

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (BUmwS)

Ausgabe März 2011

Ersatz für Ausgabe Oktober 2004; bisherige Vertriebsnummer 65037

Teil 1: Grundlagen, Bemessung und Konstruktion unbeschichteter Betonbauten

Teil 2: Baustoffe und Einwirken von wassergefährdenden Stoffen

Teil 3: Instandsetzung

Anhang A: Prüfverfahren (normativ)

Anhang B: Erläuterungen (informativ)

Die Verpflichtungen aus der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 204 vom 21.7.1998, S. 37), die zuletzt durch die Richtlinie 2006/96/EG (ABl. L 363 vom 20.12.2006, S. 81) geändert worden ist, sind beachtet worden.

Bezüglich der in dieser Richtlinie genannten Normen, anderen Unterlagen und technischen Anforderungen, die sich auf Produkte oder Prüfverfahren beziehen, gilt, dass auch Produkte bzw. Prüfverfahren angewandt werden dürfen, die Normen oder sonstigen Bestimmungen und/oder technischen Vorschriften anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder der Türkei oder einem EFTA-Staat, der Vertragspartei des EWR-Abkommens ist, entsprechen, sofern das geforderte Schutzniveau in Bezug auf Sicherheit, Gesundheit und Gebrauchstauglichkeit gleichermaßen dauerhaft erreicht wird.

Herausgeber:

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. – DAfStb

Budapester Straße 31

D-10787 Berlin

Telefon: 030 2693-1320

info@dafstb.de

Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) beansprucht alle Rechte, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen. Ohne ausdrückliche Genehmigung des DAfStb ist es nicht gestattet, diese Veröffentlichung oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege oder auf andere Art zu vervielfältigen.

Änderungen gegenüber der Ausgabe Oktober 2004

Die Neufassung des Wasserhaushaltsgesetzes sowie die geplante neue Bundes-Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAUwS) haben Änderungen mit sich gebracht, die den DAfStb neben erforderliche Anpassungen an den Eurocode 2 veranlasst haben, die Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ aus dem Jahr 2004 erneut zu überarbeiten. Die wesentlichen Änderungen in der Neuausgabe der DAfStb-Richtlinie lassen sich im Einzelnen wie folgt zusammenfassen:

Teil 1: Grundlagen, Bemessung und Konstruktion unbeschichteter Betonbauten

- Die Richtlinie wurde an die neuen Bemessungsnormen DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992 1-1/NA (Eurocode 2) angepasst.
- Die Angaben für die einmalige und die intermittierende Beaufschlagung wurden aus dem Arbeitsblatt DWA-A 786 übernommen.
- Beim vereinfachten Dichtheitsnachweis wurden erforderliche Bewehrungsgehalte für eine Betondeckung von 50 mm ergänzt.
- Bitumenschweißbahnen als Gleitschichten wurden aufgenommen.
- Die Angaben in Bauregelliste A, Teil 1, Anlage 15.18, zur Ausführung von Fugenblechen für die Abdichtung von Arbeits- und Bewegungsfugen in Ortbetondichtkonstruktionen wurden in Abschnitt 7.3.3 der Richtlinie übernommen und dabei einige Konstruktionsdetails angepasst.

Teil 2: Baustoffe und Einwirkung von Flüssigkeiten

- Die Liste der verwendbaren Zementarten wurde angepasst.
- Bei FDE-Beton wurde die Anforderung an die Mindestdruckfestigkeitsklasse gestrichen.

Teil 3: Instandsetzung

- Der Abschnitt 10 „Ertüchtigungsmaßnahmen“ wurde gestrichen.

Anhang A: Prüfverfahren

- Eine detaillierte Verfahrensbeschreibung zur Anwendung der Thermografie für die Bestimmung der Eindringtiefen wassergefährdender Stoffe (insbesondere für n-Hexan und Di-Chlormethan) wurde aufgenommen.

Weiterhin erfolgte eine vollständige redaktionelle Überarbeitung der Richtlinie.

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Betonbau beim Umgang
mit wassergefährdenden Stoffen (BUmwS)

Teil 1: Grundlagen, Bemessung und Konstruktion unbeschichteter
Betonbauten

Teil 1: Grundlagen, Bemessung und Konstruktion unbeschichteter Betonbauten

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorbemerkung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Begriffe	6
3 Sicherheitsbeiwerte	8
4 Einwirkungen und Beanspruchungen für den Dichtheitsnachweis	8
4.1 Physikalische Einwirkungen	8
4.2 Chemische Einwirkungen	10
4.3 Mechanische Einwirkungen infolge Last und Zwang	10
4.3.1 Allgemeines	10
4.3.2 Einwirkungen aus Last	10
4.3.3 Einwirkungen aus eingepprägten Verzerrungszuständen	10
4.3.3.1 Abfließende Hydratationswärme	10
4.3.3.2 Temperatureinwirkungen aus Witterungseinflüssen	10
4.3.3.3 Temperaturen aus aufgestellten Behältern oder Abwasserableitung	12
4.3.3.4 Temperatureinwirkungen aus dem Beaufschlagungsfall	12
4.3.3.5 Schwinden und Kriechen	12
4.3.3.6 Bauwerk-Baugrund-Wechselwirkung	13
4.3.4 Einwirkungen aus Verformungsbehinderung	13
4.4 Kombination von Einwirkungen für den Dichtheitsnachweis	13
5 Nachweise	14
5.1 Nachweise der Dichtheit	14
5.1.1 Allgemeines	14
5.1.2 Vereinfachter Nachweis	14
5.1.3 Nachweis in ungerissenen Bereichen	15
5.1.4 Nachweis der Mindestdruckzonendicke	16
5.1.5 Nachweis von Trennrissen	17
5.1.6 Nichttragende FDE-Dichtschichten	18
5.1.7 Nachweis der Dichtheit im Bereich von Bewegungsfugen und Übergängen zu anderen Dichtkonstruktionen	18
5.2 Nachweis der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit	18
6 Mindestbewehrung	18
7 Konstruktion und Bauausführung	19
7.1 Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze	19
7.2 Bauteile von Anlagen	20
7.3 Konstruktive Durchbildung	20
7.3.1 Bewehrung	20
7.3.2 Befestigungen, Verankerungen und Einbauteile	20
7.3.3 Fugen	21
7.3.4 Durchdringungen	23
7.3.5 Gleitschichten	23
7.4 Hinweise für die Bauausführung	24
7.4.1 Allgemeines	24
7.4.2 Schalung und Schalungsanker	24
7.4.3 Abstandhalter zur Sicherung der Betondeckung	26
7.4.4 Bauablauf, Betonierabschnitte	26
7.4.5 Betoneinbau und -verdichtung	26
7.4.6 Nachbehandlung	26
7.4.7 Kontrollprüfungen	26
7.5 Bautechnische Unterlagen	26

	Seite
8 Überwachung und Konzept für den Beaufschlagungsfall.....	28
8.1 Planung	28
8.2 Bauausführung	28
8.3 Instandsetzung	28
8.4 Überwachung der baulichen Anlagen	28
8.4.1 Überwachung durch den Betreiber	28
8.4.2 Überwachung durch den Sachverständigen	29
8.4.3 Dokumentation	29
8.5 Konzept für den Beaufschlagungsfall	29
Normen, Richtlinien und andere Unterlagen	30

Vorbemerkung

- (1) Gemäß § 62 WHG (Wasserhaushaltsgesetz) müssen Anlagen zum Lagern, Abfüllen, Herstellen und Behandeln wassergefährdender Stoffe sowie Anlagen zum Verwenden wassergefährdender Stoffe so beschaffen sein und so errichtet, unterhalten und betrieben werden, dass eine nachteilige Veränderung der Eigenschaften von Gewässern nicht zu besorgen ist.
- (2) Die Betonbauten nach dieser Richtlinie müssen bei den zu erwartenden Einwirkungen für eine jeweils festgelegte Dauer dicht sein, so dass dem Besorgnisgrundsatz des WHG unter Berücksichtigung der infrastrukturellen Gegebenheiten Genüge getan wird. Vorschriften aus anderen Rechtsbereichen sind zusätzlich zu berücksichtigen, z. B. Verordnung über gefährliche Stoffe (GefStoffV), Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV).
- (3) Das Errichten ist das Aufstellen, Einbauen oder Einfügen von Anlagen und Anlagenteilen. Im Sinne dieser Richtlinie gehört die Planung dazu. Die Anwendung aller Richtlinienenteile setzt eine entsprechende Qualifikation und Sorgfalt der Tragwerksplaner, Ausführenden und Überwacher voraus. Soweit spezielle Anforderungen zu stellen sind, sind diese in den einzelnen Richtlinienenteilen formuliert.
- (4) Die deutsche Fassung von DIN EN 1992-1-1 „Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“ gilt stets in Verbindung mit dem Nationalen Anhang DIN EN 1992-1-1/NA „Nationaler Anhang/National festgelegte Parameter/Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“. Beide Normen werden in dieser Richtlinie abgekürzt mit EC 2-1-1 bezeichnet.
- (5) Hinsichtlich der üblichen Einwirkungen wird in dieser Richtlinie auf DIN EN 1990 und Normen der Reihe DIN EN 1991 Bezug genommen, die stets in Verbindung mit den zugehörigen nationalen Anhängen anzuwenden sind. Ergänzend sind in dieser Richtlinie spezifische Einwirkungen für Dichtkonstruktionen aus Beton festgelegt.
- (6) Hinsichtlich der Ausführung wird in dieser Richtlinie auf DIN 1045-3 Bezug genommen, die bis zur bauaufsichtlichen Einführung von DIN EN 13670 in Verbindung mit den nationalen Anwendungsregeln gilt.
- (7) Über die üblichen Nachweise zur Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nach EC 2-1-1 hinaus werden in dieser Richtlinie Nachweise zur Sicherstellung der Dichtheit geführt.
- (8) Für die Beurteilung von Maßnahmen unter Verwendung von Stahlfaserbeton sind die Bestimmungen der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ maßgebend.
- (9) Produkte und Systeme für die Herstellung und die Instandsetzung von Anlagen zum Herstellen, Behandeln und Verwenden (HBV-Anlagen) müssen gleiche technische Anforderungen an Systeme und Produkte wie Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen (LAU-Anlagen) erfüllen.
- (10) Für den Brandfall ist die DWA-A 779 zu beachten.
- (11) Bis zum Vorliegen der VAUwS ist die Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 31.03.2010 in Verbindung mit den Länderregelungen anzuwenden (Übergangsregelung).
- (12) Beton als Abdichtungsmittel für Auffangräume und Flächen von LAU-Anlagen gilt als geregeltes Bauprodukt gemäß Bauregelliste A, Teil 1, lfd.-Nr. 15.32, wenn die dort genannten technischen Regeln erfüllt sind. Als Übereinstimmungsnachweis gilt das Übereinstimmungszertifikat durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle (s. Verzeichnis der PÜZ-Stellen nach Landesbauordnungen).
- (13) Fugenbleche zur Abdichtung von Arbeits- und Bewegungsfugen in Ortbetondichtkonstruktionen für LAU-Anlagen gelten als geregelte Bauprodukte gemäß Bauregelliste A, Teil 1, lfd.-Nr. 15.37, wenn die dort genannten technischen Regeln erfüllt sind. Als Übereinstimmungsnachweis gilt die Übereinstimmungserklärung des Herstellers, dass sein Produkt den Bestimmungen dieser Richtlinie entspricht.

1 Anwendungsbereich

(1) Diese Richtlinie regelt in drei Teilen, welche baulichen Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit Betonbauten ohne Oberflächenabdichtung, in Anlagen zum Lagern (L), Abfüllen (A), Herstellen und Behandeln wassergefährdender Stoffe sowie Anlagen zum Verwenden wassergefährdender Stoffe (HBV) im Bereich der gewerblichen Wirtschaft und im Bereich öffentlicher Einrichtungen dem Besorgnisgrundsatz nach § 62 (1) Wasserhaushaltsgesetz genügen. Die Richtlinie gilt auch für den bestmöglichen Schutz beim Umschlagen (U) wassergefährdender Stoffe. Sofern in dieser Richtlinie nicht anders festgelegt, wird die Bemessung und Ausführung gemäß EC 2-1-1, DIN EN 206-1, sowie DIN 1045, Teile 2, 3 und 4 vorausgesetzt.

(2) Die Abschnitte 2 bis 8 von Teil 1 dieser Richtlinie gelten für die Bemessung und Konstruktion von Betonbauten ohne Oberflächenabdichtung für LAU-Anlagen und HBV-Anlagen.

2 Begriffe

Ableitflächen: Flächen mit Gefälle, über die das beaufschlagende Medium abgeleitet wird.

Beaufschlagung: Einwirken des Mediums auf die Konstruktion.

Beaufschlagungsdauer: Zeitdauer, während der das beaufschlagende Medium auf die Konstruktion einwirkt.

Beschichtungssysteme: Zur Aufbringung auf einen Betonuntergrund geeignete, fest haftende unterschiedliche funktionale Schichten in dauerhaft festem Schichtenverbund. Die Gesamtschichtdicke der Systeme ist größer 1 mm. Sie sind rissüberbrückend, dicht und beständig gegen die einwirkenden wassergefährdenden Stoffe.

Beständigkeit (im Sinne dieser Richtlinie): Aussage, dass die Dicht- und Tragfunktion durch chemischen Angriff beaufschlagender Medien während der Beaufschlagungsdauer nachweislich nicht verloren geht.

Betonbauten (nach dieser Richtlinie): Bauwerke oder Bauteile aus Beton, die nach dem Versagen von primären Anlagenteilen (z. B. Behältern, Rohrleitungen) oder Sicherheitssystemen als Rückhalteeinrichtungen die Einhaltung des Besorgnisgrundsatzes § 62 (1) WHG sicherstellen.

Dekontamination: Verringerung oder Beseitigung der in den Beton eingedrungenen, wassergefährdenden Stoffe.

Dichtflächen: Konstruktionsteile, die für die Dichtfunktion maßgebend sind. Die Dichtflächen können auch noch andere Aufgaben übernehmen (z. B. Tragwirkung, Verschleißwiderstand).

Dichtheit: Aussage, dass die Eindringfront des Mediums als Flüssigkeit während der Beaufschlagungsdauer mit einem Sicherheitsabstand nachweislich nicht die der Beaufschlagung abgewandte Seite des Betonbauteils erreicht.

ANMERKUNG Der Begriff „Dichtheit“ ist hier gleichbedeutend mit „Flüssigkeitsundurchlässigkeit“ nach Arbeitsblatt DWA-A 786 (TRwS 786 „Ausführung von Dichtflächen“) zu verstehen.

Dichtungsbahnen: Bahnen bzw. vorgefertigte Bauteile aus schweißbaren Kunststoffen sind dicht und beständig gegen die einwirkenden wassergefährdenden Stoffe. Die Dichtungsbahnen werden auf vorbereiteten Untergründen entweder lose verlegt, verklebt oder mit dem Untergrund mechanisch verankert.

Eindringtiefe: Tiefe der Eindringfront des beaufschlagenden Mediums als Flüssigkeit ab Betonoberfläche.

Einmalige Beaufschlagung: Beaufschlagung, für die die Dichtfläche bemessen ist.

Einwirkende Flüssigkeiten: Wassergefährdende Flüssigkeiten, die von der Rückhalteeinrichtung zurückgehalten werden sollen.

Fachbetrieb (im Sinne dieser Richtlinie): Betriebe, die die Anforderungen nach VAUwS erfüllen. Dabei muss der Fachbetrieb im Hinblick auf konstruktive und betontechnische Belange über besondere Sachkunde verfügen.

FD-Beton (flüssigkeitsdichter Beton): FD-Beton ist Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit optimiertem Widerstand gegen das Eindringen von wassergefährdenden Stoffen. Das Eindringverhalten ist Teil 2 dieser Richtlinie zu entnehmen.

FDE-Beton (flüssigkeitsdichter Beton nach Eindringprüfung): FDE-Beton ist Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, der in seiner Zusammensetzung von FD-Beton abweicht. Im Unterschied zu FD-Beton wird das Eindringverhalten wassergefährdender Stoffe stets in Eindringprüfungen im Rahmen der Erstprüfung als zusätzliche Anforderung nachgewiesen.

Fugenabdichtungen: Fugensperren, wie Fugenbänder, Fugenbleche oder Fugendichtstoffe.

Gleit- und Trennschichten: Gleitfolien, Bitumenschichten o. ä., die die Zwangbeanspruchungen infolge lastunabhängiger Formänderungen vermindern.

HBV-Anlagen: Anlagen zum Herstellen, Behandeln und Verwenden wassergefährdender Stoffe.

Intermittierende Beaufschlagung: Szenario zur Abdeckung mehrerer Beaufschlagungen, die planmäßig auftreten können.

Kontamination: Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in den Beton.

LAU-Anlagen: Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe.

Konzept für den Beaufschlagungsfall: Beschreibung von Maßnahmen, die während oder nach der Beaufschlagung des Bauwerks vorgesehen sind.

Nichttragende FDE-Dichtschichten (flüssigkeitsdichte nichttragende Dichtschicht nach Eindringprüfung): Nichttragende zementgebundene flüssigkeitsdichte Dichtschichten, die eine erhöhte Dehnfähigkeit aufweisen. Die erhöhte Dehnfähigkeit kann sich z. B. durch Zusätze von Kunststoffen oder Fasern ergeben. Das Eindringverhalten wassergefährdender Stoffe wird stets in Eindringprüfungen im Rahmen der Erstprüfung als zusätzliche Anforderung nachgewiesen.

Rückhalteeinrichtung: Rückhalteeinrichtungen sind Einrichtungen zur Rückhaltung von wassergefährdenden Stoffen, die aus undicht gewordenen Anlagenteilen, die bestimmungsgemäß wassergefährdende Stoffe umschließen, austreten, insbesondere Auffangräume, Auffangwannen, Auffangtassen, Auffangvorrichtungen, Rohrleitungen, Schutzrohre, Behälter oder Flächen, in denen Stoffe zurückgehalten oder auf denen Stoffe abgeleitet werden.

Sachverständiger (im Sinne dieser Richtlinie): Personen, die die Anforderungen nach VAUwS erfüllen. Dabei ist hier die Sachkunde im Hinblick auf konstruktive und betontechnische Belange von besonderer Bedeutung.

Schädigungstiefe: Tiefe der Schädigung ab Betonoberfläche durch chemische Reaktion der wassergefährdenden Medien mit dem Beton oder durch Verschleiß. Der geschädigte Bereich gilt als nicht mehr tragfähig und nicht mehr dicht.

3 Sicherheitsbeiwerte

(1) Für die Nachweise werden in Abhängigkeit vom Überwachungsintervall nach 8.4.1 die Sicherheitsbeiwerte gemäß Tabelle 1-1 angesetzt.

Tabelle 1-1 – Sicherheitsbeiwerte

S	1	2		3	
	Gegenstand	normales Überwachungsintervall		halbes Überwachungsintervall	
1	Eindringtiefe	γ_e	1,50	γ_e	1,25
2	Betontragverhalten	γ_C	1,25	γ_C	1,05
3	für Rissbreiten von 0,2 mm	γ_r	1,50	γ_r	1,25
4	für Rissbreiten < 0,2 mm	γ_r	2,00	γ_r	1,70

(2) Diese Sicherheitsbeiwerte beruhen insbesondere auf den Vorgaben in Abschnitt 8 dieser Richtlinie. Sofern von den dort angegebenen Zeiträumen der Überwachung abgewichen werden soll, kann eine erneute Festlegung, insbesondere der Sicherheitsbeiwerte γ_C und γ_r unter Berücksichtigung entsprechender sicherheitstheoretischer Aspekte erforderlich bzw. sinnvoll sein.

4 Einwirkungen und Beanspruchungen für den Dichtheitsnachweis

4.1 Physikalische Einwirkungen

(1) Der charakteristische Wert der Eindringtiefe e_{tk} des beaufschlagenden Mediums gibt die Eindringtiefe im ungerissenen Beton nach der Beaufschlagungsdauer t an.

(2) Die Eindringtiefe e_{tk} (Beaufschlagungsdauer t) darf vereinfacht aus der Eindringtiefe e_{72k} (Beaufschlagungsdauer 72 Stunden) errechnet werden:

$$e_{tk} = e_{72k} \sqrt{\frac{t}{72}} \quad (1-1)$$

t anzusetzende Beaufschlagungsdauer
 $8 \text{ h} \leq t \leq 2880 \text{ h}$

(3) Die Eindringtiefe e_{wtk} gibt den charakteristischen Wert der Eindringtiefe im gerissenen Beton an.

(4) Werte für die Eindringtiefe e_{72k} bzw. e_{w72k} werden als charakteristische Werte aus Versuchen gewonnen. Angaben zu Prüfverfahren sind im Anhang A enthalten. Teil 2 dieser Richtlinie enthält Angaben zu den Eindringtiefen und Verfahren zur rechnerischen Bestimmung der Eindringtiefen.

(5) Beanspruchungsstufen für die einmalige Beaufschlagung von Anlagen für das Lagern, Herstellen, Behandeln und Verwenden von wassergefährdenden Stoffen sind gemäß Tabelle 1-2 festzulegen.

(6) Bei intermittierender Beaufschlagung ist die anzusetzende Beaufschlagung im Einzelfall unter Berücksichtigung der Betriebsbedingungen und des Konzepts für den Beaufschlagungsfall festzulegen (s. Häufigkeitsstufen in Tabelle 1-3). Es darf auch eine äquivalente, einmalige Beaufschlagungsdauer durch Analogieschluss auf der Basis von Versuchen festgelegt werden.

Tabelle 1-2 – Einmalige Beaufschlagung (Lagern, Herstellen, Behandeln, Verwenden)

S Z	1	2
	Beanspruchungsstufe nach Arbeitsblatt DWA-A 786	maximale Beaufschla- gungsdauer
1	gering	8 h
2	mittel	72 h
3	hoch	2200 h

Tabelle 1-3 – Intermittierende Beaufschlagung (Abfüllen und Umladen)

S Z	1	2	3	4
	Häufigkeitsstufen nach Arbeitsblatt DWA-A 786	Beaufschlagungs- zyklus	äquivalente Beaufschlagung (gleiche Eindring- tiefe)	Beispiel
1	gering	–	einmalig 8 h	<u>Abfüllen:</u> – bis zu 4mal im Jahr ^a oder – Spritz- und Tropfmengen werden durch technische Maßnahmen ausge- schlossen <u>Umladen:</u> In Verpackungen, die den gefahrenrechtlichen Anforderungen genügen oder gleichwertig sind
2	mittel	28 Tage je 5 h	einmalig 144 h	<u>Abfüllen:</u> – bis zu 200mal im Jahr ^a oder – öffentliche Tankstelle <u>Umladen:</u> In Verpackungen, die den gefahrenrechtlichen Anforderungen nicht genügen oder nicht gleich- wertig sind
3	hoch	40 Tage je 5 h	einmalig 200 h	Ohne Einschränkung der Abfüllhäufigkeit ^a
4	–	–	einmalig 2880 h	Bunker in Verbrennungs- anlagen ^b (Ersatzlastfall)

^a unter Verwendung gesonderter Auffangeinrichtungen für Tropfmengen

^b Arbeitsblatt DWA-A 786 gilt nicht für Bunker in Verbrennungsanlagen für feste Siedlungsabfälle mit vergleichbaren gewerblichen Abfällen. Böden von Bunkern sind bei Ausführung gemäß dieser Richtlinie als Ableitflächen auszubilden. Gegebenenfalls sind Zusatzmaßnahmen gegen besondere Einwirkungen erforderlich (vgl. Anhang B).

4.2 Chemische Einwirkungen

(1) Angaben zum chemischen Angriff des zurückzuhaltenden Stoffes sind in Teil 2 dieser Richtlinie enthalten.

(2) Die charakteristische Schädigungstiefe s_{Ctk} gibt den Rechenwert der Tiefe der Schädigung des Betons nach der Zeit t an. Die Prüfverfahren sind in Anhang A festgelegt.

4.3 Mechanische Einwirkungen infolge Last und Zwang

4.3.1 Allgemeines

(1) Neben den üblichen Einwirkungen (z. B. nach den Normen der Reihe DIN EN 1990 und DIN EN 1991 bzw. DIN-Fachbericht 101) sind je nach Anwendungsfall insbesondere auch eingeprägte Verzerrungszustände zu berücksichtigen.

(2) Zwangbeanspruchungen lassen sich durch konstruktive, ausführungstechnische und betontechnische Maßnahmen vermindern (siehe Teil 2 dieser Richtlinie und Abschnitt 7).

4.3.2 Einwirkungen aus Last

(1) Ständige Lasten sind nach DIN EN 1991-1-1 bzw. DIN 1055-2 (für Bodenkenngrößen) anzusetzen; die Eigenlasten von Behältern und Ausrüstungsteilen sind vom Betreiber der Anlage anzugeben.

(2) Nutz- und Verkehrslasten sind nach DIN EN 1991-1-1 bzw. DIN EN 1991-1-2 bzw. DIN-Fachbericht 101 anzusetzen. Besondere Lastvorgaben sind vom Betreiber der Anlage anzugeben. Schwingbeiwerte aus Belastungen dürfen bei flächenhafter Auflagerung des Bauteiles auf dem Baugrund auf $\varphi \leq 1,2$ begrenzt werden.

4.3.3 Einwirkungen aus eingepprägten Verzerrungszuständen

4.3.3.1 Abfließende Hydratationswärme

(1) Bei Beanspruchungen aus abfließender Hydratationswärme dürfen die zu diesem Zeitpunkt vorhandenen, günstigen Randbedingungen, wie z. B. zeitliche Entwicklung des Elastizitätsmoduls, der Festigkeit und der Relaxation, berücksichtigt werden.

(2) Bei der Überlagerung dieser Einwirkung mit anderen ist der zeitliche Abstand zwischen Herstellung und Beaufschlagungsfall zu berücksichtigen.

(3) Diese Einwirkung ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn sie Risse auslöst, die die Dichtheit für einen zeitlich später anzusetzenden Beaufschlagungsfall beeinflussen.

4.3.3.2 Temperatureinwirkungen aus Witterungseinflüssen

(1) Für Bodenplatten, die der Witterung ausgesetzt sind, dürfen für Bauteile, wenn keine genaueren Werte vorliegen, die Werte für die einzelnen Temperaturanteile gemäß Bild 1-1 aus Bild 1-2 durch graphische Auswertung entnommen werden. Diese Werte dürfen auch für mehrschichtige Bauteile angesetzt werden. Bei Wänden können die Werte aus Bild 1-3 unter Berücksichtigung der jeweiligen Besonnung/Beschattung verwendet werden. Bei teilweiser Beschattung ist eine Interpolation zulässig.

