

Unverzichtbar für den Konstruktiven Ingenieur



Hrsg.: Konrad Bergmeister,
Frank Fingerloos,
Johann-Dietrich Wörner

Beton-Kalender 2019

Schwerpunkte: Parkbauten,
Geotechnik und Eurocode 7
2018. 1044 Seiten.

€ 174,-*

Fortsetzungspreis: € 154,-*

ISBN 978-3-433-03242-8

Auch als eBook erhältlich.



Der neue Beton-Kalender 2019 mit den Schwerpunkten Parkbauten sowie Geotechnik und EC 7 bietet eine solide Arbeitsgrundlage und ein topaktuelles und verlässliches Nachschlagewerk für die fehlerfreie Planung dauerhafter Betonkonstruktionen.

Zahlreiche Parkhäuser und Tiefgaragen werden im Rahmen des Ausbaus der Verkehrsinfrastruktur und im innerstädtischen Bauen errichtet. Hierbei sind viele Besonderheiten in Bezug auf Funktionalität und Dauerhaftigkeit zu beachten, die gerade in der Planung ein hohes Maß an speziellem Wissen erfordern. Die relevanten Regelwerke für Deutschland, Österreich und die Schweiz werden in dieser Ausgabe vorgestellt und erläutert.

Bestellschein

Bitte senden Sie mir:

___ St.	978-3-433-03242-8	Beton-Kalender 2019 print	€ 174,-*
___ St.	978-3-433-60936-1	Beton-Kalender 2019 ebook (PDF)	€ 155,99*
___ St.	978-3-433-03242-8	Beton-Kalender 2019 Fortsetzungsbezug*	€ 154,-*
___ St.	909046	Ernst & Sohn Gesamtverzeichnis	€ 0

Liefer und Rechnungsanschrift privat geschäftlich

Firma / Name

Kundennummer

Ust.-ID Nr.

Straße / Hausnummer

Telefon

PLZ / Ort / Land

Fax

E-Mail-Adresse für Online-Registrierung

Ansprechpartner

Datum / Unterschrift

**Senden Sie Ihren ausgefüllten
Bestellschein als E-Mail-Anhang
marketing@ernst-und-sohn.de
oder Fax +49 (0) 30 47031-240**

www.ernst-und-sohn.de/bk19



* Der €-Preis gilt ausschließlich für Deutschland. Inkl. MwSt. Die Versandkosten für Deutschland, Österreich, Schweiz, Liechtenstein und Luxemburg entfallen. Für alle anderen Länder gilt der Preis zzgl. Versandkosten.

Fortsetzungsbezug ist die Belieferung im Abonnement. Sie erhalten zukünftig erscheinende Kalender automatisch zum günstigen Fortsetzungspreis zugeschickt. Eine Kündigung des Abonnements kann bis zu drei Monate vor Erscheinen des neuen Kalenders erfolgen.

Widerruf: Dieser Auftrag kann innerhalb zwei Wochen beim Verlag Ernst & Sohn, Wiley-VCH, Boschstr. 12, D-69469 Weinheim, schriftlich widerrufen werden.

Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA
Kundenservice
Boschstraße 12
69469 Weinheim
Deutschland

Bei Fragen wenden Sie sich an:
▪ +49(0)30 47031-236

Irrtum und Änderungen vorbehalten
Stand: 4/2019

Vorwort

Der Beton-Kalender 2019 bietet mit den Themenschwerpunkten „Geotechnik“ und „Parkbauten“ wiederum den aktuellen Kenntnisstand aus Wissenschaft und Praxis sowie die konsolidierte Kurzfassung von DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) mit DIN 1054.

Im Kapitel „Beton“ von *Harald Müller* und *Udo Wiens* aus dem Beton-Kalender 2018 sind neben aktuellem Wissen aus Forschung, Praxis und Normen auch viele Informationen über die Zusammensetzung, Herstellung und Nachbehandlung vom Normalbeton, über den Sichtbeton, Leichtbeton, Hochfesten Beton und Faserbeton sowie über die Ökobilanz von Beton zu finden. Auch wird auf zukünftige Entwicklungen in der Betonforschung und -normung eingegangen.

Ein Schwerpunktthema ist die Bemessung von Gründungen nach Eurocode 7 Teil 1 und DIN 1054 von *Martin Ziegler* und *Benjamin Aulbach*. Seit dem Jahr 2012 sind der EC 7-1 mit dem dazugehörigen Nationalen Anhang DIN EN 1997-1/NA: 2010-12 zusammen mit den ergänzenden Regelungen von DIN 1054:2010-12 bauaufsichtlich eingeführt und erfuhren eine Neufassung von 2014 bzw. Änderungen A1 von 2012 und A2 von 2015. Den Autoren ist es gelungen, diese Bemessungsnormen sehr klar und didaktisch lehrreich aufzuarbeiten und die Bemessungsabfolgen darzustellen. Es werden sowohl die Flächen- als auch die Tiefgründungen mit Beispielen ergänzend erklärt und die weiteren Entwicklungen des EC 7 aufgezeigt.

Das Thema der Kombinierten Pfahl-Plattengründungen und Sondergründungen im Hoch- und Ingenieurbau wurde von *Rolf Katzenbach* und *Steffen Leppla* aufbauend auf dem Beitrag im Beton-Kalender 2014 entwickelt. Dabei wurde auch die Baugrunderkundung gemäß Eurocode 7 aufgenommen. Ein wichtiger Beitrag ist die detaillierte Abhandlung über das Tragverhalten, die Bemessung, die Probelastungen und die messtechnische Überwachung der Kombinierten Pfahl-Plattengründung (KPP). Auch den Sondergründungen, von den geothermisch aktivierten Gründungssystemen über die Senkkasten- und Brunnengründungen bis zu den Offshore-Gründungen, wird ein Abschnitt gewidmet.

Von *Jürgen Grabe* wurden die Marinen Gründungsbauwerke behandelt. Dazu zählen alle Bauwerke entlang von Küsten und Häfen, Gründungen für Uferbefestigungen, Kajen, Leuchttürme, Öl- und

Gasplattformen, Versorgungsleitungen sowie Bauwerke zur Nutzung der regenerativen Wind-, Tide- und Wellenenergie. Marine Gründungsstrukturen umfassen aber auch Erdbauwerke wie beispielsweise Deiche, künstliche Inseln und Landgewinnungsmaßnahmen. Schwerpunkte dieses Beitrags sind die Beanspruchungen und Lastannahmen sowie die Maßnahmen zur Baugrundverbesserung und zur Landgewinnung. Strukturiert werden die Bemessung und der Bau von Deichkonstruktionen, von Schwimm- und Senkkästen, von Pfahlgründungen und von Wänden dargelegt. Der Autor bringt dann weiteres Wissen zur Modellierung und zum Bau von Kajen, zur Bemessung der Gründungen von Leuchttürmen und Offshore-Windenergieanlagen sowie von Leitungen auf dem Meeresgrund. Abschließend werden auch die Verankerungen von schwimmenden Strukturen behandelt.

Von *Dietmar Adam*, *Konrad Bergmeister* und *Florin Florineth* werden die verschiedenen Stützbauwerke und deren Bemessung beschrieben. Neben den Erddrucktheorien und der geotechnischen Modellierung werden aufbauend auf Eurocode 7 die Bemessung der verschiedenen Grenzzustände aufgezeigt. Strukturiert werden die Bemessungsvorgänge der verschiedenen Stützbauwerke von den Gewichtsstützmauern, über die Winkelstützmauern zu den Raum-Gitterstützkonstruktionen bis zu den Bodenvernagelungen und den tiefen Stützbauwerken (Spundwände, Trägerbohlwände, Pfahlwände und Schlitzwände) sowie den Verankerungen im Baugrund dargestellt und mit Beispielen erklärt. Neben den konstruktiven Stützbauwerken aus Beton werden auch die ingenieurbioologischen Sicherungsmaßnahmen behandelt. Die Normen und Richtlinien wurden auf der Grundlage des Beitrags im Beton-Kalender 2007 weitestgehend an den Stand 2018 angepasst.

Innovative Entwicklungen zum Gradientenbeton werden von *Daniel Schmeer* und *Werner Sobek* aufgezeigt. Mit einer Einführung zum Leichtbau werden die Themen der Geometricoptimierung und der Homogenisierung der Spannungsfelder genauso behandelt wie das Konzept der Gradiententechnologie. Die Betonverfahrenstechnik sowie die Bionotechnologie spielen zur Gewichtsminimierung eine wesentliche Rolle. Das Ziel des Entwurfs funktional gradierter Betonbauteile liegt in der Definition der beanspruchungsgerechten Materialverteilung im Innern des Bauteils und damit der Bestimmung des sogenannten Gradientenlayouts. Neueste wis-

senschaftliche Erkenntnisse werden in diesem Beitrag teils erstmals vorgestellt und das riesige Potenzial zur Gradierung des Betons aufgezeigt.

Teil 2 mit dem Schwerpunkt „Parkbauten“ beginnt mit dem Beitrag von *Bernad Beer*, der sich mit der Planung kundenfreundlicher und wirtschaftlicher Parkbauten beschäftigt. Er zeigt die Planungsprinzipien von der Verkehrsplanung über die Parkraumgestaltung bis hin zum technischen Ausbau unter Berücksichtigung der Kundenanforderungen auf. Ein wichtiges Element bei der Planung ist die Tragwerkskonzeption mit wenigen Stützen. Gerade bei Parkbauten spielt die Dauerhaftigkeit der Betonstrukturen eine wichtige Rolle, weshalb der Autor dieses Thema hier vertieft darstellt.

Die Anforderungen an Parkbauten aus der Betreiber- und Nutzersicht sowie das Thema der Instandhaltung der Gebäudestruktur und der technischen Anlagen wurden von *Volker Buchholz* behandelt. Mit einem Abschnitt über die Instandhaltung von Parkbauten wird dieser Beitrag bereichert.

Ein besonderes Thema ist die Dauerhaftigkeit von Parkbauten. Der aktuelle Stand der Regelwerke in Deutschland wurde von *Frank Fingerloos*, *Claus Flohrer* und *Dieter Räscher* ausgearbeitet. In diesem Beitrag wird die Entwicklung der Regelwerke zur Dauerhaftigkeit direkt befahrener Parkdecks mit einer Fülle von Normen- und Richtlinienhinweisen dargestellt. Darüber hinaus werden viele praktische Hinweise aus den Regelwerken und die aktualisierten Ausführungsvarianten aus dem neuen DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“ strukturiert erläutert.

Urs Järmann und *Milutin Scepan* beschreiben die Regelungen zur Dauerhaftigkeit von Parkhäusern und Tiefgaragen in der Schweiz. Einen wichtigen Baustein bildet hier die Nutzungsvereinbarung, die Anforderungen, Sonderrisiken und das Vorgehen in einem gemeinsamen Dokument festhält. Einzelne Themen, wie das Durchstanzen, der Anprallschutz, die Entwässerung sowie die Instandhaltung werden gut nachvollziehbar dargestellt. Vom Entwurf über die Bemessung, Ausführung, Nutzung, Erhaltung bis zum Rückbau wird der gesamte Projektlauf beschrieben. Interessant sind auch die Überlegungen über zukünftige Trends von Parkbauten unter Berücksichtigung der Elektromobilität.

Susanna Arazli erläutert in ihrem Beitrag die wesentlichen Eckpunkte der österreichischen ÖNB-Richtlinie „Garagen und Parkdecks“. In dieser Richtlinie wird ein großes Augenmerk auf die Dauerhaftigkeit und die Vermeidung von Schäden gelegt. Dabei kommt der Ausbildung des Gefälles, dem Einbau einer Entwässerung, dem Schutz des Tragwerks, der jährlichen Inspektion sowie der Reinigung und der Instandhaltung eine wichtige Rolle zu. Viel Detailwissen und konstruktive Hinweise

werden in dieser Richtlinie zur Planung und zum Betrieb von Garagen und Parkbauten gegeben.

Christian Herold hat die Anwendung von DIN 18532 „Abdichtung von befahrbaren Verkehrsflächen aus Beton“ an der Schnittstelle zu den Regelungen für den Schutz von Betonbauteilen gegen Chloride in Planung und Ausführung vertieft und wertvolle Hinweise herausgearbeitet. Dabei geht es neben den Prinzipien des Bauwerksschutzes bei der Abdichtung befahrbarer Betonbauteile auch um viele relevante bautechnische Hinweise bei der Bauausführung.

Lars Wolff und *Bernd Schwamborn* beschäftigen sich mit den Oberflächenschutzsystemen und den Abdichtungsbauarten für befahrene Parkdecks. Die Autoren erklären die Abdichtungssysteme von befahrbaren Verkehrsflächen aus Beton mit deren Prüfmöglichkeiten und die verschiedenen Schutzsysteme mit deren Leistungsmerkmalen und Qualitätssicherungsmaßnahmen. Von praktischer Bedeutung sind auch die Bewertungen der Lebensdauer sowie die Prüfverfahren und Inspektionsmöglichkeiten der Oberflächenschutzsysteme.

Die Instandsetzung von Tiefgaragen und Parkhäusern wird von *Christian Sodeikat* und *Till F. Mayer* behandelt. Die Autoren berichten zuerst über einige typische Schadensfälle, um dann systematisch die verschiedenen Einflüsse zur Bewehrungskorrosion aufzuzeigen. Die Instandsetzungsrichtlinie des DAfStb in der Fassung von 2001 stellt bis zur Veröffentlichung der neuen Instandhaltungsrichtlinie weiterhin das gültige Regelwerk dar. Die Autoren haben aufbauend auf dieser Richtlinie die Zustandsfeststellung mit den erforderlichen Untersuchungen unter Berücksichtigung auch innovativer Untersuchungsmethoden sowie die Planung und die Durchführung der Instandsetzung entwickelt. Dabei fließen neben wissenschaftlich fundierten Erkenntnissen auch viele praktische Erfahrungen ein.

Die Abdichtungen bei unterirdischen Bauwerken unter Berücksichtigung neuer Normen, aufbauend auf dem Beitrag im Beton-Kalender 2014 werden von *Alfred Haack* und *Dominik Kessler* behandelt. Neben den Planungsgrundlagen werden auch die Auswahlkriterien und die Anwendungsgrenzen verschiedener Abdichtungssysteme sowie relevante Prüfverfahren herausgearbeitet. Unterstützt wird dieser Beitrag von vielen baupraktischen Hinweisen.

Aktuelles Wissen über den kathodischen Korrosionsschutz im Stahlbetonbau beschreiben *Thorsten Eichler* und *Susanne Gieler-Breßmer*. Neben den Grundlagen werden die Werkstoffe und die Typen der Anoden beschrieben. Damit der kathodische Korrosionsschutz seine Wirksamkeit entfalten kann, braucht es neben einer sorgfältigen Planung und einer permanenten Überwachung vor allem

ausgebildetes Fachpersonal. Ausführungsbeispiele auch an Parkbauten und Tiefgaragen runden diesen Beitrag ab.

Björn Siebert und *Jesko Gerlach* befassen sich mit dem chemischen Angriff auf Beton. Die chemischen Prozesse der verschiedenen Schädigungsmechanismen und die Einflussfaktoren auf die Schädigung werden sehr verständlich dargestellt. Anschließend erfolgt eine Beschreibung der unterschiedlichen Schutzmaßnahmen und eine Darstellung der aktuellen Ansätze zur Dauerhaftigkeitsbemessung.

Das Kapitel Normen und Regelwerke hat *Frank Fingerloos* wieder mit großer Fachkenntnis zusammengestellt. Für den diesjährigen Schwerpunkt „Geotechnik“ wird eine für den üblichen Hochbau aufbereitete und gekürzte, aktuelle Fassung des Eurocode 7 Teil 1, DIN EN 1997-1 „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik“ zusammen mit den mitgeltenden Regelungen von DIN 1054 „Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“ abgedruckt. Weiterhin werden die Verzeichnisse der wichtigsten relevanten Baunormen und technischen Baubestimmungen für den Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau, der aktuellen

Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton e. V. (DAfStb), der Merkblätter des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins E. V. (DBV) und der Richtlinien und Merkblätter der Österreichischen Bautechnik Vereinigung (öbv) angeführt. Ein Literaturverzeichnis vervollständigt diesen Beitrag zu den „Normen und Regelwerken“.

Der Beton-Kalender 2019 mit den Themenschwerpunkten „Geotechnik, Eurocode 7“ und „Parkbauten“ bietet dank der erfahrenen und engagierten Autoren aus Wissenschaft und Praxis auch in diesem Jahr ein wissenschaftlich fundiertes Nachschlagewerk. Gegenwärtig wird es immer schwieriger für Autoren, Zeit für das Verfassen profunder Beiträge für den Beton-Kalender zu erübrigen. Es ist aber dennoch auch für diesen Jahrgang gelungen, wertvolle Beiträge aus der Ingenieurpraxis, der Industrie und der Wissenschaft präsentieren zu können. Die Herausgeber wünschen der Leserschaft viel Praktisches und Wissenswertes darin zu finden.

Wien, Berlin, Darmstadt, im September 2018

Konrad Bergmeister, Wien

Frank Fingerloos, Berlin

Johann-Dietrich Wörner, Darmstadt

Inhaltsverzeichnis

1

I	Beton	1			
	Harald S. Müller, Udo Wiens				
1	Einführung und Definition	3	4	Junger Beton	49
1.1	Allgemeines	3	4.1	Bedeutung und Definition	49
1.2	Definition	3	4.2	Hydrationswärme	49
1.3	Klassifizierung von Beton	5	4.3	Verformungen	50
1.3.1	Betonarten	5	4.4	Dehnfähigkeit und Rissneigung	51
1.3.2	Betonklassen	5	4.5	Bestimmung der Festigkeit von jungem Beton	52
1.3.3	Betonfamilie	7			
2	Ausgangsstoffe	8	5	Lastunabhängige Verformungen	53
2.1	Zement	8	5.1	Allgemeines	53
2.1.1	Arten und Zusammensetzung	8	5.2	Temperaturdehnung	53
2.1.2	Bautechnische Eigenschaften	12	5.3	Schwinden	54
2.1.3	Bezeichnung, Lieferung und Lagerung	14	5.3.1	Ursachen	54
2.1.4	Anwendungsbereiche	15	5.3.2	Mathematische Beschreibung	56
2.1.5	Zementhdratation	19			
2.1.6	Der Zementstein	20	6	Festigkeit und Verformung von Festbeton	58
2.2	Gesteinskörnungen für Beton	22	6.1	Strukturmerkmale	58
2.2.1	Allgemeines	22	6.2	Druckfestigkeit	58
2.2.2	Art und Eigenschaften des Gesteins ..	23	6.2.1	Spannungszustand und Bruchverhalten von Beton bei Druckbeanspruchung	58
2.2.3	Schädliche Bestandteile	24	6.2.2	Einflüsse auf die Druckfestigkeit	59
2.2.4	Kornform und Oberfläche	27	6.2.2.1	Ausgangsstoffe und Beton- zusammensetzung	59
2.2.5	Größtkorn und Kornzusammensetzung	28	6.2.2.2	Erhärtungsbedingungen und Reife	60
2.3	Betonzusatzmittel	30	6.2.2.3	Prüfeinflüsse	64
2.3.1	Definition	30	6.2.3	Festigkeitsklassen	65
2.3.2	Arten von Zusatzmitteln	30	6.3	Zugfestigkeit	65
2.3.3	Anwendungsgebiete	31	6.3.1	Bruchverhalten und Bruchenergie	65
2.3.4	Weitere Anforderungen	33	6.3.2	Einflüsse auf die Zugfestigkeit	66
2.4	Betonzusatzstoffe	33	6.3.3	Zentrische Zugfestigkeit	66
2.4.1	Definitionen	33	6.3.4	Biegezugfestigkeit	67
2.4.2	Inerte Stoffe und Pigmente	34	6.3.5	Spaltzugfestigkeit	67
2.4.3	Puzzolanische Stoffe	34	6.3.6	Verhältniszerte für Druck- und Zugfestigkeit	67
2.4.4	Latent-hydraulische Stoffe	39	6.4	Festigkeit bei mehrachsiger Beanspruchung	68
2.4.5	Organische Stoffe	39	6.5	Spannungs-Dehnungsbeziehungen ..	69
2.5	Zugabewasser	40	6.5.1	Elastizitätsmodul und Querdehnzahl ..	70
3	Frischbeton und Nachbehandlung	40	6.6	Zeit auf Festigkeit und Verformung	71
3.1	Allgemeine Anforderungen	40	6.6.1	Die zeitliche Entwicklung von Festigkeit und Elastizitätsmodul	71
3.2	Mehlkorngehalt	40	6.6.2	Verhalten bei Dauerstand- beanspruchung	72
3.3	Rohdichte und Luftgehalt	41	6.6.3	Zeitabhängige Verformungen	72
3.4	Verarbeitbarkeit und Konsistenz	41	6.6.3.1	Definitionen	72
3.5	Transport und Einbau	44			
3.6	Entmischen	45			
3.7	Nachbehandlung	47			
3.7.1	Nachbehandlungsarten	47			
3.7.2	Dauer der Nachbehandlung	47			
3.7.3	Zusätzliche Schutzmaßnahmen	49			

6.6.3.2	Kriechverhalten von Beton	73	10.2.4	Herstellung, Transport und Verarbeitung.	117
6.6.3.3	Vorhersageverfahren	75	10.2.5	Festbetonverhalten von Konstruktionsleichtbeton.	118
6.6.4	Verhalten bei dynamischer Beanspruchung.	77	10.2.6	Zur Planung von Bauwerken aus Konstruktionsleichtbeton.	121
6.6.5	Ermüdung	77	10.2.7	Selbstverdichtender Konstruktions- leichtbeton	122
7	Dauerhaftigkeit	81	10.3	Porenbeton	123
7.1	Überblick über die Umwelt- bedingungen, Schädigungs- mechanismen und Mindestanforderungen.	82	10.4	Haufwerksporiger Leichtbeton	123
7.2	Widerstand gegen das Eindringen aggressiver Stoffe.	89	11	Faserbeton	125
7.3	Korrosionsschutz der Bewehrung im Beton	90	11.1	Allgemeines	125
7.3.1	Allgemeine Anforderungen	90	11.2	Zusammenwirken von Fasern und Matrix	125
7.3.2	Carbonatisierung	91	11.2.1	Ungerissener Beton	126
7.3.3	Eindringen von Chloriden	93	11.2.2	Gerissener Beton	127
7.4	Frostwiderstand	95	11.3	Fasern.	133
7.5	Frost- und Taumittelwiderstand.	95	11.3.1	Stahlfasern	133
7.6	Widerstand gegen chemische Angriffe	97	11.3.2	Glasfasern	134
7.7	Verschleißwiderstand.	98	11.3.3	Organische Fasern	135
7.8	Feuchtigkeitsklassen nach Alkali-Richtlinie	98	11.3.3.1	Kunststofffasern (Polymere)	135
8	Selbstverdichtender Beton	99	11.3.3.2	Kohlenstofffasern	136
8.1	Allgemeines	99	11.3.3.3	Fasern natürlicher Herkunft – Zellulosefasern.	136
8.2	Mischungsentwurf	100	11.4	Zusammensetzung	137
8.3	Frischbetonprüfverfahren an Mörtel	101	11.4.1	Beton	137
8.4	Prüfungen am Beton	102	11.4.2	Fasern.	137
8.5	Eigenschaften.	105	11.5	Eigenschaften	137
9	Sichtbeton	105	11.5.1	Verhalten bei Druckbeanspruchung.	137
9.1	Einführung	105	11.5.2	Verhalten bei Zugbeanspruchung und bei Biegebeanspruchung.	138
9.2	Planung und Ausschreibung	106	11.5.3	Verhalten bei Querkraft- und Torsionsbeanspruchung.	139
9.3	Betonzusammensetzung und Betonherstellung	106	11.5.4	Verhalten bei Explosions-, Schlag- und Stoßbeanspruchung.	139
9.4	Einbau und Nachbehandlung	107	11.5.5	Kriechen und Schwinden.	139
9.4.1	Schalung und Trennmittel	107	11.5.6	Dauerhaftigkeit	139
9.4.2	Ausführung und Nachbehandlung	108	11.5.7	Frost- und Taumittelwiderstand.	140
9.5	Beurteilung	108	11.5.8	Verhalten bei hoher Temperatur	140
9.6	Mängel und Mängelbeseitigung.	109	11.5.9	Verschleißwiderstand.	141
9.6.1	Sichtbetonmängel.	109	11.6	Übereinstimmungsnachweis und Prüfungen.	141
9.6.2	Mängelbeseitigung bei Sichtbeton.	110	11.7	Richtlinie „Stahlfaserbeton“	141
9.6.3	Architektonisch bedeutsame Bausubstanz.	111	12	Ultrahochfester Beton	142
9.7	Sonder-Sichtbetone	111	13	Nachhaltiger Beton	142
10	Leichtbeton	112	13.1	Einführung	142
10.1	Einführung und Überblick.	112	13.2	Ökobilanz von Beton	143
10.2	Konstruktionsleichtbeton nach DIN EN 1992-1-1	113	13.3	Mischungsentwicklung	145
10.2.1	Grundlegende Eigenschaften.	113	13.3.1	Optimierung der Packungsdichte der granularen Ausgangsstoffe.	145
10.2.2	Leichte Gesteinskörnung	113	13.3.2	Bewertung der Leistungsfähigkeit der Bindemittelzusammensetzung.	149
10.2.3	Betonzusammensetzung.	115	13.4	Methoden der Leistungsbewertung	150
			13.5	Zusammensetzung und Eigenschaften nachhaltiger Betone	151

