat sich also in der Erdgeschichte stetig verändert! Wie und wann kann man aus den geologischen Archiven der Gesteine ablesen.

Prof. Dr.-Ing. **Rolf Radespiel**, Technische Universität Braunschweig (09.10.2014)

Rolf Radespiel ist seit 2000 Professor für Strömungsmechanik an der TU Braunschweig und Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft. Er forscht über Modellbildung für numerische Simulationen in der Strömungsmechanik, Aerodynamik von Verkehrsflugzeugen und Aerothermodynamik von Raumfahrzeugen.

Mobile Industriegesellschaft – Wie fliegen wir morgen?

In den hoch entwickelten Industriegesellschaften Europas ist Mobilität ein entscheidender Wettbewerbsfaktor und erfordert schnelle und flexible Verbindungen zwischen den Ballungsräumen. Der weitere Ausbau der bodengebundenen Verkehrssysteme stößt allerdings wegen der erforderlichen Investitionen, des großen Flächenverbrauchs und der Begrenzung der erreichbaren Geschwindigkeiten schon heute an seine Grenzen. Daraus lässt sich ein zukünftiger Bedarf für neue Verkehrsmittel der Luftfahrt ableiten, die in einer bisher nicht gekannten Weise in Ballungsräume integrierbar sind. Hierfür müssen die Lärmemissionen dieser Flugzeuge drastisch verringert und die Leistungsfähigkeit der Hochauftriebssysteme für Start und Landung wesentlich verbessert werden. Für diesen Zweig der aktuellen Luftfahrtforschung wurden Erfolg versprechende Konzepte anschaulich diskutiert und ein Einblick in Forschungsarbeiten des diesbezüglichen Sonderforschungsbereichs der TU Braunschweig gegeben.

Prof. Dr. **Bertram Brenig**, Georg-August-Universität Göttingen (16.10.2014)

Bertram Brenig ist seit 1993 Professor für Molekularbiologie der Nutztiere, Leiter des Tierärztlichen Instituts der Universität Göttingen und Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Er forscht auf dem Gebiet der molekularen Genetik der Haustiere.

Luftverschmutzung und Fleischkonsum – Auf dem Weg zu einer umweltschonenden Tierhaltung

Während in Deutschland der Fleischverbrauch in den letzten Jahren nahezu konstant geblieben ist, steigt der weltweite Fleischkonsum weiter an, vor allem in den Entwicklungs- und Schwellenländern. Mit der steigenden Nachfrage nach Fleisch wachsen aber auch die Probleme der Emissionen aus der Tierhaltung. Dabei spielen neben den globalen klima-relevanten Treibhausgasen CO_2 , N_2O und CH_4 regional auch umweltrelevante Emissionen von NH_3 und Partikeln eine wichtige Rolle. Lokal kommen hier Geruchs- und Lärmbelästigung der Bevölkerung hinzu. Betrachtet man die landwirtschaftliche Produktion allein, so trägt diese insgesamt ca. 14% zur Emission von Treibhausgasen bei. Ein wesentlicher Anteil der Treibhausgasemission ist auf den Methanausstoß durch Wiederkäuer zurückzuführen. Im Spannungsfeld der Verbrauchererwartungen, Wettbewerbsfähigkeit, dem Tier- sowie Umweltschutz geht es also um die Entwicklung neuer Strategien für eine moderne und nachhaltige Tierproduktion, die letztendlich zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen führt.

Prof. Dr. **Dietmar Brandes**, Technische Universität Braunschweig (23.10.2014)

Dietmar Brandes, Jahrgang 1948, lehrt seit 1986 im Fach Botanik. Seine Forschungsgebiete sind Vegetationsökologie und Biodiversität. Er wurde 1996 zum ordentlichen Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft berufen und für die Amtsperiode 2014-2016 zu ihrem Präsidenten gewählt.

Ozon, Pollenflug und Schwefelregen

Die Atmosphäre in ihrer heutigen Zusammensetzung verdanken wir ebenso wie den Ozonschild den grünen Pflanzen. Erst durch photosynthetisch tätige Organismen wurden die Voraussetzungen für ein Leben auf dem Lande, also außerhalb des Wassers, geschaffen. Die Pflanzen nutzen den bodennahen Luftraum mit hoher Effektivität für ihren genetischen Austausch, wobei ihre Pollen vom Wind oder von fliegenden Tieren von einer Pflanze zur anderen übertragen werden. Insbesondere Pionierpflanzen vertrauen ihre Samen dem Lufttransport an, um geeignete Wuchsorte rasch besiedeln zu können. Besonders leichte Samen (z.B. von Orchideen) können vom Wind über weite Entfernungen ausgebracht werden. Der Vortrag behandelte die unterschiedlichen Facetten des faszinierenden Zusammenspiels zwischen Atmosphäre und Pflanzen sowie ihre positiven aber auch ihre unerwünschten Auswirkungen auf den Menschen.

Weitere Veranstaltungen 2014

26th German Conference on Weed Biology and Weed Control

Veranstaltungstage: 11. bis 13.3.2014

Veranstalter: JKI Braunschweig, Institut für Geoökologie der TU Braunschweig und Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft [DPG])

Veranstaltungsort: Altgebäude der TU Braunschweig, Pockelsstrasse 4

Begrüßung der Teilnehmer durch den Präsidenten der BWG und Vorstellung der Wissenschaftsregion Braunschweig und ihrer biowissenschaftlichen Potenziale.

Vortragsveranstaltung

Veranstaltungstag: Dienstag, 15.07.2014, 19.00 h

Veranstaltungsort: Institut für Pflanzenbiologie, Humboldtstraße 1, Braunschweig

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft, TU Braunschweig – Institut für Pflanzenbiologie

Dr. Annette Patzelt, Oman Botanic Garden, Muscat

Arabiens Pflanzenwelt. Von der Sandwüste bis zum subtropischen Regenwald in einem neuen botanischen Garten. (ausführliche Fassung siehe Seite 282 ff.)

Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen

Veranstaltungstag: 06.12.2014

Veranstaltungsort: Braunschweigisches Landesmuseum, Burgplatz 1

Veranstalter: Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen
Braunschweigisches Landesmuseum
Technische Universität Braunschweig
Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Die „Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen“ wurde 1996 von einer der TU Braunschweig eng verbundenen Braunschweiger Bürgerin ins Leben gerufen.

Zweck der Stiftung ist die Förderung besonders begabter Studierender der TU Braunschweig. Ihnen wird der Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen (zum Beispiel exzellente schriftliche Ausarbeitungen auf hohem wissenschaftlichen Niveau) oder auch für besondere mit herausragendem Engagement und Ideenreichtum betriebene Aktivitäten verliehen.

Die Stiftung unterstützt darüber hinaus bedürftige Studierende der Universität durch finanzielle Hilfen.

Verleihung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen

Begrüßung:

Dr. Heike Pöppelmann, Direktorin des Braunschweigischen Landesmuseums

Preisverleihung und Vorstellung der Preisträger:

Thomas Heinisch, Vorstandsvorsitzender der Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis

Prof. Dr. Jürgen Hesselbach, Präsident der TU Braunschweig

Gratulation:

Prof. Dr. Dietmar Brandes, Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Vortrag:

Prof. Dr.-Ing. Joachim Block, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Die Rosetta Mission und wir – Braunschweiger Institute auf den Spuren der Anfänge des Sonnensystems

Abhandlungen

Nachhaltigkeitscontrolling als integrierter Bestandteil des Managementkonzepts

JOACHIM HENTZE

Department Wirtschaftswissenschaften, TU Braunschweig,
Rebenring 58a, D-38106 Braunschweig

1. Vorbemerkung

Nachhaltigkeitscontrolling ist bislang in der Literatur wenig behandelt worden. Einige Unternehmen verwenden bereits in Nachhaltigkeitsberichten Daten und Fakten zu Handlungsfeldern des Nachhaltigkeitsmanagements wie zur Strategie und Management, zu Produkten und Lieferketten, Mitarbeitern und gesellschaftlichem und sozialem Engagement. Vielfach werden Kennzahlen und Fakten zum Erreichungsgrad der Themenfelder im Nachhaltigkeitsberichten ausgewiesen (z.B. Henkel 2013, Daimler 2013, Lufthansa 2014, Miele 2013). Diese Kennzahlen werden im Nachhaltigkeitscontrolling generiert, das in das Nachhaltigkeitsmanagement integriert ist und damit eine Dienstleistungsfunktion für die Nachhaltigkeitsberichterstattung erfüllt.

Bislang können Unternehmen selbst bestimmen, ob sie einen Bericht erstellen und publizieren. Diese Wahlfreiheit wird sich für einige Unternehmen aufgrund der EU Richtlinie 2013/34 vom 22.10.2014 ändern, nach der bestimmte große Unternehmen Angaben zu nichtfinanziellen und die Diversität betreffender Informationen publizieren müssen (EU Richtlinie 2013 vom 22. Oktober 2014). Von der Offenlegungspflicht sind Unternehmen von öffentlichen Interesse mit durchschnittlich mehr als 500 Mitarbeitern betroffen. KMU sollen grundsätzlich von zusätzlichen Anforderungen befreit werden. Die Mitgliedsstaaten haben nun bis 2015 Zeit, diese Richtlinie umzusetzen. Die EU Kommission will bis zur Umsetzungspflicht unverbindliche Leitlinien zur Erfüllung der Berichtspflicht ausarbeiten. Die Unternehmen, die künftig nach diesen Leitlinien einen Bericht erstellen, müssen ein in das Managementkonzept integriertes Nachhaltigkeitscontrolling vorsehen.

2. Leitlinien des Nachhaltigkeitscontrollings

Bei der Behandlung des Themas Nachhaltigkeitscontrolling stellt sich zunächst die Frage, was daran neu ist. Wird unter dem Etikett „Nachhaltigkeitscontrolling lediglich „neuer Wein in alten Schläuchen serviert“ und eine vorübergehende Modeerscheinung präsentiert?

Es lassen sich die folgenden grundlegenden Leitideen der Konzeptionalisierung und der Feedforward-Steuerung als „controlling-originär“ herausstellen:

1. Konzeptionalisierung

Als ein zentraler Bestandteil des Controllings kann generell die Zusammenfassung (Konzeptionalisierung) von Managementaufgaben und –instrumenten angesehen werden. Die Controllingfunktion besteht nicht aus grundsätzlichen neuartigen Aufgabenkomplexen, sondern ist eine Integration unterschiedlicher zum Teil bekannter Instrumente und Methoden der Planung, Kontrolle und Informationswirtschaft.

2. Feedforward-Steuerung

Außer der Konzeptionalisierung kann das Feedforward-Control als einigermaßen neuartig im Sinne von controlling-originär angesehen werden. Als Vorwärtskopplung setzt Feedforward-Control an der Input-Seite des Managementprozesses an und versucht, Korrekturmaßnahmen bzw. Problemlösungen möglichst frühzeitig im Managementprozess bereitzustellen (vgl. Abb. 1). Feedforward-Steuerung lässt die **Feedback**-Kontrolle nicht überflüssig werden. Beide Prinzipien ergänzen sich vielmehr und führen insgesamt zu einer stärkeren Integration von Planung und Kontrolle. Allerdings darf der Feedforward-Ansatz nicht überschätzt werden. Er kann approximativ dazu beitragen, Fehlentwicklungen zu reduzieren, aber Zielabweichungen aufgrund der Unsicherheit zukünftiger Entwicklungen nicht vollständig eliminieren.

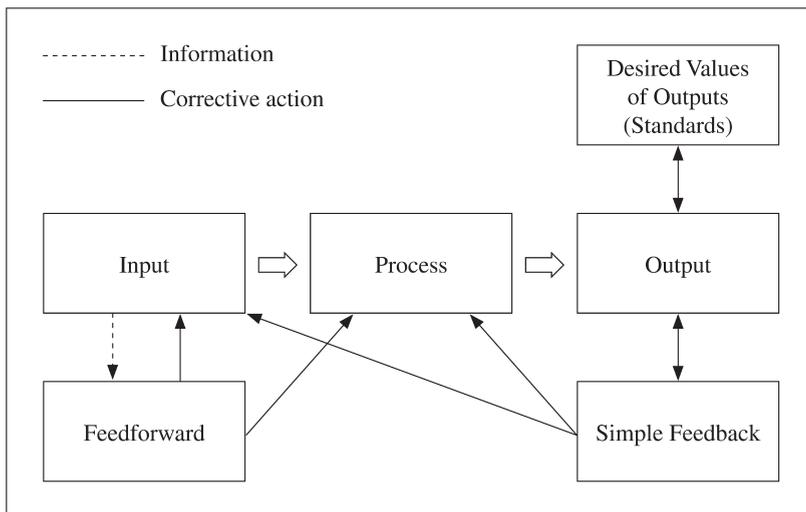


Abbildung 1: Inputorientierte Feedforward-Regelung und outputorientierte Feedback-Kontrolle (Wehrich-Koontz 1993, S. 587)

Controlling hat zukunftsorientiert möglichst frühzeitig über Chancen, Risiken und diesbezügliche Handlungsspielräume zu klären, Steuerungs- und Korrekturkonzepte bereitzustellen sowie unter Berücksichtigung komplexer Interdependenzen die Konsequenzen einzelner Strategien im Hinblick auf Zielwirksamkeit offenzulegen.

Die heutige Controllingdiskussion bezieht sich zunehmend auf der Basis einer antizipativen Controllingphilosophie. Das Controlling betont dabei primär die unternehmensinterne Sichtweise. Beim Nachhaltigkeitscontrolling erstrecken sich die Schwerpunkttätigkeiten des Controllingträgers auf die Implementierung, Betreuung und Weiterentwicklung von Planungs-, Kontroll- und Informationssystemen sowie auf die laufende Anpassung und Abstimmung dieser Systeme und Prozesse innerhalb der Teilsysteme. Das schließt die eigentliche laufende und nicht nur fallweise schwachstellenbezogene Versorgung der Entscheidungsträger mit notwendigen Informationen ebenso ein wie die Entwicklung und Bereitstellung von Planungsinstrumenten. Das Controlling betont in diesem Sinne primär die unternehmensinterne Sichtweise.

Die Komplexität des betrieblichen Geschehens und die zunehmende Dynamik der Kontextvariablen erfordert eine stärkere **Differenzierung der Controllingfunktion**. Je größer die Organisation und je komplexer die Aufgaben eines übergreifenden, die Unternehmung insgesamt steuernden (Zentral-)Controlling werden, desto geringer ist die Transparenz und desto schwieriger ist die Kontrolle der Ziel- und Aufgabenerfüllung. Der zunehmende Datenumfang im Nachhaltigkeitsmanagement (quantitativer Aspekt) sowie dessen Spezifizierungserfordernisse für einzelne Entscheidungen (qualitativer Aspekt) und die enorme Änderungsgeschwindigkeit der internen und externen Faktoren sprechen für ein **separates Nachhaltigkeitscontrolling**. Das zentrale Controlling sowie das Funktionscontrolling (z.B. Personalcontrolling, Logistikcontrolling) betonen primär die unternehmensinterne Sichtweise. Das Nachhaltigkeitscontrolling ist sowohl **intern** als auch **extern** ausgerichtet, da bestimmte Informationen (z.B. Kennziffern zur Umwelt) gemäß den Standards des Nachhaltigkeitsreportings für die Entscheidungsträger bestimmt sind und auch publiziert werden und damit den Stakeholdern zur Verfügung gestellt werden.

Die Differenzierung kann eine größere Zielgerichtetheit bedeuten, d.h. Nachhaltigkeitsziele können mit größerer Genauigkeit verfolgt werden, wenn auf eigene Steuerungsgrößen des Nachhaltigkeitsmanagements abgestellt und der spezielle Informationsbedarf realisiert und bereitgestellt wird. Insgesamt kann die Leistungsfähigkeit sowie Transparenz und Genauigkeit für die internen und externen Stakeholder gefördert werden, wenn sich Nachhaltigkeitsentscheidungen des Managements durch detaillierte Informationen vorbereiten lassen. Nicht nur die Informationspräferenzen des Nachhaltigkeitsmanagements können dann stärkere Berücksichtigung finden, sondern auch die Informationswege sind künftig kürzer, was zu einer Reduktion der Informationskosten führen kann.

Der Spezialisierungsvorteil wird außerdem im Vergleich zum Zentralcontrolling durch Entlastungseffekte ergänzt, die zu einer übersichtlichen Beherrschung des Gesamtsystems führen können, wenn die Kompetenzübertragung bestimmter Controllingaufgaben auf relativ eigenständige Funktionsbereiche den übergeordneten integrativen Charakter des betrieblichen (Gesamt-) Planungs- und Kontrollsystems nicht außer Acht lässt.

Auch die Informationsgewinnung, -bearbeitung und -verdichtung werden zum großen Teil in anderen betrieblichen Bereichen erfolgen, so dass im Nachhaltigkeitsmanagement und -reporting die Integration für die interne und externe Aufgabenerfüllung erfolgt. Die Notwendigkeit der stärkeren Betonung der zielgerichteten Steuerung der unternehmerischen Nachhaltigkeit ergibt sich aus dem neuen Selbstverständnis des Nachhaltigkeitsmanagements. Ein proaktives Management der Nachhaltigkeit macht umfassende, zielgerichtete Steuerungsmechanismen erforderlich. Durch Institutionalisierung eines Nachhaltigkeitscontrollings erfahren vielfältige Steuerungs-, Gestaltungs- und Koordinierungsaufgaben eine Aufwertung, indem diese präziser definiert, zielgerichtet konzeptioniert und damit bewusster herausgestellt werden.

Zur Ausgestaltung des Nachhaltigkeitsmanagements gehört ein entsprechendes Nachhaltigkeitscontrolling, das insbesondere der internen und externen Steuerung der Handlungsfelder des Nachhaltigkeitsmanagements dient sowie zur Vorbereitung und Erstellung des Nachhaltigkeitsreports Unterstützung leistet. (Hentze/Thies 2012) Dazu gehören insbesondere die Umsetzung der Nachhaltigkeitsstrategie und die Nachhaltigkeitsindikatoren (Key Performance Indicators), sowie Strategien, Ziele, Leistungen und den zugehörigen Erwartungen verschiedener Anspruchsgruppen in den drei Bereichen Ökonomie, Ökologie und Gesellschaftliches/ Soziales. Auch Schaltegger/Zvezdov betonen die Unterstützungsfunktion der Zielrealisierung durch die das Nachhaltigkeitscontrolling (Schaltegger/Zvezdov 2012: S. 47).

3. Die Einordnung des Nachhaltigkeitscontrollings in den Managementprozess

Zunehmende globale Herausforderungen, wie Klimawandel, Ressourcenschonung, Achtung der Menschenrechte und gesellschaftliche Teilhabe der internen und externen Stakeholder und ihre Erwartungen in Bezug auf Erfüllung internationaler Standards (z.B. UN Global Compact und Initiativen (z.B. Global Reporting Initiative G4) sowie hohe Erwartungen an die Transparenz der Nachhaltigkeitsleistungen und ihre Steuerungsqualität erhöhen die Anforderung an ein Nachhaltigkeitscontrolling und Nachhaltigkeitsreporting.

Auch ein integriertes Nachhaltigkeitsmanagement benötigt eine Unterstützung des Sustainability Controlling. Greiling/Ther (2010: S 39), Colesman (2013: S. 53)

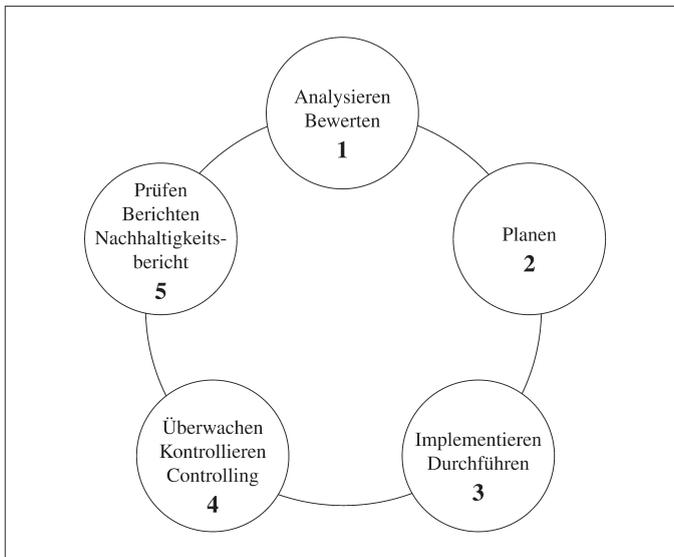


Abbildung 2: Phasenmodell des Nachhaltigkeitsmanagements (vgl. E.ON AG, 2011, KPMG 2009 S. 36 ff.).

sehen im Nachhaltigkeitscontrolling ein wichtiges Steuerungsinstrument, das somit Verantwortung für bestehende Reportingstrukturen und Informationssysteme aufweist.

Nachhaltigkeitsmanagement ist eine Balance zwischen wirtschaftlichen Erfolg (Zielerreichung) und Schutz der Umwelt und gesellschaftlicher/sozialer Verantwortung. Es ist anzustreben, dass es ein fester Bestandteil der Unternehmenskultur und Unternehmenspolitik wird.

Der Nachhaltigkeitsmanagementprozess soll hier anhand eines Phasenmodells erläutert werden. (vgl. Abbildung 2).

Die **Erste Phase**, das Analysieren und Bewerten, umfasst die Informationsbeschaffung für die Entwicklung der Nachhaltigkeitspolitik und deren Umsetzung. Die Informationsquellen für die Themenauswahl sind vielfältig. In dieser Phase geht es um die Festlegung der für die nachhaltige Wertschöpfung relevanten Handlungsfelder. Hier wird die Wesentlichkeitsanalyse mit den wichtigen Themen in der Regel zwischen Unternehmen und Stakeholdern im Dialog priorisiert und positioniert. Darin spiegelt sich die Bewertung der relevanten Nachhaltigkeitsthemen für das Unternehmen und die Beurteilung der Institutionen des Nachhaltigkeitsmanagements wieder, während die Bewertung besonders relevanter Nachhaltigkeitsthemen für die Stakeholder die Ergebnisse eines Multistakeholder-Dialogs wiedergeben.

Informationen zur Festlegung der Nachhaltigkeitshandlungsfelder können aus verschiedenen Quellen stammen, z.B. aus dem Markt, dem rechtlichen politischen Umsystem, den Wettbewerbern, den Stakeholdern (KPMG 2009, S. 3 ff.)

In der **Zweiten Phase**, der (strategischen) Planung werden die Strategien und Ziele der Nachhaltigkeit entwickelt und dokumentiert. Die Nachhaltigkeitsstrategie befasst sich im Kern mit der Zukunftsfähigkeit und ist damit integraler Bestandteil der Unternehmensstrategie.

In der Unternehmensstrategie, die damit den Prinzipien der Nachhaltigkeit folgt, werden die Ziele im Einklang mit den unternehmerischen Werten festgelegt, die dem Unternehmen Erfolg sichern und steigern sollen. Dabei wird davon ausgegangen, dass durch die Berücksichtigung der Nachhaltigkeit Chancen geschaffen werden, die einen wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Nutzen generieren.

Den Anspruch, ökologische und gesellschaftliche Verantwortung mit den unternehmerischen Interessen in Einklang zu bringen, wird z.B. bei Bayer auf vier Ebenen umgesetzt (Bayer 2011, S. 119).

1. Dialog und Engagement (Einbeziehung der Stakeholder),
2. Verantwortungsvolle Geschäftspraktiken (Handeln in den Bereichen Compliance, Personalpolitik, Produktverantwortung, Sicherheit, Gesundheit und Lieferantenmanagement),
3. Einbindung in das Geschäft (Nachhaltigkeit wird in allen Geschäftsbereichen übernommen sowie in deren Tätigkeit integriert und umgesetzt).
4. Relevante Nachhaltigkeitsthemen, das Nachhaltigkeitsprogramm, umfasst Lösungen für die großen gesellschaftlichen Herausforderungen (z.B. Gesundheitsversorgung).

Die Umsetzung der Nachhaltigkeitsstrategie erfolgt in Handlungsfeldern (Hentze/Thies 2012). Die Analyse der Herausforderungen der ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen/sozialen Entwicklung wird mit verschiedenen Instrumenten erstellt. Da sich die Rahmenbedingungen des Wirtschaftshandelns stets verändern, müssen Handlungsmaxime regelmäßig hinterfragt und ihre Wirksamkeit hinsichtlich der Zielerreichung überprüft werden.

Mit Hilfe von Zielen und Leistungsindikatoren wird die Strategie operationalisiert und gegebenenfalls messbar gemacht. Hinzu kommt ein nicht finanzielles Zielprogramm, das sowohl neue als auch weiterentwickelte Nachhaltigkeitsziele der Wertschöpfungskette umfasst. Die Abbildung 3 zeigt die Nachhaltigkeitsstrategie des Bayerkonzerns (Bayer 2012, 2014).

In der **Dritten Phase** der Implementierung und Durchführung werden die Aktivitäten in den Handlungsfeldern umgesetzt. Dieser Vorgang ist für alle Unternehmens-

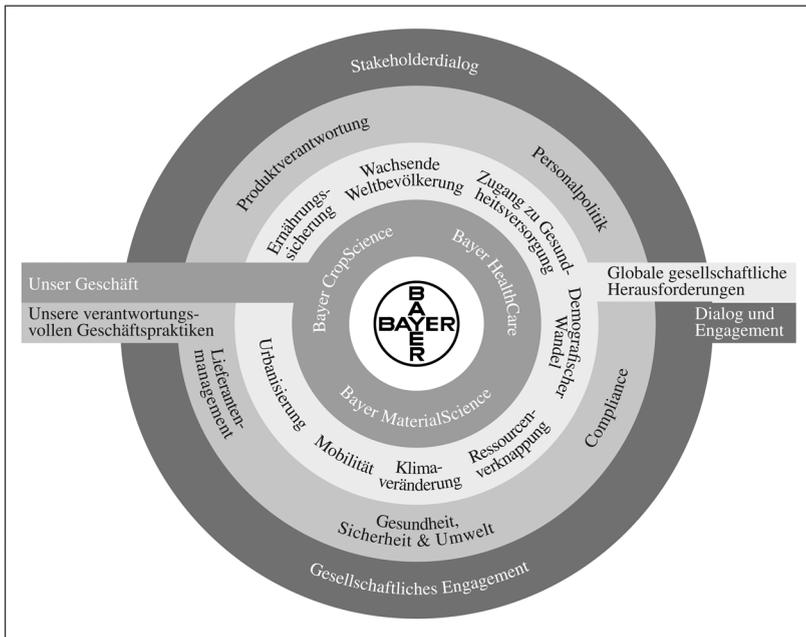


Abbildung 3: Nachhaltigkeitsstrategie von Bayer (2014).

mitglieder eine starke Herausforderung und verlangt Initiativen sowie den Willen zur Gestaltung des Wandels und setzt eine Kultur der Veränderungsfähigkeit für das Gelingen voraus. Sie erfordert eine ganzheitliche Führungsverantwortung des Managements und die Bereitschaft der Mitarbeiter zu einem starken Commitment mit den Zielen und Maßnahmen des Nachhaltigkeitsmanagements. Zunächst ist die Organisation zu erfassen und zu gestatten. Den Führungskräften obliegt dabei die Aufgabe, die Mitarbeiter im Veränderungsprozess mitzunehmen. Dazu ist eine intensive Kommunikation der Veränderungen und Reduzierung der Konflikte und Widerstände notwendig. Voraussetzung für diesen Prozess der Veränderungsfähigkeit ist die Veränderungsbereitschaft. Die dafür erforderliche Führungskompetenz verlangt von der Führungskraft vor allem eine mitarbeiterbezogene Einstellung und Umsetzung.