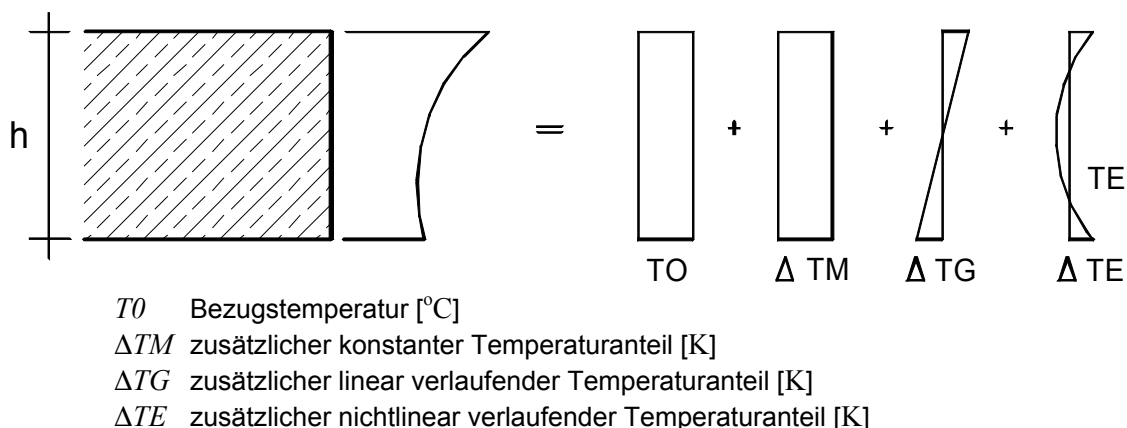


Bild 1-1 – Temperaturanteile und deren Verteilung über der Bauteildicke

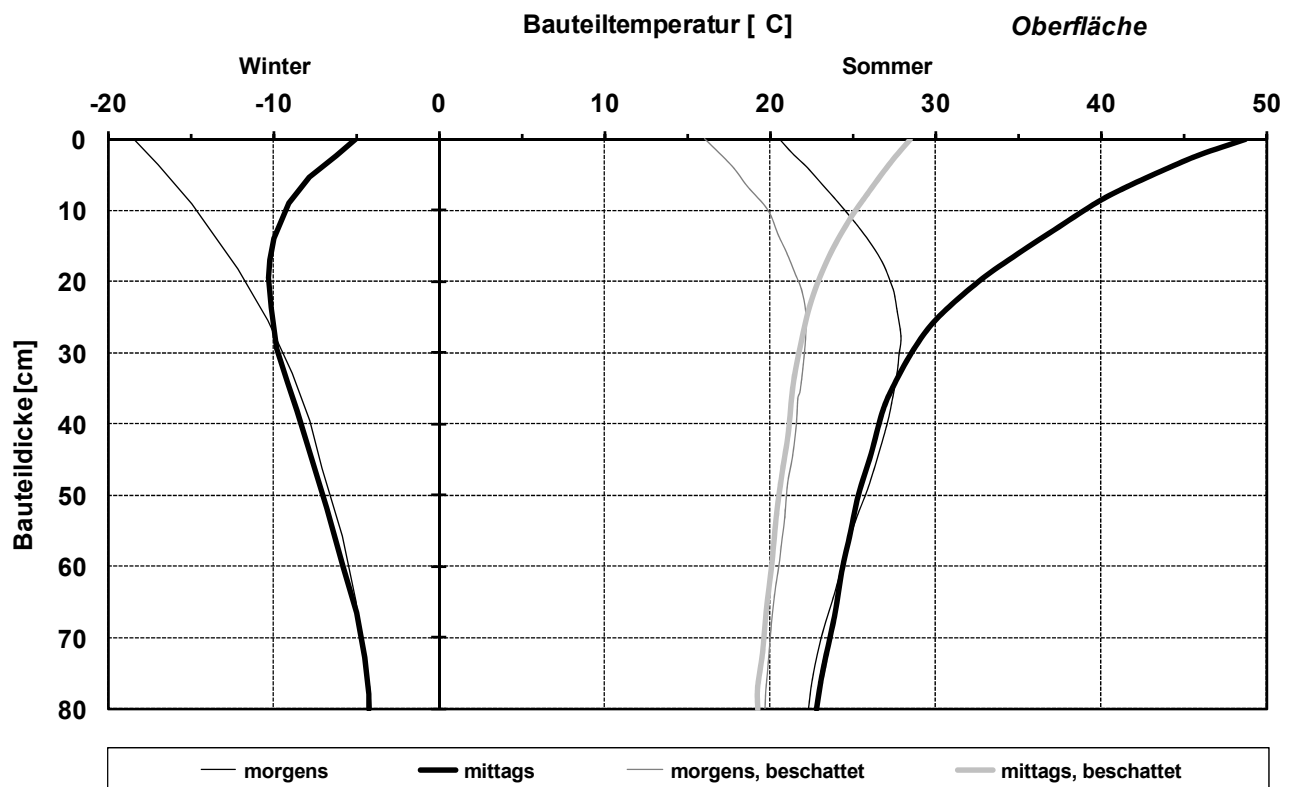


Bild 1-2 – Temperaturverläufe in erdberührten Wänden und Bodenplatten in Abhängigkeit von der Bauteildicke

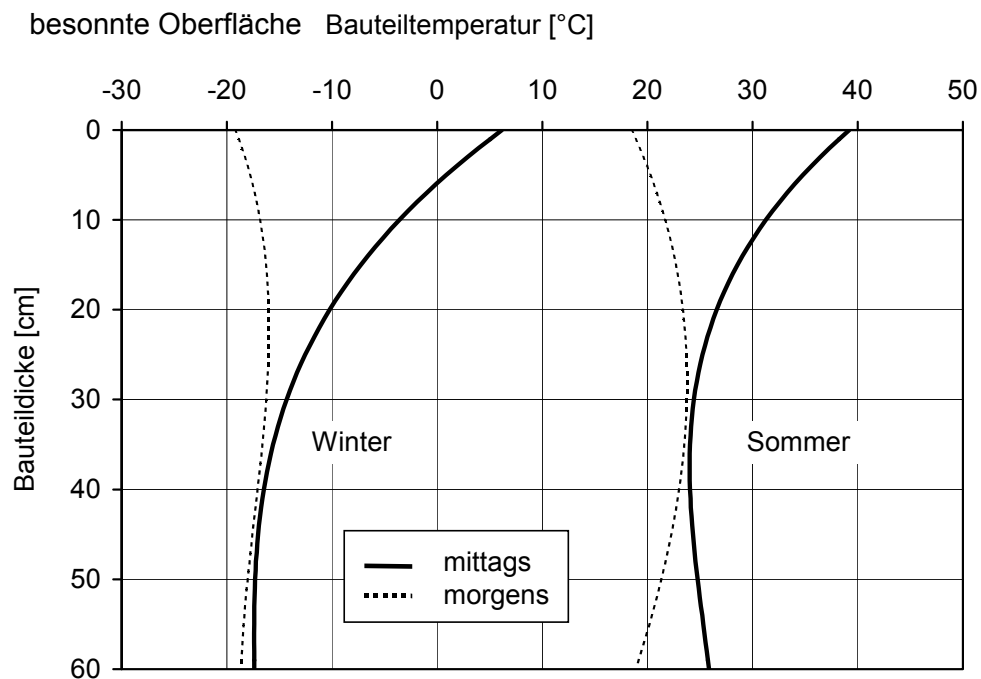


Bild 1-3 – Temperaturverläufe in besonnten Wänden in Abhängigkeit von der Bauteildicke

(2) Der nichtlineare Verlauf der Temperatur darf näherungsweise als quadratische Parabel angesetzt werden.

(3) Relaxationseinflüsse dürfen berücksichtigt werden. Falls nicht genauer nachgewiesen, dürfen die Beanspruchungen infolge von Temperatur um

- 15 % beim Tagesgang,
- 30 % beim Jahresgang

vermindert werden.

(4) Der Rechenwert des Elastizitätsmoduls darf nach EC 2-1-1 angenommen werden.

(5) Temperaturdifferenzen aufgrund unterschiedlicher Bauteildicken (lokale Verdickungen, Sockel, etc) dürfen näherungsweise ebenfalls mit den in den Bildern 1-2 und 1-3 angegebenen Temperaturen ermittelt werden.

Tabelle 1-4 – Rechenwerte von Reibungsbeiwerten

S	1	2	3		4	
	Untergrund	Gleitschicht ^c	Erste Verschiebung		Wiederholte Verschiebung	
			min.	max.	min.	max.
Z						
1	Mineralgemisch (Kies)	keine	1,4	2,1	1,3	1,5
2	Sandbett	keine	0,9	1,1	0,6	0,8
3	Unterbeton	2 Lagen PE-Folie	0,6	1,0	0,3	0,75
4		PTFE- beschichtete Folie	0,2	0,5	0,2	0,3
5		Bitumen B45-B80 ^a	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b
6		Bitumen- schweißbahn V60 S4 oder S5 gemäß DIN 52131	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b

^a bei Verwendung anderer viskoser Materialien siehe 4.3.4

^b gilt nicht bei Temperaturen < 0 °C in Höhe der Bitumenschicht oder der Bitumenschweißbahn

^c Die Gleitschichten sind vor Beschädigung zu schützen.

4.3.3.3 Temperaturen aus aufgestellten Behältern oder Abwasserableitung

Die höchsten Temperaturen aus der Einleitung von Abwässern oder Kondensat, die Produkttemperatur innerhalb von Behältern, gegebenenfalls die Wärmemitteltemperatur bei beheizten Behältern sind als Temperaturlastfall lokal aufzubringen. Die Abminderung des Wärmeflusses infolge von Wärmedämmschichten ist zu berücksichtigen.

4.3.3.4 Temperatureinwirkungen aus dem Beaufschlagungsfall

Diese Einwirkungen sind im Rahmen des Nachweises für den Beaufschlagungsfall zu erfassen. Aus Temperaturänderungen des Mediums entstehende Änderungen der Viskosität oder des Aggregatzustandes sollten in ihrem zeitlichen Ablauf berücksichtigt werden. Der zeitliche Ablauf des Beaufschlagungsfalls ist zu beachten.

4.3.3.5 Schwinden und Kriechen

Zur Ermittlung der Einflüsse des zeitabhängigen Betonverhaltens (Schwinden und Kriechen, Relaxation) sind die Angaben nach EC 2-1-1 bzw. DAfStb-Heft 600 zugrunde zu legen.

4.3.3.6 Bauwerk-Baugrund-Wechselwirkung

Schnittgrößen aus Bauwerk-Baugrund-Wechselwirkung (z. B. Setzungsdifferenzen) sind bei der Ermittlung der Beanspruchungen zu berücksichtigen.

4.3.4 Einwirkungen aus Verformungsbehinderung

(1) Schnittgrößen aus Verformungsbehinderungen, z. B. infolge Reibung zwischen Bauwerk und Baugrund oder zwischen Bauwerksteilen, sind bei der Bemessung zu berücksichtigen.

(2) Beim Einsatz viskoser Gleitschichten darf auf den Ansatz einer Verformungsbehinderung verzichtet werden, wenn ständig eine Temperatur der viskosen Gleitschicht $T > 0\text{ °C}$ gewährleistet ist. Für Dichtflächen im Freien ist eine rechnerische Ermittlung der auftretenden Zwangskräfte durchzuführen, wobei als Temperatur der viskosen Gleitschicht die minimale Temperatur an der Plattenunterseite nach Bild 1-2 anzunehmen ist. Als Temperaturdifferenz ist die Differenz der Plattenmitteltemperatur zwischen morgens und mittags nach Bild 1-2 bei einer Abkühlungsdauer von 10 Stunden anzusetzen.

(3) Bei der Verwendung von Gleitschichten sind die Ebenheitsanforderungen gemäß Abschnitt 7.3.5 zu beachten.

(4) Sofern keine genaueren Reibungsbeiwerte ermittelt werden, sind der Rechnung die jeweils ungünstigen Werte der Tabelle 1-4 zugrunde zu legen.

4.4 Kombination von Einwirkungen für den Dichtheitsnachweis

(1) Wesentliche Zeitpunkte für den Nachweis der Dichtheit und der Beständigkeit der Bauteile sind:

- Anfang und Ende der Beaufschlagung mit wassergefährdenden Stoffen,
- vorangegangene Zeitpunkte, die Auswirkungen auf den Zustand der maßgebenden Querschnitte während der Beaufschlagung haben.

Zu diesen Zeitpunkten sind Beanspruchungen aus ständigen und aus veränderlichen Einwirkungen einschließlich Zwangbeanspruchungen zu überlagern.

(2) Die Einwirkungen sind wie folgt zu kombinieren:

- vor der Beaufschlagung

$$E_d = E_d(\Sigma G_{k,j} \oplus P_k \oplus Q_{k,1} \oplus \Sigma (\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})) \quad (1-2)$$

- während der Beaufschlagung

$$E_{d,A} = E_{d,A}(\Sigma G_{k,j} \oplus P_k \oplus A_d \oplus (\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1})) \quad (1-3)$$

Dabei ist

$E_{d,A}$ Bemessungswert der aufzunehmenden Schnittgrößen während der Beaufschlagung in Anlehnung an die außergewöhnliche Einwirkung nach EN 1990;

E_d Bemessungswert der aufzunehmenden Schnittgrößen;

G_k charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen;

P_k charakteristischer Wert der Vorspannung;

$Q_{k,i}$ charakteristische Werte weiterer veränderlicher Einwirkungen;

$Q_{k,1}$ charakteristischer Leitwert der veränderlichen Einwirkungen;

A_d Bemessungswert der Einwirkung infolge Beaufschlagung;

$\psi_{0,i}$ Kombinationswert für die Grundkombination;

$\psi_{2,1}$ Kombinationswert für veränderliche Einwirkungen während der Beaufschlagung;

\oplus „in Verbindung mit“.

ANMERKUNG Der Kombinationsbeiwert ψ_1 für häufig veränderliche Einwirkungen ist für die Anwendungsfälle der Richtlinie unerheblich.

(3) Die Schnittgrößenermittlung ist mit den Kombinationsbeiwerten für Wind und Schnee nach DIN EN 1990 sowie mit den in Tabelle 1-5 angegebenen Kombinationsbeiwerten für Temperatur und Nutzlasten durchzuführen.

(4) Die Schnittgrößenermittlung ist ohne Berücksichtigung einer Schädigungstiefe durchzuführen. Eine nichtlineare Schnittgrößenermittlung ist beim Nachweis gemäß Abschnitt 5.1.2 nicht zulässig.

Tabelle 1-5 – Kombinationsbeiwerte

S	1	2	3
Z	Einwirkung	ψ_0	ψ_2
1	Temperatur	0,8	0,5
2	Nutz- bzw. Verkehrslasten	0,8 ^a	0,5 ^a
3	Wind	DIN EN 1990	
4	Schnee		

^a ψ_0 , ψ_2 sind gegebenenfalls in Absprache mit dem Betreiber je nach langfristigem Füllungsgrad bis auf 1,0 zu vergrößern.

5 Nachweise

5.1 Nachweise der Dichtheit

5.1.1 Allgemeines

(1) Die Nachweise gemäß Abschnitt 5.1.2 bis 5.1.4 gelten nicht für Arbeitsfugen. Arbeitsfugen sind durch Fugenabdichtungen nach Abschnitt 7.3.3 abzudichten.

(2) Bei Nutzungsänderung sind neue Nachweise erforderlich.

(3) Der Nachweis der Dichtheit darf vereinfacht nach 5.1.2 oder genauer nach 5.1.3 bis 5.1.5 erfolgen.

(4) Der Nachweis der Dichtheit von Bauteilen im Bereich von Bewegungsfugen und Übergängen zu anderen Dichtkonstruktionen ist nach 5.1.7 vorzunehmen.

5.1.2 Vereinfachter Nachweis

(1) Wenn Bewehrung nach Tabelle 1-6 eingelegt wird und die Dichtkonstruktion den folgenden Randbedingungen entspricht:

- FD- oder FDE-Beton der Druckfestigkeitsklasse C30/37 nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2;
- Länge und Breite der Platten $l \leq 50$ m;
- keine Verzahnung mit dem Untergrund;
- mittlere Auflast $q \leq 5 \text{ kN/m}^2$ (ständiger und quasiständiger Anteil, s. ψ_2 in Tabelle 1-5);
- Gleitschicht nach 7.3.5 entsprechend 2 Lagen PE-Folie (siehe Tabelle 1-4) oder mindestens gleichwertig;
- keine Verschleißschicht

ist sichergestellt, dass die Druckzonendicke nach Gleichung (1-8) eingehalten ist. Dabei ist der Bewehrungsgehalt nach Tabelle 1-6, Zeilen 1 bis 6 abhängig von der Eindringtiefe zu wählen. Es ist jedoch mindestens die Bewehrung nach Zeile 7 zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Die statische Berechnung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ist stets erforderlich.

(2) Wände, die mit Bodenplatten nach Absatz (1) monolithisch verbunden sind, müssen vertikale Bewegungsfugen mit einem Abstand von maximal 3,0 m erhalten.

(3) Auf Fugen nach Absatz (2) darf verzichtet werden bei Wänden mit einer Höhe bis $h_w \leq 1,20$ m, wenn diese mit der Bodenplatte in einem Zuge betoniert werden und in Längsrichtung eine Bewehrung nach Tabelle 1-6 enthalten.

Tabelle 1-6 – Bewehrungsgehalt je Lage und Richtung
in cm^2/m für $d_1 = 35$ mm (in Klammern: $d_1 = 50$ mm),
wenn ein genauer Nachweis nach 5.1.3 bis 5.1.5 nicht geführt wird

S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Eindringtiefe e_{tm}^c	Bauteildicke								
		$h = 200$ mm	$h = 250$ mm	$h = 300$ mm	$h = 350$ mm	$h = 400$ mm	$h = 450$ mm	$h = 500$ mm	$h = 550$ mm	$h = 600$ mm
Z										
1	60 mm	– ^b	– ^b	– ^b	– ^b	35,9 (37,9)	31,2 (32,5)	27,9 (28,9)	25,6 (26,4)	23,9 (24,5)
2	50 mm	– ^b	– ^b	– ^b	29,2 (31,0)	25,1 (26,2)	22,4 (23,2)	20,5 (21,1)	19,2 (19,7)	18,3 (18,7)
3	40 mm	– ^b	– ^b	22,6 (24,2)	19,2 (20,2)	17,2 (17,8)	15,9 (16,3)	15,0 (15,3)	14,4 (14,7)	14,0 (14,3)
4	30 mm	– ^b	16,4 (17,7)	13,8 (14,6)	12,5 (12,9)	11,7 (12,0)	11,2 (11,5)	11,0 (11,2)	10,9 (11,1)	10,9 (11,0)
5	20 mm	10,6 (11,5)	9,1 (9,6)	8,5 (8,7)	8,2 (8,4)	8,2 (8,3)	8,2 (8,3)	8,4 (8,5)	8,6 (8,6)	8,8 (8,9)
6	10 mm	5,4 (5,6)	5,5 (5,6)	5,6 (5,7)	5,9 (6,0)	6,2 (6,3)	6,6 (6,6)	6,9 (6,9)	7,3 (7,3)	7,6 (7,7)
7	Mindestbewehrung nach Abschnitt 6 ^a für Beton der Druckfestigkeitsklasse C30/37	7,7	9,6	11,5	13,4	15,3	17,2	19,1	21,0	22,9
^a Bei Einsatz von Stahlfaserbeton gelten die Angaben in der DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“. ^b nicht ausführbar ^c Eindringtiefe gemäß Teil 2 dieser Richtlinie, Gleichung (2-4)										

5.1.3 Nachweis in ungerissenen Bereichen

(1) Zur Sicherstellung der Dichtheit ist nachzuweisen:

$$h \geq \gamma_e \cdot e_{\text{tk}} \quad (1-4)$$

Dabei ist

h Bauteildicke;

e_{tk} charakteristischer Wert der Eindringtiefe gemäß Abschnitt 4.1;

γ_e Sicherheitsbeiwert nach Tabelle 1-1.

(2) Dieser Nachweis darf nur in Bereichen angewendet werden, in denen bei

– überwiegend zentrischer Beanspruchung: $\text{vorh } \sigma_{cN} \leq f_{ctd}$ (1-5)

und

– überwiegender Biegebeanspruchung: $\text{vorh } \sigma_{cM} \leq f_{ctd,fl}$ (1-6)

erfüllt ist.

(3) Bei gleichzeitiger Wirkung von Normalkraft und Biegemoment ist Gleichung (1-7) einzuhalten:

$$\frac{\text{vorh } \sigma_{cN}}{f_{ctd}} + \frac{\text{vorh } \sigma_{cM}}{f_{ctd,fl}} \leq 1,0 \quad (1-7)$$

Dabei ist

$\text{vorh } \sigma_{cN}$ maßgebende Betonzugspannung infolge Normalkraft im Zustand I unter Berücksichtigung von Last und Zwang;

$\text{vorh } \sigma_{cM}$ maßgebende Betonrandzugspannung infolge Biegemoment im Zustand I unter Berücksichtigung von Last, Zwang und Eigenspannungen;

f_{ctd} Bemessungswert der zentrischen Zugfestigkeit gemäß EC 2-1-1, Gl. (3.16): $f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_C$
 $f_{ctk;0,05}$ charakteristischer Wert der zentrischen Zugfestigkeit gemäß EC 2-1-1, Tabelle 3.1;
 Bei elastischer Bettung darf für die Nachweise der Dichtheit nach dieser Richtlinie der Wert der zentrischen Zugfestigkeit gegenüber EC 2-1-1, Tabelle 3.1, um 30 % erhöht werden.

$f_{ctd,fl}$ Bemessungswert der Biegezugfestigkeit: $f_{ctd,fl} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,fl;0,05} / \gamma_C$;
 $f_{ctk,fl;0,05}$ charakteristischer Wert der Biegezugfestigkeit des Betons:
 $f_{ctk,fl;0,05} = (1 + 0,13 \sqrt{(1/h)}) \cdot f_{ctk;0,05}$; (h in m);

α_{ct} Beiwert zur Berücksichtigung von Langzeitauswirkungen: $\alpha_{ct} = 1,0$;

γ_C Sicherheitsbeiwert nach Tabelle 1-1.

(4) Für Normalbeton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 können die charakteristischen Werte der Betonzugfestigkeiten dem EC 2-1-1, Tabelle 3.1, entnommen werden. In anderen Fällen ist der Rechenwert als 5 %-Quantile der zentrischen Zugfestigkeit aus Prüfungen zu bestimmen (siehe DAfStb-Heft 422).

(5) Wenn Last, Zwang und Eigenspannungen infolge hoher, nichtlinearer Eigenspannungsanteile (z. B. instationäre thermische Beanspruchung) rechnerisch zu hohen, jedoch ausschließlich auf den unmittelbaren Querschnittsrandbereich ($\leq 0,1 h$) begrenzten, risserzeugenden Spannungen führen, ist in diesem Bereich eine Überschreitung vorgenannter Grenzen (Gleichungen (1-5), (1-6) bzw. (1-7)) zulässig. Dies gilt nur, wenn gleichzeitig die daraus resultierenden Anrisse bei dem Dichtheitsnachweis gemäß Gleichung (1-4) durch Vermindern der Querschnittsdicke berücksichtigt werden.

5.1.4 Nachweis der Mindestdruckzonendicke

(1) Die Druckzonendicke ist nachzuweisen:

$$\begin{aligned} x &\geq \gamma_e \cdot e_{tk} \\ &\geq 2D_{\max} \\ &\geq 30 \text{ mm} \end{aligned} \quad (1-8)$$

Dabei ist

x Druckzonendicke;

γ_e Sicherheitsbeiwert nach Tabelle 1-1;

e_{tk} Eindringtiefe gemäß Abschnitt 4.1;

D_{\max} Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung.

(2) Die geringste Dicke der ungerissenen Zone ist für die im Beaufschlagungsfall ungünstigste Einwirkungskombination gemäß Abschnitt 4 im Zustand II unter Berücksichtigung der Betonstahlbewehrung in der Druckzone zu ermitteln. Hierbei darf das Verhältnis der E-Moduln von Betonstahl und Beton $\alpha_e = 10$ gesetzt werden.

(3) Der Nachweis gemäß Gleichung (1-8) darf nur angewandt werden, wenn sichergestellt ist, dass keine wechselnden Momente mit jeweils risserzeugenden Beanspruchungen auftreten. Wenn solche wechselnden, risserzeugenden Momente auftreten, ist der Nachweis gemäß Gleichung (1-9) zu führen:

$$\begin{aligned} xw &\geq \gamma_e \cdot ew_{tk} \\ &\geq 2D_{\max} \\ &\geq 50 \text{ mm} \end{aligned} \quad (1-9)$$

Dabei ist

xw Dicke der vorgerissenen Druckzone;
 γ_e Sicherheitsbeiwert nach Tabelle 1-1;
 ew_{tk} Eindringtiefe in der vorgerissenen Druckzone;
 D_{\max} Nennwert des Größtkorns der Gesteinskörnung.

(4) Die in der gerissenen Druckzone anzusetzende Eindringtiefe ew_{tk} ist in Abhängigkeit von den im Beaufschlagungsfall vorhandenen Beanspruchungen gemäß Teil 2 dieser Richtlinie zu bestimmen.

5.1.5 Nachweis von Trennrissen

(1) Ein Nachweis von Trennrissen als Dichtheitsnachweis ist zulässig, wenn die Rissbreite bei Berücksichtigung der im Fall der Medienbeaufschlagung wirksamen Beanspruchungen unter Gebrauchslasten in Abhängigkeit von der Bauteildicke h begrenzt wird. Alternativ darf der Nachweis gemäß Gleichung (1-10) oder Gleichung (1-11) geführt werden:

$$w_{\text{cal}} \leq w_{\text{crit}} / \gamma_r \quad (1-10)$$

oder

$$h \geq \gamma_e \cdot ew_{tk} \quad (1-11)$$

Dabei ist

w_{cal} größte rechnerische Rissbreite unter Gebrauchsbeanspruchung;
 $w_{\text{crit}}(h, t)$ kritische Rissbreite, bei der in Abhängigkeit vom Medium die Bauteildicke h in der Einwirkungszeit t durchdrungen wird;
 γ_r Sicherheitsbeiwert nach Tabelle 1-1;
 ew_{tk} charakteristische Eindringtiefe gemäß Teil 2 dieser Richtlinie für eine einmalige Beaufschlagung über eine Zeit t in Abhängigkeit von der bei der Bemessung berücksichtigten Rissbreite w_{cal} ;
 γ_e Sicherheitsbeiwert nach Tabelle 1-1.

ANMERKUNG Da Versuche gezeigt haben, dass für viele wassergefährdende Stoffe selbst eine Rissbreite von 0,1 mm noch nicht klein genug ist, um die Leckrate 0 sicherzustellen (s. a. Bild 2-2), die Richtlinie aber wegen der begrenzten Genauigkeit der Rechenverfahren für die Bestimmung von Rissbreiten $< 0,1$ mm eine rechnerische Rissbreite unterhalb von 0,1 mm nicht zulässt, ist dieser Nachweis nur bei hochviskosen Stoffen, dicken Bauteilen oder Spezialrezepturen (z. B. Stahlfaserbeton) zielführend.

(2) Beim Rissbreitennachweis als Nachweis für die Dichtheit dürfen für nur mit Betonstahl bewehrten Beton geringere Werte als $w_{\text{cal}} = 0,10$ mm auch dann nicht angesetzt werden, wenn sich rechnerisch kleinere Werte ergeben.

(3) Bezüglich der rissbreitenbeschränkenden Wirkung von Stahlfasern wird auf die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ verwiesen.

5.1.6 Nichttragende FDE-Dichtschichten

Die Anforderungen an nichttragende FDE-Dichtschichten sind Teil 2 dieser Richtlinie, die Prüfverfahren Anhang A zu entnehmen. Der Dichtheitsnachweis ist in Anlehnung an Abschnitt 5.1.3, Gleichung (1-4), zu führen.

