

Vermeidung von Imperfektionen im Betonstraßenbau

Dipl.-Ing. Stefan Pichottka

Potsdam, 28.02.2019



- 1. Einleitung**
- 2. Planungsbedingte Imperfektionen**
- 3. Ausführungsbedingte Imperfektionen**

- 1888 Erste Betondecke in Deutschland (Breslau) - Zementmakadam
- 1905 Dresden, bis 1914 Einbau von 50.000 m² Betondecke
- 1912 Baubeginn der privat finanzierten 19,5 km langen AVUS, Fertigstellung 1921
- 1929 Beginn des Autobahnbaues mit der 20 km langen Kraftwagenstraße Köln – Bonn, Fertigstellung 1932, heute A 555
- 1933 Gründung der „GEZUVOR“ (Gesellschaft zur Vorbereitung der Reichsautobahnen)



Bau der Poststraße in Bunzlau/Niederschlesien, 1906

- 1925 Vorläufiges Merkblatt für Bau von Automobilstraßen aus Beton
- 1933 Merkblatt für Betonstraßen
- 1934 Richtlinien für Fahrbahndecken der Reichsautobahnen
- 1952 Merkblatt für den Bau von Betonfahrbahndecken (MBB)
- 1963 TGL 16237 „Befestigungen für Straßenverkehrsflächen aus Zementbeton“
- 1972 TV Beton 72

Nachfolgend mehrere Neubearbeitungen der TGL 16237 und der ZTV Beton.

Vorzüge der Betonstraßenbauweise

[Zementkalender 1931]

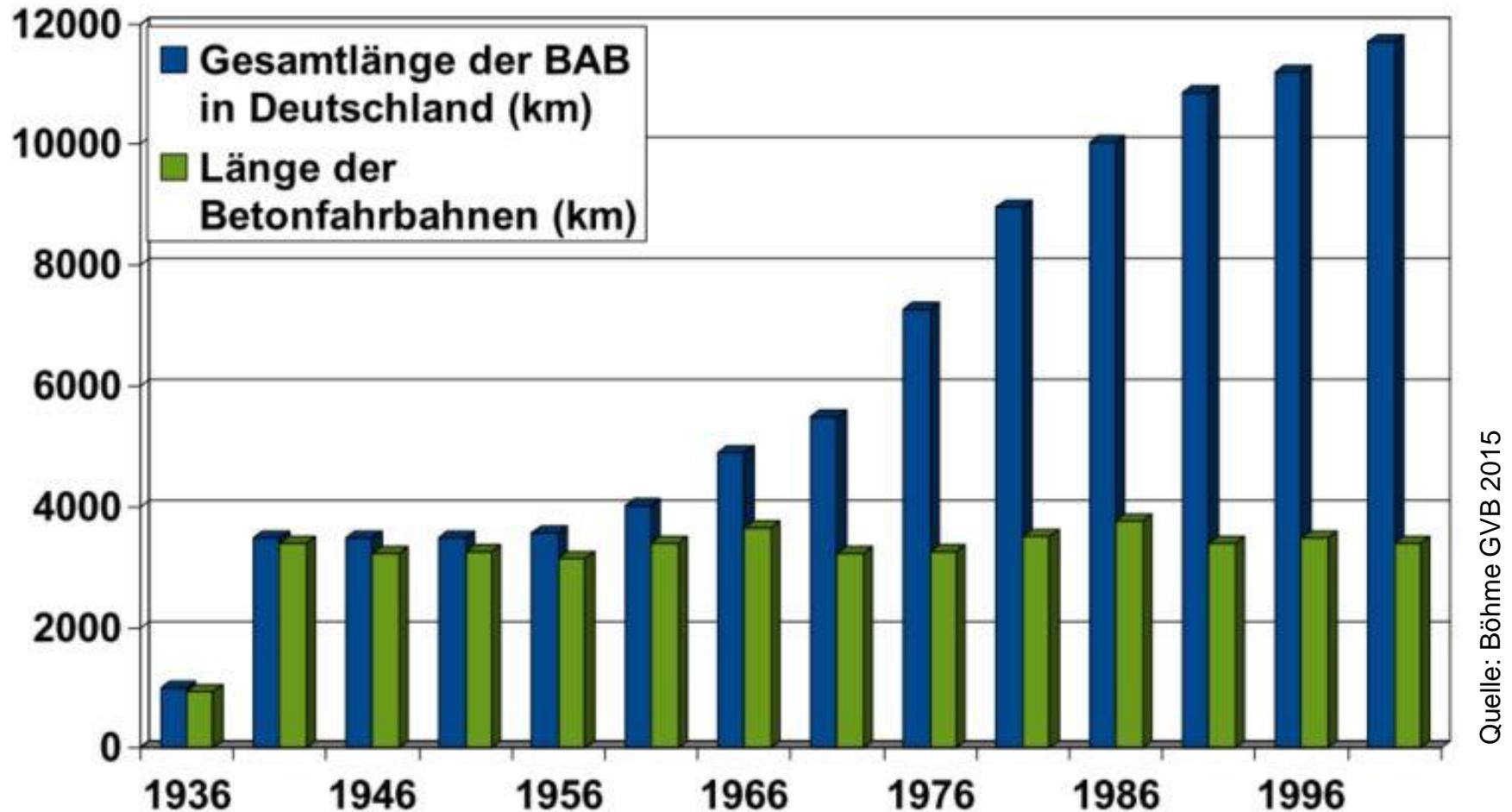
- Entbehrlichkeit ausländischer Erzeugnisse
- Rohstoffe in vielen Fällen in der Nähe der Baustelle vorhanden
- Unempfindlichkeit gegen Temperaturschwankungen (kein Weichwerden)
- hohe Druck- und Stoßfestigkeit
- geringe Abnutzung
- ebene, rauhe Oberfläche, auch bei Regen
- geringer Widerstand für die Fahrzeuge (Ersparnis von Betriebskosten)
- leichte Erkennbarkeit bei Nacht
- Herstellung unter weitgehender Mechanisierung der Arbeitsvorgänge
- geringe Unterhaltungskosten bei regelmäßiger Überwachung

Vorzüge der Betonstraßenbauweise

- Substanzvorteil:
 - Verformungsbeständigkeit
 - Tragfähigkeit
 - Dauerhaftigkeit
 - Instandhaltungsarmut

- Gebrauchsvorteil:
 - Helligkeit
 - Griffigkeit
 - Lärmemission!?

1. Einleitung

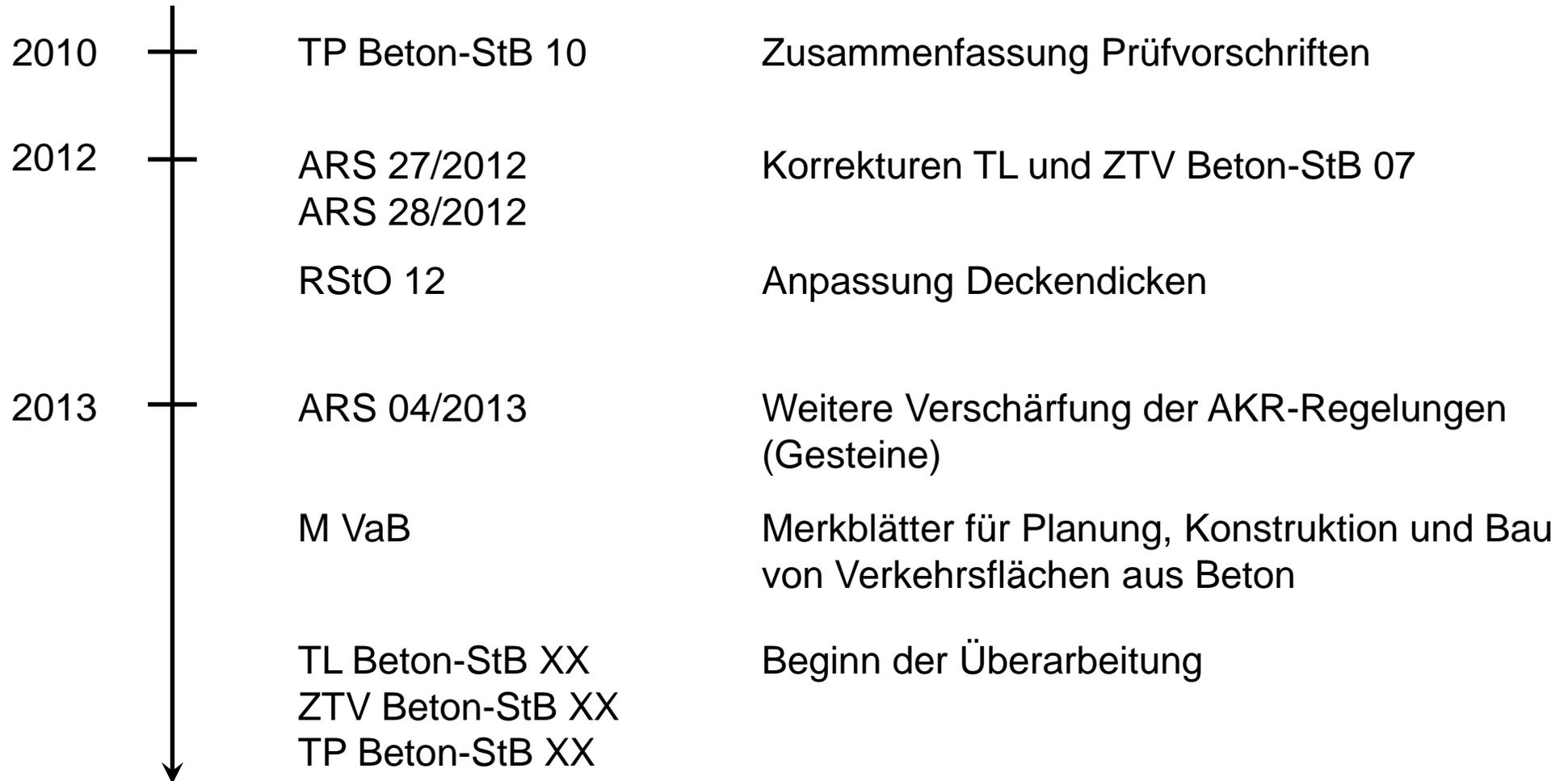


Anteil der Verkehrsfläche in Betonbauweise am BAB Netz bis 2001

1. Einleitung



2005	ARS 15/2005	AKR-Regelungen (Gutachten, Gesteine, Na ₂ O-Zement)
2006	ARS 05/2006	Waschbeton anstelle Jutetuch (dauerhafte Griffigkeit und niedriger Lärm)
	ARS 12/2006	AKR-Regelungen (Präzisierung ARS 15/2005)
	ARS 14/2006	Ausführungshinweise Waschbeton
2008	TL Beton-StB 07 ZTV Beton-StB 07	Einarbeitung der ARS Anpassung an EU-Normung Trennung in TL und ZTV Eigenüberwachung Dübellage Wegfall Multicolor Vlies