Es schließt sich die **Vierte Phase**, das Überwachen und Kontrollieren des Controllings an. Die Bewertung des ökonomischen Nutzens wird in der Regel in einigen Handlungsfeldern (z.B. Ressourceneffizienz, Emissionen) messbar sein. Bei anderen Nachhaltigkeitshandlungsfeldern (z.B. Diversity, Corporate Citizenship) wird es wie in anderen schwierig messbaren Handlungsfeldern (Marketing, Personalentwicklung) nicht so leicht sein, die Kosten und insbesondere den Nutzen zu bewerten.

Die Implementierung eines Nachhaltigkeitscontrollings und die Publikation der Maßnahmen und Ergebnisse können auch bei schwierig messbaren Handlungsfeldern zu einem echten Mehrwert führen und die Wettbewerbsposition stärken, wobei wie bei anderen Managementaktionen das Kausalitätsproblem gegeben ist. Mit Sicherheit sind die Kosten des Nachhaltigkeitsmanagements mit dem Controlling grundsätzlich leichter zu messen als der Nutzen. Die Resultate des Einsatzes mit dem Verzicht des Nachhaltigkeitsmanagements und damit auch des Nachhaltigkeitscontrollings lassen sich nicht gegenüberstellen.

Zur Implementierung des Nachhaltigkeitscontrollings bedarf es einer Organisationsstruktur. Nachhaltigkeitsmanagement ist eine Querschnittsfunktion, d.h., dass die Daten und Fakten der Ergebnisse der Handlungsfelder aus verschiedenen Bereichen zentral koordiniert werden müssen. Hierzu sind Organisationsstrukturen und Prozesse zu etablieren. Den Organisationseinheiten müssen die entsprechenden Verantwortlichkeiten übertragen werden. Gleichzeitig ist eine synergetische Integration der Funktionen in die bestehende Organisationsstruktur zu regeln. Für die Bewertung und Beurteilung der Aktivitäten sind die Maßnahmen, Nachhaltigkeitsstrategien, Ziele und Prozesse in den Handlungsfeldern zu operationalisieren und möglichst messbar zu machen mit dem Zweck der Kontrolle und Steuerung. Die Abbildung 4 zeigt die Struktur des CSR und des Nachhaltigkeitsmanagements im Volkswagenkonzern.

Die **Fünfte Phase** des Nachhaltigkeitsreportings und die betriebswirtschaftliche Prüfung ist integraler Bestandteil des betrieblichen Informationsmanagements. Dazu geben die Politik und verschiedene nationale und internationale Institutionen Rahmenbedingungen und Anreize für unternehmerische Strategien vor, die in verschiedenen Handlungsfeldern umgesetzt werden, z.B. Beschluss des EU-Rates vom 30.09.2014 zur Berichtspflicht von nichtfinanziellen Informationen und Diversity für kapitalmarktorientierte Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitern sowie für Unternehmen von öffentlichem Interesse.

Der Bericht enthält einerseits vergangenheitsorientierte und andererseits zukunftsorientierte Informationen über Ziele, Maßnahmen und erwartete Ergebnisse zu ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlich-sozialen Herausforderungen (Hentze/Thies, 2014).

Nachhaltigkeitsberichterstattung ist eine Form der Kommunikation mit den Stakeholdern (Balik/Frühwald, 2006, S. 246 ff.). Transparenz ist das leitende Prinzip des Nachhaltigkeits-Reportings (PWC 2011). Sie spiegelt sich in der Bereitschaft der Organisation wieder, den Stakeholdern Einsicht in das ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Handeln der Unternehmung zu gewähren. Dazu sind umfangreiche Informationen über Strategien, Prozesse, Produkte, Handlungsweisen und Ergebnisse des Nachhaltigkeitsmanagements erforderlich. Eine weitgehende Transparenz ist auch die Grundlage für eine Nachhaltigkeitsprüfung.

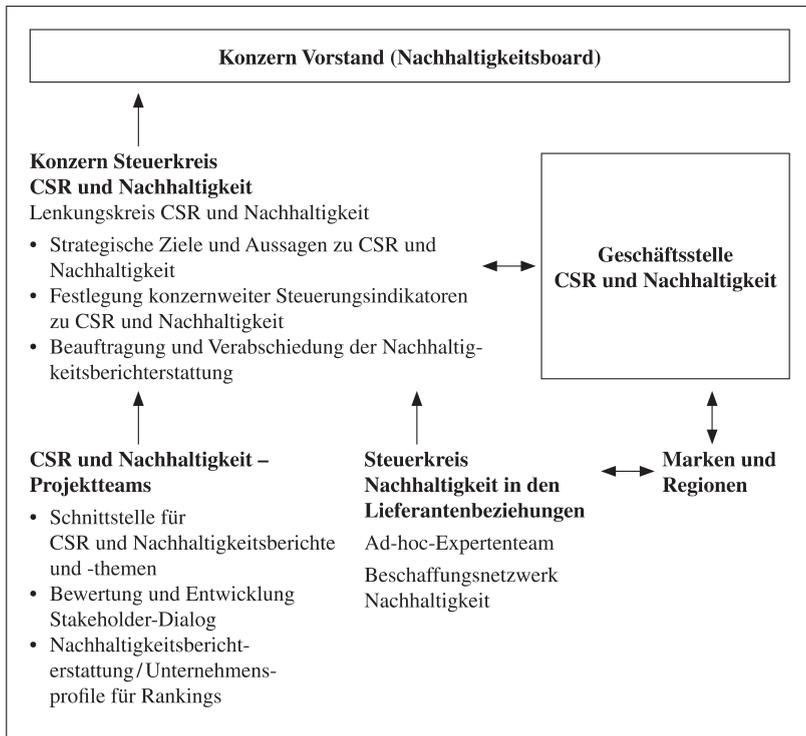


Abbildung 4: CSR- und Nachhaltigkeitsmanagement im Volkswagenkonzern (2012: S. 17).

Nachhaltigkeitsprüfungen sind Vorgänge in denen die Ist-Leistung und Vorgehensweisen im Vergleich mit dem Soll-Standards erhoben, dokumentiert und bewertet werden. Die Nachhaltigkeitsberichterstattung und auch die Prüfung sind auf die unterschiedlichen Informationsbedürfnisse der Stakeholder abzustellen. Da die Nachhaltigkeitsprüfung z.Zt. noch freiwillig ist, fragen sich die Unternehmen, welchen Nutzen sie von der Durchführung haben. KPMG hat die DAX- und die 100 umsatzstärksten deutschen Unternehmen nach dem Nutzen befragt. Danach ergeben sich die folgenden vier wichtigsten Treiber (KPMG 2009, S. 54):

- Erhöhung der Glaubwürdigkeit bei Stakeholdern,
- Verbesserung der Qualität von Berichtsangaben,
- Verbesserung der Berichterstellungsprozesse,
- Steigerung der Nachhaltigkeitsleistung.

Der Prüfungsumfang kann sich auf den gesamten Nachhaltigkeitsbericht oder auf ausgewählte Themen sowie auf qualitative bzw. quantitative Informationen beziehen. Die Prüfungstiefe hängt von der gewünschten Prüfungsaussage ab.

Der Auftragsgegenstand des Prüfers ist die Prüfung des Inhalts mit den dargestellten Kennzahlen und Erläuterungen auf der Grundlage der anzuwendenden Standards. Der Prüfungsbericht hat zum einen Aussagen für das Unternehmen zum Stand und Entwicklungspotential des Nachhaltigkeitsmanagements zu machen und zum anderen Stakeholdern Informationen zur Erfüllung der Aufgaben des Nachhaltigkeitsmanagements zu geben, die zeigen inwiefern das Unternehmen die Ziele erreicht hat und Stakeholder-unterstützend partizipieren können. Hier kommt dem Prüfbericht eine Nachweisfunktion zu mit der Bestätigung, dass die zugrundegelegten Standards erfüllt werden. Die betriebswirtschaftliche Prüfung trägt dazu bei, dass durch das Testat die Richtigkeit, Vollständigkeit und Angemessenheit im Bericht bestätigt wird. Externe Prüfungsbescheinigungen verleihen den Nachhaltigkeitsberichten Glaubwürdigkeit.

4. Die Begriffsproblematik des Controllings

Trotz unbestritten zunehmender Bedeutung in Wissenschaft und Praxis herrscht über Definition, Ziele und Aufgaben des Controllings nur wenig Einigkeit. So definieren Weber und Schäffer (2014) Controlling sehr allgemein, sodass zweckgebunden eine Definition in verschiedene Richtungen möglich ist. Nachdem sie die Begriffe Controller und Controllership definieren, schreiben sie zu Controlling: „Controlling schließlich ist eine spezielle Führungs- oder Managementfunktion, die von unterschiedlichen Aufgabenträgern – darunter auch, aber nicht nur Controller vollzogen wird“ (Weber/Schäffer 2014: S. 1)

Horváth weist darauf hin, dass durch die Anforderungen des Deutschen Corporate Governance Kodex das Controlling gefordert ist, die Umsetzung des Kodex zu unterstützen. Er schreibt weiterhin, dass nicht nur die materiellen, sondern auch die immateriellen Werte zu einem neuen Aufgabengebiet des Controllings, des Controllings von Intangible gehören (Horváth 2011: S. 63f.).

Horváth hebt auch hervor, dass die ökologischen und sozialen Dimensionen der Nachhaltigkeit zum langfristigen Unternehmenserfolg beitragen, und die Berücksichtigung dieser Themen im Management branchenübergreifend einen Paradigmenwechsel erfordert, der die Integration ökologischer Aspekte in das Controlling erfordert (Horváth 2011: S. 6).

Empirische Studien zeigen, dass zu den Aufgabenfeldern mit Controllerbeteiligung auch das interne und externe Berichtswesen gehört (Horváth 2011: 48). Das bedeutet, dass die internationalen Standards des Nachhaltigkeitsreportings im Controlling zu berücksichtigen sind. Nachhaltigkeitscontrolling (Sustainability

Controlling) ist integraler Bestandteil des Nachhaltigkeitsmanagementskonzepts, in das auch ein Risiko- und Chancenmanagement integriert ist. Das bedeutet, dass sich diese Systeme in allen dezentralen Planungs-, Controlling- und Berichterstattungssystem wiederfinden werden.

Weber, u.a. (2012, S. 91 f.) betonen, dass Nachhaltigkeitscontrolling grundsätzlich zentral oder dezentral in der Organisationsstruktur verankert werden kann. Bei der dezentralen Zuordnung sind die fachlich verantwortlichen Bereiche für Nachhaltigkeitsmanagement auch für das Controlling gefordert. Zentrale Zuordnung des Nachhaltigkeitscontrollings bedeutet, dass eine zentrale Controllingabteilung die Aufgaben wahrnimmt (Weber u.a. 2012: S. 91ff). Neben anderen Organisationsbereichen übernimmt das Nachhaltigkeitscontrolling die Mitverantwortung für die Steuerung (Weber u.a. 2012: S. 91ff). Als zentrale Funktionen des Nachhaltigkeitscontrollings werden von Greiling/Ther (2011, S. 361) im klassischen Sinne die Koordinationsfunktion, die Informations-, Planungs- und Kontrollfunktion herausgestellt.

Trotz der weitreichenden Begriffsproblematik und trotz des Fehlens einer geschlossenen Controllingtheorie sind unabhängig von der konkreten inhaltlichen Ausgestaltung bei den Controllingdefinitionen folgende übereinstimmende Merkmale implizit und explizit vorzufinden:

Rationalität: Controlling muss sich an einem explizit zielgerichteten, methodisch-systematischen Vorgehen orientieren.

Unterstützungscharakter: Unmittelbares Ziel des Controllings ist die Verbesserung der Gesamtzieelerreichung. Dieser Unterstützungscharakter bezieht sich (innerbetrieblich) funktional und instrumental auf Planungs-, Kontroll-, Koordinations- und Informationsaufgaben in der Unternehmung und institutionell auf der organisatorischen Entlastung der Unternehmensführung.

Informationsverarbeitender Charakter: In enger Verknüpfung mit der Unterstützung von Planung und Kontrolle stellt sich Controlling als komplexer Informationsprozess der Informationsbeschaffung, -verarbeitung, -speicherung und -übertragung dar.

Koordinierender Charakter: Dieser ist in Bezug auf die kennzeichnenden Elemente Planung, Kontrolle und Informationsversorgung gegeben.

Zukunftsbezogenheit: Im Gegensatz zur reinen Feedback-Kontrolle befasst sich Controlling im Rahmen der Planungsfunktion mit unterstützenden Maßnahmen zur Realisierung gewünschter zukünftiger Zustände. Daten und Fakten der Vergangenheit und Gegenwart dienen der zielgerichteten prospektiven Gestaltung der Zukunft.

Konstanz: Controlling ist als fortlaufender Prozess zu verstehen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass erst eine genaue Betrachtung des zugrundeliegenden Konzepts und der weiteren Ausgestaltung die Einordnung des jeweiligen Beitrags in das Spektrum der Controllingansätze ermöglicht.

5. Die Zieldimension des Nachhaltigkeitscontrollings

Die Vielfalt konglomerater Aufgabenstellungen des unternehmerischen Nachhaltigkeitsmanagements verlangt eine intensive Behandlung der Zielsetzungen und der Mittel zur Zielerreichung. Die Bedeutungszunahme nach Steuerungsnotwendigkeiten und Berichterstattung des Nachhaltigkeitsmanagements erfordern eine eigene Funktion mit **originärer Zielplanung** und **Maßnahmengestaltung** im Rahmen komplexer Aufgabenbereiche. Um ihrer Gestaltungsfunktion gerecht werden zu können, sind im Nachhaltigkeitsmanagement eindeutige Zielbestimmungen unabdingbar. Die Basis für die Entwicklung eines fundierten Zielsystems für das Nachhaltigkeitscontrolling ist einerseits die Orientierung am Zielsystem des Nachhaltigkeitsmanagements und andererseits die Kompatibilität mit den Unternehmenszielsetzungen.

Als allgemeine Zielsetzung des Nachhaltigkeitscontrollings kann zunächst die verbesserte Gesamtzielsetzung im Nachhaltigkeitsmanagement herausgestellt werden. Die Unterstützungsaufgabe des Nachhaltigkeitscontrollings muss inhaltlich durch spezielle Zielsetzungen präzisiert werden. Die Komplexität des Zielsystems resultiert zum einen aus der Tatsache der notwendigen Stakeholderpartizipation, in der sich unterschiedliche Ansprüche und Erwartungen der Anspruchsgruppen (z.B. Mitarbeiter, Lieferanten, Kunden, Banken, Investoren, NGOs) widerspiegeln (vgl. Weber, J., Schäffer, U. 2014: S. 66). Zum anderen resultiert die Vielfalt aus verschiedenen Standards und Indikatoren internationaler und nationaler Initiativen.

Die Nachhaltigkeitscontrollingziele sind nicht unabhängig von den anderen Unternehmenszielen zu sehen, sondern weisen zahlreiche Interdependenzen zu diesen auf. Durch ihren Verbund ist eine vollkommene Isolierung der Wirkung auf die Gesamtzielerreichung kaum möglich. Es ist stets der komplementäre Charakter der Zielbeziehungen untereinander zu beachten. Aus den Controllingzielen leiten sich Aufgaben (und Teilaufgaben) ab. Die Controllingaufgaben lassen sich als Soll-Leistungen interpretieren, die der Erfüllung der Unternehmensziele dienen. Diese Soll-Leistungen für Handlungen werden in Plänen festgehalten.

Bei der Bestimmung eigenständiger Nachhaltigkeitscontrollingziele wird versucht, Zielvorstellungen zum (übergreifenden) Unternehmenscontrolling ebenso wie erste Aussagen zu den Aufgaben bzw. zu Funktionen des Nachhaltigkeitscontrollings analysierend zu betrachten und konsensfähige Zielsetzungen für das Nachhaltigkeitscontrolling und -management zu entwickeln, inhaltlich zu beschreiben und Hinweise für eine Gewichtung einzelner Ziele zu geben. Durch den Verbund ist eine vollkommene Isolierung und Wirkung auf die Gesamtziel-

setzung kaum möglich. Es ist stets der komplementäre Charakter der einzelnen Zielsetzungen zueinander zu beachten. Folgende Nachhaltigkeitscontrollingziele sind herauszustellen:

1. Umfassende Unterstützung der Nachhaltigkeitsplanung

Nachdem die Nachhaltigkeitsplanung und das Nachhaltigkeitscontrolling in funktioneller Hinsicht abgegrenzt worden sind, stellt sich die Frage, wie Nachhaltigkeitscontrolling dazu beitragen kann, die Nachhaltigkeitsplanung sicherzustellen, indem Voraussetzungen geschaffen und die Durchführung gewährleistet werden. Ein wesentliches Ziel ist insbesondere die Erhöhung der Effizienz und der Effektivität des Nachhaltigkeitsmanagements mit entsprechenden Handlungen. Die Unterstützungsfunktion des Nachhaltigkeitscontrollings soll insbesondere helfen bei:

- der Formalisierung und Dokumentation von Planungsprozessen,
- der Adaption von Veränderungen im Umsystem,
- dem Auffinden von Planungsproblemen,
- der Handhabung von Koordinationsproblemen,
- der Integration von Unternehmens- und Stakeholderinteressen,
- dem Einsatz von Methoden und Instrumenten im Rahmen der operativen und strategischen Nachhaltigkeitsplanung,
- der Kopplung mit den Kontrollaktivitäten im Nachhaltigkeitsmanagement,
- einer Umsetzung von nationalen und globalen Zielsetzungen in detaillierte Maßnahmenpläne (z.B. im Klimaschutz)

2. Sicherstellung und Verbesserung der Informationsversorgung des Nachhaltigkeitsmanagements

Die wachsende Datenmenge, die Zunahme von Bedeutung und Aufgabenumfang des Nachhaltigkeitsmanagements und der häufig zu beobachtenden Divergenz von Informationsangebot und -nachfrage lassen eine zweckmäßige Auswahl von Informationen sowie ihre Verknüpfung und Verdichtung bezüglich einer adäquaten Informationsversorgung der Entscheidungsträger in der Unternehmung als notwendig erscheinen. Mehrheitlich wird in der Controllingliteratur die informationswirtschaftliche Dimension als wesentlicher Zweck herausgestellt (vgl. Horváth, P. 2011: S. 291 ff., Weber, J., Schäffer 2014: S. 77ff.).

3. Sicherung und Verbesserung der Koordination im Nachhaltigkeitsmanagement

Eine weitere wichtige Zielsetzung des Nachhaltigkeitscontrollings stellt die Sicherung und Verbesserung der Koordination dar. Das Controlling weist hier

Unterstützungscharakter als Querschnittsfunktion in allen Phasen des Managementprozesses auf. Es gilt auch für das Nachhaltigkeitsmanagement, dass die Koordinationsfähigkeit wesentlich von den entsprechenden Aktivitäten abhängt. Die Notwendigkeit verstärkter Koordinationsbemühungen ergibt sich aus der zunehmenden Aufgabenfülle sowie aus der Spezialisierung und Dezentralisierung des Nachhaltigkeitsmanagements.

4. Erhöhung und Flexibilität

Im Rahmen langfristiger und systematischer Beobachtung kann Nachhaltigkeitscontrolling vor allem die notwendige situative Reaktions- und Anpassungsfähigkeit erhöhen, insbesondere wenn „schwache Signale“ Chancen und Risiken frühzeitig anzeigen. Auch kann eine Erhöhung der Flexibilität im Nachhaltigkeitsmanagement durch Nachhaltigkeitscontrolling gewährleistet werden, dass Nachhaltigkeitsinformationen frühzeitig zu Handlungen führen und so eher zielwirksam werden.

6. Die Durchführung der Nachhaltigkeitskontrolle

Die Kontrollaufgabe als Aufgabenkomplex des Nachhaltigkeitscontrollings ist dadurch gekennzeichnet, dass sie prozessual betrachtet (systemkoppelnd) die laufende Wahrnehmung aller Kontrollmaßnahmen umfasst, die durch die Gestaltung (Systembildung) des Nachhaltigkeitsplanungs- und Kontrollsystems vorgegeben werden.

Kontrollen können Ergebnisse und Aktivitäten dokumentieren, Performance (Verhalten) generieren oder als Ressourcen (Input), die für die Erbringung der Performance benötigt werden, aufzeigen.

Nach Horváth handelt es sich bei Controlling und **Performancemanagement** um zwei verschiedene aber sich ergänzende Konzepte zur Unternehmensteuerung. Controlling befasst sich mit der zielorientierten Koordination des Steuerungsprozesses. Performancemanagement beinhaltet die Entwicklung und Gestaltung von Messgrößen und Kennzahlssystemen und auch mit deren Einbindung in Führungsprozesse. Controlling und Performancemanagement weisen eine große Schnittmenge auf (Horváth, 2011: S. 557).

Zumeist wird unter Kontrolle die Durchführung eines Vergleichs von Plan- und Realisationsgrößen unter Einschluss der Analyse der Abweichungsursachen verstanden (Steinmann, Schreyögg 2005: S. 274, Steinle, 2005: S. 414). Die Kontrolle wird im Managementprozess als konsekutiv zur Planung und Realisation verstanden. Kontrolle umfasst also mit anderen Worten diejenigen Aktivitäten, die eine Erfolgsbewertung von Handlungen in Form von Soll-Ist-Vergleichen ergeben, die als Orientierungsgrößen für künftige Handlungen dienen.

Es ist nicht Aufgabe der Kontrolle, die festgestellten Mängel bzw. Abweichungen zwischen geplanten und realisierten Größen zu beseitigen, denn die Korrektur-entscheidungen (inhaltlicher bzw. materieller Dimensionen) werden im Rahmen des Nachhaltigkeitsmanagements getroffen.

Analog zur Nachhaltigkeitsplanung kann auch die Nachhaltigkeitskontrolle als eine **informationsverarbeitende Tätigkeit** mit den Phasen Informationsgewinnung, -verarbeitung, -speicherung und -abgabe verstanden werden. Die Gewinnung von Kontrollinformationen lässt sich somit als ein „Spezialfall“ der Informationsversorgung durch Controlling interpretieren, wobei die Zweckgerichtetheit und der Informationswert der Nutzen-Kosten-Relation der Kontrollinformationen für einzelne Ziele und Aufgabenebenen der Informationsverwender entscheidend sind. Kontrollen konfrontieren die Planung mit neuen Informationen, die neben Abweichung auch mögliche Planungsfehler offenlegen. Um festzustellen, ob und inwieweit Ziel- und Planvorstellungen mit der Realität übereinstimmen, bedarf es einer laufenden Überprüfung der Zielerreichung. Die Kontrolle stellt nicht nur eine Rückkoppelung zu vorgelegten Managementprozessen dar, sondern dient (prozessual) auch als Bindeglied zur erneuten zeitlich nachgeordneten Planungs- und Realisierungsprozessen und gleichzeitig als deren Impulsgeber (Regelkreisprinzip), sofern Kontrolldaten Funktionalitäten signalisieren.

Realisationskontrollen (Ergebniskontrolle, ex-post Kontrollen) werden hauptsächlich durchgeführt, um Abweichungen im Hinblick auf die Zielerreichung festzustellen, zu analysieren und gegebenenfalls beseitigen zu können (Soll-Ist-Vergleich). Sie sind durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Plan- und Realisationsgrößen, (-werte) werden generiert und verglichen,
- die Kontrollen können sich auf End- und Teilergebnisse beziehen,
- der Informationscharakter ist vergangenheitsbezogen (Feedback-Kontrolle),
- der Soll-Ist-Vergleich ist nicht auf eine einmalige Überprüfung beschränkt und vollzieht sich somit kontinuierlich.

Besondere Bedeutung kommt der **Prämissenkontrolle** zu, deren Aufgabe es ist zu überprüfen, ob das Nachhaltigkeitsmanagement die Planungsbedingungen bei ihren Teilplänen berücksichtigt und sich an den vorgegebenen und übergeordneten Zielen orientieren. Bei der Prämissenkontrolle (Wird-Ist-Vergleich) wird schon während der Planungsrealisation festgestellt, ob und inwieweit wichtige (prognostizierte) Planungsgrundlagen (z.B. Verfügbarkeit von Planungsinstrumenten, Vorliegen bestimmter internen und externer Datenkonstellationen usw.) gegeben sind. Ferner ist die Bedeutung der Prämissenkontrollen im Rahmen der strategischen Orientierung des Nachhaltigkeitsmanagements hervorzuheben.

Die sogenannte **Planfortschrittskontrolle** (Soll-Wird-Vergleich) ist im Managementprozess integriert. Hierbei wird die Realisation einzelner Planungsbestand-

teile (-phasen, -feinstufen) im Zeitablauf überprüft, d.h. die Planerfüllung wird sukzessiv kontrolliert, indem angezeigt wird, welche Zielwirkungen eintreten werden, wenn sich die bisherige Entwicklung fortsetzt. Voraussetzung hierbei ist allerdings die Möglichkeit einer Trennung zeitlich aufeinander und häufig inhaltlich stark ineinandergreifender Planungsphasen. Im Rahmen der Durchführung der Kontrolle sind dann möglichst früh die Korrekturmaßnahmen zu entwickeln und einzuleiten.

Anders als ergebnisorientierte Kontrollen knüpfen **Verfahrenskontrollen** an Handlungen an. Diese weisen u.a. folgende kennzeichnende Merkmale auf:

- Verfahrenskontrollen zielen auf den Vergleich von geplanten vorgeschriebenen Prozessen (Soll) und realisierten bzw. effektiven Prozessen (Ist) ab,
- Der Kontrolleur stellt vor allem den Aspekt der Verhaltensbeeinflussung in den Vordergrund mit dem Ziel, menschliche Unzulänglichkeiten zu minimieren,
- Verfahrenskontrollen lassen sich in den Planungsprozess integrieren und fallen dann unter den Nachhaltigkeitscontrolling-Aufgabenkomplex des Nachhaltigkeitsmanagements,
- Durch Sicherstellung der Einhaltung der Verfahrensvorschriften wird die Kompatibilität des Planungs- und Kontrollsystems garantiert.