5.1.7 Nachweis der Dichtheit im Bereich von Bewegungsfugen und Übergängen zu anderen Dichtkonstruktionen

(1) Für die Sicherstellung der Dichtheit in Bereichen von Bewegungsfugen und Übergängen zu anderen Dichtkonstruktionen (Umläufigkeit) ist das Zusammenwirken von Fuge und Beton zu beachten.

(2) Für den Nachweis der Eignung des jeweiligen Abdichtungssystems in LAU-Anlagen sind die allgemeinen bauaufsichtlichen oder europäischen technischen Zulassungen maßgebend.

(3) Bei der Verwendung von Fugenabdichtungssystemen in HBV-Anlagen sind über die Nachweise für LAU-Anlagen hinaus gegebenenfalls abweichende Anforderungen aus anlagentypischen Beanspruchungen bei der Nachweisführung zu berücksichtigen.

5.2 Nachweis der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit

Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise sind gemäß EC 2-1-1 zu führen. Wenn der wassergefährdende Stoff als betonangreifend eingestuft ist (siehe Abschnitt 4.2), ist der Querschnitt beim Tragfähigkeitsnachweis für die im Beaufschlagungsfall maßgebende Einwirkungskombination um die Schädigungstiefe s_{ctm} zu vermindern (siehe Teil 2 dieser Richtlinie und Anhang A). Eine Schwächung der Bewehrung braucht nur unterstellt zu werden, wenn die betroffene Bewehrung im Rissquerschnitt während der angesetzten Beaufschlagungsdauer gegenüber dem angreifenden Medium nicht beständig ist.

6 Mindestbewehrung

(1) Für die Mindestbewehrung gilt das Berechnungsverfahren nach EC 2-1-1, Abschnitt 7.3.2. Es ist eine Rissbreite von $w_k = 0,2$ mm unter seltener Einwirkungskombination zugrunde zu legen.

(2) Für den erforderlichen Mindestbewehrungsquerschnitt bei Verwendung von Stahlfaserbeton gilt statt (1) die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“.

(3) Beträgt bei ebenen Bauteilen das Bauteilmaß in einer Richtung maximal $l = 2,5$ m, darf auf die Mindestbewehrung nach den Absätzen (1) und (2) in dieser Richtung verzichtet werden, sofern der Dichtheitsnachweis gemäß 5.1.2 bis 5.1.4 geführt wurde.

(4) Bei ebenen Bauteilen mit Bauteilmaßen zwischen $2,5 \text{ m} < l \leq 5,0 \text{ m}$ darf auf eine Mindestbewehrung nach Absatz (1) in Abhängigkeit von der spannungsmäßigen Ausnutzung gemäß Bild 1-4 verzichtet werden.

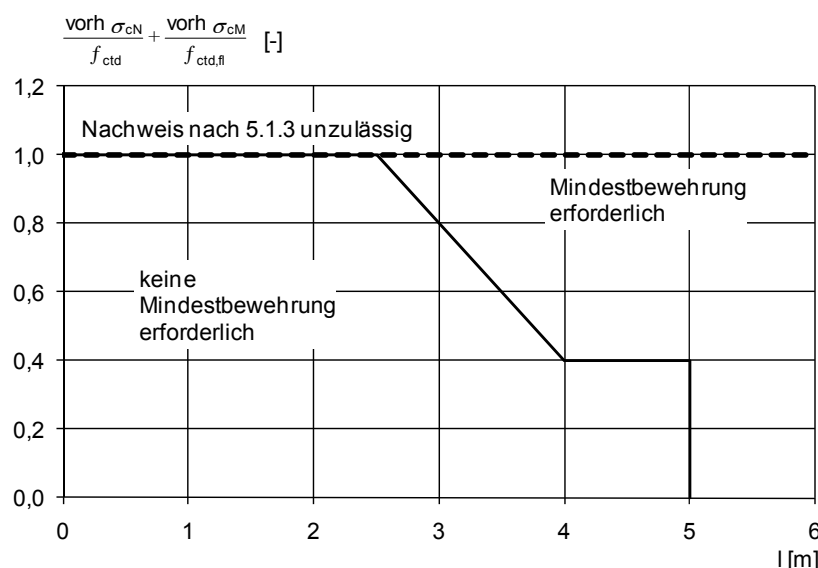


Bild 1-4 – Anordnung der Mindestbewehrung

(5) Für nicht ebene Bauteile mit Bauteilmaßen bis $l \leq 2,5$ m, z. B. kleinformartige Fertigteilwannen, darf eine geringere Bewehrung als die Mindestbewehrung nach Absatz (1) eingelegt werden, wenn praxisnahe Eignungsversuche (Dichtheit) am Bauteil durchgeführt werden.

7 Konstruktion und Bauausführung

7.1 Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze

(1) Nicht nachgewiesene Risse mit Rissbreiten über $w_{\text{vorh}} = 0,1$ mm sind nach Teil 3 dieser Richtlinie zu schließen. Oberflächige Aufweitungen der Rissflanken infolge z. B. Bewitterung können hierbei unberücksichtigt bleiben.

(2) Konstruktionen mit Dichtfunktion sind so zu gestalten,

- dass sie nach Abschnitt 8 und Teil 3 dieser Richtlinie kontrolliert, gewartet und instand gehalten werden können,
- dass die Anzahl der Arbeits- und Bewegungsfugen auf das unbedingt notwendige Maß beschränkt bleibt,
- und dass möglichst geringer Zwang entsteht; dabei dürfen Sockel (z. B. für Pumpen oder Behälter) ohne Nachweis des daraus resultierenden Zwangs für die Dichtfläche Grundabmessungen bis zu 400 mm x 400 mm aufweisen; bei größeren Abmessungen sind die unterschiedlichen Temperaturbeanspruchungen von Sockel und Dichtfläche sowie die unterschiedlichen Steifigkeitsverhältnisse bei der Ermittlung der Einwirkungen nach 4.3 rechnerisch zu berücksichtigen.

(3) Bauteile mit Dichtfunktion sollten in einem Arbeitsgang hergestellt werden. Bei vorgespannten Bauteilen ist frühzeitig nach dem Betonieren eine Teilvorspannung aufzubringen.

(4) Zwangerzeugende Verzahnungen mit dem Baugrund sind zu vermeiden. Vertiefungen, z. B. Rinnen und Gruben, sollen im Bewegungsruhepunkt des Bauteils angeordnet werden oder eine Bewegungsmöglichkeit erhalten (siehe Bild 1-5).

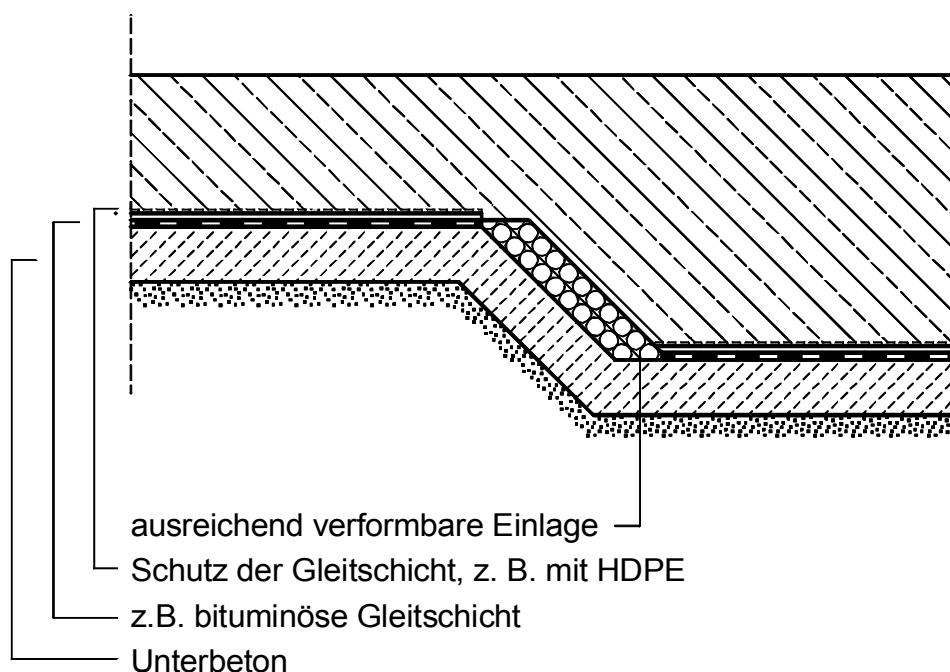


Bild 1-5 – Verminderung von Beanspruchungen aus Zwang durch Einbau einer ausreichend verformbaren Einlage und einer Gleitschicht

(5) Beanspruchungen aus Verformungsbehinderungen zwischen Bauwerk und Baugrund sollten durch den Einbau von Gleitschichten (siehe Abschnitt 7.3.5) begrenzt werden.

7.2 Bauteile von Anlagen

- (1) Alle im Fall einer Beaufschlagung benetzten Flächen sollen zugänglich und kontrollierbar sein.
- (2) Die Mindestdicke beträgt für Ortbetonkonstruktionen $h = 200$ mm und für einzelne werkmäßig hergestellte Bauteile $h = 100$ mm.
- (3) Ableitflächen sollten mit einem Gefälle von mindestens 2 % und einer Ebenheitstoleranz nach DIN 18202, Tabelle 3, Zeile 3, ausgeführt werden. Wenn von diesem Gefälle abgewichen wird, sind die Ebenheitstoleranzen proportional zum gewählten Gefälle umzurechnen. Aufbeton ist zu vermeiden.
- (4) Aufkantung von Platten sind bis zu einer Höhe von 250 mm ohne Arbeitsfugen zu betonieren.
- (5) Bunkersohlen und -rinnen sollten mit einem Gefälle von mindestens 2 % ausgeführt werden.

7.3 Konstruktive Durchbildung

7.3.1 Bewehrung

- (1) Die Betondeckung ist nach EC 2-1-1, Tabelle 4.3DE und 4.4DE, unter Beachtung der Expositionsklassen nach Tabelle 4.1 sowie unter Berücksichtigung der Dauer und der Häufigkeit der Beaufschlagung und der möglichen medienabhängigen Korrosion ($s_{Ct} + s_{Vt}$ nach Teil 2 dieser Richtlinie) festzulegen.
- (2) Zur Sicherung der Verbundwirkung und Dichtheit ist bei betonangreifenden Medien eine Mindestbetondeckung nach EC 2-1-1, Abschnitt 4.4.1.2 (3), zuzüglich der Schädigungstiefe gleich dem Stabdurchmesser der Bewehrung, zuzüglich der Schädigungstiefe $s_{Ct} + s_{Vt}$ nach Teil 2 dieser Richtlinie vorzusehen ($c_{min} = d_s + s_{Ct} + s_{Vt}$).
- (3) Bei Wänden, z. B. von Wannern, bei denen die Zwangbeanspruchung in Längsrichtung gegenüber der vertikalen Beanspruchung überwiegt, ist die horizontale Bewehrung außen anzuordnen.
- (4) Bei der Planung der Bewehrung ist zu beachten, dass sich wassergefährdende Stoffe entlang der Bewehrung ausbreiten können. Aus diesem Grund ist der Einsatz von glattem Betonstahl auch als konstruktive Bewehrung im Einwirkungsbereich von wassergefährdenden Stoffen nicht zulässig.
- (5) Spannglieder sind unter häufiger Einwirkungskombination (unter Berücksichtigung aller Zwangbeanspruchungen) mindestens 25 mm innerhalb der Druckzone zu verlegen.
- (6) Bei Einsatz von Stahlfasern zur Beschränkung von Rissbreiten und Risstiefen ist mindestens die Leistungsklasse L2-0,9 gemäß DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ einzuhalten.
- (7) Stahlfaserbeton ist entweder im gesamten Querschnittsbereich oder in Teilbereichen des Querschnitts einsetzbar.

7.3.2 Befestigungen, Verankerungen und Einbauteile

- (1) Für die Befestigungen von Anbauteilen bzw. Verankerungen dürfen Verbunddübel, Ankerschienen bzw. Kopfbolzen mit allgemeiner bauaufsichtlicher bzw. europäischer technischer Zulassung verwendet werden. Die Befestigungen sind bezogen auf das jeweilige Objekt zu planen. Bei der Verwendung von Verbunddübeln ist die Eignung des Bindemittels gegenüber dem beaufschlagenden Medium sicherzustellen (z. B. über eine Übereinstimmungserklärung des Herstellers). Der Einbau der Befestigungsmittel hat so zu erfolgen, dass die Bohrlochtiefe kleiner der um 50 mm reduzierten Bauteildicke ist.
- (2) Einbauteile sind so auszubilden, dass auch in diesen Bereichen die Dichtheitsanforderungen erfüllt werden.
- (3) In unbeschichteten Auffangkonstruktionen sind Durchdringungen für Schalungsanker im Anstaubereich ohne zusätzliche Dichtmaßnahme nicht zulässig (Dichtungsmaßnahmen siehe Bilder 1-12 und 1-13).

7.3.3 Fugen^{*)}

(1) Auf Arbeits- und Bewegungsfugen im Beaufschlagungsbereich sollte verzichtet werden. Unvermeidbare Fugen sollten möglichst oberhalb der Füllhöhe angeordnet werden (Bild 1-7). Wenn das nicht möglich ist, sind sie bevorzugt im Bereich der Hochpunkte der Dichtflächen auszubilden (Bild 1-9).

(2) Fugen, Fugenbänder, Fugendichtstoffe und Fugenbleche müssen Bauteilbewegungen schadlos überstehen.

(3) Fugen müssen gegen anstehende Medien unter Berücksichtigung mechanischer, thermischer und witterungsbedingter Einwirkungen ausreichend dicht und beständig sein. Der Verbund zum Beton muss sichergestellt sein.

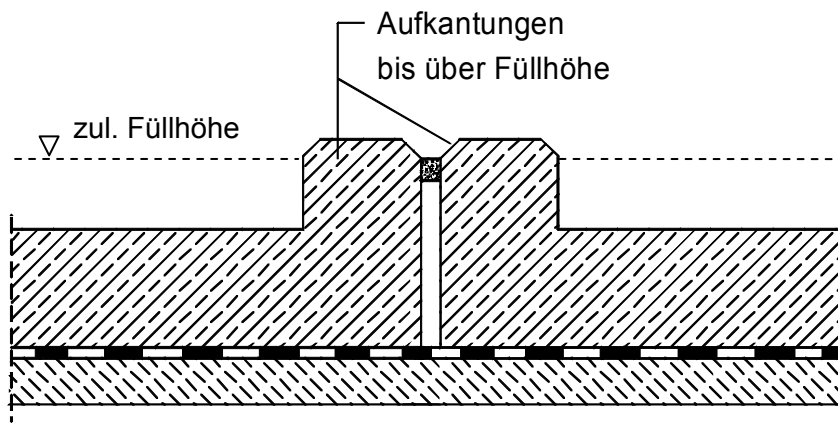


Bild 1-7 – Fugenanordnung außerhalb der beaufschlagten Fläche

(4) Die bei der Planung zu berücksichtigenden Anforderungen an Fugendichtstoffe und Fugenbänder und ihre Einbaubedingungen ergeben sich aus den allgemeinen bauaufsichtlichen bzw. europäischen technischen Zulassungen.

(5) Für Fugenbleche, die in LAU-Anlagen eingesetzt werden, ergibt sich die Verwendbarkeit aus der Übereinstimmung mit der technischen Regel gemäß Bauregelliste A, Teil 1, Nr. 15.37. Die aufgeführten Anforderungen an Fugenbleche gelten sinngemäß auch in HBV-Anlagen.

(6) Bei der Planung der Fugenbleche ist die Einbautiefe der Fugenbleche so festzulegen, dass das Blech im mittleren Drittel des Querschnitts liegt, d. h. $h/3 \leq x_f \leq 2/3 h$ (Bild 1-8).

(7) Die Stöße der Fugenbleche sind vor dem Betonieren auf Dichtheit zu prüfen (z. B. Farbeindringverfahren gemäß DIN EN 571-1).

(8) Die Materialqualität der Fugenbleche ist unter Berücksichtigung der geplanten Verbindung zu wählen. Der ordnungsgemäße Einbau ist durch entsprechende Überwachung nach Abschnitt 8 sicherzustellen. Die Minstdicke von Fugenblechen muss 1,5 mm betragen, wenn geschweißte Stöße ausgeführt werden. Das Schweißverfahren ist auf die Materialqualität der Fugenbleche abzustimmen.

(9) Die Verbindung der Fugenbleche in Arbeitsfugen erfolgt:

- durch Verschweißen;
- durch vollflächiges Verkleben mit 2-komponentigem Klebstoff. Der Klebstoff ist auf die Materialqualität der Fugenbleche abzustimmen. Die Verklebung erfolgt mindestens über eine Länge von 150 mm;
- durch Klemmen mit einer elastomeren Zwischenlage (z. B. NBR). Die beidseitig angeordneten Klemmleisten müssen einen Klemmbereich von mindestens 150 mm sicherstellen. Es sind Klemmleisten der Größe 10 x 30 mm und 3 Schrauben M10 zu verwenden. Die Dicke der elastomeren Zwischenlage beträgt 2 mm;

^{*)} Beispiele für Fugenausbildungen siehe auch DAfStb-Heft 519

- durch Überlappung. Der Überlappungsbereich muss der halben Bauteildicke entsprechen, mindestens jedoch 300 mm. Um die vollflächige Verbundwirkung sicherzustellen, ist ein Abstand der zu überlappenden Bleche von zweimal der Mindestbetondeckung (c_{\min}) nach Abschnitt 7.3.1 einzuhalten, mindestens jedoch 50 mm. Zusätzlich ist eine Injektionsdichtung erforderlich. Die Eignung der Injektionsdichtung ist mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung nachzuweisen.

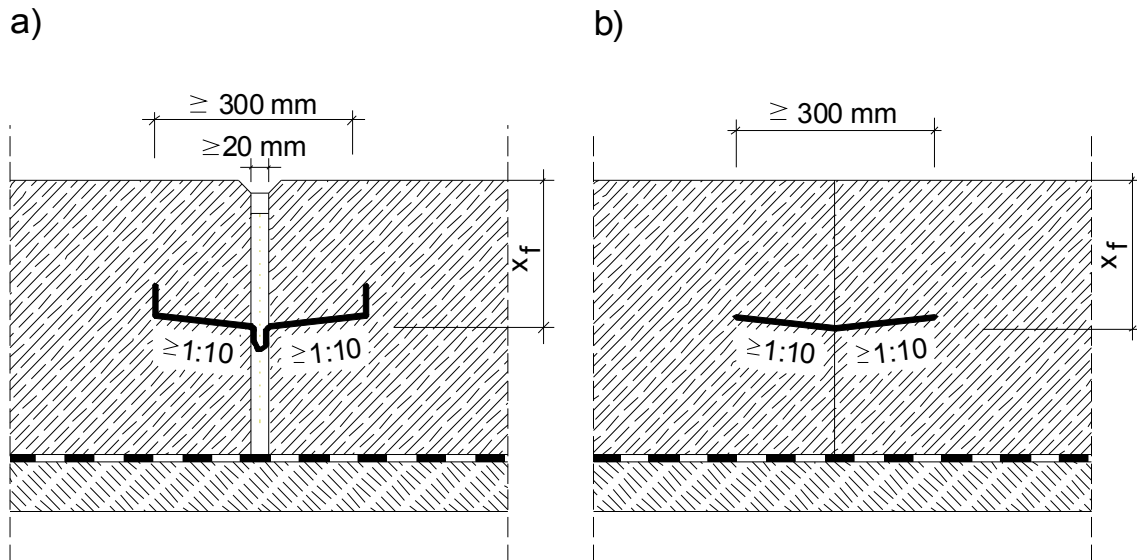


Bild 1-8 – Fugenbleche in Sohlfugen
(a: Raumfuge; b: Arbeitsfuge)

(10) Fugenbleche in Bewegungsfugen sind nur zulässig für in einer Ebene liegende Fugen (keine Kreuzfugen).

(11) In Bewegungsfugen sind nur profilierte Bleche zulässig. Profilierte Bleche (siehe Bild 1-8a) müssen mindestens 300 mm breit und 1,5 mm dick sein, eine leichte V-Form mit seitwärts 20 mm hohen Aufkantungen aufweisen und in der Längsachse mit einer Schlaufe (Sicke, Rinne) versehen sein. Die Schlaufe darf nicht durch Verschweißen von zwei Aufkantungen hergestellt werden. Die Größe der Schlaufe in der Mittelachse richtet sich nach der möglichen Fugenbewegung. Die maximal aufnehmbare Fugenbewegung in vertikaler und horizontaler Richtung ergibt sich aus der Differenz zwischen Fugenbreite und abgewickelter Länge der Blechschlaufe zwischen den Fugenflanken. Die Differenz darf nur zu maximal 50 % genutzt werden. Die Fugenbewegungen sind dabei vektoriell zu addieren.

(12) Fugenbleche in Bewegungsfugen sind ausschließlich mittels geschweißter Stöße zu verbinden.

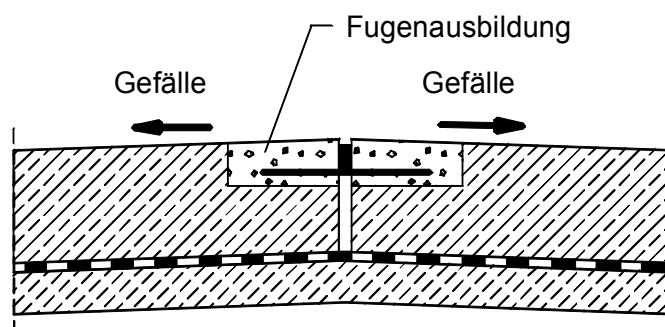


Bild 1-9 – Fugenanordnung in Hochpunkten

7.3.4 Durchdringungen

(1) Durchdringungen, insbesondere Durchführungen von Rohrleitungen und Stützen durch Bauteile mit Dichtfunktion, sollten außerhalb der bei Beaufschlagung betroffenen Bereiche angeordnet werden (Bild 1-10). Ist dies nicht möglich, sind Maßnahmen zur Einhaltung der Dichtheitsanforderungen erforderlich (Bild 1-11).

(2) Durchdringungen und Durchführungen von Rohren und Stützen durch Bauteile, die von den Regelungen in Bild 1-10 und Bild 1-11 abweichen, bedürfen eines baurechtlichen Verwendbarkeitsnachweises, z. B. einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, in der neben den bauaufsichtlichen Anforderungen auch die wasserrechtlichen Kriterien berücksichtigt sind.

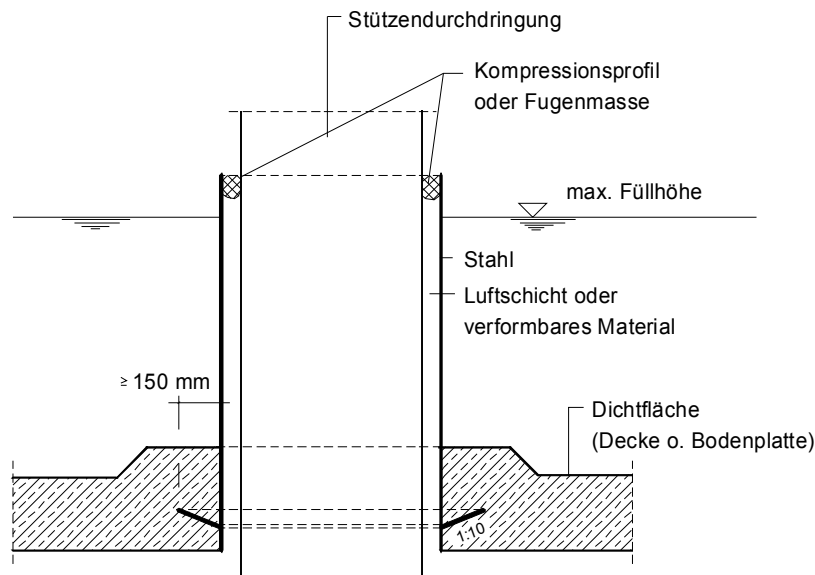


Bild 1-10 – Stützendurchdringung mit Stahleinbauteil

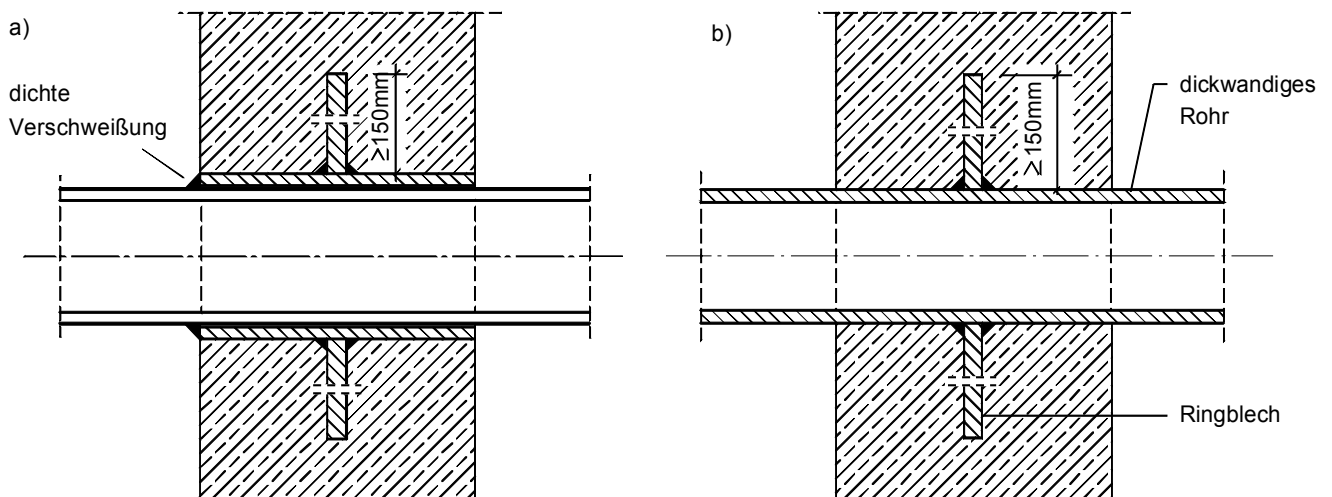


Bild 1-11 – Rohrdurchdringung: a) nachträgliche Rohrmontage; b) einbetoniertes Rohr

7.3.5 Gleitschichten

(1) Der Untergrund von Gleitschichten muss die Ebenheitsanforderungen nach DIN 18202, Tabelle 3, Zeile 3 erfüllen.

(2) Werden Sandschichten zur Zwangsminderung ausgebildet, muss deren Untergrund die Ebenheitsanforderungen von DIN 18202, Tabelle 3, Zeile 2 erfüllen.

(3) Sandschichten müssen aus einem rolligen Material mit einem Größtkorn von maximal 0,2facher Schichtdicke bestehen. Die Minstdicke der Sandschichten muss betragen:

- 20 mm auf Betonflächen,
- 50 mm auf hydraulisch gebundenen Tragschichten oder entsprechendem Untergrund,
- 100 mm bei Aufbringung unmittelbar auf den Baugrund.

Das Eindringen von Fremdstoffen (Zementleim, Beton o. a.) ist durch Folien oder andere geeignete Maßnahmen zu verhindern.

(4) Bei Folien als Gleitschichten ist der Untergrund abzureiben und von losen Gesteinskörnern zu reinigen. Der Untergrund muss eine geschlossene Oberfläche aufweisen (keine Grobporen), damit die Folien frei von Eindrücken bleiben.