1. **Einleitung**
2. **Planungsbedingte Imperfektionen**
3. **Ausführungsbedingte Imperfektionen**

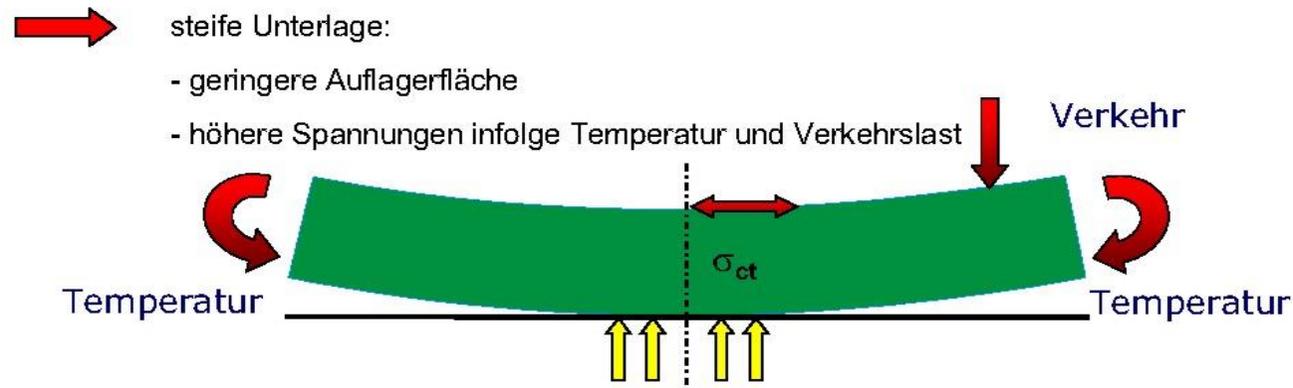
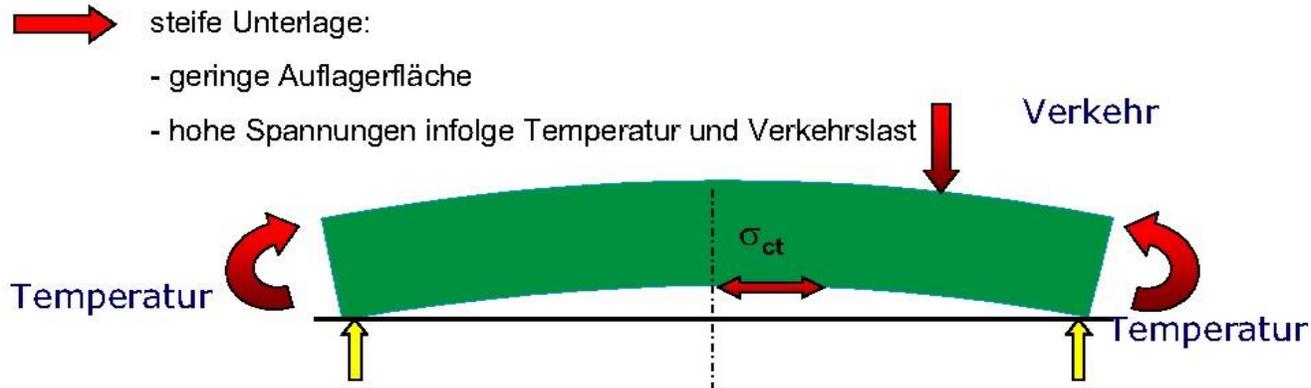
2. Planungsbedingte Imperfektionen

I. Auflagerungsbedingungen der Betondecke

- Betondecke auf Schottertragschicht
- Betondecke auf Asphalttragschicht
- Betondecke auf Asphaltzwichenschicht auf Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel
- Betondecke auf Vliesstoff auf Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel



I. Auflagerungsbedingungen der Betondecke



Quelle: Villaret

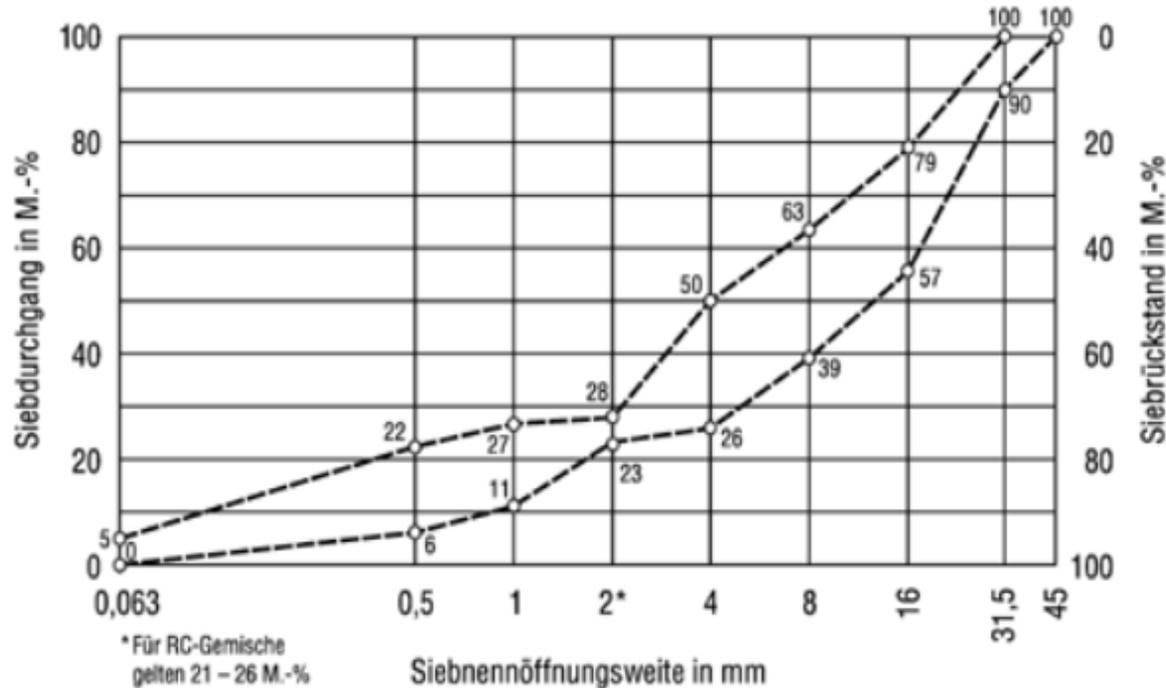
I. Auflagerungsbedingungen der Betondecke



Wasseraustrittsstellen bei Verbundbauweise

2. Planungsbedingte Imperfektionen

I. Auflagerungsbedingungen der Betondecke



Quelle: ZTV SoB-StB 04/07

- wasserdurchlässig
- umlagerungsbeständig
- tragfähig

aus ARS Nr. 37/1997
und ARS Nr. 6/2002

Betondecke auf Schottertragschicht - Kornverteilung

I. Auflagerungsbedingungen der Betondecke



TP Gestein-StB Teil 8.3.2

Bestimmung des
Infiltrationsbeiwertes mit dem
Modifizierten Standrohr-Infiltrometer
– in situ-Verfahren

Betondecke auf Schottertragschicht - Wasserdurchlässigkeit

2. Planungsbedingte Imperfektionen

I. Auflagerungsbedingungen der Betondecke



Betondecke - Auflagerungsbedingungen

II. Verwendung geeigneter Ausgangsmaterialien

TL Beton-StB 07

Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton“ eingeführt mit dem ARS 13/2008