Ob Verfahrensvorschriften erfolgreich geplant und implementiert werden, kann auch am Grad der Zielerreichung abgelesen werden.

Aus prozessualer Sichtweise können die Kontrollaufgaben des Nachhaltigkeitscontrollings in einzelne Phasen disaggregiert werden. Abbildung 5 zeigt in sachlogischer Reihenfolge die Verknüpfungen der in einzelne Phasen zerlegten Kontrollaufgaben.

Zwischen den einzelnen Teilschritten bestehen Bindungen, sodass Vor- und Rückkopplungen zwischen den Phasen zu berücksichtigen sind. In der Realität lassen sich daher die einzelnen Feinstufen des Kontrollprozesses nur schwer feststellen und abgrenzen. So kann z.B. eine Abweichungsanalyse zusätzlich Soll- und Ist-Ermittlungen erfordern. Zwischen der Durchführungs- und Vorbereitungsphase sind z.B. insofern Vor- und Rückkopplungen erforderlich, wo eine exakte Zeit- und Einsatzplanung oft nicht möglich ist. Auch wenn in der Abbildung 5 bei der Gegenüberstellung von Kontrollstandards und Messergebnissen zunächst davon ausgegangen wird, dass grundsätzlich sowohl Soll-Größen als auch prognostizierte Wird-Größen und realisierte Ist-Größen untereinander verglichen werden können, werden Soll-Ist-Vergleiche (Realisationskontrollen) vermutlich am häufigsten durchgeführt.

Eine vergleichende Gegenüberstellung von operationalisierten und quantitativen Nachhaltigkeitsplanungsvorgaben mit den Ergebnissen ist in der Regel relativ einfach. Bezieht man die Planungsprämissen und deren Entwicklung mit ein,

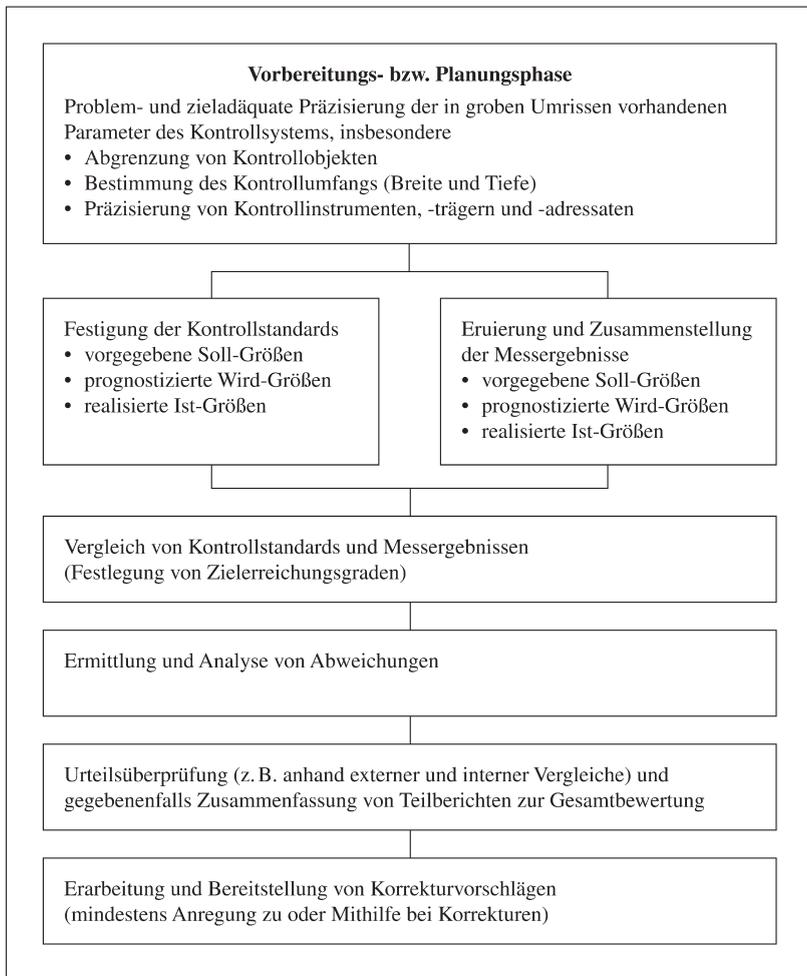


Abbildung 5: Phasen der Nachhaltigkeitskontrolle.

lassen sich die Nachhaltigkeitskontrollgegenstände nicht immer quantitativ messen. Sind qualitative Analysen erforderlich, können auch verbale Beurteilungen von Nutzen sein.

Außer den behandelten Erklärungsproblemen bezüglich (kausaler) Beziehungen zwischen Zielerreichung und eingesetzten Mitteln (Ziel- Mittel-Beziehung) stellt das Bewertungsproblem ein Grundproblem für einige Themen des Nachhaltigkeitsmanagements dar.

Sind bei dem Vergleich von Messergebnissen mit den Kontrollstandards Abweichungen ermittelt worden, kann eine Abweichungsanalyse erforderlich sein. Generell ist es Aufgabe der **Abweichungsanalyse**, sowohl die Abweichungen selbst als auch die Abweichungsursachen und inhärente Konsequenzen für die Zielrealisierung zu analysieren und darauf folgend Korrekturvorschläge bzw. Maßnahmen zu generieren, die auf eine Beseitigung von Fehlern und Fehlerursachen abzielen. Unerwünschte Verfahren- oder ergebnisbezogene Wirkungen von Prozessen sind in der Zukunft zu vermeiden und es ist insgesamt eine Verbesserung künftiger Planungs- und Realisationsprozesse anzustreben. Das Nachhaltigkeitscontrolling sollte im Hinblick auf die strategische Ausrichtung des Nachhaltigkeitsmanagements darauf gerichtet sein, die Einbeziehung in das strategische Management zu forcieren. Das bedeutet auch eine Integration der strategischen Nachhaltigkeitsplanung und der entsprechenden Aufgaben bzw. Arbeitsvorgänge. Zur Ergänzung zu strategischen Fragestellungen ist das Nachhaltigkeitscontrolling auch in einigen Handlungsfeldern als operative Aufgabe gegeben. Das operative Nachhaltigkeitscontrolling ist im Wesentlichen durch Kurzfristigkeit, Teilproblemvielfalt, Detailliertheit, Präzision der Information, Wohldefiniiertheit, geringe Relevanz des Handlungsobjektes in Bezug auf die Erfolgspotentiale in der Wahrnehmung gekennzeichnet.

7. Ausgewählte Instrumente des Nachhaltigkeitscontrollings

7.1. Überblick

Unter dem Begriff Instrumente lassen sich alle Methoden, Verfahren, Techniken usw. zusammenfassen, die zur Erfüllung der Nachhaltigkeitsaufgaben eingesetzt werden können und einen Beitrag zur Zielerreichung des Nachhaltigkeitsmanagements leisten.

Die einzelnen Instrumente des Nachhaltigkeitscontrollings finden für unterschiedliche Zwecke in den einzelnen Handlungsfeldern in der Praxis seit langem Verwendung, sodass sie grundsätzlich nicht neu sind.

Eine Systematisierung der Controllinginstrumente der unternehmerischen Nachhaltigkeit erweist sich als schwierig. Auf der Basis der Zweck-Mittel-Betrachtung können Instrumente nach ihren Aufgaben eingeteilt werden, zu deren Erfüllung sie überwiegend, aber nicht ausschließlich eingesetzt werden. Spezifische Instrumente des Nachhaltigkeitsmanagements und -controllings können gleichzeitig mehreren Aufgaben dienen. So können sie einerseits im Management als Kontroll- und Steuerungsinstrument und dem Stakeholder als Information dienen. Da ein größerer Teil der Informationen im Nachhaltigkeitsbericht publiziert wird, sind somit diese Informationen für interessierte Gruppen zugänglich. Stakeholder, die beispielsweise die Kapitalseite vertreten, werden insbesondere an Governance-Informationen interessiert sein, während Vertreter von Umweltorganisationen

sich z.B. vor allem Informationen zu ökologischen Themen intensiver annehmen werden. Informationen müssen richtig, vollständig und angemessen sein, um zurückverfolgt werden zu können.

Da der Informationsaufgabe im Rahmen des Nachhaltigkeitscontrollings zentrale Bedeutung beigemessen werden kann, bieten sich die einzelnen Informationsphasen als Gliederungskriterien für die Erörterung der Instrumente des Nachhaltigkeitscontrollings an. Die Informationsversorgung lässt sich in die Phasen **Informationsbedarfsermittlung**, **Informationsbeschaffung**, **Informationsaufbereitung** und **Informationsübermittlung** differenzieren. Die Informationsversorgung ist die Basis zur Realisierung der Ziele des Nachhaltigkeitsmanagements. Durch in der Folge zu leistende inhaltliche Beschreibung des Instrumentariums, das zur Wahrnehmung der Informationsaufgabe herangezogen werden kann, erfolgt gleichzeitig die notwendige Präzisierung der Informationsaufgabe des Nachhaltigkeitscontrollings. Dabei werden die Instrumente nicht nur mit dem Informationsprozess, sondern auch mit den Informationen selbst, den Handlungsträgern und den Aufgaben in ein geordnetes Beziehungsgefüge gesetzt.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass das Planungs- und Kontrollsystem die Beschaffenheit bzw. Struktur das so entstehende Informationssystem determiniert. Mit Hilfe des Nachhaltigkeitscontrollings kann bei der Systemgestaltung zumindest analysiert werden, welche Entscheidungen benötigt werden. Dazu muss der Informationsbedarf bestimmter Entscheidungen festgestellt werden. Dessen Ermittlung ist eine wesentliche Voraussetzung für eine effiziente Realisierung der Informationsversorgung und damit zur Überwindung des oft beklagten Dilemmas von Datenreichtum („information overload“).

Die Instrumente, die zur Erfüllung der Dienstleistungsaufgabe des Nachhaltigkeitscontrollings dienen, z.B. Gestaltung und laufender Betrieb von Nachhaltigkeitsplanungs- und Kontrollsystemen durch Systemanalyse, Organisationspläne, Terminpläne, Verhaltungstechniken etc. sind weniger controllingspezifisch und werden daher hier nicht weiter behandelt.

Die vielfältigen und unterschiedlichen Aktivitäten des Nachhaltigkeitscontrollings und das herangezogene Instrumentarium bedürfen der gegenseitigen Abstimmung und der Koordination mit den einzelnen Handlungsfeldern des Nachhaltigkeitsmanagements, zu deren Aufgabenerfüllung und Zielerreichung sie beitragen sollen. Ziele, Aufgaben und Instrumentarium würden Stückwerk bleiben, wenn der Gesamtzusammenhang nicht mehr klar erkennbar wäre. Eine integrierte übergeordnete Gesamtsicht hat sicherzustellen, dass eine Abstimmung mit den Teilcontrollings (z.B. Personal-, Beschaffung-, Logistik-, Produktionscontrolling) stattfindet.

7.2. Kennzahlen und Kennzahlensysteme

In der Betriebswirtschaftslehre sind Kennzahlen in der Regel quantitative Maßgrößen, die in schlecht strukturierten Entscheidungssituationen auf verdichtete

und knapper Weise Informationsbedürfnisse erfüllen. Sie sollen dazu beitragen, über einen bestimmten Aufgabenbereich der Unternehmung schnell und präzise zu informieren. Durch Kennzahlenbildung kann die Essenz der betrieblichen Datenmengen auch dokumentiert und im Zeitablauf verfolgt werden.

Durch Kennzahlen können Ziele und Aufgabenstellungen und -erfüllung operationalisiert werden. Es gibt allerdings auch Indikatoren, deren Ziele und Ergebnisse nicht durch Messgrößen ausgedrückt und dokumentiert werden können. In diesem Fall sind verbale Erklärungen, Interpretationen und Bewertungen gegebenenfalls möglich.

Auf diese Weise wird eine Basis für weitere Planungsschritte und für die Aufstellung von Kontrollstandards geschaffen. So können Kennzahlen im Nachhaltigkeitsplanungsprozess als Impulsgeber für die Identifikation von Problemen dienen. Nicht selten wird ein Entscheidungsträger erst durch Kennzahlen auf bestimmte Probleme aufmerksam. Kennzahlen stellen darüber hinaus ein wichtiges Hilfsmittel für die Problemanalyse und Erfolgsprognose von Handlungsalternativen dar. Wenn es darum geht, die möglichen Alternativen herauszuarbeiten, lassen sich Kennzahlen des Nachhaltigkeitsmanagements einsetzen, um die gefundenen Lösungsmöglichkeiten operational beschreiben zu können. Bei der Planung von qualitativen Handlungsfeldern des Nachhaltigkeitsmanagements kann zum Teil nur auf subjektive Schätzungen zurückgegriffen werden. Nachhaltigkeitsmanagement spielt auch für individuelle (nichtmonetäre) Ziele eine entscheidende Rolle, die sich ebenfalls im Wert des Unternehmens zeigen können (z.B. Reputation, Transparenz, Compliance, Glaubwürdigkeit).

Kennzahlen lassen sich im Rahmen der Alternativenbewertung der ausgearbeiteten Lösungsmöglichkeiten vergleichbar machen und in eine Rangordnung bringen. Kennzahlen können in bestimmten Entscheidungssituationen als Entscheidungskriterium bzw. -regeln dienen. Sie können auch für die Steuerung der Prozesse sowie das Reporting und die internen und externen Audits und Rankings der Unternehmensbereiche herangezogen werden. Kennziffern dienen den Grundsätzen der Wahrheit, der Wesentlichkeit, Klarheit, Stetigkeit und Vergleichbarkeit.

Schließlich lassen sich Kennzahlen auch bei der Realisation und Kontrolle einsetzen. Sie dienen in der Realisationsphase vor allem bei der Weitergabe von Entscheidungen an ausführende Nachhaltigkeitsinstanzen. Kennzahlen werden auch in Nachhaltigkeitsberichten publiziert. Sie erfüllen somit die Informationsaufgabe für die Stakeholder.

Einige Kennzahlen eignen sich auch zum Betriebsvergleich. Dabei kommt es darauf an, dass bei den zu vergleichenden Unternehmen die gleichen Bezugsdaten in Relation gesetzt werden. Nachhaltigkeits-Kennzahlen können auch Gegenstand eines Benchmarkings sein.

Zugleich können Kennzahlen Sollwerte darstellen, die einen Feedback-Prozess auslösen, wenn sie von Istzahlen abweichen. Dann üben sie erneut die Anregungsfunktion für weitere Recherchen aus. Statt von Kennziffern wird im Zusammenhang mit Nachhaltigkeitsmanagement, -controlling und -reporting auch von Key Performance Indicators (Leistungsindikatoren), gesprochen (vgl. Deloitte 2006, EffAS, DVFA 2010).

7.3. Sustainability Balanced Scorecard (BSC)

Die **Balanced** (= ausgewogen) **Scorecard** (= Punktetafel) ist ein Instrument, das vergangenheitsbezogene und zukunftsorientierte Kennzahlen miteinander verbindet. Diese Kennzahlen, welche zu zukünftige Leistungen antreiben sollen, beziehen sich auf die Unternehmenssteuerung relevanter Bereiche, in denen das Unternehmen sowohl intern wie auch extern Leistungen erbringt. In der Balanced Scorecard werden die wichtigsten Leistungsperspektiven miteinander vernetzt (vgl. Kaplan/Norton 1997, S. 8ff).

Die BSC ist aus der Tradition des strategischen Managements bzw. der strategischen Unternehmensführung hervorgegangen. Entwickelt von Kaplan/Norton avancierte sie zu dem Instrument der Unternehmenssteuerung der Neunzigerjahre (vgl. Bischof/Speckbacher 2001, S. 48). Eine Balanced Scorecard baut auf **Kennzahlen** auf. Hauptaufgabe der Entwicklung einer BSC ist es daher, komplexe Indizes zu generieren und qualitative sowie neue Kennzahlen einzubinden (vgl. Becker 2005, S. 314).

Im Sinne des ausgewogenen **Zielsystems** werden die quantifizierbaren Messgrößen mit den in der BSC klar formulierten strategischen Zielen eines Unternehmens verbunden, wobei der Fokus des Konzeptes auf der Strategieumsetzung liegt – also auf der Übersetzung der Strategie in operative Maßnahmen.

Im Einzelnen werden mit einer Balanced Scorecard die folgenden sieben Zielsetzungen verfolgt (vgl. Bischof/Speckbacher 2001, S. 48, ausführliche Darstellung Kaplan/Norton 2001):

1. Berücksichtigung nichtfinanzieller Größen bei der Erfolgsmessung,
2. Klärung und Konkretisierung der Strategie,
3. Kommunikation der Strategie im Unternehmen,
4. Operationalisierung der zentralen Strategie,
5. Ausrichtung der Handlungsträger an der Strategie durch Verhaltenssteuerung über Vergütungs- und Anreizsysteme,
6. Strategisches Lernen durch kontinuierliche Überprüfung und Anpassung der Strategie,
7. Externe Kommunikation der Strategie mit Investoren und Kapitalgebern.

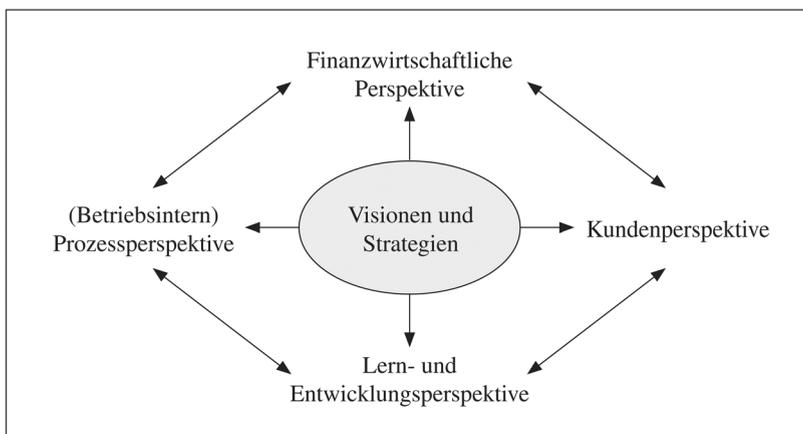


Abbildung 6: Die vier Perspektiven der Balanced Scorecard (vgl. Kaplan/Norton 1996: S. 76).

Über die Aspekte Kennzahlen, Ziele, Vorgaben und Maßnahmen werden die Leistungsperspektiven der Balanced Scorecard operationalisiert (vgl. Becker 2005, S. 311 f.). Die BSC beinhaltet vier Leistungsperspektiven. Die Leistungsperspektiven, die in die BSC aufgenommen werden, sind Finanzen, Kunden, Interne Prozesse und die Lern- und Entwicklungsperspektive (Kaplan/Norton 2001, S. 22) (vgl. Darstellung 6).

Die Perspektiven beziehen sich auf das Gesamtunternehmen und die Gesamtstrategie (vgl. Wickel-Kirsch 2001, S. 46) und können wie folgt interpretiert werden (vgl. Kaplan/Norton 2001, S. 22):

Die **finanzielle Perspektive** betrachtet die Strategie aus der Perspektive der Anteilseigner im Hinblick auf Wachstum, Rentabilität und Risiko. Die **Kundenperspektive** beinhaltet die Darstellung der Strategie hinsichtlich der Wertsteigerung und Differenzierung aus der Betrachtungsperspektive der Kunden. Die **Prozessperspektive** beleuchtet diejenigen Geschäftsprozesse, die zu Kunden- und Anteilseignierzufriedenheit führen. In der **Lern- und Entwicklungsperspektive** (häufig auch als Mitarbeiter-/Lernperspektive, Potential- und Wissensperspektive bezeichnet) geht es um Wandel, Innovationen und personelle Entwicklung. Es werden die Prioritäten betrachtet, die ein entsprechendes Klima schaffen.

Für die Anwendung der Balanced Scorecard für das Nachhaltigkeitscontrolling erweitern Schaltegger/Zvezdov diese vier Perspektiven um eine fünfte, die außermarktliche Perspektive, die die Bedeutung gesellschaftlicher, politischer und regulativer Prozesse zwischen Stakeholdern und dem Unternehmen mit ihren mittelbaren (manchmal auch unmittelbaren) Einfluss auf den Unternehmenserfolg

widerspiegelt. (Schaltegger/Zvezdov 2012: S. 53). Die so erweiterte Balanced Scorecard nennen die Autoren **Sustainability Balanced Scorecard (SBSC)**. Im Fokus der außermarktlichen Perspektiven stehen die Reputation, Legitimität und intangible Werte von Erfolgsrelevanz (Schaltegger/Zvezdov 2012: S. 49). Aus den fünf Perspektiven der SBSC leiten die Autoren für das Nachhaltigkeitscontrolling Kernaufgaben ab, die durch Kennziffern erfasst werden (Schaltegger/Zvezdov 2011 und 2012). Die Autoren berichten, dass in der Praxis die außermarktliche Ausprägung des Nachhaltigkeitscontrollings bislang schwächer vertreten ist als in dem finanz- und prozessorientierten Nachhaltigkeitscontrolling. Sie sehen noch viel Potential zur Weiterentwicklung des Controllings in dieser Perspektive (Schaltegger/Zvezdov 2012: S. 59).

Zusätzlich zu der Gesamtperspektive bietet das Instrument der Balanced Scorecard die Möglichkeit, im **Roll-out** (auch Kaskadierung) die Inhalte horizontal und/oder vertikal herunterzubrechen. Je nach dem Grad der Ausbreitung erfolgt eine Übertragung auf einzelne Einheiten wie Unternehmensbereiche, Abteilungen, Gruppen oder sogar einzelne Mitarbeiter (vgl. Horváth & Partners 2004, S. 266ff.). Die vier Perspektiven werden dann jeweils aus Sicht der organisatorischen Einheit interpretiert. In diesem Sinne stellt die BSC ein Instrument zur Überführung der Unternehmensstrategie in Unternehmensziele dar. Diese können in Ziele der Organisationseinheiten aufgebrochen und mit dem Bedarf zur Erreichung der Unternehmensziele nachgelagerten Organisationseinheiten gekoppelt werden. Jeder Bereich erhält eine eigene Planungsgrundlage mit klaren Zielen, Arbeitsinhalten, Zeithorizonten, Kosten und Erlösbeiträgen, die sich in Steuerungsgrößen, Soll-Vorgaben und Handlungsanweisungen ausdrücken (vgl. Becker 2005, S. 311). Kaplan/Norton haben die BSC um die sogenannte **Balanced Scorecard-Strategy-Map** erweitert, die einen Bezugsrahmen zur Verfügung stellt, um zu illustrieren, wie die Strategie immaterielle Vermögenswerte mit Wertschöpfungsprozessen verbindet (vgl. Abb. 7).

Innerhalb der vier Perspektiven sind die Ziele durch Ursache-Wirkungs-Beziehungen verbunden. Ihre Ausrichtung in den vier Perspektiven ist der Schlüssel zur Wertschöpfung und damit zu einer fokussierten und konsistenten Strategie. Beginnend mit der Hypothese, dass finanzielle Erfolge nur erzielt werden können, wenn die Zielkunden zufriedengestellt sind, beschreibt der Kundenwertbeitrag, wie Umsatzerlöse und Loyalität durch die Zielkunden generiert werden können. Geschaffen wird der Kundenwertbeitrag durch die internen Prozesse, die ihn auch weitergeben. Das Fundament der Strategie sind die immateriellen Vermögenswerte, welche die internen Prozesse unterstützen. Insgesamt stellt diese Ursache-Wirkungs-Architektur als Verbindung der vier Perspektiven die Struktur dar, um die herum eine Strategy Map entwickelt wird. Eine Organisation wird durch das Erstellen einer Strategy Map dazu gezwungen, ihre Logik, wie und für wen sie Wert schaffen will, klarzustellen (vgl. Kaplan/Norton 2004a, S. 28f.).

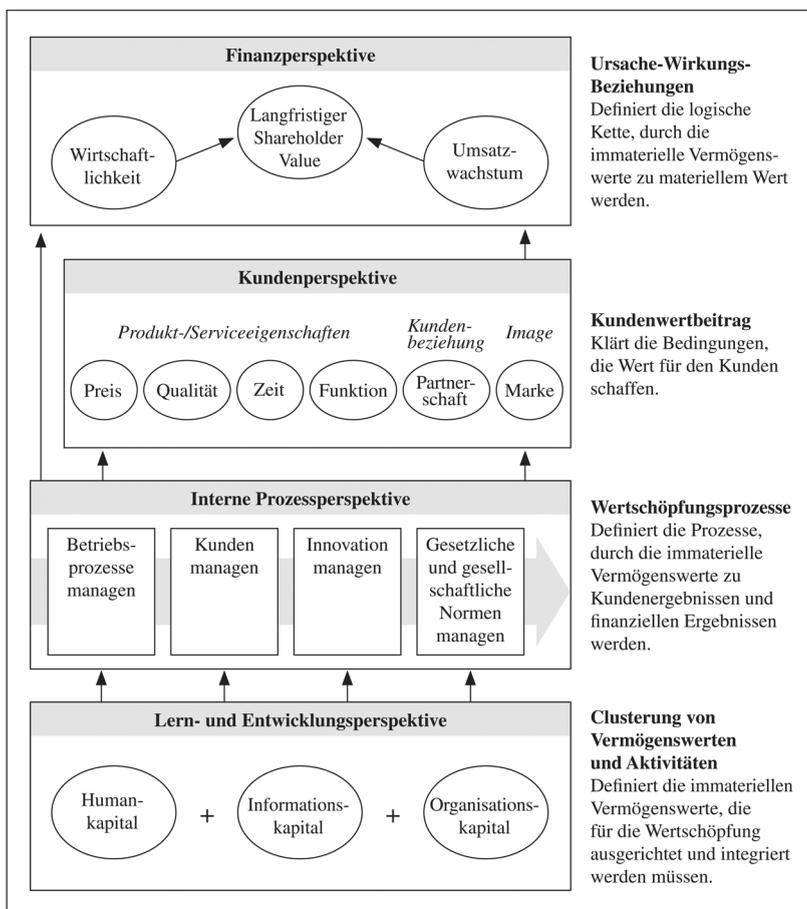


Abb. 7: Die Balanced Scorecard-Strategy Map (Kaplan/Norton 2004, S. 29).