14	Normative Entwicklung	155	14.2.3	DAfStb-Richtlinie	
14.1	Neue EN 206 und DIN 1045-2	155		„Betonbauqualität (BBQ)“	157
14.2	Betonbauqualität entlang der Wertschöpfungskette – Ein integrierter Ansatz.	156	14.3	Widerstandsklassen – das neue Konzept zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken für die zukünftige EN 206	158
14.2.1	Hintergrund	156	15	Literatur	159
14.2.2	Bisherige Normen im Betonbau – Defizitanalyse.	156			
II	Bemessung von Gründungen nach EC 7-1 und DIN 1054	173			
	Martin Ziegler, Benjamin Aulbach				
1	Einleitung	175	3.8	Vereinfachter Nachweis in Regelfällen	198
2	Sicherheitsnachweise nach EC 7-1 und DIN 1054	176	3.8.1	Voraussetzungen für die Anwendung der Erfahrungswerte.	198
2.1	Anwendungsbereich des EC 7-1	176	3.8.2	Nachweisführung mit Bemessungs- werten des Sohlwiderstands.	198
2.2	Begriffe	177	3.8.3	Erhöhung und Verminderung des Bemessungswerts.	199
2.2.1	Geotechnische Kategorien	177	3.9	Beispiele.	199
2.2.2	Sachverständiger für Geotechnik.	177	3.9.1	Beispiel für vereinfachte Nachweis- führung.	199
2.2.3	Einwirkungen, Auswirkungen und Beanspruchungen.	178	3.9.2	Beispiel für Standardnachweis.	203
2.2.4	Widerstände	178	3.9.3	Ergänzender Hinweis.	206
2.2.5	Charakteristische und repräsentative Werte	179	4	Tiefgründungen	207
2.2.6	Bemessungswerte.	181	4.1	Pfahlarten und Tragverhalten.	207
2.2.7	Besonderheiten in der Geotechnik.	181	4.1.1	Verdrängungspfähle nach DIN EN 12699:2015-07.	207
2.2.8	Bemessungssituationen	183	4.1.2	Bohrpfähle nach DIN EN 1536:2015-10.	207
2.3	Grenzzustände und Nachweise	185	4.1.3	Mikropfähle nach DIN EN 14199:2015-07.	207
2.3.1	Grenzzustand EQU	185	4.2	Einstufung in die Geotechnische Kategorie	207
2.3.2	Grenzzustand UPL.	185	4.3	Einwirkungen und Beanspruchungen.	208
2.3.3	Grenzzustand HYD.	186	4.3.1	Gründungslasten	208
2.3.4	Grenzzustand STR	186	4.3.2	Negative Mantelreibung.	208
2.3.5	Grenzzustand GEO	186	4.3.3	Hebungen	209
2.3.6	Grenzzustand der Gebrauchs- tauglichkeit SLS.	188	4.3.4	Fließdruck	209
3	Flächengründungen	189	4.3.5	Beanspruchungen.	210
3.1	Allgemeines	189	4.4	Widerstände	212
3.2	Einstufung in die Geotechnische Kategorie	189	4.4.1	Axiale Pfahlwiderstände	212
3.3	Einwirkungen und Beanspruchungen.	189	4.4.2	Dynamische Probelastungen	214
3.4	Widerstände	192	4.4.3	Erfahrungswerte.	214
3.4.1	Grundbruch	192	4.4.4	Bemessungswert der axialen Pfahlwiderstände	217
3.4.2	Gleiten	194	4.4.5	Pfahlwiderstände bei quer zur Pfahlachse beanspruchten Einzelpfählen	218
3.5	Bemessungswerte.	195	4.4.6	Axiale Pfahlwiderstände bei Druckpfahlgruppen	218
3.6	Nachweise der Tragfähigkeit	195	4.5	Nachweise	219
3.6.1	Gesamtstandsicherheit	195	4.5.1	Nachweise der Tragfähigkeit	219
3.6.2	Grundbruchwiderstand	196	4.5.2	Nachweise der Gebrauchstauglichkeit	221
3.6.3	Gleitwiderstand	196			
3.6.4	Stark exzentrische Belastung	196			
3.7	Nachweise der Gebrauchs- tauglichkeit.	196			
3.7.1	Setzungen und Hebungen	196			
3.7.2	Fundamentverdrehung und Begrenzung einer klaffenden Fuge	197			
3.7.3	Verschiebungen in der Sohlfläche	198			

4.6	Beispiel – Bemessung eines axial belasteten Bohrpfahls mithilfe von Erfahrungswerten.	222	5	Weitere Entwicklung des EC 7	226
			6	Literatur	228

III **Kombinierte Pfahl-Plattengründungen und Sondergründungen im Hoch- und Ingenieurbau** 231

Rolf Katzenbach, Steffen Leppla

1	Einleitung	233	3.8.5.3	Büroturm Japan Center in Frankfurt am Main.	262
2	Grundlagen	233	3.8.5.4	Bürokomplex Kastor und Pollux in Frankfurt am Main.	264
2.1	Baugrund-Tragwerk-Interaktion	233	3.8.5.5	Büroturm Sony Center in Berlin	264
2.2	Baugrunderkundung gemäß Eurocode 7 (EC 7)	235	3.8.6	KPP in Kombination mit Deckelbauweise	264
2.2.1	Baugrunderkundungsprogramm	235	3.8.7	Hochhausgründung neben S-Bahn-Tunnel in setzungsaktivem Baugrund	266
2.2.2	Umfang der Baugrunderkundung bei Gründungen	236	3.8.8	Spezialgründung auf Verwerfungslinie	269
2.2.3	Umfang der Baugrunderkundung bei Baugruben	237	3.8.9	Hochhausgründung in Hanglage	269
2.3	Vier-Augen-Prinzip	238	3.8.10	Horizontal belastete KPP.	272
2.4	Beobachtungsmethode.	239	3.9	Gewährleistung der Sicherheit, Qualität und Wirtschaftlichkeit	274
3	Kombinierte Pfahl-Plattengründung	240	4	Sondergründungen	274
3.1	Trag- und Verformungsverhalten.	241	4.1	Geothermisch aktivierte Gründungssysteme.	274
3.2	Tiefgründungselemente	243	4.1.1	Physikalische Grundlagen	275
3.3	Herstellung von Tiefgründungselementen.	244	4.1.2	Massivabsorber	276
3.4	Berechnungsmethoden.	245	4.1.3	Dimensionierung und Nachweisführung	276
3.5	Geotechnische Nachweisführung.	246	4.1.4	Herstellung und konstruktive Durchbildung	277
3.5.1	Grundlagen.	246	4.1.5	Energiepfahlanlage eines innerstädtischen Großbauprojektes	278
3.5.2	Nachweis der Tragfähigkeit (ULS)	247	4.2	Wiedernutzung von Bestandsgründungen	279
3.5.3	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (SLS)	247	4.2.1	Zielstellung der Wiedernutzung.	280
3.5.4	Pfahlprobelastungen.	248	4.2.2	Geotechnische Nachweisführung.	281
3.5.4.1	Grundlagen.	248	4.2.3	Notwendige Untersuchungen.	281
3.5.4.2	Beispiel	248	4.2.4	Wiedernutzung bestehender Gründungen – Beispiele aus der Ingenieurexpraxis	282
3.6	KPP-Richtlinie.	250	4.2.4.1	Reichstag in Berlin.	282
3.7	Messtechnische Überwachung einer KPP.	250	4.2.4.2	Hessischer Landtag in Wiesbaden	284
3.8	Ausgeführte Kombinierte Pfahl-Plattengründungen	250	4.3	Brunnengründungen	284
3.8.1	Erstmalige Ausführung einer KPP in Deutschland	250	4.4	Senkkastengründungen	286
3.8.2	Hochhausgründung im Standardfall	255	4.4.1	Offene Senkkästen	286
3.8.3	KPP in nichtbindigem Baugrund	255	4.4.2	Druckluftsenkkästen	286
3.8.4	KPP in setzungsaktivem, bindigem Baugrund	258	4.5	Offshore-Gründungen	287
3.8.5	KPP mit exzentrischer Belastung.	259	5	Literatur	287
3.8.5.1	Gebäudekomplex DZ-Bank in Frankfurt am Main.	259			
3.8.5.2	Gebäudekomplex American Express in Frankfurt am Main.	262			

IV	Marine Gründungsbauwerke	295		
	Jürgen Grabe			
1	Einführung	297	6.4	Bemessung
1.1	Abgrenzung zu Gründungen an		6.4.1	Verformungen
	Land	297	6.4.1.1	Setzungen während der Bauzeit
1.2	Besonderheiten und Risiken	297	6.4.1.2	Langzeitzsetzungen
1.3	Regelwerke und Empfehlungen	298	6.4.1.3	Beobachtungsmethode
1.4	Verwendete Planungsunterlagen	298	6.4.2	Standssicherheit
2	Meeresgrund und Küsten	298	7	Schwimm- und Senkkästen
2.1	Geologie in der Nord- und Ostsee	298	7.1	Bau
2.2	Offshore-Baugrunderkundung	299	7.2	Bemessung
2.3	Morphodynamik	300	7.2.1	Schwimmstabilität
2.3.1	Erosion und Sedimentation	300	7.2.2	Schneidengeometrie
2.3.2	Welleninduzierte Druck-		7.2.3	Gebrauchstauglichkeit
	beanspruchung	301	7.2.4	Standssicherheit
2.3.3	Unterwasserböschungen	302		
3	Beanspruchungen und		8	Pfahlgründungen
	Lastannahmen	303	8.1	Pfahlarten
3.1	Tide	303	8.2	Einbringverfahren
3.2	Strömungskräfte	304	8.3	Tragverhalten
3.3	Wellen	304	8.3.1	Einzelpfahl unter axialer Belastung
3.4	Eis	305	8.3.2	Einzelpfahl unter Horizontallast und
3.5	Wind	305		Biegemoment
3.6	Kran	306	8.3.3	Zugbeanspruchte Pfähle
3.7	Schiff	306	8.3.4	Pfahlgruppen
3.8	Verkehr	307	8.3.5	Pfahlrost
3.9	Korrosion	307	8.4	Bemessung
3.10	Biologischer Bewuchs	307	8.4.1	Axiale Pfahlwiderstände
4	Baugrundverbesserungen	308	8.4.1.1	Pfähle in Häfen und Wasserstraßen
4.1	Vertikaldrainagen	308	8.4.1.2	Offshore-Pfähle
4.2	Rütteldruck- und -stopfverfahren	308	8.4.2	Horizontale Pfahlwiderstände
4.3	Geotextilmantelnde Sandsäulen	309	8.4.2.1	Daiben
4.4	Dynamische Intensivverdichtung	310	8.4.2.2	Bettung von Pfählen in Häfen und
4.5	Vakuumverfahren	310		Wasserstraßen
5	Landgewinnung	311	8.4.2.3	Offshore-Pfähle
5.1	Baggergutgewinnung	311	8.5	Pfahlprüfung statisch und
5.1.1	Hydraulische Löseverfahren	311		dynamisch
5.1.2	Mechanische Löseverfahren	311	8.6	Anwachsen
5.2	Einbauverfahren	312	9	Wände
5.2.1	Herstellung von Dämmen	312	9.1	Art und Zweck
5.2.2	Einspülen des Boden-Wasser-		9.2	Herstellverfahren
	Gemischs	313	9.3	Bemessung von Wänden
5.3	Eigenschaften des eingebauten		9.3.1	Allgemeines
	Materials	313	9.3.2	Sicherheitskonzept, Grenzzustände
6	Deiche	314		und Lastfälle
6.1	Regelquerschnitte an der Nord- und		9.3.3	Einwirkungen und Widerstände
	Ostseeküste	314	9.3.4	Statische Systeme
6.2	Bau von Deichen	315	9.3.5	Erforderliche Nachweise
6.2.1	Vorbereiten der tragfähigen		9.4	Hochwasserschutzwände
	Deichbasis	315	9.4.1	Allgemeines
6.2.2	Einbau des Kernmaterials	315	9.4.2	Berechnung
6.2.3	Einbau der Deckschichten	315	9.4.3	Beispiel
6.3	Ursache für Deichversagen	315	9.4.4	Bauliche Maßnahmen
			9.5	Spundwände
			9.5.1	Allgemeines
			9.5.2	Berechnung

9.6	Verankerungen	336	12	Gründung von Leuchttürmen	346
9.6.1	Allgemeines	336	12.1	Besonderheiten.	346
9.6.2	Berechnung	336	12.2	Beispiele.	346
9.7	Fangedämme	336	13	Gründung von Windkraftanlagen	
9.7.1	Allgemeines	336		offshore.	347
9.7.1.1	Zellenfangedämme.	337	13.1	Einleitung.	347
9.7.1.2	Kastenfangedämme	337	13.2	Arten	348
9.7.2	Berechnung	337	13.3	Besonderheiten.	349
9.7.2.1	Berechnung von Zellenfange-		13.4	Nachweise	350
	dämmen	337	13.5	Bau	350
9.7.2.2	Kastenfangedämme	338	13.6	Beispiel	351
9.7.3	Bauliche Maßnahmen	338	14	Gründung von Leitungen auf dem	
10	Kajen	339		Meeresgrund	352
10.1	Einleitung.	339	14.1	Arten	352
10.2	Typische Querschnitte	339	14.2	Besonderheiten.	354
10.3	Land- und Wasserbaustelle	341	14.3	Verlegetiefe	356
10.4	Tragverhalten	341	15	Verankerung von schwimmenden	
10.5	Besondere Hinweise für die			Strukturen	357
	Bemessung von Kajen	344	15.1	Ankerarten	358
11	Seeschleusen	345	15.2	Besonderheiten.	360
11.1	Einleitung.	345	16	Literatur	360
11.2	Abmessungen.	345			
11.3	Konstruktion	345			
11.4	Besondere Einwirkungen.	345			
V	Stützbauwerke	367			
	Dietmar Adam, Konrad Bergmeister, Florin Florineth				
1	Einführung.	369	3.9	Normative Berechnungs- und	
				Bemessungsgrundlagen	386
2	Entwurf und Systematik der		4	Flache Stützkonstruktionen	392
	Stützkonstruktionen.	369	4.1	Gewichtsstützmauern	392
3	Berechnungs- und Bemessungs-		4.1.1	Allgemeines	392
	grundlagen	370	4.1.2	Berechnung und Bemessung	393
3.1	Allgemeines	370	4.2	Winkelstützmauern	396
3.2	Sicherheitsbetrachtungen	371	4.2.1	Allgemeines	396
3.3	Aktiver und passiver Erddruck –		4.2.2	Berechnung und Bemessung	397
	Grundlagen.	373	4.3	Bemessungsbeispiel	
3.3.1	Grenz- und Zwischenwerte des			Winkelstützmauer	397
	Erddrucks.	373	4.3.1	Geometrien, Bodenkennwerte,	
3.3.2	Erddrucktheorien	373		Materialeigenschaften	397
3.3.3	Grundwerte für die Berechnung	375	4.3.2	Äußere Standsicherheit	398
3.4	Erddruckberechnung	376	4.3.3	Innere Standsicherheit	401
3.5	Erddruckverteilung	379	4.3.4	Bemessung auf Biegung	404
3.6	Sonderformen des Erddrucks.	380	4.3.5	Bemessung auf Querkraft	405
3.7	Wasserdruck.	382	4.3.6	Bemessung des luftseitigen	
3.8	Baustoffe der Stützbauwerke	383		Fundamentvorsprungs als Konsole	
3.8.1	Wasserundurchlässiger Beton	383		(Schnitt 5)	406
3.8.2	Frost- und witterungsbeständiger		4.4	Raumgitter-Stützkonstruktionen	407
	Beton	384	4.4.1	Allgemeines zu Verbund-	
3.8.3	Frost- und taumittelbeständiger			konstruktionen	407
	Beton	384	4.4.2	Beton-Raumgitter-Stützmauern	
3.8.4	Beton mit rezyklierten			(Betonkrainerwände)	407
	Gesteinskörnungen.	384	4.4.3	Holzkrainerwände	409

4.4.4	Berechnung und Bemessung	411	5.4.10	Bemessung der Bohrfahlwand nach DIN 1045-1	434
4.5	Bewehrte Erde	412		Schlitzwände	435
4.5.1	Allgemeines	412	5.5	Allgemeines	435
4.5.2	Berechnung und Bemessung	415	5.5.1	Allgemeines	435
4.6	Bodenvernagelungen (Injektionsverdübelung)	415	5.5.2	Herstellung	435
4.6.1	Allgemeines	415	5.5.3	Berechnung und Bemessung	437
4.6.2	Berechnung und Bemessung	416	5.6	Stützflüssigkeiten	437
4.7	Bemessungsbeispiel Bodenvernagelung	417	5.7	Verankerungen	437
4.7.1	Innere Standsicherheit – Sicherheit gegen Herausziehen	417	5.8	Brunnen, Dübel und Stützscheiben	438
4.7.2	Geometrien, Bodenkennwerte, Materialeigenschaften	417	5.8.1	Allgemeines	438
4.7.3	Sicherheit gegen Herausziehen der Nägel (GZ 1C)	418	5.8.2	Berechnung und Bemessung	439
4.8	Entwässerung	419	5.9	Fangedämme	440
5	Tiefe Stützbauwerke	421	5.9.1	Allgemeines	440
5.1	Spundwände	421	5.9.2	Berechnung und Bemessung	440
5.1.1	Allgemeines	421	6	Sonstige Stützkonstruktionen	442
5.1.2	Herstellverfahren	422	6.1	Aufgelöste Stützkonstruktionen	442
5.1.3	Berechnung und Bemessung	423	6.2	Sonderformen von Stützbauwerken	443
5.2	Trägerbohlwände	427	6.3	Schutzgalerien	443
5.2.1	Allgemeines	427	6.4	Sicherung von Hangbrücken – Schalentragerwerke	444
5.2.2	Berechnung und Bemessung	427	7	Ingenieurbiologische Sicherungsmaßnahmen	444
5.3	Pfähle und Pfahlwände	428	7.1	Hangfaschinen	444
5.3.1	Pfähle	428	7.2	Bepflanzte Pilotenwand	445
5.3.2	Pfahlgruppen, Pfahlroste	429	7.3	Bepflanzter Hangrost	445
5.3.3	Bohrpfahlwände	429	7.4	Begrünung	446
5.3.4	Berechnung und Bemessung	430	8	Dauerhaftigkeit von Stützbauwerken	447
5.4	Bemessungsbeispiel Bohrpfahlwand	430	8.1	Qualitätskontrollen	447
5.4.1	Querschnitte	430	8.2	Baugrunderkundung	447
5.4.2	Geologie und Hydrogeologie	431	8.3	Konstruktion	447
5.4.3	Teilsicherheitsbeiwerte	432	8.4	Expositionsklassen	448
5.4.4	Bauteile	432	8.5	Bewertung der Lebensdauer	448
5.4.5	Systemannahmen	432	8.6	Robustheit	449
5.4.6	Einwirkungen (Lastannahmen)	433	8.7	Überwachung	449
5.4.6.1	Ständige Einwirkungen	433	9	Innovationen	450
5.4.6.2	Veränderliche Einwirkungen	433	9.1	Mixed-in-Place-Verfahren (MIP)	450
5.4.7	Bettungsmodulverlauf	434	9.2	Bewehrte DSV-Wände	450
5.4.8	Berechnung der Einbindetiefe	434	10	Literatur	451
5.4.9	Charakteristische Schnittgrößen	434			
VI	Gradientenbeton	455			
	Daniel Schmeer, Werner Sobek				
1	Einleitung	457	4	Mikrogradierung von Betonbauteilen	459
2	Leichtbau	457	4.1	Konzept	459
3	Die Gestaltung des Bauteilinnenraums	458	4.2	Herstellungsverfahren	459
			4.3	Betontechnologie	461
			4.4	Entwurf	463

4.5	Tragverhalten	465	5.4	Erste Untersuchungen zum Tragverhalten	473
4.5.1	Experimentelle Untersuchungen	465			
4.5.2	Berechnungs- und Bemessungsvorschläge	466	6	Potenzial und Perspektiven des Gradientenbetons.	473
5	Mesogradierung von Betonbauteilen. .	467	7	Dank.	474
5.1	Konzept	467	8	Literatur	474
5.2	Herstellungsansätze	468			
5.3	Entwurfsansätze	469			

Inhaltsverzeichnis

2

VII	Planung kundenfreundlicher und wirtschaftlicher Parkbauten	477
	Bernd Beer	
1	Allgemeines	479
1.1	Weiterer Bedarf an Parkbauten	479
1.2	Grundprinzipien der Kundenfreundlichkeit	479
1.3	Begriffsdefinitionen	480
2	Verkehrsplanung	480
2.1	Parkbautypen	480
2.1.1	Geschosshohe gerade oder kreisförmige Rampen	481
2.1.2	Split-Level- oder d'Humy-System	482
2.1.3	Parkrampensystem	482
2.1.4	Hybridformen	482
2.2	Innere Verkehrsführung	482
2.3	Aufstellwinkel, Stellplatz- und Fahrbahngeometrie	483
2.4	Rampen	485
2.4.1	Grundrissgeometrie	487
2.4.2	Höhenplanung	488
2.4.3	Besonderheiten kreisförmiger Rampen	488
2.5	Straßenanbindung	489
2.6	Schrammborde	491
2.7	Fußwegverbindungen	491
2.8	Barrierefreies Bauen	492
2.9	Baulicher Brandschutz	492
2.10	Elektromobilität	493
2.11	Car Sharing	494
3	Tragwerksplanung	494
3.1	Allgemeines	494
3.2	Stützenvermeidung durch die Stellplatzgeometrie	495
3.3	Stützenvermeidung durch die Wahl des Tragsystems	495
3.3.1	Zwischendecken von Hoch- und Tiefgaragen	495
3.3.2	Dachdecken von Tiefgaragen	497
3.3.2.1	Nicht überbaute Tiefgaragen	497
3.3.2.2	Überbaute Tiefgaragen	497
4	Dauerhaftigkeit	497
4.1	Allgemeines	497
4.2	Deckenoberseiten	497
4.3	Stützen, Wände und Deckenunterseiten	498
5	Technischer Ausbau	498
5.1	Parkhaussteuerungs- und -bewirtschaftungsanlagen	498
5.2	Entwässerung	499
5.3	Lüftung	499
5.4	Beleuchtung	500
5.5	Videoüberwachung	501
5.6	Aufzüge und Treppenhäuser	501
6	Allgemeiner Ausbau	501
6.1	Anstricharbeiten	501
6.2	Schlosser- und Metallbauarbeiten	502
7	Sicherheit in Parkbauten	503
8	Literatur	503
VIII	Anforderungen an Parkbauten aus Betreiber- und Nutzersicht sowie die Instandhaltung von Parkbauten	505
	Volker Buchholz	
1	Einleitung	507
2	Anforderungen an Parkbauten	507
2.1	Anforderungen aus Sicht des Betreibers	507
2.1.1	Betriebliche und funktionale Anforderungen	507
2.1.2	Wirtschaftliche Anforderungen	508
2.2	Anforderungen aus Sicht des Nutzers	508
2.3	Die Umsetzung der Anforderungen in die Objektplanung des Architekten ..	511
3	Instandhaltung von Parkbauten	511
3.1	Rechtliche Anforderungen	511
3.2	Instandhaltung der Gebäudesubstanz	512
3.3	Instandhaltung der Technischen Gebäudeausrüstung	513
3.4	Dokumentation der Instandhaltung ..	513
4	Literatur	513

