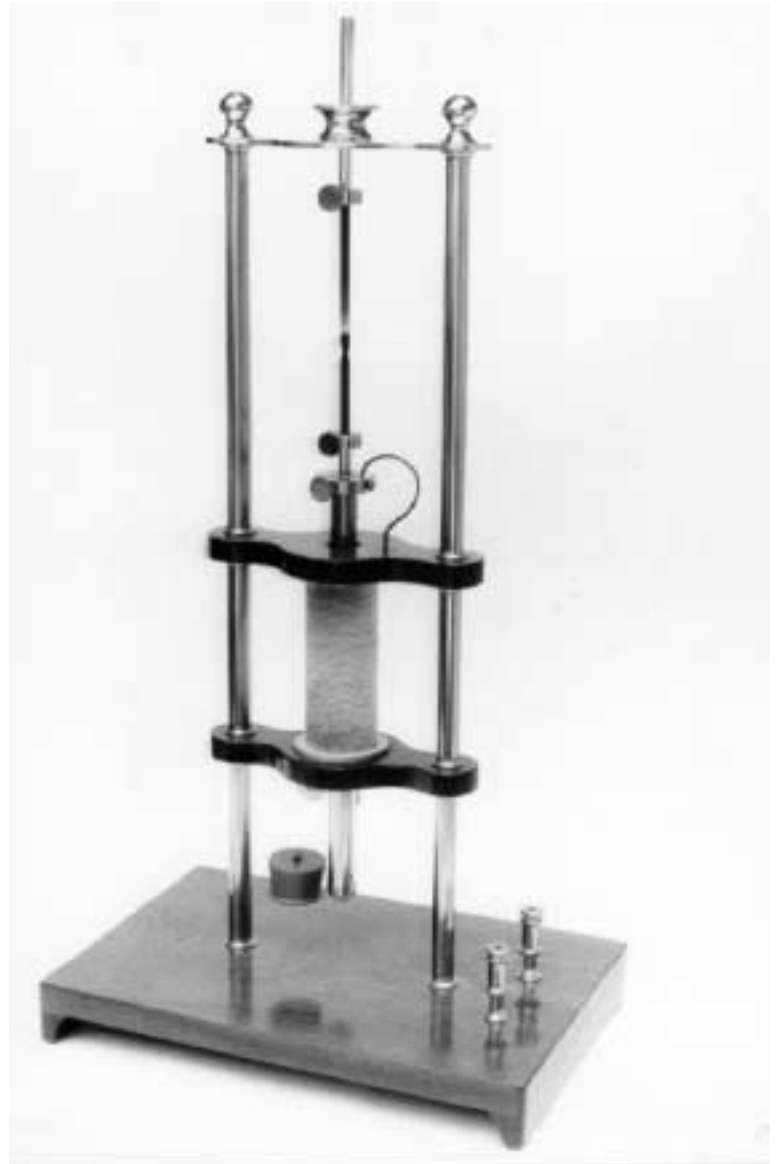


Technikgeschichte
Modelle und Rekonstruktionen



Johannes Abele

Die Lichtbogenlampe



Deutsches Museum

Technikgeschichte
Modelle und Rekonstruktionen

Johannes Abele

Die Lichtbogenlampe



Deutsches Museum

Die Beitragsreihe „Technikgeschichte“ und Berufsbildung, Modelle und Rekonstruktionen“ wird im Rahmen eines Projektes von der Hauptabteilung Programme am Deutschen Museum betreut und von den jeweiligen Fachabteilungen des Deutschen Museums unterstützt. Verantwortlich für Entwicklung und Konzeption der Reihe: Thomas Eisenblätter und Helmuth Poll.

Diese Veröffentlichung wurde mit Mitteln des Bundesministers für Bildung und Wissenschaft gefördert.

In der Reihe „Technikgeschichte“ sind bereits erschienen:

Das Stereoskop

Die Rennspindel

Der Jacquardwebstuhl

Der Edisonzähler

Der Page-Motor

Der Tretradkran

Die Meßschraube

Die Entstehung der Funktechnik

Die Feilenhaumaschine

Was nützen historische Modelle und Rekonstruktionen?

Der Tesla-Motor

Redaktion:	Gisela Aeckerlein MPZ, Bruno Stöckle
Modellbau:	Johann Szakatsch
Layout:	Bruno Stöckle
Technische Zeichnungen:	Karl-Heinz Büttner
Text und Layout:	Deutsches Museum, München
Herstellung:	prograph gmbH, München

Copyright © 1995 by Deutsches Museum München, 2. Auflage 1997
ISBN-Nummer 3-924183-31-7

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Konzeption der Ausbildungsmaterialien	5
Aufbau der Ausbildungsmaterialien	6
Einführung	8
Die Geschichte von Beleuchtungssystemen im 19. Jahrhundert	9
Künstliche Beleuchtung im frühen 19. Jahrhundert	9
Die Erfindung des elektrischen Bogenlichts	10
Die Entwicklung der Bogenlampe	15
Anwendungsgebiete der Bogenlampe	21
Inszenierungen der elektrischen Beleuchtung	27
Die Konkurrenz von Beleuchtungssystemen	30
Die Glühlampe	30
Die Konkurrenz von Gas und Elektrizität	32
Nachbau und Versuche	35
Die Bogenlampe von Archereau	35
Einbindung in den Unterricht	36
Nachbau der Bogenlampe	37
Literaturverzeichnis	39
Bildquellennachweis	40
Konstruktionszeichnungen	41

Vorwort

Im Gegensatz zur Allgemeingeschichte hat die Geschichte der Technik nach wie vor keinen Platz im anerkannten Kanon der schulischen Bildung. Technikgeschichtliche Themenbereiche sind in den Lehrplänen der allgemeinbildenden Schulen nicht vorgesehen. Obwohl die Technik seit Beginn der Industrialisierung vor rund zweihundert Jahren wie keine andere Kraft in immer schnellerem Rhythmus weltweit die gesellschaftlichen Entwicklungen - und die Natur - beeinflusst, gehört es immer noch nicht zum Selbstverständnis der Industriegesellschaft, sich mit den historischen Entwicklungsbedingungen dieser Kraft kritisch auseinanderzusetzen. Wie notwendig eine derartige Auseinandersetzung ist, verdeutlicht auch die aktuelle Umwelt - und Technikdiskussion, in der allzu oft Technikglauben und Technikkritik nur emotional aufeinanderprallen.

In der Debatte um eine sozial verträgliche und umweltschonende Technik kann gerade auch die kritische Vergegenwärtigung der historischen Entwicklung von Technik Vorurteile abbauen helfen und zur Versachlichung beitragen.

An diesem Ziel ist auch das vom Deutschen Museum durchgeführte und vom Bundesminister für Bildung und Wissenschaft geförderte Projekt „Technikgeschichte - Modelle und Rekonstruktionen“ orientiert. Mit diesem Projekt wurde erstmals der Versuch unternommen, technikgeschichtliche Zusammenhänge durch den Nachbau historischer Erfindungen begreifbar zu machen und für die Berufsbildung in ausbildungsgerechter Form anzubieten. Die hierzu erarbeiteten Materialien sind vor allem für den Einsatz in der betrieblichen Ausbildung konzipiert und enthalten alle Informationen, die für eine lebendige praktische und theoretische Beschäftigung mit technikhistorischen Fragestellungen und Problemlösungen erforderlich sind.

Konzeption der Ausbildungsmaterialien

Das didaktische Konzept für die zu erstellenden technikgeschichtlichen Ausbildungsmaterialien wurde gemeinsam von Mitarbeitern des Deutschen Museums und betrieblichen Ausbildern entwickelt. Es ist methodisch an der in der Praxis der betrieblichen Ausbildung bereits bewährten Unterrichtsform der „Projektarbeit“ orientiert.

Im Zentrum dieser Unterrichtseinheiten steht jeweils der Nachbau einer technischen Erfindung, die technikhistorisch bedeutsam und deren konstruktive wie fertigungstechnische Anforderungen auch für betriebliche Ausbildungsziele von Interesse sind. Dem Nachbau voran geht die Klärung der besonderen sozialen, ökonomischen und technischen Bedingungen der jeweiligen historischen Situation, innerhalb derer diese

technische Erfindung erfolgte und sich als Problemlösung mehr oder weniger rasch durchsetzen konnte. Aufgrund der hierbei gewonnenen Informationen ermöglicht der praktische Nachbau dieser Erfindung in „nacherfindenden“ Arbeitsschritten und darauf aufbauenden Versuchen ein umfassenderes Verständnis für die gefundene historische Problemlösung und der ihr zugrundeliegenden technischen und naturwissenschaftlichen Prinzipien. Abgeschlossen wird die Projektarbeit durch einen Blick auf die Folgen dieser Erfindung für die Weiterentwicklung dieser Technik und ihrer gesellschaftlichen Bedeutung bis hin zu aktuellen Problemen, deren Lösung heute als dringend empfunden wird.

Aufbau der Ausbildungsmaterialien

Die Ausbildungsmittel, die in erster Linie für die Hand des Ausbilders gedacht sind, haben den Charakter einer Materialsammlung. Sie sind so aufgebaut, daß die für die angestrebten Ziele der Projektarbeit benötigten Informationen auch getrennt benutzt werden können:

- Darstellung der jeweils thematisierten technischen Entwicklung und ihrer historischen Bedingungen (Ursprung, wichtige Entwicklungsschritte, Gegenwart);
- historische Abbildungen mit kurzen Erläuterungen zur Veranschaulichung der geschichtlichen Entwicklung;
- Darstellung der spezifischen historischen Situation, die zur Erfindung oder Entwicklung des zum Nachbau vorgesehenen Objekts führte. Dargestellt werden die vom Erfinder vorgefundenen Voraussetzungen und Probleme, deren Lösung und Bedeutung für die weitere Entwicklung;
- kurzer biographischer Abriß der Erfinderpersönlichkeit;
- für den Nachbau erforderliche Informationen und Konstruktionszeichnungen, dazu einige didaktische Hinweise zur Organisation der Projektarbeit und Anregungen zur Durchführung von Versuchen während oder nach Fertigstellung der Rekonstruktion.

Die Informationen können dabei in unterschiedliche pädagogische Schrittfolgen eingebaut werden, wie die nachfolgenden Beispiele zeigen:



Die Arbeitsschrittfolge A - A stellt höchste Anforderungen an die Auszubildenden; das Ergebnis ist eine weitgehend selbständig erarbeitete technische Lösung. Eine derart intensive Auseinandersetzung mit einem technischen Problem kann - vom erworbenen spezifischen Wissen abgesehen - auch die Einstellung zur Technik verändern und Einsichten in den Ablauf von technischen Entwicklungen überhaupt gewinnen helfen und damit eine wirksame Motivationshilfe für die Ausbildung sein. Dieser Weg kann selbst „schulmüden“ Auszubildenden kleine Erfolgserlebnisse auf theoretischem Gebiet bringen, weil solche Kenntnisse auf praktischem, experimentellem Weg und durch unmittelbare Erfahrung erlangt werden.

Bei der Schrittfolge B - B folgt der schöpferischen Auseinandersetzung mit dem technischen Problem die Fertigung nach Abgleich mit den vorgegebenen Fertigungsunterlagen. Damit ist das Gelingen des Nachbaus sichergestellt.

Die Schrittfolge C - C ist mit dem geringsten Aufwand verbunden. Aber auch hier wird der Zusammenhang von moderner Technik und ihren in der Vergangenheit liegenden Wurzeln sichtbar gemacht.

Einführung

Blicken wir nachts auf eine Großstadt, so ist die Lichterfülle überwältigend. Beim Gang durch die nächtlichen Straßen überqueren wir taghell erleuchtete Plätze, aufdringlich werben Neonreklame und beleuchtete Schaufensterauslagen um unsere Aufmerksamkeit. In manchen Büros und Betrieben wird noch bei elektrischem Licht gearbeitet; durch die Fenster der Privathäuser dringt das bunte Flimmern von Fernsehern. In Diskotheken sorgen effektvolle Lichtinstallationen für Stimmung. Straßenlampen vermitteln in der ganzen Stadt den Eindruck von Sicherheit und Ordnung. Unser Berufs- und Privatleben richtet sich immer weniger nach dem natürlichen Licht der Tageszeiten.

Unzählige Unternehmen und Berufsgruppen sind heute damit beschäftigt, den enormen Bedarf an Beleuchtungssystemen zu decken: Großfirmen der elektrotechnischen Industrie und mittelständische Betriebe, Elektroanlageninstallateure und Lichtdesigner, um nur einige wenige zu nennen.

Dieses Arbeitsheft stellt die Entwicklung der elektrischen Lichtbogenlampe in den Zusammenhang der Geschichte der künstlichen Beleuchtung. Die Darstellung beschränkt sich weitgehend auf die Ereignisse des 19. Jahrhunderts. Denn nach 1910 ging die Verwendung des Bogenlichts stetig zurück.

Einige der grundlegenden Aufgaben bei der Konstruktion elektrischer Beleuchtungsanlagen leiten den Gedankengang des Arbeitshefts: *Technische Probleme* waren zu lösen, wie etwa die Entwicklung automatischer Regulatoren für Lichtbogenlampen. Die Konkurrenz zu anderen Beleuchtungsarten führte zu systematischen *Planungen von Beleuchtungsanlagen* mit dem Ziel, angemessene Beleuchtungsformen zu finden. Jedoch erst die *öffentlichkeitswirksame Präsentation* der elektrischen Beleuchtung als Teil einer fortschrittlichen, zivilisierten Kultur führte zu ihrer weiten Verbreitung. Bemerkenswert ist auch die *Vielfalt an Persönlichkeiten*, die an der Entwicklung der elektrischen Beleuchtung maßgeblich beteiligt waren. Kurze biographische Hinweise über Naturforscher und Erfinder, Industriewissenschaftler und Unternehmer sollen beispielhaft einige der beteiligten Personengruppen vorstellen, deren *Zusammenarbeit* die Verbreitung des elektrischen Lichts erst ermöglichte.

Nach einer kurzen Beschreibung von künstlichen Lichtquellen zu Beginn des 19. Jahrhunderts befaßt sich der erste Teil der Darstellung mit dem großen Ausmaß an Arbeit, das notwendig war, um aus Experimenten in akademischen Laboratorien gebrauchsfähige Beleuchtungssysteme für den Alltag zu entwickeln. Im Laufe eines langen Prozesses mußte die Funktionsfähigkeit der Bogenlampe sichergestellt werden.

Danach werden Anwendungsgebiete der Bogenlampe vorgestellt. Durch die Demonstration der Leistungen der neuen Lichtquelle in verschiedenen Anwendungsbereichen sollten Ingenieure und Kunden von Einsatzmöglichkeiten und vom Wert der elektrischen Beleuchtung überzeugt

werden. Zum Schluß des historischen Teils wird das Problem behandelt, welche Entwicklungen sich aus der Konkurrenz von Bogenlampen, Glühbirnen und Gaslicht ergaben. Am Ende des Arbeitsheftes findet sich eine Beschreibung der Bogenlampe von Archereau mit einer Nachbauanleitung.

Die Technikgeschichte dient in diesem Arbeitsheft dazu, einige grundlegende Probleme der Lichttechnik, die sich heute stellen, am historischen Beispiel zu diskutieren. Anhand der Rekonstruktion der Bogenlampe von Archereau können einerseits grundlegende technische Informationen über Bogenlampen und einfache automatische Regelungen vermittelt werden, andererseits kann aber auch der größere soziale und kulturelle Zusammenhang bewußt gemacht werden, der die Verbreitung und Durchsetzung von neuen Technologien erst ermöglichte.

Die Geschichte von Beleuchtungssystemen im 19. Jahrhundert

Künstliche Beleuchtung im frühen 19. Jahrhundert

Wenn wir vor 200 Jahren nachts durch eine Großstadt gegangen wären, welches Bild hätten wir vor Augen gehabt? Kerzen und Petroleumlampen beleuchteten die Wohnungen. Je nach Helligkeit des Mondes brannten variabel einige Öllaternen in den Straßen [Abb. 1 und 2]. Fackelträger begleiteten nachts Personen nach Hause. All diese Lichtinseln konnten jedoch die Straßen der großen Städte nicht mit Helligkeit durchdringen.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurden in England, dem damals industriell am weitesten entwickelten Land, erste Versuche durchgeführt, Gas zur Beleuchtung zu verwenden. In einzelnen größeren Betrieben, vorwiegend Baumwollspinnereien oder Schmieden, gab es Gasbeleuchtungen, bei denen aus Steinkohle gewonnenes Gas abbrannte. Denn in diesen Fabriken bemühte man sich, durch die Installation einer künstlichen Beleuchtung die Arbeitszeit zu verlängern und dadurch die vorhandenen Kapazitäten besser auszulasten. Nach 1802 begannen in London und Paris Kampagnen zur Propagierung der Gasbeleuchtung. Es gab eine Fülle von Vorbehalten und praktischen Schwierigkeiten, die einer Verbreitung der neuen Beleuchtungsart entgegenstanden. Rohre und Flanschverbindungen waren undicht, großes Aufsehen erregten Explosionen in neu errichteten Gaswerken. Nur wenig Widerstand richtete sich jedoch gegen Umweltbelastungen, denn die Folgen der Verschmutzung von Flüssen durch Teer und andere Rückstände der Gaserzeugung waren nur regional sichtbar.

In dieser Zeit wurde eine Idee geboren, die für die weite Verbreitung künstlicher Beleuchtungen entscheidend war: der Wasserversorgung



Abb. 1: Lichtinseln einer Straße mit Rübölbeleuchtung zu Beginn des 19. Jahrhunderts.



Abb. 2: Nachfüllen einer Straßenlampe mit Öl im 18. Jahrhundert.

entsprechend sollten *Kunden* durch ein *Leitungssystem* von einer *zentralen Produktionsstätte* aus mit dem Energieträger, in diesem Fall mit Gas, versorgt werden. Verbraucher schlossen sich an das Leitungssystem eines industriellen Energieproduzenten an und versorgten sich somit nicht mehr selbständig mit Energiequellen für Heizung und Beleuchtung.

In England breitete sich in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts schnell die Versorgung von Städten mit Gas aus, in Deutschland dagegen erfolgte der Durchbruch des Gaslichts erst in der Jahrhundertmitte. Ab 1824 besaß die „Imperial Continental Gas Association“ bereits Konzessionen zur Beleuchtung der Straßen und öffentlichen Plätze Hannovers. Auch in anderen Städten wurden Gasanstalten errichtet. Bis 1850 gab es in Deutschland jedoch nur 35 Gasanstalten, 1860 bereits 211.

Die Erfindung des elektrischen Bogenlichts

Die Anfänge des elektrischen Lichts führen uns in Laboratorien von Naturforschern und Akademien. Im Jahr 1800 hatte der italienische Naturforscher Alessandro Volta eine leistungsfähige Batterie, die sogenannte Voltasäule, entwickelt. Volta führte verschiedene Experimente mit der

neuen Stromquelle durch. Er berichtete z.B. von dem starken Schlag und dem stechenden Schmerz, der entstand, wenn er die Zunge mit der Säule verband. Zahlreiche Forscher führten weitere Experimente durch, um die Kenntnisse der Eigenschaften von Elektrizitätserscheinungen zu vertiefen. Dabei beobachteten sie auch Funkenentladungen und Leuchterscheinungen an den Elektroden von Voltasäulen.

Humphry Davy [Abb. 3], ein Forscher an der Royal Institution in London, befaßte sich intensiv mit diesen Leuchterscheinungen. Er beobachtete, wie mit größeren Voltabatterien an die Stelle einer kleinen Funkenentladung ein Lichtbogen trat. Seine Versuche wurden an anderen Orten wiederholt, wobei weitere Eigenschaften des Lichtbogens beobachtet wurden, wie z.B. dessen große Wärmeentwicklung oder Veränderungen des Lichtbogens unter dem Einfluß eines Magneten.



Abb. 3: Humphry Davy (1778-1829) eignete sich während seiner Lehre bei einem Apotheker im Selbststudium ein umfangreiches Wissen an. Auf dieser Grundlage begann seine Karriere als Chemiker. 1801 wurde er Dozent der Royal Institution in London, die sich zu einem Zentrum für fortgeschrittene Naturforschungen entwickelte. Gleichzeitig wurde die Royal Institution durch zahlreich besuchte öffentliche Vorlesungen mit aufsehenerregenden Experimenten zu einem Anziehungspunkt der Londoner Gesellschaft. Davy befaßte sich mit vielfältigen elektrochemischen Untersuchungen, für die er 1813 Michael Faraday als seinen Laboratoriumsassistenten anstellte. Davy gehörte zu dem Personenkreis in akademischen Gesellschaften und Universitäten, der im ersten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts maßgeblich die Erforschung des elektrischen Lichtbogens vorantrieb.