Hier ist die direkte Erfassung qualitativer Phänomene in der Regel nicht möglich. So kann nicht unmittelbar gemessen werden, wie motiviert das Personal ist. Es können jedoch Ziele formuliert und gemessen werden, ob die Motivation und die Ausbildung des Personals ausreicht, um diese Ziele zu erreichen (vgl. Kaplan/Norton 2004b, S. 21). Um den Zustand der immateriellen Vermögenswerte im Hinblick auf die Unterstützung der Strategie zu beschreiben, führen Kaplan/Norton das Konzept der strategischen Bereitschaft ein. Die **strategische Bereitschaft** wird analog zur Liquidität gesehen, wobei gilt: Die immateriellen Vermögenswerte tragen umso schneller zur Generierung von Geld bei, je höher die Bereitschaft

ist. Die Darstellung in Abb. 7 veranschaulicht, wie der Bezugsrahmen der StrategyMap es ermöglicht, Human-, Informations- und Organisationskapital als Vermögenswerte zu repräsentieren, die durch eine Zunahme der Verkaufszahlen und geringere Ausgaben schließlich in Geld umgewandelt werden (vgl. Kaplan/ Norton 2004a, S. 192).

7.4. Der Deutsche Nachhaltigkeitskodex

Der Deutsche Nachhaltigkeitskodex (DNK) wurde auf Initiative des Rats für Nachhaltige Entwicklung (RNE) in einem mehrstufigen Verfahren und unter Einbeziehung zahlreicher Stakeholder entwickelt. So haben Vertreterinnen und Vertreter aus Organisationen aus Wirtschaft und Zivilgesellschaft am Dialogprozess zur Ausarbeitung des Kodex mitgewirkt (DNK 2011, S. 28).

Mit Hilfe des DNK sollen auf Nachhaltigkeit bezogene Leistungen von Unternehmen und Organisationen in Deutschland vergleichbar gemacht werden. Er richtet sich entsprechend an Unternehmen verschiedener Größen und Branchen sowie ganz unterschiedlichen Organisationen, etwa Stiftungen, Verbände, öffentliche Institutionen, Medien, Bildungs- und Wissenschaftseinrichtungen. Den Organisationen bleibt die freiwillige Anwendung des Kodex überlassen. Sie erklären, ob und inwieweit sie die Anforderungen des DNK entsprechen (comply or explain). Eine wiederkehrende Berichterstattung nach DNK erleichtert der Organisation und externen Anspruchsgruppen sowohl eine Einschätzung der nachhaltigkeitsbezogenen Leistungen im Zeitverlauf als auch im Vergleich zu anderen. Entscheidende Ansprüche und Ziele, die der Rat für nachhaltige Entwicklung mit dem Kodex verbindet sind:

Wesentlichkeit, Verbindlichkeit und Transparenz. Der DNK schafft eine Verbindlichkeit durch eine vergleichbare Darstellung der unternehmerischen Verantwortung (DNK 2011, S. 21).

Die Bertelsmann Stiftung publizierte 2013, den Leitfaden zum Deutschen Nachhaltigkeitskodex, der gleichzeitig eine Orientierungshilfe für mittelständische Unternehmen ist. (Bertelsmann Stiftung 2013).

Der DNK gibt einen Rahmen von 20 Kriterien für Themen des Nachhaltigkeitsmanagements vor, die im Nachhaltigkeitsbericht dokumentiert werden sollen. Die im DNK aufgeführten Kriterien sind Standards die einem Rahmen für das Nachhaltigkeitscontrolling bilden, um Informationen generieren zu können, die vielfach in Nachhaltigkeitsberichten als Daten, Fakten und Kennziffern publiziert werden. Es handelt sich um folgende Kriterien:

Kriterien 1–4 zu Strategie

1. Strategische Analyse und Maßnahmen
2. Wesentlichkeit

3. Ziele
4. Tiefe der Wertschöpfungskette

Kriterien 5–10 zu Prozessmanagement

5. Verantwortung
6. Regeln und Prozesse
7. Kontrolle
8. Anreizsysteme
9. Beteiligung der Anspruchsgruppen
10. Innovation- und Produktmanagement

Kriterien 11–13 zu Umwelt

11. Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen
12. Ressourcenmanagement
13. Klimarelevante Emissionen

Kriterien 14–20 Gesellschaft

14. Arbeitnehmerrechte
15. Chancengerechtigkeit
16. Qualifizierung
17. Menschenrechte
18. Gemeinwesen
19. Politische Einflussnahme

7.5. Guidelines der Global Reporting Initiative (GRI 4)

Der GRI 4-Berichtsrahmen umfasst eine detaillierte Anleitung für die nachhaltige Berichterstattung über ökonomische, ökologische und gesellschaftlich /soziale Leistungen von Unternehmen und anderen Organisationen. Die G4 Sustainability Reporting Guidelines – in der deutschen Übersetzung: „Leitlinien der Nachhaltigkeitsberichterstattung“ – wurden in zwei Bänden veröffentlicht:

1. Berichterstattung und Standardaufgaben (GRI 2013a)
2. Umsetzungsanleitung (GRI 2013b)

Folgende Grundsätze gelten zur Bestimmung der Berichtsqualität (2013a, S. 17f.):

- Ausgewogenheit
- Vergleichbarkeit
- Genauigkeit
- Aktualität
- Klarheit
- Verlässlichkeit

Aus folgenden sieben Bereichen, den sogenannten Allgemeinen Standardangaben, muss schließlich jedes Unternehmen berichten, das sich auf GRI beziehen will (GRI 2013a, S. 20.ff.):

- Strategie und Analyse
- Organisationsprofil
- Ermittelte wesentliche Aspekte und Grenzen
- Einbindung von Stakeholdern
- Berichtsprofil
- Unternehmensführung
- Ethik und Integrität

Hierzu werden insgesamt 58 Indikatoren genannt, zu denen grundsätzlich Organisationen berichten sollen. Im Anschluss an die Allgemeinen Standardangaben sind 92 Spezifische Standardangaben hinsichtlich ihrer Relevanz für die Tätigkeiten des Unternehmens zu prüfen und ggf. zu berücksichtigen. Sie gelten für die drei Kategorien Wirtschaft, Umwelt und Soziales, die in 47 Aspekten differenziert werden (GRI 2013a, S. 43ff.). Sie umfassen Themen wie beispielsweise wirtschaftliche Leistung des Unternehmens, Material-, Energie- und Wasserverbräuche, Arbeitssicherheit, Bewertung der Lieferanten hinsichtlich der Einhaltung von Menschenrechten, Korruptionsbekämpfung, Schutz der Privatsphäre des Kunden und Compliance. Über die Allgemeinen Berichtsleitlinien hinaus veröffentlicht die Global Reporting Initiative sogenannte Sector Supplements. Diese sollen von Unternehmen branchenspezifisch berücksichtigt werden. Auch sie umfassen Allgemeine Indikatoren, zu denen berichtet werden muss, sowie spezifische Ergänzungen und Aspekte, die es in Abhängigkeit von ihrer Bedeutung zu berücksichtigen gilt. Für folgende zehn Sektoren liegen diese vor:

- Airports Operators
- Construction and Real Estate
- Electric Utilities

- Event Organizers
- Financial Services
- Food Processing
- Media
- Mining and Metals
- NGO
- Oil and Gas

Die Berichtsleitlinien betonen das Prinzip der Wesentlichkeit (materiality) und erleichtern hiermit den berichtenden Organisationen als auch den Stakeholdern die Bereitstellung und Auswertung von Informationen.

Qualitative Anforderung (z.B. Aufwendungen für den Umweltschutz oder Ziele zum Energieverbrauch) sind in den Richtlinien ebenso wenig enthalten wie etwa Vorgaben zur Art und Weise der Bestimmung und Einbeziehung von Stakeholdern. Die globale Reporting Initiative empfiehlt eine unabhängige Prüfung von Nachhaltigkeitsberichten. Sie ist jedoch nicht zwingend vorgeschrieben.

Der Nachhaltigkeitsbericht 2013 von Siemens, der nach dem Standard der Global Reporting Initiative GR3 erstellt und geprüft wurde sowie die Anforderungen der Anwendungsebene A+ erfüllt, weist folgende Handlungsfelder unter der Rubrik Daten und Fakten aus:

- **Innovation** (Forschung und Entwicklung, Ideenmanagement)
- **Kunden und Portfolio** (Umweltportfolio als Treiber für nachhaltiges Wachstum, Kundenbeziehungen)
- **Compliance** (Verpflichtung: nur sauberes Geschäft ist Siemens Geschäft), Compliance in Unternehmen, Compliance-Kennzahlen, Antikorruptions-Berichterstattung)
- **Umweltschutz** (Umweltberichtserstattung, Umweltmanagementsystem, Treibhausgasemissionen, Energieverbrauch, EU-Emissionshandel, Schadstoffemissionen in die Luft, Abfall, Wasser und Abwasser, Aufwendungen und Investitionen, umweltrelevante Vorfälle und Bußgelder, Natur- und Artenschutz, Umweltmanagement in Unternehmen)
- **Produktverantwortung** (Standards für umweltgerechte Produktentwicklung, Produktsicherheit, Lebenszyklusanalysen, Produkt-Umweltdeklarationen, Umwelt- und Kundennutzen- kein Widerspruch, Marketing und Kommunikation)
- **Arbeitssicherheit und Gesundheitsmanagement** (Arbeitssicherheit, Arbeitssicherheit in Zahlen, Gesundheitsmanagement)

- **Mitarbeiter** (gelebte Vielfalt, Ausbildung und lebenslanges Lernen, zweite globale Mitarbeiterbefragung, Mitarbeiter in Zahlen)
- **Lieferanten** (Risiken identifizieren, Abweichungen erkennen und Verbesserungsmaßnahmen umsetzen, Wissenstransfer und Kompetenzaufbau, regionale Verantwortung als Auftraggeber, Ressourceneffizienz und Klimaschutz in der Lieferkette)
- **Corporate Citizenship** (Corporate Citizenship-Aktivitäten, Corporate Citizenship in Zahlen, die Siemens Stiftung)

Zu den genannten Punkten wird auch in Zahlen und Kennziffern berichtet.

Weiterführende Informationen und Beispiele sind auf der Webseite angegeben.

Eine unabhängige Wirtschaftsprüfungsgesellschaft hat in einer betriebswirtschaftlichen Prüfung (Siemens 2012: S. 80) Übereinstimmung in allen wesentlichen Belangen mit den Kriterien der Sustainability Reporting Guidelines ergeben.

8. Schlussbemerkung

In diesem Beitrag werden ausgewählte Aspekte des qualitativen und quantitativen Controllings und der unternehmerischen Nachhaltigkeit dargestellt, wobei von den drei Säulen der Nachhaltigkeit ausgegangen wird. In diesem Modell wird Wirtschaft Ökologie und Gesellschaftliches/Soziales gleichrangig gesehen. Investoren, Medien und die interessierte Öffentlichkeit erwarten von Unternehmen immer stärker, dass Unternehmen ihrer Verantwortung nach nachhaltigem Wirtschaften gerecht werden. Eine qualitativ hochwertige Nachhaltigkeitsberichterstattung mit Informationen aus dem Nachhaltigkeitscontrolling kann dazu beitragen, Einsicht in die Nachhaltigkeitsstrategien, Ziele, Prozesse und Ergebnisse zu erhalten, sodass diese im Zeitvergleich und im Branchenvergleich betrachtet werden können. Die externe betriebswirtschaftliche Prüfung des Berichts wird die Glaubwürdigkeit der Kommunikation erhöhen. Zur besseren Orientierung und Bewertung tragen auch die nationalen und internationalen Standards zum Nachhaltigkeitsmanagement und -Reporting bei (z.B. der Deutsche Nachhaltigkeitskodex, UN Global Compact, GRI 4 Leitlinien der Global Reporting Initiative, der Deutsche Governance Kodex). Die Nachhaltigkeitsindikatoren und Zielvorgaben und Ergebnisse sind konkrete Messgrößen zu den Nachhaltigkeitsaktivitäten. Nur was messbar oder operationalisiert werden kann, kann überprüft und gesteuert werden.

Noch besteht eine gewisse Unklarheit – auch im politischen Raum – welche Unternehmen und weiteren Organisationen künftig einen formalisierten Bericht erstellen müssen. Nur in einem integrierten Managementansatz, indem auch die globalen Zusammenhänge und die stetigen gesellschaftliche Veränderungen einbezogen werden, können internationale Herausforderungen weltweiter wirtschaftlicher und politischer Aktivitäten effizient gehandhabt werden.

Das primäre Interesse der Unternehmen besteht in der Befriedigung der Informationsbedürfnisse von Investoren, Stakeholdern und Medien. Um die Einheitlichkeit der Kommunikation zum Thema unternehmerisches Nachhaltigkeitsmanagement sicherzustellen, kann eine formalisierte Leistungsdokumentation dienen.

Der Beitrag soll nicht nur charakteristische Merkmale des Nachhaltigkeitscontrollings darstellen, sondern auch die Komplexität und die Einordnung des Nachhaltigkeitscontrollings in das Nachhaltigkeitsmanagement deutlich machen, das eine Vielfalt von internen und externen Implikationen berücksichtigen muss. Eine Vielzahl der branchenspezifischen Bedingungen aber auch der gesellschaftlichen und rechtlicher Rahmenbedingungen erschweren die Entwicklung eines generellen, verbindlichen Ansatzes des Nachhaltigkeitsmanagements und damit auch des Nachhaltigkeitscontrollings und -Reportings.

Literaturverzeichnis

- BALIK, M. & C. FRÜHWALD 2006: Nachhaltigkeitsmanagement, Saarbrücken.
- BAYER AG (Hrsg.): Nachhaltigkeitsbericht 2013. www.nachhaltigkeitsbericht.2012.bayer.de
- BAYER AG: Geschäftsbericht 2011
- BAYER AG: <http://www.bayer.de/nachhaltigkeitsstrategie.aspx> zugegriffen 22.10.2014
- BECKER, M. 2005: Systematische Personalentwicklung, Planung/Steuerung und Kontrolle in Funktionszyklen, Stuttgart.
- BISCHOF, J. & G. SPECKBACHER 2001: Führung mit der Balanced Scorecard in: Personalwirtschaft, 28. Jhg: Heft 4, S. 48–54
- DAIMLER 2013: Nachhaltigkeitsbericht, Stuttgart, <http://nachhaltigkeit.daimler.com>
- DELOITTE: Best Practices bei SG-KPis, Beispiele guter Berichterstattung zu Sustainable Development Key Performance Indicators (SD-KPis) in Lageberichten 2006, eine Untersuchung von J. Baetge und A. Hesse im Auftrag von Deloitte, http://www.upg.de/EFAS_DVFA_KPis_for_ESG_2010, www.effas-esg.com
- DNK 2014, Der Deutsche Nachhaltigkeitskodex (DNK), Berlin: Rat für Nachhaltige Entwicklung (Rat für Nachhaltige Entwicklung, 2014).
- DNK: Bertelsmann Stiftung, Berlin 2013: Leitfaden zum Deutschen Nachhaltigkeitskodex .
- E.ON AG 2013: http://www.eon.com/content/dam/eob-com/de/downloads/c/cr_Bericht_E.on-Ag_2010.pdf. EU Richtlinie, 31. Januar 2013, 2014 des Europäischen Parlaments und des Rats im Hinblick auf die Angabe nichtfinanzieller und die Diversität betreffender Informationen durch große Unternehmen und Gruppen, Amtsblatt der Europäischen Union vom 15.11.2014, (DE)L330/1-L330/9-<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF>

[/?uri=CELEX:32014L0095&from=DE](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0095&from=DE)<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0095&from=DE>

GREILING, D. & D. THER 2011: CSR-Controlling, in: SANDBERG, B. & K. LEDERER (Hrsg.) Corporate Social Responsibility in kommunalen Unternehmen, Wiesbaden, S. 353–372.

GREILING, D. & D. THER 2010: Leistungsfähigkeit des Sustainable Value-Ansatzes als Instrument des Sustainability Controlling in: PRAMMER, H.K.: Corporate Sustainability, der Beitrag von Unternehmen zu einer nachhaltigen Entwicklung in Wirtschaft und Gesellschaft, Festschrift für em. o. Uni.-Prof. Ing. Dr. Adolf Heinz Malinski, Wiesbaden, S. 37–67.

GRI 2013a G4 Leitlinien zur Nachhaltigkeitsberichterstattung. Berichterstattungsgrundsätze und Standardangaben. Global Reporting Initiative <http://www.globalreporting.org/resource/library/German-G4-Port-One.pdf>. Zugriff 7. März 2014.

GRI 2013b G4 Leitlinien zur Nachhaltigkeitsberichterstattung. Umsetzungsanleitung. Global Reporting Initiative. <https://www.globalreporting.org/resource/library/German-G4-Part-Two.pdf>, Zugriff 7. März 2014.

HENKEL 2013: Nachhaltigkeitsbericht 2013, www.henkel.de/publikationen

HENKEL AG & Co. KG 2014: Nachhaltigkeitsbericht 2014, www.henkel.de/publikationen.

HENTZE, J. & B. THIES 2012: Unternehmensethik und Nachhaltigkeitsmanagement, Bern u.a.

HENTZE, J. & B. THIES 2014: Stakeholder-Management und Nachhaltigkeits-Reporting, Berlin/Heidelberg.

KAPLAN R.S. & D.P. NORTON (Hrsg.) 1997: Balanced Scorecard: Strategien erfolgreich umsetzen, Übersetzung Peter Horváth, Stuttgart.

KAPLAN R.S. & D.P. NORTON 2001: Die strategiefokussierte Organisation: Führen mit der BalancedScorecard, Übersetzung Peter Horváth und Damir Kralj, Stuttgart.

KAPLAN R.S. & D.P. NORTON: Strategy Maps. Der Weg von immateriellen Werten zum materiellen Erfolg, Übersetzung Peter Horváth und Peter Gaiser unter Mitarbeit von Dirk Steffens, Stuttgart 2004.

KAPLAN R.S. & D.P. NORTON 1996: Using the Balanced Scorecard as a Stratic Management-System, in: Harvard Business Review. Heft 1, S. 75–85.

KPMG, 2009: KPMG-Handbuch zur Nachhaltigkeitsberichterstattung 2008/2009. http://www.kpmg.de/docs/KPMG_Handbuch_web.pdf. zugegriffen 21. November 2011.

LUFTHANSA 2014: Deutsche Lufthansa AG: Balance, Frankfurt/Main, www.luftansagroup.com/verantwortung

MIELE 2013: Daten und Fakten, Nachhaltigkeitsbericht 2013, www.miele-nachhaltigkeit.de

MÜLLER, A. 2012: Ansätze und Instrumente des Nachhaltigkeitscontrollings – ein praxisorientierter Überblick in: GLEICH, R., P. BARTELS & V. BREISIG (Hrsg.) Nachhaltigkeitscontrolling: Konzepte, Instrumente und Fallbeispiele zur Umsetzung. Freiburg. S. 67–90.

PWC 2011: Unternehmerische Verantwortung im Zeitalter der Transparenz, URL: [http://www.pwc.de/_DE/de/nachhaltigkeitsassets/pwc die unternehmerische-Verantwortung-Transparenz](http://www.pwc.de/_DE/de/nachhaltigkeitsassets/pwc%20die%20unternehmerische-Verantwortung-Transparenz) – 2011.pdf. zugegriffen 24. November 2011.

SCHALTEGGER, S. & D. ZVEDOV 2012: Strategisch fundiertes Nachhaltigkeitscontrolling – Konzeption und Umsetzung in der Praxis in: GLEICH, R., P. BARTELS & V. BREISIG: Nachhaltigkeitscontrolling: Konzepte, Instrument und Fallbeispiele zur Umsetzung. S. 45–66.

SCHALTEGGER, S. & D. ZVEDOV 2011: Konzeption und Praxis des Nachhaltigkeitscontrollings, in: Controlling, 23. Jg., Heft 8/9 S. 430-435

SIEMENS 2012: Nachhaltigkeit bewegt, Nachhaltigkeitsbericht 2011, www.siemens.com

VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT (Hrsg.): Nachhaltigkeitsbericht. Wolfsburg 2012 www.volkswagen.com/nachhaltigkeit

WEBER, J., J. GEORG, R. JANKE & S. MACK 2012: Nachhaltigkeit und Controlling, Weinheim.

WEHRICH, H. & H. KOONTZ 1993: Management 10. Aufl., New York u.a.

WICKEL-KIRSCH, S. 2001: Balanced Scorecard-Philosophie und Methodik im Lichte des HR-Managements, in: GRÖTZINGER, M. & H. UEPPING: Balanced Scorecard in Human Resources Management: Strategie-Einsatzmöglichkeit-Praxisbeispiele, Neuwied/Kriftel.

Zur Geschichte der „Villa Löbbbecke“ am Fallersleber-Tor-Wall 16*

ULRICH MENZEL

Institut für Sozialwissenschaften der TU Braunschweig
Bienroder Weg 97, D-38106 Braunschweig

Mit dem Begriff „Villa Löbbbecke“ sind in Braunschweig drei Villen gemeint, die alle auf dem Gelände der ehemaligen Wallanlagen errichtet wurden. Es handelt sich um die Adressen Celler Str. 3 (heute Sitz des Georg Eckert-Instituts für Internationale Schulbuchforschung), Inselwall 11 (vormals Gästehaus der TU Braunschweig) und Fallersleber-Tor-Wall 16 (heute Domizil der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft – BWG – und des NDR-Studios Braunschweig). Die letztgenannte Villa trägt auch den Namen „Villa Felmy“.

Auf Veranlassung des vormaligen Präsidenten der BWG, Prof. Karl Heinrich Olsen, in dessen Amtszeit (1981–1986) der Umzug der BWG aus dem Gebäude Fallersleber-Tor-Wall 22 in die Villa Fallersleber-Tor-Wall 16 erfolgte, wurden in der Plenarversammlung der BWG am 11.1.1985 zwei Vorträge zum neuen Sitz der BWG gehalten. Prof. Justus Herrenberger sprach über die Architektur des Gebäudes und Prof. Karl Gerke über dessen Nutzung. Der Vortrag von Herrenberger wurde in überarbeiteter Form und um die Geschichte der Bebauung der Wallanlagen erweitert unter dem Titel „Die Villa Löbbbecke am Fallersleber-Tor-Wall“ 1986 in den Mitteilungen der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina veröffentlicht. Die Architektur der Villa nimmt darin aber nur einen geringen Teil ein. Über den genauen Titel und den möglichen Verbleib des Manuskripts des anderen Vortrags ist nichts bekannt. Im Jahrbuch 1985 der BWG ist lediglich eine Kurzfassung beider Vorträge unter dem Titel „Zur Geschichte Braunschweiger Villen, insbesondere des Hauses Fallersleber-Tor-Wall 16“ abgedruckt. Es könnte demnach sein, daß es sich in der Plenarversammlung um einen zweiteiligen Vortrag mit zwei Referenten gehandelt hat. Die Kurzfassung auf einer Dreiviertelseite enthält naturgemäß nur ganz knappe und unvollständige Informationen über die Geschichte von Besitzern und Bewohnern der Villa.

Aus den Adressbüchern der Stadt Braunschweig der Jahrgänge 1906–1942, die im Lesesaal des Stadtarchivs eingesehen werden können, lässt sich rekonstruieren, wer die frühen Eigentümer und Bewohner, der 1906–1909 von Hermann Pfeifer, Professor für Antike Baukunst und Baukunst der Renaissance an der TH Braunschweig, entworfenen und von den Architekten Otto Rasche und Otto Kratzsch gebauten Villa waren. Ab 1943 sind kriegsbedingt keine Adressbücher mehr erschienen. Diese werden erst seit 1950 und dazu zunächst in unregelmä-

ßigen Abständen wieder aufgelegt, so dass sich auch die Nachkriegsgeschichte verfolgen lässt.

Die Namensgeberin der Villa, Berta Löbbbecke (1855–1936), Tochter von Arnold Löbbbecke und Adelheid Löbbbecke, geb. Graberg, Witwe des gleichnamigen Edelburger Rittergutsbesitzers Karl Löbbbecke (1842–1894) hatte 1906 aus dem Erlös des Verkaufs des Rittergutes Edelburg die Grundstücke Nr. 16 und Nr. 17 an der Ostseite des Fallersleber-Tor-Walles von dem Sanitätsrat Dr. med. Oswald Berkhan (Nr. 16) und der Witwe des Geheimen Kammerherrn, El. von Unger (Nr. 17), gekauft. Die Einfriedung zur Straßenseite lässt noch heute erkennen, dass beide Grundstücke eine gemeinsame Nutzung hatten, die die Zufahrt zum kleinen, am Okerufer gelegenen, Gebäude einschloss. Der größte Teil des Nachbargrundstücks wurde dem parkähnlichen Garten zugeschlagen. Das Gebäude der heutigen Nr. 17 beherbergte die Remise des Anwesens mit Pferdestall und darüber liegender Kutscherwohnung. Nach dem Zweiten Weltkrieg ist es in Privatbesitz übergegangen. Bei der jüngsten Renovierung des Erdgeschosses sind, wie der heutige Bewohner berichtet, die Spuren von Remise und Pferdestall zu Tage getreten.

Die Hausherrin Berta Löbbbecke wird erstmals 1910 im Adressbuch als Eigentümerin und Bewohnerin der Villa genannt. Sie heiratete in zweiter Ehe im September 1911 den herzoglich braunschweigischen Kammerherren William von Lauingen (1856–1918) und trug seitdem den Namen Berta von Lauingen. Beide Ehen blieben kinderlos. Nach anderer Quelle (local family database) trug der zweite Mann den Namen Ludwig Friedrich Adolf Müller von Lauingen und ist am 26.1.1918 in Rimmicul-Sarat (Rumänien) gestorben.

Jedenfalls erscheint im Adressbuch ab 1914 der Name Berta von Lauingen und nicht mehr Berta Löbbbecke. Ihr zweiter Mann ist nach der Heirat in die Villa eingezogen, denn er wird 1913 als Bewohner verzeichnet. Er scheint darin aber nur kurz gewohnt zu haben, wenn der Hinweis stimmt, daß er Anfang 1918 in Rumänien gestorben ist. Berta von Lauingen, geb. Löbbbecke, verw. Löbbbecke und verw. von Lauingen, wird bis 1937 im Adressbuch, zuletzt als verstorbene Eigentümerin geführt, nachdem sie am 15.8.1936 in Braunschweig gestorben ist.

1936 wird der Regierungsrat a.D., Rechtsanwalt und Notar Hermann Fischer als Bewohner verzeichnet, der im Erdgeschoß seine Anwaltspraxis führt. Wer den 1. Stock bewohnt oder ob er leer steht, bleibt unklar. Die darüber liegenden Räume, über das zweite Treppenhaus zu erreichen, sind an diverse andere Mieter vermietet. Ob Fischer die Villa nach dem Tod der ersten Besitzerin erworben hat oder weiter nur zur Miete residiert, ist aus dem Adressbuch nicht ersichtlich.