IX	Dauerhaftigkeit von Parkbauten in Deutschland	515
	Frank Fingerloos, Claus Flohrer, Dieter Räsch	
1	Einführung	517
2	Entwicklung des Regelwerks zur Dauerhaftigkeit von direkt befahrenen Parkdecks seit 1988 – Rückblick	517
3	Das aktuelle Regelwerk zur Dauerhaftigkeit von Parkbauten – Überblick	532
3.1	Einführung	532
3.2	Zuordnung der Expositions-, Feuchtigkeitsklassen und Mindestbetondeckungen	533
3.3	Dichtheit der Betondeckung – Anforderungen an die Betonzusammensetzung	539
3.4	Anforderungen an die Rissbreitenbegrenzung	542
3.5	Nachbehandlung der Betonrandzone	545
4	Aufgaben der Planung	547
5	Bedarfsplanung	548
6	Entwurfsgrundsätze für die Rissbeherrschung	549
7	Ausführungsvarianten für befahrene Verkehrsflächen	551
7.1	Allgemeines	551
7.2	Varianten A: Betonflächen ohne flächiges Oberflächenschutzsystem oder ohne Abdichtung	553
7.2.1	Variante A1: rissvermeidende Bauweise	553
7.2.2	Variante A2: gerissene Betonflächen mit lokalem Schutz der Risse und Fugen	553
7.3	Varianten B: mit flächigem Oberflächenschutzsystem	554
7.3.1	Variante B1: vollflächig starr beschichtet – OS 8 mit begleitender Rissbehandlung	554
7.3.2	Variante B2: Betonfläche vollflächig rissüberbrückend beschichtet mit OS 10 und Nutzschiene oder OS 11 ..	554
7.4	Varianten C: mit flächiger, rissüberbrückender Abdichtung	555
7.4.1	Voraussetzungen	555
7.4.2	Variante C1: unterlaufsichere bahnenförmige Abdichtung oder OS 10, jeweils mit Dichtungs- und Schutzschicht aus Gussasphalt	555
7.4.3	Variante C2: unterlaufsichere zweilagige bahnenförmige Abdichtung mit Schutzschicht	555
7.5	Variante KKS: präventiver Kathodischer Korrosionsschutz	556
7.6	Variante Rostfrei: nichtrostende chloridbeständige Bewehrung	557
7.7	Chloridbeanspruchte WU-Bodenplatten im drückenden Wasser	558
7.8	Rampen	558
7.9	Oberflächenschutzsysteme – aktueller Regelungsstand	559
8	Ausführungsvarianten bei Bauteilen unter durchlässigen Belägen	560
9	Ausführungsvarianten für von der Parkfläche aufgehende monolithische Bauteile	562
10	Gefälleausbildung	562
11	Maßnahmen zur Umsetzung der Entwurfsgrundsätze	565
11.1	Allgemeines	565
11.2	Konstruktive Maßnahmen	566
11.2.1	Überblick	566
11.2.2	Vermeidung von Festhaltepunkten ..	566
11.2.3	Zwangmindernde Maßnahmen bei Bodenplatten	567
11.2.4	Anordnung von Hydratationsgassen ..	568
11.2.5	Anordnung von Sollrissfugen in Wänden	569
11.2.6	Entkopplung der Tiefgaragen-WU-Betonwand vom Baugrubenverbau	569
11.3	Betontechnische Maßnahmen	569
11.3.1	Allgemeines	569
11.3.2	Festlegung von Betonrezepturen mit niedriger Hydratationswärmeentwicklung	571
11.3.3	Niedrige Frischbetontemperatur	571
11.3.4	Kühlung des Betons	571
11.4	Ausführungstechnische Maßnahmen ..	572
11.4.1	Überblick	572
11.4.2	Festlegung von Betonierabschnitten ..	572
11.4.3	Wahl des Betonierzeitpunkts	573
11.4.4	Frühzeitige Nachbehandlung und Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung	573
11.4.5	Wärmehaltende Nachbehandlung	573
11.5	Maßnahmen während der Bauzeit vor Nutzungsbeginn	574
12	Instandhaltung	575

13	Beispiele	575	13.2	Beispiel: befahrene WU-Bodenplatte mit EGS-c	576
13.1	Beispiel: befahrene WU-Bodenplatte mit EGS-a	575	13.2.1	Objektbeschreibung	576
13.1.1	Objektbeschreibung	575	13.2.2	Entwurfsgrundsatz	578
13.1.2	Entwurfsgrundsatz	575	13.2.3	Konstruktive und objektplanerische Maßnahmen	579
13.1.3	Konstruktive Maßnahmen	575	13.2.4	Betontechnische und ausführungstechnische Maßnahmen	579
13.1.4	Betontechnische Maßnahmen	576	13.2.5	Zusammenfassung	580
13.1.5	Ausführungstechnische Maßnahmen	576	14	Literatur	580
13.1.6	Zusammenfassung	576			
X	Regelungen zur Dauerhaftigkeit von Parkhäusern und Tiefgaragen in der Schweiz	583			
	Urs Järmann, Milutin Scepan				
1	Einführung	585	3.3	Themen Instandsetzung, Nachrüsten	595
2	Regelwerke für Neubauten und Instandsetzung	586	3.3.1	Beispiel: Durchstanz- und Biegezugverstärkungen in einem ca. 50-jährigen Parkhaus	595
3	Spezielles zu den Themen Neubau, Instandsetzung und Unterhalt	586	3.3.2	Oberflächenrauheit von Beschichtungen in Parkhäusern	598
3.1	Neubauten	586	3.3.3	Zustand alter Beschichtungen in Parkhäusern	600
3.1.1	Grundsätzliches	586	4	Projektablauf – Organisation	601
3.1.2	Nutzungsvereinbarung und Projektbasis	586	5	Leistungen und Honorare	604
3.1.2.1	Nutzungsvereinbarung	586	6	Künftige Themen und Trends, welche die Planung, Projektierung und den Betrieb beeinflussen	606
3.1.2.2	Projektbasis	589	7	Literatur	607
3.2	Themen Neubau	589			
3.2.1	Beispiel: Neubau mit Fehlern	589			
3.2.2	Krafteinleitung (Durchstanzen) und Belag	591			
3.2.3	Anprallschutz	592			
3.2.4	Deformationen und Entwässerung	593			
XI	Erläuterungen zur Anwendung der öbv-Richtlinie „Garagen und Parkdecks“ in Österreich	609			
	Susanna Arazli				
1	Einleitung	611	3.3	Risse im Stahlbeton	613
2	Grundlagen	611	3.4	Korrosion	614
2.1	Nutzung	611	3.5	Karbonatisierung	614
2.2	Bauformen, Bauverfahren, Bauweisen	612	3.6	Chlorid	614
2.2.1	Allgemeines	612	3.6.1	Korrosionsauslösende Chloridkonzentration	614
2.2.2	Bauformen	612	3.6.2	Chloridinduzierte Korrosion	615
2.2.3	Bauverfahren	612	4	Bestimmungen der Richtlinie	615
2.2.4	Bauweisen	612	4.1	Grundsätzliches	615
3	Ursachen von Schäden in Parkbauten	613	4.2	Anwendungsbereich und Ziele	616
3.1	Allgemeines	613	4.3	Wahl der Schutzmaßnahmen	616
3.2	Dauerbetrieb und Rampe als Nadelöhr	613	4.4	Tragwerk	616
			4.4.1	Allgemeines	616
			4.4.2	Empfohlene Konstruktionssysteme	617
			4.4.3	Reine Gefällebetone nicht zulässig	618

4.4.4	Rissbreitenbeschränkung	619	4.7.6	Oberflächenschutzsysteme	635
4.4.5	Stützen- und Wandfüße	619	4.7.7	Erhöhung der Verschleiß- und Abriebfestigkeit	636
4.4.6	Nichttragende Bodenplatten und Rampen	620	4.7.8	Hohlkehlen und Hochzüge	636
4.4.7	Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannens als Verkehrsflächen	620	4.8	Fugen	637
4.4.8	Betoneinbau	620	4.8.1	Allgemeines	637
4.5	Entwässerung	620	4.8.2	Planung	637
4.5.1	Allgemeines	620	4.8.3	Ausführung von Bewegungsfugen . .	638
4.5.2	Entwässerungskonzept	621	4.9	Qualitätssicherung	639
4.5.3	Grundsätze der Planung	621	4.9.1	Allgemeines	639
4.5.4	Ausführung	622	4.9.2	Örtliche Bauaufsicht	639
4.5.5	Rigolen als Einbauteile	623	4.9.3	Eigenüberwachung Beschichtung . .	640
4.5.6	Das Problem mit Pumpensämpfen und Verdunstungsrinnen	624	4.9.4	Fremdüberwachung Beschichtung . .	640
4.6	Abdichtung mit Asphalt als Fahrbahnbelag	625	4.10	Instandhaltung und Reinigung . .	641
4.6.1	Allgemeines	625	4.10.1	Allgemeines	641
4.6.2	Entwässerung auf zwei Ebenen . . .	626	4.10.2	Reinigung	641
4.6.3	Ausführungsvarianten	626	4.10.3	Inspektion	641
4.6.4	Untergrundvorbereitung	627	4.10.4	Rechtzeitige Instandsetzung	642
4.6.5	Asphalteinbau	627	5	Bedeutung und Konsequenzen der Richtlinie	643
4.7	Beschichtung mit Inspektionsbuch .	627	5.1	Garagen-Standard	643
4.7.1	Allgemeines	627	5.2	Die häufigsten Ursachen für Schäden	643
4.7.2	Unterschiede Reaktionsharze	629	5.3	Die wichtigsten Planungs- grundsätze	643
4.7.3	Anwendung und Aufbau der OS-Systeme	629	5.4	Lebenszykluskosten	644
4.7.4	Eigenschaften von OS-Systemen . . .	630	5.5	Aus Fehlern lernen	644
4.7.5	Auswahl des geeigneten OS-Systems	630	5.6	Ausblick	645
			6	Literatur	645

XII Die Anwendung von DIN 18532 „Abdichtung von befahrbaren Verkehrsflächen aus Beton“ 647

Christian Herold

1	Einleitung	649	4.6	Zuverlässigkeit	655
2	DIN 18532 Anwendungsbereich und Gliederung	649	4.7	Unterlaufsicherheit	656
2.1	Anwendungsbereich	649	4.8	Reglungen für die Anwendung von Oberflächenschutzsystemen in DIN 18532 Teil 6	658
2.2	Gliederung	650	5	Prinzipien des Bauteilschutzes gegen die Einwirkung von Chloriden auf befahrbare Betonbauteile nach EC 2 und den Regelungen des DAfStb und DBV	662
3	Unterscheidung zwischen Bauwerks- schutz und Bauteilschutz	651	5.1	Maßgebende Regelungen	662
4	Prinzipien des Bauwerksschutzes bei der Abdichtung befahrbarer Betonbauteile nach DIN 18532	653	5.2	Einwirkungen und Schutzprinzipien	662
4.1	Grundlagen	653	5.2.1	Schutzprinzip 1	664
4.2	Zuordnung der Verkehrsflächen zu Nutzungsklassen	653	5.2.2	Schutzprinzip 2	664
4.3	Abdichtungsbauarten	654	5.3	Rissbeherrschung	664
4.4	Abdichtungsbauweisen	654	5.4	Darstellung der Ausführungs- varianten für den Schutz von Betonbauteilen gegen Chloride	665
4.5	Zuordnung von Abdichtungsbauarten und Abdichtungsbauweisen	655			

5.4.1	Variante A	665	6	Schnittstellenregelung in DIN 18532	667
5.4.2	Variante B	665			
5.4.3	Variante C	665	7	Zusammenfassung	668
5.5	Instandhaltung	666	8	Literatur	668

XIII Oberflächenschutzsysteme und Abdichtungsbauarten für befahrene Parkdecks

Lars Wolff, Bernd Schwamborn

1	Einleitung	671	5.2	Auswahl von OS-Systemen	689
			5.3	Nachweis der Leistungsmerkmale von OS-Systemen	695
2	Abgrenzung zwischen Oberflächenschutz und Abdichtung	672	5.4	Applikation von OS-Systemen	698
			5.5	Ausbildung von Bandagen	699
3	Abdichtung von befahrbaren Verkehrsflächen aus Beton	673	5.6	Übliche Lebensdauer von OS-Systemen	700
3.1	Allgemeines	673	5.7	Überarbeitbarkeit von OS-Systemen	704
3.2	Einführung in DIN 18532	674			
3.3	Sonderfall OS-Systeme	679	6	Inspektion von Abdichtungen und Oberflächenschutzsystemen in Parkbauten	706
4	Problematik der möglichen Unterläufigkeit bei Abdichtungen	680	6.1	Allgemeines	706
4.1	Allgemeines	680	6.2	Inspektion von Abdichtungsbauarten	707
4.2	Regelungen der DIN 18532:2017	680	6.3	Inspektion von Oberflächenschutzsystemen	708
4.3	Regelungen nach DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“, Ausgabe 2018	682	6.4	Wahl der Inspektionsintervalle	709
5	Oberflächenschutzsysteme für Parkbauten	685	7	Zusammenfassung	709
5.1	Allgemeines	685	8	Literatur	709

XIV Instandsetzung von Tiefgaragen und Parkhäusern

Christian Sodeikat, Till F. Mayer

1	Einleitung	715	4.3	Korrosion von Stahl in Beton	724
			4.4	Carbonatisierungsinduzierte Bewehrungskorrosion	726
2	Bauliche Situation älterer Tiefgaragen und Parkhäuser	715	4.5	Chloridinduzierte Bewehrungskorrosion	727
3	Rechtliche Aspekte bei der Instandsetzung von Parkbauten	719	4.6	Kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt C_{Krit}	728
3.1	Einführung	719	4.7	Korrosion im Rissbereich	730
3.2	Die anerkannten Regeln der Technik (aRdT)	719	4.7.1	Allgemeines	730
			4.7.2	Einleitungsphase im Bereich von Rissen	731
3.3	Regelwerke für Instandsetzungen: Instandsetzungs-Richtlinie (Rili-SIB 2001) und DIN EN 1504	720	4.7.3	Schädigungsphase im Bereich von Rissen	731
3.4	Weitere Regelwerke für Instandsetzungen	722	4.7.4	Korrosionsfortschritt nach Verschließen der Risse	732
3.5	Beratungs- und Aufklärungspflicht der Planer gegenüber dem Bauherrn	723	5	Instandsetzung nach der Instandsetzungs-Richtlinie – Vorgehen und technische Grundlagen	733
4	Bewehrungskorrosion	723	5.1	Grundlagen	733
4.1	Allgemeines	723	5.2	Instandsetzungsprinzipien	733
4.2	Korrosion von Stahl allgemein	724			

5.2.1	Allgemeines	733	8.3.5	Kunststoffmodifizierter Spritzbeton und -mörtel (SPCC)	766
5.2.2	Instandsetzungsprinzipien bei carbonatisierungsinduzierter Korrosion	735	8.3.6	Reaktionsharzgebundener Instandsetzungsbeton und -mörtel (PC)	766
5.2.3	Instandsetzungsprinzipien bei chloridinduzierter Korrosion	736	8.3.7	Vergussbeton	766
5.3	Umsetzung von Instandsetzungen nach der Instandsetzungs-Richtlinie	738	9	DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“	767
6	Ist-Zustandsfeststellung von Parkbauten – Durchführung erforderlicher Untersuchungen	738	9.1	Einführung	767
6.1	Aufnahme der grundsätzlichen Bauwerkssituation	738	9.2	Diskussion der Ausführungsvarianten nach DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“ Fassungen 2010 und 2018	769
6.2	Tragkonstruktion	738	10	Instandsetzungsdetails bei Parkbauten	773
6.3	Auffinden von Bereichen mit chloridinduzierter Korrosion(sgefahr)	741	10.1	Einführung	773
6.3.1	Aufgabenstellung	741	10.2	Betonabtrag – Technologie und Umfang	773
6.3.2	Visuelle Untersuchung	741	10.2.1	Technologie	773
6.3.3	Bestimmung des Ausmaßes von Bewehrungskorrosion bzw. vorhandener Querschnittsschwächung	742	10.2.2	Umfang des erforderlichen Betonabtrags	773
6.3.4	Bestimmung des Chloridgehalts	743	10.3	Schutzmaßnahmen für befahrene Flächen	774
6.3.5	Elektrochemische Potentialfeldmessung	745	10.3.1	Randbedingungen	774
6.3.6	Bestimmung der Betondeckung	751	10.3.2	Zwischendecks	776
6.4	Prüfung von Grundierungen und Beschichtungen auf Dichtheit	752	10.3.3	Freidecks	776
6.5	Prüfung der Rautiefe	752	10.3.4	Rampen	776
6.6	Weitere zerstörungsfreie Untersuchungen	754	10.3.5	Bodenplatten	777
7	Bestandsschutz – Festlegung des Sollzustands	757	10.4	Schutzmaßnahmen für aufgehende Bauteile über und unter Belagoberkante	777
8	Instandsetzungsplanung	760	10.5	Gefälle, Entwässerungseinrichtungen	780
8.1	Allgemeines	760	11	Wartung, Instandhaltung und Überwachung	781
8.2	Notwendiger Instandsetzungsumfang bei chloridbeaufschlagten Bauteilen	761	11.1	Wartung und Instandhaltung	781
8.3	Instandsetzungsbetone und -mörtel	765	11.2	Instandhaltungsplan	782
8.3.1	Allgemeines	765	11.3	Überprüfung des Instandsetzungserfolgs durch Monitoring	784
8.3.2	Beton nach EC 2 und DIN EN 206-1/DIN 1045-2	765	11.3.1	Anwendungsgebiete	784
8.3.3	Spritzbeton nach DIN 18551 [39] bzw. DIN EN 14487 [38]	766	11.3.2	Korrosionsmonitoring	785
8.3.4	Kunststoffmodifizierter Instandsetzungsbeton und -mörtel (PCC)	766	11.3.3	Feuchtemonitoring	787
XV	Abdichtungen bei unterirdischen Bauwerken unter Berücksichtigung neuer Normen	795	12	Literatur	789
	Alfred Haack, Dominik Kessler				
1	Einleitung	797	2.1	Einfluss von Boden, Bauwerk und Bauweise	798
2	Planungsgrundlagen	798	2.2	Einfluss des Wassers	800
			2.3	Einfluss der Nutzung	801

3	Begriffe	802	5.8	Doppellagige Abdichtung aus Kunststoffdichtungsbahnen	829
4	Auswahlkriterien und Anwendungsgrenzen der verschiedenen Abdichtungssysteme	805	5.9	Spezielle Entwicklungen	829
4.1	Allgemeines	805	5.9.1	Leckortung bei Kunststoffdichtungsbahnen	829
4.2	Weichabdichtungen	815	5.9.2	Haftfolienverfahren	832
4.2.1	Allgemeines	815	5.9.3	Klettverfahren	834
4.2.2	Schutz gegen nichtdrückendes und von außen drückendes Wasser	815	5.9.4	Hotmelt-Verfahren	835
4.2.3	Schutz gegen von innen drückendes Wasser	816	6	Abdichtung aus Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	837
4.3	Hartabdichtungen	817	6.1	Allgemeines	837
4.4	Wasserundurchlässige, statisch tragende Konstruktionen	818	6.2	Fugenabdichtung im Ortbetonbau	838
4.5	Weiterentwicklung von der WUB-KO zum Frischbetonverbundsystem	818	6.2.1	Allgemeines	838
5	Abdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen	822	6.2.2	Dehn- und Bewegungsfugen	838
5.1	Allgemeines	822	6.2.3	Pressfugen	845
5.2	Abdichtungsträger	822	6.2.4	Arbeitsfugen	846
5.3	Schutzschicht	823	6.3	Fugenabdichtung im Betonfertigteiltbau	850
5.4	Kunststoffdichtungsbahn	823	7	Durchdringungen und Übergangskonstruktionen	853
5.5	Fügetechnik von Kunststoffdichtungsbahnen untereinander und mit zugehörigen Fugenbändern	824	8	Zusammenfassung	857
5.6	Fugenabdichtung	826	9	Literatur	858
5.7	Nahtprüfung	827	9.1	Normen	858
			9.2	Richtlinien und Merkblätter	859
			9.3	Fachliteratur	860
XVI	Kathodischer Korrosionsschutz im Stahlbetonbau	863			
	Thorsten Eichler, Susanne Gieler-Breßmer				
1	Allgemeines	865	4.1	DIN EN ISO 12696	885
2	Grundlagen	866	4.2	DIN EN ISO 15257 zur Zertifizierung von Fachpersonal für den kathodischen Korrosionsschutz	886
2.1	Korrosion von Stahl in Beton	867	4.3	Kathodischer Korrosionsschutz von Spannbetonbauwerken	887
2.1.1	Flächige Korrosion durch Karbonatisierung	867	5	Ausführungsbeispiele	888
2.1.2	Lochkorrosion in Anwesenheit von Chloriden	869	5.1	Parkhäuser und Tiefgaragen	888
2.2	Galvanischer Schutz	872	5.1.1	Cityparkhaus in Offenbach	889
2.3	Fremdstromschutz	873	5.1.2	Präventiver kathodischer Korrosionsschutz in einer Tiefgarage	893
3	Anodenmaterialien und -typen	877	5.1.3	Kathodischer Korrosionsschutz hochbelasteter Stützen in einer Tiefgarage	895
3.1	Galvanische Anoden	877	5.2	Brückenbauwerke	897
3.2	Inertanoden	879	6	Zusammenfassung	901
3.3	Leitfähige Beschichtungen auf Kohlenstoffbasis	880	7	Literatur	901
3.4	Carbonnetzanoden	880			
3.5	Anodeneinbettung	881			
4	Schutzkriterien und technische Regelwerke	885			

XVII	Chemischer Angriff auf Beton	905
	Björn Siebert, Jesko Gerlach	
1	Einleitung	907
2	Schädigungsmechanismen	907
2.1	Begriffsdefinition und Angriffsarten ..	907
2.2	Lösender Angriff	908
2.2.1	Allgemeines	908
2.2.2	Phasen des lösenden Angriffs	909
2.2.3	Korrosionszonen	910
2.3	Treibender Angriff	911
2.3.1	Allgemeines	911
2.3.2	Ettringit- und Gipsbildung	912
2.3.3	Korrosionszonen	914
2.4	Zerstörender Angriff	915
2.4.1	Allgemeines	915
2.4.2	Thaumasitbildung	915
2.5	Kombinierter Angriff	917
3	Einflussfaktoren auf die Schädigung ..	918
3.1	Allgemeines	918
3.2	Konzentration und Art der angreifenden Stoffe	918
3.2.1	Lösender Angriff	918
3.2.2	Treibender Angriff	919
3.3	Stofftransport	921
3.3.1	Innerer Stofftransport	921
3.3.2	Äußerer Stofftransport	922
3.4	Umgebungsbedingungen	923
	3.4.1 Feuchtigkeit	923
	3.4.2 Temperatur	923
	3.4.3 Mechanische Einwirkungen	923
4	Schutzprinzipien – Möglichkeiten und Grenzen	924
4.1	Anforderungen an Bauwerke	924
4.2	Sicherstellung der Bauwerksanforderungen	924
4.2.1	Allgemeines	924
4.2.2	Schutzschichten und dauerhafte Bekleidungen	926
4.2.3	Hochleistungsbeton mit erhöhtem Widerstand	926
4.2.4	Opferbeton	929
5	Ansätze zur Dauerhaftigkeitsbemessung	929
5.1	Allgemeines	929
5.2	Prüfverfahren zur Ermittlung des Materialwiderstands	930
5.3	Modelle zur Beschreibung der zeitabhängigen Schädigung	931
5.4	Grenzzustandsdefinition und Bemessung	933
6	Literatur	935
XVIII	Normen und Regelwerke	941
	Frank Fingerloos	
1	Einleitung	943
2	Technische Regeln zur Geotechnik ..	943
2.1	Einführung	943
2.2	Kurzfassung Eurocode 7 DIN EN 1997-1: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik mit DIN 1054	944
	DIN EN 1997-1: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik mit DIN 1054	945
	Inhalt	945
1	Allgemeines	945
1.2	Normative Verweisungen	945
1.3	Voraussetzungen	945
1.4	Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln	946
1.5	Begriffe	946
1.5.2.1	geotechnische Einwirkung	946
1.5.2.2	vergleichbare Erfahrung	946
1.5.2.3	Baugrund	946
1.6	Symbole	946
2	Grundlagen der geotechnischen Bemessung ..	949
2.1	Anforderungen an Entwurf, Berechnung und Bemessung	949
A 2.1.1	Vorgaben zu Bemessungssituationen und Grenzzuständen	949
A 2.1.2	Geotechnische Kategorien	949
A 2.1.2.1	Allgemeines	949
A 2.1.2.2	Geotechnische Kategorie GK 1	950
A 2.1.2.3	Geotechnische Kategorie GK 2	950
A 2.1.2.4	Geotechnische Kategorie GK 3	951
2.2	Bemessungssituationen	952
2.3	Dauerhaftigkeit	953
2.4	Geotechnische Bemessung auf Grund von Berechnungen	954
2.4.1	Allgemeines	954
2.4.2	Einwirkungen	954
A 2.4.2.1	Grundsätzliche Festlegungen	954
A 2.4.2.2	Weitere Angaben zu den geotechnischen Einwirkungen	955
A 2.4.2.3	Weitere Angaben zu den Einwirkungen aus Bauwerken (Gründungslasten)	956
2.4.3	Baugrundeigenschaften	957
2.4.5	Charakteristische Werte	957