ergänzt durch: ARS 28/2012 und 04/2013

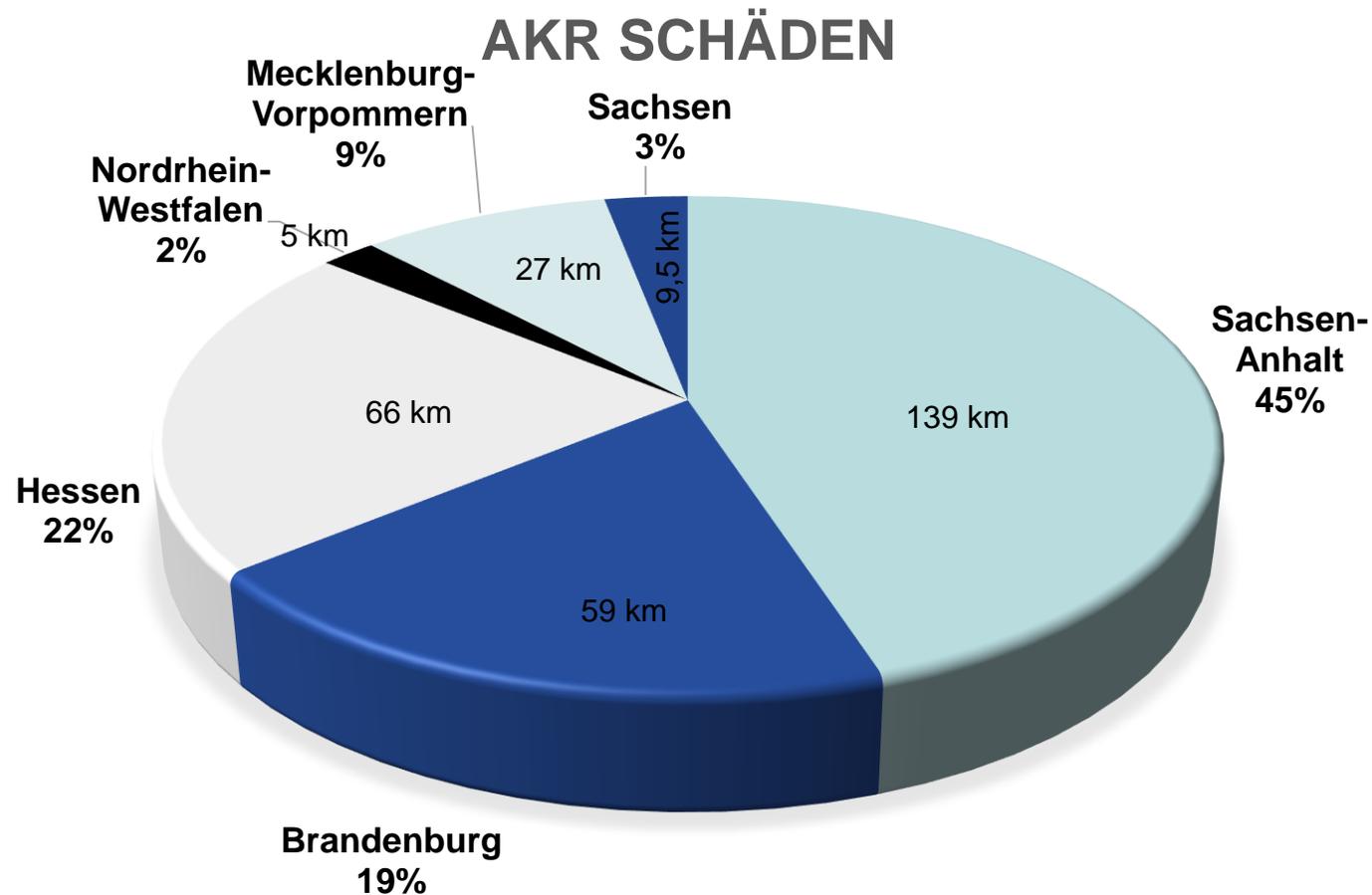
ARS 04/2013 „Vermeidung von Schäden an Fahrbahndecken aus Beton infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion“

II. Verwendung geeigneter Ausgangsmaterialien

AKR - Geschichte

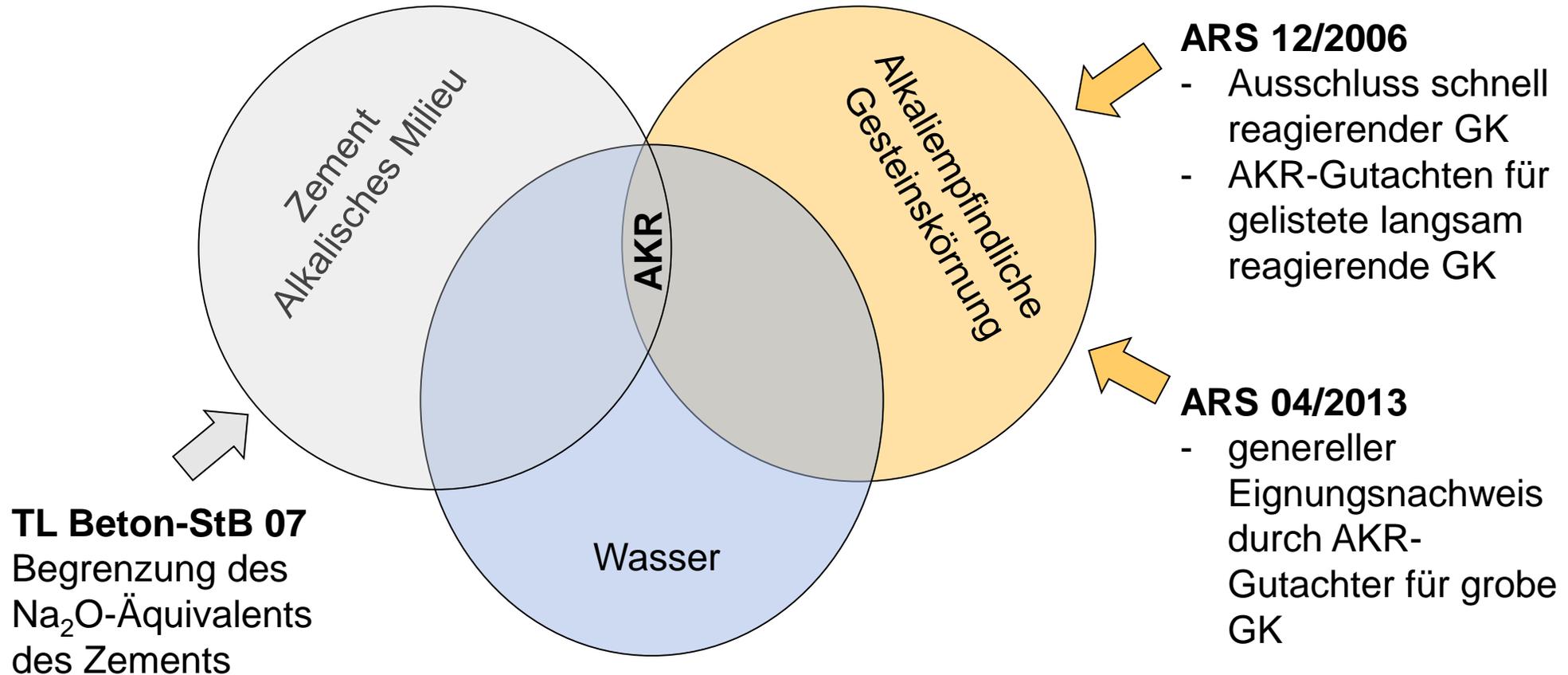
- seit den frühen 40iger Jahren in den USA bekannt
- in Deutschland erster bekannter Schaden 1965 an der Lachswehrbrücke in Schleswig-Holstein, Gesteinskörnung **Opalsandstein und poröser Flint**
- 1996-1998 erstmals Schäden an Betonfahrbahndecken Südwestdeutschlands, Gesteinskörnung **Kies-Edelsplitt des Oberrheins**
- aktuell von 3500 km Betonautobahn ca. 300 km AKR geschädigt

II. Verwendung geeigneter Ausgangsmaterialien



Deutscher Bundestag: Antwort auf kleine Anfrage der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (Drucksache 18/2688): Ausmaß der Schäden durch Alkali-Kieselsäure-Reaktion an Betonfahrbahndecken und Ingenieurbauwerken im Bundesfernstraßennetz. 29.09.2014, www.abe-labor.de

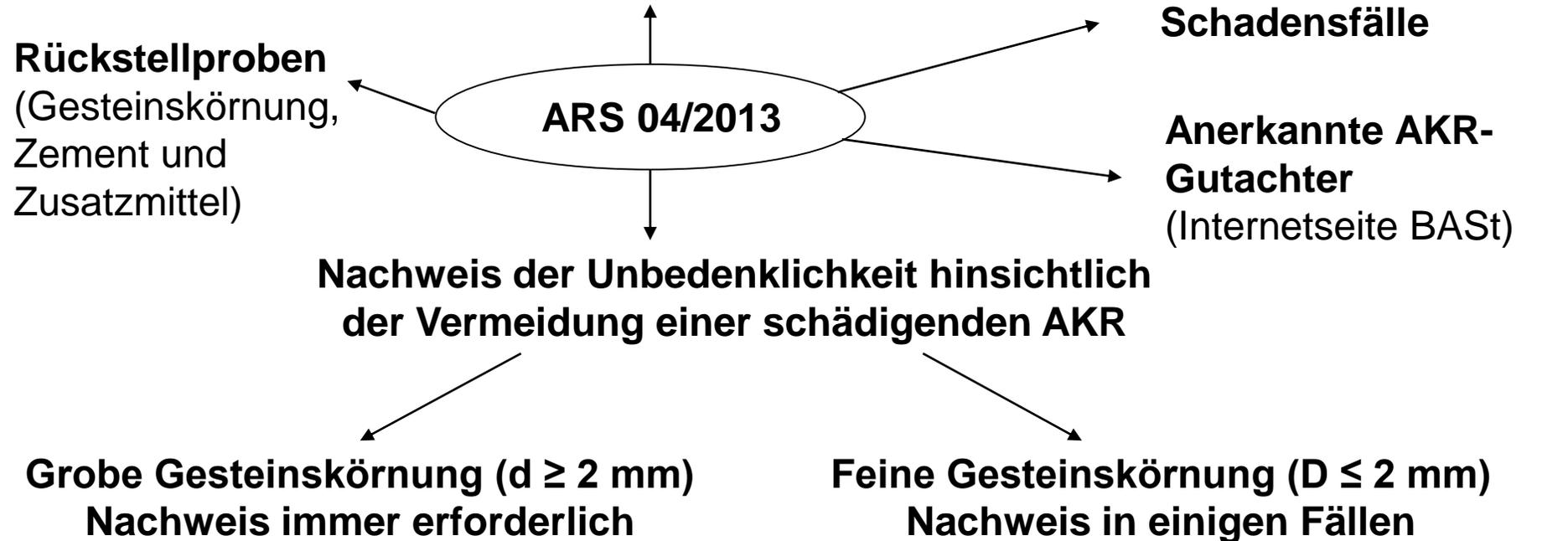
II. Verwendung geeigneter Ausgangsmaterialien