(5) Gleitschichten aus Folien sind zweilagig auszubilden. Die Minstdicke von Folien beträgt jeweils 0,3 mm. Die Folien müssen frei sein von Beschädigungen. Stöße sind unverschweißt zu überlappen. Die Überlappungen sind durch punktweise Klebung zu fixieren und müssen mindestens 300 mm betragen.

(6) Für viskose Gleitschichten ist stets entweder ein Unterbeton nach DIN 1045-3 oder eine hydraulisch gebundene Tragschicht anzuordnen.

(7) Die Minstdicke viskoser Gleitschichten beträgt 5 mm. Das Herausquellen von Material an den Rändern ist durch geeignete Maßnahmen zu verhindern. Zusätzliche Biegebeanspruchungen in der Dichtschicht infolge des Auspressens von Bitumen unter konzentrierten Einzellasten sind nachzuweisen.

7.4 Hinweise für die Bauausführung

7.4.1 Allgemeines

(1) Bei der zeitlichen Planung für die Herstellung der Bauteile sind günstige Ausführungsbedingungen (Tageszeit, Witterung, geringe Sonneneinstrahlung, kein Frost) anzustreben. Gegebenenfalls sind Schutzmaßnahmen für den jungen Beton vorzusehen.

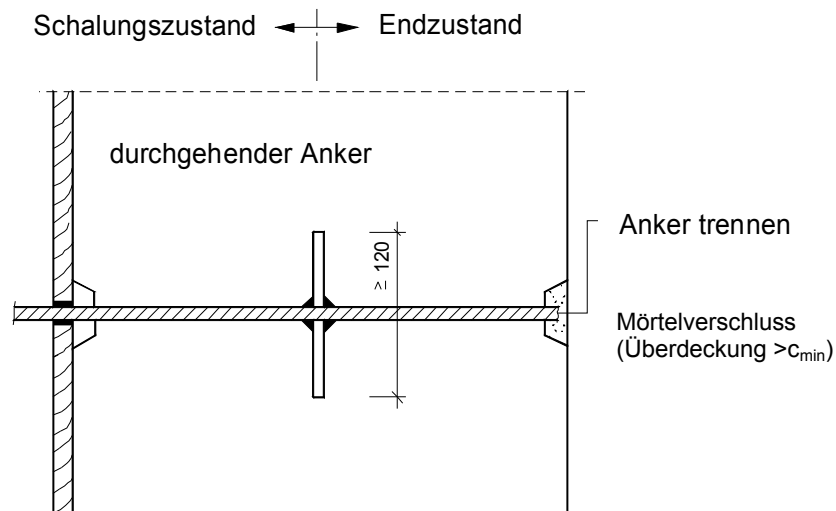
(2) Um die Rissgefahr zu vermindern, ist der Abstand zwischen Höchsttemperatur infolge Hydratation im Bauteil und der Umgebungstemperatur möglichst gering zu halten und zu überprüfen.

7.4.2 Schalung und Schalungsanker

(1) Die Schalung ist dicht und möglichst steif auszubilden.

(2) Öffnungen für Schalungsanker sind medienbeständig und flüssigkeitsundurchlässig zu schließen. Weicht die Ausbildung von Schalungsankern von den Angaben in den Bildern 1-12 und 1-13 ab, so bedürfen die verwendeten Bauprodukte und Systeme im Bereich von Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe eines bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweises.

Beispiel A: Aufgeschweißte Dichtscheibe



Beispiel B: Eingeschraubtes Scheibenelement

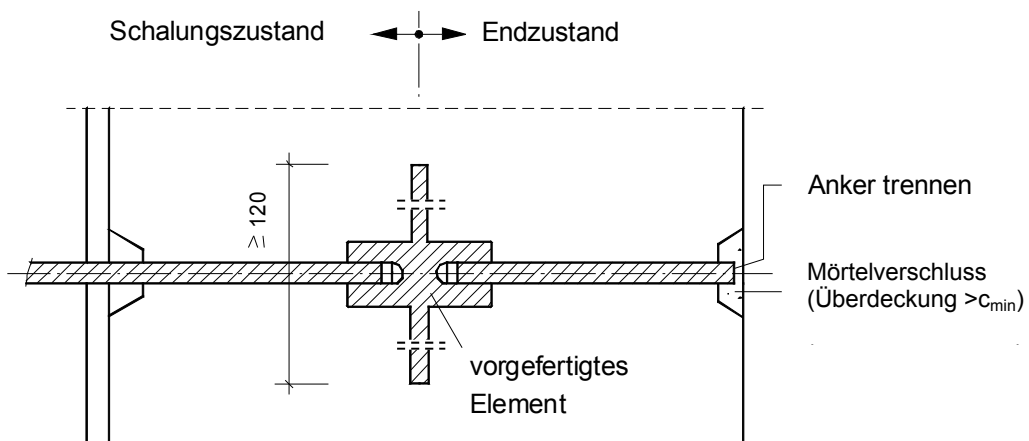


Bild 1-12 – Beispiele für die Ausbildung von Schalungsankern (Angaben in mm)

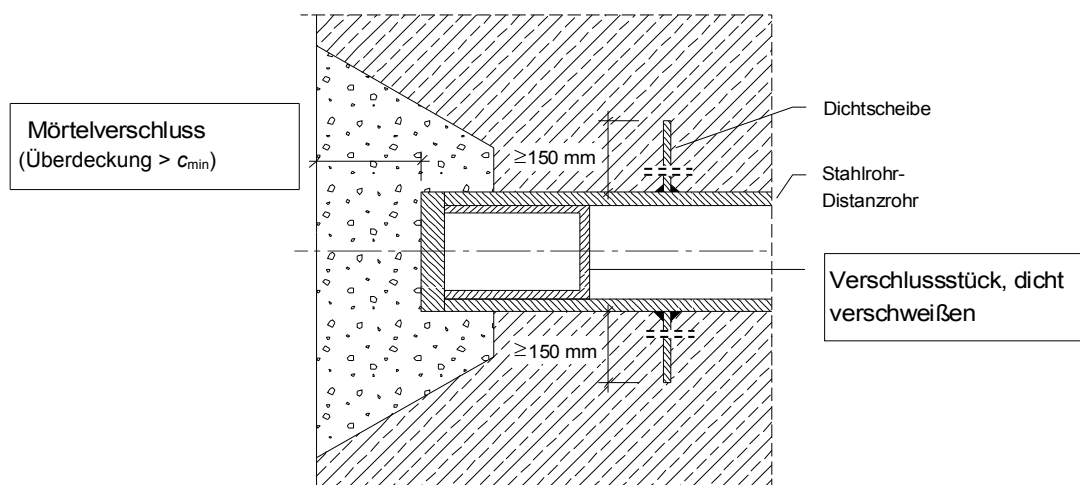


Bild 1-13 – Beispiel für die Ausbildung eines Distanzrohres mit Innendichtung

7.4.3 Abstandhalter zur Sicherung der Betondeckung

(1) Es müssen Abstandhalter (z. B. nach DBV-Merkblatt „Abstandhalter“) verwendet werden, die medienbeständig sind und die Medienundurchlässigkeit des Bauwerks örtlich nicht beeinträchtigen.

(2) Eine Umläufigkeit entlang der Abstandhalter ist zu vermeiden.

7.4.4 Bauablauf, Betonierabschnitte

(1) Alle für die Ausführung wichtigen Angaben, insbesondere Betonzusammensetzung, Betonierabschnitte, Lage und Ausbildung von Arbeitsfugen, Betonierfolge, Einbau- und Verdichtungsmaßnahmen, besondere Maßnahmen zur Verringerung der Hydratationswärmeentwicklung sowie Nachbehandlung sind in Abstimmung mit den planerischen Vorgaben (einschließlich Ausführungszeichnungen) in einem Bauablaufplan festzulegen.

(2) Bei der Bauausführung ist besonders folgendes zu beachten:

- Der gelieferte Beton muss den Planvorgaben entsprechen.
- Für Transportbeton sind Lieferscheine mit Ausdruck der Istmengen der Betonzusammensetzung vorgeschrieben.
- Es ist sicherzustellen, dass bei Ausfall einzelner Geräte die Betonierarbeiten zügig weitergeführt werden können, gegebenenfalls durch Vorhaltung von zusätzlichen Geräten.

7.4.5 Betoneinbau und -verdichtung

(1) Beton ist stetig einzubringen und vollständig zu verdichten. Der Anschluss an vorhergehende Schichten muss innerhalb der Verarbeitungszeit durch Nachverdichten geschehen.

(2) Entmischen des Betons ist durch geeignete Maßnahmen (z. B. Fallrohre) zu verhindern.

(3) Die Oberseiten von Ableitflächen sind zusätzlich mit Rüttelbohlen eben abziehen und gegebenenfalls zu vakuumieren.

(4) Um die Bewehrung einwandfrei mit Beton zu umhüllen, ist insbesondere der Beton plattenförmiger Bauteile nachzuverdichten.

7.4.6 Nachbehandlung

(1) Für die Nachbehandlung und den Schutz der Betonbauteile gilt DIN 1045-3. Die Nachbehandlung der Bauteile muss mindestens so lange durchgeführt werden, bis der Beton im Bauteil 70 % seiner charakteristischen Festigkeit erreicht hat, jedoch nicht weniger als 7 Tage. Die Nachbehandlung muss nachweislich eine Wasserrückhaltung bewirken, die mindestens der Nachbehandlung einer dicht anliegenden 0,3 mm dicken Folie entspricht.

(2) Chemische Nachbehandlungsmittel sind nur ergänzend zu Absatz (1) für horizontale Flächen zugelassen.

7.4.7 Kontrollprüfungen

Betonprüfungen am fertigen Bauwerk dürfen die Dichtfunktion nicht beeinträchtigen.

7.5 Bautechnische Unterlagen

(1) Die tatsächliche Bauausführung und die Übereinstimmung mit dem Bauablaufplan ist zu dokumentieren (Soll-Ist-Vergleich). Die bautechnischen Unterlagen (Tabelle 1-7) werden Teil der Gesamtdokumentation der Anlage.

(2) Die sich aus den bautechnischen Unterlagen ergebenden Informationen für die Überwachung der Anlage durch den Sachverständigen und der Zeitpunkt wiederkehrender Prüfungen sind in einer Prüfanleitung als Teil der Gesamtdokumentation niederzulegen.

(3) Die für den Betreiber der Anlage zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen notwendigen Informationen für die ständige Sicherstellung der ordnungsgemäßen Beschaffenheit des Betonbauteiles sind in einer Betriebsanweisung aufzunehmen, die Bestandteil der nach VAUwS bzw. TRwS 779 notwendigen Betriebsanweisung sein kann.

**Tabelle 1-7 – Zusammenstellung der wesentlichen bautechnischen Unterlagen
für Betonbauwerke in Bezug auf die Dichtfunktion**

1	2	3
Planung	Bauausführung	Überwachung, Kontrolle
Medienliste	Nachweis Fachbetrieb gemäß Abschnitt 8	Baugrundabnahme
Beaufschlagungsmenge		Kontrolle des verdichteten Planums
Beaufschlagungsdauer	Betonierpläne/Betonieranweisungen	– Proctorversuch
Baugrundbeurteilung	Dokumentation zum Betonierablauf	– Lastplattenversuch
Bemessungsgrundlagen	– Beginn/Ende	– gegebenenfalls weitere
Einwirkungen	– Temperatur (max./min.)	Kontrolle des Unterbetons
– physikalisch	– Witterungsbedingungen	Kontrolle der Gleitschicht
– chemisch	– Wartezeiten/Unterbrechungen	Kontrolle der Bewehrung
– thermisch	– Ausschalzeitpunkt	Kontrolle der Fugenausbildung
– mechanisch	– gegebenenfalls weitere	
Verwendbarkeitsnachweise	Lieferscheine (z. B. Transportbeton)	Überwachung gemäß Überwachungsklasse 2 nach DIN 1045-3
– Baustoffe	Nachbehandlung	– Benennung der ständigen Prüfstelle
– Bauteile (z. B. Zulassung)	– Art	– Überwachungsbericht nach DIN 1045-3, Anhang C
– Einbauteile	– Dauer	
Nachweise der Dichtkonstruktion	– Randbedingungen (Witterung, Temperatur, Windeinflüsse, Störungen)	Kontrolle der fertigen Betonfläche
Ausführungsunterlagen	– besondere Maßnahmen (z. B. Frostschutz)	– Kontrolle auf Lunker
Prüfliste nach Abschnitt 8		– Fehlstellen
		– Rissbreiten
		– Haftzugfestigkeit
		Ergebnisse der Überwachung
		Dokumentation von Rissbildern
		Ergebnisse eventueller Kontrolluntersuchungen
		– Füllprobe mit Wasser
		– Nahtprüfungen bei Auskleidungen
		– gegebenenfalls weitere Untersuchungen
		Dokumentation eventueller Zusatzmaßnahmen
		– Rissabdichtungen
		– Fehlstellenverschluss
		– gegebenenfalls weitere Zusatzmaßnahmen:
		– Beschichtungen
		– Auskleidungen

8 Überwachung und Konzept für den Beaufschlagungsfall

8.1 Planung

(1) Die Planungsunterlagen zur Errichtung und Instandsetzung eines Bauwerkes nach dieser Richtlinie sind durch einen Tragwerksplaner in prüffähiger Form zu verfassen. Die Planung ist mit dem Sachverständigen nach VAUwS abzustimmen.

(2) Die Dichtheit und die Standsicherheit der baulichen Anlage und ihrer Bauteile sind übersichtlich und prüfbar nachzuweisen.

(3) Im Rahmen der Planung ist eine Liste zu überprüfender Aspekte zu erstellen für

- Prüfungen während der Bauausführung,
- Erstprüfungen nach Fertigstellung,
- wiederkehrende Prüfungen.

Prüfungsumfang und Prüfintervalle sind im Einzelnen unter Berücksichtigung von Abschnitt 8.4.1 anzugeben.

8.2 Bauausführung

(1) Die Bauausführung muss durch Betriebe vorgenommen werden, die für diese Tätigkeiten Fachbetrieb im Sinne der VAUwS sind und die hierfür über die entsprechende Fachkunde und Zuverlässigkeit (einschließlich ihrer Fachkräfte) sowie die gerätetechnische Ausstattung verfügen.

(2) Die Baustelle ist gemäß DIN 1045-3 zu überwachen.

(3) Der bauausführende Fachbetrieb gemäß Absatz (1) muss die Bauausführung insbesondere auch in allen hinsichtlich der Dichtheit wichtigen Aspekten dokumentieren. Dabei sind die gemäß Abschnitt 8.1 (3) formulierten Forderungen einzuhalten.

(4) Bezüglich der verwendeten Baustoffe und der Bauteile ist der Nachweis der Verwendbarkeit gemäß Teil 1, Teil 2 und Teil 3 dieser Richtlinie zu erbringen und zu dokumentieren.

(5) Die Bauausführung ist nach Maßgabe von Abschnitt 8.1 (3) zu überwachen. Dabei sind alle dichtheitsrelevanten Punkte zu kontrollieren. Die Prüfungsergebnisse sind zu dokumentieren.

8.3 Instandsetzung

(1) Instandsetzungsarbeiten dürfen nur Fachbetriebe gemäß Abschnitt 8.2 (1) ausführen, die zusätzlich auch Anforderungen der DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen hinsichtlich Personal, Prüfung und Überwachung sowie Geräteausstattung erfüllen.

(2) Die Instandsetzungsmaßnahmen sind zu dokumentieren.

(3) Sofern sich aus der Instandsetzung (Nachweise/Konstruktion/Ausführung) eine Änderung/Ergänzung der Prüfliste ergibt, ist diese entsprechend zu modifizieren.

8.4 Überwachung der baulichen Anlagen

8.4.1 Überwachung durch den Betreiber

(1) Der Betreiber der Anlage hat die nach dieser Richtlinie ausgeführten baulichen Anlagen ständig unter Berücksichtigung der Bestimmungen der DWA-Arbeitsblätter TRwS 779, TRwS 786 bzw. TRwS 781 bis TRwS 784 zu überwachen und mindestens einmal jährlich zu überprüfen. Darüber hinaus muss der Betreiber die im jeweiligen Verwendbarkeitsnachweis genannten Bestimmungen für die Überwachung der Bauprodukte, Bauarten bzw. Bausätze in LAU-Anlagen berücksichtigen.

(2) Werden bei der Prüfung Abweichungen gegenüber dem Sollzustand festgestellt, so sind Instandsetzungsmaßnahmen festzulegen und unverzüglich einzuleiten.

(3) Untersuchungsergebnisse und gegebenenfalls Instandsetzungsmaßnahmen sind zu dokumentieren und dem Sachverständigen vorzulegen.

(4) Sofern aufgrund der Überwachung bzw. eventueller Instandsetzungsmaßnahmen eine Veränderung der Prüfliste notwendig wird, ist diese unverzüglich zu modifizieren.

8.4.2 Überwachung durch den Sachverständigen

(1) Die baulichen Anlagen sind nach Maßgabe der Prüfanleitung in Abschnitt 7.5 (2) während der Ausführung, vor Inbetriebnahme und wiederkehrend durch den Sachverständigen nach VAUwS zu überwachen. Die Überwachungsmaßnahmen sind zu dokumentieren.

(2) Ist das Bauwerk/-teil ohne Beanstandung, so kann der Zeitraum bis zur nächsten Überwachung auf Vorschlag des Sachverständigen in Abhängigkeit vom Gesamtzustand der Anlage und der Bedeutung auf bis zu 5 Jahren festgelegt werden, es sei denn die wasserrechtlichen Regelungen für den Einzelfall bestimmen etwas anderes.

(3) Die Vorgaben des Tragwerkplaners hinsichtlich der Prüfungen können vom Sachverständigen erforderlichenfalls angepasst werden. Eine Reduktion des Prüfumfangs muss dem Tragwerkplaner zur Stellungnahme zugeleitet werden.

(4) Werden bei der Prüfung Abweichungen gegenüber dem Sollzustand festgestellt, so sind Instandsetzungsmaßnahmen gemäß den Bestimmungen des Teil 3 dieser Richtlinie festzulegen und unverzüglich einzuleiten.

(5) Nach jeder wesentlichen Instandsetzung hat der Betreiber der baulichen Anlage, bevor die Anlage wieder in Betrieb genommen wird, die Überprüfung des ordnungsgemäßen Zustandes der Anlage durch Sachverständige zu veranlassen. Dem Sachverständigen nach Wasserrecht sind die Bauzustandsbegutachtung, das Instandsetzungskonzept und die Ausführungsdokumentation zur Verfügung zu stellen.

8.4.3 Dokumentation

Die nach den Abschnitten 8.1 bis 8.4 erstellten Dokumentationen über die Bauausführung, die Prüfungen und die Instandsetzungen sowie die Überwachungsergebnisse sind vom Betreiber der Anlage dauerhaft aufzubewahren.

8.5 Konzept für den Beaufschlagungsfall

(1) Der Betreiber der Anlage hat ein Konzept für den Beaufschlagungsfall zu erstellen. Dabei geht es sowohl um die wasserrechtlichen Anforderungen als auch um die Folgen für den Betrieb.

(2) In diesem Konzept sind insbesondere folgende Maßnahmen/Gegebenheiten zu erläutern:

- a) Infrastrukturelle Situation (Art der Erkennung und Bewältigung eines Beaufschlagungsfalles, Verantwortlichkeiten, Kontrollen, Kommunikationswege...);
- b) Maßnahmen zur Bewältigung eines Beaufschlagungsfalles, einschließlich Beurteilung der Notwendigkeit und Art einer Dekontamination;
- c) Zeitdauer zwischen Eintritt des Beaufschlagungsfalles und Beseitigung des wassergefährdenden Stoffes;
- d) Art, Menge und Temperatur der wassergefährdenden Stoffe, mit denen im Beaufschlagungsfall zu rechnen ist.

(3) Das Konzept für den Beaufschlagungsfall ist innerhalb der Inbetriebnahmeprüfung vom Sachverständigen zu prüfen und gegebenenfalls aufgrund von Überwachungsergebnissen zu modifizieren.

(4) Das Konzept für den Beaufschlagungsfall ist den verantwortlichen Personen, d. h. insbesondere auch dem Tragwerksplaner zu Beginn der Planung zur Verfügung zu stellen.

(5) Das Konzept für den Beaufschlagungsfall ist Bestandteil des Prüfberichts des Sachverständigen.

Normen, Richtlinien und andere Unterlagen

Diese Richtlinie enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Richtlinie, wenn sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

DIN 1045-2, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1*

DIN 1045-3, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung;*

DIN 1045-4, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen*

DIN 4030-1, *Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase; Grundlagen und Grenzwerte*

DIN 18202, *Toleranzen im Hochbau, Bauwerke*

DIN 52131, *Bitumen-Schweißbahnen; Begriffe, Bezeichnung, Anforderungen*

DIN EN 206-1, *Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

DIN EN 571-1, *Zerstörungsfreie Prüfung – Eindringprüfung – Teil 1: Allgemeine Grundlagen*

DIN EN 1990, *Grundlagen der Tragwerksplanung*

DIN EN 1991, *Einwirkungen auf Tragwerke (Normenreihe) mit den zugehörigen Nationalen Anhängen*

DIN EN 1992-1-1, *Eurocode 2, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

DIN EN 1992-1-1/NA, *Nationaler Anhang/National festgelegte Parameter/Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

DIN EN 13670, *Ausführung von Tragwerken aus Beton*

DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“

DAfStb-Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“

DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“

DIN Fachbericht 101, *Einwirkungen auf Brücken*

Zulassungsgrundsätze des DIBt für „Fugenabdichtungssysteme in Anlagen aus Beton zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe (LAU-Anlagen)“, Teile 1 und 2

Prüfprogramm des DIBt für aufgeklebte Fugenbänder zur Verwendung in LAU-Anlagen, DIBt

Zulassungsgrundsätze des DIBt für Beschichtungssysteme auf Beton in LAU-Anlagen, DIBt

Zulassungsgrundsätze des DIBt für Dichtungsbahnen in LAU-Anlagen, DIBt

Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG)

Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, VAUwS

DBV-Merkblatt Abstandhalter. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.

DBV-Merkblatt Betondeckung und Bewehrung. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.

Prüfung von Beton; Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048. Berlin: Beuth. – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Nr. 422

Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Zweiter Sachstandsbericht mit Beispielsammlung. Berlin: Beuth. – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton Nr. 519

Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA. Berlin: Beuth. – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Nr. 600

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Betonbau beim Umgang
mit wassergefährdenden Stoffen (BUmwS)

Teil 2: Baustoffe und Einwirken von wassergefährdenden Stoffen

Teil 2: Baustoffe und Einwirken von wassergefährdenden Stoffen

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorbemerkung	35
1 Anwendungsbereich	35
2 Begriffe	35
3 Anforderungen	35
3.1 Beton	35
3.1.1 Flüssigkeitsdichter Beton (FD-Beton)	35
3.1.2 Flüssigkeitsdichter Beton nach Eindringprüfung (FDE-Beton)	36
3.1.3 Flüssigkeitsdichte nichttragende Dichtschicht nach Eindringprüfung (nichttragende FDE-Dichtschicht)	36
3.2 Bewehrungsstahl und Hüllrohre	37
3.3 Stahlfasern	37
3.4 Fugenabdichtungen	37
3.5 Rissinjektionen	37
3.6 Beschichtungssysteme und Auskleidungen aus Dichtungsbahnen für besondere Beanspruchungen	37
4 Rechenwerte für die Bemessung von Beton bei Einwirkung wassergefährdender Stoffe	38
4.1 Allgemeines	38
4.2 Eindringen von nicht betonangreifenden wassergefährdenden Stoffen in ungerissenen Beton	38
4.2.1 Physikalische Grundlagen	38
4.2.2 Eindringtiefen für die Bemessung bei einmaliger zeitlich begrenzter Beaufschlagung	39
4.2.3 Eindringtiefen für die Bemessung bei intermittierender Beaufschlagung	40
4.3 Eindringen von chemisch angreifenden wassergefährdenden Stoffen in ungerissenen Beton	40
4.3.1 Chemische Grundlagen	40
4.3.2 Schädigungstiefen für die Bemessung	41
4.4 Eindringen von nicht betonangreifenden wassergefährdenden Stoffen in gerissenen Beton	41
4.4.1 Betonbauteile mit durchgehenden Rissen	41
4.4.2 Betonbauteile mit durchgehenden überdrückten Rissen	41
4.5 Eindringen von chemisch angreifenden wassergefährdenden Stoffen in gerissenen Beton	43
4.6 Eindringen von wassergefährdenden Stoffen bei zusätzlichem mechanischen Angriff (Verschleiß)	43
Normen, Richtlinien und andere Unterlagen	44
Anlage:	
Tabelle 2-2: Physikalische Kennwerte einiger wassergefährdender Stoffe bei 20 °C	46

Vorbemerkung

(siehe Teil 1)

1 Anwendungsbereich

Teil 2 dieser Richtlinie enthält Anforderungen an Baustoffe für Bauteile nach Teil 1 dieser Richtlinie, Rechenwerte für die Bemessung sowie Angaben zum Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in Beton und zur Schädigung von Beton bei chemischem Angriff.

2 Begriffe

Begriffe sind im Teil 1 dieser Richtlinie erläutert.

3 Anforderungen

3.1 Beton

3.1.1 Flüssigkeitsdichter Beton (FD-Beton)

(1) FD-Beton muss die Anforderungen an Normalbeton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 erfüllen.

(2) FD-Beton muss einen äquivalenten Wasserzementwert $(w/z)_{eq} \leq 0,50$ aufweisen. Der Beton muss der Festigkeitsklasse $\geq C 30/37$ entsprechen.

(3) Folgende Zemente gemäß der Normenreihe DIN EN 197-1, DIN EN 197-4 sowie der Normenreihe DIN 1164 dürfen verwendet werden: CEM I, CEM II-S, CEM II/A-D, CEM II/A-P, CEM II-V, CEM II-T, CEM II/A-LL, CEM III/A, CEM III/B sowie CEM II-M Zemente, die sich aus Kombinationen der vorbenannten weiteren Hauptbestandteile S, D, P, V, T, LL zusammensetzen (A/S-D, A/S-P, A/S-V, A/S-T, A/S-LL, A/D-P, A/D-V, A/D-T, A/D-LL, A/T-LL, A/P-V, A/P-T, A/P-LL, A/V-T, A/V-LL, B/S-D, B/S-T, B/D-T, B/S-V, B/D-V, B/V-T) und solche mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung.

(4) Es sind Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 gemäß DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, Abschnitt 5.2.3, zu verwenden. Für Bauteile, die mit starken Säuren beaufschlagt werden können, ist unlösliche Gesteinskörnung einzusetzen. Das Größtkorn beträgt $16 \text{ mm} \leq D_{\max} \leq 32 \text{ mm}$. Die Sieblinie sollte im Bereich A/B nach DIN 1045-2 liegen.

(5) Flugasche nach DIN EN 450-1 und Silikastaub nach DIN EN 13263-1 dürfen gemäß DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, Abschnitt 5.2.5, eingesetzt werden. Der äquivalente Wasserzementwert muss $(w/z)_{eq} \leq 0,50$ betragen.