2.4.5.2	Charakteristische Werte von geotechnischen Kenngrößen	957	6.6	Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	975
2.4.5.3	Charakteristische Werte von geometrischen Vorgaben	958	6.6.1	Allgemeines	975
2.4.6	Bemessungswerte	958	6.6.2	Setzung	976
2.4.6.1	Bemessungswerte von Einwirkungen	958	6.6.3	Hebung	977
2.4.6.2	Bemessungswerte für geotechnische Kenngrößen	959	6.6.4	Schwingungsberechnung	977
2.4.6.3	Bemessungswerte für geometrische Vorgaben	959	A 6.6.5	Fundamentverdrehung und Begrenzung einer klaffenden Fuge	977
2.4.7	Grenzzustände der Tragfähigkeit	959	A 6.6.6	Verschiebungen in der Sohlfläche	978
2.4.7.1	Allgemeines	959	6.7	Gründungen auf Fels; ergänzende Gesichtspunkte bei Entwurf und Bemessung	979
2.4.7.2	Nachweis der Lagesicherheit	960	6.8	Bemessung der Bauteile von Flächengründungen	979
2.4.7.3	Nachweis von Grenzzuständen im Tragwerk und im Baugrund bei ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen	960	6.9	Vorbereitung der Baugrubensohle	980
2.4.7.4	Nachweisverfahren und Teilsicherheitsbeiwerte beim Aufschwimmen	964	A 6.10	Vereinfachter Nachweis in Regelfällen	980
A 2.4.7.6	Teilsicherheitsbeiwerte für die Grenzzustände der Tragfähigkeit	964	A 6.10.1	Allgemeines	980
2.4.8	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	966	A 6.10.2	Nichtbindiger Boden	981
2.4.9	Grenzwerte für Fundamentbewegungen	968	A 6.10.2.1	Bemessungswert des Sohlwiderstands	981
2.5	Entwurf und Bemessung auf Grund von anerkannten Tabellenwerten	968	A 6.10.2.2	Erhöhung des Bemessungswerts des Sohlwiderstands	982
2.8	Geotechnischer Entwurfsbericht	968	A 6.10.2.3	Verminderung des Bemessungswerts des Sohlwiderstands bei Grundwasser	983
3	Geotechnische Unterlagen	969	A 6.10.2.4	Verminderung des Bemessungswerts des Sohlwiderstands infolge von waagerechten Beanspruchungen	984
3.1	Allgemeines	969	A 6.10.3	Bindiger Boden	984
3.4	Geotechnischer Untersuchungsbericht	970	A 6.10.3.1	Bemessungswert des Sohlwiderstands	984
3.4.1	Anforderungen	970	A 6.10.3.2	Erhöhung des Bemessungswerts des Sohlwiderstands	986
6	Flächengründungen	970	A 6.10.3.3	Verminderung des Bemessungswerts des Sohlwiderstands	986
A 6.1.1	Anwendungsbereich und allgemeine Anforderungen	970	A 6.10.4	Fels	986
A 6.1.2	Einstufung in die Geotechnischen Kategorien	970	A 6.10.5	Künstlich hergestellter Baugrund	986
6.2	Grenzzustände	970	11	Gesamtstandsicherheit	987
6.3	Einwirkungen und Bemessungssituationen	971	11.1	Allgemeines	987
6.4	Gesichtspunkte bei Bemessung und Ausführung	971	A 11.1.1	Anwendungsbereich und allgemeine Anforderungen	987
6.5	Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit	971	A 11.1.2	Einstufung in die Geotechnischen Kategorien	987
6.5.1	Gesamtstandsicherheit	971	11.2	Grenzzustände	988
6.5.2	Grundbruchwiderstand	972	11.3	Einwirkungen und Bemessungssituationen	988
6.5.2.1	Allgemeines	972	11.4	Gesichtspunkte bei Berechnung und Ausführung	989
6.5.2.2	Rechnerisches Verfahren	972	11.5	Berechnung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	989
6.5.2.4	Verwendung vorgegebener zulässiger Sohlwiderstände	973	11.5.1	Nachweis der Gesamtstandsicherheit	989
6.5.3	Gleitwiderstand	973	11.6	Berechnung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	990
6.5.4	Stark exzentrische Belastung	974	11.7	Kontrollmessungen	991
6.5.5	Tragwerksversagen durch Fundamentbewegung	975			

Anhang A (normativ)			
Teilsicherheitsbeiwerte und Streuungsfaktoren für Grenzzustände der Tragfähigkeit und empfohlene Zahlenwerte	991	3.2	Verzeichnis der Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton e. V. 1019
Anhang H (informativ)		3.3	Deutscher Beton- und Bautechnik- Verein E. V. (DBV): Merkblätter und Sachstandberichte. 1020
Grenzwerte für Bauwerksverformungen und Fundamentbewegungen	991		
A Anhang AA (informativ)		3.4	Österreichische Bautechnik Vereinigung (ÖBV): Richtlinien, Merkblätter und Sachstand- berichte
Merkmale und Beispiele zur Einstufung in die Geotechnischen Kategorien	992		1022
3	Listen und Verzeichnisse		
			996
3.1	Technische Baubestimmungen für den Beton- und Stahlbetonbau.	4	Literatur
			1024
Stichwortverzeichnis			1025

IX Dauerhaftigkeit von Parkbauten in Deutschland

Frank Fingerloos, Berlin

Claus Flohrer, Schöneck

Dieter Räsch, München

chen Anhebung der Maximaltemperatur im Bauteil führen. Wärmedämmende Matten dürfen nicht unmittelbar nach Abschluss der Betonierarbeiten aufgelegt werden, um den Wärmeabfluss während der Hydratation anfangs nicht zu behindern. Nach Erreichen der Maximaltemperatur im Bauteil sind wärmedämmende Matten oft zweckmäßig. In der Abkühlphase kann es nachteilig sein, wärmedämmende Matten auf einmal komplett zu entfernen, weil dies zu einem Temperaturschock an der Bauteiloberfläche führen könnte. Eine gestaffelte Rücknahme von einzelnen Lagen der Wärmedämmmatten ist hier oftmals günstiger. Alle Maßnahmen zur Steuerung des Wärmeabflusses sollten in einem Qualitätssicherungsplan festgelegt und entsprechend den Klimabedingungen im Bauzeitenplan berücksichtigt werden [8].

4 Aufgaben der Planung

Erfolgreiche Planung für Parkbauten ist nicht als Tätigkeit eines Einzelnen zu verstehen, sondern als das koordinierte Zusammenwirken der Verantwortlichen für die verschiedenen Planungsbereiche. Ähnlich wie in der DAfStb-WU-Richtlinie [28] werden die Planungsaufgaben im Folgenden speziell für Parkbauten strukturiert (analog [29]).

Beteiligt sind:

- Objektplaner (Architekt, im Regelfall der Koordinator der Planungstätigkeiten und Vertreter des Bauherrn),
- Tragwerksplaner,
- Planer der Technischen Ausrüstung (TA-Planer),
- Betontechnologe,
- Bauausführende (beispielsweise Arbeitsvorbereitung),
- Sachverständiger für Geotechnik,
- ggf. Bauphysiker,
- ggf. Sachkundiger Planer nach DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie [9].

Die zeitlich unterschiedliche Einbindung der verschiedenen Beteiligten erfordert von Beginn an eine entsprechende Koordination der Planung. Für die Koordination des gesamten Planungsablaufs für einen Parkbau muss ein Verantwortlicher festgelegt werden. In der Regel obliegt diese Koordination dem Objektplaner. Die Planung des Parkbaus ist vom Objektplaner unter Beteiligung von Fachplanern durchzuführen. Die technischen Verantwortlichkeiten der Planungsbeteiligten sowie der Koordinierungsumfang und Informationsaustausch sind zu Projektbeginn für die einzelnen Teilbereiche der Planung (Entwurfs- und Ausführungsplanung) festzulegen. Insbesondere ist zu klären, wie und von wem ausführenden- und betontechnische Planungs-

leistungen in der Projektphase, in der der Bauausführende noch nicht beteiligt ist, zu leisten sind.

Bei der Planung sind **mindestens** die folgenden Aufgaben und Maßnahmen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit einzeln und in ihrem Zusammenwirken zu berücksichtigen:

- (1) Bedarfsplanung (dokumentierte Nutzungsanforderungen);
- (2) Entwurf Objektplanung: Nutzungsfreundlichkeit im Vordergrund (z. B. Verkehrsführung, Aufstellwinkel und Geometrie der Parkplätze, Pflützenakzeptanz – Entscheidung für oder gegen Gefälle, Art der Entwässerung);
- (3) Festlegung der Einwirkungen aus der Konstruktion (z. B. Temperaturbeanspruchung und Zwang), der mechanischen Beanspruchungen (Anzahl Pkw, Flächen- und Radlasten) und der Umwelteinwirkungen (Expositionsklassen) und des erforderlichen Widerstands der Bauteile und der genutzten Oberfläche;
- (4) Wahl der Bauarten (Betonkonstruktion, Stahlkonstruktion, Fertigteilkonstruktionen) und der statischen Systeme (Spannweiten, statisch bestimmt oder unbestimmt);
- (5) Bei WU-Tiefgaragen: Festlegung der Beanspruchungsklasse und der Nutzungsklasse (i. d. R. NKL-B) und des Nutzungsbeginns;
- (6) Wahl einer nutzungsgerechten Ausführungsvariante: ohne oder mit lokalen bzw. flächigen Oberflächenschutzsystemen oder mit flächigen Abdichtungen oder mit nichtrostender chloridbeständiger Bewehrung oder mit präventivem Kathodischen Korrosionsschutz;
- (7) Wahl der ergänzenden Schutzmaßnahmen im Sockelbereich bei aufgehenden Bauteilen (Stützen, Wände);
- (8) Entwurf und laufende Fortschreibung des Instandhaltungsplans für alle Ausführungsvarianten;
- (9) Bauteilbezogene und auf die Ausführungsvariante abgestimmte Wahl eines Entwurfsgrundsatzes: „Risse vermeiden“, „Rissbreiten für Oberflächenschutzsysteme bzw. Abdichtungen begrenzen“, „Breite Einzelrisse zulassen und planmäßig abdichten“;
- (10) Festlegung der aus den Entwurfsgrundsätzen folgenden konstruktiven, betontechnischen und ausführungstechnischen Maßnahmen;
- (11) Wahl von Bauteilabmessungen, Bewegungsfugen, Sollrissfugen;
- (12) Wahl möglichst zwangarmer Lagerung von Parkdecks und Bodenplatten;
- (13) Bemessung und Bewehrungskonstruktion;

- (14) Planung von Einbauteilen und Durchdringungen;
- (15) Planung von Bauablauf, Betonierabschnitten, Arbeitsfugen, einschließlich der erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen;
- (16) Bei WU-Tiefgaragen: Planung des geschlossenen Fugenabdichtungssystems;
- (17) Planung und Ausschreibung der Abdichtung für alle planmäßigen und unplanmäßigen Trennrisse;
- (18) Dokumentation aller relevanten Festlegungen und Entscheidungen in der Planung und Weitergabe an alle Beteiligten;
- (19) Beschreibung der für die Nutzung möglicherweise folgenden Einschränkungen (beispielsweise erforderliche rissbegleitende Behandlung mit Rissbandagen, Annahmen für den Zeitraum und die Bedingungen für die Selbstheilung);
- (20) Planung der technischen Ausrüstung und der objektspezifischen Ausbauplanung unter Berücksichtigung der Folgen der Tragwerksplanung und der festgelegten Ausführungsvariante.

Die Planung muss sicherstellen, dass die planmäßigen Einwirkungen durch die Umweltbedingungen und durch den Pkw-Verkehr so aufgenommen werden können, dass die gemeinsam mit dem Bauherrn festgelegten Nutzungsanforderungen sicher erfüllt werden. Dies stellt hohe Anforderungen an das gesamte Planungsteam. Die Nutzungsanforderungen müssen von dem Bauherrn oder seinem Bevollmächtigten geklärt und eindeutig beantwortet werden. Die Ergebnisse müssen als Grundlage für die weiteren planerischen Festlegungen dokumentiert werden (Bedarfsplanung nach DIN 18205 [30]).

Alle Planungsergebnisse sind zu dokumentieren. Idealerweise erstellt der Tragwerksplaner bis spätestens zur Leistungsphase Entwurfsplanung ein Risskonzept, in dem die Festlegungen und getroffenen Annahmen beschrieben werden. Insbesondere sind die Folgen der Planung zu beschreiben. Aus der Dokumentation der konstruktiven, betontechnischen und ausführungstechnischen Planung müssen Erfordernisse für die weitere Planung der technischen Ausrüstung und der Objektplanung hervorgehen, die durch die beteiligten Planer umzusetzen sind.

Die häufig geübte Praxis, Details wie die Fugenausbildung den Bauausführenden zu überlassen, führt oft zu Lösungen, die die Annahmen des Tragwerksplaners nicht ausreichend berücksichtigen. Grundsätzlich hat die Planung aller Fugen durch den Tragwerksplaner in Abhängigkeit des gewählten Entwurfs zu erfolgen. Will oder muss der Bauausfüh-

rende von der geplanten Umsetzung der Fugenanordnung und -ausbildung abweichen, ist eine Abstimmung mit dem Tragwerksplaner erforderlich. Zur Sicherstellung der Ausführbarkeit ist jedoch eine möglichst frühzeitige Einbindung des Bauausführenden in den Planungsprozess anzustreben.

Die Entscheidung über den Einsatz von Fertigteilen muss so früh wie möglich – idealerweise schon während der Entwurfsplanung – fallen.

Das Ergebnis der einzelnen Planungsphasen ist jeweils mit den Vorgaben und Nutzungsanforderungen des Bauherrn abzugleichen und erforderlichenfalls anzupassen, wenn die Bauherrenwünsche aus der Bedarfsplanung nicht sicher erreichbar sind oder sich während der Planungs- und Bauphase ändern.

Zur Sicherstellung der Ausführbarkeit ist die frühzeitige Beteiligung des Bauausführenden an der Planung der Ausführungsvarianten und der Details zu empfehlen. Eine solche Zusammenarbeit bedingt jedoch, dass die Verantwortlichkeiten der Beteiligten für die Planung einschließlich der gegenseitigen Informationspflichten und der Koordination der einzelnen Planungstätigkeiten möglichst klar festgelegt werden.

Zur nutzungsgerechten Planung und Ausführung eines Parkbaus ist eine Vielzahl von Planungsleistungen unterschiedlich eingebundener Fachplaner erforderlich. So müssen beispielsweise betontechnisch umsetzbare Kennwerte vom Tragwerksplaner erfragt und eingeplant werden. Boden-, Dach- und Wandaufbauten müssen vom Objektplaner in Abstimmung mit dem Tragwerksplaner (ggf. Bauphysiker) detailliert werden. Ebenso muss die TA-Planung die Folgen der Tragwerksplanung berücksichtigen. Die Tragwerksplanung muss beispielsweise auch berücksichtigen, welche Betone zum Zeitpunkt der erwarteten Bauausführung eingesetzt werden können oder welche Frischbetontemperaturen erwartet werden können. Ist dies in einer frühen Planungsphase nicht möglich, hat der Tragwerksplaner Bedingungen für die Ausführung vorzugeben, die der Bauausführende dann auch einhalten muss.

Dies zeigt, dass der Informationsfluss und die daraus erforderlichen Planungsmaßnahmen über viele Schnittstellen hinweg erfolgen und funktionieren müssen, um die nutzungsbedingt erforderlichen Eigenschaften eines Parkbaus sicher am ausgeführten Bauwerk zu erhalten.

5 Bedarfsplanung

Planung, Errichtung, Betrieb und Instandhaltung eines Parkbaus müssen auf die Bedürfnisse und Wünsche des Bauherrn bzw. der späteren Nutzer, also auf deren Bedarf, ausgerichtet sein. Daher ist es

sinnvoll, diesen Bedarf vor Beginn der eigentlichen Planung systematisch zu ermitteln und ihn als Grundlage für die weitere Projektbearbeitung zu definieren.

Eine methodische Ermittlung der Bedürfnisse von Bauherren und Nutzern durch zielgerichtete Aufbereitung als Bedarf und dessen Umsetzung in bauliche Anforderungen bietet die Bedarfsplanung. Hilfestellung diesbezüglich gibt DIN 18205 „Bedarfsplanung im Bauwesen“ [30], welche keine Vorschriften enthält, sondern lediglich empfehlenden Charakter hat.

Die Bedarfsplanung ist den klassischen Leistungsphasen nach HOAI [31] vorgelagert. Nach DIN 18205 liegt sie im Verantwortungsbereich des Bauherrn und wird von ihm selbst in der Regel mit Unterstützung von Beratern, Projektentwicklern usw. erarbeitet. Die HOAI nennt ausdrücklich die Bedarfsplanung als besondere Leistung des Objektplaners im Rahmen der Leistungsphase 1 (Grundlagenermittlung). Die Bedarfsplanung umfasst die wesentlichen Grundsatzfragen des Projekts. Diese sind Ausdruck der Erwartungen des Bauherrn in Bezug auf das Bauwerk, die Wirtschaftlichkeit und die Projektorganisation.

Ausführlichere Erläuterungen zur Bedarfsplanung in Parkbauten und die Folgen für mögliche Instandhaltungskonzepte werden in [15, 32, 33] gegeben.

Einige Beispiele für wichtige Frage- und Weichenstellungen in einer Bedarfsplanung für Parkbauten sind:

- vorgesehene Nutzung: öffentlich oder privat, im Eigentum oder Vermietung, Anzahl der Parkplätze, vorgesehene Nutzungsdauer,
- Nutzungsfreundlichkeit: optimierte innere Verkehrsführung, bevorzugter Parkhaustyp, weitgehende Stützenfreiheit im Bereich der Parkflächen, Pfützenfreiheit durch Ausbildung eines Gefälles, Barrierefreiheit, Sonderstellplätze, E-Ladestationen,
- Wirtschaftlichkeit: Optimierung der Gesamtkosten aus Herstell- und Betriebskosten, Vorgabe eines möglichst geringen Nutzungsausfalls durch Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten.

6 Entwurfsgrundsätze für die Rissbeherrschung

Bei befahrenen Verkehrsflächen mit einer Feuchte- und Chloridbeaufschlagung aus Tausalzen ist das Eindringen von Chloriden in Risse dauerhaft zu verhindern (Prinzip). Je nach Ausführungsvariante (mit Abdichtung, mit Oberflächenschutzsystem, mit lokalen Bandagen oder bei direkt chloridbeaufschlagten Betonflächen) ist vom Tragwerksplaner stets ein passender Entwurfsgrundsatz in Bezug auf

die Rissvermeidung bzw. die Rissbreitenbegrenzung zu wählen. Die Entwurfsgrundsätze sind sinngemäß auch für die anderen Betonbauteile in Parkbauten anzuwenden.

Die auf Parkbauten zugeschnittenen planerischen Entwurfsgrundsätze für die Rissbreitenbegrenzung sind in Tabelle 12 aufgeführt (im Sinne von [15]).

Bei Anwendung des EGS-a muss eine Trennrissvermeidungsstrategie konzipiert werden. Es handelt sich bei EGS-a um ein sehr anspruchsvolles Konzept, welches zahlreiche Vorsorgemaßnahmen und die intensivste Abstimmung zwischen allen Beteiligten erfordert (erhöhter Zeitbedarf). Notwendig sind ein entsprechendes Problembewusstsein, vertiefte technische Kenntnisse und Erfahrungen mit Entwurf und Ausführung im Rahmen eines derartigen Konzepts, ausreichender Planungsvorlauf, frühzeitige betontechnische Vorbereitungen und ein koordinierter Bauablauf. Für den EGS-a sollte auf der sicheren Seite liegend nachgewiesen werden, dass die charakteristische Zugfestigkeit des Betons $f_{ctk;0,05}(t)$ zu keinem Zeitpunkt durch auftretende, überwiegend zentrische Zugspannungen überschritten wird (vgl. auch Bild 28). Hierfür ist eine planmäßige Vermeidung oder Verminderung von Zwang durch betontechnische, konstruktive und ausführungstechnische Maßnahmen erforderlich (analog [28, 29]). Insbesondere bei zu erwartendem späten Zwang ist der EGS-a auf Basis rechnerischer Nachweise oft nicht mehr zielführend umsetzbar, wenn trotz relativ hoher vorhandener Betonzugfestigkeit z. B. durch winterlich bedingte Abkühlung die Zugbruchdehnung des Betons überschritten wird. Hier müssen dann i. d. R. konstruktive Maßnahmen, wie statisch bestimmte oder vorgespannte Tragsysteme, ergriffen werden.

Die ausführlichen Angaben zur rechnerischen Begrenzung der Rissbreiten mit EGS-b sind in Abschnitt 3.4 enthalten.

Die Festlegung größerer Rissbreiten nach EGS-c ist nur für Bauteilseiten möglich, die für eine planmäßige Rissbehandlung zum Zeitpunkt der Rissentstehung und für eine Rissdetektion zugänglich sind. Anderenfalls müssen dort die Anforderungen an die Rissbreitenbegrenzung nach DIN EN 1992-1-1/NA [2], Tabelle 7.1DE (hier Tabellen 7 und 8), eingehalten werden. Auch unter Berücksichtigung von Zwang ist rechnerisch nachzuweisen, dass die Streckgrenze des Bewehrungsstahls $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ (bei reinem Zwang) bzw. $0,8f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$ (bei Last und Zwang in Kombination) unter der seltenen (charakteristischen) Einwirkungskombination nicht überschritten wird, um bleibende klaffende Risse und übergroße Bauteilverformungen zu vermeiden. Auch beim EGS-c sind besondere konstruktive, betontechnische und ausführungstechnische Maßnahmen notwendig, um die wahrscheinlich auftretende Anzahl der Risse

Tabelle 12. Entwurfsgrundsätze zur Risskontrolle bei Parkbauten

Entwurfsgrundsatz a (EGS-a)	Entwurfsgrundsatz b (EGS-b)	Entwurfsgrundsatz c (EGS-c)
Rissvermeidung	Rissverteilung	Rissbildung mit planmäßiger nachträglicher Behandlung
Beschreibung: Vermeidung von Rissen durch die Festlegung von besonderen konstruktiven, beton-technischen und ausführungstechnischen Maßnahmen.	Beschreibung: Festlegung von rechnerischen Rissbreiten, die die Mindestanforderungen des Eurocode 2 erfüllen, oder von geringeren rechnerischen Rissbreiten, die besondere Anforderungen rissüberbrückender Oberflächenschutz- und Abdichtungssysteme in Bezug auf die Rissüberbrückungsfähigkeit erfüllen.	Beschreibung: Festlegung von tolerierbaren rechnerischen Rissbreiten möglichst in definierten Bereichen (wenige breite Risse), die mit im Entwurf planmäßig vorgesehenen lokalen Maßnahmen nach ihrem Auftreten dauerhaft geschlossen bzw. abgedichtet werden.
Ziele: ungerissene Betonbauteile, daher kein Chlorideintrag in oberseitig offene Biege- oder Trennrisse. Bei WU-Tiefgarage: kein Wasserdurchtritt durch Trennrisse.	Ziele: viele schmale Risse, so dass bei direkt befahrenen Flächen die Rissüberbrückungsfähigkeit von Oberflächenschutz- oder Abdichtungssystemen nicht überschritten wird. Bei unbeschichteten Flächen: Mindestanforderungen des Eurocode 2 – Risse dürfen offenbleiben (z. B. erdberührte Bauteilseiten). Bei WU-Tiefgaragenwänden: Der Wasserdurchtritt soll bei BKL-1 durch Selbstheilung der Trennrisse begrenzt werden.	Ziele: wenige breite Risse, die planmäßig so behandelt werden, dass dauerhaft keine relevante Bewehrungskorrosion (z. B. durch Umweltexposition wie Chlorideintrag) stattfindet. Bei WU-Tiefgarage: Der Wasserdurchtritt wird bei BKL-1 durch planmäßige Rissabdichtung verhindert.
Maßnahmen: umfassende Festlegung von konstruktiven, beton-technischen und ausführungstechnischen Maßnahmen.	Maßnahmen: Begrenzung auf relativ kleine Rissbreiten durch Bemessung rissbreitenbegrenzender Bewehrung (in der Regel mit hohen Bewehrungsgraden).	Maßnahmen: Festlegung von konstruktiven, beton-technischen und ausführungstechnischen Maßnahmen für wenige breitere Risse an möglichst definierten Stellen. Kombination mit im Entwurf vorgesehener planmäßiger und ziel-sicherer Abdichtung der Risse.
Anmerkung: Besonders für befahrene WU-Bodenplatten geeignet, um Wasserdurchtritt von außen und Chlorideintrag von innen in Risse gleichzeitig zu vermeiden.	Anmerkung: Oberflächenschutz- bzw. Abdichtungssysteme so spät wie möglich nach möglichst abgeschlossener Rissbildung aufbringen. Bei WU-Tiefgaragen: Randbedingungen für Selbstheilung beachten (insbesondere Wasserbeaufschlagung und Dauer).	Anmerkung: Mindestanforderungen an die rechnerischen Rissbreiten nach DIN EN 1992-1-1/NA, 7.3.1 auf nicht zugänglichen Bauteilseiten sind einzuhalten (z. B. erdberührte oder unter Abdichtungen bzw. hinter Bekleidungen). Alternativ für befahrene WU-Bodenplatten geeignet.

weiter zu reduzieren. Die im Regelfall nicht auszu-schließenden höheren Endzugfestigkeiten von lang-sam erhärtenden Betonen wirken sich bei EGS-c günstig aus, weil der Beton deutlich höhere Zug-spannungen rissfrei aufnehmen kann.

Nutzungsbedingte Anforderungen können auch die Zugänglichkeit und planmäßige Rissbehandlung und damit die Anwendung des EGS-c einschränken. Die Herstellung des Einvernehmens zwischen den Beteiligten und die Dokumentation der Risikoauf-

klärung und eine vertragliche Fixierung des EGS-c unter Berücksichtigung des Verhältnisses von Nutzen und Kosten sind zu empfehlen.

Bei allen Entwurfsgrundsätzen sollten planmäßig Maßnahmen zum dauerhaften Schließen auch für unerwartet entstandene oberseitige Risse vorgesehen, ausgeschrieben und in einem Instandhaltungsplan dokumentiert werden. Gleiches gilt für Risse, deren tatsächliche Breite über dem entwurfsmäßig festgelegten und berechneten Wert liegt.