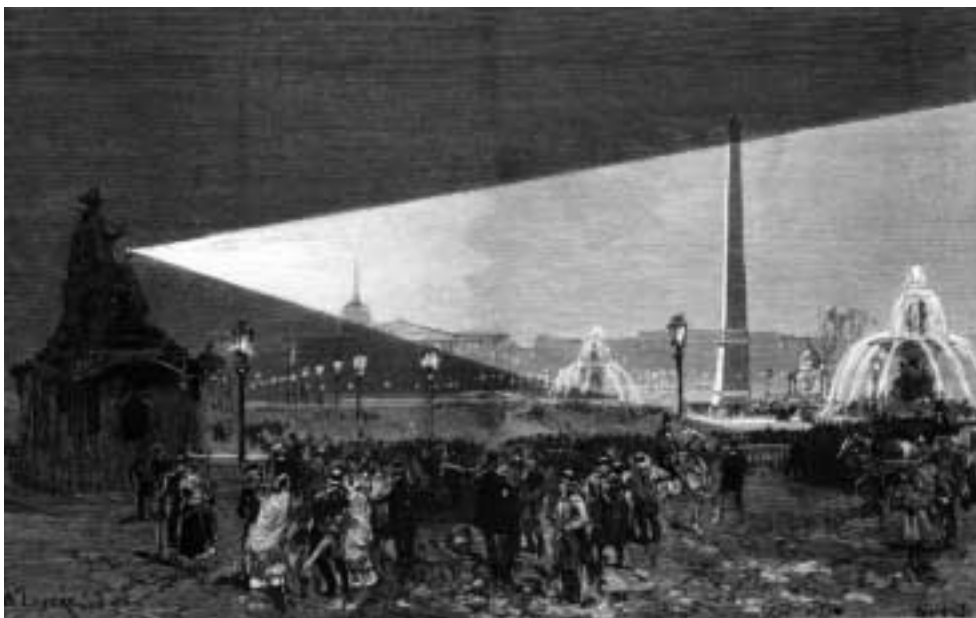


Abb. 4: Erster öffentlicher Beleuchtungsversuch mit handregulierten Lichtbogenlampen auf der Place de la Concorde in Paris, 1844.

Beim Bogenlicht entsteht durch Ionisierung der Luft zwischen zwei getrennten Elektroden ein Stromfluß, der durch Zusammenführen der Elektroden eingeleitet wird. Die eigentliche Lichtquelle ist dabei nicht der elektrische Lichtbogen selbst, sondern die Spitzen der beiden Elektroden, die durch die Entladung zur Weißglut gebracht werden.



Abb. 5: Elektrische Bogenlampenbeleuchtung mit galvanischen Batterien. Wie eine Sonne überstrahlt das Bogenlicht den Marktplatz einer Stadt.

Vorfürhungen vor akademischen Gesellschaften und Zeitschriftenveröffentlichungen machten das Bogenlicht während der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts in akademischen Kreisen bekannt. Einer praktischen Verwertung als Lichtquelle außerhalb akademischer Laboratorien standen jedoch technische Schwierigkeiten entgegen. Denn die Holzkohlestäbchen, die von den Gelehrten als Elektroden verwendet wurden, brannten in freier Luft schnell ab. Darüberhinaus gab es Schwierigkeiten mit den Stromquellen. Es standen nur Batterien zur Verfügung, deren Wirksamkeit bei Stromfluß schnell abnahm.

Mit der Entdeckung des Lichtbogens durch Naturforscher war der Schritt zur Erfindung des Bogenlichts als Beleuchtungskörper noch nicht vollzogen. Es dauerte fast ein halbes Jahrhundert, bis der elektrische Lichtbogen, der bei Experimenten in Laboratorien erzeugt worden war, als künstliche Lichtquelle in der Öffentlichkeit verwertet wurde. Nach einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Batterien und einer Verlängerung der Brenndauer der Elektroden durch die Verwendung künstlicher Kohlestifte erfolgten ab 1844 Versuche, öffentliche Plätze mit Bogenlicht zu beleuchten. Ein überwältigender Eindruck bot sich dabei den Passanten. 1855 berichtete eine französische Zeitung über eine öffentliche Beleuchtungsaktion in Lyon:

Die Spaziergänger, die sich gestern abend gegen neun Uhr in der Umgebung des Chateau Beaujou aufhielten, wurden plötzlich von einer Lichtflut überschwemmt, die so hell wie die Sonne war. Tatsächlich hätte man annehmen können, die Sonne sei aufgegangen, und diese Illusion war so wirksam, daß die aus ihrem Schlaf geweckten Vögel in diesem künstlichen Tageslicht zu singen anfangen... Das Licht, das ein großes Gebiet überflutete, war so stark, daß die Damen ihre Schirme aufspannten - nicht etwa aus Galanterie gegenüber den Erfindern, sondern um sich gegen die Strahlung dieser geheimnisvollen Sonne zu schützen.

(Zitiert nach Schivelbusch 1983, S. 58).

Das Bogenlicht empfahl sich nach Meinung der zeitgenössischen Experten jedoch nicht für die Beleuchtung öffentlicher Plätze und Straßen. Bei größeren Beleuchtungsversuchen in St. Petersburg im Jahr 1849 erlitten vier bei den Versuchen angestellte Soldaten dadurch Verletzungen, daß sie die Säuredämpfe der Batterien eingeatmet hatten. Das Licht selbst brannte sehr unruhig, wechselte die Farbe und erschien so blendend, daß man Schädigungen der Augen befürchtete.

Die Bogenlampe wurde daher zu anderen Zwecken eingesetzt. Es handelte sich um einzelne Beleuchtungsaktionen, bei denen ein großer Aufwand nicht gescheut wurde: 1846 wurden beispielsweise in der Pariser Oper zur Uraufführung von Meyerbeers Oper „Der Prophet“ Bogenlampen eingesetzt, um besondere Spezialeffekte zu erzielen. Auch in den folgenden Jahrzehnten kam es immer wieder zu vergleichbaren Auftritten des Lichtbogens in der Oper oder im Theater. Beliebt war z.B. die Imitation von Sonnenaufgängen, von Blitz und Wetterleuchten oder die Erzeugung eines künstlichen Regenbogens unter Verwendung von Linsen und Prismen.



Abb. 6: Erste Verwendung des Bogenlichts bei nächtlichen Bauarbeiten in Paris im Jahr 1854.

Auch wurden Bogenlampen verwendet, um Großbaustellen oder Kaianlagen nachts zu beleuchten und dadurch die Arbeitszeit zu verlängern. Zwei Apparate genügten, um für 800 Personen das zum Arbeiten nötige Licht zu liefern. Dabei waren die Betriebskosten der Lampen gegenüber anderen Beleuchtungsarten ausgesprochen gering. 1859 wurde z.B. die Rheinbrücke in Kehl bei Straßburg unter der Verwendung von Bogenlicht erbaut.

Es gab Vorschläge, das Bogenlicht auf Lokomotiven und Schiffen zu verwenden, um Zusammenstöße zu vermeiden. 1857 begannen in England Versuche, Bogenlicht zur Beleuchtung von Leuchttürmen einzusetzen. Schwierigkeiten gab es dabei immer noch bei der Versorgung mit elektrischem Strom. Gerade bei Leuchttürmen mußte eine große Betriebssicherheit gewährleistet sein, da ein Ausfall der Beleuchtung für die Schifffahrt große Risiken barg. Batterien mußten unter großem Arbeits- und Personalaufwand peinlich genau beaufsichtigt werden. Die Beleuchtung von Leuchttürmen erforderte daher andere Stromquellen, die jedoch kaum zur Verfügung standen. Die Alternative, magnetelektrische Maschinen, standen erst in den Anfängen ihrer technischen Entwicklung. Dennoch wurden schwergewichtige und teure Generatoren zur Beleuchtung von Leuchttürmen produziert. Deren Betrieb erforderte allerdings eine größere Zahl an geschultem Personal als die Beleuchtung von Leuchttürmen mit Gas.

Alle diese Anwendungen des Bogenlichts blieben bis in die 70er Jahre des 19. Jahrhunderts auf einzelne Versuche beschränkt. Ingenieure sammelten dadurch Erfahrungen im praktischen Umgang mit der neuen Lichtquelle. Man begann, die Möglichkeiten und Grenzen des elektrischen

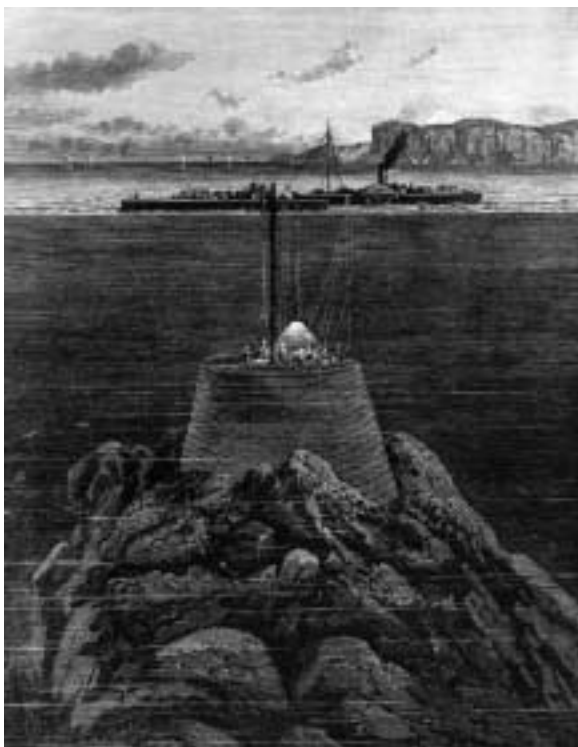


Abb. 7: Elektrische Beleuchtung bei Unterwasserarbeiten, 1882.

Lichts zu erkennen. Einem massenhaften Einsatz standen aber verschiedene Faktoren entgegen:

- Es fehlten leistungsfähige Maschinen zur *Stromerzeugung*.
- Das Bogenlicht erforderte komplexe *Regulierungen* oder das Nachführen der Kohlestifte von Hand.
- Die Lichtstärke konnte im Gegensatz zu einer Beleuchtung mit Gas nicht geregelt werden, für die Illumination kleiner Räume war das Bogenlicht aufgrund seiner *großen Lichtstärke* gar nicht zu gebrauchen.
- Es gab kein *zentrales Versorgungssystem*, an das viele Lichter angeschlossen werden konnten. Jede Bogenlampe hatte ihre eigene Batterie.
- Die Bogenlampe konnte somit nicht auf breiter Basis mit dem Gaslicht konkurrieren, ganz abgesehen von den Kosten, die in der Regel immer noch über denen des Gaslichts lagen.

Die Entwicklung der Bogenlampe

Die zahlreichen Beleuchtungsversuche waren von einer lebhaften Erfindungs- und Entwicklungstätigkeit begleitet, die zu verschiedensten Verbesserungen und Neuerungen der Bogenlampen führte. In welcher Weise wurden die gerade umrissenen *technischen Probleme* gelöst? Abgesehen von der Verbesserung der Kohleelektroden, die hier nicht dargestellt werden soll, war die Entwicklung leistungsfähiger Stromquellen

und die Erfindung automatischer Regelungen entscheidend. Denn durch das Abbrennen der Kohleelektroden verlängerte sich der Lichtbogen und damit auch dessen Widerstand. Infolgedessen sank die Stromstärke, wodurch die Leuchtkraft abnahm oder der Lichtbogen ganz abbrach. Es lag nahe, durch Nachführen der Elektroden den Widerstand des Bogens konstant zu halten. Nach 1845 gab es verstärkt Bestrebungen, dies mit Hilfe eines mechanischen Uhrwerks zu gewährleisten. Rein mechanische Regulatoren waren jedoch nicht in der Lage, Widerstandsänderungen aufgrund inhomogenen Elektrodenmaterials zu kompensieren. 1847/48 entwickelte Archereau daher einen Regulator, der den Nachschub der Elektroden in Abhängigkeit von dem Strom, der sich aufgrund der Widerstandsschwankungen fortwährend änderte, regelte. Die am Ende des Hefts vorgeschlagene Rekonstruktion einer Bogenlampe verwendet diese Form der Regelung.

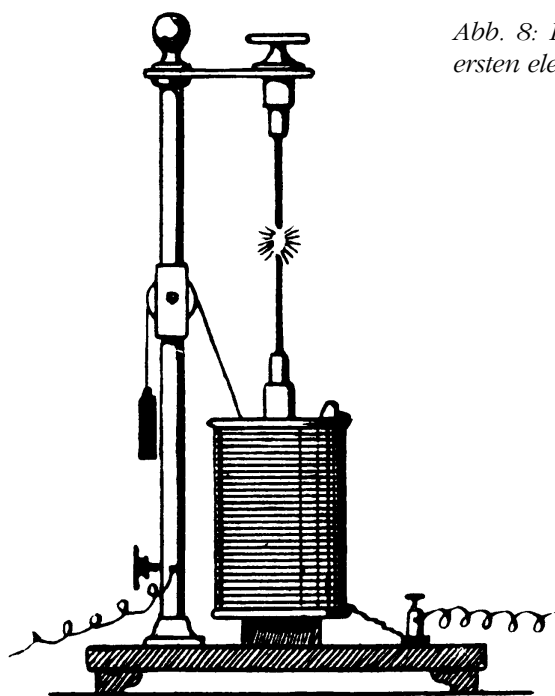


Abb. 8: Bogenlampe von Archereau mit dem ersten elektrischen Regulator.

Zwar gab es bis in die 70er Jahre des 19. Jahrhunderts andere Vorschläge, automatische Regelungen zu konstruieren. Die Regelgröße war dabei jedoch wie bei Archereau fast ausnahmslos die Stromstärke des gesamten Stromkreises, weshalb die Lampen auch den Namen „Hauptstromlampen“ erhielten. Das Prinzip der Regelung wird in Abb. 9 deutlich: Vergrößert sich der Widerstand des Lichtbogens zwischen den Kohleelektroden g und h , so verringert sich die Stromstärke in der Spule R , wodurch die magnetische Anziehungskraft auf den Stab S sinkt. Das Gegengewicht P am Hebel c verringert dann den Abstand der Kohleelektroden, wodurch die Stromstärke wieder anwächst und die Anziehungskraft der Spule verstärkt. Die Wirkung der Spule auf den Hebel c vergrößert wiederum den Abstand der Elektroden, bis sich nach einigen Pendelbewegungen ein Gleichgewicht eingestellt hat. Durch die Veränderung des Widerstands des Bogens wird demnach eine bestimmte *Stromstärke* hergestellt.

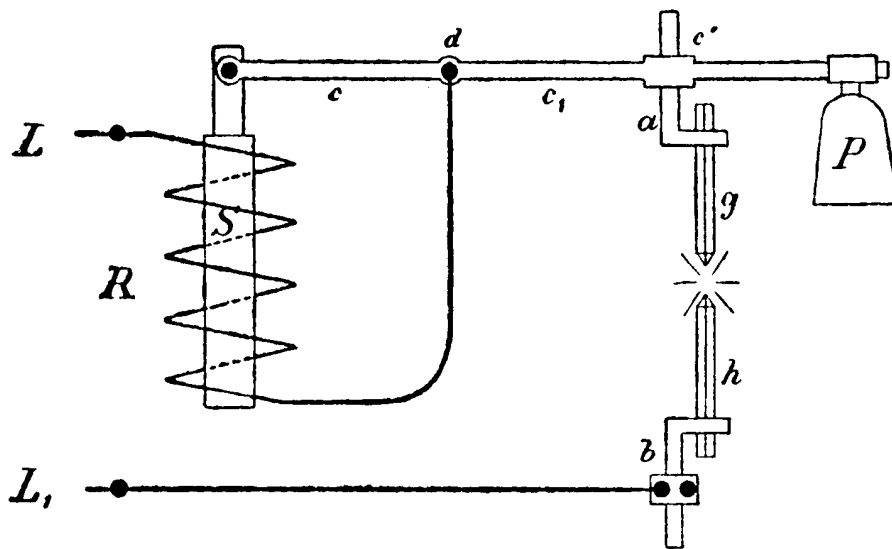


Abb. 9: Regelungsprinzip einer Hauptstromlampe.

Aus diesem Regelungsprinzip folgte jedoch, daß eine Reihen- oder Parallelschaltung mehrerer Lampen unmöglich war. Denn sobald sich in einer Lampe der Widerstand veränderte, variierte die Stromstärke des gesamten Stromkreises, wodurch die Regelung der anderen Lampen gestört wurde. Jede Lampe wurde daher mit einer eigenen Generatorenanlage versorgt. 40 bis 50 Generatoren wurden beispielsweise bei der Beleuchtung von Bahnhöfen eingesetzt. Eine weite Verbreitung der Bogenlampe konnte jedoch nur dadurch gewährleistet werden, daß *mehrere* Lampen von *einer* Stromquelle aus versorgt wurden.

Konstruktionsvorschläge automatischer Regelungen wurden immer komplexer und vergrößerten dadurch die Störanfälligkeit der Lampen. Paul Jablochhoff schlug 1876 demgegenüber mit der Erfindung der „elektrischen Kerze“ einen sehr einfachen Lösungsweg vor, indem er auf die Verwendung eines komplexen Mechanismus ganz verzichtete. Seine Konstruktion hielt den Abstand der Elektroden durch ihre *Anordnung* konstant: Zwei gewöhnliche Lichtkohlen standen in geeignetem Abstand parallel zueinander, der Zwischenraum war mit einer isolierenden Masse, anfangs Porzellan, später dann Gips, gefüllt. Bei Gleichstrom brennt die mit dem positiven Pol verbundene Kohle doppelt so schnell ab wie die andere. Daher hatte bei Jablochhoff'schen Kerzen die positive Kohle doppelten Querschnitt oder man verwendete bei gleich dicken Kohlestiften Wechselstrom. Bis zu 16 Jablochhoff'sche Kerzen wurden von einer Stromquelle aus versorgt. Da die isolierende Masse bei hohen Temperaturen leitfähig wurde, führte das Erlöschen einer Lampe nicht notwendig zum Verlöschen aller anderen. Die Lampen hatten jedoch eine Brenndauer von nur 90 Minuten, danach mußten neue Lampen eingesetzt werden. Ein unüberwindlicher Mangel bei der Anwendung war darüber hinaus der Tatbestand, daß einmal erloschene Kerzen nicht wieder entzündet werden konnten. Trotz dieser praktischen Beschränkungen wurden Jablochhoff'sche Kerzen zur Beleuchtung von öffentlichen Räumen eingesetzt. So brannten 1878 etwa zum Schluß der Weltausstellung in Paris jeden Abend 1000 elektrische Kerzen.

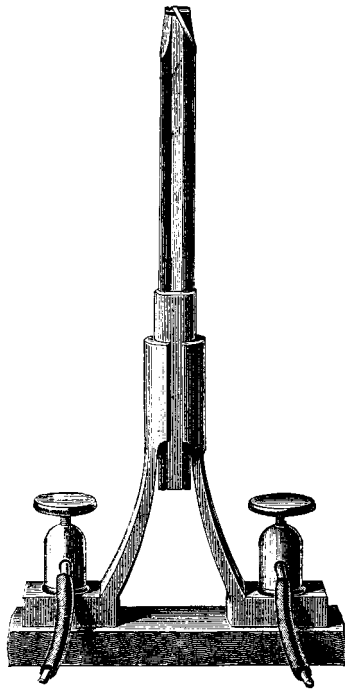


Abb. 10: Elektrische Kerze von Jablochkoff mit Halter.



Abb. 11: Jablochkoffkerze und Bogenlampen von Siemens und Fein, 1880-1890.