(6) Polymerdispersionen, soweit ihre Anwendung für Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 zugelassen ist, dürfen verwendet werden. Bei der Ermittlung des Wasserzementwertes ist der Kunststoffzusatz (Feststoff- und Flüssiganteil) vollständig zu berücksichtigen. Die chemische Beständigkeit des kunststoffmodifizierten Betons gegenüber den im Bauwerk einwirkenden wassergefährdenden Stoffen ist erforderlichenfalls anhand der Druckfestigkeit von Bohrkernen nach Anhang A, Abschnitt A.4, nachzuweisen. Dabei werden je drei 28 Tage alte Bohrkern in Luft, in Wasser und im wassergefährdenden Stoff weitere 28 Tage gelagert. Der Nachweis gilt als erbracht, wenn die mittlere Druckfestigkeit der im wassergefährdenden Stoff und der in Wasser gelagerten Probekörper mindestens 85 % der mittleren Druckfestigkeit der in Luft gelagerten Probekörper beträgt.

(7) FD-Beton darf auch als LP-Beton mit künstlichem Luftporengehalt nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 hergestellt werden. Die dem Dichtheitsnachweis nach Teil 1 zugrundegelegte Betondruckfestigkeitsklasse ist einzuhalten.

(8) Restwasser darf gemäß DIN EN 1008 eingesetzt werden. Durch entsprechende Eignungsprüfungen und Maßnahmen während der Herstellung ist insbesondere sicherzustellen, dass auch in diesem Fall

- der Wasserzementwert nach Absatz (2) eingehalten wird und
- der Mehlkorngesamt sowie die Konsistenz den Werten des Ausgangsbetons entsprechen.

(9) Um das Schwinden und die Hydratationswärme gering zu halten, darf das Leimvolumen, bestehend aus dem Volumen des Zementes, dem Volumen der auf den äquivalenten Wasserzementwert anrechenbaren Zusatzstoffmenge und dem Volumen des Wassers, 290 l/m^3 nicht überschreiten.

(10) Der Beton darf nicht zum Absondern von Wasser (Bluten) oder zum Entmischen neigen. Er muss vollständig verdichtbar sein. Der Beton sollte beim Einbauen die Konsistenz F3 aufweisen. Weichere Konsistenzen dürfen verwendet werden, wenn nachgewiesen wird, dass Entmischungen unter den gegebenen Einbaubedingungen sicher vermieden werden.

3.1.2 Flüssigkeitsdichter Beton nach Eindringprüfung (FDE-Beton)

(1) FDE-Beton muss die Anforderungen an Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 erfüllen.

(2) FDE-Beton muss einen äquivalenten Wasserzementwert $(w/z)_{eq} \leq 0,50$ aufweisen.

(3) Betone, die nicht in allen Punkten Abschnitt 3.1.1, Absatz (3) bis Absatz (7) entsprechen, können als FDE-Beton ebenfalls für Barrieren im Rahmen dieser Richtlinie wie FD-Beton eingesetzt werden, wenn die Eindringtiefen e_{72m} wassergefährdender Stoffe nicht größer sind als für FD-Beton nach Abschnitt 3.1.1.

(4) Diese Mindestanforderung an FDE-Beton gilt als erfüllt, wenn die Eindringtiefen für n-Hexan und Di-Chlormethan (Tabelle 2-1) nicht größer sind als für FD-Beton, siehe Abschnitt 4.2.2, Absatz (4).

(5) Soll für FDE-Beton ein größerer Eindringwiderstand nachgewiesen werden als für FD-Beton nach Abschnitt 3.1.1, so sind Eindringprüfungen mit den entsprechenden wassergefährdenden Stoffen im Vergleich zum FD-Beton durchzuführen. Soll allgemein ein größerer Eindringwiderstand als für FD-Beton nachgewiesen werden, so sind Eindringprüfungen mit den beiden wassergefährdenden Referenzstoffen n-Hexan und Di-Chlormethan durchzuführen, siehe Abschnitt 4.2.2, Absatz (7).

(6) Auch für FDE-Beton ist das Größtkorn auf $D_{max} \leq 32 \text{ mm}$ begrenzt.

(7) Zementgebundene Betone mit organischen oder anorganischen Zusatzstoffen, mit Fasern, mit Größtkorn kleiner als 8 mm usw., die nicht DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 entsprechen, dürfen nur dann als mittragend angesetzt werden, wenn sie für eine Verwendung in Bauwerken nach EC 2-1-1/DIN EN 206-1/DIN 1045 zugelassen sind.

(8) FDE-Beton mit Faserzusatz muss mit Fasern die Dichtheitsanforderungen erfüllen. Bei einem Nachweis der Dichtheit der Konstruktion unter Berücksichtigung von Rissen ist die mechanische und erforderlichenfalls die chemische Beständigkeit der Fasern im Riss in Anlehnung an Anhang A, Abschnitt A.6, nachzuweisen. Sie gilt als erfüllt, wenn der Widerstandsgrad nach Anhang A, Abschnitt A.6, $\xi \geq 0,80$ beträgt.

3.1.3 Flüssigkeitsdichte nichttragende Dichtschicht nach Eindringprüfung (nichttragende FDE-Dichtschicht)

(1) Nichttragende Dichtschichten müssen ein erhöhtes Dehnvermögen aufweisen, ohne undicht zu werden. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn für die einwirkenden wassergefährdenden Stoffe in der Dichtheitsprüfung nach Anhang A, Abschnitt A.6 und der Auswertung nach Abschnitt 4.2, die Eindringtiefe $e_{72m} \leq h/2$ ist.

(2) Für Dichtschichten aus Faserbeton sind die Eignung der verwendeten Fasern und die Fließfähigkeit des Zementmörtels im Fasergerüst immer über baupraktische Versuche zu ermitteln. Der Volumenanteil der Fasern am Gesamtvolumen des Betons sollte $\geq 10 \text{ Vol.-%}$ (Richtwert) sein. Der Wasserzementwert des Zementmörtels muss $w/z < 0,45$ betragen. Es sollten Zemente der Festigkeitsklasse $\geq \text{CEM } 42,5$ eingesetzt werden. Der Größtkorndurchmesser der verwendeten Gesteinskörnung sollte $\leq 2 \text{ mm}$ sein. Die Dicke h dieser Dichtschicht muss mindestens 50 mm betragen. Die mittlere Biegezugfestigkeit nach Anhang A, Abschnitt A.1.2, muss $f_{ctm,fl} \geq 25 \text{ N/mm}^2$ sein. Die chemische Beständigkeit der Fasern gegenüber den einwirkenden wassergefährdenden Stoffen muss erforderlichenfalls nachgewiesen werden. Sie gilt als erfüllt, wenn der Widerstandsgrad nach Anhang A, Abschnitt A.7, $\xi \geq 0,80$ beträgt.

3.2 Bewehrungsstahl und Hüllrohre

Es dürfen nur Betonstahl nach der Normenreihe DIN 488, Spannstahl nach Zulassung und Hüllrohre nach DIN EN 523 verwendet werden. Wenn mit dem Eindringen stahlangreifender Stoffe gerechnet werden muss, sind erforderlichenfalls besondere Maßnahmen zum Schutz der Bewehrung und der Hüllrohre zu ergreifen. Hierbei ist gegebenenfalls auch die dauernde Einwirkung korrosionsfördernder Stoffe nach einer Beaufschlagung zu berücksichtigen, wenn die Bauteile weiter genutzt werden.

3.3 Stahlfasern

(1) Stahlfasern nach DIN EN 14889-1 dürfen gemäß DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, Abschnitt 5.1.7, eingesetzt werden.

(2) Bei der Verwendung von Stahlfasern ist die DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ zu beachten.

3.4 Fugenabdichtungen

(1) Fugenbänder, Fugendichtstoffe und Fugenbleche müssen Bauteilbewegungen schadlos überstehen und während einer möglichen chemischen Einwirkung beständig und dicht sein.

(2) Für Fugendichtstoffe und Fugenbänder, die in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe eingesetzt werden (LAU-Anlagen), ergibt sich die Verwendbarkeit aus der Übereinstimmung mit dem dafür maßgebenden baurechtlichen Verwendbarkeitsnachweis (z. B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassung), in dem neben den bauaufsichtlichen Anforderungen auch die wasserrechtlichen Kriterien berücksichtigt sind.

(3) Bei Fugenbändern und Fugendichtstoffen, die in Anlagen zum Herstellen, Behandeln und Verwenden wassergefährdender Stoffe eingesetzt werden (HBV-Anlagen), sind gegebenenfalls zusätzliche Beanspruchungen bezogen auf das jeweilige Objekt zu berücksichtigen.

(4) Für Fugenbleche, die in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe eingesetzt werden (LAU-Anlagen), ergibt sich die Verwendbarkeit aus der Übereinstimmung mit der technischen Regel gemäß Bauregelliste A, Teil 1.

(5) Für einbetonierte Fugenbleche ist fettfreier, unbeschichteter, legierter oder unlegierter Bandstahl gemäß DIN EN 10051 oder erforderlichenfalls warm oder kalt gewalzter nichtrostender Stahl gemäß DIN EN ISO 9444-2 (Werkst. Nr. 1.4571 gemäß DIN EN 10088-2) zu verwenden. Für die Beständigkeit der einbetonierten Fugenbleche gegen Flüssigkeiten gilt z. B. DIN 6601.

3.5 Rissinjektionen

(1) Für Injektionssysteme (Rissfüllstoff, Injektionsschlauchsystem und Verpressgerät) die in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe eingesetzt werden (LAU-Anlagen), ergibt sich die Verwendbarkeit aus der Übereinstimmung mit der jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, in welcher neben den bauaufsichtlichen Anforderungen auch die wasserrechtlichen Kriterien berücksichtigt sind.

(2) Als Füllstoffe für die Injektion von Rissen sind Epoxidharze, Polyurethane, Zementleime oder Zementsuspensionen geeignet, die die Anforderungen des DIBt-Prüfprogramms „Produkte und Systeme zur Instandsetzung von Betonbauteilen in LAU-Anlagen“ unter Berücksichtigung der Anforderungen der DIN EN 1504-5:2005-03, DIN V 18028:2006-06 und der Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb erfüllen.

(3) Bei Injektionssystemen (Rissfüllstoff, Injektionsschlauchsystem und Verpressgerät), die in HBV-Anlagen eingesetzt werden, sind gegebenenfalls zusätzliche Beanspruchungen bezogen auf das jeweilige Objekt zu berücksichtigen.

3.6 Beschichtungssysteme und Auskleidungen aus Dichtungsbahnen für besondere Beanspruchungen

(1) Beschichtungssysteme und Auskleidungen aus Dichtungsbahnen müssen die Anforderungen des Deutschen Instituts für Bautechnik erfüllen, die in den entsprechenden Zulassungsgrundsätzen festgelegt sind. Dabei ist zu beachten, dass für den Einbau von Beschichtungssystemen und Auskleidungen in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise erforderlich sind, z. B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen.

(2) Bei Beschichtungssystemen und Auskleidungen aus Dichtungsbahnen, die in Anlagen zum Herstellen, Behandeln und Verwenden wassergefährdender Stoffe eingesetzt werden (HBV-Anlagen), sind gegebenenfalls zusätzliche Beanspruchungen bezogen auf das jeweilige Objekt zu berücksichtigen. Für zusätzliche Informationen können die Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb und die DIN EN 14879, Teile 3 und 5, herangezogen werden.

4 Rechenwerte für die Bemessung von Beton bei Einwirkung wassergefährdender Stoffe

4.1 Allgemeines

(1) Beim Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in Beton werden folgende vier Fälle unterschieden:

- a) Eindringen in ungerissenen Beton ohne chemischen / mechanischen Angriff,
- b) Eindringen in ungerissenen Beton mit chemischem / mechanischem Angriff,
- c) Eindringen in gerissenen Beton ohne chemischen Angriff,
- d) Eindringen in gerissenen Beton mit chemischem Angriff.

(2) Beton mit injizierten Rissen muss die Eigenschaften von ungerissenem Beton aufweisen und ist deshalb prüftechnisch den Fällen a) und b) zuzuordnen.

(3) Für Fall a) wird die Eindringtiefe e_{tk} nach Abschnitt 4.2 ermittelt.

(4) Im Fall b) wird der Beton bis in eine Tiefe

- s_{Ct} = Schädigungstiefe durch chemische Angriffe bzw.
- s_{Vt} = Schädigungstiefe durch Verschleiß

geschädigt, siehe Abschnitte 4.3 und 4.6.

(5) Für Betonbauteile nach Fall c) mit Rissen infolge einseitiger Biegung darf die rechnerische Druckzonenhöhe als ungerissene Bauteilhöhe bei der Bemessung berücksichtigt werden. Dabei ist es gleichgültig, ob der Biegeriss auf der Oberseite oder Unterseite des Bauteils liegt. Die Ermittlung der Eindringtiefe in die Betondruckzone erfolgt in diesem Fall sinngemäß nach Abschnitt 4.2. Für durchgehende überdrückte Risse wird die Eindringtiefe e_{wtk} nach Abschnitt 4.4 ermittelt.

(6) Im Fall d) tritt eine Reaktion mit dem Beton ein, die bei unlöslichen Reaktionsprodukten und geringen Mengen des wassergefährdenden Stoffes zu einer Selbstabdichtung des Risses führen kann. Ebenso kann jedoch der Riss bei löslichen Reaktionsprodukten und großen Mengen des wassergefährdenden Stoffes erweitert und damit zunehmend durchlässiger werden. Dieser Fall muss objektbezogen behandelt werden und wird in der Richtlinie nicht geregelt.

(7) Betonbauteile mit nicht durchgehenden Rissen (Biegerisse infolge einseitiger Biegung) können hinsichtlich eines chemischen Angriffs wie ungerissene Bauteile behandelt werden, s. Abschnitt 4.3. Mögliche korrosionsfördernde Einflüsse auf die Bewehrung sind zu berücksichtigen, insbesondere wenn das Bauteil nach der Beaufschlagung weiter verwendet werden soll.

4.2 Eindringen von nicht betonangreifenden wassergefährdenden Stoffen in ungerissenen Beton

4.2.1 Physikalische Grundlagen

(1) Das Eindringen nicht betonangreifender wassergefährdender Stoffe in Beton erfolgt überwiegend infolge von Kapillarkräften. Der zeitabhängige Eindringverlauf darf durch Gleichung (2-1) beschrieben werden:

$$e_t = B_e \cdot \sqrt{t} \quad (\text{mm}) \quad (2-1)$$

Dabei ist

- B_e Mittelwert des Eindringkoeffizienten in $\text{mm}/\sqrt{\text{h}}$, abhängig von den Eigenschaften des Betons (z. B. Porenradien), des wassergefährdenden Stoffes (z. B. dynamische Viskosität, Oberflächenspannung) und von ihrem Zusammenwirken (z. B. Randwinkel);
- t Zeitdauer der Beaufschlagung in Stunden.

(2) Für einen bestimmten Beton und einen bestimmten wassergefährdenden Stoff ergibt sich aus Gleichung (2-2) die Möglichkeit, die zeitabhängige Eindringtiefe zu extrapolieren:

$$e_{t2} = e_{t1} \cdot \sqrt{\frac{t_2}{t_1}} \quad (2-2)$$

Der zulässige Zeitrahmen wird im Abschnitt 4.2.2 (11) und in Teil 1 dieser Richtlinie, Abschnitt 4.1, genannt.

4.2.2 Eindringtiefen für die Bemessung bei einmaliger zeitlich begrenzter Beaufschlagung

(1) Die in den Gleichungen (2-1) und (2-2) angegebene Eindringtiefe e_t ist prüftechnisch identisch mit der mittleren Eindringtiefe e_{tm} (s. Anhang A, Abschnitt A.2).

(2) Die für die Bemessung maßgebliche „charakteristische“ Eindringtiefe e_{tk} ist definiert als:

$$e_{tk} = e_{tm} \cdot 1,35 \quad (2-3)$$

(3) Im Allgemeinen liegt der Bemessung die charakteristische Eindringtiefe über eine Beaufschlagungsdauer von 72 Stunden, d. h. e_{72k} , zugrunde.

(4) Für FD-Beton nach Abschnitt 3.1.1 darf die Eindringtiefe e_{72m} folgendermaßen bestimmt werden:

- Die Eindringtiefe e_{72m} darf ohne Prüfung näherungsweise Bild 2-1, entsprechend den physikalischen Eigenschaften des wassergefährdenden Stoffes, entnommen werden (siehe auch Anlage, Tabelle 2-2).
- Wenn die physikalischen Eigenschaften der wassergefährdenden Stoffe nicht bekannt sind, darf die Eindringtiefe e_{72m} mit 40 mm angesetzt werden.
- Durch Prüfung der Eindringtiefen für einzelne wassergefährdende Stoffe am Referenzbeton nach Anhang A, Abschnitt A.2, dürfen die Eindringtiefen e_{72m} gesondert ermittelt werden.

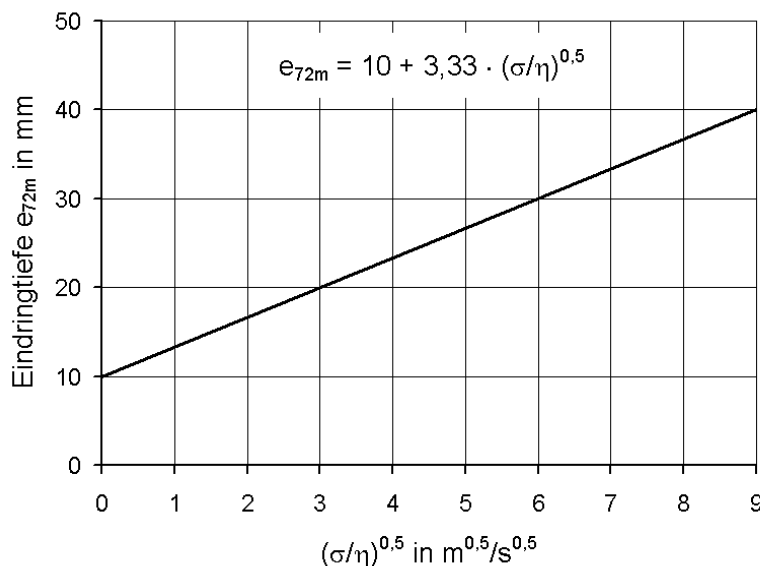


Bild 2-1 – Ermittlung der Eindringtiefe e_{72m} für FD-Beton in Abhängigkeit von σ und η
 σ Oberflächenspannung in mN/m
 η dynamische Viskosität in mN s/m²

(5) Die hier betrachteten Eindringtiefen e_{tm} gelten für einen Beton, dessen Austrocknungszustand durch die rd. zweimonatige Lagerung eines Bohrkerns \varnothing 80 bis 100 mm bei Normalklima 20/65 gekennzeichnet ist (Prüfung nach Anhang A, Abschnitt A.2). Es darf angenommen werden, dass dieser Austrocknungszustand in Bauteilen im Freien, im Freien unter Dach und in Bauteilen mit Bodenkontakt nicht unterschritten wird.

(6) FDE-Beton darf keine größeren Eindringtiefen aufweisen als FD-Beton. Dies ist in einem Parallelversuch am FDE-Beton und am FD-Referenzbeton nach Anhang A, Abschnitt A.2 und gegebenenfalls A.3, mit den wassergefährdenden Stoffen n-Hexan und Di-Chlormethan (Tabelle 2-1) nachzuweisen. Mit diesem Nachweis gilt ein FDE-Beton nach Abschnitt 3.1.2 als allgemein verwendbar, und zwar gleichwertig zu FD-Beton nach Abschnitt 3.1.1.

Tabelle 2-1 – Physikalische Kennwerte der wassergefährdenden Referenzstoffe

S	1	2
Z	wassergefährdender Stoff	$(\sigma/\eta)^{0,5}$
1	n-Hexan	7,83
2	Di-Chlormethan	7,97

(7) Für FDE-Beton darf eine neue Grenzlinie der Eindringtiefen in Abhängigkeit von den Eigenschaften des wassergefährdenden Stoffes von σ und η ermittelt werden, siehe Bild 2-1. Aus den mittleren Eindringtiefen e_{72m} sind für jeden wassergefährdenden Stoff die Verhältnisswerte in Prozent zwischen FDE-Beton zu FD-Beton zu bilden. Der Mittelwert aus diesen zwei Verhältnisswerten gibt die Lage der neuen Grenzlinie für den FDE-Beton in Prozent der Grenzlinie nach Bild 2-1 an.

(8) Eine entsprechende Grenzlinie darf unter Beachtung von Abschnitt 3.1.3 auch für nichttragende FDE-Dichtschichten hergestellt werden.

(9) Bei beheizten, geschlossenen Innenräumen darf ohne weiteren Nachweis angenommen werden, dass sich die Eindringtiefe e_{tm} nach Bild 2-1 bzw. im Vergleich zu den Versuchsergebnissen nach Anhang A, Abschnitt A.2, um 50 % vergrößert.

(10) Für alle flüssigkeitsdichten Betone ist es erlaubt, einen Prüfwert e_{tm} , der mit einem wassergefährdenden Stoff gewonnen wurde, der innerhalb einer homologen Reihe kleinere Moleküle aufweist, auch für entsprechende wassergefährdende Stoffe mit größeren Molekülen zu übernehmen (siehe auch Anlage, Tabelle 2-2).

(11) Für eine längere Beaufschlagungsdauer als 72 Stunden dürfen Prüfwerte e_{72m} unter sonst gleichen Randbedingungen bis zu einer Beaufschlagungsdauer von $t = 2880$ Stunden nach Gleichung (2-4) extrapoliert werden, siehe auch Teil 1 dieser Richtlinie:

$$e_{tm} = e_{72m} \cdot \sqrt{\frac{t}{72}} \quad (2-4)$$

4.2.3 Eindringtiefen für die Bemessung bei intermittierender Beaufschlagung

(1) Für die intermittierende Beaufschlagung mit konzentrierten organischen wassergefährdenden Stoffen, wie z. B. für Abfüllstellen, sind für die Bemessung äquivalente Beaufschlagungszeiten zu ermitteln. Anhaltswerte dafür sind in Teil 1 dieser Richtlinie, Abschnitt 4.1, zu finden.

(2) Für die wiederholte, zeitlich begrenzte Beaufschlagung mit Wasser vermischten wassergefährdenden Stoffen, wie bei Bunkern in Verbrennungsanlagen für feste Siedlungsabfälle mit vergleichbaren gewerblichen Abfällen, die in natürlich feuchten Böden oder im Grundwasser liegen, darf angenommen werden, dass die Eindringtiefe während der Nutzungsdauer stets $e_{tm} \leq 50$ mm ist.

4.3 Eindringen von chemisch angreifenden wassergefährdenden Stoffen in ungerissenen Beton

4.3.1 Chemische Grundlagen

(1) Chemisch angreifende wassergefährdende Stoffe wirken durch eine chemische Reaktion mit einzelnen Bestandteilen des Betons. Sie können das Gefüge des Betons innerhalb der Schädigungstiefe s_{ct} bis zum vollständigen Verlust der Festigkeit zerstören.

(2) Da es sich um einen zeitlich begrenzten, sehr starken chemischen Angriff handelt, gelten hier die Beurteilungskriterien von EC 2-1-1, DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 in Verbindung mit DIN 4030 nicht.

(3) Durch die chemische Reaktion dringen betonangreifende wassergefährdende Stoffe als solche weniger tief in Beton ein als nicht reaktive wassergefährdende Stoffe mit vergleichbaren physikalischen Eigenschaften. Als wassergefährdende Stoffe können nur die flüssigen Reaktionsprodukte weiter eindringen, also z. B. Salzlösungen.

4.3.2 Schädigungstiefen für die Bemessung

(1) Die Schädigungstiefe s_{Ctk} für die Bemessung ist in der Regel mit dem Prüfverfahren nach Anhang A, Abschnitt A.4, zu ermitteln.

(2) Für ruhende bis leicht bewegte Säuren beliebiger Konzentration darf die mittlere Schädigungstiefe für FD-Beton mit unlöslicher Gesteinskörnung innerhalb von 72 Stunden mit $s_{C72m} = 5$ mm angesetzt werden. Sie darf für ruhende wassergefährdende Stoffe bis zu 360 Stunden (15 Tagen) nach Gleichung (2-5) extrapoliert werden:

$$s_{Ctm} = s_{C72m} \cdot \sqrt{\frac{t}{72}} \quad (2-5)$$

(3) Diese Regelung darf ohne Prüfung auch für alle weiteren flüssigkeitsdichten Betone (siehe Abschnitt 3.1.2) übernommen werden, wenn ihr Massenverhältnis von Zement (z) zu unlöslicher Gesteinskörnung (g) $z/g \leq 1/5$ ist.

(4) Bei Verwendung von löslicher Gesteinskörnung oder wenn geringere Schädigungstiefen oder längere Einwirkungszeiten angesetzt werden sollen, sind Prüfungen nach Anhang A, Abschnitt A.4, durchzuführen.

(5) Das Eindringen der Reaktionsprodukte ist gegebenenfalls als wassergefährdender Stoff entsprechend Abschnitt 4.2.2 zu berücksichtigen.

4.4 Eindringen von nicht betonangreifenden wassergefährdenden Stoffen in gerissenen Beton

4.4.1 Betonbauteile mit durchgehenden Rissen

(1) Die Ermittlung der Eindringtiefe ew_{tm} eines wassergefährdenden Stoffes in einen durchgehenden Trennriss der Breite w in Abhängigkeit von der Beaufschlagungszeit t erfolgt nach Anhang A, Abschnitt A.5.

(2) Die im Dichtheitsnachweis nach Teil 1 dieser Richtlinie, Abschnitt 5.1, anzusetzende charakteristische Eindringtiefe ew_{tk} ergibt sich nach Gleichung (2-6) zu:

$$ew_{tk} = ew_{tm} \cdot 1,35 \quad (2-6)$$

(3) Eine Selbstabdichtung des Betons, wie sie unter der ständigen Einwirkung von Wasser bekannt ist, darf nicht angesetzt werden.

4.4.2 Betonbauteile mit durchgehenden überdrückten Rissen

(1) Im Bild 2-2 ist die anzusetzende Eindringtiefe ew_{72m} abhängig von der zentrischen Überdrückung des Bauteils aus FD- oder FDE-Beton angegeben. Die hier ermittelten Eindringtiefen der wassergefährdenden Stoffe in Trennrisse gelten für einmalig beaufschlagte Bauteile. Die maximal zulässige rechnerische Rissbreite unter Zugbeanspruchung nach EC 2-1-1 bei Bauteilen, die überdrückt werden sollen, beträgt $w_{k,cal} = 0,10$ mm.

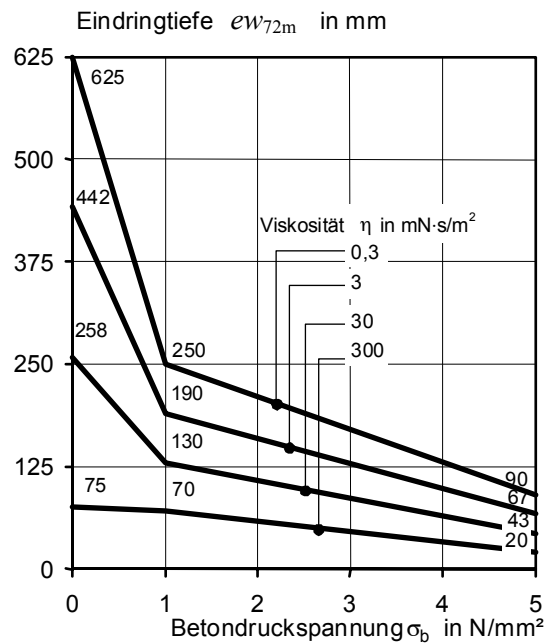


Bild 2-2 – Eindringtiefe ew_{72m} in zentrisch überdrückte Trennrisse mit einer Ausgangsrissbreite von $w_{cal} = 0,10$ mm nach 72stündiger Beaufschlagung mit 1,40 m Druckhöhe des wassergefährdenden Stoffes

(2) Ist mit einer abweichenden Beaufschlagungsdauer ($8 \text{ h} \leq t \leq 200 \text{ h}$) zu rechnen, darf die anzusetzende Eindringtiefe in überdrückte Trennrisse nach Gleichung (2-7) abgeschätzt werden:

$$ew_{tm} = ew_{72m} \cdot \sqrt{\frac{t}{72}} \quad (2-7)$$

Dabei ist

- ew_{tm} mittlere Eindringtiefe in Trennrissen in mm;
- ew_{72m} mittlere Eindringtiefe in Trennrissen bei einer Beaufschlagungsdauer von 72 Stunden in mm;
- t Beaufschlagungsdauer in Stunden.