7 Ausführungsvarianten für befahrene Verkehrsflächen

7.1 Allgemeines

In den Erläuterungen zum Eurocode 2 im DAfStb-Heft 600 [14] wird nochmals klargestellt, dass zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von direkt befahrenen Parkdecks Risse und Arbeitsfugen dauerhaft geschlossen bzw. geschützt werden müssen, um Schäden durch eindringendes chloridhaltiges Wasser und damit auch die chloridinduzierte Korrosion der Bewehrung weitgehend zu vermeiden. Dieses Prinzip ist unabhängig davon anzuwenden, ob z. B. planmäßig breitere Einzelrisse in Kauf genommen werden, die nach Abschluss der Rissbildung wieder geschlossen oder beschichtet werden (EGS-c) oder ob durch eine rissbreitenbegrenzende Bewehrung mit vielen kleineren Rissen gerechnet wird, die dann in der Fläche beschichtet oder abgedichtet werden müssen (EGS-b). Auch die Einstufung der ungerissenen Bereiche (EGS-a) von direkt chloridbeaufschlagten Betonbauteilen in die Expositions-klassen XD3 mit den damit verbundenen Mindestanforderungen setzt eine übliche Instandhaltung während der Nutzungsdauer voraus.

Bei Aufbringung eines dauerhaften und flächigen Schutzes unter Einbeziehung einer regelmäßigen und in definierten Abständen vorzunehmenden Wartung auf der Basis eines Instandhaltungsplans und der Durchführung notwendiger Instandsetzungsmaßnahmen sind im Vergleich zu direkt chloridbeaufschlagten Betonbauteilen von XD3 und XF4 abweichende Einstufungen der Expositions-klassen möglich (vgl. DIN EN 1992-1-1/NA/A1-Änderung:2015-12 [1]).

DAfStb-Heft 600 [14] verweist in diesem Zusammenhang weiter auf das DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“, welches für verschiedene Anwendungsfälle detaillierte Angaben zu den Inhalten des Instandhaltungsplans, den erforderlichen Inspektionsintervallen und den Instandsetzungsmaßnahmen sowie zu den Randbedingungen, unter denen eine Herabstufung der Expositions-klassen möglich ist, enthält. Das Merkblatt gibt auch Hinweise zur Auswahl geeigneter Oberflächenschutzsysteme und Abdichtungen für die verschiedenen Bauteile

und zu Ausführungsdetails zum Schutz von aufgehenden Bauteilen mit einer Beschichtung oder Abdichtung von Stützen und Wandanschlüssen. In der Ausgabe 2012 des DAfStb-Hefts 600 wurde das DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“ in der Fassung 2010 in Bezug genommen. In der überarbeiteten Neuauflage des DAfStb-Hefts 600 (in Vorbereitung) wird dann der Bezug auf die Merkblattfassung 2018 [15] aktualisiert werden.

Für die im Folgenden beschriebenen Ausführungsvarianten des DBV-Merkblatts „Parkhäuser und Tiefgaragen“ [15] (vgl. Tabelle 13) gelten grundsätzliche Randbedingungen. Alle Varianten bedürfen einer sorgfältigen Detailplanung. Hierzu ist die rechtzeitige Einschaltung von Fachplanern zu empfehlen. Die Bauteile sind stets planmäßig zu inspizieren, zu warten und ggf. instand zu setzen. Die für die Ausführung von befahrenen tragenden Betonkonstruktionen im DBV-Merkblatt enthaltenen drei prinzipiellen Ausführungsvarianten A, B und C entsprechen den neu aufgenommenen informativen Beispielen für Verkehrsflächen in der Expositions-klassentabelle 4.1 in DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12 [1] für XD3, XD1 und XC3.

Wegen der Vielzahl möglicher Ausführungsvarianten und -details zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von feuchte- und chloridbeanspruchten Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen in Parkbauten wird der Deutsche Beton- und Bautechnik-Verein das DBV-Heft 42: „Ausführungsvarianten für dauerhafte Bauteile in Parkbauten – Beispielsammlung“ [59] herausgeben, welches den Planern und Ausführenden zusätzliche Hilfestellungen bei der Umsetzung der Hinweise und Empfehlungen des DBV-Merkblatts [15] geben soll.

Es sind alternative Produkte oder Bauarten möglich, wenn deren Gleichwertigkeit mit den in den Varianten festgelegten Oberflächenschutzsystemen oder Abdichtungsvarianten nachgewiesen wird.

Für alle Ausführungsvarianten ist ein Instandhaltungsplan im Sinne der DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauwerken“ [9] erforderlich. Bei Neubauten sollte der Instandhaltungsplan vorzugsweise vom Tragwerksplaner oder vom Sachkundigen Planer gemäß [9] angefertigt werden. Für Abdichtungen ist ein objektspezifischer Instandhaltungsplan nach DIN 18352-1:2017-07, Abschnitt 10.2 und ggf. DIN 18532-2:2017-07; Abschnitt 10 mit Instandhaltungskonzept zu erarbeiten. Weil der Instandhaltungsplan in den Grundleistungen der HOAI [31] nicht enthalten ist, sollte dieser im Planervertrag zusätzlich (z. B. als besondere Leistung) vereinbart werden.

Die Inspektionsintervalle in den ersten 5 Jahren sind bei allen Ausführungsvarianten mit mindestens einmal jährlich festzulegen. Danach können abhängig von der Robustheit der ausgeführten Varianten an-

gepasste Inspektionsintervalle vereinbart werden (vgl. Tabelle 14).

In gerissenen Bereichen kann nicht ausgeschlossen werden, dass Chloride aus Tausalz bereits bei kurzzeitiger Einwirkung in die Risse eingedrungen sind und zur Korrosion der Bewehrung geführt haben können. Nach derzeitigem Erkenntnisstand ist bei kurzen Einwirkzeiten (maximal eine Wintersaison) i. d. R. nicht mit relevanten Korrosionsschäden der Bewehrung zu rechnen [15]. Diese Risse sind daher immer kurzfristig und dauerhaft unmittelbar nach

der Wintersaison rissüberbrückend im Sinne der DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie [9] zu schließen, sodass eine weitere Chlorid- und Feuchtezufuhr verhindert wird [48, 49].

Im DBV-Heft 35 „Korrosion der Bewehrung in Trennrissen“ [49] wird allerdings darauf hingewiesen, dass die durch Rissverpressung entstand gesetzten Prüfkörper anhand der beobachteten Untersuchungsergebnisse bezüglich ihrer momentanen Tragfähigkeit und ihrer Dauerhaftigkeit in den meisten Fällen als unkritisch bewertet werden kön-

Tabelle 13. Ausführungsvarianten für befahrene Parkflächen aus Stahlbeton oder Spannbeton

Variante	Untervariante	EGS	Klassen
A: ohne flächiges Oberflächenschutzsystem, ohne Abdichtung [15] ^{a)}	A1: rissvermeidende Bauweise	EGS-a	XD3, XC4,
	A2: lokaler Schutz der Risse und Fugen mit begleitender Rissbehandlung ^{b)} (z. B. rissüberbrückende Bandage)	EGS-c	XF2 (ggf. XF4), WA
B: mit flächigem Oberflächenschutzsystem [15] ^{a) d)}	B1: vollflächig starr beschichtet: OS 8 mit begleitender Rissbehandlung ^{b)} (z. B. rissüberbrückende Bandage)	EGS-a EGS-c	XD1, XC3, XF1, WF
	B2: vollflächig rissüberbrückend beschichtet: OS 10 mit Nuttschicht oder OS 11	EGS-a EGS-b	
C: mit flächiger, rissüberbrückender Abdichtung und Schutzschicht [15] ^{a) d)}	C1: OS 10 oder unterlaufsichere ^{c)} bahnenförmige Abdichtung, jeweils mit Dichtungsschicht aus Gussasphalt	EGS-a EGS-b	XC3, (ggf. XF1), WF
	C2: unterlaufsichere ^{c)} zweilagige bahnenförmige Abdichtung mit Schutzschicht		
KKS: präventiver Kathodischer Korrosionsschutz Ohne Beschichtung, ohne Abdichtung, jedoch Abdichtung von Trennrissen und Arbeitsfugen in Parkdecks erforderlich		EGS-a EGS-c	XD1, XF2 (ggf. XF4) WA
Rostfrei: nichtrostende chloridbeständige Bewehrung mit abZ Ohne Beschichtung, ohne Abdichtung, jedoch Abdichtung von Trennrissen und Arbeitsfugen in Parkdecks erforderlich		EGS-a EGS-c	XF2 (ggf. XF4) WA

^{a)} Für alle Varianten ist ein Instandhaltungsplan im Sinne der DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen [9] erforderlich.

^{b)} Planung und Ausführung des dauerhaften lokalen Schutzes von Rissen und Fugen nach DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen [9].

^{c)} Voraussetzung für die Unterlaufsicherheit einer direkt auf dem Betonuntergrund aufgetragenen Abdichtungsschicht ist eine vollflächige, dauerhaft kraftschlüssige Verbindung zur Betonunterlage. Der Betonuntergrund ist dazu vor Aufbringen der Abdichtungsbahn durch Kugelstrahlen vorzubereiten und mit Epoxidharz zu behandeln. Dabei sollen die Verfahren, Stoffe und Nachweise für Brückenbeläge auf Beton nach ZTV ING [18], Teil 7, Abschnitt 1:2003-01 (eine Dichtungsschicht aus einer Bitumen-Schweißbahn), Abschnitt 2:2010-04 (eine Dichtungsschicht aus zwei Bitumen-Schweißbahnen), Abschnitt 3:2003-01 (eine Dichtungsschicht aus Flüssigkunststoff) zugrunde gelegt werden.

^{d)} Alternative Produkte oder Bauarten sind möglich, wenn deren Gleichwertigkeit mit den Oberflächenschutzsystemen oder Abdichtungen nachgewiesen wird.

nen. Die Ergebnisse gelten jedoch zunächst nur für vollständige Verpressung unter Laborbedingungen, die in der Praxis nicht unbedingt erreicht wird. Auch deshalb ist es nicht ganz auszuschließen, dass unter ungünstigen Bedingungen teilweise noch ein signifikanter Querschnittsverlust zu verzeichnen ist. Deshalb sollte diese Instandsetzungsmethode von Rissen stets mit einer intensiven Überwachung, z. B. durch Applikation eines Monitoringsystems zur Überwachung der Austrocknung durch Korrosionsströme und elektrische Widerstände des Betons verbunden werden.

Die aktuellsten von *Keßler* et al. [48] bis 2017 durchgeführten umfangreichen Untersuchungen zeigen, dass bei Biegerissen die alleinige Beschichtung der Betonoberfläche tatsächlich schon eine wirksame Maßnahme darstellt, um eine kurzzeitig an der risskreuzenden Bewehrung initiierte Makrozellkorrosion nach zeitweiser Chloridexposition, wie sie in Parkhäusern über eine Winterperiode im unbeschichteten Zustand zu erwarten ist, wieder zu deaktivieren. Die festgestellten Querschnittsverluste der Bewehrung sind als nicht standsicherheitsrelevant einzuschätzen. Nach derzeitigem Erkenntnisstand sind diese Ergebnisse vermutlich auch auf beschichtete Trennrisse übertragbar, da die weitere Chloridzufuhr nach der Beschichtung genauso verhindert wird. Welche Auswirkungen der gegenüber Biegerissen abweichende Chlorideintrag in die Trennrisse genau hat, sollte noch gesondert untersucht werden.

7.2 Varianten A: Betonflächen ohne flächiges Oberflächenschutzsystem oder ohne Abdichtung

7.2.1 Variante A1: rissvermeidende Bauweise

Wenn die ungeschützten Verkehrsflächen ohne (oberseitige) Trenn- und Biegerisse bleiben sollen, ist der Entwurfsgrundsatz EGS-a anzuwenden. Hierfür sind umfangliche konstruktive, betontechnische und ausführungstechnische Maßnahmen erforderlich, die nicht in jedem Parkbau umsetzbar sind. Beispiele für konstruktive zwangreduzierende Maßnahmen sind statisch bestimmte Systeme, Vorspannung, Anordnung von Bewegungsfugen oder zwangarme „weiche“ Auflagerungen (z. B. Bodenplatten auf geglätteter Sauberkeitsschicht mit wirk-samen Gleitschichten).

Das Inspektionsintervall nach den ersten 5 Jahren ist auf mindestens alle 2 Jahre festzulegen (über die gesamte Nutzungsdauer).

7.2.2 Variante A2: gerissene Betonflächen mit lokalem Schutz der Risse und Fugen

Wenn oberseitige Risse nicht ausreichend sicher ausgeschlossen werden können, sind diese rechtzei-

tig festzustellen und dann dauerhaft zu schließen, um einen weiteren Chlorideintrag zu verhindern. Diese begleitende Rissbehandlung ist bei Variante A2 immer erforderlich.

Deshalb ist die Rissbildung planmäßig so zu steuern, dass wenige unvermeidliche Risse möglichst an definierten Stellen entstehen. Dabei sind wenige breitere Risse günstiger als viele schmalere (Entwurfsgrundsatz EGS-c).

Die begleitende Rissbehandlung ist insbesondere auf zu erwartende zukünftige Rissbreitenänderungen abzustimmen. Hierfür haben sich rissüberbrückende Bandagen bewährt. Rissbandagen sind lokale Maßnahmen, die Einzelrisse, Arbeitsfugen oder rissgefährdete Bereiche dauerhaft vor dem Eindringen von Chloriden schützen. Ein Vorteil von Rissbandagen ist, dass die Leistungsfähigkeit der einzelnen Bandagen auf die zu erwartenden Rissbewegungen spezifisch abgestimmt werden kann, da die Bandagen erst nach Entstehung der Risse aufgebracht werden. Die mindestens 200 mm breiten Bandagen sollten etwa 5 mm eingefräst („verkrallt“) und oberflächenbündig ausgeführt werden, um Wasseransammlungen an den Rändern und größere Beanspruchungen beim Überfahren zu vermeiden.

Der Bauherr muss über die Folgen der ggf. erforderlichen begleitenden Rissbehandlung wie etwaige Nutzungseinschränkungen und das oft optisch auffällige Erscheinungsbild der bandagierten Verkehrsflächen aufgeklärt werden und diese akzeptieren (vgl. Bild 2).

Mit der Umsetzung instandhaltungspflichtiger Schutzmaßnahmen (z. B. begleitende Rissbehandlung oder Oberflächenschutzsysteme) während der gesamten Nutzungszeit durch Eigentümer bzw. Nutzer eines Parkbaus ist ein entsprechendes Risiko aus zukünftigem nichtkontrolliertem menschlichen Handeln und ein vertragliches Risiko verbunden. Trotz der normativen Vorgaben zur erforderlichen Instandhaltung für die Sicherstellung der Dauerhaftigkeit ist das allgemeine Verständnis zu diesem Problem bei den Eigentümern und Nutzern noch nicht ausreichend vorhanden. Dieser Risikohinweis mit der damit verbundenen Aufklärungsverpflichtung gegenüber dem Bauherrn gilt ganz allgemein für alle Ausführungsvarianten, bei denen die Dauerhaftigkeit der chloridbeanspruchten Betonbauteile erst durch zusätzliche Schutzmaßnahmen mit planmäßig geringer Nutzungsdauer (wie z. B. die Oberflächenschutzsysteme) sichergestellt werden soll, deren Funktionsfähigkeit über die geplante Nutzungsdauer von z. B. 50 Jahren erst durch Wartung, Inspektion und Instandsetzung während der Nutzung erreicht werden muss.

Das Inspektionsintervall nach den ersten 5 Jahren ist auf mindestens einmal jährlich festzulegen (über die gesamte Nutzungsdauer).



a)



b)

Bild 2. Beispiele mit Rissbandagen nach begleitender Rissbehandlung; a) Variante B1 in Tiefgarage, b) Variante A2 auf Rampe

7.3 Varianten B: mit flächigem Oberflächenschutzsystem

7.3.1 Variante B1: vollflächig starr beschichtet – OS 8 mit begleitender Rissbehandlung

Die Variante B1 mit starrer Beschichtung kann zweckmäßig sein, wenn sehr hohe mechanische Beanspruchungen (z. B. Bremsen und Anfahren auf Rampen) oder eine rückwärtige Beaufschlagung mit hohem oder ständigem Wasserdruck durch Trennrisse zu erwarten sind (WU-Bodenplatten).

Der hauptsächliche Vorteil des OS 8 ist der relativ hohe mechanische Widerstand dieser Beschichtung, der flächige Schutz der Betonfläche (Reduktion auf XD1 zulässig) und die relative Wirtschaftlichkeit aus Sicht der Herstellungskosten. Der Nachteil ist die fehlende Rissüberbrückungsfähigkeit, die durch die erforderliche begleitende Rissbehandlung (i. d. R. mit Rissbandagen, s. Bild 2) mit deren Folgen für etwaige Nutzungseinschränkungen und die

Instandhaltungskosten kompensiert werden muss (s. hierzu Abschnitt 7.2.2 Variante A2).

Auch hier ist wegen der erforderlichen begleitenden Rissbehandlung folglich die Rissbildung so zu steuern, dass unvermeidliche Risse möglichst an definierten Stellen entstehen. Dabei sind wenige breitere Risse (und damit möglichst wenige Rissbandagen) anzustreben (Entwurfsgrundsatz EGS-c). Die Umsetzung der Variante B1 gelingt nicht, wenn der Entwurfsgrundsatz EGS-b zugrunde gelegt wird.

Das Inspektionsintervall nach den ersten 5 Jahren ist auf mindestens einmal jährlich festzulegen (über die gesamte Nutzungsdauer).

7.3.2 Variante B2: Betonfläche vollflächig rissüberbrückend beschichtet mit OS 10 und Nutzschrift oder OS 11

Die Variante B2 mit rissüberbrückenden Oberflächenschutzsystemen ist besonders geeignet bei zwangbeanspruchten Zwischendecks, bei denen regelmäßig mit vielen und immer wiederkehrenden Rissen (Abkühlung im Winter) gerechnet werden muss (s. Bild 3).

Der zweckmäßige Entwurfsgrundsatz ist hier EGS-b, wobei die geplante rechnerische kleine Rissbreite auf die Leistungsfähigkeit des rissüberbrückenden Oberflächenschutzsystems abzustimmen ist (s. hier Tabelle 9). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass das erforderliche rissüberbrückende Oberflächenschutzsystem nur einen relativ begrenzten Verschleißwiderstand aufweisen kann.

Der Bauherr sollte auch hier aufgeklärt werden, dass trotz rissüberbrückender Beschichtung OS 10 oder OS 11 eine nachträgliche Abdichtung einzelner Risse (z. B. mit Rissbandagen) nicht immer auszuschließen ist, da die Rissüberbrückung der Beschichtung bei ggf. unerwarteten breiteren Rissen aus spätem Zwang bei Überfestigkeiten einer späteren Betonzugfestigkeit nicht ausreichen kann. Die begleitende Rissbehandlung ist im Instandhaltungs-



Bild 3. Beispiel Variante B2: rissüberbrückendes OS in Fahrgasse und auf Stellplätzen

plan daher als mögliche Instandsetzungsmaßnahme aufzunehmen.

Das Inspektionsintervall nach den ersten 5 Jahren ist auf mindestens einmal jährlich festzulegen (über die gesamte Nutzungsdauer).

7.4 Varianten C: mit flächiger, rissüberbrückender Abdichtung

7.4.1 Voraussetzungen

Da die Ausführungsvariante C so dauerhaft, sicher und robust den Zutritt von chloridhaltigen Wässern an die Betonkonstruktion verhindern soll, dass die Einstufung der horizontalen Betonbauteile unter der Abdichtung in die Expositionsklasse XC3 (mäßige Feuchte ohne Chloride) gerechtfertigt ist, werden zwei wesentliche Voraussetzungen definiert:

- mindestens zwei verbundene Abdichtungsschichten,
- unterlaufsichere Ausführung einer Abdichtungsschicht auf dem Konstruktionsbeton.

Im DAFStb-Heft 525 [36] wurde schon in der 1. Auflage von 2003 auf eine Brückenbelagsabdichtung entsprechend ZTV-ING Bezug genommen, um eine Herabstufung der somit vor Feuchte und Chlorideintrag dauerhaft geschützten Betonfläche auf eine Expositionsklasse XC3 zu begründen.

Voraussetzung für die Unterlaufsicherheit einer direkt auf dem Betonuntergrund aufgetragenen Abdichtungsschicht ist eine vollflächige, dauerhaft kraftschlüssige Verbindung zur Betonunterlage. In der Regel ist als unmittelbare Abdichtungsschicht auf dem Beton eine Lage Polymerbitumen-Schweißbahn vorzusehen. Der Betonuntergrund ist dazu vor Aufbringen der Abdichtungsbahn durch Kugelstrahlen vorzubereiten und mit Epoxidharz zu behandeln (auf dem Niveau der Brückenbeläge, d. h. Verfahren, Stoffe und Nachweise nach ZTV-ING [18], Teil 7, Abschnitte 1 bis 3; siehe auch [59]). Diese Anforderungen konkretisieren die Angaben zur Unterlaufsicherheit in DIN 18532-1 [12] und gehen teilweise darüber hinaus. Für wärmegeämmte Parkdächer mit Abdichtung und Nuttschicht oberhalb der Wärmedämmung (in DIN 18532 als Abdichtungsbauweise 2b bezeichnet) bedeutet das auch, dass die übliche Dampfsperre nach DIN 18532-1 auf dem Konstruktionsbeton durch eine vollwertige unterlaufsicher aufgetragene Polymerbitumen-Schweißbahn ersetzt werden muss.

Für die geregelten Abdichtungsbauweisen und Abdichtungsbauarten nach DIN 18532 [12], die nicht die o. g. zusätzlichen Anforderungen erfüllen, ist aus Sicht des Bauteilschutzes ein Verzicht auf eine XD-Expositionsklasse nicht ohne Weiteres gerechtfertigt. Der Planer muss entsprechende Randbedingungen festlegen und eine dann vertretbare Expositionsklasse zuordnen.

Weitere Erläuterungen zu den Anforderungen, Bauweisen und Bauarten von Abdichtungen nach DIN 18532 [12] werden von *Wolff* und *Schwamborn* in diesem Beton-Kalender gegeben [35].

7.4.2 Variante C1: unterlaufsichere bahnenförmige Abdichtung oder OS 10, jeweils mit Dichtungs- und Schutzschicht aus Gussasphalt

Die Ausführung nach Variante C1 für Pkw-befahrene Zwischendecks besteht i. d. R. aus einer vollflächigen Abdichtungsschicht bzw. einem OS 10 und einer einlagigen 35 mm dicken Deckschicht aus Gussasphalt, wenn diese gleichzeitig 2. Abdichtungs- und Schutzschicht sein soll (nicht geeignet auf Rampen). Alternativ wird ein zweischichtiger Gussasphalt als 25 mm dicke erste Abdichtungsschicht mit zusätzlicher mindestens 25 mm dicker Deckschicht aufgebracht (s. Bild 4, jedoch z. B. bei teil- oder freibewitterten Flächen Gussasphaltdeckschicht 30 mm mit Abspaltung).

Die zweckmäßigen Entwurfsgrundsätze sind EGS-a oder EGS-b. Beim EGS-b ist die geplante rechnerische kleine Rissbreite auf die Leistungsfähigkeit der Abdichtungsbauart abzustimmen (i. d. R. mit $w_k = 0,30$ mm, siehe auch hier Tabelle 9). Der EGS-c ist nicht geeignet, da die Zugänglichkeit für eine planmäßige spätere Rissabdichtung von oben nach Aufbringen der Abdichtung nicht mehr gegeben ist.

Das Inspektionsintervall nach den ersten 5 Jahren ist auf mindestens alle 2 Jahre festzulegen (über die gesamte Nutzungsdauer).

7.4.3 Variante C2: unterlaufsichere zweilagige bahnenförmige Abdichtung mit Schutzschicht

Bei der Ausführung nach Variante C2 werden zwei bahnenförmige Abdichtungsschichten unterlaufsicher



Bild 4. Beispiel Variante C1: eine Abdichtungsschicht mit Gussasphaltschichten als Dichtungs- und Schutzschicht auf Rampen (Schrammborde aufgesetzt)



Bild 5. Beispiel Variante C2: zweilagige bahnenförmige Abdichtung mit Betonplatten als befahrene Nuttschicht und Blechabdeckung der an aufgehender Wand hochgeführten Abdichtung

cher auf die Betonkonstruktion aufgebracht. Darauf kann die Wärmedämmung (z. B. bei Umkehr-Parkdächern über beheizten hochwertig genutzten Räumen) und die Schutzschicht (i. d. R. mit lastverteilenden Platten) aufgebaut werden (s. Bild 5).

Die zweckmäßigen Entwurfsgrundsätze sind EGS-a oder EGS-b (i. d. R. mit $w_k = 0,30$ mm, siehe auch hier Tabelle 9).

Das Inspektionsintervall nach den ersten 5 Jahren ist auf mindestens alle 2 Jahre festzulegen (über die gesamte Nutzungsdauer).

7.5 Variante KKS: präventiver Kathodischer Korrosionsschutz

Der Kathodische Korrosionsschutz (KKS) ist ein dauerhafter wirkungsvoller Schutz gegen Bewehrungskorrosion bei Einwirkung von Chloriden. Es handelt sich um ein Verfahren, welches die elektrochemischen Korrosionsvorgänge über kathodische Polarisation der Bewehrung beeinflusst. Planung und Ausführung des KKS sind in DIN EN ISO 12696 [37] geregelt.