Eine weitreichendere Lösung des Problems der automatischen Regelung und der Reihen- oder Parallelschaltung von Lampen entwickelte 1878 Friedrich v. Hefner-Alteneck mit der Erfindung der Differentialbogenlampe. Zum Regelungsprinzip vgl. Abb. 12: Die Spule T mit vielen Windungen und hohem Widerstand, die sogenannte Nebenschlußspule, ist der Spule R mit wenigen Windungen und geringem Widerstand, der Hauptschlußspule, und den Kohleelektroden g und h parallel geschaltet. Die Lampe besteht also aus einem verzweigten Stromkreis mit zwei

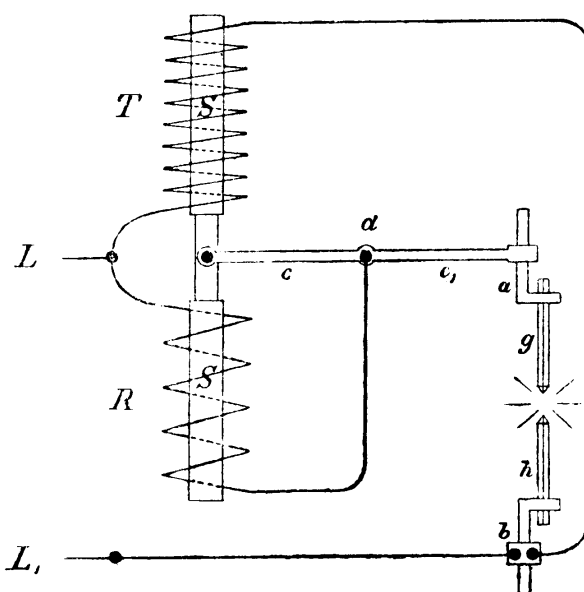


Abb. 12: Regelungsprinzip einer Differentialbogenlampe.

parallel geschalteten Komponenten. Vergrößert sich durch Abbrennen der Kohlen der Widerstand in dem Zweig der Spule R und den Kohleelektroden, so fließt durch die Nebenschlußspule T ein größerer Strom und zieht dadurch den Stab S nach oben. Über den Hebel c verringert sich dadurch der Abstand der Kohleelektroden. Gleichzeitig wirkt dem die andere Spule R entgegen. Die Stellung des Hebels c hängt somit von der Differenzwirkung von zwei Elektromagneten ab. Bei einem bestimmten *Widerstand* des Bogens halten sich die von den Spulen R und T auf den Stab S ausgeübten Anziehungen das Gleichgewicht. Verändert sich durch einen Vorgang außerhalb der Lampe die Stromstärke, so beeinflusst dies nicht die Regelung der Lampe, da die Stromstärken in beiden Spulen sich um den gleichen Faktor verändern und damit in ihrem Verhältnis zueinander konstant bleiben. Dadurch wurde die Schaltung mehrerer Lampen in einen Stromkreis möglich.

Die Differentialbogenlampe von Hefner-Alteneck trennte darüber hinaus Nachschub und Regelung, indem der Hebel der Regelung einen Nachschubmechanismus auslöste. Beim Ausbrennen der Lampen bewirkte ein selbsttätiger Kurzschließer, daß Lampen, die in denselben Stromkreis geschaltet waren, nicht verlöschten. Die Lampe zeichnete sich dadurch aus, daß zum einen die bekannten technischen Probleme gelöst waren, zum anderen für die praktische Verwendung doch eine einfache und übersichtliche Form gefunden worden war.

Eine weitere Voraussetzung für die Verbreitung elektrischer Beleuchtungen war die Konstruktion von leistungsfähigen Generatoren. Denn bislang standen nur Batterien, die mit einem hohen Personalaufwand unterhalten werden mußten, oder aber schwergewichtige und teure Generatoren zur Verfügung: Hohe Kosten entstanden dabei durch die Verwendung von Permanentmagneten, die schnell ermüdeten, oder aber durch den Einsatz von Elektromagneten, die von Batterien erregt wurden. Diese Kosten konnten nach 1866 durch die Entdeckung des elektrodynamischen Prinzips reduziert werden. Dabei wird der in einem einmal magnetisierten Elektromagneten vorhandene Restmagnetismus dazu verwendet, einen schwachen Strom zu erzeugen, der dann wiederum den Magnetismus des Elektromagneten verstärkt. Wechselseitig schaukeln sich dadurch Strom und Magnetismus bis zur Sättigungsgrenze hoch. Werner von Siemens erkannte das wirtschaftliche Potential des elektromagnetischen Prinzips und produzierte darauf aufbauend Dynamomaschinen, die erfolgreich verkauft wurden. Um 1880 gab es zahlreiche Firmen, die Dynamomaschinen weiterentwickelten und produzierten. Marktführer wurden in Europa Siemens & Halske aus Berlin und die französische Firma Gramme, in den USA die Firmen Brush und Edison.

Entscheidend für die Verbreitung des elektrischen Lichts war nun die Erkenntnis, daß Dynamomaschine, Lampen und Regelungen ein Ganzes, ein System bildeten. Die einzelnen Komponenten des Systems mußten aufeinander abgestimmt und in ihrer gegenseitigen Wechselwirkung optimiert werden. Bogenlampen, die bislang jeweils mit eigenen Energiequellen ausgestattet waren, wurden zu Komponenten von technischen Systemen, die ab Mitte der 1880er Jahre von Firmen der

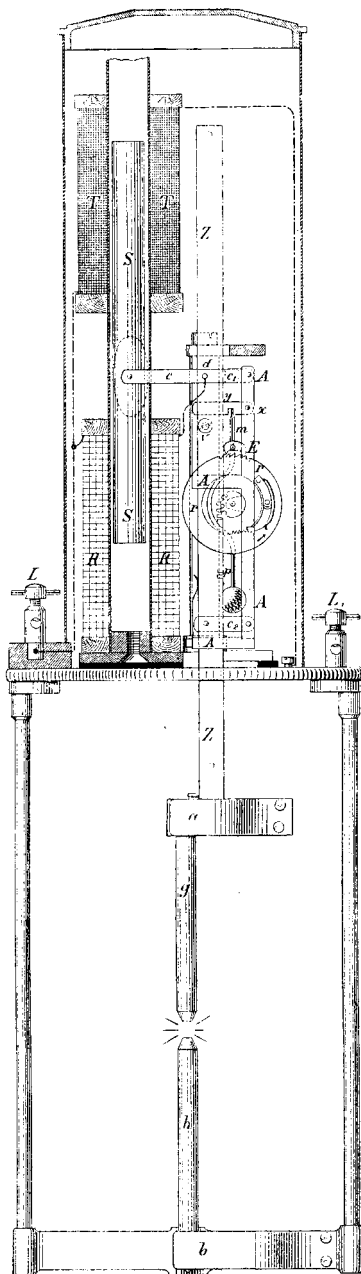


Abb. 13: Differentialbogenlampe von v. Hefner-Alteneck.



Abb. 14: Friedrich von Hefner-Alteneck (1845-1904) studierte an Technischen Hochschulen in München und Zürich. Auf der Pariser Weltausstellung des Jahres 1867 begeisterte ihn die Ausstellung der Firma Siemens & Halske, so daß er sich um eine Anstellung als Zeichner bewarb. Nachdem die Bewerbung ausgeschlagen worden war, trat er als Arbeiter in die Firma ein, wo er bereits nach einem Jahr in das neu gegründete Konstruktionsbüro versetzt wurde. Schnell wurde er dort Leiter des Büros, fünf Jahre später gehörte er zur technischen Direktion der Firma. Seine Hauptaufgabe als Ingenieur der Firma bestand darin, physikalisch oder technisch bekannte Wirkungsprinzipien zu modifizieren und in eine zweckdienliche und funktionsfähige Form zu bringen.

Beispielhaft wird dies an der Entwicklung des Trommelankers für Generatoren deutlich, durch den der Energieverlust aufgrund einer Überhitzung des Ankereisens vermieden wurde. Abgesehen von der Weiterentwicklung von Generatoren befaßte sich v. Hefner-Alteneck mit der Lichttechnik. Neben der nach ihm benannten Differentialbogenlampe entwickelte er einen Standard zur Definition der Lichteinheit, der von 1897 bis 1941 allen lichttechnischen Messungen zugrunde lag.

Elektrizitätswirtschaft komplett verkauft wurden und die ganze Straßenzüge beleuchteten. Elektrische Systeme bestanden aus Komponenten zur Stromerzeugung, Stromverteilung und Stromverbrauch. Im Angebot waren Zentralanlagen mit Generatoren, Sicherungs- und Schaltvorrichtungen, Leitungen, Elektrizitätszähler und Endgeräte. Ebenso wie beim Gaslicht konnten Konsumenten, die elektrische Lampen einsetzen wollten, auf die Energie einer Zentralanlage zurückgreifen, ohne die gesam-

ten Kosten und den Platzaufwand für die Anlage tragen zu müssen. Thomas Alva Edison war einer der Vorreiter bei der Entwicklung technischer Systeme. Es ist jedoch nicht verwunderlich, daß auch einer der Marktführer bei Bogenlampen in den USA, die Firma Charles F. Brush in Cleveland, außer den Lampen selbst besondere Generatoren mit einem Regulator zur Anpassung der Spannung an die Zahl der brennenden Lampen für Bogenlichtsysteme produzierte.

Anwendungsgebiete der Bogenlampe

In den 1880er Jahren entsprachen die Einsatzfelder der Bogenlampe weitgehend den Anwendungsgebieten, in denen seit Mitte des Jahrhunderts einzelne Versuche gemacht worden waren. Es gab die Allgemeinbeleuchtung von Straßen, Plätzen, Arbeitsstätten und großen Innenräumen, Anwendungen für wissenschaftliche Zwecke, Leuchtfeuer für die Seefahrt, Spezialeffekte im Theater sowie militärische Verwendungen zu Lande und zu Wasser

Ein Einsatz des Bogenlichts war nur auf Plätzen oder in großen Räumen möglich, in denen die große Lichtstärke der Lampen nicht störte, wie z.B. in Webereien oder Spinnereien, in Kaufhäusern, Bahnhofshallen, auf Baustellen oder Kaianlagen. In Deutschland waren es zunächst Bahnhöfe, die mit Bogenlichtanlagen ausgestattet wurden. So erhielt 1881 der Münchener Centralbahnhof 45 Lampen, die etwa eine Brenndauer von 8 Stunden hatten.

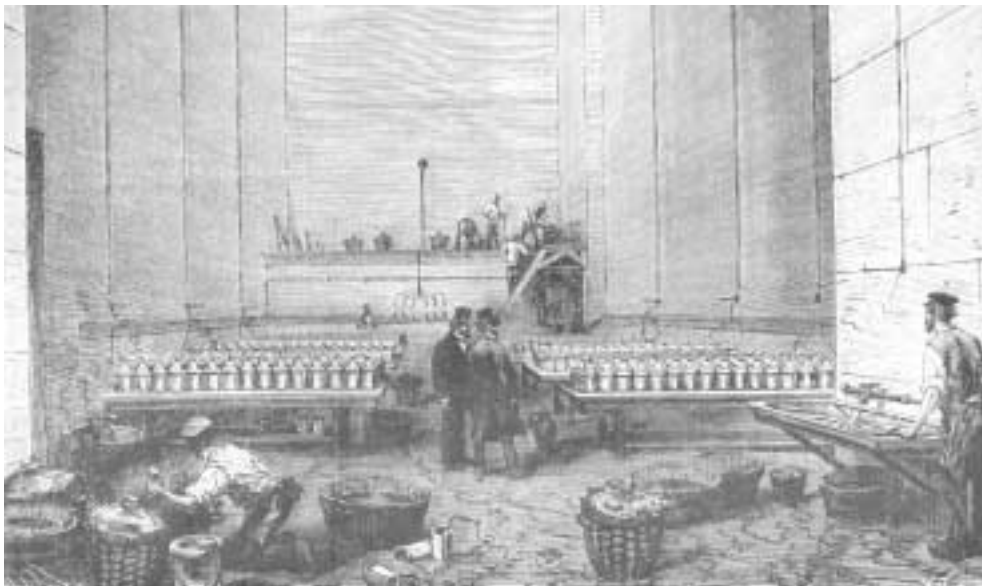


Abb. 15: Batterieraum der Pariser Oper, 1880. Batterien waren zu dieser Zeit gegenüber Generatoren aufgrund ihrer größeren Betriebssicherheit als Energiequelle zu bevorzugen.

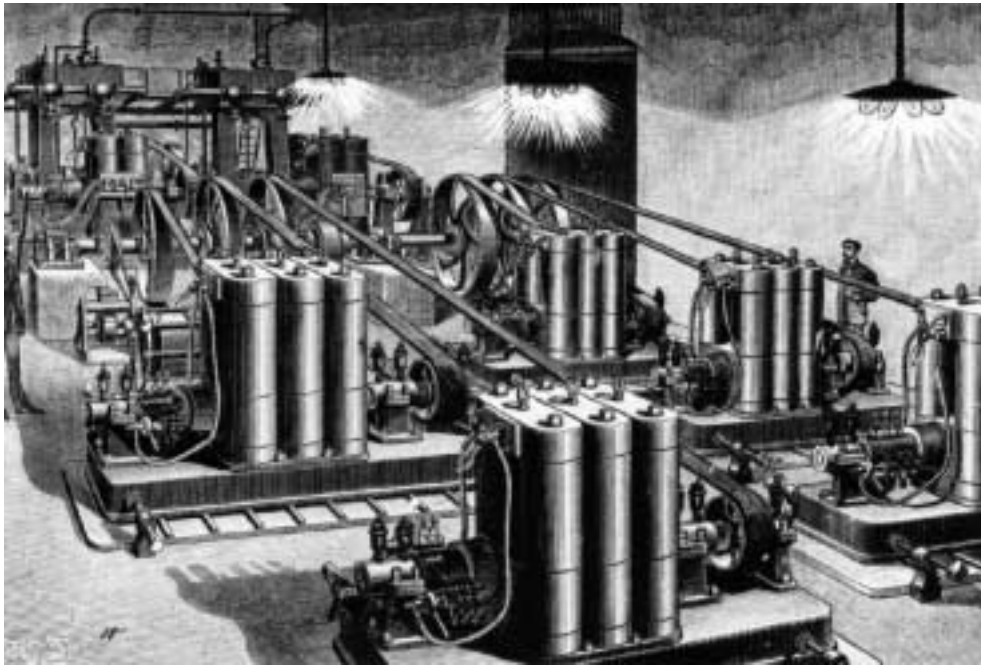


Abb. 16: Theaterbeleuchtungsanlage von Edison, 1886. 12 Generatoren lieferten den Strom für 8000 Glühlampen, eine Wechselstromanlage versorgte 24 Jablockkoffkerzen.



Abb. 17: Elektrische Beleuchtung der Pariser Oper, 1884.

Öffentliche Vorführungen von elektrischen Straßenbeleuchtungen mit Bogenlicht ebneten den Weg zu einer weiteren Verbreitung des elektrischen Lichts. Friedrich von Hefner-Alteneck schrieb dazu 1882:

Wenn man es wagen kann, die Lichtapparate nicht nur dem Wind und Wetter, sondern, was oft noch schlimmer ist, der Kritik der Allgemeinheit im weitesten Sinn des Wortes preiszugeben, so liegt darin schon ein Beleg dafür, daß das betreffende System bis zu einem hohen Grade von Durchbildung und Betriebssicherheit gebracht sein muß.

(Elektrotechnische Zeitschrift 3 (1882), S. 443).

Repräsentative Straßen, die mit Bogenlampen beleuchtet wurden, waren nachts in eine strahlende Helligkeit getaucht, die jegliche Schatten vertrieb. Welch einen Gegensatz nahmen Passanten beim Übergang von diesen Prachtboulevards in unbeleuchtete Straßenzüge wahr. Selbst mit Gas beleuchtete Straßen erschienen demgegenüber nur im Dämmerlicht.



Abb. 18: Während der Internationalen Elektrizitätsausstellung in München im Jahr 1882 wurde der Königsplatz mit 4 Bogenlampen erbellt.



Abb. 19: Beleuchtung des Mansion-Platzes in London durch Siemens'sche Bogenlampen, um 1880. Wie deutlich zu sehen ist, wurden die Bogenlampen aufgrund ihrer großen Lichtstärke weit höher und in größeren Abständen gehängt als die traditionelle Straßenbeleuchtung.



Abb. 20: Beleuchtung der Avenue de l'Opéra in Paris durch Jablochkoff'sche Kerzen, 1881.

In den USA wurden sogar mit Hilfe von Bogenlampen utopische Vorstellungen, eine ganze Stadt mit einigen wenigen Leuchttürmen zu einer taghell beleuchteten Metropole zu machen, in die Wirklichkeit umgesetzt. Zahlreiche amerikanische Städte, vorwiegend im Westen und Mittelwesten, errichteten nach 1880 50 bis 150 Meter hohe Lichttürme, welche ganze Stadtviertel bei Nacht mit Licht überfluteten. Diese spektakuläre Form der *Stadt*beleuchtung hielt sich jedoch nur wenige Jahrzehnte.



Abb. 21: Beleuchtungsturm in San José (Kalifornien), um 1882.

Das Bogenlicht bewährte sich in zahlreichen weiteren Spezialgebieten: In der Medizin wurde es zur Bestrahlung eingesetzt, es diente bei der sogenannten Lichttelephonie der Nachrichtenübermittlung auf optischem Wege; vorwiegend in England, Frankreich und Deutschland wurden Leuchttürme mit Bogenlicht ausgestattet. Auch die aufkommende Photographie griff für Portraitaufnahmen und für wissenschaftliche Abbildungen auf Bogenlampen zurück, um von den wechselnden Lichtverhältnissen des Tageslichts unabhängig zu werden.

Eine Anwendungsform soll hier noch besonders angesprochen werden: die Verwendung von Bogenlampen in Projektionsapparaten, die gerade im frühen 19. Jahrhundert bei der Verbreitung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse vielfältig eingesetzt wurden. Denn bei dem großen Interesse der Öffentlichkeit an den Errungenschaften der Wissenschaften mußte ein Weg gefunden werden, naturwissenschaftliche Versuche gleichzeitig einer großen Anzahl von Zuschauern zu vermitteln. Im 19. Jahrhundert wurden verschiedene Projektionsmethoden entwickelt, die z.B. in die Herstellung von Episkopen und anderen Projektionsapparaten mündeten. Als Lichtquellen dienten Bogenlampen. Bis heute werden in Kinos Kohlebogenlampen in Filmprojektoren zu einer erstklassigen Beleuchtung großer Leinwände eingesetzt. Erst in den letzten Jahren wird die Bogenlampe jedoch auch in diesem Bereich von anderen Lichtquellen abgelöst. Nebenbei sei bemerkt, daß der elektrische Lichtbogen nicht nur für Beleuchtungszwecke eingesetzt wurde. Bereits ab 1853 existierten Patente, einen elektrischen Lichtbogen in Öfen zum Schmelzen verschiedener Materialien zu verwenden.

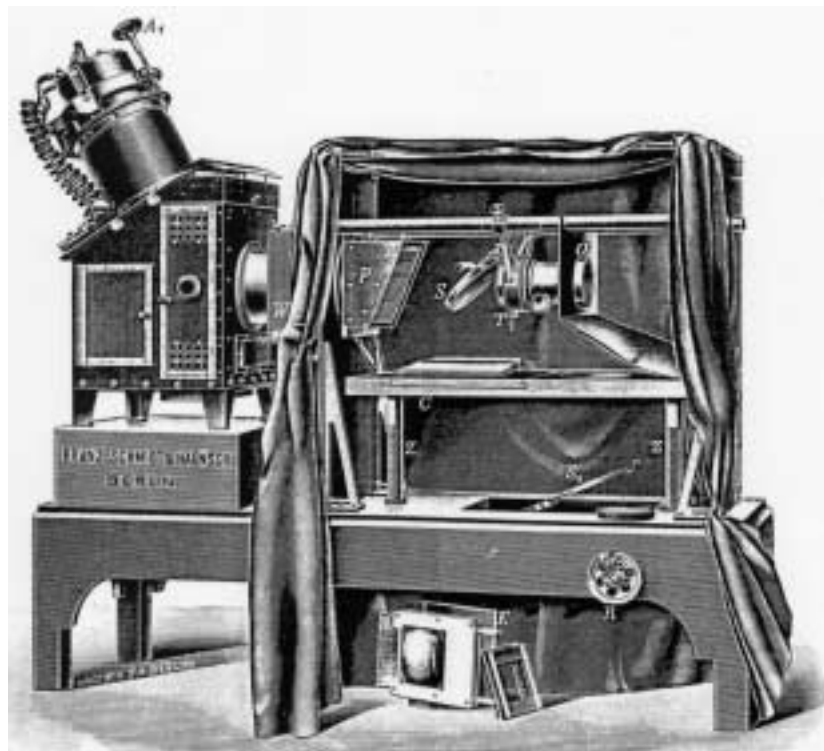


Abb. 22: Großer Projektionsapparat für episkopische Projektion, um 1906. Bogenlampen fanden zu Beginn des 20. Jahrhunderts auch in Projektionsapparaten zur Vermittlung naturwissenschaftlicher Phänomene Verwendung.