(3) Bei Betondruckspannungen größer als 5 N/mm^2 darf die Eindringtiefe nicht weiter abgemindert werden.

(4) Bei wassermischbaren wassergefährdenden Stoffen darf die Eindringtiefe um 30 % abgemindert werden.

(5) Dieses Bemessungsverfahren gilt nur für den Fall der einmaligen Beaufschlagung. Im Falle der intermittierenden Beaufschlagung sind Eindringversuche an überdrückten Trennrissen für die ungünstigsten Randbedingungen (Bauteilfeuchte) zu überprüfen, siehe Anhang A, Abschnitt A.5.

(6) Der Rechenwert der Eindringtiefe ist nach Gleichung (2-6) zu ermitteln.

(7) Wird durch eine Biegebeanspruchung des Bauteils der Querschnitt nicht mehr zentrisch überdrückt, darf die γ -fache Eindringtiefe nicht größer als die rechnerische Druckzonenhöhe sein, s. Teil 1 dieser Richtlinie, Gleichung (1-9).

(8) Bei nicht zentrischer Überdrückung ist für die Betondruckspannung im Bild 2-2 Gleichung (2-8) anzusetzen:

$$\sigma_b = \frac{\sigma_{b1} + \sigma_{b2}}{2} \quad (2-8)$$

Dabei ist

- σ_{b1} Randdruckspannung auf der Bauteilseite 1;
- σ_{b2} Randdruckspannung auf der Bauteilseite 2 bzw. $\sigma_{b2} = 0$ für Nulllinie im Querschnitt.

(9) Werden Bauteile durch häufig wechselnde Biegemomente beansprucht, ist bei der rechnerisch ermittelten Betondruckspannung mit der doppelten Eindringtiefe $e_{w_{tm}}$ zu rechnen.

(10) Für Bauteile aus Beton mit quellfähigen und löslichen Betonzusatzstoffen muss gegebenenfalls eine reduzierte Saugfähigkeit der Rissflanken berücksichtigt werden. Die Rechenwerte der Eindringtiefen sind anhand von Eindringversuchen an gerissenen Betonprüfkörpern nach Anhang A, Abschnitt A.5, zu belegen.

(11) Die mittlere Eindringtiefe $e_{w_{72m}}$ darf in Sonderfällen (für spezielle wassergefährdende Stoffe und definierte Rissbreite unter Zugbeanspruchung und anschließender Überdrückungsspannung) anhand von Eindringversuchen (Mittelwert von 3 Trennrissen) gemäß Anhang A, Abschnitt A.5, bestimmt werden, wenn die Eindringtiefen nicht nach Bild 2-2 ermittelt werden können. Es ist anhand von Eindringversuchen die Eindringtiefe des wassergefährdenden Stoffes für die Bemessungsüberdrückungsspannung des Betons nachzuweisen. Die Probekörpervorlagerung muss den Umgebungsbedingungen des Bauteils entsprechen.

4.5 Eindringen von chemisch angreifenden wassergefährdenden Stoffen in gerissenen Beton

(1) Für den Fall einseitiger Biegerisse gilt Abschnitt 4.3.

(2) Bei Bauteilen mit Trennrissen kann der chemische Angriff sowohl zu einer Verringerung als auch zu einer Erhöhung des Transports des wassergefährdenden Stoffes führen. Die Auswirkung muss im Einzelfall betrachtet und erforderlichenfalls durch Prüfungen nach Anhang A, Abschnitt A.5, nachgewiesen werden. Der eventuelle Angriff auf die Bewehrung (Betonstahl, Spannstahl, Fasern) ist im Einzelfall zu betrachten.

4.6 Eindringen von wassergefährdenden Stoffen bei zusätzlichem mechanischen Angriff (Verschleiß)

(1) Bei einem mechanischen Angriff auf die Betonflächen, der gleichzeitig oder unabhängig von der Beaufschlagung mit wassergefährdenden Stoffen erfolgt, ist die Bemessung auch unter Berücksichtigung der möglichen mechanischen Schädigungstiefe s_{vt} zum Zeitpunkt der Beaufschlagung zu führen.

(2) Falls keine Erfahrungen über die mögliche mechanische Schädigungstiefe an bekannten Betonen vorliegen, werden Vergleichsprüfungen nach DIN 52108 (Böhme-Scheibe) durchgeführt mit dem Ziel, möglichst langfristige Intervalle für eine Instandsetzung der Bauteiloberflächen zu erreichen.

Normen, Richtlinien und andere Unterlagen

Diese Richtlinie enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Richtlinie, wenn sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

DIN 488, *Betonstahl; Teile 1 bis 7*

DIN 1045-2, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1*

DIN 1164-10, *Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Normalzement mit besonderen Eigenschaften*

DIN 1164-11, *Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 11: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit verkürztem Erstarren*

DIN 1164-12, *Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 12: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen*

DIN 4030, *Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase*

DIN 6601, *Beständigkeit der Werkstoffe von Behältern / Tanks aus Stahl gegenüber Flüssigkeiten (Positiv-Flüssigkeitsliste)*

DIN 52108, *Prüfung anorganischer nichtmetallischer Werkstoffe – Verschleißprüfung mit der Schleifscheibe nach Böhme – Schleifscheiben-Verfahren*

DIN V 18028:2006-06, *Oberflächenschutzsysteme für Beton aus Produkten nach DIN EN 1504-2:2005-01*

DIN EN 14879-3, *Beschichtungen und Auskleidungen aus organischen Werkstoffen zum Schutz von industriellen Anlagen gegen Korrosion durch aggressive Medien – Teil 3: Beschichtungen für Beton*

DIN EN 14879-5, *Beschichtungen und Auskleidungen aus organischen Werkstoffen zum Schutz von industriellen Anlagen gegen Korrosion durch aggressive Medien – Teil 5: Auskleidungen für Bauteile aus Beton*

DIN EN 14889-1, *Fasern für Beton – Teil 1: Stahlfasern - Begriffe, Festlegungen und Konformität*

DIN EN 197-1/A1/A3, *Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement; Deutsche Fassung EN 197-1:2000/A1:2004/A3:2007 (enthält Änderungen A1:2004 und A3:2007)*

DIN EN 197-4, *Zement – Teil 4: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Hochofenzement mit niedriger Anfangsfestigkeit*

DIN EN 206-1, *Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

DIN EN 450-1, *Flugasche für Beton – Teil 1: Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien*

DIN EN 523, *Hüllrohre aus Bandstahl für Spannglieder – Begriffe, Anforderungen und Konformität*

DIN EN 1008, *Zugabewasser für Beton – Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton*

DIN EN 1504-5:2005-03, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität – Teil 5: Injektion von Betonbauteilen; Deutsche Fassung EN 1504-5:2004*

DIN EN 1992-1-1, *Eurocode 2, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

DIN EN 1992-1-1/NA, *Nationaler Anhang/National festgelegte Parameter/Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

DIN EN ISO 9444-2, *Kontinuierlich warmgewalzter Stahl – Grenzabmaße und Formtoleranzen – Teil 2: Warmbreitband und Blech*

DIN EN 10051, *Kontinuierlich warmgewalztes Band und Blech abgelängt aus Warmbreitband aus unlegierten und legierten Stählen – Grenzabmaße und Formtoleranzen*

DIN EN 10088-2, *Nichtrostende Stähle – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung*

DIN EN 12390-2, *Prüfung von Festbeton – Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen*

DIN EN 12620, *Gesteinskörnungen für Beton*

DIN EN 13263-1, *Silikastaub für Beton – Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien*

DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“

DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“

Zulassungsgrundsätze des DIBt für „Fugenabdichtungssysteme in Anlagen aus Beton zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe (LAU-Anlagen)“, Teile 1 und 2

Zulassungsgrundsätze des DIBt für Beschichtungssysteme auf Beton in LAU-Anlagen, DIBt

Zulassungsgrundsätze des DIBt für Dichtungsbahnen in LAU-Anlagen, DIBt

DIBt-Prüfprogramm für aufgeklebte Fugenbänder zur Verwendung in LAU-Anlagen

DIBt-Prüfprogramm „Produkte und Systeme zur Instandsetzung von Betonbauteilen in LAU-Anlagen“

Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA. Berlin: Beuth. – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Nr. 600

Erläuterungen zu DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3 und DIN EN 12620. Berlin: Beuth. – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Nr. 526

Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen – Zweiter Sachstandsbericht mit Beispielsammlung. Berlin: Beuth. – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (2001), Nr. 519

Prüfung von Beton; Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048. Berlin: Beuth. – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (1991), Nr. 422

Anlage

Tabelle 2-2 – Physikalische Kennwerte einiger wassergefährdender Stoffe bei 20 °C

S	1	2	3	4	5	6	7	8
Z	Reihe	wassergefährdender Stoff	Summenformel	Dichte ρ kg/dm ³	Oberflächen- spannung σ mN/m	dyn. Vis- kosität η mN·s/m ²	$(\sigma/\eta)^{0,5}$ m ^{0,5} /s ^{0,5}	Wasser- löslichkeit
1	Alkane	n-Pentan	C ₅ H ₁₂	0,63	16,0	0,22	8,53	n
2		n-Hexan	C ₆ H ₁₄	0,66	18,4	0,30	7,83	n
3		n-Heptan	C ₇ H ₁₆	0,68	20,3	0,39	7,21	n
4		n-Octan	C ₈ H ₁₈	0,70	21,8	0,50	6,60	n
5		n-Nonan	C ₉ H ₂₀	0,72	22,9	0,68	5,80	n
6		n-Decan	C ₁₀ H ₂₂	0,73	23,9	0,88	5,21	n
7	Ether	Diethylether	C ₄ H ₁₀ O	0,71	17,0	0,26	8,09	n
8		Di-n-Propylether	C ₆ H ₁₄ O	0,74	19,5	0,44	6,66	n
9		Di-n-Butylether	C ₈ H ₁₈ O	0,76	22,0	0,68	5,69	n
10		Di-n-Pentylether	C ₁₀ H ₂₂ O	0,78	24,8	1,10	4,75	n
11	Alkohole	Methanol	CH ₄ O	0,79	22,6	0,57	6,30	∞
12		Ethanol	C ₂ H ₆ O	0,79	22,8	1,17	4,41	∞
13		n-Propanol	C ₃ H ₈ O	0,80	23,8	2,13	3,34	∞
14		n-Butanol	C ₄ H ₁₀ O	0,80	24,6	2,79	2,97	t
15		n-Pentanol	C ₅ H ₁₂ O	0,81	25,6	3,81	2,59	n
16		n-Hexanol	C ₆ H ₁₄ O	0,81	26,3	5,02	2,29	n
17		n-Heptanol	C ₇ H ₁₆ O	0,82	27,3	6,48	2,05	n
18		n-Octanol	C ₈ H ₁₈ O	0,82	27,5	7,79	1,88	n
19		n-Nonanol	C ₉ H ₂₀ O	0,83	27,5	10,13	1,65	n
20		n-Decanol	C ₁₀ H ₂₂ O	0,83	27,5	12,70	1,47	n
21	Chlorkohlenwasserstoffe	Di-Chlormethan (Methylenchlorid)	CH ₂ Cl ₂	1,33	28,1	0,44	7,97	n
n = nicht wasserlöslich t = teilweise wasserlöslich ∞ = unendlich wasserlöslich								

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Betonbau beim Umgang
mit wassergefährdenden Stoffen (BUmwS)

Teil 3: Instandsetzung

Teil 3: Instandsetzung

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorbemerkung	51
1 Anwendungsbereich.....	51
2 Begriffe.....	51
3 Allgemeine Anforderungen	51
3.1 Allgemeines.....	51
3.2 Baustoffe	51
3.3 Fachbetrieb	51
3.4 Überwachung	51
4 Zustandserfassung und Instandsetzungskonzept.....	52
5 Vorbereitende Maßnahmen	52
5.1 Maßnahmen bei einem Bauwerksschaden.....	52
5.2 Maßnahmen nach einer Beaufschlagung	52
5.2.1 Allgemeines.....	52
5.2.2 Dekontamination	52
5.2.2.1 Allgemeines.....	52
5.2.2.2 Selbstreinigung.....	52
5.2.3 Abtrag kontaminierter Schichten.....	53
6 Instandsetzung der Rückhalteeinrichtung	53
6.1 Allgemeines.....	53
6.2 Neue Dichtfläche.....	53
6.2.1 Allgemeines.....	53
6.2.2 Neue Dichtfläche ohne Verbund mit der Tragschicht	53
6.2.3 Neue Dichtfläche im Verbund mit der Tragschicht	54
6.3 Dichtflächenenergänzung	54
6.4 Beschichtungssysteme und Auskleidungen aus Dichtungsbahnen	55
6.4.1 Beschichtungssysteme und Dichtungsbahnen auf nicht kontaminiertem Betonuntergrund	55
6.4.2 Verwendung von Beschichtungssystemen und Dichtungsbahnen bei kontaminierten Untergründen.....	55
6.5 Betonersatz	55
7 Instandsetzungen der Bewehrung	55
7.1 Allgemeines.....	55
7.2 Instandsetzung korrosionsgeschützter Bewehrung	56
7.2.1 Beschichtete Bewehrung	56
7.2.2 Bewehrung aus nichtrostendem Stahl	56
8 Füllen von Rissen.....	56
9 Instandsetzung der Fugen	57
9.1 Arbeitsfugen	57
9.2 Bewegungsfugen	57
Normen, Richtlinien und andere Unterlagen	58

Vorbemerkung

(siehe Teil 1 dieser Richtlinie)

1 Anwendungsbereich

(1) Grundsätzliche Angaben zum Anwendungsbereich der gesamten Richtlinie sind dem Teil 1 dieser Richtlinie zu entnehmen.

(2) Teil 3 dieser Richtlinie regelt die Instandsetzungsmaßnahmen für Betonbauwerke nach dieser Richtlinie zur Wiederherstellung einer ausreichenden Dichtheit und Beständigkeit gegen wassergefährdende Stoffe. Er ergänzt die Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen des DAfStb, im Folgenden Instandsetzungs-Richtlinie genannt, im Hinblick auf die besonderen Gegebenheiten der Dichtwirkung von Betonbauwerken beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen.

2 Begriffe

In mehreren Teilen verwendete Begriffe sind im Teil 1 dieser Richtlinie erläutert.

Instandhaltung: Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustandes. Elemente der Instandhaltung sind Inspektion, Wartung und Instandsetzung.

Inspektion: Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes.

Wartung: Maßnahmen zur Bewahrung des Sollzustandes.

Instandsetzung: Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes.

3 Allgemeine Anforderungen

3.1 Allgemeines

Instandgesetzte Bauteile müssen, einschließlich der Fugenbereiche, den Sollzustand hinsichtlich der Dichtheit und Beständigkeit aufweisen.

3.2 Baustoffe

Anforderungen an die bei der Instandsetzung verwendeten Baustoffe sind den dafür maßgebenden baurechtlichen Verwendbarkeitsnachweisen, in denen neben den bauaufsichtlichen Anforderungen auch die wasserrechtlichen Kriterien berücksichtigt sind (z. B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen) und den zusätzlichen Hinweisen aus dem Teil 2 dieser Richtlinie sowie der Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb zu entnehmen.

3.3 Fachbetrieb

Der Fachbetrieb für Instandsetzungsarbeiten muss Fachbetrieb im Sinne der VAUwS sein. Die Ausführung der Instandsetzungsarbeiten darf nur durch Baustellenfachpersonal der Fachbetriebe erfolgen, das seine Befähigung und Qualifikation gemäß der „DIBt-Richtlinie für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Instandsetzungsarbeiten an Betonbauteilen in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen (LAU-Anlagen) wassergefährdender Stoffe“ ¹⁾ nachgewiesen hat. Der Betrieb muss über eine qualifizierte Führungskraft und über Baustellenfachpersonal ²⁾ gemäß dieser Richtlinie für den Eignungsnachweis verfügen.

3.4 Überwachung

(1) Die Überwachung ist gemäß der jeweiligen Zulassung der Instandsetzungsprodukte, -systeme bzw. Bauteile unter Berücksichtigung der Bestimmungen der Instandsetzungs-Richtlinie durchzuführen. Die Einzelanforderungen sind baustoffabhängig den Zulassungen bzw. der Instandsetzungs-Richtlinie zu entnehmen.

(2) Für Instandsetzungsprodukte und -systeme in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe sind bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise erforderlich, z. B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen.

¹⁾ erhältlich beim Deutschen Institut für Bautechnik

²⁾ Qualifikationsnachweis z. B. mit SIVV-Schein

4 Zustandserfassung und Instandsetzungskonzept

(1) Der Ist-Zustand des Bauteils oder Bauwerks ist anhand der Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb unter Berücksichtigung der Bestimmungen des Arbeitsblattes DWA-A 786 (TRwS 786 „Ausführung von Dichtflächen“) zu erfassen, zu dokumentieren und mit dem Sollzustand zu vergleichen. Hierbei sind zerstörungsfreie Prüfverfahren zu bevorzugen, um die Anlage möglichst wenig zu beeinträchtigen.

(2) Insbesondere sind Zustände und Mängel und deren Ursachen zu erfassen bei:

- Fugen (Flankenhaftung, Fehlstellen, Risse, Versprödungen, Dichtheit),
- Rissen (Breite, Tiefe, Länge, Verlauf, Rissart, Durchfeuchtung),
- Beton (Abplatzungen, Hohlstellen, Kiesnester, Auswaschungen),
- Betonstahl (Rostverfärbung, Unterrostung),
- Folgen der Beaufschlagung (Art, Schädigungstiefe, Eindringtiefe, Stoffangabe, Ausmaß, Dauer).

(3) Die Instandsetzung des Bauteils oder Bauwerks ist auf Grundlage einer sachkundigen Bauzustandsbegutachtung, dem darauf abgestimmten Instandsetzungskonzept, unter Berücksichtigung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des jeweiligen Instandsetzungsproduktes bzw. –systems und der Bestimmungen des Arbeitsblattes DWA-A 786 (TRwS 786 „Ausführung von Dichtflächen“) für das jeweilige Instandsetzungsvorhaben sachkundig zu planen und auszuführen.

5 Vorbereitende Maßnahmen

5.1 Maßnahmen bei einem Bauwerksschaden

Es gelten die entsprechenden Maßnahmen nach Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb.

5.2 Maßnahmen nach einer Beaufschlagung

5.2.1 Allgemeines

(1) Nach einer Beaufschlagung ist anhand des Konzeptes für den Beaufschlagungsfall nach Teil 1, Abschnitt 8, dieser Richtlinie zu beurteilen, ob eine Dekontamination des Betons erforderlich ist. Die Verträglichkeit mit der vorgesehenen Instandsetzungsmaßnahme ist zu überprüfen.

(2) Ist eine notwendige Dekontamination am Bauwerk nicht möglich, so ist mindestens der kontaminierte Beton zu entfernen.

5.2.2 Dekontamination

5.2.2.1 Allgemeines

Die Dekontamination darf durch Selbstreinigung erfolgen. Gegebenenfalls kann die Dekontamination mit Hilfe physikalischer Verfahren unterstützt werden.

5.2.2.2 Selbstreinigung

(1) Bei Flüssigkeiten mit hohem Dampfdruck, niedrigem Siedepunkt und geringer Viskosität erfolgt eine rasche Selbstreinigung des Betons. Für flüssigkeitsdichten Beton (FD-Beton) nach Teil 2 dieser Richtlinie mit einer Beaufschlagungsdauer von bis zu drei Tagen enthält Tabelle 3-1 Anhaltswerte für den nach drei Tagen zu erwartenden Verdampfungsanteil der in den Beton eingedrungenen Flüssigkeitsmenge in Abhängigkeit vom Stoffkennwert ($\sigma/\eta^{0,5}$) der Flüssigkeit. Diese Werte gelten für die Stoffgruppen Alkane, Ether und Alkohole.

(2) Die physikalischen Kennwerte der am häufigsten verwandten Flüssigkeiten können Teil 2, Tabelle 2-2, dieser Richtlinie entnommen werden.

(3) Bei Eindringtiefen von Flüssigkeiten nach Absatz (1) von weniger als 1/4 der Bauteildicke darf von einer ausschließlichen Verdampfung entgegen der Beaufschlagungsrichtung ausgegangen werden; das heißt, es tritt keine Flüssigkeit an der Gegenseite aus. Durch einen hohen Luftwechsel an der Bauteiloberfläche kann die Selbstreinigung beschleunigt werden. Während des Selbstreinigungsprozesses ist die Oberfläche trocken zu halten.

**Tabelle 3-1 – Abhängigkeit der dreitägigen Selbstreinigungsrate des FD-Betons von den Stoffkennwerten eingedrungener Kohlenwasserstoffe
(Beaufschlagungsdauer: 3 Tage)**

S	1	2
	$(\sigma/\eta)^{0,5}$	Verdampfungsanteil
Z	$(\text{m/s})^{0,5}$	%
1	> 7,5	> 90
2	> 5,0	> 80
3	> 2,5	> 60
σ Oberflächenspannung in mN/m η dynamische Viskosität in mN s/m ²		

(4) Durch Wärmebehandlung und durch Anlegen eines Unterdrucks an der Betonoberfläche kann die Verdampfung der in den Beton eingedrungenen Flüssigkeit beschleunigt werden.

5.2.3 Abtrag kontaminierter Schichten

Falls ein Abtrag kontaminierter Schichten erforderlich ist, sollten hierfür schonende Verfahren eingesetzt werden, um die verbleibende Konstruktion in ihrer Funktionstüchtigkeit zu erhalten. Geeignete Verfahren für den Betonabtrag sind in der Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb enthalten.

6 Instandsetzung der Rückhalteeinrichtung

6.1 Allgemeines

Für die Instandsetzung des Betons kommen in der Regel folgende Maßnahmen zum Einsatz:

- Neue Dichtfläche,
- Dichtflächenenergänzung,
- Oberflächenschutz,
- Betonersatz.

6.2 Neue Dichtfläche

6.2.1 Allgemeines

Die verwendeten Baustoffe müssen den Anforderungen des Teils 2 dieser Richtlinie genügen.

6.2.2 Neue Dichtfläche ohne Verbund mit der Tragschicht

(1) Ortbetondichtflächen mit einer Dicke von $h \geq 200$ mm und werkmäßig hergestellte Betonteile mit einer Dicke $h \geq 100$ mm sind nach Teil 1 dieser Richtlinie zu bemessen, zu konstruieren und auszuführen. Hierbei können gegebenenfalls Teile der instanzzusetzenden Konstruktionen bei der Lastabtragung berücksichtigt werden.

(2) Dichtflächen aus Ortbeton mit Dicken zwischen 100 mm und 200 mm dürfen nur als Ergänzung zu einer mindestens mit einem Sicherheitsbeiwert nach Teil 1 dieser Richtlinie $\gamma_{e1} = 1,0$ bemessenen und stand-sicheren Dichtfläche angesetzt werden ³⁾. Die neue Dichtfläche muss nachweislich einen Sicherheitsbeiwert $\gamma_e \geq 1,5 / \gamma_{e1}$ aufweisen.

(3) Dichtflächen mit geringeren Dicken müssen den Anforderungen für nicht tragende Dichtschichten nach Teil 2, Abschnitt 3.1.3, dieser Richtlinie entsprechen. Die Plattenränder müssen nach Abschnitt 6.2.3 ausgeführt werden.

(4) Die Bewegungsmöglichkeit einer nachträglich ohne Verbund zur vorhandenen Konstruktion eingebauten Dichtfläche ist zu gewährleisten. Vorhandene Tank- und andere Fundamente sind als Festpunkte zu betrachten oder konstruktiv von den Dichtflächen / Dichtschichten zu trennen.

³⁾ γ_{e1} gilt für die Altfläche.

(5) Der Übergang zwischen alter und neuer Konstruktion ist durch geeignete Dichtelemente konstruktiv sorgfältig durchzubilden.

(6) Ist die Dicke der neuen Dichtfläche kleiner als 120 mm, darf diese auch einlagig bewehrt werden.

6.2.3 Neue Dichtfläche im Verbund mit der Tragschicht

(1) Die Einsatzbereiche der Dichtflächenarten sind in der Tabelle 3-2 angegeben.

(2) Zur Herstellung eines dauerhaften Verbundes zwischen der Dichtfläche und dem Tragbeton muss der Betonuntergrund tragfähig, eben, frei von verbundhemmenden Substanzen, sauber und offenporig sein. Zur Erfüllung dieser Anforderungen stehen geeignete Verfahren, z. B. Strahlen und Vornässen zur Verfügung (siehe Instandsetzungs-Richtlinie, Teil 2, Abschnitt 2.3.2).

(3) Neben der Untergrundvorbehandlung sollte der Verbund hochbeanspruchter Bereiche, z. B. im Bereich freier Plattenränder ($a = 5 h$) verbessert werden. Dies kann z. B. durch Randverdübelung oder bei kleinen Flächen durch Einschneiden von 3 mm bis 5 mm breiten und 5 mm tiefen Riefen im Abstand von 20 mm erfolgen.

(4) Die kleinste Dicke der im Verbund mit der Tragschicht hergestellten Dichtfläche beträgt $h_{\min} = 30$ mm; bei Fasereinsatz muss $h_{\min} \geq 1,5$ fache Faserlänge sein. Aus herstellungstechnischen Gründen sollte die Dicke $h_{\max} = 100$ mm nicht überschreiten.

(5) Für die Dichtfläche nach Einsatzbereich C gemäß Tabelle 3-2 sind nur Dichtschichten mit einer ausreichenden Dehnfähigkeit geeignet (siehe hierzu auch Teil 2 dieser Richtlinie und Anhang A).

(6) Als Anforderungen an den Untergrund sind die in Tabelle 3-2 aufgrund der Prüfungen nach DIN 1048-2:1991-06 zu ermittelnden Oberflächenzugfestigkeiten β_{OZ} des Tragbetons (mittlere Festigkeitswerte) erforderlich.

(7) Die Nachweise der Dichtheit sind in Abhängigkeit von dem Einsatzbereich (siehe Tabelle 3-2) zu führen. Dabei ist der Dichtheitsnachweis für die Fälle A und B nach Teil 1 dieser Richtlinie am Gesamtsystem (Dichtfläche und Tragschicht) zu führen. Die Eindringtiefe im ungerissenen Beton ist nach Anhang A, Abschnitte A.2 oder A.3 und das Eindringen im gerissenen Beton nach Anhang A, Abschnitt A.6, zu bestimmen. Beim Einsatzbereich C müssen die Dichtschichten den Anforderungen nach Teil 2 dieser Richtlinie, Abschnitt 3.1.3, entsprechen.