Ziel des präventiven KKS ist, die Stahl-/Betonpotenziale so zu verschieben, dass der Beginn der Korrosion soweit unterdrückt wird, dass während der Lebensdauer eines Bauwerks Bewehrungskorrosion auch bei Anwesenheit von Tausalzen vermieden wird.

Der präventive Einsatz des KKS bietet besondere Vorteile, da der Schutz dann auch bei neuen Betonbauteilen im gerissenen Zustand besteht. Es ist nicht erforderlich, Chlorid vom Bauteil fernzuhalten. Auch bei KKS ist jedoch mindestens die Expositions-kategorie XD1 für die Bauteile zu wählen. Die Installation der Anodensysteme am Bewehrungskorb vor dem Betonieren ist einfacher als der nachträglichen

Einbau etwa bei Instandsetzungen korrodierter Bewehrung durch KKS.

Soll bei einem Parkbau präventiver KKS angewendet werden, so ist dieser bereits frühzeitig in der Planung zu berücksichtigen. Geschützt werden i. d. R. die Park- und Fahrflächen, die Rampen, die Stützen- und Wandsockel bis in eine Höhe von 300 mm bis 500 mm und die Gebäudefugen [15].

Gemäß DIN EN ISO 12696 [37], Abschnitt 9.3 muss für jedes KKS-System ein ausführliches Bedienungs- und Wartungshandbuch angelegt werden. Im Absatz a) wird dort eine detaillierte Systembeschreibung und ein Satz Zeichnungen im Einbauzustand gefordert. Diese Dokumentation muss sorgfältig erstellt und dem Bauherrn übergeben werden. Alle KKS-Bauteile sind dabei genau einzumessen und ihre Lage zu dokumentieren. Dies hat insbesondere erhebliche Bedeutung beim präventiven KKS in Parkbauten. Es kann nie gänzlich ausgeschlossen werden, dass nachträglich in die betreffenden Bauteile gebohrt werden muss. So ist das nachträgliche Rissverpressen systemimmanent (insbesondere auch bei WU-Betonkonstruktionen) und muss immer möglich sein. Damit beim Verpressen oder aber bei nachträglichen Einbauten das KKS-System nicht zerstört wird, darf nicht in

- Referenzelektroden,
- Anoden- und Kathodenanschlüsse,
- Messanschlüsse
- und möglichst nicht in Primäranoden

gebohrt werden. Ein einzelnes Anbohren von Sekundäranoden ist eher unschädlich, Primäranoden können ggf. neu verschweißt werden. Das KKS-System bietet jedoch ausreichend Raum für nachfolgende Einbauteile, da die Sekundärbänder i. d. R. in einem Abstand von ca. 200 mm und die Primäranoden, die die Sekundäranoden mit Strom speisen in weitaus größeren Abständen verlegt sind. KKS und nachträgliche Bohrungen sind somit kein Widerspruch. Es muss jedoch selbstverständlich sein, dass vor jeglichen Bohrarbeiten in ein mit KKS-geschütztes Bauteil immer die KKS-Firma einzubeziehen ist. Dies ist im Instandhaltungsplan aufzunehmen.

Trennrisse sowie Arbeits- und Sollrissfugen bei Parkdecks müssen dennoch rissüberbrückend abgedichtet werden, um unter den Decks abgestellte Fahrzeuge und die Nutzer vor Beeinträchtigungen durch abtropfendes Wasser zu schützen. Das kann sowohl nachträglich (durch rissüberbrückende Bandagen) oder vorab durch planmäßige Abdichtung der Fugen mittels Fugeneinlagen (wie bei WU-Betonkonstruktionen) erfolgen. Es ist auch darauf zu achten, dass Tausalz nicht durch Risse oder Bauteilfugen an Bauteilflächen gelangt, deren Bewehrung nicht durch KKS geschützt ist.

Wartung und Instandhaltung sind Bestandteil des Schutzprinzips bei Einsatz des KKS als präventive Schutzmaßnahme gegen chloridinduzierte Korrosion. Ein Instandhaltungsplan gemäß DIN EN ISO 12696 [37], Abschnitt 10 ist vom Planer aufzustellen und vom Bauherrn einzuhalten.

Ausführlichere Erläuterungen zum Einsatz von KKS u. a. auch bei Parkbauten werden von *Eichler* und *Gielert-Bressmer* in diesem Beton-Kalender gegeben [38].

7.6 Variante Rostfrei: nichtrostende chloridbeständige Bewehrung

Wenn eine chloridbeständige nichtrostende Bewehrung (in Deutschland mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung) in Bauteilen aus Normalbeton eingesetzt wird, müssen die oberseitig offenen Risse aus Dauerhaftigkeitsgründen nicht abgedichtet werden. Die Zulassungen sind insbesondere auch für die Bemessung und Konstruktion zu beachten.

Die Verwendung nichtrostender Betonstähle ist eine der zuverlässigsten Möglichkeiten eines zusätzlichen Korrosionsschutzes. Diese Betonstähle sind im alkalischen und karbonatisierten Beton passiv. Im Betonriss ist der Bewehrungsstahl einem chloridhaltigen karbonatisierten Beton ausgesetzt. In Anwesenheit von Chloridsalzen neigen nicht ausreichend hoch legierte Edelstähle zu Lochkorrosion, am ehesten in Bereichen von Schweißungen. Dem kann durch Anheben der Gehalte an Chrom und Molybdän im Edelstahl zuverlässig begegnet werden [39].

Es kommen zulassungsgemäß ungeschweißte und geschweißte nichtrostende Bewehrungsstähle der Werkstoff-Nr. 1.4362 und 1.4571 (für mittlere Chloridbelastung) und Werkstoff-Nr. 1.4462 (für starke Chloridbelastung) infrage. Chloridgehalte bis

5 M.-% (bezogen auf den Zement) können ohne Schädigung ertragen werden. Die Bezeichnung der Stähle erfolgt in Anlehnung an DIN EN 10088 [40]. Die Rissbreiten sollten bei EGS-b mit einem Rechenwert von $w_k = 0,4$ mm begrenzt werden.

Für die Betondeckung des nichtrostenden Betonstahls der Werkstoff-Nr. 1.4362, 1.4571 und 1.4462 ist für alle Expositionsklassen eine Mindestbetondeckung von 10 mm zzgl. 10 mm Vorhaltemaß einzuhalten. Zu beachten ist jedoch, dass zur Verbundsicherung die Mindestbetondeckung $c_{\min,b}$ nicht kleiner sein darf als der Stabdurchmesser des Betonstahls.

Bei unbeschichteten oder nicht abgedichteten feuchte- und chloridbeanspruchten Verkehrsflächen ist nur eine Einstufung in XF2 (ggf. XF4 bei freier Bewitterung), WA erforderlich.

Alternativ zum nichtrostenden Betonstahl kann auch profilierte glasfaserverstärkte Kunststoffbewehrung in Parkbauten verwendet werden (GFK-Bewehrung, s. Bild 6). Derzeit gibt es hierfür nur eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [41]. Diese GFK-Bewehrung ist korrosionsbeständig für alle Expositionsklassen XC, XD und XS. Für alle Expositionsklassen ist nur eine Mindestbetondeckung von 10 mm zzgl. 10 mm Vorhaltemaß einzuhalten. Zur Verbundsicherung darf die Mindestbetondeckung $c_{\min,b}$ auch nicht kleiner sein als der Stabdurchmesser der GFK-Bewehrung. Außerdem ist die Verwendung als tragende GFK-Druckbewehrung nicht zulässig.

In allen Expositionsklassen XC, XD und XS darf der Rechenwert der Breite w_k der Risse quer 0,4 mm sowie parallel zu den GFK-Stäben im Bereich der Verankerung 0,2 mm nicht überschreiten [41].

Wie bei der Variante KKS müssen auch bei Verwendung von nichtrostender Bewehrung Trennrisse und Fugen in Parkdecks abgedichtet werden, um unter den Decks abgestellte Fahrzeuge und die Nutzer vor Beeinträchtigungen durch abtropfendes Wasser zu schützen.

Bei Verwendung nichtrostender chloridbeständiger Bewehrung sind keine zusätzlichen Betriebskosten für die Instandhaltung während der gesamten Lebensdauer des Bauteils erforderlich (außer für ggf. erforderliche Trennrissbandagen). Wegen der möglichen deutlich reduzierten Betondeckungen ist u. a. eine oft vorteilhafte Reduzierung der Plattendicken und der Eigengewichte möglich. Vor dem Hintergrund der gesamten Lebenszykluskosten eines Parkbaus kann diese Ausführung also auch sehr wirtschaftlich sein.

Alle ggf. außerdem vorhandenen anderen rostenden Betonstahlbewehrungen, Verbundbleche oder Stahleinbauteile (z. B. Kopfbolzen, Querkraftdorne) müssen dann ebenfalls einen so dauerhaften und ausreichenden Korrosionsschutz aufweisen.



Bild 6. Beispiel Variante Rostfrei: GFK-Bewehrung im Parkdeck (Foto: Schöck Bauteile GmbH)

7.7 Chloridbeanspruchte WU-Bodenplatten im drückenden Wasser

Befahrene WU-Bodenplatten in Tiefgaragen sind besonders anspruchsvolle Bauteile, da sowohl der Bauteilwiderstand gegen die von oben angreifende chloridhaltige Feuchte als auch die Wasserundurchlässigkeit gegenüber des von unten anstehenden drückenden Grundwassers in der Beanspruchungsklasse 1 der DAfStb-WU-Richtlinie [28] erreicht werden muss. WU-Bodenplatten, die von unten nur durch Bodenfeuchte in der Beanspruchungsklasse 2 beaufschlagt werden, sind dagegen relativ unproblematisch: Sie können wie Parkdecks mit allen Ausführungsvarianten für die Chloridbeanspruchung ausgelegt werden, da kein Wasser durch Trennrisse von unten eindringen kann.

Eine oberseitige Abdichtung nach Variante C in der Beanspruchungsklasse 1 ist ungeeignet, da ein Wasserdurchtritt durch die WU-Bodenplatte nicht frühzeitig festgestellt und bei entsprechendem Wasserdruck eine Unterläufigkeit der Abdichtung nicht ausgeschlossen werden kann.

Ein rissüberbrückendes Oberflächenschutzsystem nach Variante B2 auf ständig druckwasserbeanspruchten WU-Bodenplatten ist ebenfalls nicht zu empfehlen, wenn Trennrisse nach Aufbringen der Beschichtung und der Aufbau eines Wasserdrucks von außen (Beanspruchungsklasse 1 nach [28]) nicht auszuschließen sind. In diesem Fall besteht infolge eines möglichen hohen Wasserdrucks im Trennrisse die Gefahr von Ablösungen und Beschädigung des Oberflächenschutzsystems (z. B. beim Überfahren von Blasen, s. Bild 7).

Langjährige Erfahrungen zeigen aber auch, dass bei WU-Bodenplatten in Wasserwechselzonen mit relativ geringer maximal 2 m Wasserdruckhöhe ein rissüberbrückendes Oberflächenschutzsystem OS 11 dennoch anwendbar sein kann. Wenn sich an



Bild 7. Blasenbildung eines OS 11 auf einer druckwasserbeanspruchten WU-Bodenplatte

Trennrissen doch örtlich Blasen bilden sollten, müssen die dazugehörigen Trennrisse durch eine begleitende Rissbehandlung wie bei Variante B1 geschlossen und die Beschichtung instand gesetzt werden (Instandhaltungsplan) [15].

Bei Applikation von Oberflächenschutzsystemen auf WU-Bodenplatten muss darauf geachtet werden, dass nur Grundierungen verwendet werden, die für eine hohe Restfeuchte des Betons ausgelegt sind. Es ist eine zweilagige Grundierung oder eine zusätzliche Sperrschicht auszuführen, um eine rückseitige Feuchteeinwirkung auf die hauptsächlich wirksame Oberflächenschutzschicht (hwO) des Oberflächenschutzsystems und ggf. eine osmotische Blasenbildung zu verhindern.

Als weitere Möglichkeiten für WU-Bodenplatten kommen die Varianten A oder B1 mit lokaler Rissbehandlung infrage. Rissbehandlung bedeutet hier in der Regel die Applikation rissüberbrückender Bandagen und bei Wasserdurchtritt vorab eine zusätzliche abdichtende Rissverpressung möglichst im der Wasserseite zugewandten Querschnittsbereich, bei dem praktisch keine weiteren Rissbreitenänderungen wegen der gleichmäßigen Temperierung und des fehlenden Trocknungsschwindens an der erdberührten feuchten Bauteilseite mehr zu erwarten sind.

Weitere Alternativen sind der präventive Kathodische Korrosionsschutz der Bewehrung (s. Abschnitt 7.5) oder die Verwendung nichtrostender chloridbeständiger Bewehrung (s. Abschnitt 7.6), wenn die Risse in WU-Bodenplatten nicht in Bezug auf Verhinderung des Chlorideintrags behandelt werden und die WU-Abdichtung über Selbstheilung der Trennrisse gemäß DAfStb-WU-Richtlinie [28] erfolgen soll.

7.8 Rampen

Rampen und Zufahrten gehören zu den mechanisch am intensivsten beanspruchten Flächen in Parkbauten. Dies ist in der höchsten Anzahl der Überfahrten und mit den erhöhten Anfahr- und Bremskräften auf den geneigten Flächen begründet. Hinzu kommen bei frei bewitterten Rampen die gegenüber dem überdachten Parkdeck extremen Temperaturbeanspruchungen aus Außenluft und Niederschlag sowie ggf. durch eine Rampenheizung.

Rampen von Mittel- und Großgaragen (mehr als 100 m² Nutzfläche) sowie unbeheizte Rampen im Freien sollten nicht steiler als 15% längsgeneigt sein und müssen in gewendelten Bereichen ein Quergefälle von 3% aufweisen [15].

In stark mechanisch beanspruchten Kurven und auf Rampen sind OS-11-Systeme nur eingeschränkt verwendbar, da die Schubfestigkeit in der Schwimmschicht sowie die Verschleißbeständigkeit

der Deckversiegelung hierfür nicht ausreichen. Hier sind angepasste Ausführungsvarianten erforderlich. Erforderliche Rissbandagen auf Rampen bei den Varianten A2 oder B1 (Tabelle 13) erfordern eine besondere mechanische Widerstandsfähigkeit (z. B. Polymethylmethacrylat PMMA). Auf unbeschichteten Rampen ist eine Einstufung in Expositionsklasse XM1 zu empfehlen, die jedoch ohne Weiteres mit einem XD3-Beton erreicht wird.

Gelangt eine Abdichtungsbauart mit Gussasphalt auf Rampen (Variante C1) zur Ausführung, muss diese den größeren Schubbeanspruchungen beim Bremsen und Anfahren standhalten. Die Abdichtungslagen sind mit dem Untergrund und untereinander so zu verbinden, dass ein Abgleiten ausgeschlossen ist. Bei einer Rampenneigung bis maximal 15 % und spezieller Mischgutzusammensetzung (viskositätsverändernder Zusatz) ist i. d. R. keine besondere Schubsicherung bei einer vollflächig verklebten Polymerbitumen-Schweißbahn in Verbindung mit zweilagigem Gussasphalt erforderlich [57].

Für Rampenoberflächen sind nachfolgende Eigenschaften relevant [15]:

- Griffigkeit der Oberfläche bei jedem Wetter (empfohlen: Rutschhemmungsklasse R 11 und Verdrängungsraum V 4 allgemein bzw. V 6 bei stark geneigten Rampen nach [56]),
- schnelle und gezielte Entwässerung über ausreichend leistungsfähige Rinnensysteme,
- mechanischer Widerstand der Rampenoberfläche (XM1 empfohlen wegen Bremsen/Anfahren).

Die rissvermeidende Betonvariante A1 (oder die Variante A2 z. B. mit statisch bestimmt gelagerten Rampenplatten, s. Bild 8) und die Abdichtungsvariante C1 mit Gussasphalt-Nutzschicht (Bild 4) sind besonders geeignet für wartungsarme Rampen.



Bild 8. Beispiel für zwangarm gelagerte Rampenplatten (Systemparkhaus) nach Variante A2

Die Variante KKS mit präventivem Kathodischen Korrosionsschutz und die Variante Rostfrei mit nichtrostender Bewehrung sind bei unbeschichteten Rampen ebenfalls sehr zweckmäßig. Der große Vorteil ist die Wartungsfreiheit der Bewehrung. Das heißt, dass diese Rampen praktisch nie für Wartungsarbeiten z. B. für Oberflächenschutzsysteme gesperrt werden müssen (und damit die Zufahrt zu vielen Parkplätzen). Die Wirtschaftlichkeit ist daher bei den im Verhältnis zur Gesamtparkfläche begrenzten Rampenflächen i. d. R. nachweisbar.

7.9 Oberflächenschutzsysteme – aktueller Regelungsstand

Für die Verwendung von Oberflächenschutzsystemen auf Betonflächen gilt die DAFStb-Instandsetzungsrichtlinie [9] in Verbindung mit DIN V 18026 [10] sowie DIN EN 1504-2 [11]. Sobald die in Vorbereitung befindliche neue DAFStb-Instandhaltungsrichtlinie bauaufsichtlich eingeführt ist, wird dann diese als Grundlage der Planung, Ausschreibung und Ausführung von Oberflächenschutzsystemen zu verwenden sein.

Für Schutzmaßnahmen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit gemäß Varianten A2 und B sollten dies dahin Oberflächenschutzsysteme gemäß DAFStb-Instandsetzungsrichtlinie [9] geplant werden. Die Auswahl des Oberflächenschutz- bzw. Abdichtungssystems ist in Abhängigkeit von der Rissbreite, der zu erwartenden Rissbewegung und der Belastung (insbesondere Einwirkungen aus Temperatur und Pkw-Verkehr) zu wählen.

Als Hilfestellung für den Planer sind im DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“ [15] die erforderlichen Leistungsmerkmale (Anforderungen und Prüfverfahren) für die für Parkbauten relevanten Oberflächenschutzsysteme in einem Anhang A zusammengefasst und können somit einfacher in Bezug genommen und ausgeschrieben werden. Im Anhang A von [15] sind die notwendigen Verwendungsregeln und Merkmale von Produkten und Systemen für den Oberflächenschutz in Parkbauten (OS 5b, OS 8, OS 10 und OS 11) enthalten, sie orientieren sich an DIN V 18026 [10]. Diese Norm wurde zwar vom DIN zurückgezogen, aber inhaltlich und technisch sind ihre Regelungen nach wie vor relevant, bis die neue DAFStb-Instandhaltungsrichtlinie diese Norm tatsächlich ersetzen wird.

Sämtliche vom Planer gewählten und ausgeschrieben Leistungsmerkmale der Oberflächenschutzsysteme sind dann über prüffähige Technische Dokumentationen der Produkthersteller nachzuweisen und zu dokumentieren. Diese Nachweise können insbesondere auch über „DIBT-Gutachten über die Einhaltung von Anforderungen an bauliche Anlagen bei Einbau des (entsprechenden) Produkts“ (s. [42]) oder ggf. über allgemeine bauaufsichtliche

Zulassungen oder allgemeine Bauartgenehmigungen erfolgen.

Weitere Erläuterungen zur Planung und Ausführung von Oberflächenschutzsystemen für Parkbauten werden von *Wolff* und *Schwamborn* in diesem Beton-Kalender gegeben [35].

8 Ausführungsvarianten bei Bauteilen unter durchlässigen Belägen

Ungeschützte tragende Stahlbetonbauteile im erdberührten Bereich unter durchlässigen Fahrbelägen (z. B. Stützen und Fundamente unter Pflaster bei Parkflächen) können durch hindurchsickerndes tausalzhaltiges Wasser mit Chloriden beaufschlagt werden (s. a. Bild 9). Daher sind diese Stahlbetonbauteile in XD-Klassen einzustufen. Da die unterirdischen Bauteile auch nicht inspiziert und gewartet werden können, sind Einstufungen über XD1 hinausgehend gerechtfertigt.

Horizontale unterirdische Oberflächen und Oberflächen mit nur geringem Gefälle und damit möglicher Chloridaufkonzentration sind in XD3 einzustufen (z. B. bewehrte Fundamentoberseiten, Bild 10). Überwiegend vertikale Oberflächen (z. B. aufgehende Wände, Stützen, Fundamentseitenflächen) und Oberflächen mit starkem Gefälle (min 2,5%) sind unterhalb der Pflasterfläche mindestens in XD2 einzustufen. Bewehrte Arbeitsfugen zwischen Fundamenten und aufgehenden Bauteilen müssen immer gesondert geschützt werden [17] (s. Bild 11).

Wenn die Stahlbetonbauteile unterhalb des durchlässigen Fahrbelags mit einer flüssig aufzubringenden oder bahnenförmigen Abdichtung nach DIN 18533 [44] dauerhaft geschützt und damit nicht mit Chlorid beaufschlagt werden, ist eine Einstufung in XC3 ausreichend (Bild 12). Eine Einstufung in die XD-Klassen ist somit nicht erforderlich (vgl. auch Auslegungen des NA 005-07-01 AA zu DIN EN 1992-1-1 mit NA [17]).

Es kann davon ausgegangen werden, dass auch OS-5b-Systeme, die die Anforderungen an eine Abdichtung nach DIN 18533 [44] erfüllen, die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauteilen unter Pflasterbelägen gewährleisten. Ein entsprechender Nachweis muss vom Hersteller erbracht werden (z. B. mit einem allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis, vgl. auch [45]).

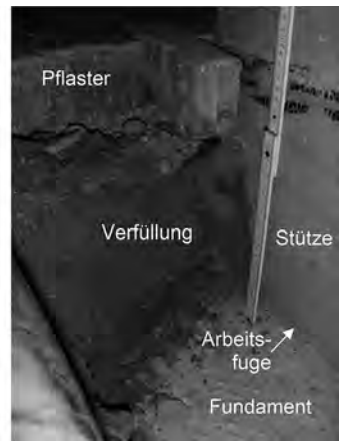
Alle Abdichtungen bzw. ein OS 5b müssen mit zusätzlichen Schutzmaßnahmen vor dem anstehenden Bettungssplitt (z. B. Noppenbahn, Geotextil, Bautenschutzmatte) ausgeführt werden.

Alternativ zu den betontechnischen oder abdichtenden Schutzmaßnahmen kann nichtrostende chloridbeständige Bewehrung (keine XD-Anforderung) oder kathodischer Korrosionsschutz eingesetzt werden (XD1-Anforderung).

Alternativ sollte anstelle von bewehrten Fundamenten auch die Anordnung gedrungener unbewehrter Einzel- oder Streifenfundamente ohne Anschlussbewehrung für die aufgehenden Bauteile untersucht werden (Bild 13). Dem Mehraushub und Mehrbeton stehen deutliche Vorteile wie Wartungsfreiheit und Korrosionsfreiheit (Expositionsklasse X0) gegenüber.