II. Verwendung geeigneter Ausgangsmaterialien

Geltungsbereich:

Neubau und Erneuerung von
Fahrbahndecken aus Beton für Bundesfernstraßen
der Belastungsklassen Bk100 bis Bk1,8
gemäß RStO 12 (Feuchtigkeitsklasse WS)



II. Verwendung geeigneter Ausgangsmaterialien

Drei mögliche Verfahren:



II. Verwendung geeigneter Ausgangsmaterialien

Schadens- kategorien	Foto	Beschreibung
I		<ul style="list-style-type: none">- Verfärbung Fugen/Fugenkreuze- noch keine Rissbildung
II		<ul style="list-style-type: none">- ausgeprägte Verfärbung an den Fugen- Rissbildung an Fugen/Fugenkreuzen
III		<ul style="list-style-type: none">- ausgeprägte Verfärbung an den Fugen- ausgeprägte Rissbildung- Kantenschäden, Eckabbrüche, Substanzverlust

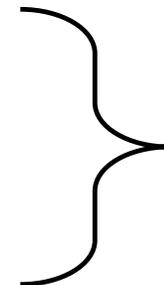
III. Ausbildung von Endbereichen

- kein Einsatz von Endspornen
- Anordnung von Raumfugen oder/und Asphaltvorfeldern
- Ausbildung einer doppelten Platte im Endbereich
- Überbauung kurzer Brücken

Temperaturdifferenz $\Delta T = 30 \text{ K}$

Plattenlänge $l_0 = 5 \text{ m}$

Wärmedehnzahl $\alpha = 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$



Wärmeausdehnung $\Delta l = l_0 \times \alpha \times \Delta T$

$$\text{Wärmeausdehnung } \Delta l = 5 \text{ m} \times 10^{-5} \frac{1}{\text{K}} \times 30 \text{ K} = 1,5 \text{ mm}$$

2. Planungsbedingte Imperfektionen

III. Ausbildung der Endbereiche

- Anordnung von Raumfugen oder/und Asphaltvorfeldern

Lufttemperatur [°C]	Anzahl Raumfugen [-]
≥ 25 °C	1 Raumfuge
18 bis < 25 °C	2 Raumfugen
10 bis < 18 °C	3 Raumfugen
< 10 °C	4 Raumfugen

III. Ausbildung der Endbereiche



Anordnung von Raumfugen oder Asphaltvorfeldern

IV. Hitzeaufbrüche



Ausknicken von Platten oder Plattenteilen

2. Planungsbedingte Imperfektionen

IV. Hitzeaufbrüche

Temperaturausdehnung von Betonplatten:



Längenausdehnung und Spannung bei Dehnungsbehinderung?

Nullspannungstemperatur $T_{02} = -10\text{ °C}$

Deckentemperatur $T_D = 45\text{ °C}$

Plattenlänge $l_0 = 5\text{ m}$

Wärmedehnzahl $\alpha = 10^{-5} \frac{1}{K}$

E – Modul $= 45.000 \frac{N}{mm^2}$

Deckendicke $d = 220\text{ mm}$

Wärmeausdehnung $\Delta l = l_0 \times \alpha \times \Delta T$

➔ *Spannung* $\sigma = E \times \varepsilon$

➔ *Druckkraft* $F = \sigma \times A$

IV. Hitzeaufbrüche

Temperaturausdehnung von Betonplatten:

- Berechnungsergebnisse

T_0 [°C]	Δl [mm]	F je lfd m [kN]	σ [N/mm ²]
10	1,75 mm	3465	15,75
-10	2,75 mm	5445	24,75

Lösung: z.B. Raumfugen als Entlastungsschnitte einbringen.

IV. Hitzeaufbrüche



Abplatzen oberer Beton und Zerstörung unterer Beton

2. Planungsbedingte Imperfektionen

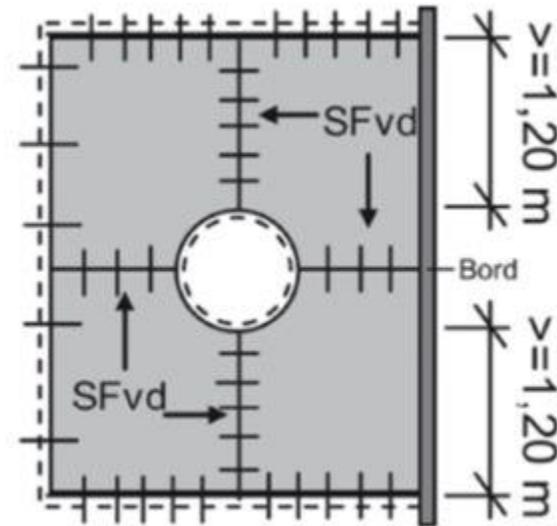
V. Fugenanordnung



Quelle: Straßenbau heute

Betonstraße in Görlitz, 1928

V. Fugenanordnung



Quelle: M VaB

- Merkblatt „Planung, Konstruktion und Bau von Verkehrsflächen aus Beton“ (M VaB)
 - Teil 1: Kreisverkehre, Busverkehrsflächen und Rastanlagen (2013)
 - Teil 2: Stadt- und Landstraßen (2015)
 - Teil 3: Container- und Logistikflächen (2018)

V. Fugenanordnung



Betonstraße in Berlin, 2018

VI. Anwendung statistischer Kenngrößen

Grundsätzlich gilt für die **Dimensionierung der Betondecke**, rechnerisch oder nach RStO:

- die Platten der Betondecke arbeiten für sich allein
- entscheidendes Kriterium sind die wechselnden **Zugspannungen** an der oberen und unteren Randfaser

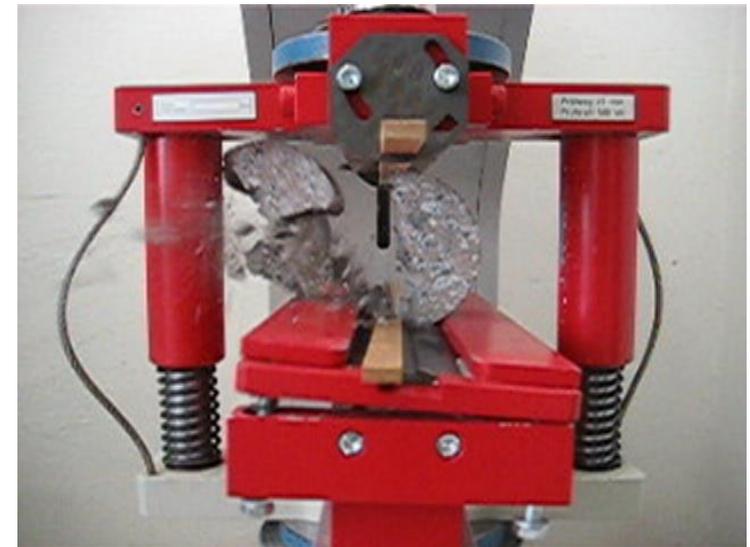
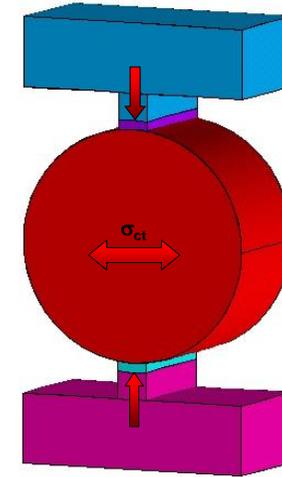
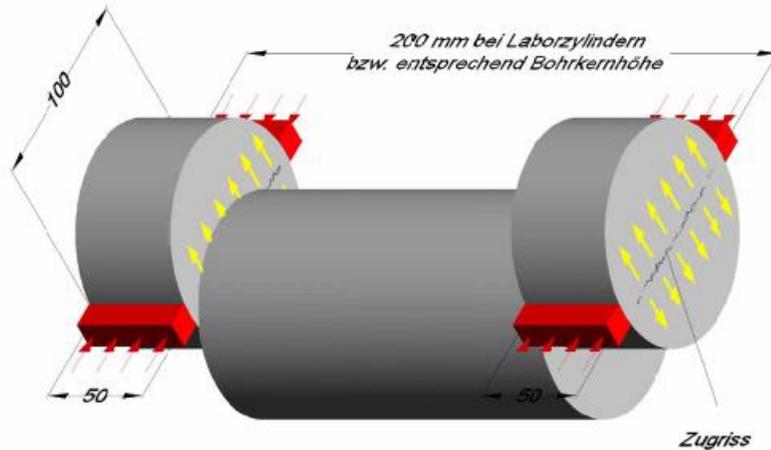
Allgemein gilt, die einwirkenden Momente müssen kleiner als die aufnehmbaren Momente sein.

$$M_E = M_{\text{aus Verkehr}} + M_{\text{aus Temperatur}} < M_R = 0,167 * h_d^2 * f_d$$

h_d – Deckendicke (AL DA Arbeitsanleitung zur statistischen Dickenauswertung von Asphalt- und Betonschichten für rechnerisch dimensionierte Verkehrsflächen, Ausgabe 2011)

f_d – Spaltzugfestigkeit (TP B-StB Teil 3.1.05 Spaltzugfestigkeit von Beton an Zylinderscheiben)