Tabelle 3-2 – Einsatzbereiche für Dichtflächen im Verbund mit der Tragschicht

S	1		2		3		4
	Untergrund		Dichtheitsnachweis		ungerissen	gerissen	β_{OZ}^b N/mm ²
Z							
1	ungerissener Beton		A ^c	–			1,5
2	gerissener Beton	unbeweglicher Riss ^a	B ^d	–			2,0
3		beweglicher Riss	–	C ^e			
4	Fugenbereich		–	C ^e			

^a nachgewiesen zum Beispiel durch Gipsmarken oder Ähnlichem

^b Oberflächenzugfestigkeit gemäß Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb

^c Alle in Teil 2 dieser Richtlinie vorgesehenen Baustoffe

^d Stahlfaserbeton oder Dichtschichten

^e Dichtschichten

6.3 Dichtflächenenergänzung

Dichtflächenenergänzungen sind nach den Grundsätzen des Abschnittes 6.2 herzustellen. Die minimale Dicke einer solchen, im Verbund mit der bestehenden Dichtfläche liegenden Ergänzung, sollte mindestens 30 mm betragen.

6.4 Beschichtungssysteme und Auskleidungen aus Dichtungsbahnen

6.4.1 Beschichtungssysteme und Dichtungsbahnen auf nicht kontaminiertem Betonuntergrund

(1) Entspricht der Betonuntergrund den Bestimmungen dieser Richtlinie und ist nicht kontaminiert, dürfen Beschichtungssysteme und Dichtungsbahnen eingesetzt werden, siehe Teil 2, Abschnitt 3.6 dieser Richtlinie.

(2) Dabei sind die im jeweiligen Verwendbarkeitsnachweis (z. B. allgemeine bauaufsichtlichen Zulassung) angegebene Bestimmungen, im Besonderen die Rissbreitenüberbrückung zwischen 0,1 mm und 0,5 mm zu beachten.

(3) Bei rückseitigen Durchfeuchtungen ist eine Beschichtung nur dann zulässig, wenn deren Eignung dafür nachgewiesen wurde.

6.4.2 Verwendung von Beschichtungssystemen und Dichtungsbahnen bei kontaminierten Untergründen

(1) Die Applikation eines Abdichtungssystems (Beschichtungssysteme und Dichtungsbahnen) darf nur erfolgen, wenn der von Kontaminationen bzw. Schädigungen befreite Betonuntergrund derart vorbereitet werden kann, dass er die mechanischen Eigenschaften eines Betons nach dieser Richtlinie erreicht, im Besonderen das dauerhafte Erreichen der für das jeweilige Abdichtungssystem maßgebenden Mindesthaftzugfestigkeit.

(2) Auf einen derart vorbereiteten Untergrund dürfen Beschichtungssysteme und Dichtungsbahnen unter Berücksichtigung des jeweiligen Verwendbarkeitsnachweises (z. B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassung) appliziert werden. Dabei ist u. a. die im jeweiligen Verwendbarkeitsnachweis angegebene zulässige Rissbreitenüberbrückung zwischen 0,1 mm und 0,5 mm zu beachten.

(3) Bei rückseitigen Durchfeuchtungen ist eine Beschichtung nur dann zulässig, wenn deren Eignung dafür nachgewiesen wurde.

6.5 Betonersatz

(1) Sofern die Anforderungen der Teile 1 und 2 dieser Richtlinie sowie zusätzlich die Anforderungen der Instandsetzungs-Richtlinie eingehalten sind, dürfen FD- oder FDE-Betone als Betonersatz verwendet werden.

(2) Wenn für die Dichtheit des Bauteils relevant, sind an die Betonersatzprodukte und -systeme über die Instandsetzungs-Richtlinie hinaus die Anforderungen des Deutschen Instituts für Bautechnik zu erfüllen, die in den entsprechenden Prüfprogrammen für Betonersatzprodukte und -systeme für den Gewässerschutz festgelegt sind. Dabei ist zu beachten, dass in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise erforderlich sind.

(3) Nach Einwirkung betonangreifender Stoffe ist der Beton mindestens bis zur örtlich festgestellten Schädigungstiefe sorgfältig abzutragen, um die Wirksamkeit des Betonersatzes auf dem Altbeton sicherzustellen.

(4) Wenn der Betonersatz als Dichtschicht herangezogen wird, sind für den Dichtheitsnachweis an Bohrkernten nach Anhang A, Abschnitt A.2, Eindringprüfungen entsprechend den wirklichkeitsnahen Randbedingungen durchzuführen.

(5) Die Verträglichkeit der Betonersatzsysteme mit dem Altbeton unter Einwirkung möglicher Beaufschlagungsmedien muss nachgewiesen sein.

7 Instandsetzung der Bewehrung

7.1 Allgemeines

(1) Bei der Planung, Durchführung und Überwachung von Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen an der Bewehrung ist gemäß der Instandsetzungs-Richtlinie Teil 1, Abschnitt 3, zu verfahren. Die Korrosionsursache ist festzustellen, Schadstoffgehalte und genaue Umgebungsbedingungen sind zu berücksichtigen.

(2) Bei Korrosion infolge Einwirkung umweltgefährdender Stoffe sind zwei Fälle zu unterscheiden:

Fall 1: Korrosion infolge Absenkung des Beton-pH-Wertes ohne sonstige korrosionsauslösende Stoffe;

Fall 2: Korrosion infolge Einwirkung korrosionsauslösender Stoffe (z. B. Chloride aus Salzsäureeintrag).

(3) Bei Fall 1 ist sinngemäß nach der Instandsetzungs-Richtlinie Teil 1, Abschnitt 6.4, zu verfahren. Im Fall 2 ist Teil 1, Abschnitt 6.5, der Instandsetzungs-Richtlinie anzuwenden. Grundwerte der abzutragenden Betonbereiche sind der Instandsetzungs-Richtlinie zu entnehmen.

7.2 Instandsetzung korrosionsgeschützter Bewehrung

7.2.1 Beschichtete Bewehrung

Bei Instandsetzung an Bauteilen mit beschichteter Bewehrung ist die Instandsetzung wie für unbeschichtete Bewehrung durchzuführen, da beim Entfernen des geschädigten Betons eine Beeinträchtigung der Bewehrungsbeschichtung nicht ausgeschlossen werden kann. Die Beschichtung ist in den geschädigten Bereichen zu erneuern.

7.2.2 Bewehrung aus nichtrostendem Stahl

Bei Verwendung von korrosionsbeständiger Bewehrung aus legiertem Stahl mit Zulassung des DIBt, der in seiner Beständigkeit mindestens dem Werkstoff 1.4571 entspricht, braucht Beton mit hohen Chloridgehalten nicht entfernt zu werden, sofern die Festigkeit des Betons durch die Kontamination nicht beeinträchtigt wird.

8 Füllen von Rissen

(1) Das Füllen von Rissen zur Wiederherstellung der Dichtheit gegen wassergefährdende Stoffe durch Injektion ist möglich. Injektion bedeutet das Füllen von Rissen unter Druck.

(2) Das mediendichte Füllen von Rissen setzt die Erfüllung von Anforderungen an den Rissfüllstoff sowie an das Injektionsgerät voraus (siehe Teil 2 dieser Richtlinie, Abschnitt 3.5).

(3) Wenn es für die Dichtheit des Bauteils relevant ist, sind an die Injektionssysteme (Rissfüllstoff, Injektionsschlauchsystem und Verpressgerät) über die Instandsetzungs-Richtlinie hinaus die Anforderungen des Deutschen Instituts für Bautechnik zu erfüllen, die im entsprechenden Prüfprogramm für die Instandsetzung von Beton in LAU-Anlagen festgelegt sind. Dabei ist zu beachten, dass für den Einsatz in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise erforderlich sind.

(4) Die Injektion der Risse ist unter Beachtung der Bestimmungen der jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung und der Angaben in der Instandsetzungs-Richtlinie durchzuführen. Für den Anwendungsbe-
reich sind folgende Füllstoffe vorgesehen:

- Epoxidharz (EP);
- Polyurethan (PUR);
- Zementleim (ZL);
- Zementsuspension (ZS).

(5) Bei der Verwendung von Zementsuspensionen (ZS) und Zementleimen (ZL) sind in der Regel die Rissufer vorzunässen.

(6) Entsprechend der Bestimmungen der jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung und der Instandsetzungs-Richtlinie Teil 2, Abschnitt 6.6.2, sind die Risse vollständig zu füllen.

(7) Netzzrisse $\geq 0,1$ mm dürfen bei horizontalen Flächen auch durch druckloses Tränken mit niedrigviskosen Epoxidharzen gefüllt werden.

(8) Die Temperaturbereiche für die Ausführung und einschränkende materialspezifische Angaben der Ausführungsanweisung sind einzuhalten.

(9) Die Auswahl der Füllstoffe richtet sich nach der Beurteilung von

- Rissursache,
- Rissbreite,
- Feuchtezustand der Risse,
- Rissbreitenänderung.

9 Instandsetzung der Fugen

9.1 Arbeitsfugen

Bei Kantenabbrüchen der Fugenränder oder sonstigen Schädigungen des Betons im Arbeitsfugenbereich ist die Instandsetzung nach Abschnitt 6.5 durchzuführen.

9.2 Bewegungsfugen

Die Instandsetzung darf nur mit Fugenabdichtungssystemen erfolgen, die für die Instandsetzung in bestehenden LAU-Anlagen zugelassen sind, z. B. mit allgemeiner bauaufsichtlicher bzw. europäischer technischer Zulassung.

Normen, Richtlinien und andere Unterlagen

Allgemeine Normen und Richtlinien siehe Teile 1 und 2 dieser Richtlinie

Diese Richtlinie enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Richtlinie, wenn sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

DIN 1048-2:1991-06, *Prüfverfahren für Beton; Festbeton in Bauwerken und Bauteilen*

DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie)

DIBt-Richtlinie für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Instandsetzungsarbeiten an Betonbauteilen in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen (LAU-Anlagen) wassergefährdender Stoffe

DIBt-Prüfprogramm „Produkte bzw. Systeme zur Instandsetzung von Betonbauteilen in LAU-Anlagen“

DIBt-Richtlinie für den Eignungsnachweis zur Ausführung von Instandsetzungsarbeiten an Betonbauteilen in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen (LAU-Anlagen) wassergefährdender Stoffe

Zulassungsgrundsätze des DIBt für Beschichtungssysteme für Beton in LAU-Anlagen, DIBt

Zulassungsgrundsätze des DIBt für Dichtungsbahnen in LAU-Anlagen, DIBt

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Betonbau beim Umgang
mit wassergefährdenden Stoffen (BUmwS)

Anhang A: Prüfverfahren (normativ)

Anhang A: Prüfverfahren (normativ)

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A.1 Biegezugfestigkeit.....	63
A.1.1 Biegezugfestigkeit von Stahlfaserbeton	63
A.1.2 Biegezugfestigkeit von Dichtschichten	63
A.2 Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in ungerissenen Beton.....	63
A.2.1 Zweck der Prüfung.....	63
A.2.2 Prüfbeton und Probekörper	63
A.2.3 Prüfvorrichtung	64
A.2.4 Prüfung	66
A.2.5 Auswertung.....	67
A.2.6 Prüfbericht.....	67
A.3 Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in ungerissenen Faserbeton mit hohem Fasergehalt.....	68
A.3.1 Zweck der Prüfung.....	68
A.3.2 Prüfbeton und Probekörper	68
A.3.3 Prüfung	68
A.3.4 Auswertung.....	68
A.3.5 Prüfbericht.....	68
A.4 Bestimmung der Schädigungstiefe betonangreifender wassergefährdender Stoffe	69
A.4.1 Zweck der Prüfung.....	69
A.4.2 Prüfbeton und Probekörper	69
A.4.3 Prüfung und Auswertung	69
A.4.4 Prüfbericht.....	71
A.5 Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in gerissenen Beton	71
A.5.1 Zweck der Prüfung.....	71
A.5.2 Prüfbeton und Probekörper	71
A.5.3 Prüfvorrichtung und Prüfung.....	71
A.5.4 Auswertung.....	72
A.5.5 Prüfbericht.....	73
A.6 Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in Dichtschichten.....	73
A.6.1 Zweck der Prüfung.....	73
A.6.2 Prüfbeton und Probekörper	73
A.6.3 Durchführung der Prüfung	73
A.6.4 Auswertung und Prüfbericht	74
A.7 Prüfung der Medienbeständigkeit von Fasern in Beton oder in Dichtschichten.....	74
A.7.1 Zweck der Prüfung.....	74
A.7.2 Prüfbeton und Probekörper	74
A.7.3 Durchführung der Prüfung und Prüfbericht	74
Normen, Richtlinien und andere Unterlagen	75

Anhang A: Prüfverfahren (normativ)

A.1 Biegezugfestigkeit

A.1.1 Biegezugfestigkeit von Stahlfaserbeton

Die Biegezugfestigkeit $f_{ct,fl}$ wird nach DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ bestimmt.

A.1.2 Biegezugfestigkeit von Dichtschichten

(1) Zur Prüfung werden Platten hergestellt, die der geplanten Ausführung entsprechen (Plattengröße ca. 1 m²). Die Platten sind bis zum Alter von sieben Tagen unter Folie ohne Wasserzufuhr bei rd. 20 °C zu lagern. Aus den Platten sind sinnvoll verteilt mindestens drei Probekörper zu schneiden, deren Breite b gleich der Dicke h ist. Diese Anforderung gilt, nachdem eventuell planmäßig vorhandene, faserfreie Bereiche auf der Oberseite ebenfalls abgeschnitten wurden. Die Länge der Probekörper muss $l_0 \geq 4 \cdot h$ betragen.

(2) Die Stützweite bei der Biegezugprüfung beträgt $l = 3 \cdot h$. Die Prüfkraft muss als Linienlast in den Drittelpunkten der Stützweite angreifen. Die Oberseite des Probekörpers muss in der Zugzone liegen.

(3) Die Prüfkraft ist so zu steigern, dass die Biegezugspannung im Probekörper um rd. 0,1 N/(mm²·s) zunimmt. Aus der ermittelten Bruchlast F_u ergibt sich die Biegezugfestigkeit nach Gleichung (A-1):

$$f_{ct,fl} = \frac{F_u \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (A-1)$$

Dabei ist

$f_{ct,fl}$ Biegezugfestigkeit in N/mm²;

F_u Bruchlast in N;

l Stützweite in mm;

b, h mittlere Breite, Höhe des Probekörpers im Bruchquerschnitt in mm.

Die Maße sind auf 1 mm zu ermitteln und die errechnete Biegezugfestigkeit ist auf 0,1 N/mm² gerundet anzugeben.

A.2 Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in ungerissenen Beton

A.2.1 Zweck der Prüfung

(1) Die nachfolgend beschriebene Prüfung dient der Ermittlung der einaxialen Eindringtiefe e_{tm} und e_{tk} (siehe Teil 1 dieser Richtlinie, Abschnitt 4.1 und Teil 2 dieser Richtlinie, Abschnitt 4.2) und der eingedrungenen Menge eines wassergefährdenden Stoffes bei ungerissenem Beton. Das Prüfergebnis gilt bis zu einer statischen Druckhöhe von 1,5 m.

(2) Die Prüfung darf an allen Betonen und Dichtschichten anhand von Teil 2 dieser Richtlinie durchgeführt werden, um z. B. die Mindestanforderungen nach Teil 2, Abschnitt 3.1.2, oder die besondere Leistungsfähigkeit dieser Betone nachzuweisen. Faserbeton ist nach Anhang A.3 zu prüfen.

(3) Das Prüfverfahren dient nicht zur Bestimmung der Angriffstiefe betonangreifender wassergefährdender Stoffe, z. B. von Säuren, siehe hierzu Anhang A.4.

A.2.2 Prüfbeton und Probekörper

(1) Als Prüfbeton im Rahmen von Eindringprüfungen, insbesondere für Betone gemäß Teil 2, Abschnitt 3.1.2, ist Beton der vorgesehenen Zusammensetzung zu verwenden.

(2) Als Referenzbeton für FD-Beton wird die folgende Betonzusammensetzung verwendet:

Zement: CEM I 32,5 R oder CEM III/A 32,5

Zementgehalt: 320 kg/m³

Gesteinskörnung: Kiessand, Sieblinienbereich A16/B16, dichte Kornstruktur, ausreichender Mehlkorngelalt, z. B. > 350 kg/m³

Wasserzementwert: $w/z = 0,50$

Zusatzmittel: BV oder FM zur Erzielung einer Konsistenz F3

Konsistenz: Ausbreitmaß 10 Minuten nach dem Mischen $a_{10} \approx 450$ mm

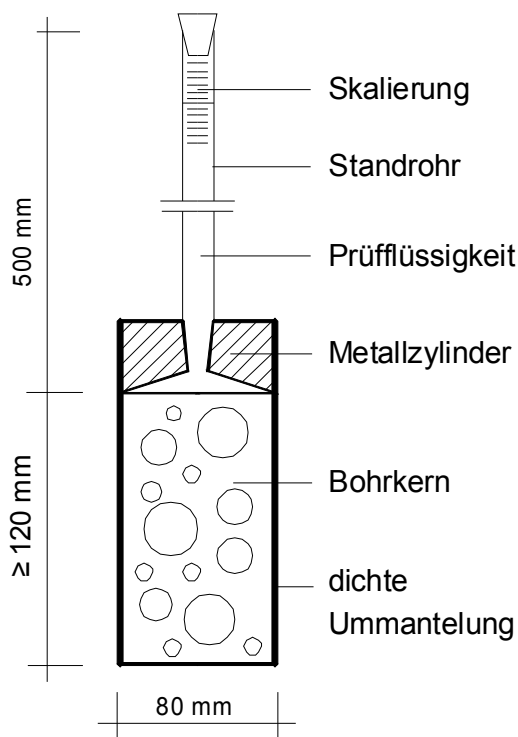
(3) Aus dem Beton sind Würfel mit einer Kantenlänge ≥ 150 mm gemäß DIN EN 12390-2 herzustellen und einen Tag lang, abgedeckt in der Schalung, zu lagern. (Bei Serienuntersuchungen sind auch andere Probekörperformen möglich, z. B. Balken 700 mm \times 150 mm \times 150 mm oder liegend hergestellte Platten 200 mm \times 200 mm \times 120 mm). Die Mindesthöhe beträgt 120 mm.

(4) Die nach Absatz (3) hergestellten Betonkörper werden nach einem Tag entschalt und sofort dicht verpackt. Die Anforderung gilt als erfüllt, wenn die Betonkörper beispielsweise sofort in eine mindestens 0,3 mm dicke Kunststoffolie zweifach eingewickelt und alle freien Ränder der Kunststoffolie mit Kleband überklebt werden. Die verpackten Betonkörper werden sechs Tage bei 20 °C gelagert.

(5) Im Alter von sieben Tagen werden Bohrkern mit Durchmesser $d = 80$ mm und $h \geq 120$ mm in Herstellungsrichtung aus den Betonkörpern entnommen (spätere Prüffläche entspricht der Herstelloberseite). Bohrkern bis 100 mm Durchmesser dürfen gleichwertig verwendet werden. In der Regel soll aus jedem Betonkörper ein Bohrkern gewonnen werden. Je Prüfparameter sind mindestens drei gleiche Bohrkern bereitzustellen.

(6) Die Bohrkern werden bis zum Alter von mindestens 56 Tagen im Klimaraum bei 20 °C und 65 % r. F. (Normalklima 20/65), freistehend auf Dreikantleisten gelagert und dann in die Prüfvorrichtung eingebaut.

ANMERKUNG Wenn in Sonderfällen Bohrkern aus bestehenden Bauwerken entnommen werden müssen, darf das gleiche Prüfverfahren bis zu einem Größtkorn von 32 mm verwendet werden. Über eine Vorkonditionierung der Bohrkern im Labor zur Nachstellung der Bauwerksverhältnisse ist im Einzelfall zu entscheiden. Prüffläche ist hier die dem möglicherweise einwirkenden Prüfmedium zugewandte Seite.

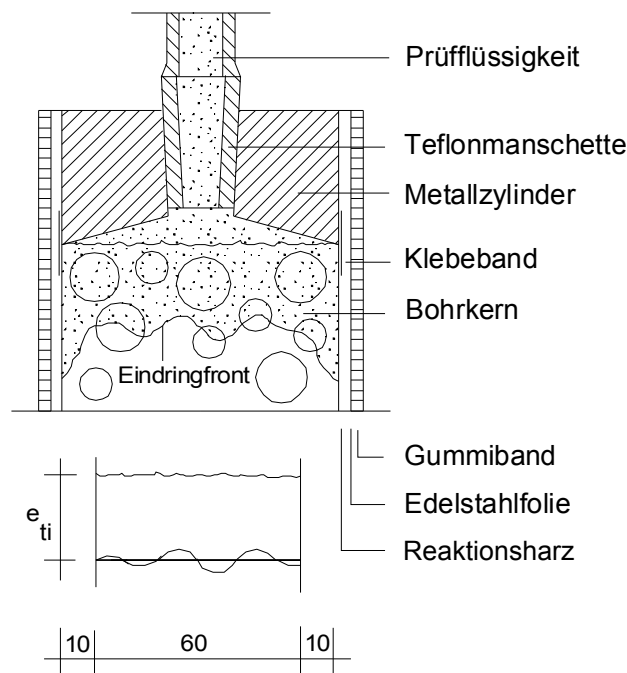


**Bild A-1 – Prüfvorrichtung zur Ermittlung der Eindringtiefe
von wassergefährdenden Stoffen**

A.2.3 Prüfvorrichtung

(1) Für die Eindringprüfungen wird zunächst ein gegenüber dem wassergefährdenden Stoff beständiger Metallzylinder, siehe Bilder A-1 und A-2, mit Klebfilm entlang des Umfangs der Betonoberseite (Prüffläche) fixiert. Er dient zur Aufnahme eines gläsernen Standrohrs mit Messskala (Höhe 0,5 m; unten mit einem NS 19-Kern und oben mit einer NS 19-Hülse versehen) und ermöglicht die gleichmäßige Verteilung des wassergefährdenden Stoffes über der Probekörperoberfläche. Gleichmaßen wird am unteren Ende des Bohrkerns ein rd. 10 mm breiter Klebfilm, zur Hälfte überstehend, auf die Mantelfläche des Bohrkerns

gewickelt, um zu vermeiden, dass Epoxidharzkleber die Unterseite des Bohrkerns verschmutzt. Anschließend werden der Bohrkern und der Metallzylinder mit einem hochvernetzenden Reaktionsharzkleber beschichtet und gleichzeitig mit einem nichtrostenden Bandstahl (0,025 mm dicke Folie, Werkstoff-Nr. 1.43010), auf den ebenfalls Kleber aufgetragen ist, mindestens zweilagig bewickelt. Die weitere Handhabung des Probekörpers wird erleichtert, wenn man ihn danach mit einem dünnen Papiervlies umwickelt. Um sicherzustellen, dass das frische und das erhärtete Reaktionsharz ständig auf die Mantelfläche des Probekörpers aufgepresst werden, wird der Probekörper anschließend zusätzlich mit einem rd. 30 mm breiten Gummiband (z. B. aus einem Autoschlauch geschnitten) unter Zug umwickelt. Dadurch erreicht man, dass später die Abdichtung selbst dann gegen den Innendruck des wassergefährdenden Stoffes dicht bleibt, wenn die Haftung des Reaktionsharzes am Beton durch den eindringenden wassergefährdenden Stoff stellenweise gestört ist. Die Probekörper werden mindestens zwei Tage bei Raumtemperatur gelagert, damit das Reaktionsharz vollständig aushärten kann.



**Bild A-2 – Detail zu Bild A-1 mit Darstellung der Auswertung
zur Ermittlung von e_{ti} nach dem Spalten (Abmessungen in mm)**

(2) Alternativ darf entsprechend Bild A-3 ein durchmessergleicher Glastrichter umgekehrt auf der Prüfseite des Bohrkerns entlang des Randes aufgeklebt werden. Nach dem Erhärten des Klebers werden die Mantelfläche des Bohrkerns und ein ca. 30 mm breiter Streifen des Glaszylinders mehrfach mit einem Epoxidharz beschichtet. Das Epoxidharz muss auf Glas und Beton fest haften und gegen den wassergefährdenden Stoff beständig sein. Die Beschichtung muss so dicht sein, dass ein Verlust des wassergefährdenden Stoffes durch Verdampfen ausgeschlossen werden kann. Die zeitliche Folge der Beschichtungen ist so zu planen, dass die Haftung der Beschichtungslagen untereinander nicht beeinträchtigt wird. Die Verbindung des Glas-trichters mit dem Standrohr muss gegen den wassergefährdenden Stoff beständig und dicht sein.

(3) Die so hergestellten Prüfkörper werden über eine Teflonmanschette, siehe Bild A-2, oder einen geeigneten Schlauch mit dem Standrohr verbunden. Die statische Höhe des wassergefährdenden Stoffes über der Prüffläche beträgt rd. 0,4 m. Dabei ist die gesamte Apparatur mit einem PE-Stopfen verschlossen, der zum Druckausgleich eine Bohrung mit 1 mm Durchmesser und einen lose aufgelegten Deckel aufweist.

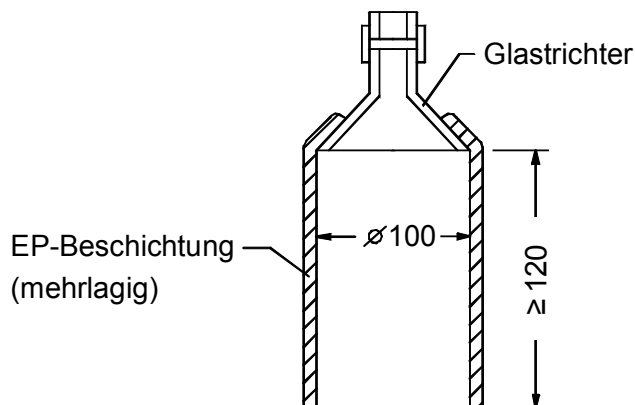


Bild A-3 – Alternative Prüfvorrichtung zur Ermittlung der Eindringtiefe von wassergefährdenden Stoffen in Beton (Abmessungen in mm)

A.2.4 Prüfung

(1) Vor dem Befüllen ist der Probekörper auf 0,1 g genau zu wiegen. Anschließend wird das rd. 0,5 m hohe Standrohr mit Teflonmanschette aufgesetzt. Innerhalb von max. 1 Minute wird das Standrohr bis zu einer Höhe von rd. 0,4 m über Probekörperoberfläche mit dem wassergefährdenden Stoff gefüllt und die Ausgangshöhe abgelesen (Ausgangswert).

(2) Die Versuche dauern in der Regel 72 Stunden und werden bei $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ durchgeführt.