Spätestens im Laufe des Jahres 1937 muß es jedenfalls zu einem Wechsel von Eigentümer und Bewohnern der Villa gekommen sein. Ab 1938 werden im Adressbuch das Deutsche Reich als Eigentümer und Hellmuth Felmy (1885–1965),

General der Flieger, Chef der Luftwaffe 2 und Befehlshaber Nord, als Bewohner von Erdgeschoß und 1. Etage genannt. Felmy, der zuvor in Berlin gewohnt hat, wurde jedenfalls am 1.4.1938 zum Befehlshaber des Luftwaffen-Kommandos 2 in Braunschweig ernannt. Im am 30.3.1938 eingeweihten Stabsgebäude des Luftflottenkommandos befindet sich heute die IGS Franzisches Feld. Felmy dürfte demnach erst mit seiner Ernennung nach Braunschweig umgesiedelt sein und womöglich Anfang April 1938 die „Villa Löbbbecke“ bezogen haben.

Der vorherige Nutzer, Rechtsanwalt Fischer, wird im Adressbuch 1938 unter der Adresse Adolf Hitler-Wall 5 verzeichnet. Er muß also bereits 1937 wieder ausgezogen sein. Der Adolf Hitler-Wall hieß bis November 1937 und heißt heute wieder Kalenwall. Er wurde am 6.11.1937 anlässlich eines Besuchs des Chefs der Luftwaffe, Hermann Göring, umbenannt. Es ist nicht auszuschließen, daß Göring anlässlich seines Besuches, der sicher auch der Besichtigung des im Bau befindlichen Luftflottenkommandos am Franzschen Feld (damals SA-Feld) diente, auch nach einer angemessenen Unterkunft für seinen künftigen Kommandieren General in Braunschweig Ausschau gehalten hat. Auf diese Weise mag das Reich in den Besitz der Villa der verstorbenen Witwe von Lauingen alias Löbbbecke gekommen sein.

Aus den genannten Fakten und Indizien kann geschlossen werden, daß das Deutsche Reich die Villa vermutlich von den Erben der Berta von Lauingen oder von dem möglicherweise kurzzeitigen Besitzer Hermann Fischer erworben und nach deren Renovierung dem General Felmy zu seinem Antritt als Kommandeur des Luftflottenkommandos als Dienstvilla zugewiesen hat. Dort hat Felmy mit seiner Frau Helene, geb. Boettcher, und seinen Kindern gewohnt. Ob dieser Wechsel von Eigentum und Nutzung so ganz freiwillig und zu angemessenen Konditionen erfolgt ist, bleibt spekulativ. Jedenfalls ist Fischer mit einer ansehnlichen Adresse abgefunden worden.

Der spätere Name „Villa Felmy“ oder „Felmy-Villa“ rührt aus der Phase 1938–1944, wobei unklar bleibt, ob der Name sich auf den Vater oder den noch in Berlin geborenen jüngsten Sohn und späteren Schauspieler Hansjörg Felmy (1931–2007) oder auf beide bzw. zuerst auf den Vater und später auf den Sohn bezieht. Letzterer ist jedenfalls als Siebenjähriger mit seiner Familie in die feudale Villa eingezogen und darin, von reichlich Personal betreut, aufgewachsen. Als Schüler hat er das Hoffmann von Fallersleben-Gymnasium (damals Hinter Brüdern 30–32) besucht, ist dort aber in der Untertertia nach dem Zeugnis des Mitschülers Wolfgang Schlegel wegen eines Streits mit einem Lehrer, den er geohrfeigt hat, der Schule verwiesen worden. Ein Schild am Tor zur Straße weist auf diese Episode hin.

Das Deutsche Reich wird im Adressbuch bis 1942 als Eigentümer geführt. Allerdings ist kriegs- und nachkriegsbedingt bis 1950 kein Adressbuch erschienen. Wie lange die Felmys dort gewohnt haben, ist unklar. Felmy wurde nämlich am 12.1.1940 seines Kommandos enthoben und aus der Luftwaffe entlassen, weil zwei zu seinem Stab gehörende Offiziere sich bei schlechtem Wetter verfliegen

und in Belgien mit geheimen Unterlagen über die geplante Westoffensive gegen die neutralen Benelux-Staaten notgelandet waren (Mechelen-Zwischenfall). Dadurch waren diese Unterlagen in die Hand des Gegners gefallen. 1941 wurde Felmy allerdings reaktiviert und bis Kriegsende in diversen Verwendungen im Irak, Griechenland, Rußland und auf dem Balkan eingesetzt. Nach seiner Gefangenname wurde er 1948 in Nürnberg im Prozeß „Generäle in Südosteuropa“ (Geiselmord-Prozeß) wegen Kriegsverbrechen in Griechenland zu 15 Jahren Haft verurteilt und in Landsberg inhaftiert. Später wurde die Haft auf 10 Jahre reduziert. Bereits am 15.12.1951 wurde er entlassen. Daraus kann geschlossen werden, daß Hellmuth Felmy sich seit 1941 allenfalls noch sporadisch auf Heimaturlaub in der Villa aufgehalten, sehr wohl aber die Familie dort mindestens noch 1942 gewohnt hat, womöglich bis Kriegsende weiter gewohnt haben könnte.

Die Felmys dürften 1944, vermutlich nach dem schweren Bombenangriff vom 14. auf den 15. Oktober, ausgezogen oder spätestens im April 1945 mit der Besetzung der Stadt durch US-Truppen aus der Villa ausgewiesen worden sein, wie das im Falle anderer NS-Größen (z.B. Ministerpräsident Klagges und dessen Dienstvilla am Löwenwall 3), der Fall war. Im ersten Nachkriegsadressbuch 1950 (Stand 15.10.1949) wird Helene Felmy, im Adressbuch von 1952 auch der General a.D. Hellmuth Felmy, unter der Adresse Bernerstraße 2 geführt. Demnach ist Felmy nach seiner vorzeitigen Haftentlassung zu seiner Frau nach Braunschweig zurückgekehrt. Im Adressbuch 1955 sind der Schauspieler Hansjörg Felmy und der General a.D. unter der neuen Adresse Jasperallee 52, 2. Stock gemeldet. Aus diesen Hinweisen kann geschlossen werden, dass die Felmys nach der Ausbombung im Oktober 1944 bzw. der Ausweisung im April 1945 zunächst in eine bescheidene Unterkunft und nach der Entlassung des Vaters aus der Haft in eine eher standesgemäße Wohnung umgezogen sind. Felmy sen. hat sich später in Darmstadt niedergelassen und ist dort am 14.12.1965 gestorben.

Felmy junior dürfte zuerst bei der Mutter in der Bernerstraße und dann mit Sicherheit zusammen mit der Familie in der Jasperallee gewohnt haben. Nach Unterricht bei der Schauspielerin des Staatstheaters, Hella Kaiser, hat er in der Spielzeit 1948/49 am Staatstheater Braunschweig sein erstes Engagement ausgerechnet in Carl Zuckmayers „Des Teufels General“ erhalten. Der Siebzehnjährige Felmy spielt darin den Fliegeroffizier Hastenteuffel. Die Vermutung liegt nahe, daß für Felmy Junior die Übernahme der Rolle auch eine ganz persönliche Auseinandersetzung mit der belasteten Biographie seines Vaters war, der während der NS-Zeit eine steile Generalskarriere gemacht hatte und Vorbild für die Hauptperson des Dramas, den General der Flieger, Harras hätte sein können. Bezeichnenderweise spielt die Handlung im „Spätjahr 1941, kurz vor dem Eintritt Amerikas in den Krieg“, so der im Archiv des Staatstheaters aufgefundene Programmzettel der Inszenierung vom 18.11.1948. Den braunschweiger Zuschauern muß der Zusammenhang von Stück und Vater-Sohn-Beziehung gegenwärtig gewesen sein.

Nach Kriegsende verbleibt der Besitz der kriegszerstörten Villa beim aufgelösten Deutschen Reich bzw. beim „Reichsfiskus“, wie es erstmals 1952 im Adressbuch heißt. Seit dem Adressbuch von 1961/62 erscheint die Bundesrepublik Deutschland bzw. die Bundesfinanzverwaltung als Rechtsnachfolger, ab 1967/68 die Stadt Braunschweig und ab 1971/72 die Stadt und die Bundesvermögensstelle. Beide bilden seit 1976/77 eine Eigentümergemeinschaft.

Die Nutzung der Villa ist einfacher zu rekonstruieren als die rechtlich verwickelte Frage der Eigentumsverhältnisse. Nach der Beseitigung der Bombenschäden und der Restauration des Gebäudes wurde die Villa von der „Schule für Frauenberufe“ genutzt, die erstmals 1950 und letztmals 1976/77 im Adressbuch als Nutzer genannt wird. Die jetzige Schulleiterin, die in den 1970er Jahren die Schule besucht hat, erinnert sich, daß damals der Name „Felmy-Villa“ geläufig war und die Schülerinnen mit dem Namen den attraktiven Schauspieler und nicht den Ex-General verbunden haben. Die „Schule für Frauenberufe“ heißt heute politisch korrekter „Berufsbildende Schule V“ und hat ihren Sitz in der Kastanienallee 71, damals nur Zweitsitz, während der Hauptsitz mit der Schulleitung in der Villa am Fallersleber-Tor-Wall 16 untergebracht war. Letzterer wurde vermutlich erst 1981 verlegt. In deren Kantine sollen, so die Erinnerung des jetzigen Präsidenten der BWG, die Sekretärinnen der TH Braunschweig gerne zu Mittag gegessen haben, weil das Essen dort angeblich besser als in der Mensa der TH geschmeckt habe.

1981 verhandelte die BWG mit der Stadt Braunschweig als Teil der Eigentümergemeinschaft, zu der kurzzeitig (etwa 1982–1984) auch eine BBK-Künstlergalerie gehörte, über die Nutzung der Villa, weil der erst am 1.1.1978 vollzogene Umzug der BWG aus dem zum Abbruch vorgesehenen Gebäude in der Spielmannstraße in das Gebäude Fallersleber-Tor-Wall 22 auf Kritik gestoßen war. Dort war nämlich mittlerweile eine Tanzschule mit Abendveranstaltungen ins Obergeschoß eingezogen, die nicht nur mit Lärm verbunden waren, sondern auch zu einer Abwertung der, verglichen mit der Villa Löbbbecke, viel unattraktiveren Immobilie geführt hatte. Nachdem mit finanzieller Unterstützung des Vereins der Freunde der BWG die Villa erneut renoviert worden war, zog die BWG im Sommer 1981 als Mieter ins Erdgeschoß ein. Seit 1982 kam der NDR im Obergeschoß als weiterer Mieter hinzu.

Vorerst nicht aufzuklären und womöglich als blinder Fleck in der Geschichte des Hauses bleiben die Umstände, unter denen die Villa 1937 in den Besitz des Deutschen Reiches gelangt und wieso ausgerechnet Görings Luftwaffe bzw. sein Kommandierender General in Braunschweig in den Genuß ihrer Nutzung gekommen ist. Görings Beziehungen zu Stadt und Land Braunschweig waren jedenfalls, wie auch sein Besuch am 6.11.1937 zeigt, vielfältig. Dieser Frage nachzugehen, würde sich jedenfalls lohnen.

Quellen und Literatur

Braunschweigisches Adressbuch. Braunschweig: Joh. Heinrich Meyer 1906–1942; 1950, 1952, 1955, 1957 ff.

GERKE, KARL & JUSTUS HERRENBERGER: Zur Geschichte Braunschweiger Villen, insbesondere des Hauses Fallersleber-Tor-Wall 16 (Zusammenfassung). In: Jahrbuch 1985 der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft. S. 14.

HERRENBERGER, JUSTUS: Die Villa Löbbbecke am Fallersleber-Tor-Wall. In: Mitteilungen der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig 21.1986, 1. S. 5–16.

Local family database NLF: Berta Löbbbecke *1855–1936. (eingesehen am 8.10.2014)

Staatstheater Braunschweig, Programmzettel vom 18.11.1948 „Des Teufels General“.

WESSELHÖFT, DANIEL & OLIVER MATUSCHEK: 70 Jahre Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft 1943–2013. Braunschweig: Appelhaus 2013.

Synopsis of the Flora and Vegetation of Oman, with Special Emphasis on Patterns of Plant Endemism*

ANNETTE PATZELT

Oman Botanic Garden, Diwan of Royal Court, P.O. Box 808,
Muscat 122, Sultanate of Oman

1. Introduction

The Sultanate of Oman in the southern Arabian Peninsula is mainly characterised by arid habitats, with much of the region occupied by sand dunes or rock and gravel desert. However, and often in stark contrast to the deserts, the country also contains a seasonal cloud forest, open juniper woodlands and other habitats supporting high species diversity with many endemic plants.

Oman lies in the transition zone between the Holarctic and Palaeotropical kingdoms, as well as between subtropical and tropical climate zones (Fig. 1). This position is reflected by the presence of plant species from several biogeographical regions (Miller & Nyberg 1991; Kürschner 1998) as demonstrated by the comparatively high number of vascular plants in Oman (1239 species) (Patzelt et al. 2014).

A period of intensified botanical research in Oman has taken place over the last two decades (Miller & Cope 1996; Ghazanfar & Fisher 1998; Ghazanfar 2003 & 2007; Cope 2007; Feulner 2011; Patzelt et al. 2014; Patzelt in press a). There has been good progress extending our knowledge of the flora of Oman, resulting in the description of 103 new range-restricted species since 1980 and the documentation of new records for the country (Patzelt et al. 2014; Patzelt in press. a). However, detailed studies of the vegetation and plant communities are still scarce and current knowledge ranges from no documentation at all to brief descriptions of the vegetation types or to characterisation of the vegetation units by their complete floristic composition and arranged in a hierarchical system of floristic similarity. Data are also lacking regarding the population parameters and ecology of individual plant species.

Oman has a total of 191 range-restricted species, representing 13.6% of the total flora. This high proportion of range-restricted species (endemics, near endemics and regional endemics) in the Sultanate can be explained by a unique combination of ecological factors that restricted the range of species in the past. Endemics are

* Der Vortrag wurde am 15.07.2014 im Institut für Pflanzenbiologie der TU Braunschweig als Veranstaltung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

found in all vegetation types throughout the country. However, some habitats are particularly rich in range-restricted species and are of special interest, encompassing sites of maximum biodiversity. Significant species-rich habitats include the monsoon-affected mountains in southern Oman, the northern Hajar mountains, and the coastal areas of the central desert; these areas represent local centres of plant endemism.

The first aim of this publication is to present comprehensive information about the flora and patterns of plant endemism in Oman. Secondly, an overview of the main vegetation types and land units in Oman is presented. Conservation issues and concerns are raised throughout the document.

The taxonomic treatment by The Plant List (2013) was followed, Version 1.1., (<http://www.theplantlist.org/>). Family assignments of the vascular plants follow the Angiosperm Phylogeny Group (Angiosperm Phylogeny Group 2009). All conservation assessments are based on IUCN Red List criteria version 3.1.

2. Phytogeography

Plate tectonics and climate both recent and historic – have greatly influenced the migration and evolution of plants and plant communities that exist today. Oman's position at the intersection of several biogeographic regions coupled with the diversity of geology, topography, and climate conditions, have resulted in a rich flora with a high degree of endemism.

As a result of Oman's geographic location plant species from several bio-geographical regions are present (Leonard 1989; White & Leonard 1991). These regions include the Saharo-Sinian region and the Nubo-Sindian centre of endemism as part of it; the Somali-Masai centre of endemism (mainly in southern Oman); and Irano-Turanian regional centre (in northern Oman). The Nubo-Sindian centre of endemism is represented in Oman by the omano-macranian subprovince. More detailed plant geographical divisions are given by Kürschner (1986) and Leonard (1989).

The gradient from extratropical to the subtropical climate and the transition from the holartic to the palaeatropic kingdom are expressed differently throughout the country in the various vegetation types and steep floristic gradients that occur. The flora is enhanced by remarkable endemic plant species that are often very restricted in distribution.

3. Endemic Species in Oman

1239 species of vascular plants and ferns from the Sultanate of Oman have been documented (Patzelt et al. 2014). Recent research by the author indicates that

Table 1: Floristic Analysis of Oman.

	Families	Genera	Species
Pteridophyta and fern allies	6	12	17
Gymnospermae	2	2	4
Angiospermae:			
Magnoliids	3	3	3
Monocotyledonae	18	139	319
Dicotyledonae	84	487	1064

At present 51% of the total flora (at least 716 species) are found in northern Oman, 254 species are found in Central Oman (representing 18% of the total flora), and 817 species are found in southern Oman (representing 58% of the total flora). These data represent the current stage of knowledge; further field-based research can be expected to increase these numbers.

Oman has a high percentage of endemics, with 191 taxa that are range-restricted, representing 13.6% of the total flora of the country. 77 plant species are strictly endemic to Oman (including 13 species new to science), 53 species are near endemic (species occurring in one geographical entity, but in two countries), and 61 species are regional endemic to the Arabian Peninsula (occurring in at least two different countries and in more than one geographical entity). An additional 68 species are considered to be threatened but not range-restricted (Fig. 2; updated from Patzelt in press. a). The high proportion of range-restricted species in Oman can be explained by allopatric speciation events and a unique combination of ecological factors that restricted the range of species in the past.

Previous analyses have significantly under estimated the number of range-restricted species in the Sultanate of Oman. The new figure of 191 range-restricted species compares to much lower species numbers listed in earlier publications: 60 in 1991 (Miller & Nyberg 1991; White & Leonard 1991), 73 listed in 1994 (Heywood & Davis 1994), 75 in 1996 (Miller & Cope 1996) and 94 in 1998 (Ghazanfar 1998). With 191 species now known as being range-restricted, the percentage of range-restricted species in the country rises from an estimated 5% in 1991 (Miller & Nyberg 1991) and 7% estimated in 1996 (Miller & Cope 1996) to 13.5% of the total flora.

Range-restricted species are not distributed randomly over the country, but concentrate in three areas recognised as local centres of endemism (Miller & Nyberg 1991; White & Leonard 1991; Patzelt in press. a):

1. The monsoon-affected mountains of Jabal Al Qamar and Jabal Al Qara (southern Oman)

2. The dry high plateau and wadi systems of Jabal Samhan (southern Oman)
3. The limestone plateau and coastal escarpment the Jiddat Al Harasis/Huqf (central Oman)

Recent research indicates that the dry Jabal Samhan (southern Oman), as well as the Jiddat Al Arkad/ Sahil Al Jazir (central Oman) deserve to be treated as a separate floristic units, thus increasing the number of local centres of endemism to five:

4. The limestone plateau and coastal escarpment of the Jiddat Al Arkad/Sahil Al Jazir (central Oman)
5. The mountains of northern Oman (including the Musandam mountains)

The mountains of northern and southern Oman contain comparable levels of species diversity and endemism. This differs in the Central Desert, which has low species diversity, but a comparatively high number of range-restricted species (Table 2).

Table 2: Regional concentration of endemic and threatened non-endemic species in the five centres of local plant endemism (END = Endemic; Near END = Near Endemic; REN = Regional Endemic).

Region	Total nr. of species	END	Near END	REN
Jabal Al Qamar and Jabal Al Qara	660	32	46	35
Jabal Samhan	377	23	33	22
Jiddat Al Harasis/Huqf	222	13	3	20
Sahil Al Jazir/Jiddat Al Arkad	133	13	4	13
Mountains N Oman	703	24	6	28

To analyse the distribution patterns along an altitudinal gradient, the altitudinal distribution ranges have been determined separately for all range-restricted and threatened species. The analysis has been carried out based on defined altitudinal zones with a height of 100 m (Fig. 3).

The data reveal the high importance of the lower altitudes for the range-restricted and threatened species. The altitudinal distribution of species shows a high concentration of these species in lower and medium altitudes. With increasing elevation, the number of range-restricted species decreases. The relative proportion of threatened non-endemic species gradually increases with altitude. The greatest portion of Oman's range-restricted and threatened flora is clearly found primarily in lowland and mid-altitude habitats up to the montane zone.

Range-restricted species are not equally distributed throughout the families (Fig. 4). Thirteen families out of the total of 113 families contain 128 species, repre-

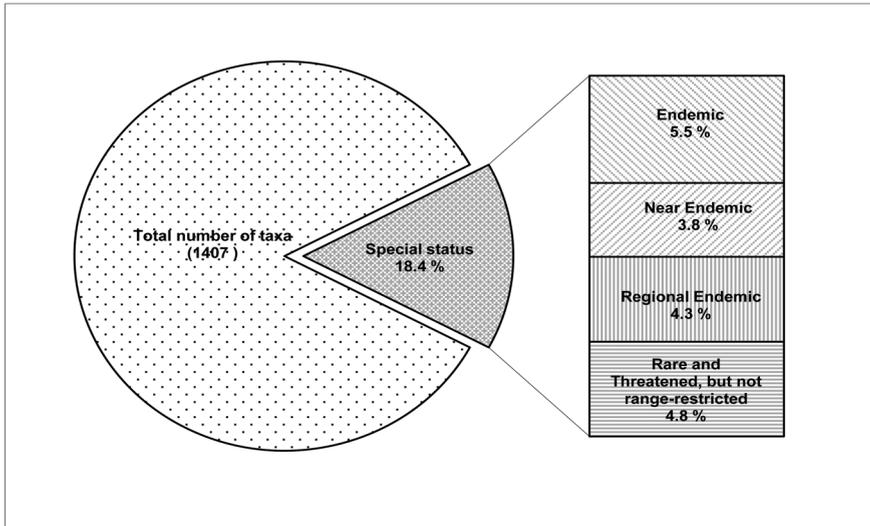


Fig. 2. Proportion of species with special status compared to the total number of plant species.

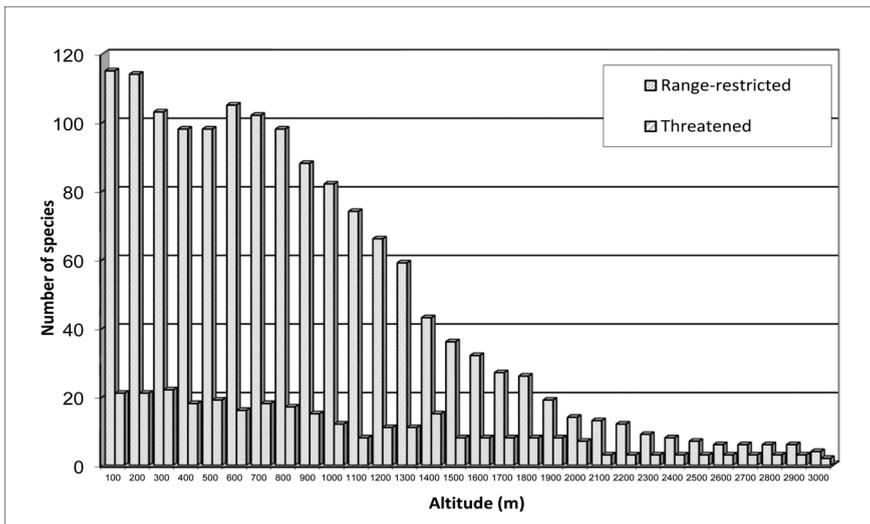


Fig. 3. Altitudinal zonation of range-restricted and threatened non-endemic species.

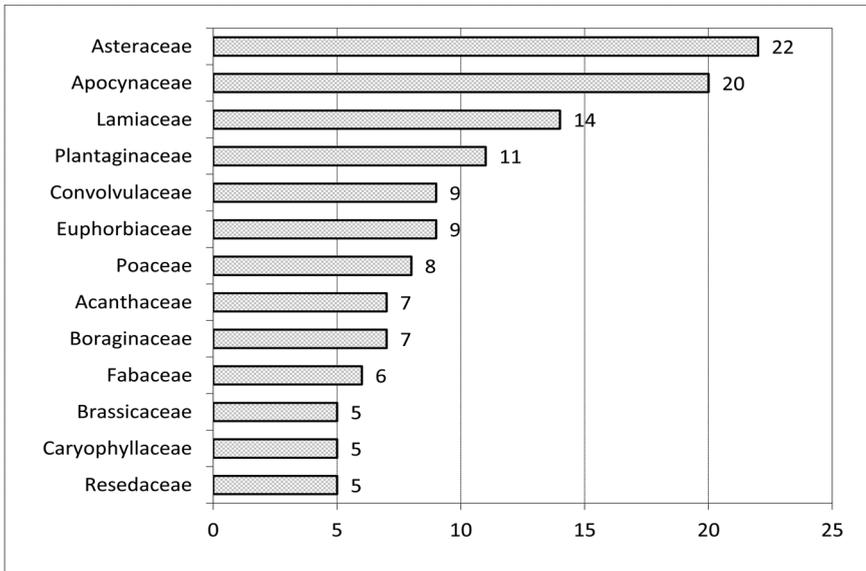


Fig. 4. Families with the highest representation of range-restricted species.

senting 64% of all range-restricted species. The plant families with the highest number of range-restricted species are Asteraceae (22 species), Apocynaceae (20), Lamiaceae (14), Plantaginaceae (11), Euphorbiaceae and Convolvulaceae (9), Poaceae (8), Acanthaceae and Boraginaceae (7), Fabaceae (6), and Brassicaceae, Caryophyllaceae and Resedaceae (5).

The largest families of the total flora in the country are Poaceae (223 species), Fabaceae (127), Asteraceae (114), Malvaceae (54), Amaranthaceae and Boraginaceae (49), Euphorbiaceae (34), Plantaginaceae (31), and Scrophulariaceae (15). Thus, it is not necessarily the case that large families also contain many range-restricted species. For some families, e.g. Poaceae, Fabaceae and Amaranthaceae, the percentage of range-restricted species is much lower than their relative proportion in the flora. The Malvaceae family, represented by 54 species, does not even include a single range-restricted species in Oman.

The majority of Oman's range-restricted species are found in the five centres of local endemism (Fig. 5). The lowland and mid-altitude mountains provide a rich variety of ecological niches while providing more stable and humid conditions during periods of drought. Under these more mesic conditions relict palaeo-African and palaeo-Indo-Malasian elements survived during a series of major fluctuations during the Pleistocene (Mandaville 1984 & 1986). The northern and southern mountains, isolated from each other by areas of inhospitable desert provided

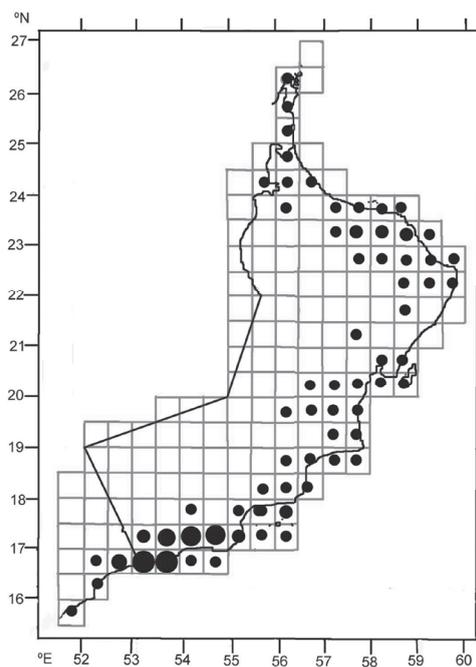


Fig. 5: Distribution of endemic and near-endemic species in Oman.

ideal sites for vicariant speciation. This process is obvious in many genera whose species show similar patterns of distribution and endemism, e.g. *Campylanthus*, *Lavandula*, *Pulicaria*, *Pycnocycla*, *Schweinfurthia*, *Taverniera* and *Teucrium* (Miller & Nyberg 1991).