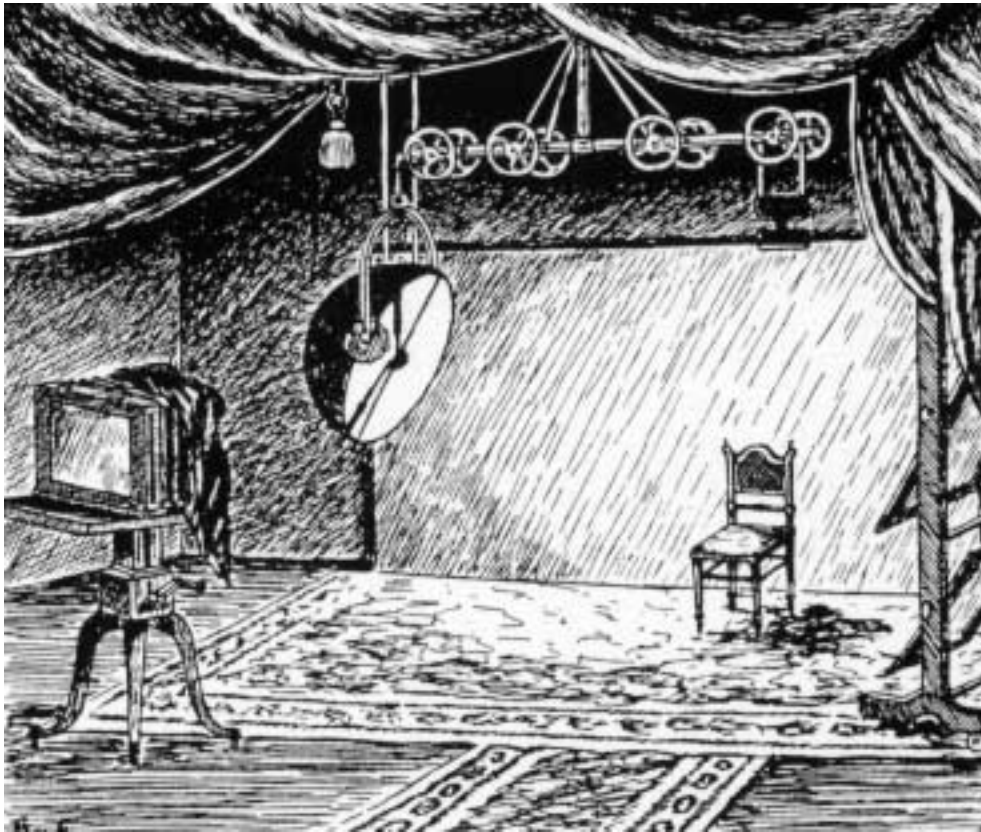


Abb. 23: Photographen nutzten Bogenlampen zur Beleuchtung ihrer Studios, um 1878.

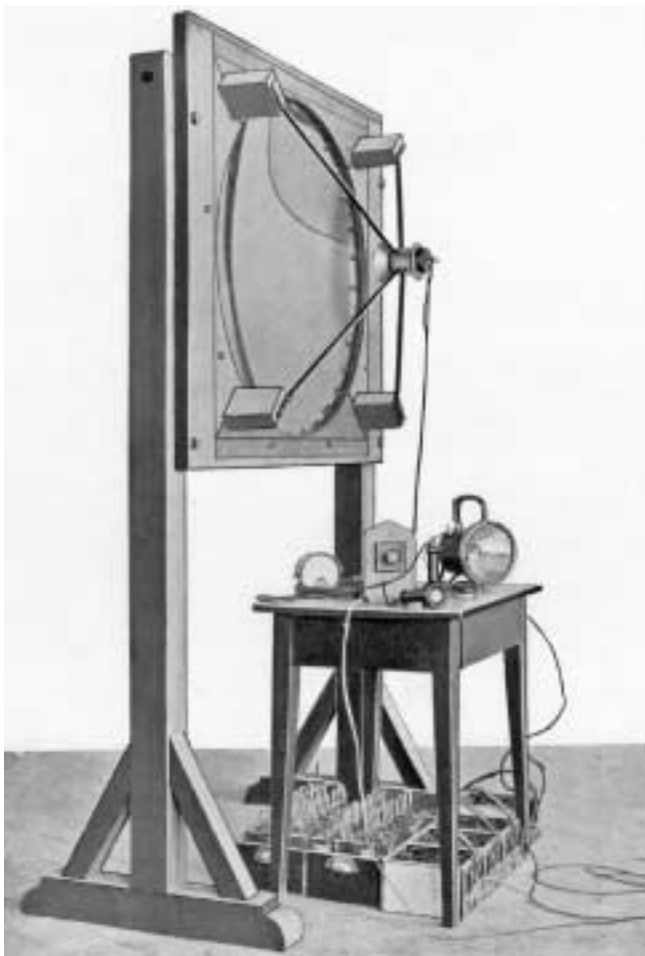


Abb. 24: Empfänger für Lichtbogentelephonie, um 1902. Hier wurden Bogenlampen zur optischen Informationsübertragung eingesetzt.

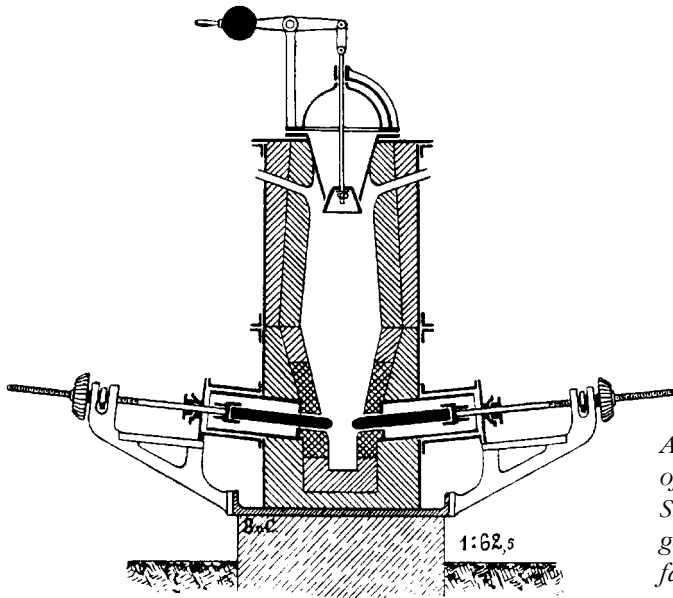


Abb. 25: Elektrischer Hochofen zur Stahlbereitung von Stassano, 1898. Der Lichtbogen erreichte eine Länge von fast 1m.

Insgesamt etablierte sich die Bogenlichttechnik nach 1880 in einigen Anwendungsnischen. Eine weitere Verbreitung fand sie als repräsentative öffentliche Beleuchtungsform, wobei sie hier jedoch stets mit Gasbeleuchtungen konkurrieren mußte. In Berlin brannten 1890 4944 Bogenlampen. In den USA verbreitete sich die neue Beleuchtungstechnik schneller. So wurden in New York 1890 fast doppelt so viele Lampen eingesetzt wie in Berlin, insgesamt stieg die Gesamtzahl der Bogenlampen in den USA von 6000 im Jahr 1882 auf 235000 im Jahr 1890.

Inszenierungen der elektrischen Beleuchtung

Sowohl bei Anwendungen der Lichtbogenlampe als auch bei der Entwicklung der Glühlampe stellt sich die Frage, in welcher Weise die neuen Produkte auf dem Markt eingeführt werden sollten. In beiden Fällen spielten publikumswirksame Vorführungen des neuen Lichtes eine entscheidende Rolle.

Immer noch bemühten sich Ingenieure, durch spektakuläre Beleuchtungsaktionen die Akzeptanz für das elektrische Licht zu steigern: Am Abend des 14. Oktober 1878 wurde z.B. in Sheffield ein Football-Match unter der Beleuchtung von 4 Bogenlampen durchgeführt. Neben der siegreichen Mannschaft gewann auch der Ingenieur, der die Veranstaltung organisiert hatte und in deren Gefolge er zahlreiche Aufträge zur Installation elektrischer Beleuchtungen erhielt.

Von großer Bedeutung für die Verbreitung der elektrischen Beleuchtung waren internationale elektrotechnische Ausstellungen. Allein in dem kurzen Zeitraum von 1881 bis 1885 fanden in Paris, London, München, Königsberg, Wien, Turin, Steyr und Philadelphia 12 internationale



Abb. 26: Der Elektrizitätspalast auf der Pariser Weltausstellung im Jahr 1900 mit strahlend erleuchteten Springbrunnen.

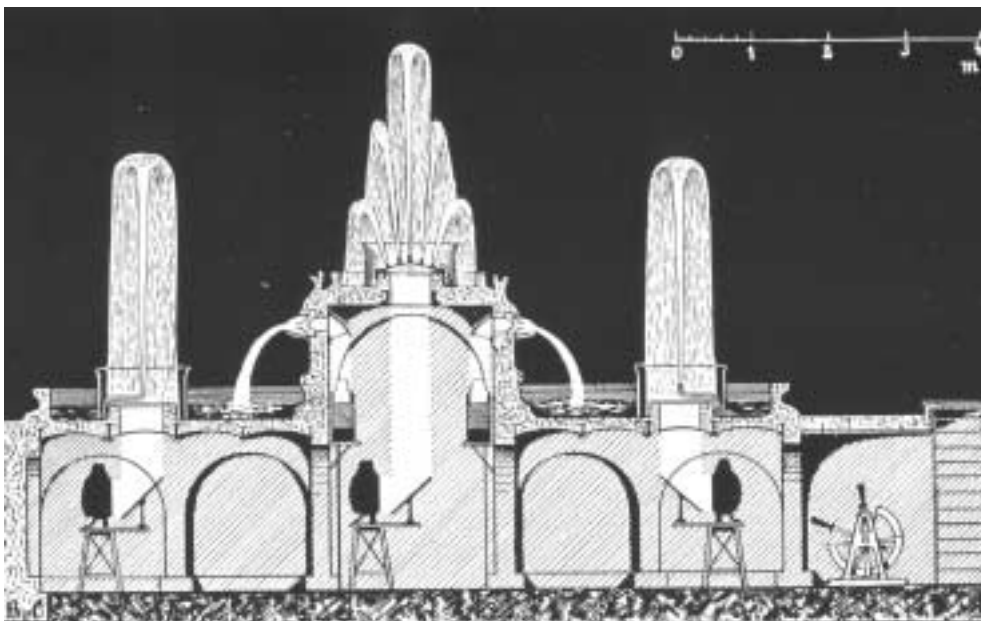


Abb. 27: Entwurfskizze eines leuchtenden Monumentalbrunnens.

Elektrizitätsausstellungen statt. Mit großem Aufwand wurden Vorführungen neuer Lichttechniken inszeniert, kritische Experten vom Fach begutachteten neue Techniken, Journalisten berichteten international über die verschiedenen Beleuchtungsversuche und die Öffentlichkeit sah beim Besuch der Ausstellungen die Wunder der neuen Technologien. Vor den Augen der Besucher blieben der enorme Arbeitsaufwand, der zum Betreiben der Anlagen notwendig war, ebenso verborgen wie manche Risiken der neuen Technologien.

Spektakuläre Effekte riefen bei den Besuchern Staunen und Bewunderung hervor. Dazu gehörten Springbrunnen, die mit Bogenlampen beleuchtet waren, Theateraufführungen mit elektrischer Beleuchtung oder abendlich ein Lichtermeer in Glas- und Stahlpalästen. Ausstellungen zeigten, welchen Nutzen neue Technologien haben und in welchen Lebens- und Arbeitsbereichen sie eingesetzt werden konnten. Ausstellungen hatten damit die Funktion, technische Systeme in ihrer Anwendung zu testen und die Akzeptanz neuer Technologien zu erhöhen.



Abb. 28: Große Ausstellungshalle der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung in Paris, 1881.



Abb. 29: Beleuchtung einer Münchener Bierhalle anlässlich der Internationalen Elektrizitätsausstellung in München, 1882.

Die Konkurrenz von Beleuchtungssystemen

Die Glühlampe

Anwendungen der Bogenlampe stießen aufgrund der großen Helligkeit dieser Lichtquelle schnell an ihre Grenzen. Die Bogenlampe konnte allenfalls bei der Straßenbeleuchtung ein ernsthafter Konkurrent des Gaslichtes werden. Nach 1881 verbreitete sich eine andere elektrische Lichtquelle, welche diesen Mangel der übermäßigen Helligkeit behob: die elektrische Glühbirne.

Bereits Davy hatte zu Beginn des Jahrhunderts in seinen Experimenten beobachtet, daß ein Draht, durch den ein elektrischer Strom geleitet wird, sich erwärmt und zum Glühen gebracht wird. Ebenso war es durch die Arbeiten des Engländers Frederick De Moleyn seit 1841 bekannt, daß das Verglühen des Drahtes dadurch verhindert werden kann, daß er in einem Vakuum erhitzt wird. Heinrich Göbel konstruierte bereits in den 1850er Jahren eine brauchbare Kohlenfadenlampe. Beliebiger könnte man die Liste der Namen verlängern, die zur Entwicklung der Glühbirne beigetragen haben. Und doch ist mit ihrer Erfindung ein Name verknüpft wie kein anderer: Thomas Alva Edison.

Abb. 30: Thomas Alva Edison (1847-1931) begann seine Karriere als Zeitungsjunge einer Eisenbahnlinie und Telegraphist. 1869 ließ er sich als freier Erfinder in New York nieder, 1876 gründete er eine Forschungsstätte, wo gegen Auftrag praktische, kommerziell verwertbare Produkte entwickelt werden sollten. Eine erste größere Erfindung war 1877 der Phonograph zur Tonaufzeichnung. Nach 1881 gelang ihm die aufsehenerregende Markteinführung der Glühlampe. Edisons Leistung bestand in der Organisation von Entwicklungsarbeiten zur Lösung technischer Probleme, in ihrer Zusammenfassung zu einem praktikablen technischen System und in ihrer Durchsetzung auf dem Markt, wo er gekonnt sein großes



propagandistisches Geschick einsetzte. Als Unternehmer und Erfinder überwand er den Horizont rein technischer Entwicklungsarbeiten und verband seine technischen Fertigkeiten mit dem Management technischer Systeme.

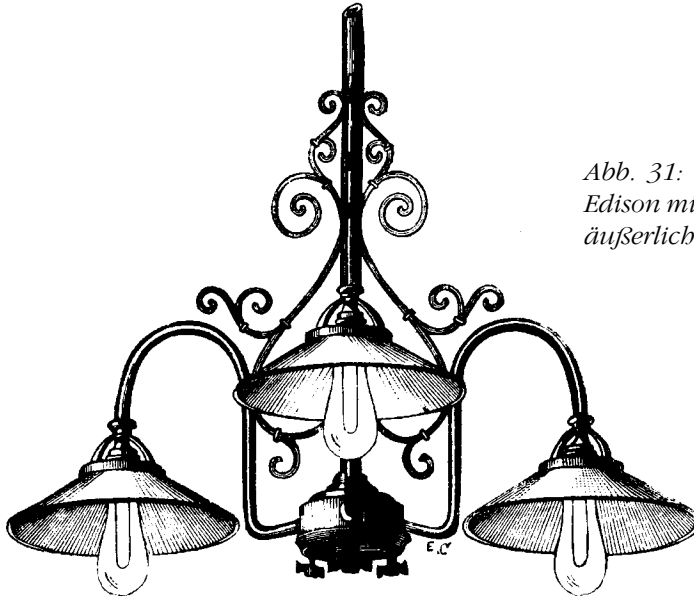


Abb. 31: Lampeneinrichtung von Edison mit einem Stromschalter, der äußerlich einem Gasbahn glich.

Aufgrund von technisch-wirtschaftlichen Überlegungen suchte Edison einen haltbaren Glühfaden mit einem hohen Widerstand, um sein elektrisches System mit hoher Spannung und damit kostengünstig betreiben zu können. Die Suche nach einem brauchbaren Material für die Glühfäden blieb nicht von Fehlschlägen verschont. Edison sah sich dem Gelächter seiner Fachkollegen und Konkurrenten ausgesetzt, als eine mit großem Aufwand angekündigte Glühlampe, in welcher der Glühfaden aus verkohltem Papier bestand, nach kurzer Zeit den Dienst versagte. In weiteren Versuchen ließ Edison von seinen Mitarbeitern 6000 verschiedene natürliche Fasern auf unterschiedlichem Wege verkohlen und entdeckte dabei im Jahr 1880, daß Bambusfasern als Glühstoff besonders geeignet waren. Mit einem japanischen Pflanzler schloß er daraufhin einen Liefervertrag für eine Bambussorte mit besonders gleichmäßiger und langer Faserung ab. Bei seinen Forschungsarbeiten griff Edison auf die praktischen Fertigkeiten hervorragender Mechaniker, Elektriker, Chemiker, Glasbläser und anderer Facharbeiter zurück. Edisons Leistung bestand darin, nicht nur technische Komponenten in einem System zu vereinen, sondern stets auch politische und ökonomische Faktoren zu berücksichtigen. Er befaßte sich mit den Kosten von Generatoren zur Bogenlichterzeugung, mit den Kupferpreisen für elektrische Leitungen und entwickelte sein elektrisches Beleuchtungssystem mit der Maßgabe, die Kosten von Gasbeleuchtungen zu unterschreiten.

Die Entwicklung der elektrischen Glühbirne wurde nicht zu dem Ziel vorangetrieben, die Helligkeit zu steigern, sondern vielmehr die sanfte Lichtstärke des Gaslichts zu imitieren. Ein Bericht über die Verwendung von Glühbirnen im Jahr 1881 verdeutlicht, wie außergewöhnlich das *milde elektrische Licht* für die Sehgewohnheiten der Zeitgenossen war, die bislang an die strahlende Helle von Bogenlampen gewöhnt waren:

Wir stellen uns das elektrische Licht gewöhnlich in Form blendend heller Lichtquellen vor, die in ihrer Härte dem Auge weh tun... Hier jedoch haben wir eine Lichtquelle vor uns, die irgendwie zivilisiert und unseren Gewohnheiten angepaßt wurde.

(Zitiert nach Schivelbusch 1983, S. 63).

Edisons Imitation des Gaslichts durch die elektrische Glühbirne erstreckte sich nicht nur auf die Nachahmung der Lichtstärke, sondern der gesamten Beleuchtungseinrichtung: Die Lichtträger ähnelten den bei Gasbeleuchtung gebräuchlichen Formen von Wandarmen und Kronleuchtern, der Lichtschalter glich einem Gashahn; ebenso wie Standlampen mit beweglichen Gasschläuchen versehen waren, so waren Edisons Lampen durch ein dünnes Leitungsseil mit der Stromquelle verbunden; die elektrischen Leitungen konnten in Röhren, die für die Verlegung von Gasleitungen hergestellt wurden, vergraben werden.

Die Konkurrenz von Gas und Elektrizität

Als 1881 das elektrische Glühlicht in Europa als Konkurrenz zum Gaslicht auftrat, hatte sich das Gaslicht als künstliche Lichtquelle fest etabliert. Zwar beherrschten Petroleumlampen die Außenbezirke von Städten und das flache Land, wo es keine Gasnetze gab. Um 1880 besaßen jedoch alle größeren und kleineren Städte ein Gasversorgungsnetz. 1885 gab es in Deutschland 668 Gasanstalten, denen 1888 erst 16 Elektrizitätswerke gegenüberstanden. Ein heftiger Streit entbrannte zwischen Befürwortern der Gasbeleuchtung und Anhängern des elektrischen Lichts. Ein wichtiges Argument für Gaslicht waren die höheren Kosten der elektrischen Alternative. Bis ins erste Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts blieb elektrisches Licht teurer als Gaslicht, auch wenn ein direkter Kostenvergleich immer problematisch blieb. Denn es war umstritten, wieviele Gasflammen man brauchte, um z.B. eine Bogenlampe zu ersetzen. Bogenlampen wurden aufgrund ihrer größeren Lichtstärke höher gehängt als Gasflammen und beleuchteten daher eine größere Fläche. Dennoch konnte je nach der Form der auszuleuchtenden Grundfläche durch geschickt verteilte Gasflammen eine günstigere Helligkeitsverteilung erreicht werden als mit ein paar wenigen Bogenlampen.