VI. Anwendung statistischer Kenngrößen



Spaltzugfestigkeit an Zylinderscheiben TP B-StB Teil 3.1.05

2. Planungsbedingte Imperfektionen

VI. Anwendung statistischer Kenngrößen

Nr.	mittlere Zylinderscheibe						obere Zylinderscheibe						untere Zylinderscheibe							
	Ø	Höhe	Gewicht	Rohdichte	Bruchlast	fc, cyl	Ø	Höhe	Gewicht	Rohdichte	Bruchlast	fct,sp	Ø	Höhe	Gewicht	Rohdichte	Bruchlast	fct,sp		
	[mm]	[mm]	[g]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/dm³]	[kN]	[N/mm²]		
2.1	95	100	1668	2,35	310	43,8	95	52	861	2,34	27,4	3,53	95	51	842	2,33	25,8	3,59		
2.2	99	98	1748	2,32	378	49,1	98	51	921	2,39	26,7	3,40	98	53	942	2,36	29,5	3,82		
2.3	95	100	1762	2,49	208	33,4	95	50	845	2,38	24,6	3,30	95	51	882	2,44	21,4	3,01		
2.4	95	103	1788	2,45	318	44,9	95	52	908	2,46	29,9	3,86	95	53	856	2,28	22,7	3,07		
2.5	95	97	1600	2,33	392	55,3	95	48	802	2,36	35,5	4,96	95	50	931	2,63	29,2	3,92		
Mittelwerte				2,39		45,3				2,39		3,81				2,41		3,48		
Standardabweichung				[N/mm²]	s	8,1					s	0,68					s	0,42		
Variationskoeffizient				[%]	V	17,8					V	17,73					V	12,06		
					fck	34,0					fctk, sp	1,52					fctk, sp	1,71		
fc	Druckfestigkeit				fck	charakteristische Druckfestigkeit														
fct, sp	Spaltzugfestigkeit				fctk, sp	charakteristische Spaltzugfestigkeit														

- $f_{ctk, core} = f_{ctm, core} - k * s$ mit $k = 3,3821$ und charakteristischer Druckfestigkeit gemäß DIN EN 13791 folgt die Straßenbetonklasse: **StC 30/37 – ??**

- üblich für Verkehrsflächen der Belastungsklasse Bk100 ist die Straßenbetonklasse **StC 30/37 – 3,3**

- 1. Einleitung**
- 2. Planungsbedingte Imperfektionen**
- 3. Ausführungsbedingte Imperfektionen**

3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

I. Verdichtung



Maschinelles Einbau mit Gleitschaltungsfertiger

3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

I. Verdichtung



Maschineller Einbau mit Gleitschaltungsfertiger

3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

I. Verdichtung



Maschinelles Einbau mit Gleitschaltungsfertiger

3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

I. Verdichtung



Maschineller Einbau mit Gleitschaltungsfertiger

3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

I. Verdichtung



Maschinelles Einbau mit Gleitschaltungsfertiger

3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

I. Verdichtung



Handeinbau mit Rüttelflasche und Glättwalze

3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

I. Verdichtung



Handeinbau mit Rüttelbohle

3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

I. Verdichtung



Verdichtungsmangel

I. Verdichtung



Porenhäufung Waschbeton

II. Fugenherstellung (Scheinfugen)

- frühzeitig geschnittene Fugenkerben
- Querscheinfugen mindestens 25 %, höchstens 30 % der Deckendicke
- Längsscheinfugen mindestens 40 %, höchstens 45 % der Deckendicke
- Mindestdruckfestigkeit zur Herstellung des Fugenspaltes 26 MPa

3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

II. Fugenherstellung (Scheinfugen)



Kerbschnitt mit Riss

II. Fugenherstellung (Scheinfugen)

- Kerbschnitt oder Fugenspalt zu früh geschnitten
- zu frühes Überfahren mit Verschmutzung



Ausbrüche

II. Fugenherstellung (Scheinfugen)



- Fugenschnitt zu spät, nicht tief genug
- ungeeignete Betonzusammensetzung, Zugfestigkeit zu gering, Schwindmaß zu hoch



Riss trotz regelkonformer Fugenanordnung

III. Oberflächenmängel/Schäden



Mörtelanreicherungen Waschbeton

- falsche Betonkonsistenz oder zu große Streuung der Konsistenz
- zu große Schwankungen in den Ausgangsstoffen, hier Feinstsandanteil des Sandes
- Abstimmung zwischen Rüttelenergie, Rüttelfrequenz, Fertigergeschwindigkeit und Konsistenz passt nicht
- Oberflächenverzögerer nicht ausreichend wirksam

III. Oberflächenmängel/Schäden

- Texturtiefe lt. ZTV Beton-StB 07 0,6 mm bis 1,1 mm
- anzustreben sind 0,7 mm bis 1,1 mm



Mangelhafte Griffigkeit durch zu geringe Texturtiefe

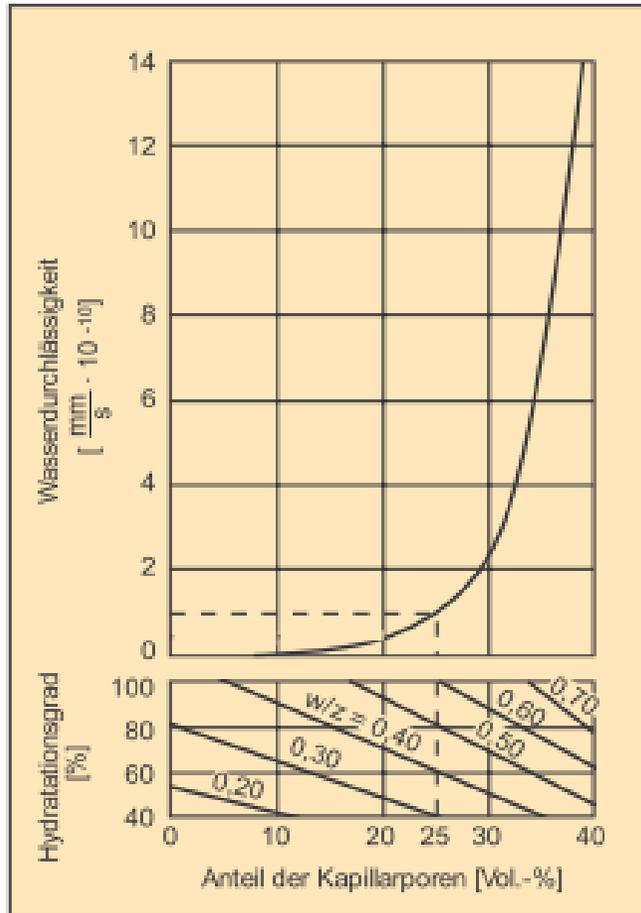
III. Oberflächenmängel/Schäden



Manuelles Nacharbeiten ohne Wasserzugabe

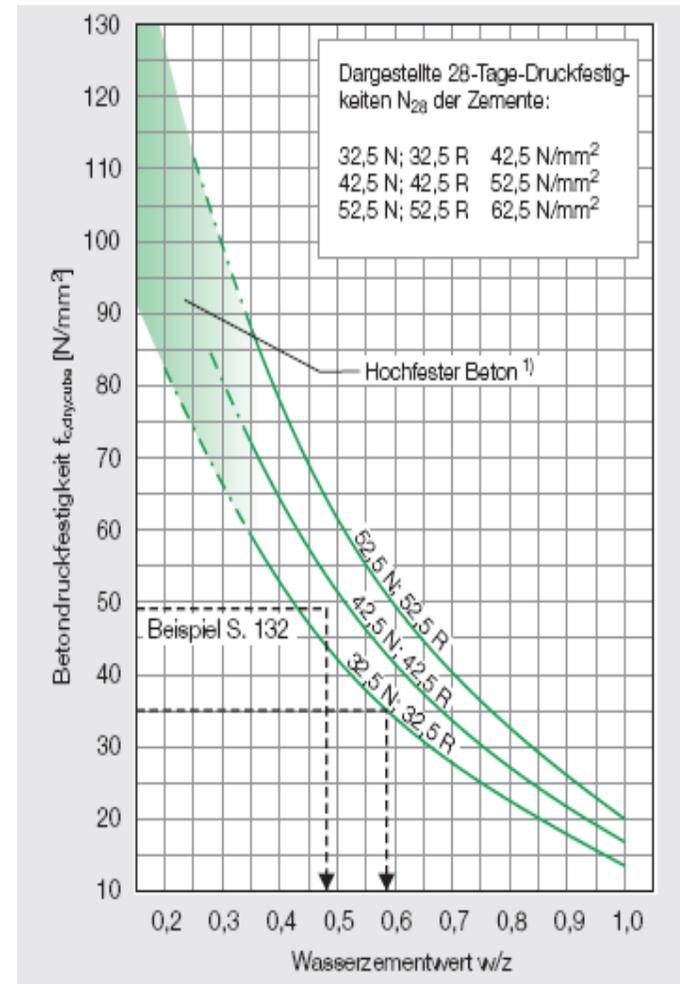
III. Oberflächenmängel/Schäden

Wasserdurchlässigkeit von Zementstein in
(nach T.C. Powers)



Abplatzungen über Gesteinskörnungen

Betondruckfestigkeit in Abhängigkeit des W/Z-
Wertes (nach Walz)