The reasons for the high number of range-restricted species in the relatively low coastal areas of the central deserts may be a function of the ecological niches provided by the escarpments and the wadi systems. The influence of occasional fogs provides a relatively stable supply of moisture and may also contribute to the high number of range-restricted species in the central deserts. A better understanding of the present and past climate conditions and species distribution might help us understand the present day species diversity in these areas.

4. The Main Landscape Units and their Vegetation

The vegetation zones can be described on the basis of their floristic composition, in association with varying altitude and environmental factors, such as climate

and substrate. The vegetation of Oman in most areas has not been studied systematically; this contribution allows a first overview of most main vegetation types, as a prerequisite for further ecological and phytogeographical studies. The gaps of knowledge on flora and vegetation need to be filled through comprehensive field-based research. Work to describe, classify and rank the plant communities of Oman is on-going.

I. The Coastal Vegetation

Oman's coast is fringed by white dunes, occasionally coastal sabkhas (salt deserts), coastal lagoons, gravelly plains and rocky outcrops. Plants growing in coastal areas can tolerate salt, and many of them are obligate halophytes. The number of species is often low, with monospecific stands commonly occurring. Predominant species are members of the Sea-lavender (Plumbaginaceae) and Pigweed Families (Amaranthaceae) and of the grass and rush families (Poaceae and Juncaceae). Coastal areas are increasingly under threat by development and urbanisation.

A. Mangrove forests

Mangrove forests with pure stands of *Avicennia marina* occur in a number of scattered estuaries along the coast. This tropical vegetation type is characteristic of the tidal zone, muddy inlets and estuaries, and shallow lagoons which are either permanently flooded or over-flooded at high tide. This community represents the northernmost outlier of the paleotropical mangrove community.

B. Coastal plant communities

Coastal vegetation varies depending on local edaphic conditions. Four main relief elements are present: (1) low sandy dunes, (2) flat, silty-saline depressions (coastal sabkhas), (3) estuaries and coastal marshes and (4) cliffs and littoral rocky outcrops. The different elements often form a fine-grained mosaic.

A community characterised by *Tetraena quatarense*, *Halopyrum mucronatum* and *Sphaerocomum aucheri* is common in the coastal dunes. The nubo-sindian *Halopeplis perfoliata* is found in interdune silty depressions. Coastal sabkhas are characterised by the Oman endemics *Limonium sarcophyllum* and *Suaeda moschata*. The vegetation on coastal cliffs and littoral rocky outcrops is in most cases an impoverished version of the adjacent contact vegetation, augmented by halophytic species.

II. The Inland Salt Deserts (Sabkha)

The saline inland sabkhas are an extreme environment; the temperatures in summer reach above $>50^{\circ}\text{C}$, the range of diurnal temperatures up to 33°C . The

sabkhas are characterised by soil crusts of salt and gypsum, and associations of cyanobacteria, archaea and algae over a black reducing layer. Rains occur during infrequent but torrential downpours, creating temporary lakes in inland depressions. The lakes evaporate and eventually precipitate salt at and just below the surface. These salt crusts can be up to several meters thick; they are irregular and the locally treacherous surface poses great difficulties for exploration. High Electrical Conductivity (EC) values reaching up to c. 9000 μS inhibit the growth of any vascular plants in the centre, where vascular plant life is virtually absent. At the fringes, EC values decrease and allow scarce growth of vascular plants, including the halophytes *Aeluropus lagopoides*, *Suaeda aegyptiaca*, and *Salsola drummondii*.

III. The Sand Deserts

Oman has two large inland sand deserts which cover huge areas: the Eastern Sands (Sharqiyah Sands; an isolated sand desert in the NE of Oman) and the Empty Quarter (Al Rub Al Khali). In the Eastern Sands, longitudinal dune ridges of eolian orange-red sand up to 100 m in height are formed and are separated by interdune valleys with gravel. Lower barchans are more or less consolidated. In the Empty Quarter, huge mobile barchans and massive stellate dunes bright golden-red in colour are found, which reach heights of more than 65 m. Precipitation is very low and may only reach c. 50 mm in the Eastern Sands and 15 to 35 mm in the Empty Quarter; some areas go without rain for years (Mandaville 1986). There is considerable marine influence on the Eastern Sands, particularly from winds bringing moisture from the sea in the winter months and in summer during the southwest monsoon.

Habitat variability is denoted by the different grain sizes and mobility of the sand, the amount of run-off water in the dune valleys and by grazing intensity. The flora is characterised by widespread saharo-arabian species, extending from the sand deserts in North Africa to the Arabian Peninsula and India. The vegetation forms a mosaic of communities, with typically very open but evenly distributed vegetation. Woodlands are absent except for a few stands of *Prosopis cineraria* woodland along the margins. Species richness is relatively low. Within the sand dune ecosystem at least three different habitats are distinguished: the dune valleys, the low dunes and the high dunes (Mandaville 1998).

IV. The Plains, Pediments and Coastal Escarpments

The plains, pediments and coastal escarpments comprise very different habitats including alluvial gravel plains, karstic limestones and dolomites, superposed masses of cretaceous ophiolite outcrops (crystalline rocks formed in the mantle

layer of the earth; found in northern Oman) and coastal escarpments of 50–100 m (in the central desert). All units contain rather broad wadi systems; both species richness and plant cover tends to increase in depressions, shallow runnels and other low-lying area.

In general, the plains, pediments and coastal escarpments lie within areas of low precipitation, usually with less than 100 mm/y and very high daily temperatures.

The central desert inner plateau is characterised by episodic rain events; the coastal areas are strongly influenced by two fog seasons and almost year round cool wind helps to keep temperatures down. Fog is the most reliable source of water for the central desert, and plays a fundamental role in supporting plant life. The fogs are caused by moist onshore winds which condense because of low desert temperatures at night. The fog distribution on the plains depends on distance to the sea and is reflected in the distribution, type and abundance of the vegetation. Further inland, in areas not reached by the cool winds, temperatures in summer are above 50°C, with a range of diurnal temperatures up to 33°C. Soil cover is usually shallow and overlain with a thin layer of gravel, large and small rocks, pebbles and sand.

The central desert has two dominant escarpments, the Huqf escarpment and the Jiddat Al Arkad escarpment. These two escarpments together with the adjacent plains exhibit distinctive climatic conditions and represent national centres of plant endemism. 222 species have been recorded from the Jiddat Al Harasis/Huqf, including 11 endemics, 3 near endemics and 20 regional endemics; range-restricted species comprise c. 15.3% of the regional flora. At least 133 species are present in the Jiddat Al Arkad/Sahil Al Jazir, including 13 endemics, 4 near endemics and 13 regional endemics; range-restricted species comprise c. 25% of the regional flora.

The various plains, pediments and coastal escarpments of Oman fall under differing climatic, edaphic and biogeographic influences that are expressed in regional differences in the species composition and vegetation. The pediments in northern and southern Oman form the transition from the alluvial plain to the mountains, whereas the escarpments of the central desert abruptly separate the coastal plains from the inland gravel plateaus.

Several salt domes are also part of the central desert and form distinct features on an otherwise featureless surface. They are devoid of plant life.

A. Open drought-deciduous *Euphorbia larica*-*Acacia tortilis* woodland (northern Oman; 0–450 m)

The plains and lower foothills are characterised by a combination of a subtropical temperature regime and winter rains. The flora is strongly influenced by the Saharo-Sindian phytochorion and the mean average temperature is 28.4°C with

an average of annual rainfall of 59 mm. This open drought-deciduous xeromorphic woodland community is characterised by the trees *Acacia tortilis*, *Ziziphus spina-christi*, *Prosopis cineraria* and *Maerua crassifolia*. The open woodland is also characterised by the presence of annuals and grasses that emerge after the January rains. Species diversity is high, with at least 211 species (c. 15% of the total flora). Typical perennial species are *Euphorbia larica* and the regional endemic *Pulicaria glutinosa* subsp. *glutinosa*.

B. Rocky slopes and coastal terraces with open xeromorphic *Commiphora myrrha*-*Euphorbia larica* shrubland (northern Oman on limestone; 0–500 m)

This *Commiphora myrrha*-*Euphorbia larica* community is found on bare limestone rock (FREY & KÜRSCHNER 1986). *Commiphora wightii* is usually more common than *C. myrrha*; *Plocama calycoptera* and *P. hymenostephana* are other commonly associated shrubs. Species diversity is high with at least 120 species found in this community (8.5% of the total flora of the country).

C. Rocky slopes and rock outcrops with *Fagonia paulayana* and *Plocama aucheri* (northern Oman on ophiolite; 0–450 m)

The ophiolite rock found in this region creates very distinct soils. The soils are deficient in calcium, nitrogen and phosphorus and usually rich in magnesium, iron and heavy metals such as cobalt, nickel and chromium, causing toxic effects on plants. Plant communities are distinctly different from nearby areas on limestone, and the ophiolite areas contain markedly less plant species than the limestone areas. Species diversity is much lower than on the adjacent limestone.

D. *Acacia tortilis*-*Prosopis cineraria* open woodland of plains, plateaus and hills of the Jiddat Al Harasis and Al Huqf (central Oman; 0–250 m)

While the central desert is low in plant species numbers, the percentage of endemic, near endemic and regional endemic species is very high. The vegetation on the plains and plateaus consists of sparse open thorn woodlands with *Acacia tortilis* and *Prosopis cineraria*. Common species in the grass and herb layer are the endemic shrubs *Convolvulus oppositifolius* and *Ochradenus harsusiticus*, and the endemic grass *Stipagrostis sokotrana*.

E. Xeromorphic dwarf shrubland with *Heliotropium bacciferum* and *Campylanthus sedoides* (central Oman; 50–150 m)

The plateau gravel desert is an extreme environment; the perpetual winds have removed much of the fine sediments and the surface is strewn with gravel and pebbles. Typical vegetation consists of very open xeromorphic dwarf shrubland intermixed with grasses and annual. A total of 95 plant species were recorded from the coastal escarpments and the adjacent plains (Eich 2005). In sandy depressions

adjacent to the escarpments the dwarf palm (*Nannorrhops ritchieana*) and *Acacia ehrenbergiana* are common species.

F. Xeromorphic dwarf shrubland with *Rhus ghallagheri* and *Ochradenus harsusiticus* (central Oman; 0–250 m)

Very few trees and large shrubs are present on the undulating plateau with its incised wadi systems of the Jiddat Al Arkad and the Sahil Al Jazir plateau and escarpment. The habitats appear to be low in plant diversity, however no detailed research has been conducted due to the remote location.

Due to the presence of several local endemics, it is strongly suspected that the environmental conditions differ to those of the Jiddat Al Harasis/Huqf plateau and escarpment area further north. It is assumed that this section of the central desert may be at the fringe of the monsoon-affected area, thus benefiting from occasional low clouds and cool winds during the south-west monsoon.

Plant endemism in this area is particularly high; endemic species restricted to this area include *Hyoscyamus gallagheri*, *Pulicaria pulvinata*, *Rhus ghallagheri*, *Polycarpaea jazirensis* and *Salvia* sp. nov. aff. *hillcoatiae*. Other endemic species with a slightly extended area of distribution are *Aerva artemisioides* subsp. *batharitica* and *Ochradenus harsusiticus*. The presence of these plant species supports the hypothesis that the area forms a distinct floristic unit.

V. The Hajar Mountains in Northern Oman

The Hajar mountains of northern Oman are part of an arid subtropical mountain system extending from southern Arabia to southwest Asia. In Oman, the northern mountain system includes the Western Hajar (highest peak 3006 m), Eastern Hajar (ca. 2000 m) and Musandam mountains (2008 m). The Hajar mountains consist of vast tilted massifs of highly permeable mid-Permian to mid-Cretaceous limestone, sandstone and dolomite. Ophiolite sequences are found at lower elevation in the Western and Eastern Hajar. Major wadi systems carve deeply incised canyons through the mountains, up to several hundred meters deep.

The climatic conditions of the Hajar mountains are arid to semi-arid, with a potential evapotranspiration of more than 2000 mm year (Nagieb et al. 2004). Mean annual precipitation rarely exceeds 400 mm in the Western Hajar, with rainfall concentrated in the early spring and late summer. This exemplifies the climatic transition of the study area from subtropical summer rain to extratropical winter rain. The Eastern Hajar and Musandam are marked by very low rainfall, estimated to be around 160–200 mm; detailed climate data for the Eastern Hajar and Musandam are scarce. Run-off from the slopes is considerable and permanent

surface water is very scarce. Soils generally are shallow and contain low levels of organic matter.

The natural vegetation of the Hajar mountains consists of open xeromorphic woodlands, deciduous and semi-evergreen shrublands, and grasslands. 394 species have been recorded to date from Musandam (Oman territory only), 485 from the Western Hajar and 324 from the Eastern Hajar.

The entire northern mountains are recognised as a centre of national and regional floristic richness (Miller & Nyberg 1991; Patzelt in press. a) and support a surprisingly rich and varied flora. The extent of the mountain uplift as well as the fragmentation and isolation from neighbouring mountain ranges has resulted in high levels of endemism: at least 24 species are strictly endemic to the Hajar Mountains, including *Dionysia mira*, *Teucrium mascatense*, *Campylanthus hajarensis*, and *Ziziphus hajarensis*.

The vegetation zones are different for the three mountain ranges. The distinct flora and vegetation of the Eastern Hajar as well as of Musandam has often been inadequately included in botanical descriptions of the Western Hajar, but recent and on-going research highlights the distinctive botanical character of these two mountain ranges that is distinct from the adjacent Western Hajar.

Isolation and separation from each other have resulted in significant differences in vegetation between the three mountain systems. Comparing the presence or absence of the key tree and shrub species of all three mountain ranges shows a clear reflection of the different climate conditions (Table 3).

In general, there is a close relationship between the high altitude flora and vegetation of the Musandam mountains and the Eastern Hajar mountains. The vegetation is characterised by species which are restricted to these two mountains systems within Oman, but which also occur in the desert steppe of high inner plateau of central Iran. The northern mountain vegetation in Oman clearly indicates a former pre-Pleistocene migration of Irano-Turanian elements into Arabia, and the current vegetation in Oman is interpreted as the southernmost outlier of the Irano-Turanian vegetation.

Similarities between the Iranian inner plateau desert and woodland steppe and the Western Hajar mountains are far less pronounced. The Western Hajar mountains receive considerably more precipitation thus supporting a more mesic vegetation. The desert steppe and woodland steppe of the inner Irano-Turanian deserts are represented in the more arid Eastern Hajar and Musandam mountains.

In addition to the natural vegetation, human-made terraces in spring-fed oases have existed in the mountains for centuries or millennia. A wide variety of crops has been and still is cultivated on these terraces in traditional, mainly subsistence-style oasis systems of remarkable beauty and interest.

Table 3: Absence or presence of key perennial species in the three mountain systems within the Hajar mountain range.

	Musandam	Western Hajar	Eastern Hajar
Trees/large shrubs			
<i>Prunus arabica</i>	key species	very rare	key species
<i>Ziziphus hajarensis</i>	absent	key species	key species
<i>Ceratonia oreoantha</i>	absent	absent	key species
<i>Olea europaea</i> subsp. <i>cuspidata</i>	absent	key species	rare
<i>Acacia gerrardii</i> subsp. <i>negevensis</i>	absent	key species	key species
<i>Sideroxylon mascatense</i>	absent	key species	rare
<i>Juniperus seravschanica</i>	absent	key species	absent
Perennial shrubs			
<i>Astragalus fasciculifolius</i>	key species	absent	rare
<i>Artemisia sieberi</i>	key species	absent	absent
<i>Convolvulus acanthocladus</i>	key species	very rare	key species
<i>Ephedra pachyclada</i>	key species	key species	key species
<i>Sageretia thea</i>	absent	key species	frequent
<i>Ebenus stellata</i>	absent	key species	key species
<i>Daphne mucronata</i>	absent	key species	key species
<i>Lonicera hypoleuca</i>	absent	key species	bsent
<i>Withania coagulans</i>	absent	absent	rare

V.I. The Western Hajar Mountains

The flora of the Western Hajar mountains is one of the richest and most important floristic regions in Oman and in the Arabian Peninsula. A total of 298 vascular plant species (21% of the total flora of Oman) were recorded from the Wild Olive and Juniper woodlands above 1500 m in altitude, belonging to 214 genera and 73 families (Patzelt in press. b). 13 plant species found above 1500 m in the Western Hajar mountains are strictly endemic to Oman, and nine are near endemic or endemic to Arabia. The total of 22 range-restricted species represents 7.4% of the flora of the Western Hajar. An additional 33 species have been assessed as Threatened, Near Threatened, or Data Deficient but not range-restricted (Patzelt in press. b).

A. Sub-montane zone: *Euphorbia larica*-*Moringa peregrina* community (300–1500 m)

At an altitude of approximately 300 m, the xeromorphic open lowland *Acacia tortilis* woodland (see section IV.A) transitions into the sub-montane *Euphorbia larica*-*Moringa peregrina* shrubland (*Moringa peregrina* community type (Frey

& Kürschner 1986). This community includes at least 133 species, 9.4% of the total species of the country. The lower limit of this plant community is defined by the disappearance of many of the typical annual species including *Arnebia hispidissima* and *Anastatica hierochuntica*. The perennial shrubs *Ochradenus aucheri* and *Euphorbia larica* are common components. The upper limit for the *Euphorbia larica-Moringa peregrina* woodland ends with the disappearance of many of the key perennials and the appearance of the Wild Olive (*Olea europaea* subsp. *cuspidata*) and *Sideroxylon mascatense*.

B. Montane zone: *Sideroxylon mascatense-Olea europaea* community
(1500–2200 m)

The montane zone is dominated by an open hard-leaved sclerophyllous, evergreen woodland community characterised by the afromontane-Arabian Wild Olive (*Olea europaea* subsp. *cuspidata*), and the Arabian-Asian *Sideroxylon mascatense*. This plant community is restricted to the Western Hajar mountains; it occupies a maximum of 1077 km², representing 7.92% of the Western Hajar mountains land area and 0.34% only of the total country.

A total of 138 species have been recorded from this community (Patzelt 2009). Extratropical Irano-Turanian taxa and desert Saharo-Sindian taxa indicate the bi-seasonal type of climate. This community connects southern Arabia phytogeographically and floristically with Asia (Omani-Makranian distribution pattern). A phytosociological-chorological analysis of the community identifies its significance as species-rich, disjunct relict of a former continuous belt of xeromorphic sclerophyllous woodlands, ranging in the late Tertiary from palaeo-Africa via the southern Arabian Peninsula to southwest Asia.

The tree and shrub layers form an open structure, with the tree layer reaching a height of up to 8 m and the shrub layer up to 4 m in height; the tree cover ranges from 5–30% (Patzelt 2009). The Wild Olive woodlands are characterised by the presence of the Oman-endemics species *Polygala mascatense* and *Teucrium stockianum* subsp. *stenophyllum*. The woodlands are unique to Oman and have their nearest links to similar woodlands in Pakistan and Afghanistan (Patzelt 2009).

C. High-montane Zone: *Teucrium mascatense-Juniperus seravschanica* community
(2200–3000 m)

In the high-montane zone of Oman, along the plateau and on slopes with an inclination of up to c. 30% an evergreen needle-leaved cold-resistant woodland community is dominated by *Juniperus seravschanica* (Patzelt 2009).

Olea europaea subsp. *cuspidata*, *Sideroxylon mascatense* and the Oman-endemic *Ziziphus hajarensis* are key species, restricted to the refugium provided by the favourable climate at high altitudes (Image 1). The multi-layered vegetation structure is characterised by a number of endemic species, including *Teucrium*



Image 1: The Juniper woodlands are a high-montane evergreen plant community in the western Hajar mountains in Oman.

mascatense and *Stipa mandavillei*. The distinct endemic chasmophyte *Dionysia mira* is only found in a few locations.

A total of 67 species have been recorded from this community (Patzelt 2009). The juniper trees can reach up to 10 m in height and an age up to c. 1000 years (Sass-Klaassen et al. 2008). Most accompanying perennial species have a strict preference for relatively cold and wet conditions and are not found below 2200 m, including the Yellow Himalayan Honeysuckle (*Lonicera hypoleuca*) and the very rare *Cotoneaster nummularius*, which is restricted to the highest summit areas.

The *Teucrium mascatense*-*Juniperus seravschanica* community is unique to the Western Hajar but is closely related to juniper woodlands of the Central Asian mountains (Kürschner 1998). The juniper woodlands fall under the Irano-Turanian Regional Centre of Endemism which extends from the Anatolian plateau in Turkey to Central Asia and Pakistan to Oman. The flora and vegetation of the *Teucrium mascatense*-*Juniperus seravschanica* community are interpreted as the most southerly enclave of this rich south-west and central Asian phytochorion.

IV.II. The Eastern Hajar Mountains

At least 324 species occur in the Eastern Hajar, representing 23% of the total flora of the country. 30 range-restricted species are found in this mountains system (2.1%

of the total flora). 13 species are endemic to Oman, 2 species are near endemic and 13 species are regional endemic.

A. Colline and sub-montane zone: *Commiphora wightii*-*Grewia erythraea* shrubland (100–500 m)

The sub-montane zone is characterised by low perennial shrubs including *Commiphora wightii*, *Grewia erythraea*, and *Ochradenus aucheri*. The vegetation is dominated by grasses, herbs, and subshrubs; common species include *Heliotropium calcareum*, the near endemic *Lavandula subnuda* and the regional endemic *Pulicaria glutinosa* subsp. *glutinosa*.

B. Montane zone: transitional shrubland with *Rhus aucheri* (500–1200 m)

A xeromorphic mixed shrubland and herbaceous community characterise the montane zone. Common shrubs include the Oman endemic *Rhus aucheri*. At higher altitudes, the two *Helianthemum* species (*H. lippii* and *H. kahiricum*) become dominant species. The upper limit for this shrubland ends with the disappearance of many of the key perennials and the appearance the Arabian Almond (*Prunus arabica*).

C. High-montane zone: *Prunus arabica*-*Ceratonia oreothauma* steppe woodland community (1200–1850 m)

The high-montane zone is characterised by xeromorphic steppe woodlands dominated by the Irano-Turanian Arabian Almond (*Prunus arabica*); *Acacia gerardii* subsp. *negevensis*, *Ziziphus hajarensis* and the regional endemic *Ceratonia oreothauma* subsp. *oreothauma* are other key tree species. Typical dwarf shrubs include the endemic *Pycnocycla prostrata* and *Ephedra pachyclada*. Annual plants take advantage of the shade and increased moisture levels associated with the deep crevices and wadi systems carved into the landscape. Hardy ferns appear in the shaded cracks and crevices including *Onychium divaricatum*, *Cheilanthes vellea* and *Actinopteris semiflabellata*.

The *Prunus arabica*-*Ceratonia oreothauma* steppe woodlands are unique to Oman and have their nearest links to similar woodlands in Musandam and in the Zagros mountain arch in Iran (Frey & Probst 1986). The woodland in Oman is interpreted as the southernmost outlier of the Irano-Turanian steppe woodland vegetation, indicating a pre-Pleistocene migration route from the Zagros mountain arch into Arabia. Extratropical Irano-Turanian taxa reflect the close phylogeographic relationship to Central Asia. This community connects southern Arabia phylogeographically and floristically with Central Asia.

D. High-montane Zone: *Helianthemum kahiricum*-*Convolvulus acanthocladus* desert steppe community (1200–1850 m)

On the exposed summit plateaus, treeless steppe vegetation consisting of dwarf shrubs and grasses is found. *Helianthemum kahiricum*, *Echiochilon persicum*,

and the Irano-Turanian *Convolvulus acanthocladus* and *Ephedra pachyclada* are characteristic species. A few enigmatic bulb species are present in this community, including the Irano-Turanian *Dipcadi erythraea* and *Gagea* aff. *reticulata*, a recent new country record. A new record for Arabia is the Irano-Turanian *Withania coagulans* (Patzelt et al. 2014). The *Helianthemum kahircum*-*Convolvulus acanthocladus* desert steppe has its nearest links to similar steppe vegetation in Musandam and in Zagros mountain arch in Iran (Frey & Probst 1986), representing a southernmost outlier of the Irano-Turanian desert steppe vegetation.

IV.III. The Musandam Mountains

At higher elevations, the flora and vegetation of Musandam are significantly different to the Western Hajar mountains further south, but show the same relationship to the Irano-Turanian desert steppe vegetation as the Eastern Hajar. The vegetation is characterised by many species which are restricted to Musandam within Oman, but also occur in the high plateau of central Iran.

Musandam (Oman territory only) is home to at least 394 plant taxa (28% of the national total). At least 94 species, representing 6.6% of the total flora of Oman are restricted to Musandam. This exemplifies the unique character of the flora of Musandam, which can be described as a key plant diversity area within Oman. The significant increase in species numbers recorded over the last few years is a direct function of sustained plant recording-field work, resulting in many new records for Musandam and/or Oman (Feulner 2011; Patzelt et al. 2014).

No species has yet been identified as strictly endemic to Musandam, but the area contains five plant species endemic to Oman, one near endemic species and nine species endemic to the Arabian Peninsula; 14 plant species are considered to be rare and threatened but not range-restricted (Patzelt in press. a). Three species have extremely restricted ranges and are only known from one or two locations including the endemic *Echinops atrox*, and the Irano-Turanian *Salvia mirzayanii* and *Thymelaea mesopotamica*. New records for Oman include *Hypocoum pendulum* and *Leptaleum filifolium*, first recorded in 2014 by Oman Botanic Garden.

A. Sub-montane and montane zone: *Pulicaria edmondsonii*-*Moringa peregrina* community (300–600 m)

At an altitude of approximately 300 m, the xeromorphic lowland *Acacia tortilis* woodland (see section IV.A) merges into the *Pulicaria edmondsonii*-*Moringa peregrina* open shrubland. This zone is closely related to the *Euphorbia larica*-*Moringa peregrina* community found in the Western Hajar (see section IV.A). The upper limit for the *Pulicaria-Moringa* shrubland is indicated by the appearance of trees and shrubs associated with the montane zone such as *Ficus johannis* and the Irano-Iranian *Astragalus fasciculifolius*.

B. Montane zone: *Convovulus acanthocladus* desert steppe community (600–1100 m)

The characteristic shrubs of the sub-montane zone disappear and montane species such as *Convovulus acanthocladus* and *Astragalus fasciculifolius* subsp. *arbusculinus* appear. A typical species of this zone is the regional endemic *Pulicaria edmondsonii*. The Arabian Almond (*Prunus arabica*) replaces the morphologically similar but ecologically different *Moringa peregrina* and *Ficus johannis* replaces *Ficus cordata* subsp. *salicifolia* (Feulner 2011). The upper limit for this zone is indicated by the appearance of species associated with higher elevations such as *Ephedra pachyclada* and *Artemisia sieberi*.