Um die Verwendung des teureren elektrischen Lichts zu rechtfertigen, wurden ihm Eigenschaften zugeschrieben, welche die Überlegenheit der neuen Lichtquelle demonstrieren sollten. Neben die „technische Konstruktion“ des elektrischen Lichts trat die „kulturelle Konstruktion“ von elektrischen Lampen als überlegene Lichtquellen: Ein wichtiges Argument von Befürwortern des elektrischen Lichts war dessen Sicherheit. Denn immer wieder erregten Meldungen über Unglücksfälle mit Gasbeleuchtungen die Aufmerksamkeit der kritischen Öffentlichkeit. Ende 1881 brannte das Wiener Ringtheater aufgrund einer unsachgemäßen Handhabung der Gasbeleuchtungsanlage nieder. Bei dem Unglück starben 384 Menschen. Weitere Risiken drohten durch die giftige Wirkung des Gases. Andererseits konnten auch Befürworter der Gasbeleuchtung auf die Gefahren des elektrischen Lichts hinweisen. Die Feuersicherheit des elektrischen Lichts war nur bedingt gewährleistet, immer wieder kam es beim Umgang mit elektrischem Strom zu Unfällen.

Anhänger des elektrischen Lichts wiesen außerdem darauf hin, daß Glühbirnen im Gegensatz zu Gasbeleuchtungen Räume nicht aufheizten und die Luft nicht durch Sauerstoffentzug verschlechterten. Man betonte die Bedienungsfreundlichkeit der elektrischen Beleuchtung, da das Anzünden der Gasflamme oder die Brennerreinigung entfiel. Insbesondere verband man jedoch elektrisches Licht mit Luxus und Prestige. Dies wird auch deutlich bei den Kunden von Elektrizitätswerken in der Frühzeit der Elektrifizierung: Theater, Banken, Geschäfte, Gaststätten und Hotels gehörten zu den ersten Abnehmern von Strom. Alle diese Abnehmer hatten das Interesse, durch elektrisches Licht Repräsentationsaufgaben zu erfüllen. Demgegenüber gehörten kaum Privathäuser oder industrielle Unternehmen zu den Kunden von Elektrizitätswerken.

Unter dem Druck der Konkurrenz beschäftigte man sich in Deutschland und Österreich mit der Verbesserung des Gaslichts. Carl Auer von Welsbach entwickelte dabei um 1885 das *Gasglühlicht*, bei dem nicht mehr die *Leuchtkraft* der Flamme, sondern deren *Heizkraft* entscheidend war: Die Flamme erhitzte ein feines Gewebe, das mit sogenannten „seltenen Erden“ wie Cer und Thorium imprägniert war, die dadurch ein helles Licht ausstrahlten. Der Gasverbrauch des Gasglühlichts reduzierte sich

Abb. 32: Carl Freiherr Auer von Welsbach (1858-1929) studierte in Wien und Heidelberg. Nach seiner Promotion bei Robert Wilhelm Bunsen ging er zurück nach Wien, wo er als Privatgelehrter am chemischen Institut arbeitete. Neben zahlreichen chemischen und technischen Forschungsarbeiten entwickelte er in seinem Labor den Gasglühstrumpf. Er begann anfangs unter zahlreichen Schwierigkeiten wie Mangel an Kapital und an kaufmännischem Geschick mit der Produktion des Glühstrumpfs in einem alten Fabrikgebäude, wodurch er den Grundstein seiner industriellen Entwicklungstätigkeit legte. Nach der Markteinführung seiner Produkte, zu denen auch eine Metallfadenslampe und Feuer- und Gaszünder gehörten, wandte er sich wieder seinen akademischen Arbeiten zu.



bei gleicher Helligkeit gegenüber dem herkömmlichen Gaslicht auf etwa ein Fünftel der Gasmenge. Der Betrieb einer Auer'schen Gasbeleuchtung kostete ein Fünftel bis ein Sechstel der elektrischen Beleuchtung durch eine Kohlenfadenlampe. Rasch verbreitete sich die neue Beleuchtungsform in Privathäusern und zur Beleuchtung öffentlicher Plätze, während die Verbreitung von Glühbirnen und Bogenlampen zurückging und stagnierte. Die „alte Technik“ des Gaslichts wurde angesichts der Konkurrenz der „neuen Technik“ der elektrischen Glühbirne modernisiert und konnte dadurch zu einem ernsthaften Rivalen des elektrischen Lichts werden.

Das Gaslicht behauptete seine Stellung gegenüber dem elektrischen Licht nicht nur aufgrund technischer Innovationen. Vielmehr bewirkten wirtschaftliche Faktoren eine Verbilligung des Gaspreises und vergrößerten dadurch die Konkurrenzfähigkeit des Gaslichts. Darüber hinaus gab es bei den Besitzern von Gasanstalten, die oft in öffentlicher Hand lagen, nicht zu unterschätzende Interessen zur Wahrung des Besitzstands. Sie befürworteten die Verbreitung von Gasbeleuchtungen aus Furcht vor finanziellen Einbußen durch die elektrische Beleuchtung.

Doch auch im Bereich der Elektrizität gingen die Bemühungen weiter, die Konkurrenzfähigkeit der verschiedenen Formen des elektrischen Lichts zu steigern: In den USA verbreiteten sich rasch geschlossene Bogenlampen mit eingeschränkter Luftzufuhr. Die Brenndauer steigerte sich gegenüber den herkömmlichen, offenen Lampen um das Zehnfache auf bis zu 150 Stunden; die Lampen brannten ruhiger und waren widerstandsfähiger. Zudem milderte ein Glasschirm das blendende Bogenlicht. Diese Lampen konnten eingeschränkt auch zur Beleuchtung von Innenräumen eingesetzt werden und traten damit in einen Wettbewerb mit dem elektrischen Glühlicht.

Auch beim elektrischen Glühlicht ging die technische Entwicklung weiter: 1898 erwarb die „Österreichische Gasglühlicht- und Elektrizitätsgesellschaft“ Patente einer neuen Metallfadenlampe, die ebenfalls von Auer von Welsbach entwickelt worden war. Die Firma suchte dadurch eine Ausweitung ihrer Marktanteile auf dem elektrischen Beleuchtungssektor zu erreichen. Daraufhin experimentierten zahlreiche Unternehmen der Elektrotechnik mit weiteren Metallen, deren hoher Schmelzpunkt eine Verwendung als Glühdraht ermöglichte. Eine Lampe mit einem Glühfaden aus einer Legierung von Osmium und Wolfram verbrauchte schließlich nur ein Viertel der Energie der Kohlenfadenglühlampen von Edison. Damit konnte das elektrische Licht auch preislich mit dem Gaslicht konkurrieren.

Neben technische Weiterentwicklungen zur Verbilligung elektrischer Beleuchtungsanlagen und eine intensive Werbung traten nach der Jahrhundertwende von Seiten der elektrotechnischen Industrie Bestrebungen, durch Absprachen und Marktaufteilungen den Absatz von Glühbirnen sicherzustellen. 1902 wurde unter Führung von Siemens & Halske und der AEG das „Kontinentale Syndikat für Kohlenfadenlampen“ gegründet, das jedoch angesichts der Konkurrenz durch Metallfadenlampen

rasch sinkende Verkaufszahlen zu verzeichnen hatte. 1911 folgten Preisabsprachen zwischen den wichtigsten Inhabern von Patenten für Metallfadenlampen.

Durch die verschiedenen Beleuchtungsformen der Glühlampen und der Bogenlampen stand eine große Bandbreite an Lichtstärken zur Verfügung, die entsprechend den Anforderungen der Anwendungspraxis eingesetzt werden konnten. Eine umfassende Elektrifizierung der Städte und die Verbreitung von Wechselstromsystemen wurde jedoch nicht nur durch den Gebrauch elektrischen Lichts vorangetrieben. Nach 1890 bekamen Elektrizitätswerke durch den Ausbau elektrischer Straßenbahnen und die Verwendung von Elektromotoren im Kleingewerbe zahlreiche neue Kunden.

Nachbau und Versuche

Die Bogenlampe von Archereau

Im Deutschen Museum wurde eine Bogenlampe mit dem von Archereau entwickelten Regulator nachgebaut. Die Lampe entspricht dem Konstruktionsprinzip einer der *ersten* Bogenlampen mit einem elektrischen Regulator.



Abb. 33: Nachbau der Bogenlampe von Archereau.

Archereau schaltete die Windungen eines Elektromagneten in die stromdurchflossene Leitung einer Bogenlampe. Die positive Kohle ist oben unbeweglich befestigt. Die negative Kohle ist auf einem Träger befestigt, dessen oberer Teil aus einem Eisenkern besteht, und der beweglich durch den Elektromagneten gleitet. Durch ein Gegengewicht wird die negative Elektrode im stromlosen Zustand leicht gegen die positive Kohle gepreßt. Beim Einschalten fließt ein Kurzschlußstrom. Der Eisenkern des Trägers der negativen Kohle wird magnetisch in die Spule hineingezogen, wodurch ein Lichtbogen entsteht. Der *Sollwert* der Regelung von Archereau ist eine bestimmte Stromstärke innerhalb der Lichtbogenlampe. Archereau benützte als *Regelgröße* die Stromstärke. Aufgrund der *Störgröße*, dem Abbrand der Elektroden, vergrößert sich der Widerstand im Bogen. Dies vermindert die Stromstärke und damit auch die Anziehungskraft des Elektromagneten. Die *Regeldifferenz* zwischen dem Sollwert und dem Istwert gleicht die *Regeleinrichtung* aus, in der die Regeldifferenz aufgrund der einander entgegen wirkenden Kräfte des Elektromagneten und des Gewichts in eine mechanische Größe umgewandelt wird. Dadurch wird die *Stellgröße*, der Abstand der Elektroden, verändert. Nach ein paar Pendelbewegungen erfolgt ein Ausgleich zwischen den Kräften des Elektromagneten und des Gewichts.

Die Regelung von Archereau zeichnete sich zwar durch Einfachheit aus, jedoch traten beim praktischen Einsatz Schwierigkeiten auf: Der wesentliche Mangel lag darin, daß die Wirkung des Elektromagneten auf den Eisenkern je nach dessen Lage variierte, während die Gegenkraft des Gewichts unveränderlich blieb. Die Lampe brannte dadurch sehr unruhig. Außerdem wanderte der Lichtpunkt bei Archereaus Lampe, da eine Elektrode fest montiert war. Dadurch war eine Verwendung mit Linsensystemen, die einen festen Lichtpunkt erforderten, unmöglich.

Einbindung in den Unterricht

Es gibt vielfältige Möglichkeiten, den Nachbau der Lichtbogenlampe in den berufskundlichen Unterricht einzubauen. Die damit verbundenen Lernziele hängen von der spezifischen Unterrichtssituation ab.

Es besteht bei historischen Rekonstruktionen immer die Gefahr, die Illusion eines historisch authentischen Objekts zu vermitteln. Auch durch einen Nachbau kann kein direkter Zugang zu einer vergangenen Wirklichkeit geschaffen werden. Der Unterschied unserer gegenwärtigen Erfahrungswelt zum Kenntnisstand der Ingenieure des frühen 19. Jahrhunderts, zu ihrem kulturellen Hintergrund und ihrer Arbeitspraxis machen eine Rekonstruktion der damaligen praktischen Arbeitserfahrungen unmöglich. Anhand des Nachbaus können jedoch grundlegende technische Probleme der heutigen Lichttechnik veranschaulicht werden. Außerdem bietet ein historischer Nachbau die Möglichkeit, technikübergreifenden Fragestellungen nachzugehen. Für den Unterricht ergeben sich damit folgende inhaltlichen Schwerpunkte, die anhand der Lichtbogenlampe angesprochen werden können:

- ♦ Bei einer Darstellung der *historischen Entwicklung* der Bogenlampe steht der Aufbau, die Wirkungsweise und Anwendung von Beleuchtungsanlagen im Zentrum. Dabei können größere Themenkomplexe angesprochen werden: Wie vollzog sich der Übergang von wissenschaftlichen Experimenten in Laboratorien zu technischen Geräten in der alltäglichen Anwendung? In welcher Weise setzten sich neue Technologien auf dem Markt durch? Wie wurde die Technikentwicklung durch die Konkurrenz von Beleuchtungssystemen vorangetrieben?
- ♦ Beim *Nachbau* selbst werden Fertigkeiten in der Werkstoffverarbeitung vermittelt. Grundbegriffe der Licht- und Beleuchtungstechnik können anschaulich in den Unterricht eingeführt werden. Insbesondere können jedoch Grundlagen der Steuerungs- und Regelungstechnik dargestellt werden. Die Wirkungsweise der Regelung von Arceau wurde oben bereits umrissen. Nach der Rekonstruktion der Lampe bietet sich als Experiment die Aufnahme der Kennlinie der Regelung an. Dabei wird der Zusammenhang zwischen Regelgröße x und Stellgröße y graphisch festgehalten.

Ein erfolgreicher Nachbau dieser wirkungsvollen Lichtquelle gibt Motivation für weitere Arbeiten im Fachgebiet. Gleichzeitig sind die Wirkungsprinzipien leicht zugänglich und verständlich. Durch den Nachbau werden wir von der Faszination erfaßt, die das Bogenlicht ausübt: Das lebendige Zucken des Bogens, das Zischen der Entladung, die große Helligkeit üben eine enorme Anziehungskraft aus. Das technikhistorische Objekt ist dabei ein Teil unserer Gegenwart und weckt unser Interesse für Fragestellungen, die den Rahmen der reinen Technikentwicklung überschreiten.

Nachbau der Bogenlampe

Die Einzelteile für den Bau der Bogenlampe werden entsprechend den Konstruktionszeichnungen angefertigt. Die Unterlage für den gesamten Aufbau bildet die Grundplatte (Position 1-5), die zunächst mit den angegebenen Bohrungen versehen wird (vgl. Konstruktionspläne 1 (2-5); 1; 2; 4). In der Bodenplatte werden die Anschlußbuchsen befestigt (Position 9, 42, 46, 49; Konstruktionsplan 9). Vergleiche dazu die Einzelzeichnungen auf der Gesamtansicht der Konstruktionspläne.

Danach beginnt der Aufbau der Spulenhalterung (Konstruktionspläne 6; 7): In die untere Verbindungslasche (Position 6) werden die entsprechenden Bohrungen für die Halterung der negativen Elektrode, der Umlenkspule und des zu ihrer Befestigung notwendigen Spreizdübels angebracht. Dann werden die Befestigungen für die Umlenkspule (Position 23; 24; 27; 53; Konstruktionsplan 23, 24, 27) montiert. Danach wird die Spule mit Wicklung (Position 15; 60; Konstruktionsplan 15) zwischen die untere und obere Verbindungslasche geleimt (Position 6; 7). Zu beachten ist, daß die Enden der Spulenwicklung oben und unten durch Bohrungen in den Verbindungslaschen durchgeführt werden. Nun kann auch die obere Verbindungslasche aus Messing vorbereitet werden

(Position 8; 10; 11; 39; Konstruktionspläne 8; 10; 11). Der Haltering für die positive Elektrode (Position 10) wird auf der oberen Verbindungs-lasche befestigt.

Nun wenden wir uns dem Bau der Elektrodenhalterungen zu. Die beiden Elektroden werden mit einer Rändelschraube (Position 31; Konstruktionsplan 31) im Spannring der Elektrodenaufnahmerohre (Position 12; 22; Konstruktionsplan 12; 22) befestigt. Danach wird der Eisenkern (Position 14; Konstruktionsplan 14) am unteren Ende durch Anbringen des Messingrohrs (Position 26, Konstruktionsplan 26) verlängert. Am Ende des Messingrohrs wird eine Umlenkspule angebracht (Position 25; 57; Konstruktionsplan 25). Die negative Elektrodenhalterung wird über den Spannring (Position 13; Konstruktionsplan 13) mit dem Eisenkern verbunden.

Danach beginnt der Aufbau des Führungsgestänges. Die Spannstangen (Position 18; Konstruktionsplan 18) werden auf der Unterseite der Bodenplatte mit Muttern gesichert (Position 43; 50). Dann werden von oben Messingrohre (Position 21, 20, 19; Konstruktionsplan 19; 20; 21), Abschlußbringe (Position 16, 17; Konstruktionsplan 16; 17), die Spulenhalterung, darin die negative Elektrodenhalterung, eingesetzt. In das untere Führungsrohr, das bei den Anschlußbuchsen liegt, wird ein isoliertes Kabel (Position 64; Länge: 0,25m) von der Unterseite der unteren Verbindungs-lasche zur Bodenplatte geführt. Von dort wird auf der Unterseite ein Kabel zum negativen Pol gelegt. Abschließend wird die obere Verbindungs-lasche mit den vorbereiteten Abschlußmutter festgeschraubt, wodurch die Führungsstangen eingespannt werden. Nun werden die Elektrodenhalterungen mit den Kohlestiften (Position 35) an den dafür vorgesehenen Stellen angeschraubt und das Gegengewicht an einer Schnur (Position 61), die über die zwei Umlenkrollen am Ende der Elektrodenhalterung und an der Verbindungs-lasche geführt wird, befestigt (Position 32; Konstruktionsplan 32). Die Gewichtskraft muß nach der Umlenkung die Elektrodenhalterung nach oben drücken.

Zum Schluß wird der Stromkreis durch das Legen der fehlenden Kabel geschlossen. Der Strom fließt von der positiven Anschlußbuchse durch ein isoliertes Kupferkabel (Position 65; 80; 74) auf der Unterseite der Bodenplatte zur fernerer Spannstange. Der Strom fließt dann durch die Spannstange und die obere Verbindungs-lasche aus Messing zur oberen positiven Kohle. Dann folgt der Lichtbogen zur negativen Kohle. Von dort wird der Strom durch eine Litze (Position 66) zur Spule geleitet. Von dort führt ein isoliertes Kabel auf der Unterseite der unteren Verbindungs-lasche durch ein Rohr der Lampenhalterung zur Bodenplatte, wo eine Verbindung zur negativen Anschlußbuchse hergestellt wird.

Vor dem Entzünden muß jedoch unbedingt eine Sichtblende nach vorliegenden Konstruktionsangaben angefertigt werden (Position 28; 29; 30; Konstruktionspläne 28; 29; 30). Außerdem ist bei der Bedienung der Lampe auf offene stromführende Teile zu achten.

Die Lampe brennt bei einer Spannung von 40 bis 50V und regelt auf eine Stromstärke von ca. 8A, der Abstand der Kohleelektroden beträgt

dabei ungefähr 0,7cm. Beim Zünden der Lampe fließt ein Kurzschlußstrom, der anfangs heftige Pendelbewegungen der negativen Elektrode verursacht. Erst wenn diese Ausschläge abgeklungen sind, brennt die Lampe ruhig.

Literaturverzeichnis

- Braun, Hans-Joachim: Gas oder Elektrizität? Zur Konkurrenz zweier Beleuchtungssysteme, 1880-1914. In: Technikgeschichte 47 (1980), S. 1-19.
- Bright, Arthur A. Jr.: The Electric-Lamp Industry. Technological Change and Economic Development from 1800 to 1947. New York 1949.
- Czudnochowski, Walther Biegong von: Das elektrische Bogenlicht. Seine Entwicklung und seine physikalischen Grundlagen. Leipzig 1906.
- Duschnitz, B.: Der Werdegang des elektrischen Lichtbogens. In: Physikalische Zeitschrift 31 (1930), S. 232-240.
- Hughes, Thomas P.: Networks of Power. Electrification in Western Society 1880-1930. Baltimore 1983.
- König, Wolfgang / Weber, Wolfhard: Netzwerke, Stahl und Strom 1840 bis 1940. [Propyläen Technikgeschichte Bd. 4, hrsg. von Wolfgang König]. Berlin 1990.
- Lindner, Helmut: Strom. Erzeugung, Verteilung und Anwendung der Elektrizität. Reinbek 1985.
- Schivelbusch, Wolfgang: Lichtblicke. Zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert. München / Wien 1983.
- Zängl, Wolfgang: Deutschlands Strom. Die Politik der Elektrifizierung von 1866 bis heute. Frankfurt / New York 1989.