Quelle: Betontechnische Daten

III. Oberflächenmängel/Schäden



Abplatzungen über Gesteinskörnungen an mörtelstrukturierter Oberfläche

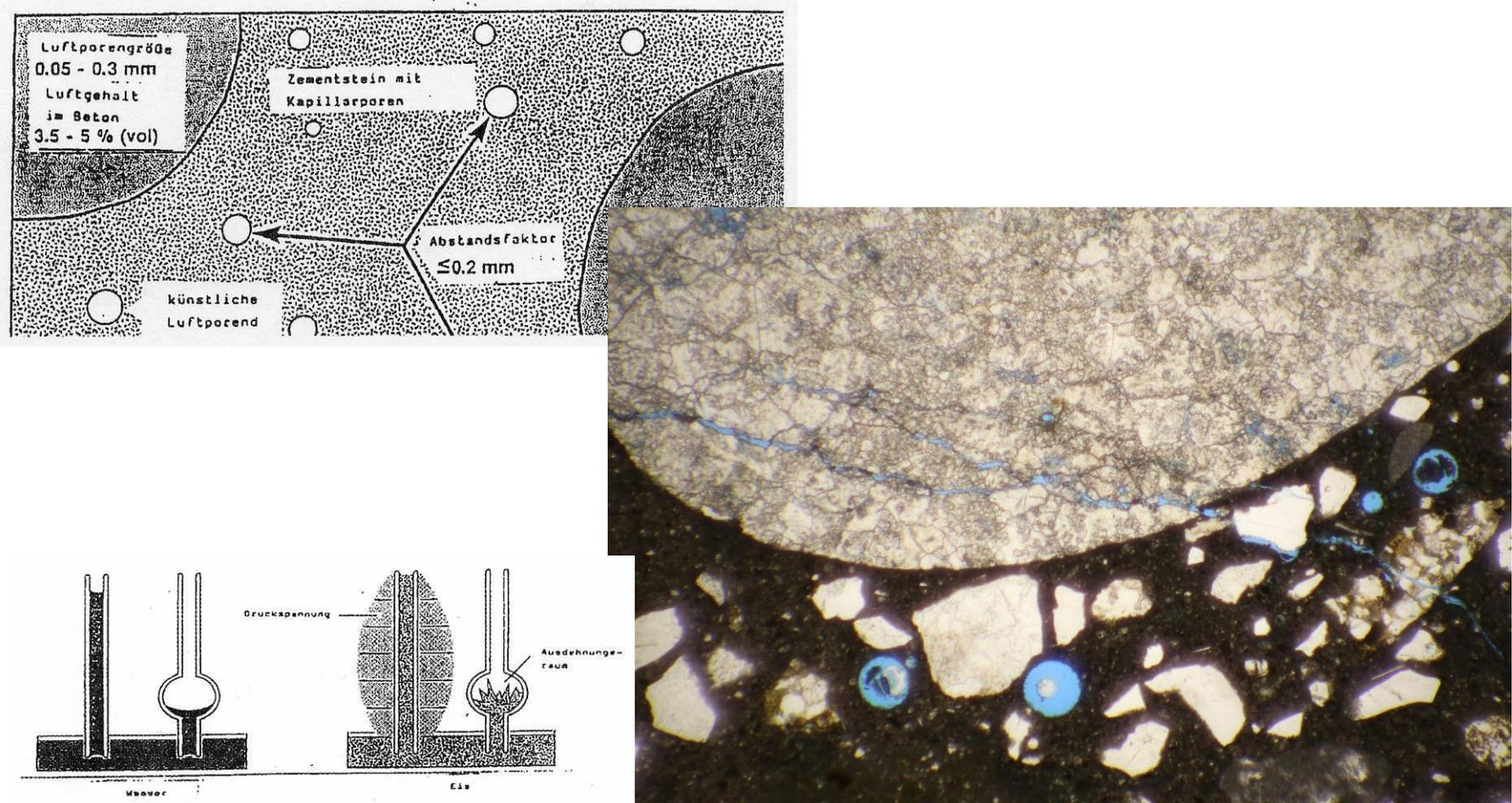
3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

III. Oberflächenmängel/Schäden



Abplatzungen über Gesteinskörnungen

III. Oberflächenmängel/Schäden



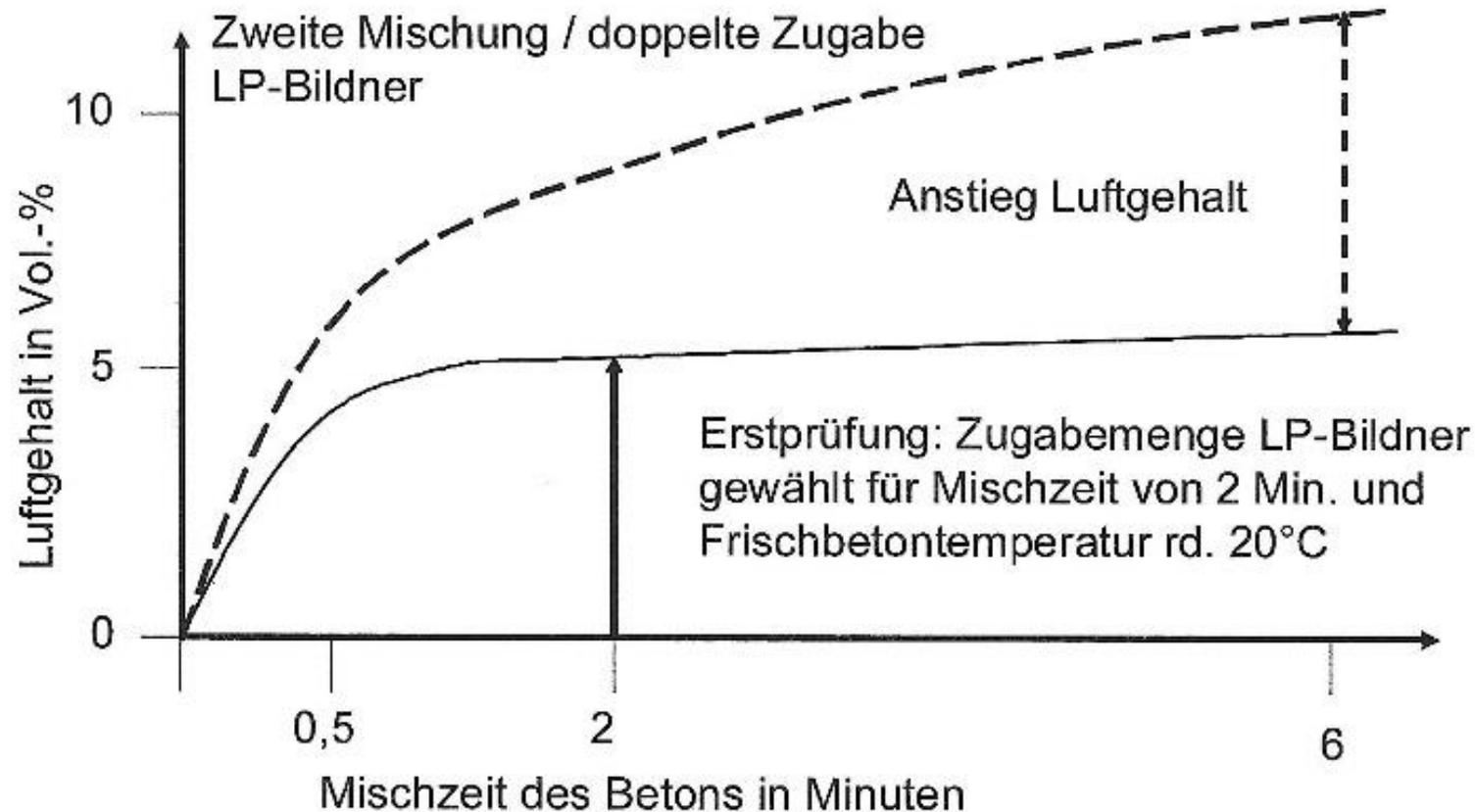
Ausreichend künstliche Mikroluftporen im Beton

III. Oberflächenmängel/Schäden



fehlende Frost-Tausalz-Beständigkeit

III. Oberflächenmängel/Schäden



Luftporenbildung in Abhängigkeit von der Dosierung (Eickschen 2009)

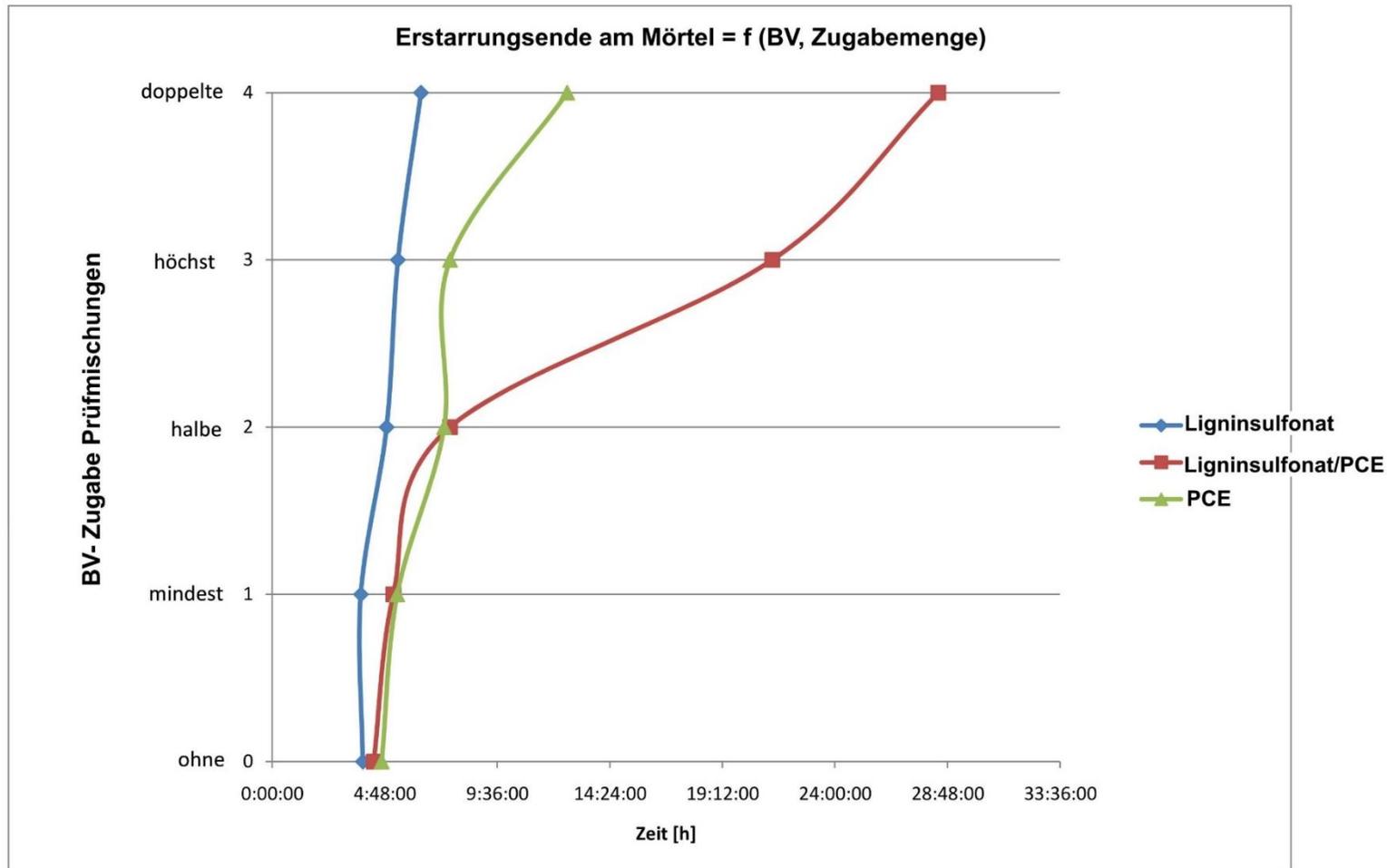
3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