C. High-montane zone: *Artemisia sieberi-Ephedra pachyclada* desert steppe community (1100–2000 m)

The high-montane steppe vegetation includes elements from the central Iranian plateau (Frey & Probst 1986), and differs significantly from the higher elevation flora of the Western Hajar mountains, although the similarity to the flora of Iran is conspicuous. Examples of Irano-Turanian species common to Musandam and the high plateau of Central Iran include *Artemisia sieberi*, the very rare *Salvia mirzayanii*, *Ephedra pachyclada*, *Convovulus acanthocladus* and *Cymbopogon jwarancusa*. This community has been called ‘*Artemisia* steppe’ by Mandaville (1985). The *Artemisia sieberi-Ephedra pachyclada* desert steppe supports a rich diversity in annual plants, many of which are within Oman restricted to Musandam, including *Thymelaea mesopotamica* and *Pentanema divericatum*.

D. High-montane zone: *Astragalus fasciculifolius-Prunus arabica* steppe shrubland community (1200–2000 m)

The *Astragalus fasciculifolius-Prunus arabica* cold-resistant steppe shrubland in Musandam is interpreted as the southernmost outlier of the Irano-Turanian steppe woodland vegetation, indicating a former migration of these floristic elements from the Zagros mountain arch into southern Arabia. Examples of Irano-Turanian species include *Astragalus fasciculifolius* subsp. *arbusculinus* and the Arabian Almond (*Prunus arabica*). The steppe shrubland in Musandam can be interpreted as being part of disjunct belt of xeromorphic cold-deciduous woodland known from the high plateau of Central Iran. The *Astragalus fasciculifolius-Prunus arabica* steppe shrublands are interpreted as a relict of a former continuous belt of xeromorphic cold-resistant woodlands, ranging from Central Asia to the southern Arabian Peninsula.

E. Montane and high-montane zone: cliff faces, gorges and steep slopes (400–2000 m)

Steep cliff faces and gorges are found in many locations throughout the Musandam. In steep and cool north-facing cliffs above 1600 m, the endemic *Centaurea wen-*

delboi, the grass *Cymbopogon jwarancusa* subsp. *olivieri*, and the very rare and endangered Irano-Turanian *Salvia mirzayanii* can be found. On south-facing steep cliffs and slopes above 1400 m *Stipa mandevillei* and *Lactuca orientalis* characterise the vegetation. *Rosularia adenotricha*, a new record for Oman first recorded in 2014 by Oman Botanic Garden, is found in small rock cracks and crevices.

F. High-montane zone: *Ixilirion tataricum*-*Moraea sisyrinchium* bulb community (1200–1600 m)

In the high-montane zone, agricultural terraces were established centuries ago principally for the cultivation of winter wheat and barley (Feulner 2011). Today, some are still partially used, but many terraces have been abandoned in recent decades. These terraces are particularly rich in species; they represent a vegetation type which exists nowhere else in Oman.

Of significant botanical importance are highly ornate bulb species, including *Moraea sisyrinchium*, *Gladiolus italicum*, *Ixilirion tataricum*, *Bellevalia* sp. aff. *longipes*, and *Leopoldia longipes*. Four out of the five highly ornamental bulb species are seriously threatened (*Ixilirion tataricum*, *Moraea sisyrinchium*, *Bellevalia* sp. aff. *longipes*, and *Leopoldia longipes*). Species which are restricted in their national distribution to the terraces include *Matricaria aurea*, *Aegilops kotschyii* and *Carduus pycnocephalus*.

VI. The mountains of southern Oman

The mountains of southern Oman (Dhofar) lie in the monsoon belt and for three months each year from mid-June to mid-September the area comes under the influence of the southwest monsoon, as part of a larger phenomenon called the Inter Tropical Convergence Zone (Bookhagen et al. 2005).

The area is an outstanding example of an island-like refugium and represents a fragile ecosystem unique on a global scale (Miller 1994, Kürschner et al. 2004, Hildebrandt & Eltahir 2006, Patzelt in press. a). The vegetation is dominated by a narrow band of deciduous vegetation skirting along the coastal mountains from southern Oman into eastern Yemen. The desert cloud oasis is among the most diverse ecosystems of the Arabian Peninsula (Miller 1994), and includes a large number of rare and endemic plant species, as well as endemic vegetation types. The escarpment cloud forest and associated habitats show a strong interdependence between the vegetation and the climatic system.

The interplay between topography and the monsoon profoundly influences precipitation quantity and distribution. During the monsoon, there is an upwelling of cold water off the coast which rapidly cools the moist winds to dew point, causing dense fog to form against the seaward-facing escarpments. Because of

the cloud cover, the temperature drops and relative humidity reaches 90–97%. The fog formation can extend up to 250 km along the escarpment and up to 50 km inland (Stanley-Price et al. 1988). As the low cloudbank moves inland, it cannot rise because of a temperature inversion created by the flow of warm dry air from the desert inland, limiting the vertical extent of the cloud cover. The cloud base varies from sea level upwards, averaging around 150 m; the cloud top varies between 600 and 1500 m.

This combination of topography and temperature inversion creates stable conditions for about three months, with persistent thick stratus clinging to the sea-exposed slopes of the mountains. The temperature rises again when the monsoon lifts in September.

Three seasons are identified in the monsoon-affected zone: (1) wet season – June to August; (2) transition season – September to November, and (3) dry season – December to May. During the wet season high rates of vegetative growth occur, creating a lush and green environment. The tree canopy gains additional water by intercepting cloud droplets, a phenomenon known as horizontal precipitation. During the transition season a lot of generative growth takes place as a result of the residual water stored in the soil, effectively doubling the length of the monsoon influence and most species come into flower and fruit. During the dry season, many trees shed their leaves and most plant species enter a dormant phase.

Jabal Dhofar is subdivided into Jabal Al Qamar (highest altitude c. 1500 m), Jabal Al Qara (c. 900 m), and Jabal Samhan (c. 1850 m). Jabal Al Qamar experiences a higher precipitation than the other two mountain ranges. The flora of Jabal Al Qamar alone consists of at least 515 vascular plant species, Jabal Al Qara houses at least 467 species and 377 species have so far been recorded from Jabal Samhan.

145 range-restricted species (endemics, near endemics and regional endemics) have been recorded from Dhofar (Patzelt in press. a), representing 10.3% of the total flora of the country.

Comparing the importance of the main vegetation types of all three mountain ranges shows an interesting pattern and reflects the different climatic conditions (Table 4).

Jabal Al Qamar and Jabal Al Qara are strongly influenced by the monsoon, whereas Jabal Samhan is a mostly barren limestone mountain massif, at the edge of a desert cloud forest ecosystem. A small western-most area of Jabal Samhan just falls under the influence of the summer monsoon, but the far-reaching summit plateaus are only affected by the cooler monsoon winds. Jabal Samhan's climate with its characteristic spatial and temporal variation has shaped the independent evolution of its flora. This has resulted in the description of the area as representing an own centre of endemism (see section 3), reflecting the distinctly different flora and vegetation.

Table 4: Absence/presence of the main vegetation types in the three mountain ranges of Dhofar (southern Oman).

	Jabal Al Qamar	Jabal Al Qara	Jabal Samhan
<i>Acacia-Commiphora shrubland</i>	present	present	dominant
<i>Anogeissus dhofarica forest</i>	dominant	dominant	very restricted
<i>Themeda quadrivalvis savannah</i>	present	rare	absent
<i>Olea-Maytenus woodland</i>	dominant	absent	present
<i>Euphorbia balsamifera cushion-shrub</i>	dominant	dominant	very restricted
<i>Euphorbia cactus community</i>	present	absent	absent
<i>Aloe dhufarensis shrubland</i>	dominant	absent	absent
<i>Dracaena serrulata community</i>	dominant	absent	very restricted
<i>Barleria samhanensis community</i>	absent	absent	present
<i>Boswellia sacra shrubland</i>	dominant	dominant	dominant
<i>Heliotropium community</i>	dominant	dominant	ominant

The north-facing slopes and large wadi systems of all three mountain massifs are exposed and sun-baked and not affected by monsoon precipitation. They are subjected to high summer temperatures and receive intermittent rainfall or in some years, none at all. Most wadi systems are deeply incised canyons, often several hundred meters deep. Several permanent water systems are present.

The unique and endemic plant communities, including the *Anogeissus dhofarica* forest (Kürschner et al. 2004) and the *Themeda* tall-grass savannah (Patzelt 2011) are found exclusively in the monsoon-affected mountains of Dhofar and across the border in nearby Yemen. It is strongly suspected that most other plant communities described below are endemic as well. Work to describe, classify and rank these communities is currently on-going.

A. Planar to colline zone: drought-deciduous thorn woodlands and shrublands; *Acacia hamulosa-Commiphora gileadensis* community (0–200 m)

The *Acacia-Commiphora* open woodland and shrubland dominates the plains and lower mountain slopes on the seaward-facing slopes. *Commiphora kua* and *C. gileadensis*, *Acacia hamulosa*, *Acacia laeta* and the endemic *Jatropha dhofarica* are commonly found throughout this open woodland. Grasslands on the coastal plain were common in the past, but have today been more or less destroyed.

B. Planar to montane zone: drought-deciduous *Anogeissus dhofarica* forest (0–1000 m)

The drought-deciduous forest in Dhofar depends on persistent seasonal fog, representing a cloud forest under semi-arid conditions. The desert cloud ecosystem in Dhofar is a unique, fragile ecosystem surviving under conditions that are significantly warmer and dryer compared to cloud forests found elsewhere in the world. The water demand of the cloud forest is comparatively low, as incoming radiation and transpiration rates are suppressed during the monsoon. The long dry season means the forest exists at the very edge of its natural range.

The plant community has been described in 2004 (Kürschner et al. 2004). *Anogeissus dhofarica* is a relict species of the Tertiary and is a remnant of a former moist vegetation belt of palaeo-African origin (Kürschner 1998; Patzelt 2011), with close links to the flora of East Africa. At least 262 species are recorded from the *Anogeissus* forest (19% of the total flora), showing the extreme species richness of this plant community. The forest supports an exceptionally rich understory, characterised by many different life forms, such as herbs, shrubs, lianas, bulbs, annuals and grasses, many of which are endemic (Image 2). Main species in the tree and shrub layer include the near endemics *Maytenus dhofarensis*, *Blepharis dhofarensis* and *Blepharispermum hirtum*.

C. Montane zone: Annual *Themeda quadrivalvis* tall-grass savannah (600–900 m)

Themeda quadrivalvis tall-grass savannah replaces the *Anogeissus* forest on plateaus at middle altitudes. The tall-grass savannah forms a 3 km to 5 km wide belt on the gentle seaward-facing gentle mountain slopes (Patzelt 2011); the grasslands are interpreted as a result from anthropogenic activities in recent centuries to millennia. Characteristic species of this plant community are the annual grasses *Themeda quadrivalvis*, *Setaria pumila* and *Apluda mutica*, and the wild okra (*Abelmoschus manihot*). The community is rich in species, with 112 species being recorded (8% of the total flora of the country) (Patzelt 2011). The association is interpreted as an impoverished easternmost outlier of the East African savannah.

D. Montane zone: Drought-deciduous sclerophyllous *Olea europaea-Maytenus dhofarensis* woodland community (900–1200 m)

At higher altitudes, the *Olea europaea-Maytenus dhofarensis* community exists as a separate belt above the *Anogeissus* forest. This vegetation zone receives slightly less horizontal precipitation than the *Anogeissus* forest. Characteristic tree species are the near endemic *Maytenus dhofarica* and the Wild Olive (*Olea europaea* subsp. *cupidata*). *Anogeissus* trees occur as isolated specimens, but do not form a continuous canopy cover.



Image 2: The *Anogeissus dhofarica* forest is found in a narrow band on the seafacing-mountains. It has one of the highest plant species diversities of all plant communities of the Arabian Peninsula.

This belt of sclerophyllous, drought-deciduous woodland is also known from tropical East Africa, and from the southwestern mountains of Saudi-Arabia and Yemen and can be interpreted as relict vegetation of the Tertiary semi-deciduous xerotropical forest belt, formerly ranging from Africa to Asia.

E. Montane zone: drought-deciduous *Euphorbia balsamifera*-*Commiphora foliacea* cushion shrub community (800–1300 m)

This succulent community, characterised by the Balsam Spurge (*Euphorbia balsamifera* subsp. *adenensis*) and stunted Myrrh species (*Commiphora kua*, *C. foliacea*, and *C. gileadensis*), is locally abundant in areas with gentle slopes, shallow soils and rocky surfaces at higher altitudes. The habitat is affected by the cool monsoon wind and fog, although it is beyond the reach of the continuous dense fog.

Characteristic species are the stem-succulents *Monolluma quadrangula* (regional endemic), *Orbea luntii* (near endemic), and *Echidnopsis scutellata* subsp. *dhofarensis* (endemic). This endemic plant community comprises at least 118 species (8.3% of the total flora). The *Euphorbia balsamifera*-*Commiphora foliacea* community is closely related to an *Euphorbia balsamifera* community described

from the mountains of Yemen (Deil & Müller-Hohenstein 1984). The area falls is included in the Somali-Masai regional centre of endemism, and most species represent this close link between East Africa and the mountains of southern Arabia.

F. High-montane zone: drought-deciduous *Cocculus balfourii*-*Euphorbia cactus* cliff community (1200–1600 m)

The *Cocculus balfourii*-*Euphorbia cactus* community is locally abundant on exposed high altitude south-facing cliffs and steep slopes. This community benefits from the cool winds and occasional fogs by the monsoon, although it is outside of the monsoon precipitation zone. Characteristic species are the regional endemic *Cocculus balfourii* and *Euphorbia cactus*. This community is closely related to the *Euphorbia cactus* community described from the mountains of Yemen (Deil & Müller-Hohenstein 1984).

G. High-montane zone: *Seddera glomerata*-*Aloe dhufarensis* succulent community (1200–1500 m)

On high plateau areas, the landscape is dominated by an endemic *Seddera glomerata*-*Aloe dhufarensis* shrubland. The high plateau vegetation supports annual species and many grasses and small perennial dwarf shrubs, including the endemics *Portulaca dhofarica*, *Pulicaria argyrophyllum* subsp. *oligophylla*, and *Seddera glomerata* subsp. *glomerata*.

The orientation and spatial distribution of *Aloe dhufarensis* are striking: The plants are regularly spaced with approximately 1.5 m between each plant. They are distinctly oriented towards the south, with the leaf rosette open to the cloud and fog of the monsoon, thus ensuring maximum moisture capture.

This endemic plant community comprises at least 70 species (c. 5% of the total flora), including eight endemic and near endemic species. This community shows strong affinities to xerotropical succulent communities described from Yemen and Saudi Arabia (Deil & Al Gifri 1998), being vicariant to the *Seddera glomerata*-*Aloe dhufarensis* in Oman.

H. High-montane zone: xeromorphic *Euphorbia schimperi*-*Dracaena serrulata* rock community (800–1200 m)

The Arabian Dragon Tree (*Dracaena serrulata*), a stunning regional endemic species, is an unusual and conspicuous species found at higher altitudes and restricted largely to the high dry plateaus at the leeward side of the monsoon-affected mountains (Image 3). The community receives some benefit from the monsoon clouds and cool winds, but is beyond the consistent solid cloud cover. Vicariant communities with *Dracaena* species are found in Djibouti, Somalia, the Canary Islands and Soqotra (Deil & Al Gifri 1998).



Image 3: *Dracaena serrulata* is a flagship species, found on steep slopes on the sea-facing mountains.

Characteristic species include the endemic *Lavandula dhofarensis* subsp. *ay-unensis* and the rare orchid *Eulophia petersii*. The plant community comprises at least 100 species (c. 7% of the total flora), including many endemic and near endemic species.

Worryingly, the *Dracaena serrulata* has shown serious signs of dieback in recent years. The reasons for this are uncertain, but may be related to climate change and a decrease in cloud cover. This species is distributed in fragmented sub-populations which appear only to contain adult individuals with little sign of active regeneration. Active research and conservation management is urgently required to safeguard this attractive species from extinction in the wild.

I. High-montane zone: xeromorphic *Salvia hillcoatiae*-*Lavandula hasikensis* community (1300–1600 m)

Plant endemism in Jabal Samhan is particularly high, especially on the high plateau and in adjacent wadi systems (Knees et al. 2007). Species such as *Pulicaria samhanensis*, *Barleria samhanensis*, *Salvia hillcoatiae* and *Lavandula hasikensis* are all endemics restricted to Jabal Samhan. This section of the high plateau is at the fringe of the monsoon-affected area. It benefits from occasional cool winds, but

does not experience regular precipitation during the monsoon period. The presence of these plant species, alongside with other endemics supports the hypothesis that the high plateau of Jabal Samhan forms a distinct floristic unit, containing a number of very restricted endemic plant species and being significantly different to any other vegetation unit (see section 3).

J. Montane and high-montane zone: *Tetraena decumbens*-*Boswellia sacra* community (500–1200 m)

The Frankincense tree (*Boswellia sacra*) is common in the large wadi systems and on the wadi slopes beyond the reach of the monsoon precipitation (Image 4). Sparse vegetation cover is characteristic of this community; the dominant life-forms are small perennial xerophytic shrubs and grasses. However, in shallow depressions and on wadi banks and slopes, denser vegetation forms including *Tetraena decumbens*, the Dhofar-endemic *Trichodesma cinereum*, the rare *Euphorbia orbiculifolia*, and the near endemic *Ochradenus giffrii*.

K. Sub-montane and montane zone: *Launaea castanosperma*-*Heliotropium bacciferum* community (300–1000 m)

On wadis sides, on slopes, and on the dry exposed plateaus, a desert dwarf shrubland with perennials and dwarf shrubs including the near endemic *Launaea castanosperma* is present. The plateaus and slopes often seem almost devoid of plants, however after rain, annual plants such as the bright yellow-flowered *Diplotaxis harra* are abundant.

VII. Wadis

A number of large wadis, occasionally with permanent water bodies carve their way through the mountains. The wadis tend to be very 'flashy' in that they respond rapidly to the erratic rainfall, so that water-levels and flow velocity vary considerably and stream velocity is very high during the occasional flood events. This creates an unstable ecosystem with inherent challenges for persistent plant growth. According to the interaction of a range of factors including frequency and intensity of water flow, stream velocity, depth of groundwater, grain size of the sediments, and the altitude, and size of water catchment area, different wadi vegetation types can be recognised.

The wadi slopes are often cut into the bare rock, the wadi bottom is covered with boulders. At most times, the major part of the wadi bottom is dry and only a number of pools or smaller runnels of water remain.

A. Planar and colline zone: extratropical wadis in northern Oman (0–300 m)

In deeply incised often canyon-like wadis at lower altitude in northern Oman a community characterised by the presence of *Nerium oleander* is present (Deil &



Image 4: The frankincense is without doubt the most famous plant of Dhofar and once was of vital economic importance.

Müller-Hohenstein 1996). A number of species grow along the margins in shallow water, including *Arundo donax*, *Nerium oleander*, *Salix acmophylla*, and tall grasses (*Saccharum kajkaiense*, *S. ravennae* and *S. griffithii*). The phreatophytes *Prosopis cineraria*, *Ziziphus spina-christi* and *Ficus cordata* subsp. *salicifolia* are common. This wadi type belongs to the extratropical type; they are recorded from the whole saharo-arabian and nubo-sindian region (Deil & Al Gifri 1998).

B. Planar and colline zone: tropical wadis in southern Oman (0–300 m)

Wadis in the monsoon affected area in Dhofar shelter gallery forests with *Ficus vasta*, *F. sycomorus*, *F. lutea*, and *Tamarindus indica*. They are usually found within the *Anogeissus dhofarica* forest. Climbers and lianas such as *Cissus quadrangularis*, *Luffa acutangula*, and *Cucumis sativus* are commonly associated.

C. Herbaceous wadi and irrigation channel communities (0–2600 m)

Most herbaceous wadi plants in Oman are characterised by species which are able to tolerate drought; they are found on damp ground, but may occasionally undergo dry periods. Characteristic species include *Bacopa monnieri*, *Phyla nodiflora*, *Pentadon pentandrus* and *Fimbristylis* species.

Water-dependent plants are also typically found in artificial habitats such as irrigated land, damp areas around settlements and along the irrigation channels. The “aflaj” (singular “falaj”) irrigation system in northern Oman represents an important habitat in areas where there are few natural water bodies. Especially around leaks of old and less-well maintained water channels plants dependant on water are present.

D. Seasonally inundated depressions

Seasonally inundated depressions are a particularly important habitat for local wetland plant species. This habitat typically supports species capable of surviving as annuals, but which persist during dry periods in the seed-bank, including a number of rare or local taxa, such as *Bergia polyantha*, which was first recorded from Oman in 2014 (Patzelt et al. 2014).

E. Runnels, ravines, gullies and wadis within shrublands, woodlands and forests

In runnels, small ravines, and deeply incised wadis the adjacent vegetation is often denser and species abundance is higher. This is typical for many arid countries, as runnels, gullies and wadis receive run-off water and sediments are accumulated through water and wind, resulting in slightly deeper soil layers, thus supporting higher cover and abundance of species. The wadi communities are closely associated to the surrounding vegetation, and may in many cases represent an enhanced representation of the adjoining vegetation.

VIII. Aquatic ecosystems in springs and pools

While the Arabian region mainly comprises of dry, arid habitats, there are also several permanent freshwater systems; they are often in stark contrast to the surrounding landscapes (Patzelt et al. in press.). The small number and scale of permanent water bodies means that the country supports only a few obligate aquatic species. Those which do occur are typically species with a wide global distribution such as duckweeds (*Lemna* species), naiads (*Najas* species), and pondweeds (*Potamogeton* species).

Groups of *Bolboschoenus maritimus*, *Typha domingensis* and *Juncus rigidus* are a familiar feature in this habitat.

IX. Agro-biodiversity in Oasis systems

The Hajar mountains in northern Oman exemplify a unique form of terraced agriculture in spring-fed oases that has existed for millennia. Archaeological evidence shows that the mountains oases have existed since at least 1100 BC



Image 5: The oasis settlements in the Western Hajar mountains are thousands of years old; Cultivation of temperate crop trees such as Apricot and annual crops with endemic wheat landraces is sustained by a complex and sophisticated irrigation system.

(Nagieb et al. 2004). A wide variety of crops and fruit trees is still cultivated in the traditional subsistence-based manner. The terraces are typically constructed on very steep slopes, and the width is sometimes limited to one or two meters due to the dramatic topography (Image 5). Due to the arid climate, these agricultural terraces rely heavily upon an ancient irrigation system. The spring-based irrigation channel system (Arabic: *falaj*, plural 'aflaj') provides an abundant and reliable flow of water from mountain springs. While recent studies have identified 2430 oases in northern Oman, only approximately 3% of them are mountain oases (Lüdeling & Bürkert 2009).

The most important tree in cultivation at low altitude is the date palm, other species include mango trees, and various citrus trees. Above 1500 m altitude, the main perennial crops are Walnut, Almond, Peach, Apricot, Pomegranate, and Damask Rose. Typical annual crops and cereals grown on the mountain terraces include Garlic, Onion and endemic Wheat landraces (Gebauer et al. 2007).

The intensive irrigation allows surprisingly diverse and species-rich weed communities. A floristic inventory of the weed vegetation on terraces above 1500 m altitude revealed the presence of at least 77 species in three oasis systems only

(Patzelt 2009). The weed communities are characterised by typical temperate and Mediterranean weeds. Due to their remote location, the mountain oasis settlements of the Hajar Mountains retained their traditional crop management systems virtually unchanged for millennia. No pesticides or herbicides were used for the control of weeds, and crops are still mainly fertilised with animal manure, minerals, and ashes. Rapid modernisation is now increasingly leading to the abandonment of terraces. The complex irrigation system, traditional agricultural techniques, and traditional knowledge about plants and their uses are all in danger of being lost.

X. Ruderal Vegetation

Development, habitation, cultivation and grazing have considerably altered the natural vegetation. Largely as a result of these activities numerous areas are destroyed or at least seriously degraded and reduced in species numbers and diversity. In many cases, particularly adjacent to human habitation weedy, ruderal plants, such as the poisonous Sodom's Apple (*Calotropis procera*) and other unpalatable species have become the dominant species. Research into the ruderal vegetation of Oman has not yet been conducted.

XI. Conservation Aspects

Many of the habitats of Oman form part of fragile ecosystems and are highly sensitive to disturbance and very slow to regenerate. Extended areas of the unique vegetation of the country have today been over-exploited and destroyed or are suffering from habitat degradation. In the past, traditional land-use management practices played a pivotal role in protection against overexploitation. Today, many traditional land uses are either modified or completely abandoned. The most serious change is the dramatic increase in livestock numbers, which has resulted in extensive overgrazing. Overgrazing is the most serious threat to the plants of Oman and also is one of the main factors contributing to the lack of regeneration of many key tree species, e.g. *Ceratonia oreothauma*, *Juniperus seravschanica*, and *Dracaena serrulata*. Urban sprawl and infrastructure development are equally putting pressure on many habitats.

Climate change is also assumed to be increasingly affecting high altitude vegetation. Temperatures in Oman have increased significantly in the last two to three decades, minimum temperatures increases reached up to 3–6°C from 1980 to 2008 (Alsarmi & Washington 2011). These data underscore the concerns about climate change effects on flora and vegetation of the Arabian Peninsula.

Only small areas of the country are under effective protection with many important ecosystems wholly unprotected. The designation of a network of representative

protected areas with appropriate active management systems in place should be a matter of priority for *in situ* conservation, while *ex situ* conservation is given increasing national emphasis. The Oman Botanic Garden, currently under construction, holds the largest documented collection of Arabian plants in the world (Patzelt et al. 2008; Patzelt et al. 2009). The garden has the unique aim of propagating and displaying the complete indigenous flora of Oman, and aims to address the urgent need for conservation solutions to the biodiversity crisis. Actively addressing targets of the GSPC (Global Strategy for Plant Conservation), the Oman Botanic Garden represents a new model for botanic gardens in the 21st century and is a ground-breaking initiative of *ex situ* conservation in Arabia.

XII. Summary

The flora and vegetation of Oman are exceptionally rich in a regional context, with high levels of endemism in many plant communities. Whereas very good progress of the floristic knowledge and the understanding of the patterns of phytogeography and plant endemism have been achieved, much of the vegetation is yet to be described in detail. This contribution tries to provide a basic overview over the main vegetation types, as a prerequisite for further ecological and phytogeographical studies and conservation management activities.