Bildquellennachweis

Deutsches Museum Bildarchiv-Sondersammlung

1 (Nr. 3178), 2 (Nr. 9872), 3 (Nr. 2157), 4 (Nr. 15560);
5 (Nr. 31647); 6 (Nr. 44464); 7 (Nr. 7338); 11 (Nr. 30126),
14 (Nr. 2294); 16 (Nr. 2822); 17 (Nr. 7336); 18 (43801);
19 (Nr. 9892), 20 (Nr. 9888); 21 (Nr. 7337); 26 (Nr. 43919);
28 (Nr. 15561); 29 (Nr. 43802); 30 (Nr. 2227); 32 (Nr. 6178); 33

Czudnochowski (1906), Das elektrische Bogenlicht

8 (S. 105); 10 (S. 149); 22 (Tafel 29, Fig. 337); 23 (S. 208);
24 (Tafel 25, Fig. 317); 25 (Tafel 1, Fig. 127);
27 (Tafel 13, Fig. 228)

La Lumière Électrique 2 (1880)

15 (S. 303)

Zeitschrift für angewandte Elektrizitätslehre 2 (1880)

9 (S. 8); 12 (S. 9); 13 (S. 11)

Zeitschrift für angewandte Elektrizitätslehre 4 (1882)

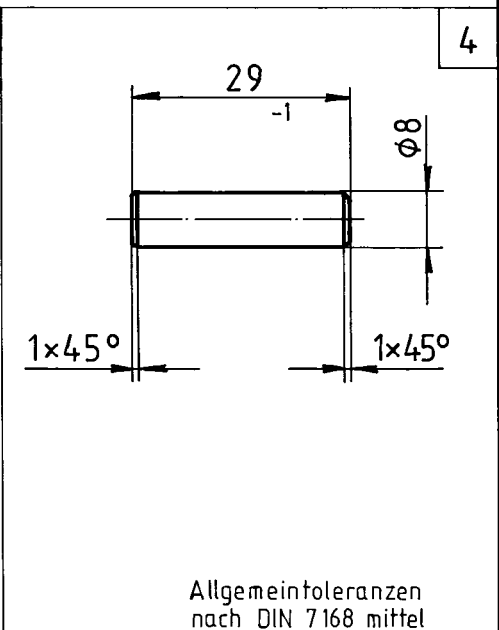
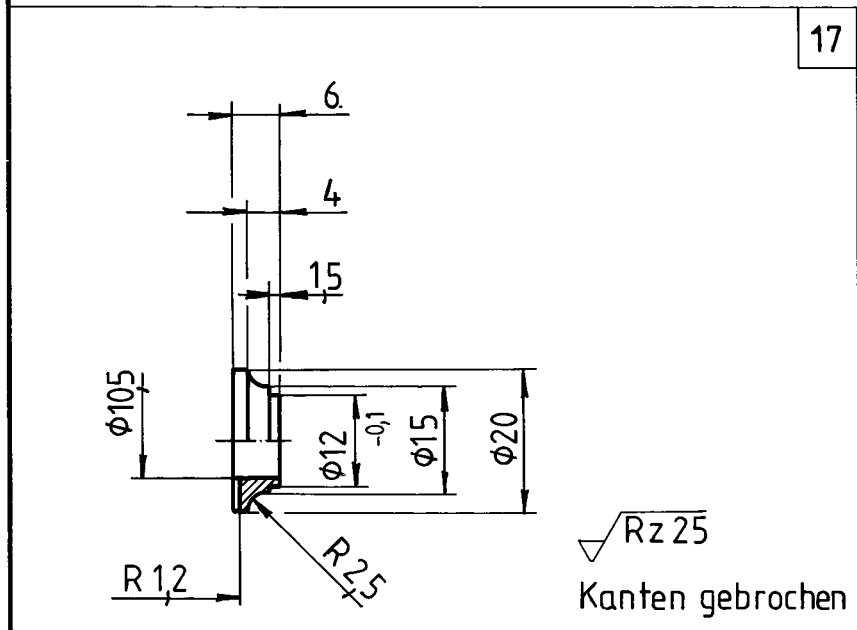
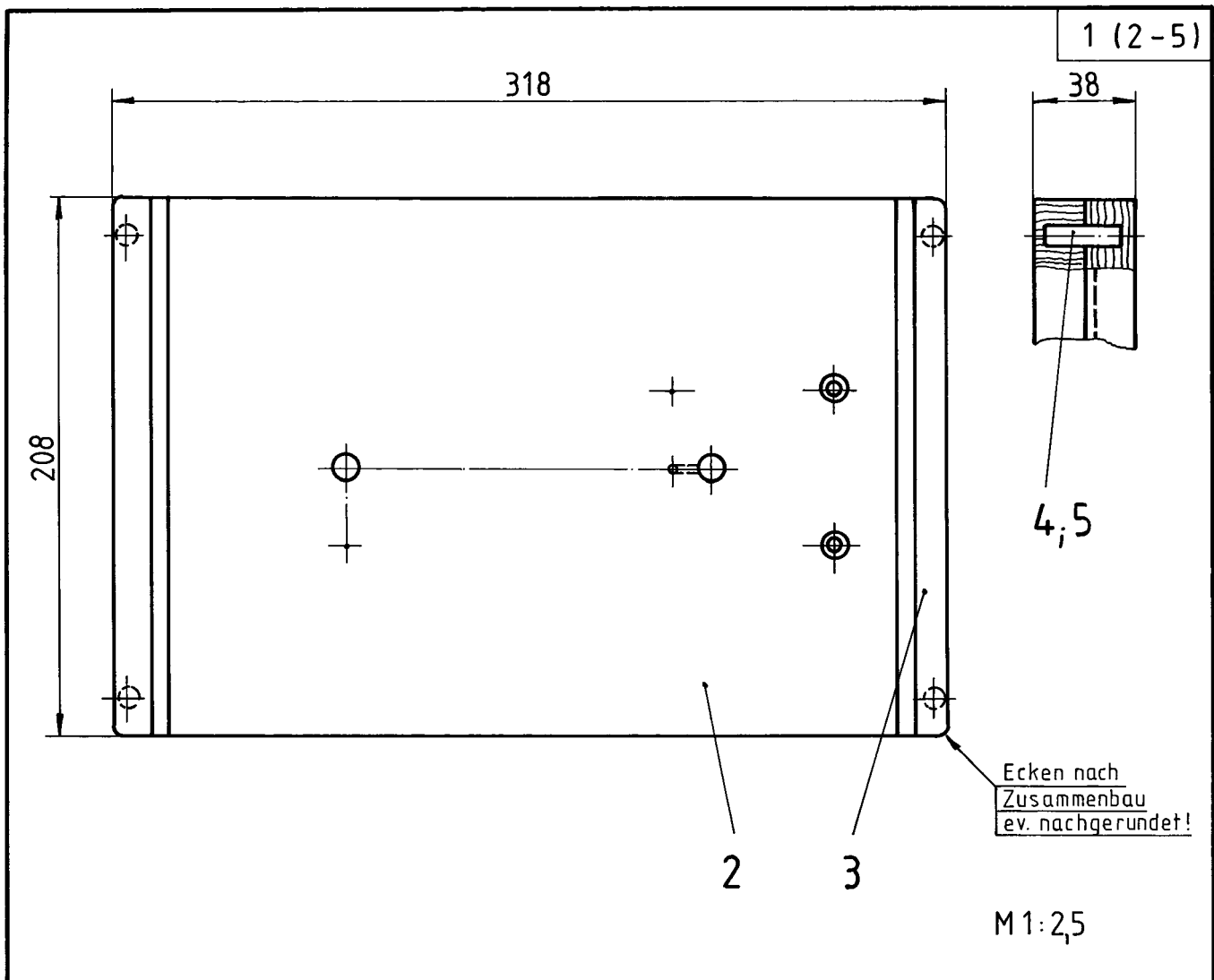
31 (S. 12)

Konstruktionszeichnungen

Zur Beachtung:

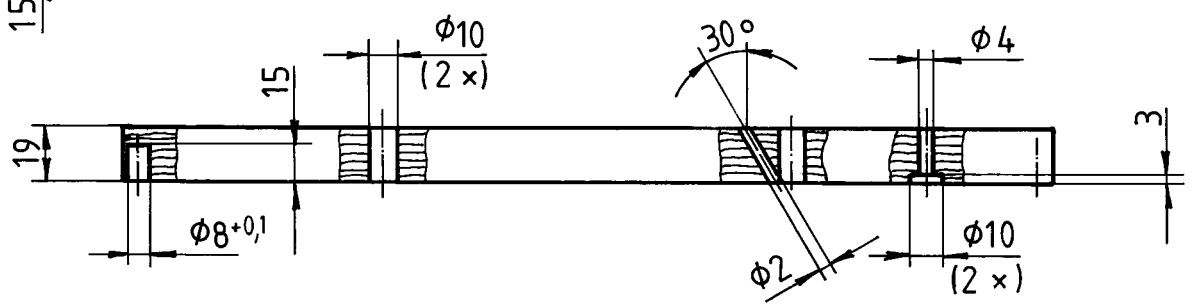
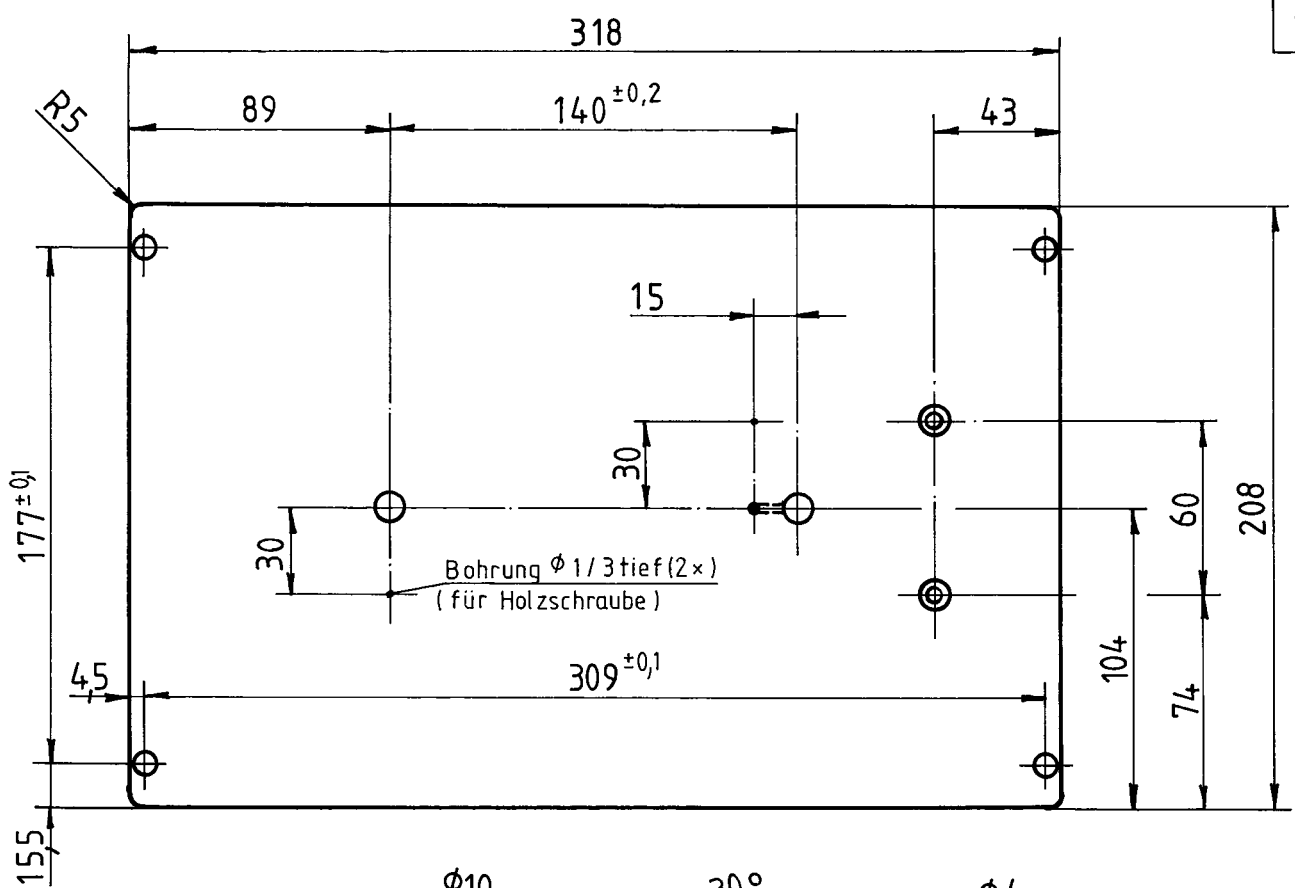
Die Zeichenpläne mußten zum Teil für den Druck verkleinert werden. Der angegebene Maßstab ist für diese Zeichnungen nicht mehr zutreffend.

54						
53	1	Ringschraube mit Holzgewinde	Ms	10 × 3		
52	1	Ringschraube mit Holzgewinde	Ms	10 × 4		
51						
50	2	Scheibe	St	84		125
49	3	Scheibe	St	43		125
48						
47						
46	2	Gewindestift	Cu Zn 40 Pb 2	M4 × 35		551
45						
44						
43	2	Sechskantmutter	Cu Zn 40 Pb 2	M8		439
42	8	Sechskantmutter	Cu Zn 40 Pb 2	M4		934
41						
40						
39	5	Zylinderschraube	Cu Zn 40 Pb 2	M4 × 10		84
38	1	Zylinderschraube	Cu Zn 40 Pb 2	M3 × 8		84
37						
36						
35	2	Kohleelektroden		Rd6 × 100	Fa.C. Konraty	
34						
33						
32	1	Gewicht	Pb	Rd 36 × 24		
31	3	Rändelschraube	Cu Zn 39 Pb 3	Rd 16 × 16		17 660
30	1	Schutzscheibe	PMMA - blau	Fl. 3 × 200 × 300	Typ blau - 627	
29	2	Halter - unten	Al Mg Si 0,5	Bl. 3 × 30 × 140		17 99
28	2	Halter - oben	Al Mg Si 0,5	Bl. 3 × 30 × 140		17 99
27	2	Spreizdübel	Cu Zn 39 Pb 3	Rd.8 × 8		17 56
26	1	Rohr	Ms63	R 16 × 1 × 135		17 55
25	1	Umlenkrolle	Cu Zn 39 Pb 3	Rd 20 × 35		17 56
24	1	Umlenkrolle	Cu Zn 39 Pb 3	Rd 20 × 25		17 56
23	1	Rollenhalter	Cu Zn 39 Pb 3	Rd 10 × 32		17 56
22	2	Elektrodenaufnahme-rohr	Ms63	R 8 × 1 × 103		17 55
21	2	Rohr	Ms63	R 14 × 1 × 120		17 55
20	2	Rohr	Ms63	R 14 × 1 × 104		17 55
19	2	Rohr	Ms63	R 14 × 1 × 222		17 55
18	2	Spannstange	9s 20 k	Rd 10 × 546		668
17	1	Abschlußring	Cu Zn 39 Pb 3	Rd 20 × 6		17 56
16	11	Abschlußring	Cu Zn 39 Pb 3	Rd 20 × 6		17 56
15	1	Spulenkörper	Hartholz	Rd 58 × 114		
14	1	Eisenkern	9S20 k	Rd 16 × 137		668
13	1	Spannring	9S20 k	Rd 38 × 8		668
12	2	Spannring	Cu Zn 39 Pb 3	Rd 20 × 8		17 56
11	2	Abschlußmutter	Cu Zn 39 Pb 3	Rd 20 × 26		17 56
10	1	Haltering	Cu Zn 39 Pb 3	Rd 40 × 24		17 56
9	2	Buchse	Cu Zn 39 Pb 3	Rd 15 × 46		17 56
8	1	Verbindungsflasche	Cu Zn 40 Pb 2	Bl. 4 × 75 × 176		17 51
7	1	Verbindungsflasche	Mahagoni - Holz	Fl. 15 × 75 × 176		
6	1	Verbindungsflasche	Mahagoni - Holz	Fl. 15 × 75 × 176		
5	1	Holzleim			Fa. Ponal	
4	4	Dübel	Holz	Rd.8 × 29		
3	2	Bodenleiste	Mahagoni - Holz	Fl. 20 × 19 × 208		
2	1	Bodenplatte	Mahagoni - Holz	Fl. 19 × 208 × 318		
1	1	Bodenplatte kpl.	besteht aus Pos.(2 - 5)			
Pos.	Menge	Benennung	Werkstoff	Abmessung	Bemerkung	DIN
Stückliste zu Lichtbogenlampe nach Archereau						Maßstab



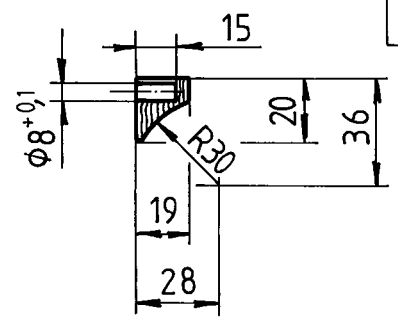
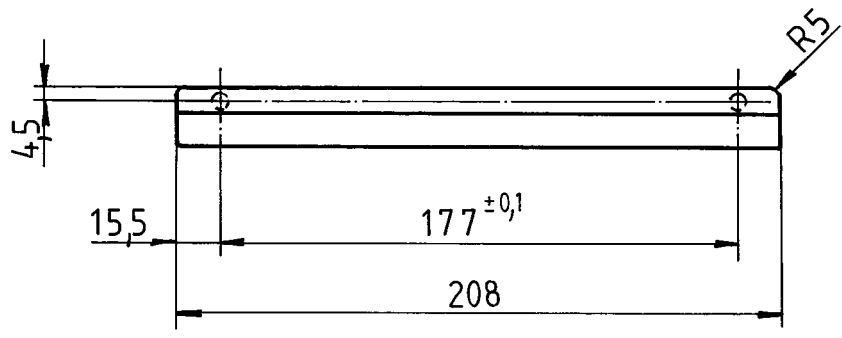
Pos.	Menge	Benennung	Werkstoff / Norm - Kurzbezeichnung	Bemerkung	
17	1	Abschlußring	Cu Zn 39 Pb 3		
5	1	Holzleim	Fa. Ponal		
4	4	Dübel	Holz		
3	2	Bodenleiste	Mahagoni - Holz	Paßmaß	Abmaß
2	1	Bodenplatte	Mahagoni - Holz		
1	1	Bodenplatte kpl.	besteht aus Pos.(2 - 5)		
Allgemeintoleranzen nach DIN 7168 mittel					
Einzelteile zu Lichtbogenlampe nach Archereau					
					Maßstab 1:1; 1:2,5