III. Oberflächenmängel/Schäden

Wirkungsweise	Wirkstoff	Eigenschaft	Anwendung
Grenzflächenaktiv	Naphtalinsulfonate	Verzögern, gute Plastifizierung, neigen zur Luftporenbildung , Nebenprodukt der Zellulose-Industrie	BV / FM
Grenzflächenaktiv	Ligninsulfonate	Sehr gute Plastifizierung, synthetisch hergestellt, billige Qualitäten neigen zur LP-Bildung	BV
Dispergierend	Melaminharze	Gute Plastifizierung, müssen jedoch höher dosiert werden, keine Verzögerung, Klebeeffekt, gut geeignet für LP-Betone	BV / FM
Dispergierend	Polycarboxilate/ Polycarboxylatether	Sehr gute Plastifizierung bei geringen Dosiermengen; lang anhaltende Wirkung, gutes Zusammenhaltevermögen der Mischung	BV / FM

Betonverflüssiger/Fließmittel

III. Oberflächenmängel/Schäden



Veränderung des Erstarrungsendes durch Verflüssigerzugabe

III. Oberflächenmängel/Schäden

Oberflächentemperatur ϑ [°C]	Mindestdauer der Nachbehandlung [d] ^{c)}		
	Festigkeitsentwicklung des Betons ^{a)}		
	$r = f_{cm2}/f_{cm28}$		
	schnell	mittel	Langsam
	$r \geq 0,50$	$r \geq 0,30$	$r \geq 0,15$
≥ 25	2	4	4
$25 > \vartheta \geq 15$	2	4	8
$15 > \vartheta \geq 10$	4	8	14
$10 > \vartheta \geq 5^b)$	6	12	20

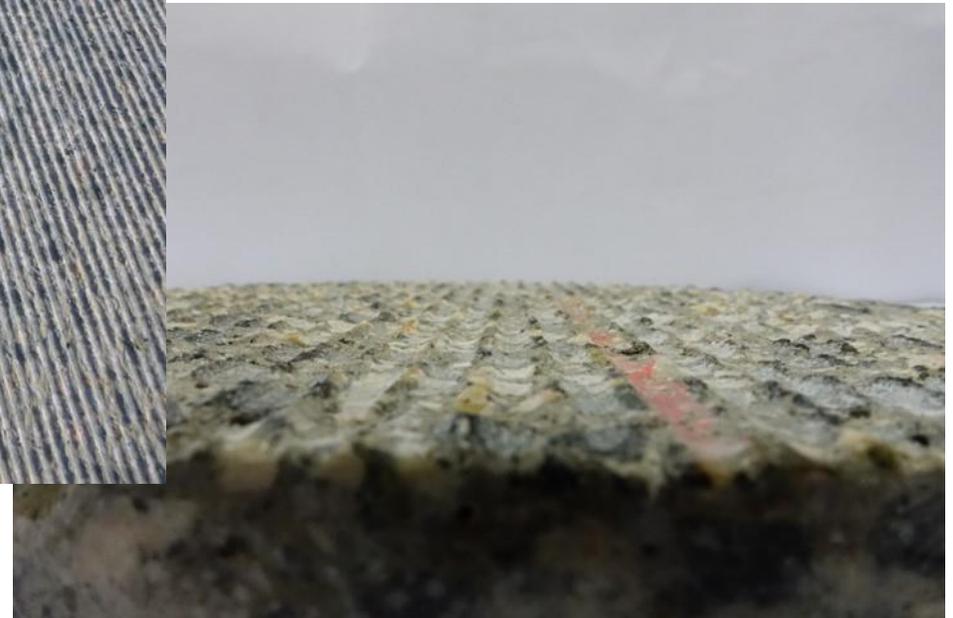
^{a)} Die Festigkeitsentwicklung des Betons wird durch das Verhältnis der Mittelwerte der Druckfestigkeiten nach 2 Tagen und nach 28 Tagen ermittelt, das bei der Erstprüfung oder auf der Grundlage eines bekannten Verhältnisses von Beton vergleichbarer Zusammensetzung (d.h. gleicher Zement, gleicher w/z-Wert) ermittelt wurde.

^{b)} Bei Temperaturen unter 5 °C ist die Nachbehandlungsdauer und die Zeit zu verlängern, während der die Temperatur unter 5 °C lag.

^{c)} Nachbehandlungszeit ist bei Verarbeitungszeit > 5 h angemessen zu verlängern.