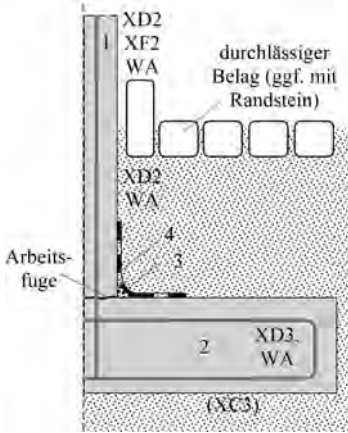
a)



b)

Bild 9. Beispiele durchlässiger Pflasterbelag;

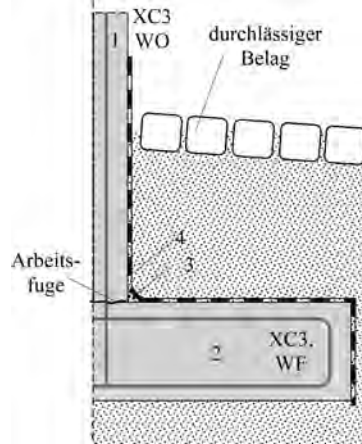
a) Pflasterbelag mit Randstein vor Stahlstützen, b) freigelegte Bauteile im Baugrund



Legende

- 1 Aufgehendes Stahlbetonbauteil Stütze/Wand
- 2 Stahlbetonfundament (XD3 ohne Gefälle)
- 3 Dreiecks- oder Hohlkehle (min 30 mm)
- 4 Schutz der Arbeitsfuge, jeweils ≥ 150 mm hoch und breit mit Abdichtung nach DIN 18533 mit Schutzschicht oder streifenförmige WU-Fugenabdichtung mit abP

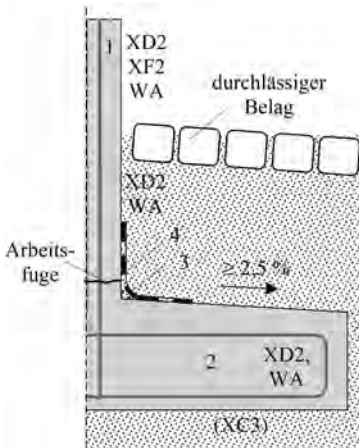
Bild 10. Bauteile unter durchlässigem Belag – ohne Gefälle



Legende

- 1 Aufgehendes Stahlbetonbauteil Stütze/Wand
- 2 Stahlbetonfundament (XC3)
- 3 Dreiecks- oder Hohlkehle
- 4 Abdichtung nach DIN 18533 oder OS 5b mit abP als Abdichtung (jeweils mit zusätzlicher Schutzmaßnahme), oberirdisch hochgezogen als Sockelschutz ≥ 150 mm über OK Belag (ohne Spritzwasser wegen Gefälle $\geq 2,5\%$) bzw. ≥ 500 mm (mit Spritzwasser)

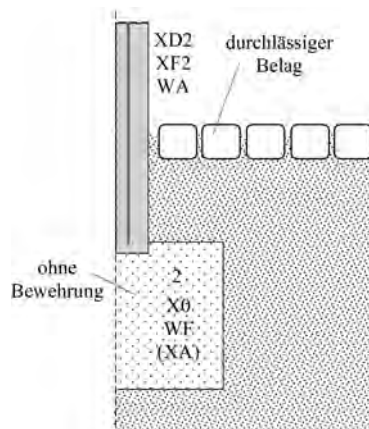
Bild 12. Bauteile unter durchlässigem Belag – abgedichtet



Legende

- 1 Aufgehendes Stahlbetonbauteil Stütze/Wand
- 2 Stahlbetonfundament (XD2 mit Gefälle $\geq 2,5\%$)
- 3 Dreiecks- oder Hohlkehle (min 30 mm)
- 4 Schutz der Arbeitsfuge, jeweils ≥ 150 mm hoch und breit mit Abdichtung nach DIN 18533 mit Schutzschicht oder streifenförmige WU-Fugenabdichtung mit abP

Bild 11. Bauteile unter durchlässigem Belag – mit Gefälle



Legende

- 1 Aufgehendes Stahlbetonbauteil Stütze/Wand ohne Sockelschutz (z. B. auch Fertigteile)
- 2 Betonfundament und Bauteilfuge ohne Bewehrung (X0)

Bild 13. Bauteile unter durchlässigem Belag – Fundament ohne Bewehrung

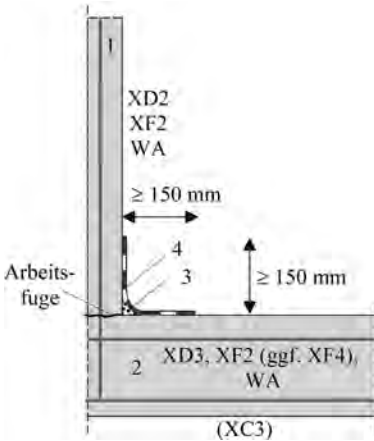
9 Ausführungsvarianten für von der Parkfläche aufgehende monolithische Bauteile

Von der Parkfläche aufgehende unbeschichtete Bauteile (Stützen und Wände) sind im Sockelbereich in der Regel in XD2, WA (ggf. in XF2) einzustufen (Bild 14).

Wenn chloridhaltiges Spritzwasser die Betonoberfläche, z. B. infolge eines aufgetragenen Oberflächenschutzes oder einer Abdichtung, nicht beanspruchen kann, brauchen aufgehende Bauteile (Stützen und Wände) nicht in XD-Expositionsklassen eingeteilt zu werden.

Ein zusätzlicher Sockelschutz der aufgehenden Bauteile vor Chloridbeanspruchung ist erforderlich, wenn die aufgehenden Bauteile nur in mindestens XC3 (mäßige Feuchte – Außenluftzugang) in natürlich belüftetem Parkbau) eingestuft werden.

Wird ein ausreichendes Gefälle ($\geq 2,5\%$) geplant, sodass Pfützen vermieden werden und Spritzwasser ausgeschlossen werden kann, sollte der Sockel-



Legende

- 1 Aufgehendes Stahlbetonbauteil Stütze/Wand (mit Spritzwasser > 150 mm hoch)
- 2 Parkdeck oder Bodenplatte (Beispiel: unbeschichtet XD3 ohne Gefälle)
- 3 Dreiecks- oder Hohlkehle (min 30 mm)
- 4 Schutz der Arbeitsfuge, jeweils ≥ 150 mm hoch und breit mit
 - Spachtelung, Grundierung mit 2-facher Kopfversiegelung (jeweils Reaktionsharz)
 - oder OS 5b
 - oder Flüssigabdichtung mit Vlieseinlage nach DIN 18532-6

Bild 14. Beispiel: oberirdische aufgehende Bauteile mit Spritzwasser – Fläche ohne Gefälle (nur Arbeitsfugenschutz)

schutz mindestens 150 mm hochgezogen werden (Bild 15). Befinden sich die aufgehenden Bauteile in der Nähe von Fahrgassen ohne oder mit nur geringem Gefälle, ist mit chloridhaltigem Spritzwasser aus dem Durchfahren möglicher Pfützen zu rechnen. Deshalb sollte dann der Sockelschutz mindestens 500 mm hochgezogen werden (Bild 16).

Der Sockelschutz muss dauerhaft mechanisch beständig (z. B. Reinigen) und beständig gegen Feuchte und Chloridbeanspruchung sein. Hierfür sind folgende Beschichtungen bzw. Abdichtungen geeignet [15]:

- Lunker- und Porenspachtelung (ggf.), Grundierung mit 2-facher Kopfversiegelung (jeweils auf Reaktionsharzbasis) eines OS-8- oder OS-11-Systems,
- oder OS-5b-System (Hinweis: Beeinträchtigung des ggf. zusätzlich aufgetragenen Farbanstrichs wegen Reinigung möglich),
- oder Flüssigabdichtung mit Vlies nach DIN 18532-2 [12],
- oder Hochführen einer Abdichtung nach DIN 18532-2 im Zusammenhang mit Variante C (s. Bild 15).

Die Arbeitsfuge zwischen horizontalem und aufgehendem Bauteil ist in jedem Fall durch entsprechende Maßnahmen vor dem Zutritt chloridhaltigen Wassers zu schützen. Dabei ist in einem mindestens 150 mm breiten Streifen um die Stütze herum oder vor der Wand eine Beschichtung aufzubringen. Diese Beschichtung sollte als Teil des Oberflächenschutzsystems aus der Horizontalen durch Ausbildung einer gefügedichten Dreiecks- bzw. Hohlkehle angeschlossen werden. Eine geeignete Beschichtung muss hierbei auch mindestens 150 mm an den aufgehenden Bauteilen hochgeführt werden, um Hinterläufigkeiten bis zur Arbeitsfuge auszuschließen (Bild 14).

10 Gefälleausbildung

Pfützenfreiheit ist ein wesentliches Merkmal für nutzungsfreundliche Parkbauten. Zur Vermeidung von Pfützen ist ein funktionierendes Entwässerungssystem erforderlich. Hierfür ist die Planung eines Gefälles in den Park- und Fahrbenen zu entsprechenden Entwässerungseinrichtungen erforderlich.

Eine Gefälleausbildung hat Vor- und Nachteile (s. a. [46]).

Vorteile Gefälle (Auswahl):

- geringere Gebrauchsfähigkeitseinschränkung durch Pfützenbildung (Nutzung),
- geringere Gefährdung der Verkehrssicherheit bei eventueller Eisbildung (Nutzung),

XV Abdichtungen bei unterirdischen Bauwerken unter Berücksichtigung neuer Normen

Alfred Haack, Köln

Dominik Kessler, Köln

1 Einleitung

Die Aufgabe einer Abdichtung bei einem unterirdischen Bauwerk besteht darin, dieses vor Schäden infolge Wassereintritt und Durchfeuchtung sowie vor Gefährdung durch aggressive Wässer oder Böden zu schützen und so dessen langfristige Nutzung zu sichern. Dabei unterscheiden sich die Anforderungen an Aufbau und Detailgestaltung der Abdichtung einerseits nach der Art der Beanspruchung durch das Wasser und andererseits durch die Art der geplanten Bauwerksnutzung. Naturgemäß kommt der zuverlässigen Funktion einer Abdichtung besondere Bedeutung bei Bauwerken zu, die nach ihrer Erstellung

- nur noch schwer oder überhaupt nicht mehr für nachträgliche Reparaturen zugänglich sind (z. B. bergmännisch erstellte Tunnel, überbaute unterirdische Anlagen) oder
- für den dauernden Aufenthalt von Personen bestimmt sind oder
- der Aufnahme hochwertiger Einrichtungen und/oder feuchteempfindlicher Lagergüter dienen.

Insbesondere im Bereich von drückendem Wasser in Form von Grund-, Hang- oder Stauwasser müssen bestimmte Grundforderungen von einem Abdichtungssystem erfüllt werden, wenn es den gestellten Aufgaben genügen soll. Dazu zählen vor allem folgende Punkte:

- (1) Die Abdichtung muss auf Dauer beständig sein gegen das anstehende Boden-Wasser-Gemisch einschließlich aller darin enthaltenen Chemikalien. Sofern die Gefahr der Beimengung industrieller chemischer Substanzen besteht, muss sie auch gegen diese schützen und nachgewiesenermaßen resistent sein.
- (2) Die Abdichtung muss beständig sein gegen alle angrenzenden Baustoffe.
- (3) Die Abdichtung muss widerstandsfähig sein gegen die zu erwartenden statischen und dynamischen Belastungen und die daraus resultierenden Verformungen. Dabei sind die Verhältnisse des Bauwerks (auch im Bauzustand), seiner Nutzung und des angrenzenden Bodens zu berücksichtigen.
- (4) Die Abdichtung muss eine ausreichende mechanische Festigkeit bei allen während der Bauausführung und nach der Fertigstellung zu erwartenden Temperaturen aufweisen. In besonderen Fällen, z. B. bei Fernwärmeleitungen, unterirdisch geführten Hochspannungs-

trassen oder anderen Anlagen mit höheren Temperaturabstrahlungen, sind geeignete Schutzvorkehrungen zu treffen.

- (5) Das Abdichtungssystem muss fehlerfrei und möglichst einfach einzubauen sein. Das setzt bei bahnenartig aufgebauten Systemen auch eine gut und leicht erzielbare Verbindung der einzelnen Bahnen untereinander in Längs- und Querrichtung voraus.
- (6) Die Abdichtung darf während des Einbauvorgangs keine gesundheitsschädigenden Stoffe oder Dämpfe freisetzen. Die MAK-(maximale Arbeitsplatz-Konzentrations-)Werte sind zu beachten.
- (7) Eine hautartig aufzubringende Abdichtung muss sich an die Bauwerksgeometrie anpassen lassen, z. B. im Bereich von Kanten, Kehlen und Ecken (Bild 1). Das bedeutet in der Regel die Notwendigkeit einer Abstimmung des Bauwerks in der Formgebung bestimmter Detailpunkte auf das jeweils vorgesehene Abdichtungssystem. Dies trifft in besonderer Weise auch auf Bauwerke aus wasserundurchlässigem Beton zu (Abschnitt 6).
- (8) Die Abdichtung muss reparierfähig sein, um während der Bauausführung oder später in der Nutzungsphase auftretende Mängel einwandfrei beheben zu können. Der dabei oder bei Rückbau der Gebäudestruktur am Ende der Nutzungsphase anfallende Bauschutt darf weder Gesundheit noch Umwelt gefährden und muss den Anforderungen des Wirtschaftskreislaufgesetzes genügen.
- (9) Eine hautartig aufgebraute Abdichtung muss mehrlagig aufgebaut oder hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit zuverlässig prüfbar sein. Die Sicherheit gegen handwerkliche Einbaufehler (z. B. in der Nahtverbindung) muss in jedem Fall über „I“ liegen.

Zu diesen grundlegenden Forderungen an die physikalischen, chemischen und technologischen Eigenschaften eines Abdichtungssystems können in Einzelfällen weitere Forderungen wie erhöhte Verformbarkeit oder besondere Druckfestigkeit (z. B. unter befahrenen Flächen oder extrem schweren Baukörpern) hinzukommen.

In vollem Maße wird die Tragweite der aufgezählten Grundanforderungen vielfach erst bewusst, wenn man sich die Nutzungsdauer abzudichtender unterirdischer Bauwerke oder Bauwerksteile vor Augen hält. So wird für Verkehrstunnel eine Nutzungsdauer von mehr als 100 Jahren angesetzt. Bei



Bild 1. Deckenabdichtung mit ECB-Dichtungsbahnen im U-Bahn-Bau

hochtechnisierten Industrieanlagen, die nicht selten 10 bis 15 m, in Sonderfällen auch tiefer unter Erdgleiche gegründet werden, und im Kraftwerksbau wird von mindestens 30 Jahren Nutzungs- und Betriebsdauer ausgegangen.

Hinsichtlich der Gesamtheit aller Anforderungen ist Folgendes zu bedenken: Grundsätzlich ist ein Abdichtungssystem so zu wählen und zu planen, dass es im Hinblick auf die Erfordernisse aus der geplanten Nutzung einerseits und auf die technischen und wirtschaftlich vertretbaren Möglichkeiten andererseits die optimale Lösung darstellt. Eine Voraussetzung für die richtige Auswahl ist die verbindliche Angabe von Planungskriterien durch den Bauherrn bzw. die von ihm eingeschalteten Sonderfachleute (z. B. Tragwerksplaner, Bodengutachter, Hydrologe, Betoningenieur, Bauphysiker). Diese Angaben müssen sich im Einzelnen erstrecken auf den höchsten zu erwartenden Wasserstand, die Pressung aus anstehendem Boden oder Baukörpern im Bau- und Endzustand, das Schwinden der Betonbauteile, die Bewegungen infolge Temperaturänderung sowie die Setzungen des Bauwerks oder einzelner Bau-

werksteile. Erst wenn diese Angaben und ergänzende Erläuterungen zum Bauverfahren und Bauablauf verbindlich vorliegen, können die konstruktiven Anforderungen an das Bauwerk im Zusammenhang mit der Wahl des Abdichtungssystems und der zu verarbeitenden Stoffe festgelegt werden. Besondere Erschwernisse wie die Schaffung einer ebenen und trockenen Unterlage zum Aufbringen der Abdichtung können dabei von ausschlaggebender Bedeutung sein (z. B. bei einem unterirdisch aufzufahrenen Tunnel). Von daher gesehen haben die einzelnen stofflich verschiedenen Systeme durchaus unterschiedliche Anwendungsbereiche.

Wenn die zu erwartenden Beanspruchungen eine Beschädigung der vorgesehenen Hautabdichtung nicht von vornherein sicher ausschließen lassen, sind konstruktive Maßnahmen zu treffen, die günstigere Verhältnisse herbeiführen. Dazu können die Veränderung der Bauwerksgründung, eine Vergrößerung der Fugenanzahl oder eine geänderte Fugenaufteilung, die Umstellung von Bauzuständen oder die Verkürzung bestimmter Bauabläufe zählen. Bereits im frühen Stadium der Planung eines Bauvorhabens sollten daher alle Baumaßnahmen im Hinblick auf mögliche negative Auswirkungen für das Abdichtungssystem überprüft werden. Zur Beurteilung sollten Fachfirmen und auf diesem Gebiet erfahrene Ingenieure hinzugezogen werden, um Fehlentscheidungen weitestgehend auszuschließen.

2 Planungsgrundlagen

2.1 Einfluss von Boden, Bauwerk und Bauweise

Bei einer Vielzahl von Bauwerken werden Bauweise, Bauablauf und konstruktive Gestaltung entscheidend von den Boden- und Oberflächenverhältnissen bestimmt [68]. Das gilt beispielsweise für den Tunnel- und Kavernenbau, aber in vielen Fällen generell auch für den Ingenieurbau. Hier wird je nach der örtlichen Situation der Baukörper in offener oder beim Tunnel- und Kavernenbau auch in geschlossener (bergmännischer) Bauweise erstellt. Bei der offenen Bauweise ist wiederum zwischen der Berliner Bauweise ohne seitlichen Arbeitsraum und der Hamburger Bauweise mit Arbeitsraum zu unterscheiden. In beiden Fällen liegt – von Konstruktionen aus wasserundurchlässigem Beton abgesehen – die Abdichtung außen auf den für Wasser- und Erd- druck sowie alle weiteren Lasten berechneten Bauteilen. Für die geschlossene Bauweise seien von den zahlreichen Möglichkeiten beispielhaft nur folgenden genannt:

- Der Schildvortrieb mit fugendurchsetztem Tübbingausbau (Bild 2; zur Abdichtung s. Abschnitt 6.3), in Sonderfällen auch mit einer zusätzlichen, in Blöcken aufgegliederten Ortbetoninnenschale,

- die Spritzbetonbauweise mit geschlossener äußerer Spritz- und nachgezogener innerer Ortbetonschale,
- das Vorpressen von Betonfertigteilen (Bild 3; zur Abdichtung s. Abschnitt 6.3) und
- die Stollenbauweise mit abschnittsweise hergestellter massiver Ortbetonauskleidung.

Auf die vorgenannten, völlig unterschiedlichen Bauweisen muss naturgemäß die Abdichtung hinsichtlich des Systems und der zugehörigen Stoffe abgestimmt werden. Bei in offener Bauweise erstellten Tunneln gelangen meist Außenabdichtungen oder Konstruktionen aus Beton mit geringer Wassereindringtiefe und rissebegrenzender Zusatzbewehrung (= wasserundurchlässige Betonkonstruktionen – WUB-KO) zur Anwendung. Dagegen wirken sich bei Tunneln der geschlossenen Bauweise die örtlich vorliegenden Bedingungen außerdem auf die Anordnung der Abdichtung innerhalb der Konstruktion aus und führen dementsprechend zu einer Außen-, Zwischen- oder Innenabdichtung.

Ähnlich verhält es sich mit Bauwerken, die nicht in den Bereich des Tunnelbaus fallen. Je nach Art der Baugrube kann auch hier die Abdichtung nach dem Prinzip der Berliner oder der Hamburger Bauweise als Außenabdichtung eingebaut werden. Die Baugrubensicherung mit starren, endgültig im Boden verbleibenden Schlitz-, Bohrpfahl- oder Spundwänden erfordert für Hautabdichtungen bei fehlendem Arbeitsraum die Anordnung einer flächenhaften Sollbruchfuge, um bei unterschiedlichen Setzungen zwischen Baugrubenwand und Baukörper die Abdichtung nicht zu beschädigen. Die genannten starren Wände schirmen den Erddruck ab. Das setzt für Wandabdichtungen mit nackten Bitumenbahnen zur Erzielung der nötigen Einpressung z. B. den Einbau von Metallriffelbändern voraus. Stattdessen kann aber auch eine Umstellung in der Stoffwahl der Abdichtung erfolgen. Abdichtungen mit Bitumendichtungs-, Bitumenschweiß- oder Kunststoffdichtungsbahnen erfordern nämlich im Gegensatz zu solchen aus nackten Bitumenbahnen nur eine Einbettung und keine Einpressung [66].

Von großer Bedeutung ist die Frage der Flächenpressung. Je nach Art der Gründung (Einzel-, Streifen- oder Plattenfundamente) können örtlich sehr hohe Druckspannungen auftreten. Extreme Belastungen fallen häufig bei der Überbauung in offener Bauweise erstellter Tunnel oder Tiefgaragen mit Hochhäusern an. Sie können die Stoffwahl entscheidend beeinflussen. Grundsätzlich sind bei der Planung des Abdichtungssystems hinsichtlich der zu erwartenden Druckbelastung nicht nur die Endzustände, sondern auch die Bauzustände zu berücksichtigen. Deutlich wird dies z. B. im Zusammenhang mit der Umsteifung bei der Berliner Bauweise nach Fertigstellung des Sohlbetons, beim Schild-



Bild 2. Fugendurchsetzter Tunnelausbau mit Stahlbetonkassettentübbings



Bild 3. Kanalbau mit Stahlbetonvorpressrohren

vortrieb in der Anfahrphase des Schildes oder in Verbindung mit der Caissonbauweise.

Die Wasserdurchlässigkeit des Bodens spielt ebenfalls eine große Rolle bei der Überlegung, ob die Abdichtung durch Bodenfeuchte, Sickerwasser oder drückendes Wasser beansprucht wird. Schließlich sind Form und Abstufung der Bodenkörnung von Bedeutung. Scharfkantiger, steiniger Boden darf in keinem Fall unmittelbar gegen Bitumenabdichtun-

gen einschließlich Bitumendickbeschichtungen, Bitumen-Schutzschichten oder Kunststoffdichtungsbahnen verfüllt werden. Derartiges Verfüllmaterial setzt vielmehr die Sicherung der Abdichtung durch feste mineralische Schutzschichten voraus.

Auch der Bauablauf, die Festlegung von Betonierabschnitten und die allgemeine Formgebung des Bauwerks stellen Faktoren dar, die Einzelheiten der Abdichtung oder die Anordnung von Fugen in Konstruktionen aus WU-Beton entscheidend beeinflussen können. Im Bereich von Arbeitsraumverfüllungen erfordern überkragende Bauteile in Sohlenflächen bei Hautabdichtungen die Anordnung von Tellerankern, um bei Bodensackungen ein Ablösen der Sauberkeitsschicht bzw. des Unterbetons und damit ein Aufreißen der Abdichtung zu verhindern. Einseitig geneigte Sohlen- und Deckenflächen sollten zur Aufnahme der Horizontalkräfte mit statisch bemessenen Nocken ausgebildet werden. Breite Baugruben mit Queraussteifung erfordern u.U. Mittelträger oder für die Wasserhaltung ggf. Durchdringungen der Sohlen- und Deckenabdichtungen z. B. mit Brunnentöpfen.

Die vorstehenden Ausführungen lassen die Vielfalt der Wechselwirkung zwischen Boden, Bauwerk und Bauweise erkennen. Allgemein sind die Verhältnisse aber bei jedem Bauwerk anders gelagert. Es kommt daher im Wesentlichen auf das Wissen um die grundlegenden, hier aufgezeigten Abhängigkeiten an.

2.2 Einfluss des Wassers

Maßgeblich wird eine Abdichtung von der Art und Beschaffenheit des im Boden befindlichen Wassers und der daraus zu erwartenden Beanspruchung beeinflusst. Wie der Boden muss auch das anfallende Wasser hinsichtlich seiner chemischen Zusammensetzung überprüft werden. Das Analysenergebnis kann sich entscheidend auf die Stoffwahl auswirken. Dabei ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen Bauwerken, die ganz oder teilweise in das Grundwasser eintauchen, und solchen, die oberhalb des Grundwasserspiegels errichtet werden. Für diese beiden Fälle bestehen wesentliche Unterschiede hinsichtlich der Beanspruchungsintensität des Wassers. Oberhalb des Grundwassers können Bodenfeuchte oder Sickerwasser (nichtdrückendes Wasser) auftreten. Beide Wasserformen üben keinen hydrostatischen Druck auf Abdichtung und Bauwerk aus. In bergigen Regionen ist je nach den geologischen Verhältnissen mit Stau-, Kluft- oder Hangwasser zu rechnen, das wie Grundwasser zu mindestens zeitweise einen Wasserdruck aufbaut. Hier ist eine ausreichend bemessene, dauerhaft funktionsfähige Dränung vorzusehen oder eine Abdichtung auszuführen, die zumindest einen vorübergehenden Wasserdruck aufnehmen kann. In Zweifelsfällen empfiehlt sich immer der Einbau einer wasserdruckhaltenden Abdichtung (Bild 4).

Bei Einsatz von Hautabdichtungen müssen diese bei allen unterirdischen Bauteilen zumindest gegen

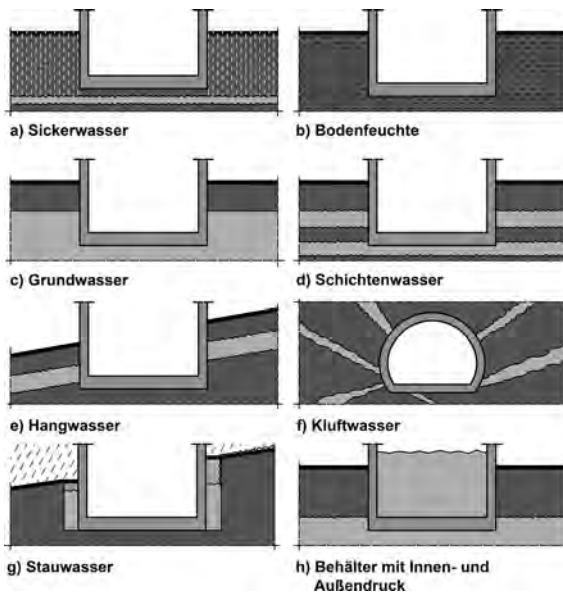


Bild 4. Verschiedene Arten von nicht-drückendem (a und b) bzw. von außen (c bis g) und von innen (h) drückendem Wasser

Bodenfeuchte (DIN 18533-1) [12] ausgelegt sein. Sie müssen die Poren und eventuell vorhandene Risse in den Bauteilen schließen bzw. die Kapillarität unterbrechen, um das Eindringen bzw. Aufsteigen von Feuchtigkeit zu verhindern. Das geschieht in waagerechten Bodenflächen und an Wänden im Allgemeinen mit einlagig aufgetragenen Bitumen- oder Kunststoffdichtungsbahnen, an den Wänden auch mit kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen oder mineralischen Dichtungsschlämmen. Nicht alle diese Abdichtungen vermögen Schwindrisse mit einer üblichen Breite von 0,2 bis 0,5 mm zu überbrücken. Daher ist nach VOB DIN 18336 [11] auch für den Bereich der Bodenfeuchte eine Abdichtung aus Bitumenbahnen auszuführen. Sind größere Rissbreiten nicht auszuschließen, muss auf einen dafür geeigneten z. B. auch mehrlagigen Aufbau zurückgegriffen werden.