1



Kanten gebrochen

2



Kanten gebrochen

Allgemeintoleranzen nach DIN 7168 mittel

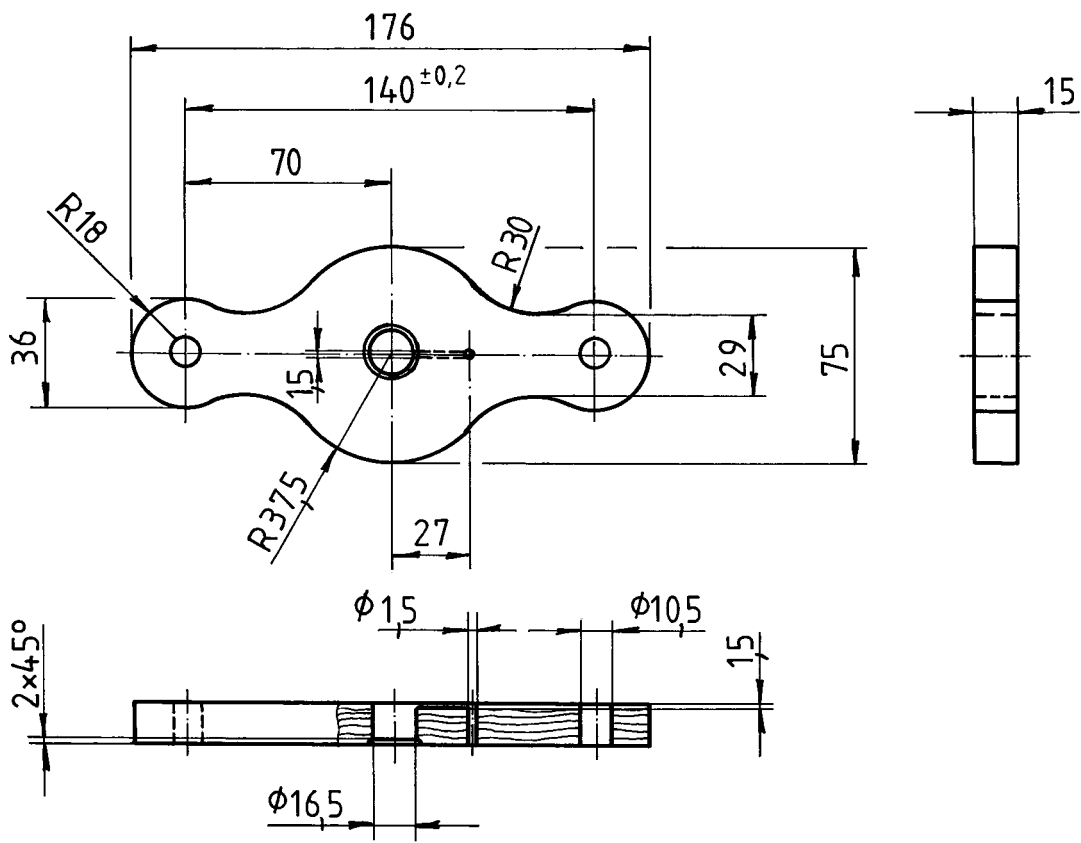
Paßmaß	Abmaß

2	2	Bodenleiste	Mahagoni - Holz	
1	1	Bodenplatte	Mahagoni - Holz	
Pos.	Menge	Benennung	Werkstoff / Norm - Kurzbezeichnung	Bemerkung

Einzelteile zu Lichtbogenlampe nach Archereau

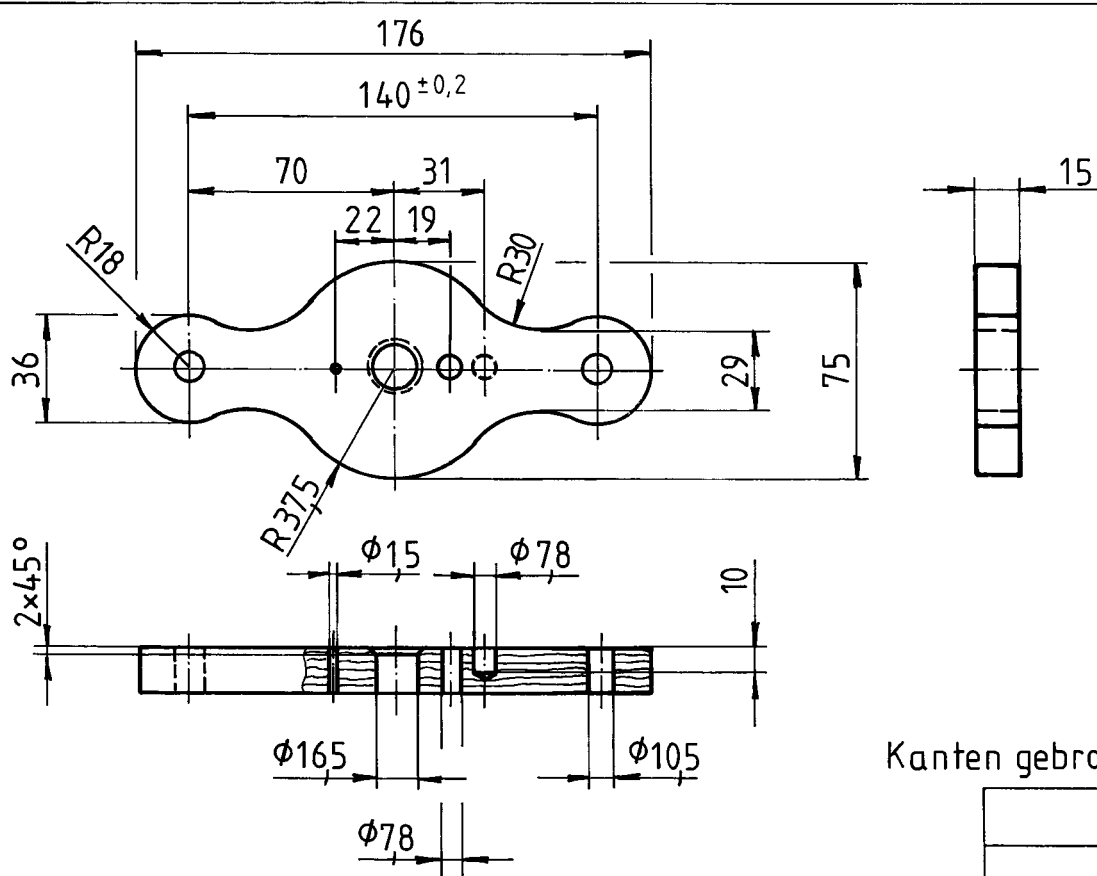
Maßstab
1:2,5

7



Kanten gebrochen

6



Kanten gebrochen

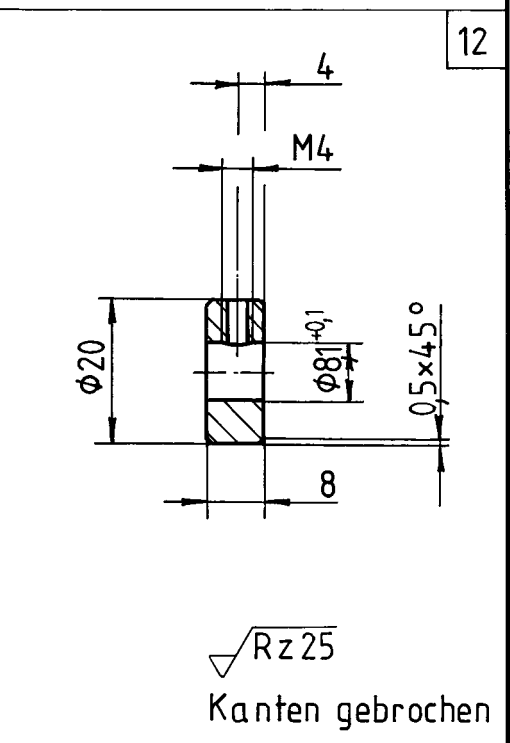
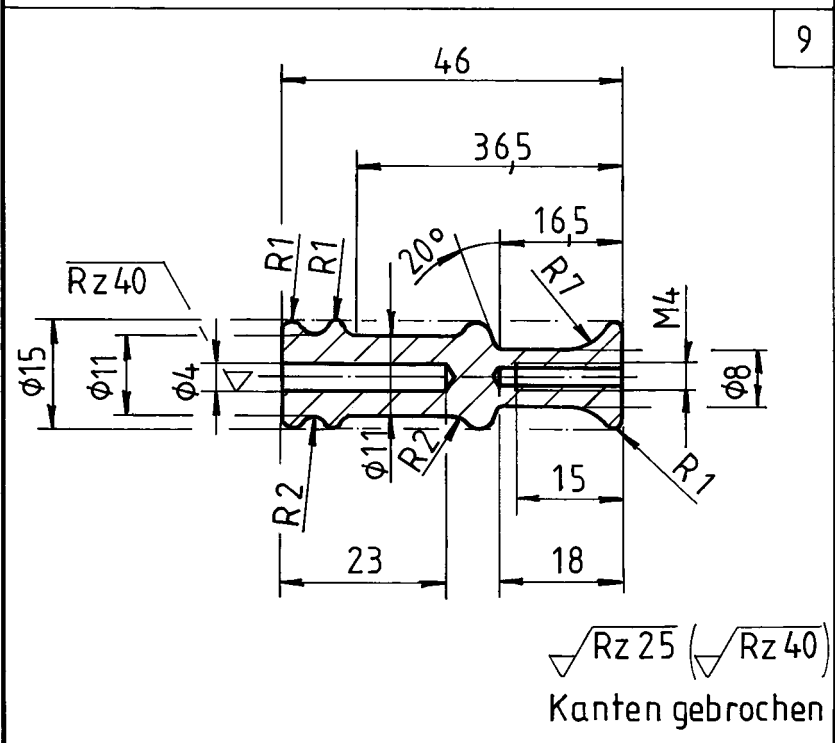
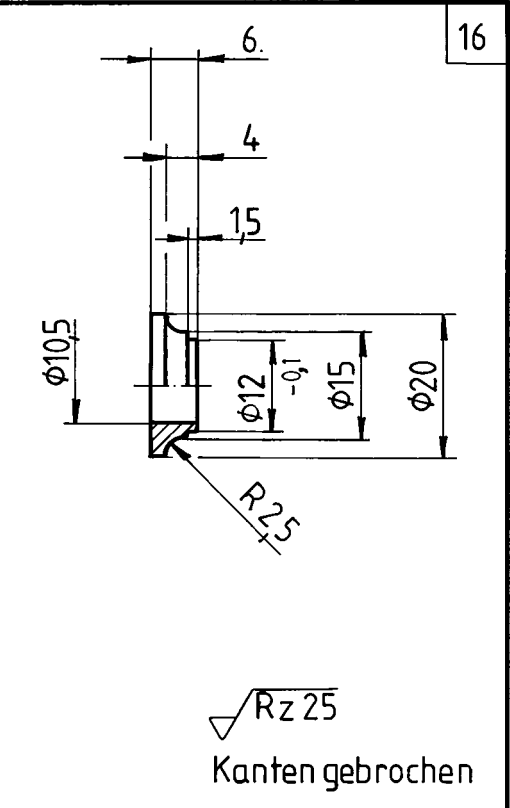
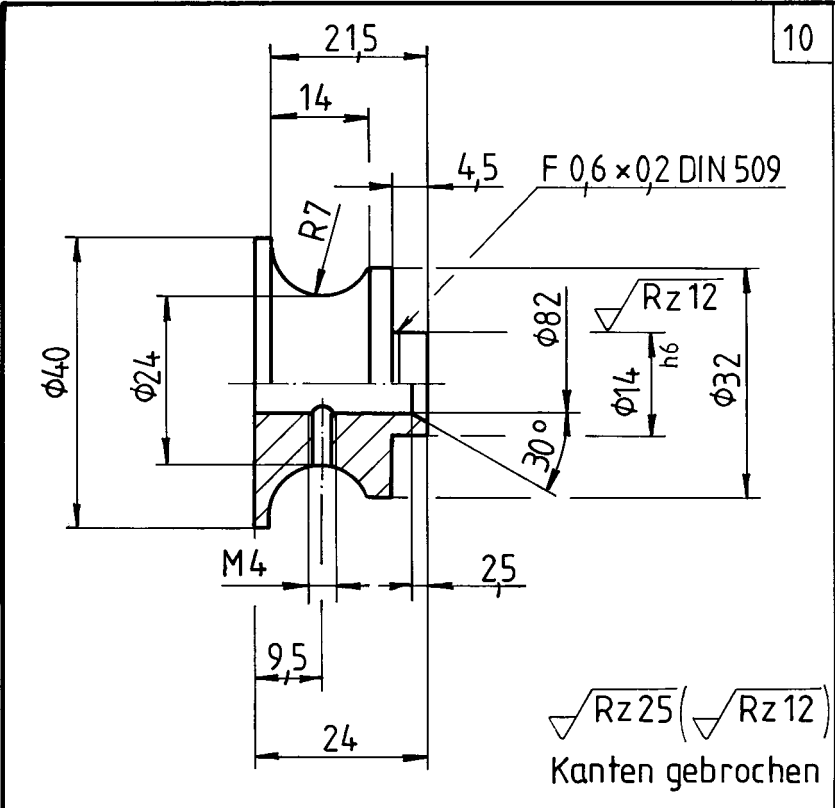
Paßmaß	Abmaß

Allgemeintoleranzen nach DIN 7168 mittel

7	1	Verbindungslasche	Mahagoni - Holz	
6	1	Verbindungslasche	Mahagoni - Holz	
Pos.	Menge	Benennung	Werkstoff / Norm - Kurzbezeichnung	Bemerkung

Einzelteile zu Lichtbogenlampe nach Archereau

Maßstab
1:25

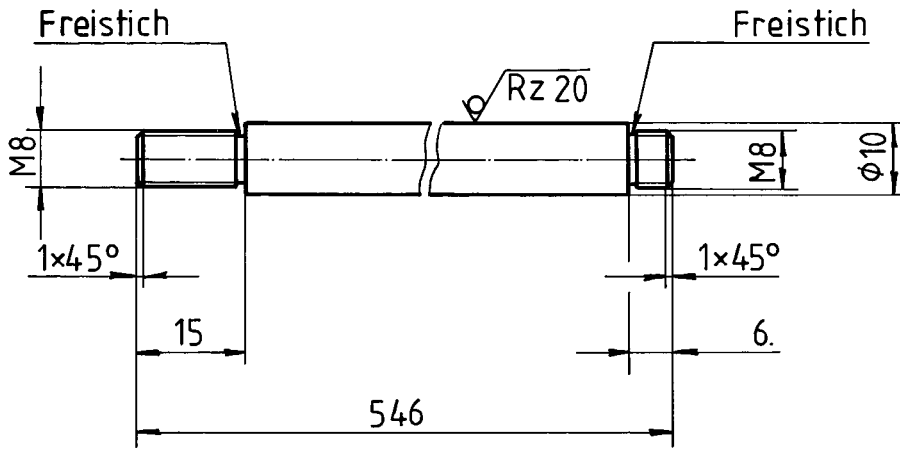


Allgemeintoleranzen nach DIN 7168 mittel

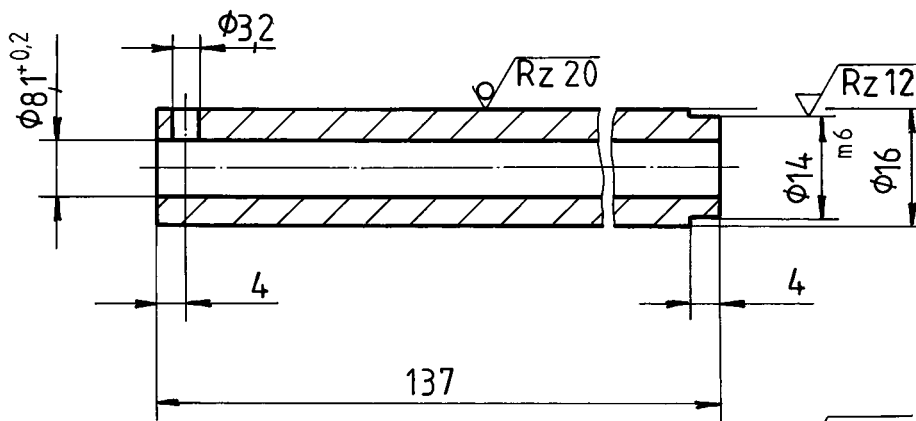
10	1	Haltering	Cu Zn 39 Pb 3	14 _{h6}	0 -11
16	11	Abschlußring	Cu Zn 39 Pb 3	Paßmaß	Abmaß
12	2	Spannring	Cu Zn 39 Pb 3		
9	2	Buchse	Cu Zn 39 Pb 3		
Pos.	Menge	Benennung	Werkstoff / Norm - Kurzbezeichnung	Bemerkung	

Einzelteile zu Lichtbogenlampe nach Archereau

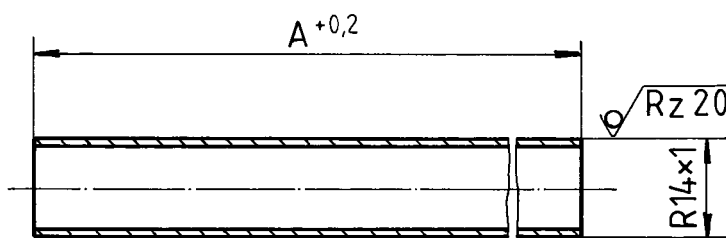
Maßstab
1:1



$\sqrt{Rz 40}$ ($\sqrt{Rz 20}$)
Kanten gebrochen



$\sqrt{Rz 40}$ ($\sqrt{Rz 20}$ $\sqrt{Rz 12}$)
Kanten gebrochen



$\sqrt{Rz 40}$ ($\sqrt{Rz 20}$)
Kanten gebrochen

20	104
21	120
19	222
Pos.	A

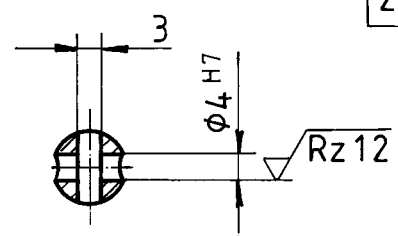
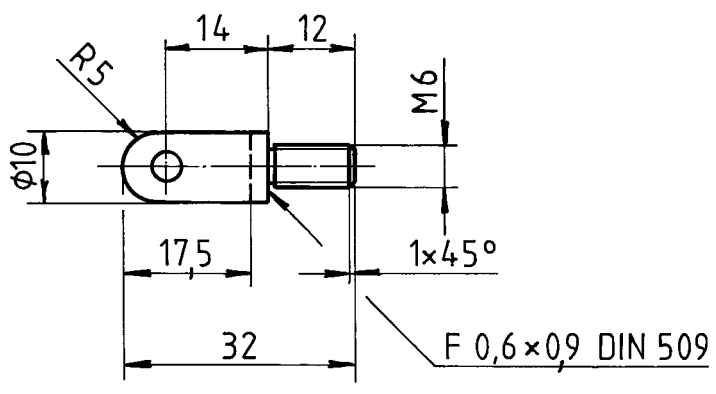
Allgemeintoleranzen nach DIN 7168 mittel

Pos.	Menge	Benennung	Werkstoff / Norm - Kurzbezeichnung	Bemerkung
18	2	Spannstange	9 S 20k	
14	1	Eisenkern	9 S 20k	
21	2	Rohr	Ms 63	
20	2	Rohr	Ms 63	
19	2	Rohr	Ms 63	

Einzelteile zu Lichtbogenlampe nach Archereau

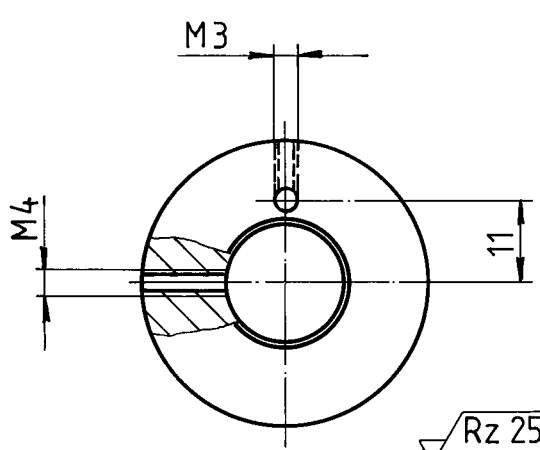
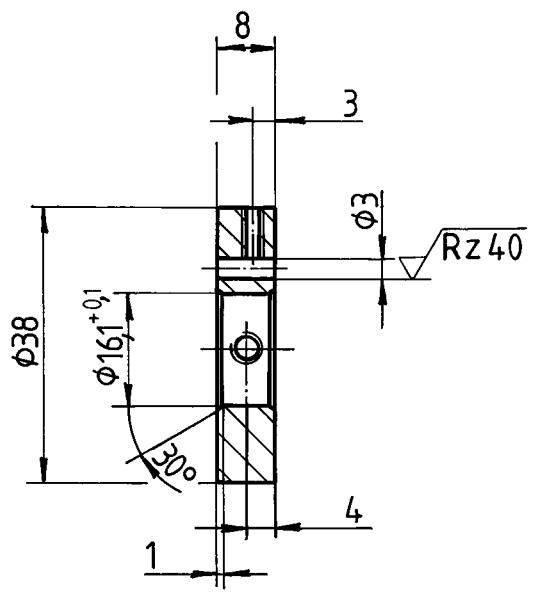
Maßstab
1:1