Acknowledgements

I would like to thank Andrew Anderson and Dr. Darach Lupton for English corrections of the manuscript, and Saif Al hatmi, Abdulrahman Al Hinai and Laila Al Harthy (all Oman Botanic Garden) for conveying new collections from Musandam. I am grateful to all staff of Oman Botanic Garden for their continuous support, especially to the field team during our botanical expeditions. I am thankful to Yashwant Chauhan (ESRI, Oman) for the production of the map.

References

- ALSARMI, S. & R. WASHINGTON 2011: Recent observed climate change over the Arabian Peninsula. – *Journal of Geophysical Research* **116**: 1–15.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP 2009: An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. – *Botanical Journal of the Linnean Society* **161**(2): 105–121.
- BOOKHAGEN, B., R.C. THIEDE & M.R. STRECKER 2005: Abnormal monsoon years and their control on erosion and sediment flux in the high, arid northwest Himalaya. – *Earth and Planetary Science Letters* **231**: 131–146.

- COPE, T.A. 2007: Flora of Arabia and Socotra, Vol. 5 Part 1. – Edinburgh, 387 p.
- DEIL, U. & A.N. AL GIFRI 1998: Montane and Wadi Vegetation. – In: GHAZANFAR, S.A. & M. FISHER (Eds.): Vegetation of the Arabian Peninsula. – Dordrecht. P. 125–174.
- DEIL, U. & K. MÜLLER-HOHENSTEIN 1984: Fragmenta Phytosociologica Arabiae-Felicis I. – Eine Euphorbia balsamifera-Gesellschaft aus dem jemenitischen Hochland und ihre Beziehungen zu makaronesischen Pflanzengesellschaften. – Flora **175**: 407–426.
- DEIL, U. & K. MÜLLER-HOHENSTEIN 1996: An Outline of the Vegetation of Dubai (UAE). – Verhandlungen Gesellschaft Ökologie **25**: 77–95.
- EICH, P. 2005: Flora and Vegetation of the Arabian Oryx Sanctuary, Jaaluni, Oman. – Master Thesis, University of Applied Sciences Bremen, Department of Industrial and Environmental Biology, Germany.
- FEULNER, G.R. 2011: The Flora of the Ru'us al-Jibal – the mountains of the Musandam Peninsula: An Annotated Checklist and Selected Observations. – Tribulus **19**: 4–153.
- FREY, W. & H. KÜRSCHNER 1986: Masqat Area (Oman), remnants of vegetation in an urban habitat. – In: H. KÜRSCHNER (Ed.): Contributions to the vegetation of south-west Asia – Beihefte zum Tübinger Atlas des Vorderen Orients, Reihe A, Wiesbaden: 201–221.
- FREY, W. & W. PROBST 1986: A synopsis of the vegetation of Iran. – In: H. KÜRSCHNER (Ed.): Contributions to the vegetation of south-west Asia – Beihefte zum Tübinger Atlas des Vorderen Orients, Reihe A, Wiesbaden: 9–43.
- GEBAUER, J., E. LÜDELING, K. HAMMER, M. NAGIEB & A. BÜRKERT 2007: Mountain oases in northern Oman: An environment for evolution and in situ conservation of plant genetic resources. – Genetic Resources and Crop Evolution **54**: 465–481.
- GHAZANFAR, S.A. 1998: Status of the flora and plant conservation in the Sultanate of Oman. – Biological Conservation **85**: 287–295.
- GHAZANFAR, S.A. 2003: Flora of the Sultanate of Oman. Volume 1. Piperaceae – Primulaceae. – Scripta Botanica Belgica, Meise. P. 262.
- GHAZANFAR, S.A., (Ed.) 2007: Flora of Oman Volume 2. Crassulaceae - Apiaceae. - Scripta Botanica Belgica, Meise. P. 220.
- GHAZANFAR, S.A. & M. FISHER 1998: (Eds.) Vegetation of the Arabian Peninsula. – Dordrecht. P. 362.
- HEYWOOD, V.H. & S.D. DAVIS 1994: Centres of Plant Diversity, Vol. 1. – Cambridge, IUCN Publication Unit.
- HILDEBRANDT, A. & E.A.B. ELTAHIR 2006: Forest at the edge: Seasonal cloud forest in Oman creates its own ecological niche. – Geophysical Research Letters **33**.
- KNEES, S.G., A.G. MILLER & A. PATZELT 2007: A new species of Barleria (section Prionitis) from Oman. – Edinburgh Journal of Botany **64** (1): 107–112.

- KÜRSCHNER, H. 1986: Omanisch-makranische Disjunktionen – Ein Beitrag zur pflanzengeographischen Stellung und zu den floren-genetischen Beziehungen Omans. – *Bot. Jahrb. Syst.* **106**(4): 541–562.
- KÜRSCHNER, H. 1998: Biogeography and introduction to vegetation. In: GHAZANFAR, S.A. & M. FISHER (Eds.): *Vegetation of the Arabian Peninsula*. – Dordrecht, P. 63–98.
- KÜRSCHNER, H., P. HEIN, N. KILIAN & M.A. HUBAISHAN 2004: *The Hybantho durae*-Anogeis-setum dhofaricae ass. nova – phytosociology, structure and ecology of an endemic South Arabian forest community. – *Phytocoenologia* **34**(4): 569–612.
- LEONARD, J. 1989: Contributions à l'étude de la flore et de la végétation des déserts d'Iran, Fasc. 9. Considérations phytogéographiques sur les phytochories irano-touranienne, saharo-sindienne et de la Somalie-pays Masai. – *Jard. Bot. Nat. Belgique*.
- LÜDELING, E. & A. BÜRKERT 2009: Typology of oases in northern Oman based on Landsat and SRTM imagery and geological survey data. – *Remote Sensing of Environment*, **112**: 1181–1195.
- MANDAVILLE, J.P. 1984: Studies in the Flora of Arabia XI: some historical and geographical aspects of a principle floristic frontier. – *Notes Royal Botanic Garden Edinburgh* **42**(1): 1–15.
- MANDAVILLE, J.P. 1985: A Botanical Reconnaissance in the Musandam Region of Oman. – *Journal Oman Studies* **7**: 9–28.
- MANDAVILLE, J.P. 1986: Plant life in the Rub'al-Khali (the Empty Quarter), south-central Arabia. – In: I.C. HEDGE (Ed.): *Plant Life of Southwest Asia*. – Edinburgh. 89 B: p. 147–157.
- MANDAVILLE, J.P. 1998: Vegetation of the Sands. In: GHAZANFAR, S.A. & M. FISHER (Eds.): *Vegetation of the Arabian Peninsula*. – Dordrecht, P. 191–208.
- MILLER, A.G. 1994: CPD Site SWA 1. Dhofar Fog Oasis. Oman and Yemen. – In: DAVIS, S.D., V.H. HEYWOOD & A.G. HAMILTON (Eds.): *Centres of Plant Diversity*, Vol. 1. – Cambridge, IUCN Publication Unit, p. 143–155.
- MILLER, A.G. & T.A. COPE 1996: *Flora of the Arabian Peninsula and Socotra*, Vol. 1. – Edinburgh. P. 586.
- MILLER, A.G. & M. MORRIS 2004: *Ethnoflora of the Soqatra Archipelago*. – Royal Botanic Garden Edinburgh, Edinburgh. P. 759.
- MILLER, A.G. & J.A. NYBERG 1991: Patterns of endemism in Arabia. – *Flora et Vegetatio Mundi* **9**: 263–279.
- NAGIEB, M., S. SIEBERT, E. LÜDELING, A. BÜRKERT & J. HÄSER 2004: Settlement History of a Mountain Oasis in Northern Oman – Evidence from land-use and Archaeological Studies. – *Die Erde* **135**(1): 81–106.
- PATZELT, A. 2009: The mountain vegetation of northern Oman: Ecology, phytosociology and biogeography of *Olea europaea* and *Juniperus excelsa* woodlands and of weed vege-

tation on cultivated terraces. – Al Jabal al Akhdar Initiative: Conservation and Sustainable Development in a Fragile Arid Mountain Ecosystem. Research Report, Sultan Qaboos University, Muscat, Oman.

PATZELT, A. 2011: The *Themeda quadrivalvis* tall-grass savannah of Oman at the crossroad between Africa and Asia. – *Edinburgh Journal of Botany* **68**(2): 301–319.

PATZELT, A. in press. a: Oman Plant Red Data Book. – Oman Botanic Garden, Diwan of Royal Court, Muscat, Oman.

PATZELT, A. in press. b: Photographic Field Guide to the plants of the Western Hajar mountains, Sultanate of Oman, with a complete checklist of vascular plant species. – Sultan Qaboos University, Muscat, Oman. P. 301.

PATZELT, A., K. AL FARSI, L. MORRIS & A. SPALTON 2009: The Oman Botanic Garden (2): collections policies, nursery construction, expanded plant production and initial tree translocation. – *Sibbaldia* **7**: 83–97.

PATZELT, A., T. HARRISON, S.G. KNEES & L. AL HARTHY 2014: Studies in the Flora of Arabia XXXI: New records from the Sultanate of Oman. – *Edinburgh Journal of Botany* **70**(2): 1–20.

PATZELT, A., R.V. LANDSDOWN & S.G. KNEES in press: The status and distribution of wetland-dependent plants in the Arabian Peninsula, IUCN publication.

PATZELT, A., L. MORRIS, L. AL HARTHY, I. AL RASHDI & A. SPALTON 2008: The Oman Botanic Garden (1): The vision, early plant collections and propagation. – *Sibbaldia* **6**: 41–77.

SASS-KLAASSEN, U., H.H. LEUSCHNER, A. BÜRKERT & G. HELLE 2008: Tree-ring analysis of *Juniperus excelsa* from the northern Oman mountains. – In: ELFERTS, D., G. BRUMELIS, H. GÄRTNER, G. HELLE & G.H. SCHLESER: Trace Tree Rings in Archeology, Climatology and Ecology. P. 99–108.

STANLEY-PRICE, M.R., A.H. AL HARTHY & R.P. WHITCOMBE 1988: Fog moisture and its ecological effects in Oman. – In WHITEHEAD, E.E. (Ed.): Arid zones, today and tomorrow. – P. 68–88.

WHITE, F. & J. LEONARD 1991: Phytogeographical links between Africa and Southwest Asia. – *Flora et Vegetatio Mundi* **9**: 229–246.

Mitteilungen

Veröffentlichungen

Im Berichtsjahr wurden veröffentlicht:

Jahrbuch 2013 der BWG mit 297 Seiten

Geschäftliche Mitteilungen:

Am 31.12.2014 gehörten der BWG 154 ordentliche Mitglieder an, davon 84 unter 70 Jahren, sowie 68 korrespondierende Mitglieder. Die Zahl der Mitglieder unter 70 Jahren betrug in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften 29, in der Klasse für Ingenieurwissenschaften 36 und in der Klasse für Geisteswissenschaften 19. Von den ordentlichen Mitgliedern zählten zum Bereich Braunschweig 89, zum Bereich Clausthal 15, zum Bereich Göttingen 7, zum Bereich Hannover 40, zum Bereich Hildesheim 1 und zum Bereich Osnabrück 2.

Das Plenum trat am 12.12.2014 zu seiner jährlichen Hauptsitzung zusammen, nahm die Jahresberichte des Präsidenten und der Vizepräsidenten entgegen und beschloss den Haushalt 2015. In den Wahlsitzungen am 13.04. und am 12.12.2014 wurden die auf Seite 324 vorgestellten Mitglieder gewählt.

Das am 13.06.2014 tagende Konzil wählte den Gauß-Preisträger 2015 und legte die Feierliche Jahresversammlung auf den 08.05.2015 fest.

Todesfälle

- 25.01.2014 Hans-Dieter Baehr, Dr.-Ing. Dr.E.h., Prof. em. für Thermodynamik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover. Korrespondierendes Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1997, davor ordentliches Mitglied seit 1983.
- 31.03.2014 Rudolf Jeschar, Dr.-Ing. Dr.-Ing.E.h., Prof. em. für Energiverfahrenstechnik, TU Clausthal. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1974. Vorsitzender der Klasse 1994–1996.
- 11.10.2014 Ekkehard Winterfeldt, Prof. em. Dr. rer. nat. Dr. h. c., Prof. für Organische Chemie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover. Ordentliches Mitglied der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften seit 1983, 2004–2006 Vorsitzender der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften. 2012 ernannte ihn die GdCh zu ihrem Ehrenmitglied.
- 18.10.2014 Justus Herrenberger, Dr.-Ing., Prof. em. für Baukonstruktionen, TU Braunschweig. Ordentliches Mitglied der Klasse für Bauwissenschaften seit 1980 bzw. Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1994.
- 10.11.2014 Manfred Thoma, Dr.-Ing. Dr.h.c.mult. Dr.-Ing. E.h., Prof. em. für Regelungstechnik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover. Ordentliches Mitglied der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1978.

Nachrufe

EKKEHARD WINTERFELDT

* 13. Mai 1932 † 11. Oktober 2014

Prof. Dr. Dr. h.c. Ekkehard Winterfeldt starb am 11. Oktober 2014 im Alter von 82 Jahren völlig überraschend nach kurzer schwerer Krankheit. Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft fühlt sich ihm in besonderer Weise verbunden. Mit Ekkehard Winterfeldt ist unser langjähriges Mitglied und einer der einflussreichsten deutschen Chemiker der letzten Jahrzehnte von uns gegangen, der als Wissenschaftler, Lehrer und Bürger bleibende Wirkung entfaltete.

An dieser Stelle sollen nur die wichtigsten Lebensdaten und seine Forschungsgebiete in Kürze aufgeführt werden: Geboren am 13. Mai 1932 in Danzig fiel seine Jugend und frühe Schulzeit in die schwere Zeit um den 2. Weltkrieg. Zusammen mit seiner Familie verließ er als Flüchtlingskind seine Heimat Zoppot und siedelte nach Schleswig aus. An der dortigen Domschule beendete er im Jahre 1952 seine Schulzeit und begann direkt mit dem Chemiestudium an der Universität Hamburg. Allerdings verließ er bereits nach einem Jahr die Hansestadt, um an die Technische Hochschule Braunschweig zu wechseln wo er das Hauptstudium im Jahre 1956 beendete. Sicherlich eine der prägendsten Erfahrungen dürften die Jahre seiner Diplom- und Doktorarbeit unter der Mentorenschaft von Ferdinand Bohlmann gewesen sein, die ihn mit Naturstoffsynthesen und speziell mit dem Önanthotoxin und den Hydroxysparteinen in Berührung brachte. Nach der Promotion im Jahre 1958 förderte die Bayer AG seine Forschungen in Braunschweig für ein weiteres Jahr bis Ekkehard Winterfeldt seinem Lehrer nach Berlin an die Technische Universität folgte. Dort habilitierte er sich im Jahre 1962, ebenfalls im Bereich der Naturstoffchemie und zwar auf dem Gebiet der natürlichen Thiophenderivate und erhielt unmittelbar darauf die *Venia Legendi*. Die Forschung und seine Arbeitsgruppe weiter aufbauend wurde er im Jahre 1967 außerplanmäßiger Professor und erhielt zwei Jahre später gleich drei Rufe auf Professuren an der Universität Marburg, der Technischen Universität Berlin und der Technischen Universität Hannover. Seit 1970 bis zu seiner Emeritierung im Oktober 2000 forschte und lehrte er als ordentlicher Professor am Institut für Organische Chemie und leitete dieses als Direktor über nahezu 30 Jahre.

Die Forschung von Ekkehard Winterfeldt steht für die Naturstoffchemie, die Entwicklung von stereoselektiven Synthesemethoden und von diastereokontrollierten Naturstoffsynthesen. Er widmete sich zunächst über viele Jahre der Chemie der Indolalkaloide und erweiterte später sein Themenspektrum auf Toxine, Steroide und cyclopentanoide Naturstoffe. Sein wissenschaftliches Gesamtwerk umfasst mehr

als 240 Schriften und Publikationen zur Synthese und zur Naturstoffchemie; sie dokumentieren gleichfalls die Ausbildung von etwa 200 Diplomanden und Doktoranden. Diese Arbeiten und seine engen Beziehungen zur Gesellschaft für Biotechnologische Forschung (GBF; heute Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung) in Braunschweig prägen das für die Region Braunschweig-Hannover herausragende Forschungsfeld der medizinisch orientierten Naturstoffforschung bis heute.

Ekkehard Winterfeldt erhielt im Laufe seines wissenschaftlichen Lebens zahlreiche ehrenvolle Auszeichnungen, so unter anderem die Emil-Fischer-Medaille (1990), die Adolf Windaus-Medaille der Universität Göttingen (1993), die Richard Kuhn-Medaille der Gesellschaft Deutscher Chemiker (1995), und die Hans-Herloff-Inhoffen-Medaille des Fördervereins des HZI, Braunschweig (1998). Die Universität Lüttich in Belgien verlieh ihm im Jahre 1991 die Ehrendoktorwürde. Seit dem 27. Januar 1983 ist er Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, ein Jahr später nahm ihn die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen auf und schließlich 1996 auch die Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina.

Diese Ehrungen spiegeln wider, dass sich Ekkehard Winterfeldt über seine wissenschaftliche Laufbahn hinweg aktiv und erfolgreich wissenschaftspolitisch und gesellschaftlich in Deutschland und Europa engagierte. Hierzu zählen zum Teil langjährige Mitgliedschaften im Senat der Deutschen Forschungsgemeinschaft, im Fonds der Chemischen Industrie und im Senat der Technischen Universität Hannover. Als gesellschaftlich wichtige Nachwendaufgabe übernahm er im Jahre 1992 den Vorsitz der Überleitungskommission für die Fächer Chemie und Pharmazie beim Kultusministerium des Landes Mecklenburg-Vorpommern. In den Jahren 1996 und 1997 präsierte er die Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), eine Zeit, die von der Europäisierung des Publikationswesens der chemischen Fachgesellschaften geprägt war, die er maßgeblich vorantrieb. Er blieb der GDCh als Vize- und Altpräsident aktiv erhalten und wurde im Jahre 2011 ihr Ehrenmitglied.

Eine besondere Würdigung muss der Lehrer Ekkehard Winterfeldt erfahren. Noch im letzten Jahr erschien das Fach- und Lehrbuch „Directed selectivity in organic synthesis : a practical guide“, dass er zusammen mit der Nachwuchswissenschaftlerin Tanja Gaich verfasste. Es dokumentiert seine lebenslange Zuneigung für den wissenschaftlichen Nachwuchs und seine Begeisterungsfähigkeit, die Chemie bildhaft, lebendig und bunt zu vermitteln. Die Gründung des bis heute erfolgreichen JungChemikerForums der GDCh, die er initiierte, ist ein beredtes Beispiel. Gerade auch im Hörsaal wurde der Mensch Ekkehard Winterfeldt sichtbar: sprachgewaltig, motivierend, optimistisch und zukunftsgerichtet aber vor allem fröhlich und humorvoll. Ihm war nicht so sehr die Vermittlung von Daten wichtig, sondern seine „Schüler“ sollten die Fähigkeit erreichen, sich selbstständig denkend und kreativ in der Wissenschaft zu bewegen, gemäß der taoistischen Vorstellung *„Gibst du einem Mann einen Fisch, nährt er sich einmal. Lehrst du ihn das Fischen, nährt er sich sein ganzes Leben.“*

Die Basis von der aus Ekkehardt Winterfeldt wirkte, waren seine ihn stark unterstützende Frau Marianne, sie heirateten noch zu Braunschweiger Zeiten, seine beiden Kinder und die wissenschaftliche Arbeitsgruppe, die exzellente Chemiker und Chemikerinnen aus aller Welt in großer Zahl anzog. In diesem Umfeld entstanden neue wissenschaftliche Ideen in großer Offenheit und ohne formale Barrieren.

Die Welt der Wissenschaft verliert einen visionären und inspirierenden, aber auch optimistischen und humorvollen Forscher, Lehrer und Menschen.

Andreas Kirschning

HERIBERT BOEDER

* 17. November 1928 † 4. Dezember 2013

Heribert Boeder wurde am 17. November 1928 in Adenau/Eifel geboren. Seit 1948 studierte er Philosophie, Geschichte und Amerikanistik in Mainz, danach in Freiburg Philosophie, namentlich bei Martin Heidegger und Eugen Fink, sowie Griechische Philologie bei Hermann Gundert und Lateinische Philologie bei Karl Büchner. Er promovierte bei Eugen Fink über den Begriff der Ursache (*aition*) in Platons frühen Dialogen. Dank eines Stipendiums des British Council 1958 wurde ein Studienaufenthalt am King's College in Cambridge richtungweisend für seinen weiteren Lebens- und Denkweg. Er lernte die florierende *Ordinary language philosophy* kennen, die englische Literatur lieben (noch in seinem letzten Lebensjahr las er zum wiederholten Mal Jane Austen), vor allem aber England selbst. Das Land wurde ihm zur zweiten Heimat, in der die Familie Boeder über viele Jahre den Sommerurlaub verbrachte – Boeder war seit 1958 mit Anita Philippi verheiratet und hat einen Sohn und eine Tochter. Anita Boeder starb am 29. Juli 2013, Heribert Boeder am 4. Dezember.

1962 habilitierte er sich an der Universität Freiburg/Brsg. über *Grund und Gegenwart als Frageziel der früh-griechischen Philosophie* (Den Haag 1962). Es folgten Studienaufenthalte in Paris am Collège de France und eine Gastprofessur an der Universität Oxford auf Einladung von Gilbert Ryle. 1971 nahm Boeder den Ruf auf die Stelle eines Wissenschaftlichen Rats am Seminar für Philosophie der Technischen Universität Braunschweig an, wo er ein Jahr später die Nachfolge der Ordinaria Elisabeth Ströker antrat. Elisabeth Ströker (korr. Mitglied der BWG seit 1993), ihrerseits Nachfolgerin von Hermann Glockner, war einem Ruf an die Universität Köln gefolgt. Der philosophische Ertrag von Boeders ersten Braunschweiger Jahren war die umfassende *Topologie der Metaphysik* (Freiburg/München 1980).

1988, in einer Phase außergewöhnlicher hochschulpolitischer Spannungen an der TU, der inzwischen die PH eingegliedert worden war, ließ Boeder sich an die Uni-

versität Osnabrück versetzen. Im unmittelbaren Zusammenhang damit gab die TU seine C 4-, zudem eine C 3- (Kunstgeschichte) sowie eine C 2-Stelle (Latinistik) auf Dauer an die Universität Osnabrück ab.¹ 1996 wurde Boeder dort emeritiert.

Dem mit der *Topologie* eingeschlagenen Weg folgten die beiden wiederum auf systematische Vollständigkeit angelegten Monographien *Das Vernunft-Gefüge der Moderne* (Freiburg/München 1988) und *Die Installationen der Submoderne. Zur Tektonik der heutigen Philosophie* (Würzburg 2006) – der Terminus „Submoderne“ (für „Postmoderne“) findet sich bereits 1995 in den Abhandlungen der BWG (XLVI, S. 139–150: Die Dimension der Submoderne). Boeder war deren Mitglied seit 1977, Vorsitzender der Klasse für Geisteswissenschaften 1988–89.

Seine Aufsätze und Vorträge zur griechischen und mittelalterlichen Philosophie erschienen unter dem Titel *Das Bauzeug der Geschichte* (hg. von Gerald Meier, Würzburg 1994), zwanzig (teils bisher unpublizierte) Aufsätze und Vorträge zu den Themenkreisen Geschichte, Welt und Sprache in *Seditions. Heidegger and the Limit of Modernity* (transl., ed. and with an introd. by Marcus Brainard, State University of New York 1997) – Brainards 36seitige Einführung ist eine exzellente Darstellung der Boederschen „Logotektonik“.

In einem Gespräch mit Jörn Müller sagte Boeder 2005: „Ich diene der Sophia“.² Gemeint sind „Weisheitsgestalten“, die den Anfang der griechischen Philosophie, das Ende der neuzeitlichen Philosophie und, als systematische Mitte, die christliche Philosophie zwischen jenen beiden Epochen der Metaphysik bestimmen. Sie fehlen in der Moderne und „Submoderne“. Die sich als natürliche und weltliche Vernunft entfaltende Metaphysik vollendet sich jeweils, wo sie sich dieser vorphilosophischen Topoi annimmt: sie „concipiert“. In jeder der drei Epochen der auf diese Weise geschichtlich abgeschlossenen Metaphysik wird die conceptuale Vernunft vorbereitet in einer „Eröffnungsphase“ und verlassen in einer „Verschließungsphase“. Die griechische und die neuzeitliche Philosophie sind damit je als eröffnende und verschließende Epoche der Metaphysik zu denken, deren absolute Mitte die conceptuale Vernunft der mittleren Epoche ist. Diese zentrale Conceptualität bringt die neutestamentlichen Weisheitsgestalten zum Austrag. So ist der ‚Dienst an der Sophia‘ die das „submoderne“ Denken abstoßende Erinnerung in die geschichtliche Gabe der absoluten Mitte. Einer englischen Ausgabe des in seiner präzisen Systematizität imponierenden Gesamtwerks hat sich Marcus Brainard angenommen. Heribert Boeder hat Schüler in Nord- und Südamerika, auch im fernen Osten - der Weg, den seine Lehre in unserem Jahrhundert nehmen wird, ist noch nicht abzusehen.

Claus-Artur Scheier

¹ Vgl. dazu jetzt Nicole C. Karafyllis: Willy Moog (1888–1935). Ein Philosophenleben. Freiburg: Alber 2015, S. 662.

² Information Philosophie 4/2005, S. 34-39.

Zuwahlen

Zum ordentlichen Mitglied wurde am 11.04.2014 gewählt:

in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

Korte, Martin, Prof. Dr. rer. nat., Geschäftsführender Leiter des Zoologischen Instituts der TU Braunschweig

in der Klasse für Ingenieurwissenschaften

Lemmer, Karsten, Prof. Dr.-Ing., Leiter des Instituts für Fahrzeugsteuerung und Verkehrsführung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt am Standort Braunschweig

Zu ordentlichen Mitgliedern wurden am 14.12.2014 gewählt:

in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

Hanschke, Thomas, Prof. Dr. rer. nat., Institut für Mathematik und Präsident der TU Clausthal

in der Klasse für Ingenieurwissenschaften

Haberlandt, Karl Uwe, Prof. Dr.-Ing., Diplomhydrologe, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlichen Wasserbau, Leibniz Universität Hannover

Schilling, Meinhard, Prof. Dr. rer. nat., Geschäftsführender Leiter des Instituts für Elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik, TU Braunschweig

in der Klasse für Geisteswissenschaften

Döring, Thomas, Prof. Dr. phil., Leiter des Kupferstichkabinetts des Herzog Anton Ulrich-Museums, Honorarprofessor an der HBK Braunschweig

Steinführer, Henning, Dr. phil., Leiter des Referates Wissenschaft und des Stadtarchivs Braunschweig