Abdichtungen gegen Sickerwasser bzw. nichtdrückendes Wasser nach DIN 18533-1 [12] für Außenwände bzw. für Deckenflächen müssen drucklos fließendes Wasser ableiten. Sie setzen in Deckenflächen ausreichendes Gefälle und im Wandbereich ein dauerhaft zuverlässiges Fortleiten des Wassers, nötigenfalls durch Drainung voraus. Die Norm unterscheidet im Teil 1 zwischen mäßiger und hoher Beanspruchung. Je nach Einstufung sind der Aufbau der Abdichtung und die Anzahl der Lagen unterschiedlich. Auch bei Konstruktionen aus WU-Beton ist der Einfluss des Wassers bezüglich der Auslegung von Flächen und besonders der Fugen zu beachten. Einzelheiten zur Fugenabdichtung sind in DIN 18197 [8] geregelt. Hinweise zu anderen Abdichtungsmaterialien enthält [66].

Abdichtungen gegen von außen bzw. von innen drückendes Wasser (DIN 18533-1 [12] bzw. DIN 18535-1 [13]) müssen unter Einwirkung des Was-

serdrucks dauerhaft dicht und beständig sein. Bitumenabdichtungen werden in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe und der Stoffwahl mindestens zwei-, höchstens fünfziglagig ausgebildet. Der zweilagige Aufbau setzt die Verwendung mechanisch besonders widerstandsfähiger Bitumendichtungs- oder Bitumenschweißbahnen und eine Eintauchtiefe von weniger als 9 m voraus.

Besonders zu beachten ist die Beanspruchung durch zeitweise aufstauendes Sickerwasser bei fehlender Drainung und wenig durchlässigen Böden. Für diesen Lastfall regelte DIN 18195 in der Ausgabe 2000 [6] erstmalig, und zwar in Teil 6, Abschnitt 9 die technischen Einzelheiten. Im Einzelnen werden neben Abdichtungen aus Bitumen- und Kunststoffdichtungsbahnen auch kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen zugelassen.

Auch Abdichtungen aus lose verlegten Kunststoffdichtungsbahnen gegen von außen drückendes Wasser sind in DIN 18533-2 bis 4 m Eintauchtiefe zugelassen. Tunnelabdichtungen mit Kunststoffdichtungsbahnen sind in [38, 41] gesondert geregelt und im Allgemeinen bei Straßentunneln für Wasserdrücke bis 25 m und bei Bahntunneln bis 30 m Wassersäule, in Sonderfällen auch höher, zugelassen. Konstruktionen aus wasserundurchlässigem Beton lassen sich nach den derzeit gültigen Regelwerken (Stand 2018) ebenfalls bis zu einer Eintauchtiefe von 25 m bzw. 30 m einsetzen [38, 41].

2.3 Einfluss der Nutzung

Die Art der Bauwerksnutzung wirkt sich in verschiedenster Hinsicht ebenfalls auf die Gestaltung der Abdichtung aus. So erfordern beispielsweise Räume, die für den häufigen oder längerfristigen Aufenthalt von Personen bestimmt sind (Tiefge-

Anforderungsgrad	Bauwerksnutzung	Gefährdung bei Undichtigkeiten
<p>höher</p>  <p>niedriger</p>	längerer Personenaufenthalt	chronische Erkrankungen
	feuchtigkeitsempfindliche Ausrüstung, Lagerung hochwertiger Güter	Korrosion Verrottung
	frostgefährdete Abschnitte (bei Tunneln: Portalzonen)	Eiszapfenbildung Glatteis
	frostfreie Abschnitte (Tunnel), Tiefgarage, Gebäudekeller	Schädigung der Tragwerkstrukturen
	Versorgungsleitungen	Korrosion der Leitungen
	Entsorgungsleitungen	Umweltschäden im Boden Überbelastung der Kläranlage

Bild 5. Einstufung der Bauwerksabdichtung in Abhängigkeit von der Bauwerksnutzung

schosse von Einkaufszentren, Haltestellen von unterirdischen Bahnanlagen) einen deutlich höheren abdichtungstechnischen Aufwand als solche mit geringeren nutzungsbedingten Anforderungen wie Tiefgaragen (Bild 5). Für die Ver- und Entsorgung der Bauwerksanlagen sind besondere Maßnahmen zu treffen. Kabel, Rohrleitungen, Durchgänge und andere Öffnungen bedingen eine Unterbrechung der Abdichtungshaut und deren geeigneten Anschluss. Wenn die damit verbundenen Fragen der Anflanschung und Verwahrung nicht bis ins Detail für das gewählte Abdichtungssystem lösbar sind, muss eine entsprechende Umstellung in der Stoffwahl erfolgen. In dieser Hinsicht sind vor allem für außerhalb der Normung neu eingeführte Stoffe und Systeme sorgfältige Überlegungen und gegebenenfalls auch Versuchsreihen erforderlich.

Besondere Maßnahmen können mit längerfristig auftretenden, höheren Temperaturen in der Abdichtungsebene verbunden sein. Fernwärmekanal, Abgasschächte und unterirdische Industrieanlagen erfordern deswegen besondere Beachtung. Die Stoffe müssen auf die erhöhte Beanspruchung abgestimmt sein, wobei eine ausreichende Sicherheit vorzugeben ist. Bei bitumenverklebten Abdichtungen wird dies z. B. dadurch gewährleistet, dass die Temperatur an der Abdichtung mindestens 30 K unter dem Erweichungspunkt Ring und Kugel der eingesetzten Bitumenklebe- und Deckaufstrichmassen bleiben muss. Je nach Anwendungsfall ist ein entsprechend steifes Bitumen zu wählen. Bei Kunststoffdichtungsbahnen sind die auf den Werkstoff abgestimmten Angaben der Hersteller zu beachten.

3 Begriffe

Die im Zusammenhang mit der Abdichtung bei unterirdischen Bauwerken relevanten Begriffe werden nachfolgend erläutert. Hierbei werden zur Vermeidung von Verwechslungen, soweit verfügbar die Erläuterungen aus den einschlägigen DIN-Normen und Regelwerken [5–8, 14, 46] sowie aus der Fachliteratur (z. B. [76]) verwendet. Im Einzelnen sind dies die folgenden Begriffe:

Abdichtungslage: Flächengebilde aus Abdichtungsstoffen. Eine oder mehrere vollflächig untereinander verklebte oder im Verbund hergestellte Abdichtungslagen bilden die Abdichtung [7].

Abdichtungsrücklage: Festes Bauteil, auf das eine Abdichtung für senkrechte oder stark geneigte Flächen aufgebracht wird, wenn die Abdichtung zeitlich vor dem zu schützenden Bauwerksteil hergestellt wird [7].

Abdichtungsuntergrund oder auch Abdichtungsträger: Fläche, auf die die Abdichtung unmittelbar aufgebracht wird [6].

Abdichtungsabschluss: Das gesicherte Ende oder der gesicherte Rand einer Bauwerksabdichtung [7].

Abdichtungsanschluss: Die Verbindung von Teilbereichen einer Abdichtungslage oder mehrerer Abdichtungslagen miteinander, die zu verschiedenen Zeitabschnitten hergestellt werden, z. B. bei Arbeitsunterbrechungen [7].

Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP): Ein abP ist erforderlich für unregelmäßige Bauprodukte. Es wird durch eine vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt, Berlin) anerkannte Prüfstelle wie z. B. eine Materialprüfanstalt (MPA) erstellt. In dem abP sind das jeweilige System, die Prüfung sowie der Einsatzbereich des Bauprodukts beschrieben. Eine Zusammenstellung der gültigen abP für Fugenabdichtungen findet sich unter www.abp-fugenabdichtungen.de.

Ankerrippe: Profilierung des Fugenbands im Dichtteil zur Verlängerung des Wasserumlaufwegs beim Labyrinthprinzip.

Arbeitsfuge: Fuge mit durchgehender Bewehrung, die aus Gründen des Arbeitsablaufs oder als konstruktive Maßnahme planmäßig in einem Bauteil oder Bauwerk angeordnet wird [8].

Arbeitsfugenblech: Stahlblech, das zur Abdichtung einer Arbeitsfuge verwendet wird. Die Abdichtung erfolgt hierbei durch den Haftverbund zwischen dem – in Sonderfällen auch speziell beschichteten – Stahlblech und dem umgebenden Beton.

Außenliegendes Fugenband: Fugenband aus elastomerem oder thermoplastischem Material, das nur betonseitig eine Profilierung aufweist. Das außenliegende Fugenband wird im Allgemeinen auf der wasserseitigen Oberfläche des Bauwerks oder des Bauteils angeordnet.

Baustellenstoß: Auf der Baustelle ausgeführte, ausschließlich rechtwinklig zur Fugenbandachse verlaufende, stumpf gestoßene Verbindung (Fügung) gleicher Fugenbandprofile in einer Ebene [8].

Befestigungselement: Zur temporären Befestigung der geotextilen Schutzlage und/oder der Kunststoffdichtungsbahn auf dem Abdichtungsträger erforderliches Montagehilfsmittel.

Bemessungswasserstand in Meter Wassersäule [mWS]:

- (1) Bei stark oder sehr stark durchlässigem Boden ($k > 10^{-4}$ m/s):
Höchster innerhalb der planmäßigen Nutzungsdauer zu erwartender Grund-, Schichten-, Stau- oder Hochwasserstand unter Berücksichtigung langjähriger Beobachtungen und zu erwartender zukünftiger Gegebenheiten [8].

- (2) Bei weniger durchlässigem Boden ($k \leq 10^{-4}$ m/s):
Der in der Höhe der Geländeoberfläche angenommene Wasserstand bzw. der höchste, nach Möglichkeit aus langjähriger Beobachtung ermittelte Hochwasserstand [8].
- (3) Bei Behältern, Becken und vergleichbaren Bauwerken:
Höchster anzunehmender Flüssigkeitsstand.

Bergmännische Bauweise: Geschlossene Bauweise, bei der der Tunnel weitgehend horizontal von einem Startschacht zu einem Zielschacht ohne Nutzung einer sonstigen offenen Baugrube unterirdisch aufgeföhren wird. Zu den geschlossenen Bauweisen zählen z. B. der Vortrieb mit einer Tunnelvortriebsmaschine oder die Spritzbetonbauweise.

Betonnut: Umlaufende Aussparung im Tübbing, in die das Dichtungsprofil eingeklebt bzw. verankert wird [76].

Bewegungsfuge/Dehnfuge: Zwischenraum mit definierter Fugenweite über die Bauteildicke zwischen zwei Bauwerken oder Bauteilen, der unterschiedliche Bewegungen ermöglicht. Im Gegensatz zur Arbeitsfuge ist die Bewehrung in einer Bewegungsfuge unterbrochen, sodass für das Fugenband Dehnungen bzw. Stauchungen sowie Scherverformungen in Fugenbandlängs- als auch -querrichtung möglich sind.

Caissonbauweise: Bauweise, bei der ein unten offener Stahlbetonbehälter (sogenannter Senkkasten bzw. französisch: Caisson) an der Geländeoberfläche hergestellt und später abgesenkt wird. Hierzu ist der Senkkasten an seiner Unterseite mit einer umlaufenden Schneide versehen und als Arbeitsraum ausgebildet. Durch Überdruck der Luft in diesem Arbeitsraum wird verhindert, dass im Boden gegebenenfalls anstehendes Wasser in den Arbeitsraum eindringt. Der an der Unterseite des Arbeitsraumes angetroffene Baugrund wird nach und nach entfernt, sodass sich der Senkkasten infolge Eigengewicht schrittweise absenkt. Im Tunnelbau werden mehrere derartige Senkkästen aneinandergereiht abgesenkt und wasserdicht miteinander verbunden. Die anfangs quer verlaufenden Wände werden nachfolgend entfernt, um einen durchgängigen Tunnel zu erzielen.

Dehnteil: Mittlerer Bereich eines Fugenbands, der die Verformungen aus Bauteilbewegungen aufnimmt [8]. Er besteht aus Mittelschlauch oder Mittelschlaufe und seitlich anschließenden, unprofilierten Bandbereichen und grenzt sich bei innenliegenden Fugenbändern durch die Ankerrippen, bei außenliegenden und Fugenabschlussbändern durch die dem Dehnteil nächstgelegenen Sperranker ab.

Dichtrippe: Profilierung des Fugenbands im Dichtteil zur Verlängerung des Wasserumlaufwegs beim Labyrinthprinzip.

Dichtteil: Äußere, jeweils beidseitig an den Dehnteil anschließende Bereiche eines Fugenbands [8], die mit Dichtrippeln und / oder Randverstärkungen bzw. Sperrankern versehen sind. Er kann durch eine am Rand eingebundene Stahllasche ergänzt werden und bleibt bei Bauteilbewegungen im Wesentlichen unverformt. Er dient der formschlüssigen Einbindung in den Beton.

Dichtungsrahmen: Im Herstellwerk für die verschiedenformatigen Tübbings innerhalb eines Tübbingrings genau vorgefertigte Rahmen aus den auf Länge geschnittenen Dichtungsprofilabschnitten und anvulkanisierten Rahmenecken.

Drückendes Wasser: Stehendes oder fließendes Wasser, das auf eingetauchte oder angrenzende feste Körper einen hydrostatischen Druck ausübt [7].

Druckwasserhaltende Abdichtung: Abdichtung gegen drückendes Wasser in allen Bereichen eines Bauwerks oder Bauteils unterhalb des Bemessungswasserstands.

Durchdringung: Ein Bauteil, das die Bauwerksabdichtung durchdringt, z. B. Rohrleitung, Geländerstütze, Ablauf, Brunnentopf, Telleranker [7].

Elastomer: Elastomere sind polymere Werkstoffe, die sich im Gebrauchstemperaturbereich gummielastisch verhalten [5].

Elastomer-Fugenband: Band aus Kautschuk, der mit Füllstoffen, Verarbeitungshilfsmitteln gemischt und anschließend zum Elastomer vulkanisiert wird [5].

Firstbereich: Scheitelbereich eines unterirdischen röhrenartigen Bauwerks.

Fugenweite: Abstand zwischen den Flanken einer Bewegungsfuge/Dehnfuge.

Fugenband: Abdichtungselement mit ein- oder beidseitig angeordneten, durchlaufenden Sperrankern, die im Bereich der Arbeits- und Dehnfugen in den Beton einbetoniert werden.

Geschlossene Bauweise: Vergleiche Bergmännische Bauweise.

Hohlkanal: Um eine Kompression der Dichtungsprofile zwischen den Tübbings, z. B. bei der Montage, zu ermöglichen, sind die Dichtungsprofile in der Regel mit mehreren längs laufenden Hohlkanälen und Rillennuten versehen. Der massive Querschnitt des Dichtungsprofils muss kleiner als der minimal verbleibende freie Nutquerschnitt sein. Bei einem in Bezug auf den freien Nutquerschnitt zu geringen Hohlkanalvolumen besteht die Gefahr, dass bei einer Kompression des Dichtungsprofils

die Rückstellkräfte so stark ansteigen, dass es zu Abplatzungen des Betons kommt [76].

Injektionsschlauch: siehe *Verpressschlauch*

Innenliegendes Fugenband: Fugenband aus elastomerem oder thermoplastischem Material, das auf beiden Fugenbandseiten Profilierungen aufweist. Das innenliegende Fugenband wird im Allgemeinen in der Querschnittsmitte des Bauteils angeordnet.

Kunststoffdichtungsbahn (KDB): Kunststoffdichtungsbahnen sind Flächengebilde aus einem thermoplastischen oder elastomeren Werkstoff oder aus Mischpolymerisaten dieser Werkstoffe mit einer Mindestdicke von 1 mm. Im Sinne der EAG-EDT (Empfehlungen des Arbeitskreises AK 5.1 „Kunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau“ zu Dichtungssystemen im Tunnelbau) gelangen im Tunnelbau ausschließlich thermoplastische Dichtungsbahnen ohne vernetzte Polymere in Materialdicken von 2 bis 4 mm zum Einsatz. Sie stellen das wesentliche Abdichtungselement bei Abdichtungen mit Kunststoffdichtungsbahnen dar [46].

Los- und Festflanschkonstruktion: Eine im Regelfall aus Stahl bestehende zweiteilige Konstruktion zum Einklemmen einer Abdichtung, um durch Anpressen eine wasserdichte Verbindung herzustellen [7].

Maschinellem Vortrieb: Herstellung eines Tunnels mithilfe einer Tunnelvortriebsmaschine (TVM).

Mittelschlauchummantelung: Schutz des Dehnschlauchs eines innenliegenden Fugenbands bei großen Fugenbewegungen oder bei Pressfugen. Sie wird bereits bei der Herstellung des Fugenbands als Hohlkammer angeformt.

Nichtdrückendes Wasser: Wasser in tropfbar flüssiger Form, das auf natürlichem Wege oder durch bauliche Einrichtungen ständig fortgeleitet wird, sodass es nicht aufstauen und daher auf angrenzende feste Körper keinen hydrostatischen Druck ausüben kann [8].

Nutgrundabstand: Abstand der beiden gegenüberliegenden Nutgründe in der Fuge zwischen zwei benachbarten Tübbings. In Abhängigkeit vom Nutgrundabstand kann die Kompression des Dichtungsprofils eindeutig angegeben werden [76].

Offene Bauweise: Herstellung eines unterirdischen Bauwerks in einer offenen Baugrube (Vergleiche auch bergmännische bzw. geschlossene Bauweise).

Pressfuge: Eben oder verzahnt ausgebildete Fuge, in der zwei Bauteile ohne Zwischenraum gegeneinander ohne monolithische Verbindung und ohne durchgehende Bewehrung betoniert werden [8]; bezogen auf das Fugenband sind Zug in x-Richtung sowie Scheren in y- und z-Richtung möglich.

Quellprofil: Abdichtungselement im Bereich einer Arbeitsfuge, das bei Zutritt von Wasser aufquillt und so die Arbeitsfuge abdichtet. Bei späterer Austrocknung schrumpft das Profil wieder.

Regenschirmabdichtung: Tunnelabdichtung im Bereich des aufgehenden Gewölbes, die wie ein Regenschirm das Bauwerk gegen drucklos zufließendes Bergwasser abdichtet [46].

Rondelle: Halteteller zur Befestigung des Schutzvlieses an der Tunnelwandung; dient zugleich der punktwisen Fixierung der Kunststoffdichtungsbahn mittels Heißluftschweißung. Die Rondelle besitzt im Allgemeinen eine Sollbruchstelle, um eine örtliche Überlastung der Kunststoffdichtungsbahn und somit deren Beschädigung zu vermeiden.

Rundumabdichtung: Abdichtung, die das gesamte Bauwerk wasserdicht umschließt [46].

Scheinfuge: Fuge mit durchlaufender Bewehrung, in der durch Einbauteile der Querschnitt gezielt geschwächt wird, damit sich eventuell entstehende Risse auf diesen Bereich konzentrieren (Sollbruchstelle).

Schweißung: Fügeverfahren zum Verbinden von thermoplastischen Fugenbändern. Das Fugenbandmaterial wird im Fugebereich mithilfe eines Schweißschwerts angeschmolzen und anschließend nach Entfernen des Schweißschwerts zusammengepresst, sodass sich die beiden Fugenbandenden miteinander verbinden.

Signalschicht: Hellfarbene, tunnelseitig angeordnete, dünne Beschichtung der Kunststoffdichtungsbahn, die bei ihrer mechanischen Beschädigung z. B. beim Einbau der Bewehrung die dunklere Schicht der Kunststoffdichtungsbahn erkennen lässt.

Sperranker: Angeformte, längsdurchlaufende Profilierung an den Fugenbandschenkeln zur Verankerung im Beton und zur Verlängerung des Wasserwegs entlang der Fugenbandschenkel.

Stahllasche: Bei innenliegenden Elastomer-Fugenbändern nach DIN 7865-1 [5] in den seitlichen Fugenbandschenkeln einvulkanisierte Stahlbleche. Die Abdichtung erfolgt durch Haftverbund zwischen Stahllasche und umgebendem Beton.

Thermoplast: Kunststoff, der sich in einem bestimmten Temperaturbereich z. B. zum Fügen verformen lässt. Bei Einhaltung der stoffspezifischen Schweißtemperaturen ist diese Verformung beliebig oft wiederholbar.

Thermoplastisches Fugenband: Fugenband aus thermoplastischem Kunststoff nach DIN 18541-1 und -2 [14].

Tübbing: Betonfertigteil für den Ausbau eines in geschlossener Bauweise erstellten Tunnels. Die Ab-

dichtung der Tübbingfugen erfolgt mittels eingeklebter oder im Beton verankerter Tübbingdichtungsrahmen aus Elastomer-Material.

Verpressschlauch: Technisches Hilfsmittel zum Transport des eigentlichen Abdichtungsprodukts (z. B. Verpressharz oder Feinstzementsuspension) in den abzudichtenden oder zu verfüllenden Bereich wie z. B. Arbeitsfugen. Für die Verpressung ist der Verpressschlauch mit speziellen Öffnungen ausgestattet, die sich erst ab einem bestimmten Innendruck (Verpressdruck) öffnen, sodass das Verpressmaterial austreten kann. Beim Betonieren selbst müssen diese Öffnungen geschlossen sein, damit keine Betonschlämme in den Verpressschlauch eindringt.

Verwahrung: Die Sicherung der Ränder von Abdichtungen gegen Abgleiten und das Hinterlaufen von Wasser [7].

Vulkanisation: Verfahren zum Fügen von Elastomer-Fugenbändern, bei dem unter Zugabe von zusätzlichem Material, Wärme und Druck eine Verbindung hergestellt wird.

Wasserprüfdruck: Der Wasserprüfdruck wird in den Versuchen zum Nachweis für die Eignung des ausgewählten Dichtungsprofils gegenüber dem Bemessungswasserdruck um den Faktor 2,0 erhöht. Diese Erhöhung berücksichtigt die Abnahme der Profilrückstellkraft mit der Zeit (Relaxation). Ein

zusätzlicher Sicherheitsfaktor ist gegebenenfalls festzulegen [76].

Werksstoß: Alle nicht zur Ausführung als Baustellenstoß vorgesehenen Fugenbandfugungen [8].

4 Auswahlkriterien und Anwendungsgrenzen der verschiedenen Abdichtungssysteme

4.1 Allgemeines

Hinsichtlich der Stoffwahl bieten die verschiedenen einschlägigen Normen, Regelwerke und Merkblätter (vgl. Abschnitt 9) zahlreiche Möglichkeiten, die Abdichtung eines Bauwerks im Sinne von Abschnitt 2 auf die jeweiligen örtlichen Randbedingungen und auf die nutzungsbedingte Aufgabenstellung des Bauwerks anzupassen. Berücksichtigt wird dabei die beachtliche Weiterentwicklung der letzten Jahrzehnte gerade auch auf dem Gebiet der Abdichtungsstoffe und Abdichtungssysteme.

Grundsätzlich lassen sich die Abdichtungssysteme je nach ihren mechanisch-physikalischen Eigenschaften unterscheiden. Eine entsprechende Übersicht vermittelt Bild 6. Dort sind Weichabdichtungen, Hartabdichtungen und wasserundurchlässige, statisch tragende Konstruktionen aufgeführt. Alle drei Abdichtungsarten können sowohl zum Schutz gegen Bodenfeuchte als auch gegen nicht drücken-

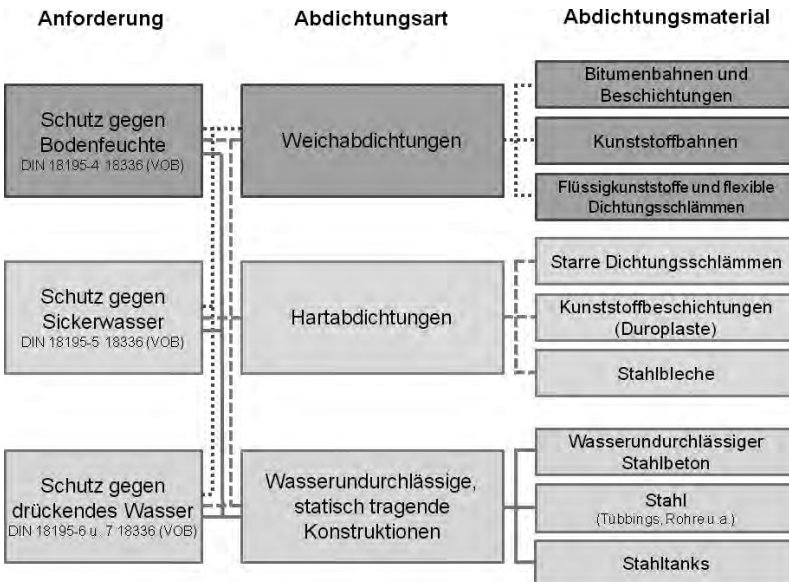


Bild 6. Prinzipielle Unterscheidung der Abdichtungsarten und Abdichtungsmaterialien