23



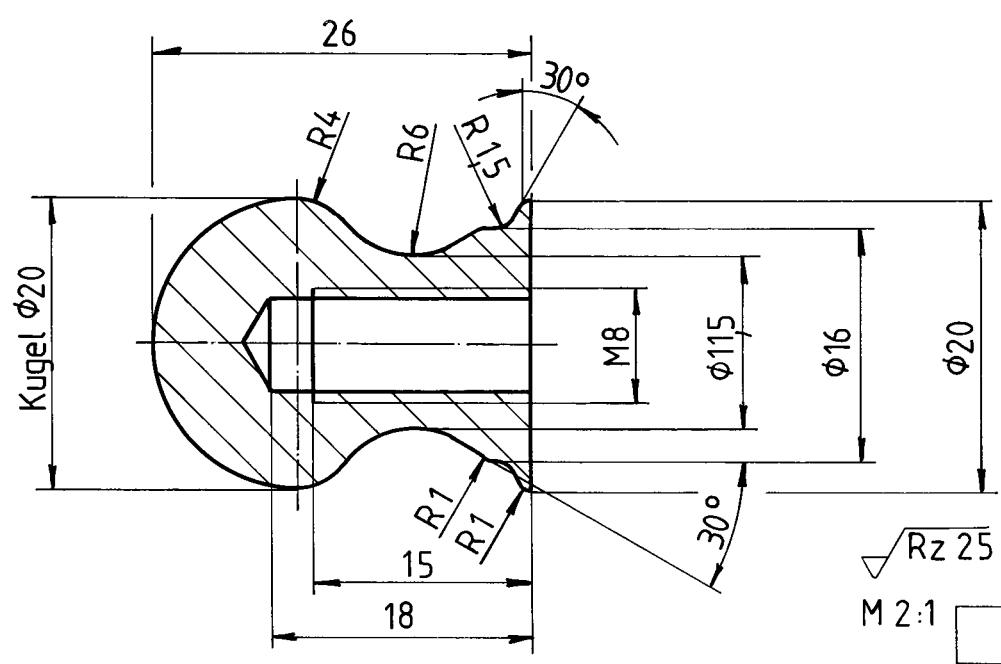
$\sqrt{Rz 25}$ ($\sqrt{Rz 12}$)
Kanten gebrochen

13



$\sqrt{Rz 25}$ ($\sqrt{Rz 40}$)
Kanten gebrochen

11



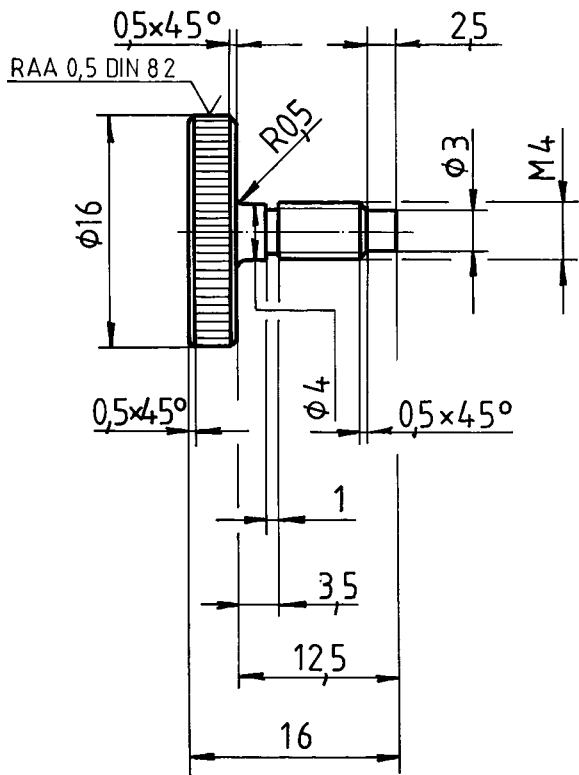
$\sqrt{Rz 25}$
M 2:1

Allgemeintoleranzen nach DIN 7168 mittel

23	1	Rollenhalter	Cu Zn 39 Pb 3	Paßmaß	Abmaß
13	1	Spannring	9 S 20 k		
11	2	Abschlussmutter	Cu Zn 39 Pb 3		
Pos.	Menge	Benennung	Werkstoff / Norm - Kurzbezeichnung	Bemerkung	

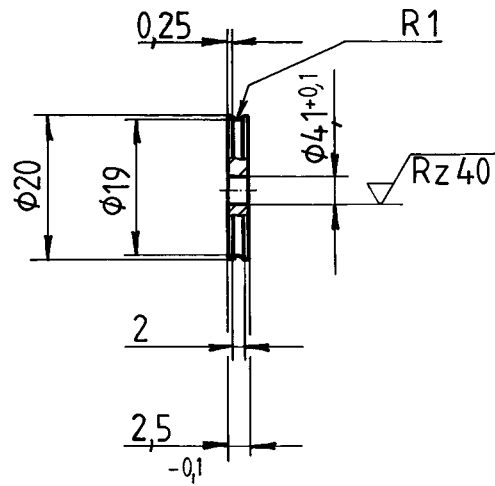
Einzelteile zu Lichtbogenlampe nach Archereau

Maßstab
1:1, 2:1



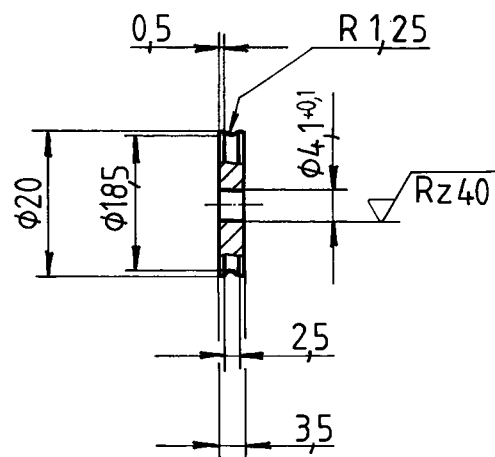
$\sqrt{Rz\ 25}$
M 2:1
Kanten gebrochen

31



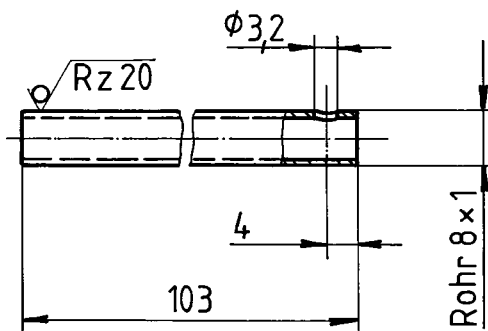
$\sqrt{Rz\ 25}$ ($\sqrt{Rz\ 40}$)
Kanten gebrochen

24



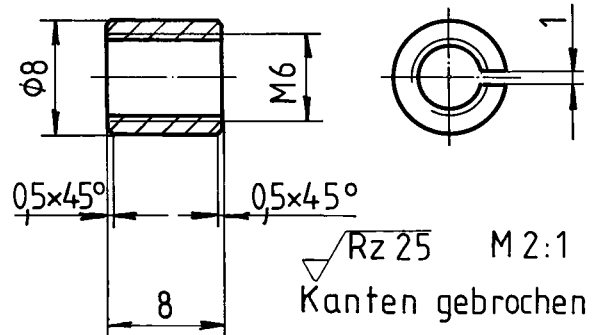
$\sqrt{Rz\ 25}$ ($\sqrt{Rz\ 40}$)
Kanten gebrochen

25



$\sqrt{Rz\ 40}$ ($\sqrt{Rz\ 20}$)
Kanten gebrochen

22



$\sqrt{Rz\ 25}$ M 2:1
Kanten gebrochen

27

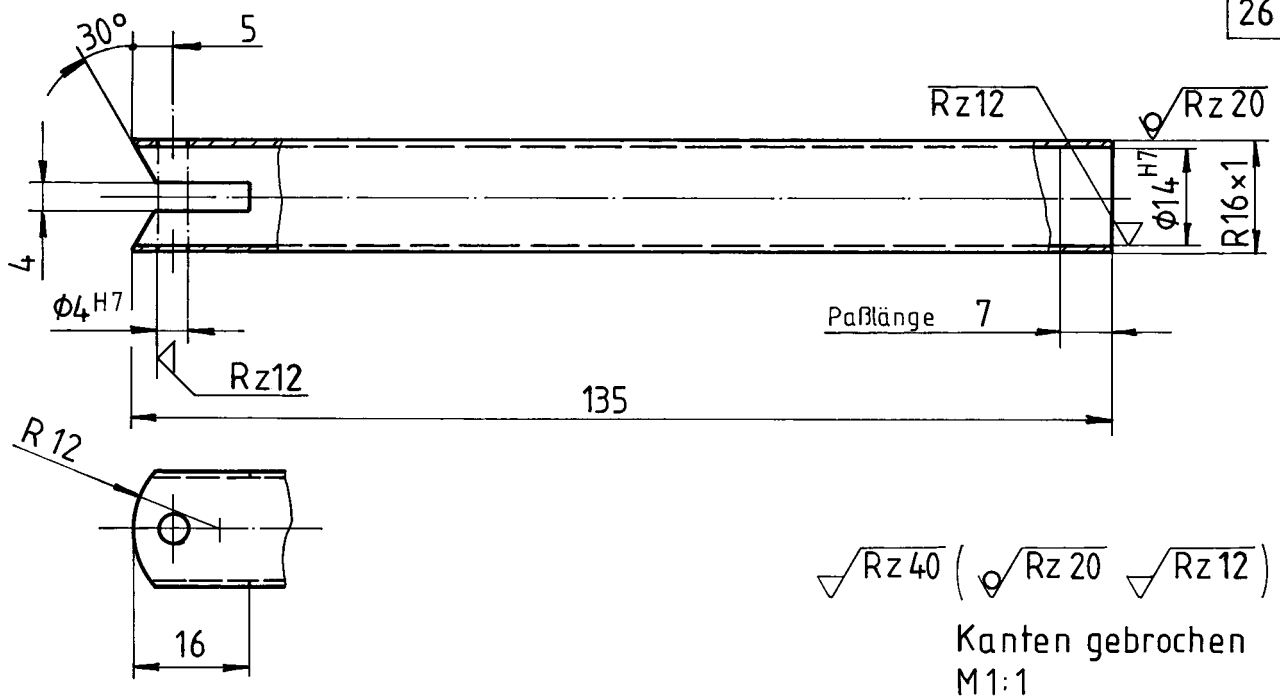
Allgemeintoleranzen nach DIN 7168 mittel

Pos.	Menge	Benennung	Werkstoff / Norm - Kurzbezeichnung	Bemerkung
31	2	Rändelschraube	Cu Zn 39 Pb 3	
22	2	Elektrodenaufnahmerohr	Ms 63	
24	1	Umlenkrolle	Cu Zn 39 Pb 3	Paßmaß Abmaß
25	1	Umlenkrolle	Cu Zn 39 Pb 3	
27	2	Spreizdübel	Cu Zn 39 Pb 3	

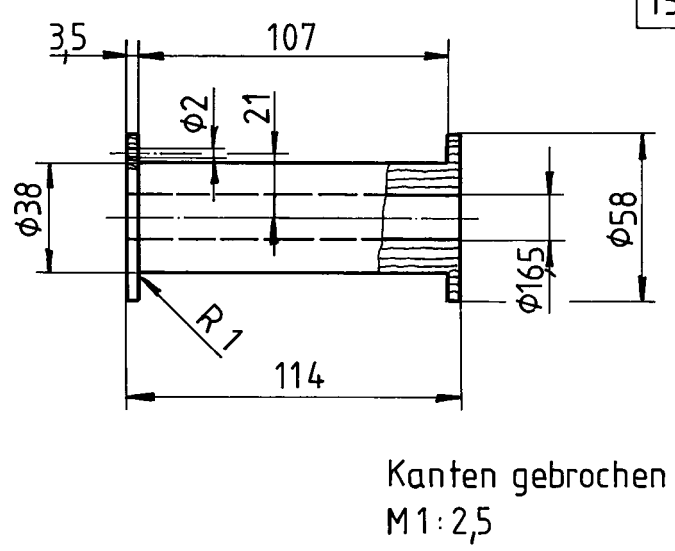
Einzelteile zu Lichtbogenlampe nach Archereau

Maßstab
1:1, 2:1

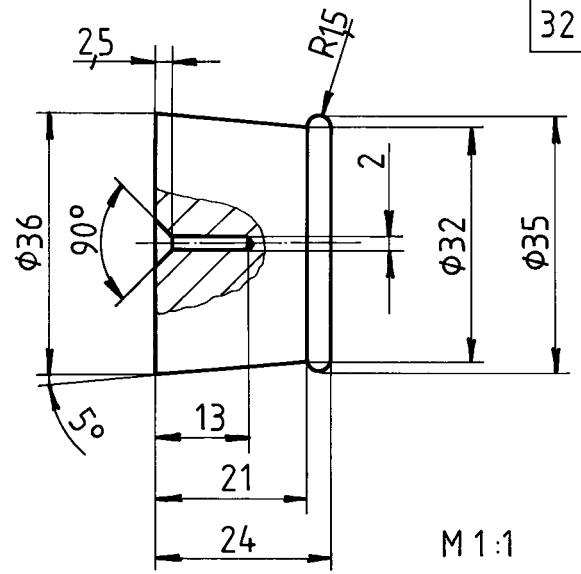
26



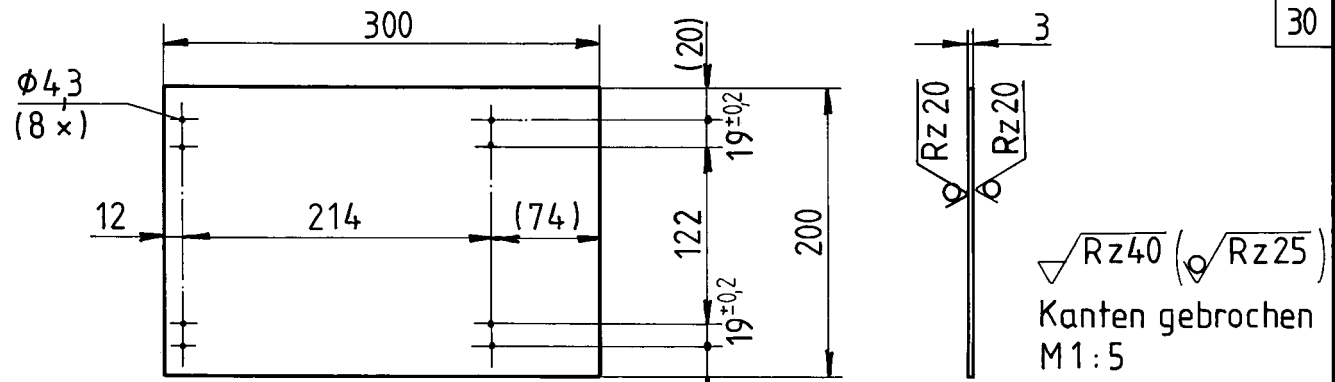
15



32



30



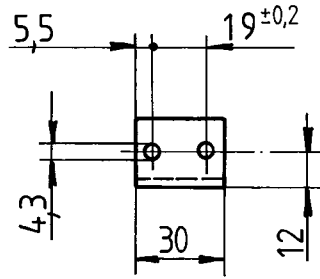
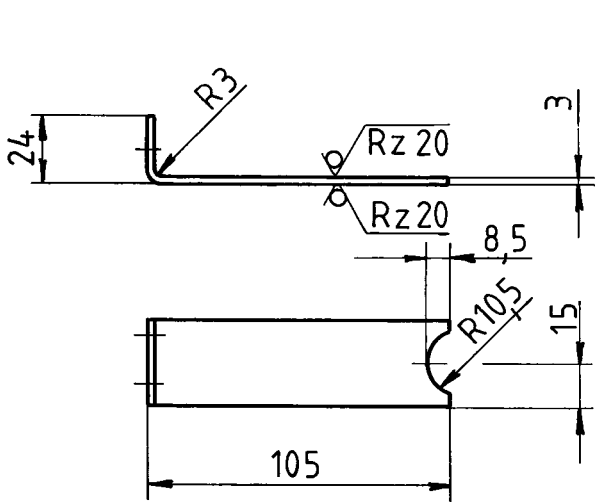
Allgemeintoleranzen nach DIN 7168 mittel

26	1	Rohr	Ms 63	14 H7	+18 0
15	1	Spulenkörper	Hartholz	Paßmaß	Abmaß
32	1	Gewicht	Pb		
30	1	Schutzscheibe	PMMA -blau		
Pos.	Menge	Benennung	Werkstoff / Norm - Kurzbezeichnung	Bemerkung	

Einzelteile zu Lichtbogenlampe nach Archereau

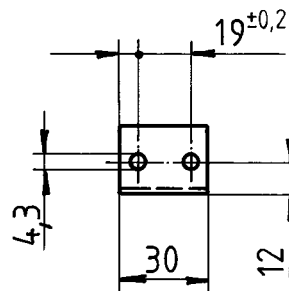
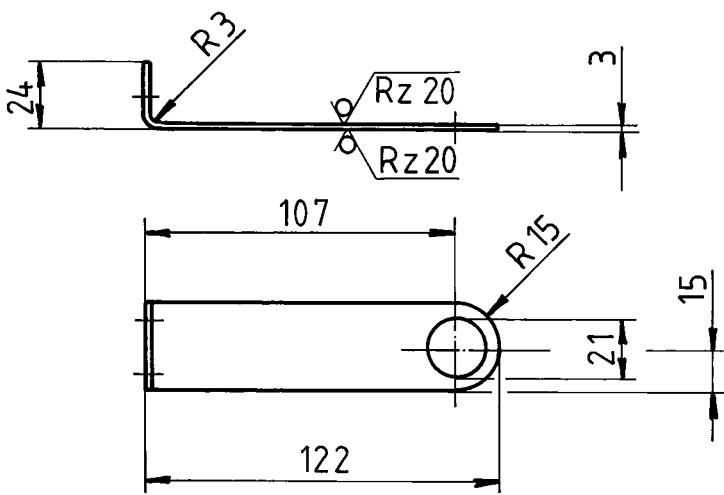
Maßstab
1:1 1:2,5
1:5

29



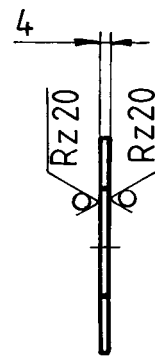
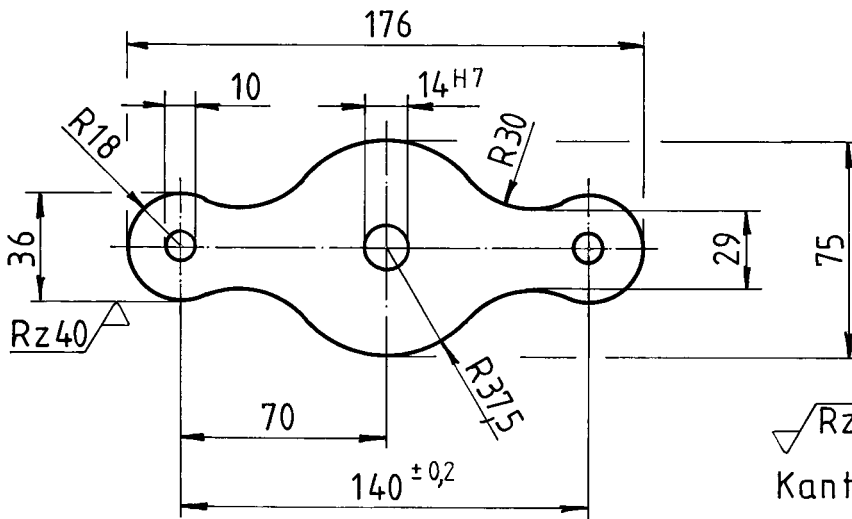
$\sqrt{Rz 40}$ ($\sqrt{Rz 20}$)
Kanten gebrochen
gestr. Länge: 123

28



$\sqrt{Rz 40}$ ($\sqrt{Rz 20}$)
Kanten gebrochen
gestr. Länge: 140

8



$\sqrt{Rz 12}$ ($\sqrt{Rz 40}$ $\sqrt{Rz 20}$)
Kanten gebrochen

Allgemeintoleranzen nach DIN 7168 mittel

14 H7 +18
0

Pos.	Menge	Benennung	Werkstoff / Norm - Kurzbezeichnung	Bemerkung
29	2	Halter-unten	Al Mg Si 0,5	
28	2	Halter-oben	Al Mg Si 0,5	
8	1	Verbindungsglasche	Cu Zn 40 Pb 2	

Paßmaß Abmaß

Einzelteile zu Lichtbogenlampe nach Archereau

Maßstab
1:2,5