Nachbehandlung abhängig vom Erstarren/Erhärten nach DIN 1045-3

III. Oberflächenmängel/Schäden



Grindingoberfläche

3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

III. Oberflächenmängel/Schäden



Grindingoberfläche

III. Oberflächenmängel/Schäden



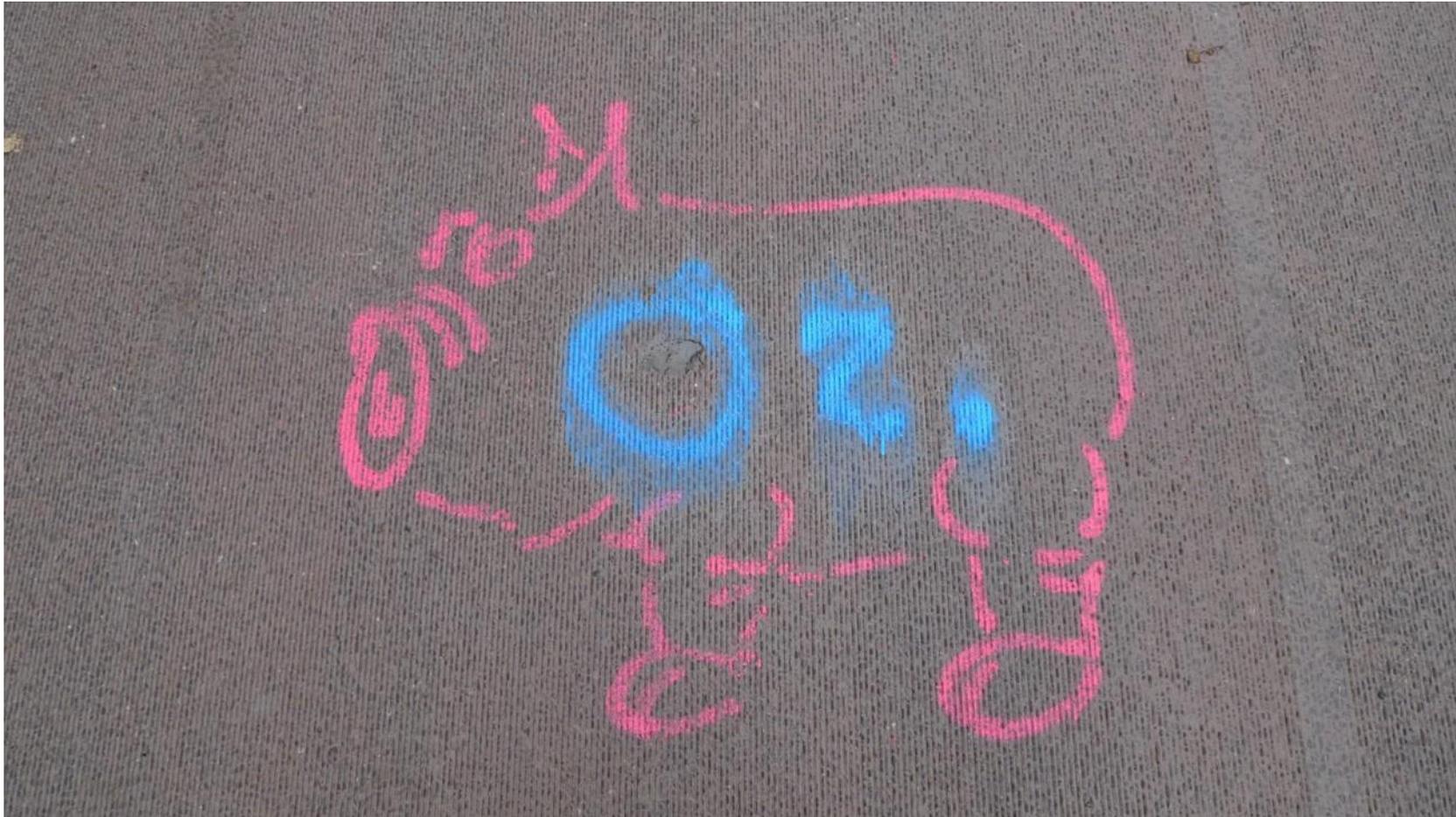
Grindingoberfläche

III. Oberflächenmängel/Schäden



Grindingoberfläche

III. Oberflächenmängel/Schäden



Grindingoberfläche

3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

IV. Fehllage Dübel/Anker



Dübel auf Körben und Klebeanker

3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

IV. Fehllage Dübel/Anker



Dübel an einem Tagesansatz

IV. Fehllage Dübel/Anker



Dübel und Anker im Frischbeton gesetzt

IV. Fehllage Dübel/Anker



Dübel und Anker im Frischbeton gesetzt

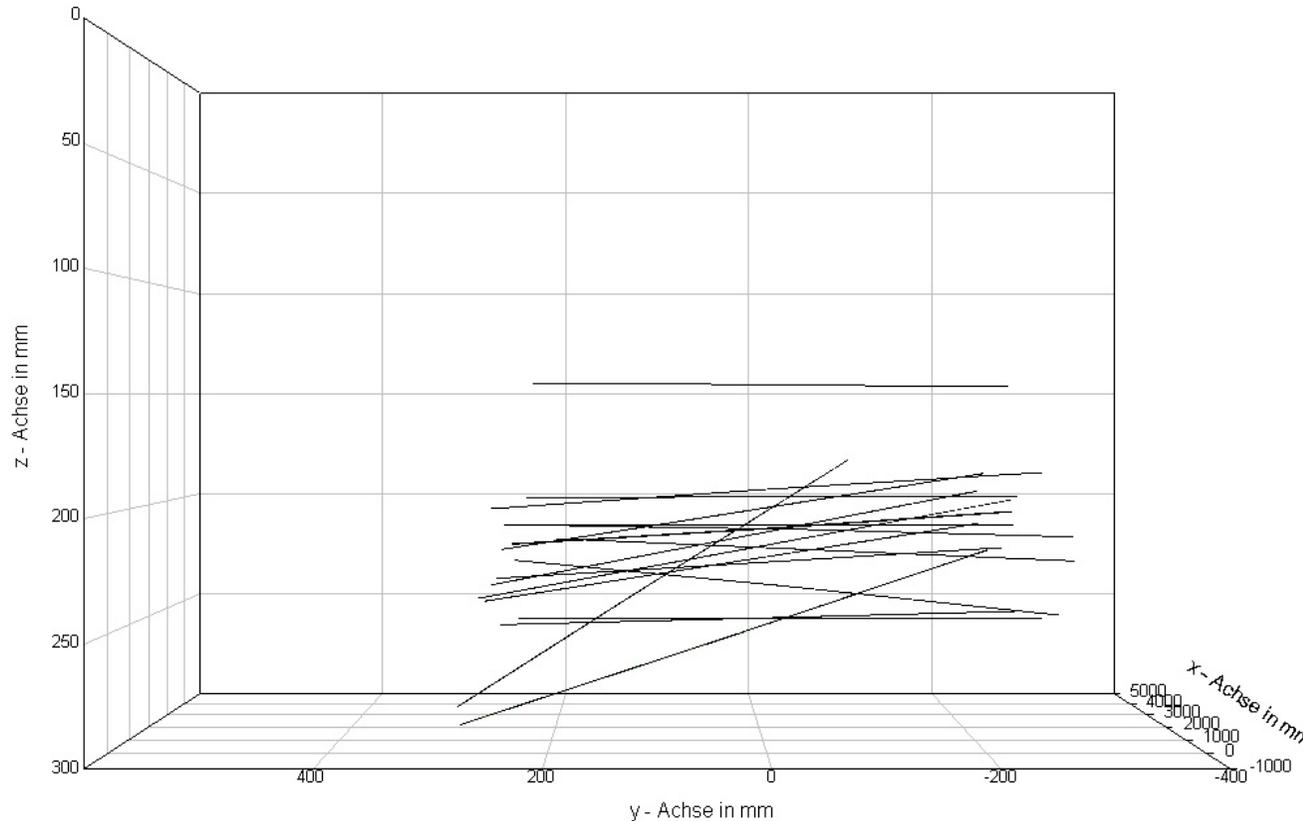
IV. Fehllage Dübel/Anker



Dübel und Anker im Frischbeton gesetzt

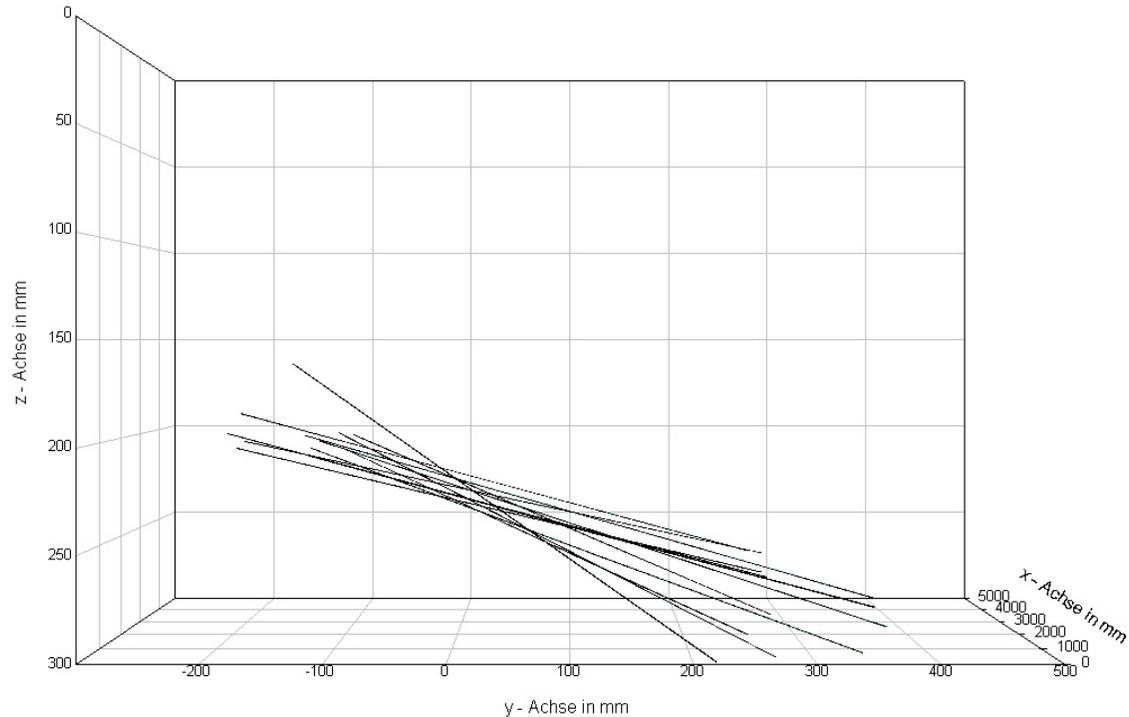
3. Ausführungsbedingte Imperfektionen

IV. Fehllage Dübel/Anker



Dübel und Anker im Frischbeton gesetzt

IV. Fehllage Dübel/Anker

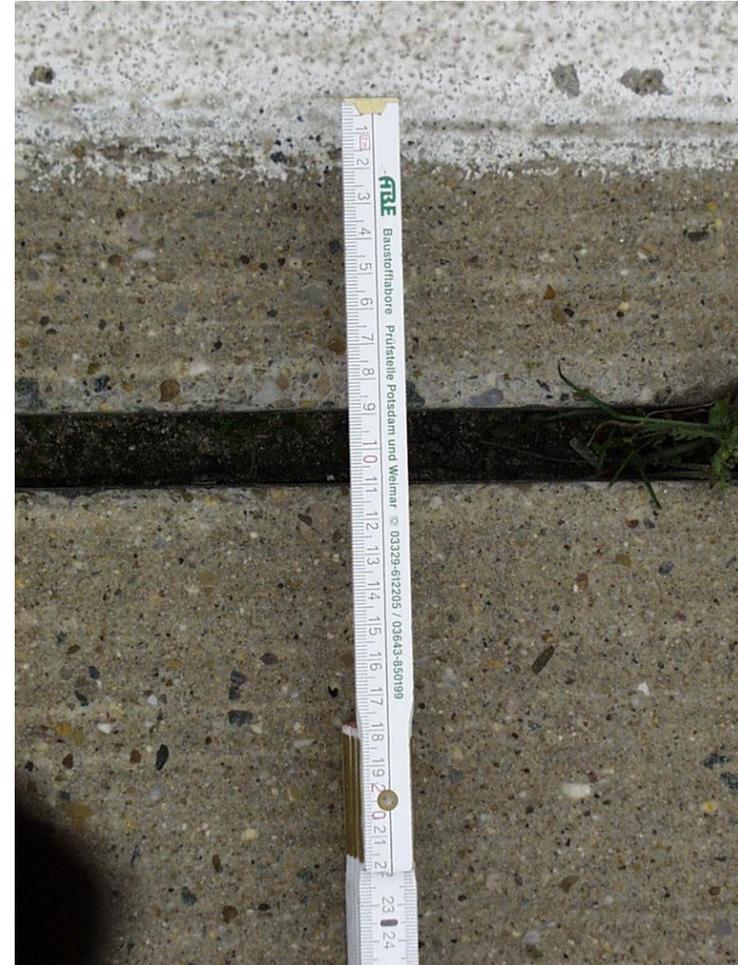


Dübel und Anker im Frischbeton gesetzt

IV. Fehllage Dübel/Anker



Längsscheinfuge nicht verankert



Stefan Pichottka

ABE Bauprüf- und -beratungsgesellschaft mbH

Ruhlsdorfer Str. 95

14532 Stahnsdorf

Tel.: +49 3329 6069 0

Fax: +49 3329 6069 28

Email: post@abe-potsdam.de

www.abe-labor.de