(3) Die in die Oberfläche der Betonprobe eingedrungenen Mengen des wassergefährdenden Stoffes sind während des Versuchs mindestens täglich morgens und abends an der Messskala des Standrohrs abzulesen und aufzuzeichnen. Erforderlichenfalls ist der wassergefährdende Stoff nachzudosieren. Nach Ablauf der Versuchsdauer (72 Stunden) sind die Probekörper auszubauen und nach Entleeren des Rests des wassergefährdenden Stoffes im Bereich des Metallzylinders bzw. Glastrichters erneut zu wiegen. Danach ist die Öffnung provisorisch zu verschließen. Die Probekörper sind innerhalb einer Stunde parallel zur Längsachse mittig zu spalten. Sofort danach ist die sichtbare Eindringtiefe (Grenze feucht / trocken oder dunkel / hell) mit einem Stift zu markieren, siehe Bild A-2. Bei Stoffen mit hohem Dampfdruck kann der Fall auftreten, dass die Eindringtiefe nicht sichtbar ist. Hier darf die Eindringtiefe z. B. durch

- in den Beton vorsorglich eingemischte Indikatoren,
- Gasanalysemessungen auf der Bruchfläche,
- Besprühen mit konzentrierter Schwefelsäure und Abflammen sofort nach dem Spalten der Probe,
- Thermografie

festgestellt werden. Für jeden Probekörper ist die Eindringtiefe e_{ti} in mm gemäß Bild A-2 unter Aussparung eines 10 mm breiten Randes zu messen und anzugeben.

(4) Für den Nachweis der Eindringtiefe von n-Hexan und Di-Chlormethan hat sich insbesondere die Thermografie als Verfahren bewährt, wobei die eingesetzte Thermokamera ein thermisches Auflösungsvermögen von mindestens 0,1 K haben sollte. Nach dem Eindringen der Flüssigkeit wird der Prüfkörper gespalten. Beide Spaltflächen werden mit der Thermokamera fotografiert, und zwar nach 15 s, 30 s, 1 min und nach jeder weiteren Minute, bis das Maximum der Temperaturdifferenz zwischen Eindringfront und dem ungestörten Teil des Prüfkörpers erreicht war. Die dabei vorhandene Eindringtiefe wird an 5 Stellen über den Querschnitt gemessen und gemittelt. Die Prüfungen sind an 3 Prüfkörpern durchzuführen und die Eindringtiefen sind zu mitteln. Ausreißer (Abweichung des Einzelwerts vom Mittelwert größer als zweimal Standardabweichung) sind bei der Mittelwertbildung nicht zu berücksichtigen. Das Ergebnis ist auf 1 mm genau anzugeben. Die Thermografiebilder sind zu dokumentieren.

A.2.5 Auswertung

(1) Die Prüfwerte e_{ti} dienen zur Bestimmung der mittleren Eindringtiefe e_{tm} einer Serie ($n \geq 3$, $t = 72$ h):

$$e_{tm} = \sum e_{ti} / n \quad (\text{A-1})$$

Dabei ist

e_{tm} mittlere Eindringtiefe in mm, nach einer Beaufschlagungszeit von t Stunden;

e_{ti} Eindringtiefe in den Prüfkörper i in mm, nach einer Beaufschlagungszeit von t Stunden;

n Anzahl der Prüfkörper.

(2) Für die „charakteristische“ Eindringtiefe e_{tk} gilt:

$$e_{tk} = e_{tm} \cdot 1,35 \quad (\text{A-2})$$

Dabei ist

e_{tk} charakteristische Eindringtiefe in mm, nach einer Beaufschlagungszeit von t Stunden

(3) Die Eindringmenge E_t während des Versuchs ist in l/m^2 in Abhängigkeit von der Prüfzeit aufzutragen. Zur Kontrolle der Verlässlichkeit des Prüfergebnisses ist die Gewichtszunahme des Probekörpers nach Abgießen des wassergefährdenden Stoffes mit der am Standrohr abgelesenen Eindringmenge zu vergleichen. Der Eindringverlauf ist in der Form $E_t = B \cdot \sqrt{t}$ zu ermitteln, siehe Bild A-4.

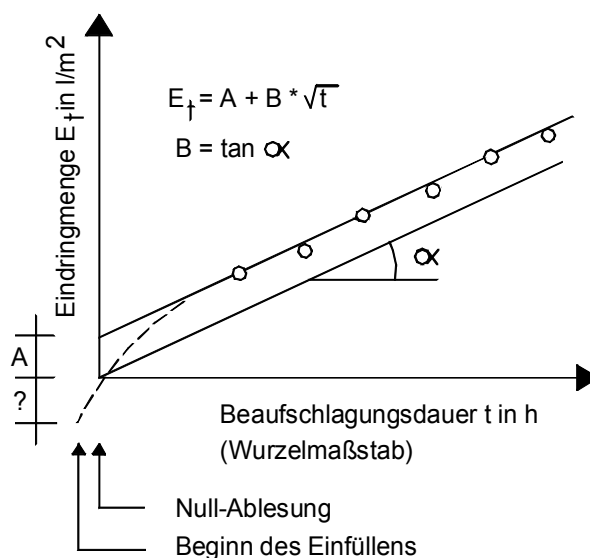


Bild A-4 – Beobachtbarer Eindringverlauf, Ermittlung der Eindringmenge als $E_t = B \cdot \sqrt{t}$

A.2.6 Prüfbericht

Im Prüfbericht ist anzugeben:

- Prüfstelle;
- Prüfbericht-Nr. und -datum;
- Ziel und Umfang der Prüfungen;
- Herstellung bzw. Entnahme der Probekörper (Tag, Ort, Menge, Kennzeichnung, Zusammensetzung);
- Probenvorbereitung bis zur Prüfung (Lagerung);
- Durchführung der Prüfungen (wassergefährdender Stoff, verwendetes Verfahren);
- Ergebnisse der Prüfungen (Eindringtiefe e_{ti} für jeden Probekörper i , „charakteristische“ Eindringtiefe e_{tk} , Eindringmenge und zeitlicher Verlauf, aufgenommene Menge des wassergefährdenden Stoffes in g jedes einzelnen Probekörpers gemäß Standrohrablesung und Masseänderung);
- Sachbearbeiter bzw. Prüfer.

A.3 Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in ungerissenen Faserbeton mit hohem Fasergehalt

A.3.1 Zweck der Prüfung

Die Prüfung dient zur Ermittlung der charakteristischen Eindringtiefe e_{tk} für Faserbetone und Faserbetondichtschichten, d. h. für Betone, die nicht wie in Anhang A.2 nach 72stündiger Beaufschlagung gespalten werden können.

A.3.2 Prüfbeton und Probekörper

(1) Der Prüfbeton muss wie der für die Bauausführung vorgesehene Beton zusammengesetzt sein.

(2) Die Probekörper sind als Platten mit 100 mm bis 120 mm Kantenlänge im Alter von sieben Tagen aus einer größeren Probeplatte zu entnehmen, die bei Dichtschichten die Fläche von rd. 1 m² aufweisen sollte. Bis dahin lagerte die Probeplatte bei rd. 20 °C mit Folie abgedeckt, um Wasserverlust zu vermeiden. Es sind je Prüfung mindestens drei Probekörper zu entnehmen. Platten, die dicker sind als $h = 50$ mm, sind auf der Unterseite auf eine Dicke von 50 mm abzuschneiden. Sie sind anschließend bis zum Alter von mindestens 56 Tagen frei im Klimaraum bei Normalklima 20/65 zu lagern.

A.3.3 Prüfung

(1) Der Einbau der Probekörper und die Beaufschlagung mit dem wassergefährdenden Stoff erfolgen analog A.2.3 und A.2.4 mit der Besonderheit, dass Faserbetone mit einer Füllstandshöhe von 0,5 m geprüft werden müssen. Die freien vertikalen und die horizontale Fläche an der Oberseite werden mit Epoxidharz abgedichtet.

(2) Zusätzlich ist auf der Unterseite der Probekörper eine Glasscheibe der gleichen Größe wie der Probekörper im Abstand von rd. 5 mm mit Klebeband zu befestigen. Die Beaufschlagung dauert so lange an, bis der wassergefährdende Stoff auf der Unterseite des jeweiligen Probekörpers austritt (Beaufschlagungsdauer t_i), maximal jedoch 168 Stunden (7 Tage).

A.3.4 Auswertung

(1) Die Berechnung der Eindringtiefe e_{72i} für jeden Probekörper ergibt sich aus t_i und der Probekörperdicke h_i nach Gleichung (A-3).

$$e_{72i} = h_i \cdot \sqrt{\frac{72}{t_i}} \quad (\text{A-3})$$

Dabei ist

h_i Höhe des einzelnen Probekörpers i in mm;

t_i Zeit in Stunden, bis der wassergefährdende Stoff die Unterseite des Probekörpers i erreicht;

e_{72i} Eindringtiefe des wassergefährdenden Stoffes in mm nach 72 Stunden.

Aus den Einzelwerten ($n \geq 3$) ist die mittlere Eindringtiefe

$$e_{72m} = \sum e_{72i} / n \quad (\text{A-4})$$

zu berechnen. Daraus ergibt sich die „charakteristische“ Eindringtiefe

$$e_{72k} = e_{72m} \cdot 1,35 \quad (\text{A-5})$$

A.3.5 Prüfbericht

Der Prüfbericht enthält die gleichen Angaben wie sie im Abschnitt A.2.6 aufgeführt sind. Anhand der zeitabhängigen Eindringmengen ist die Gültigkeit der \sqrt{t} -Beziehung nachzuweisen.

A.4 Bestimmung der Schädigungstiefe betonangreifender wassergefährdender Stoffe

A.4.1 Zweck der Prüfung

Durch die Prüfung soll ermittelt werden, welche Schädigungstiefe an einem bestimmten Beton auftritt, wenn er einer beliebig großen Menge eines leicht bewegten betonangreifenden wassergefährdenden Stoffes ausgesetzt wird. Die Prüfung dient in der Regel zur Ermittlung der Schädigungstiefe von starken Säuren, deren Angriffstiefe mit dem Phenolphthalein-Test bestimmt wird. Ist die Angriffsart nicht genau definierbar, so wird die Schädigungstiefe anhand der veränderten Druckfestigkeit der Probekörper ermittelt.

A.4.2 Prüfbeton und Probekörper

(1) Für Betonzusammensetzung, Probekörperherstellung und Nachbehandlung gelten die Regelungen von Abschnitt A.2.2, Absätze (1) oder (2) und (3).

(2) Aus den Probewürfeln o. ä. werden im Alter von sieben Tagen Bohrkerne mit Durchmesser $d = 80$ mm und Höhe $h = 150$ mm gewonnen. Je Prüfparameter (Beton; wassergefährdender Stoff; Beaufschlagungsdauer) sind mindestens drei Bohrkerne zu prüfen. Mindestens drei weitere Bohrkerne sind zusätzlich als Referenzkörper bereitzustellen. Bei definiertem Angriff durch starke Säuren genügen zwei Bohrkerne ohne Referenzkörper. Die Bohrkerne werden bis zum Alter von mindestens 28 Tagen, freistehend auf Dreikantleisten, bei Normalklima 20/65 gelagert. Ihr Durchmesser ist auf 0,5 mm genau zu messen.

A.4.3 Prüfung und Auswertung

(1) Die Prüfung der Bohrkerne erfolgt in einem Becken, das aus einem gegenüber dem wassergefährdenden Stoff beständigen Werkstoff besteht, i. d. R. Glas. Das Lösungspotential des wassergefährdenden Stoffes (Menge, Konzentration) muss ausreichen, um rechnerisch mindestens die dreifache Anzahl der eingestellten Probekörper vollständig auflösen zu können.

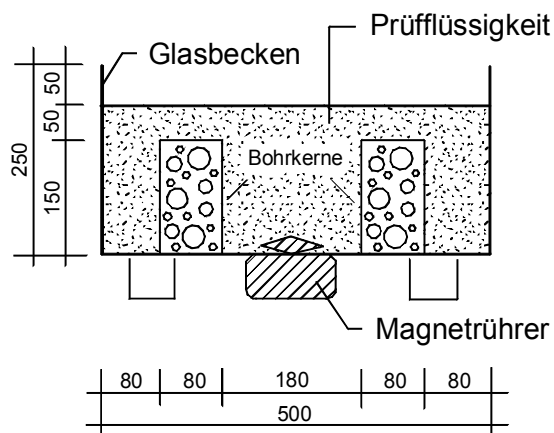


Bild A-5 – Prüfgerät zur Ermittlung der Schädigungstiefe bei Säurelagerung (Abmessungen in mm)

(2) In der Regel reicht das auf Bild A-5 dargestellte Becken $l \times b \times h = 500 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ aus. Je nach Lösungspotential des wassergefährdenden Stoffes können drei bis sechs Bohrkerne mit der Betonieroberseite nach oben eingestellt werden. Der wassergefährdende Stoff ist mit Hilfe eines Magnetrührers während der Beaufschlagungsdauer ständig sehr langsam in Bewegung zu halten.

(3) Die Beaufschlagungsdauer beträgt in der Regel 72 Stunden. Während der Beaufschlagung sind gegebenenfalls die Referenzkörper in Wasser zu lagern.

(4) Am Ende der Beaufschlagungsdauer werden die Bohrkerne entnommen, abgespült und durch beidseitiges Schneiden auf $h \approx 82$ mm Länge gekürzt. Die abgeschnittene Scheibe, die die Herstelloberseite enthält, sollte mindestens 35 mm hoch sein. Sie wird zur Feststellung des Angriffs durch starke Säuren entlang eines Durchmessers gespalten und mit einer Phenolphthalein-Lösung angesprüht. Die Vorgehensweise entspricht derjenigen bei der Messung der Carbonatisierungstiefe gemäß DAfStb-Heft 422. Nach rd.

10 Minuten wird die innere Grenze des Schädigungsverlaufs durch eine Gerade angenähert, siehe Bild A-6, und die Schädigungstiefe auf beiden Seiten in der Bruchebene gemessen. Die mittlere Schädigungstiefe erhält man aus mindestens vier Prüfwerten (zwei Bohrkern, zwei Seiten). Sie wird als mittlere Schädigungstiefe s_{Ctm} (mm) angegeben, mit t = Beaufschlagungsdauer in Stunden, z. B. s_{C72m} .

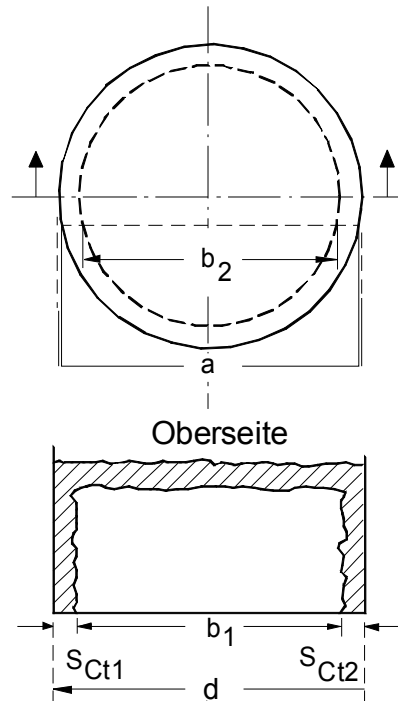


Bild A-6 – Ermittlung der Schädigungstiefe nach einem Säureangriff gemäß Bild A-5

(5) Sollte die ursprüngliche gebohrte Oberfläche des Zylinders anhand der Schnittfläche an der groben Gesteinskörnung nicht mehr feststellbar sein, z. B. bei löslicher Gesteinskörnung, so ist der ursprüngliche Abstand der Mantellinien je nach Lage der Bruchfläche als d oder a entsprechend dem ursprünglichen Durchmesser des Probekörpers festzulegen. Die Schädigungstiefe s_{Ctm} beträgt dann nach Gleichung (A-6), siehe Bild A-6:

$$s_{\text{Ctm}} = \frac{d - b_1}{2} \quad \text{oder} \quad \frac{a - b_2}{2} \quad (\text{A-6})$$

(6) Sollte die betonangreifende Wirkung des wassergefährdenden Stoffes nicht genau definierbar oder unbekannt sein, so wird ebenfalls der Phenolphthalein-Test an den abgeschnittenen Kappen nach der Beaufschlagung durchgeführt und der Befund festgestellt. Die Endflächen der rd. 82 mm hohen Reststücke werden auf $h = 80$ mm planparallel geschliffen. Desgleichen werden Zylinder $h = d = 80$ mm aus den wassergelagerten Referenzkörpern gewonnen.

(7) Aus den mittleren Bruchlasten P_{uC} der chemisch beanspruchten Restkörper und P_{uW} der wassergelagerten Restkörper wird die „charakteristische Schädigungstiefe“ nach Gl. (A-7)

$$s_{\text{Ctk}} = \frac{1}{2} \cdot d \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{P_{\text{uC}}}{P_{\text{uW}}}}\right) \quad (\text{A-7})$$

Dabei ist

- s_{Ctk} Schädigungstiefe in mm;
- d mittlerer Durchmesser der Probekörper vor der Beanspruchung in mm;
- P_{uW} mittlere Bruchlast der chemisch unbeanspruchten Probekörper in kN;
- P_{uC} mittlere Bruchlast der chemisch beanspruchten Probekörper in kN.

A.4.4 Prüfbericht

Im Prüfbericht ist anzugeben:

- Prüfstelle;
- Prüfbericht-Nr. und -datum;
- Ziel und Umfang der Prüfungen;
- Herstellung bzw. Entnahme der Probekörper (Tag, Ort, Menge, Kennzeichnung, Zusammensetzung);
- Probenvorbereitung bis zur Prüfung (Lagerung);
- Durchführung der Prüfungen (wassergefährdender Stoff, verwendetes Verfahren);
- Ergebnisse der Prüfungen u. a. Beschreibung des äußeren Befundes der Probekörper nach der Beaufschlagung und gegebenenfalls eine Skizze der mit Phenolphthalein ermittelten Schädigungstiefe;
- Sachbearbeiter bzw. Prüfer.

A.5 Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in gerissenen Beton

A.5.1 Zweck der Prüfung

Die Prüfungen dienen der Ermittlung der kritischen Rissbreite w_{crit} , der Eindringtiefe e_{w_t} und der „charakteristischen“ Eindringtiefe $e_{w_{tk}}$. Die Trennrisse werden an einer Sollrissstelle des Betonprobekörpers vorab durch geeignete Prüfeinrichtungen erzeugt, danach auf eine vorgewählte Rissbreite w eingestellt und anschließend einseitig durch den wassergefährdenden Stoff beaufschlagt. Die Prüfdauer beträgt in der Regel 72 Stunden, die statische Druckhöhe 1,4 m.

A.5.2 Prüfbeton und Probekörper

(1) Für die Probekörper ist ein Beton in der vorgesehenen Zusammensetzung zu verwenden (siehe A.2.2). Bei der Festlegung der Gesteinskörnung ist zu beachten, dass sich bei kleinerem Größtkorn und ungünstigeren Korngemischen als Sieblinienbereich A/B weniger raue Rissufer ergeben, die in der Regel zu stärkeren Fließvorgängen führen. Nach dem Betonieren sind die Probekörper bis zum 7. Tag feucht zu halten und daran anschließend bis zum Alter von mindestens 56 Tagen bei Normalklima 20/65 zu lagern. Unmittelbar danach soll mit den Prüfungen – d. h. mit dem Erzeugen der Trennrisse, dem Einstellen der Rissbreiten w und der Beaufschlagung mit dem wassergefährdenden Stoff – begonnen werden. Bei Abschluss der Versuche sollen die Probekörper in der Regel nicht älter als drei Monate sein.

(2) Für die Probekörper sind im Bereich des Trennrisses folgende Querschnittsabmessungen zu wählen:

- in Fließrichtung 200 mm (entspricht üblicher Konstruktionsdicke);
- quer zur Fließrichtung mindestens 150 mm.

A.5.3 Prüfvorrichtung und Prüfung

(1) Die Prüfvorrichtung muss die Teile enthalten, die erforderlich sind, um

- eine Zugkraft zur Erzeugung der Risse sicher in den Betonprobekörper einzuleiten,
- ein Auseinanderfallen des Probekörpers bei der Rissbildung zu verhindern,
- gleiche Rissbreiten an den 4 Probekörperecken zu erzielen und die Probekörperabschnitte zu fixieren.

(2) Bei der Durchführung des Versuchs sind die Festlegungen nach Abschnitt A.2 sinngemäß zu übernehmen. Ein bewährter Prüfaufbau ist in Bild A-7 dargestellt. Bild A-7 enthält gleichzeitig Angaben zur Einwirkungsrichtung des wassergefährdenden Stoffes, zu den Aussparungen für die Sollrissvorgabe und für die einzuhaltenden Querschnittsabmessungen im Trennrissbereich. Vor der Zugbeanspruchung der vier einbetonierten Bewehrungsstäbe, die über eine Zugvorrichtung eingeleitet wird, sind an jeder Sollbruchstelle vier Messstrecken zur späteren Messung der Rissbreiten anzulegen.

(3) Für die Messung der Rissbreiten sind Messgeräte auf optischer, mechanischer (z. B. Setzdehnungsmesser, SDM) oder elektrischer Grundlage zu wählen, die eine Ablesung mit einer Genauigkeit von mindestens 0,01 mm ermöglichen.

(4) Nach der Rissbildung wird die Rissbreite eingestellt. Die Risse können seitwärts durch aufgeklebte Formteile abgedichtet werden. Auf der Oberseite übernimmt ein aufgeklebter kastenförmiger Aufsatz die gleichmäßige Verteilung des wassergefährdenden Stoffes. Er trägt auch das Standrohr und enthält seitlich einen Ablasshahn.

(5) Zur Bestimmung der Eindringtiefe e_{w_i} wird das Standrohr geleert und entfernt. Der Probekörper wird unmittelbar nach Ablauf des Versuchs so gedreht, dass die dem wassergefährdenden Stoff ausgesetzte Oberseite nach unten zu liegen kommt. Danach werden die Zugstäbe durchtrennt, die Rissufer vorsichtig freigelegt und die Eindringtiefen des wassergefährdenden Stoffes im Trennriss bestimmt.

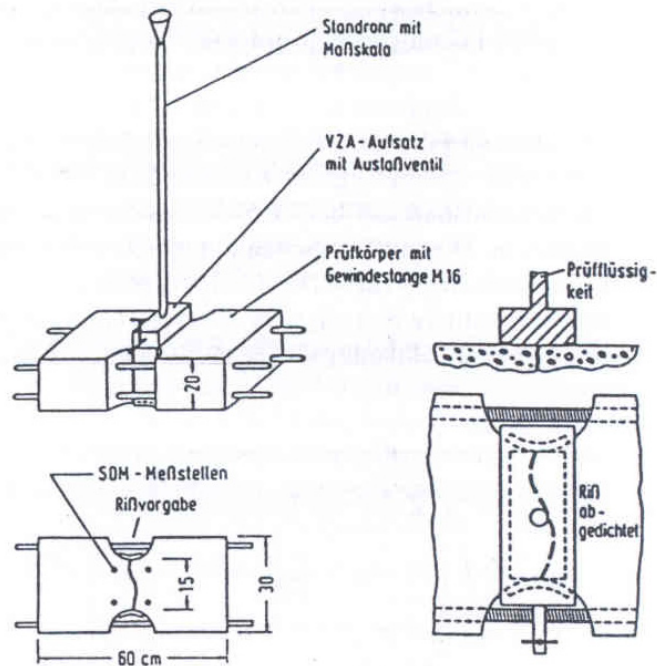


Bild A-7 – Schematische Darstellung des Probekörpers zur Ermittlung der Eindringtiefe bei vorgegebener Rissbreite

(6) Die Festlegung der zu untersuchenden Rissbreiten richtet sich nach dem Nachweis gemäß Teil 1, Abschnitt 5.1.5, dieser Richtlinie. Im Allgemeinen wird empfohlen, die Eindringtiefen für zwei Rissbreiten (z. B. 0,10 mm und 0,25 mm) zu ermitteln. In Nebenversuchen sollen zusätzlich die das Fließverhalten des wassergefährdenden Stoffes kennzeichnenden Größen, wie die kinematische Viskosität und die Oberflächenspannung, bestimmt werden, sofern diese Daten nicht bekannt sind. Je wassergefährdender Stoff und Rissbreite müssen mindestens drei Risse geprüft werden.

A.5.4 Auswertung

Der aus den Versuchen ermittelte Zusammenhang zwischen Eindringtiefe und Rissbreite sollte graphisch dargestellt werden. Die Ergebnisse der verschiedenen Risse mit gleicher Breite und gleicher Beaufschlagung mit dem wassergefährdenden Stoff sind zu mitteln. Zur Berücksichtigung von Streuungen ist die Rissbreiten/Eindringtiefen-Relation in Richtung der Eindringtiefenachse um den Faktor 1,35 zu verschieben. Sofern für die aktuelle Bemessung andere Rissbreiten oder Eindringtiefen, als experimentell untersucht, verwendet werden sollen, ist eine lineare Interpolation zulässig, siehe Bild A-8. Aus Bild A-8 lassen sich anhand der eingezeichneten „charakteristischen Beziehung“ unmittelbar w_{crit} oder $e_{w_{tk}}$ entnehmen.

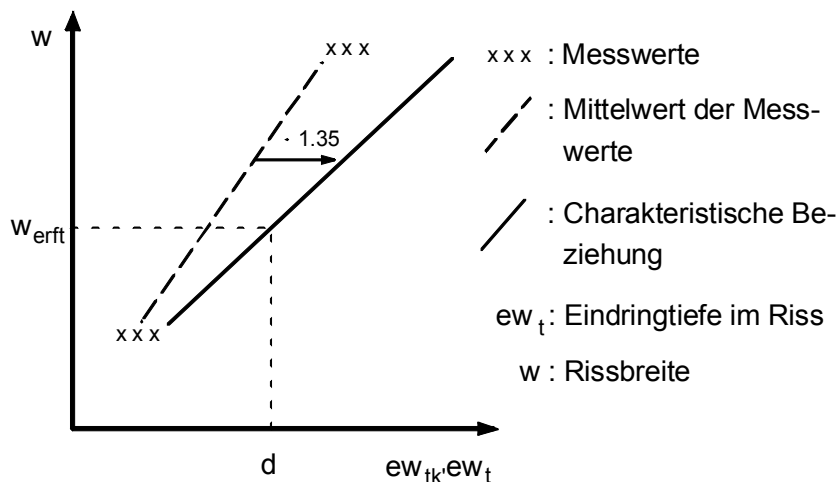


Bild A-8 – Auswertung der Versuche mit unterschiedlicher Rissbreite für einen bestimmten Beton und einen bestimmten wassergefährdenden Stoff

A.5.5 Prüfbericht

Im Prüfbericht ist anzugeben:

- Prüfstelle;
- Prüfbericht-Nr. und -datum;
- Ziel und Umfang der Prüfungen;
- Herstellung bzw. Entnahme der Probekörper (Tag, Ort, Menge, Kennzeichnung, Zusammensetzung);
- Probenvorbereitung bis zur Prüfung (Lagerung);
- Durchführung der Prüfungen (wassergefährdender Stoff, verwendetes Verfahren);
- Ergebnisse der Prüfungen (mittlere Eindringtiefe ew_t , Ermittlung der „charakteristischen Beziehung“ und Eintragung von w_{crit} , Eindringmenge und zeitlicher Verlauf je Riss, aufgenommene Menge des wassergefährdenden Stoffes in g jedes einzelnen Probekörpers);
- Sachbearbeiter bzw. Prüfer.

A.6 Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in Dichtschichten

A.6.1 Zweck der Prüfung

Die Prüfung ergänzt die Prüfung der Eindringtiefe nach den Abschnitten A.2 oder A.3. Sie soll zeigen, ob die Dichtschicht eine größere Dehnung erträgt als normaler Beton, ohne undicht zu werden.

A.6.2 Prüfbeton und Probekörper

(1) Der Prüfbeton muss wie der für die Bauausführung vorgesehene Beton zusammengesetzt sein.

(2) Aus einer Platte von mindestens 1 m^2 , die nach der Herstellung sieben Tage lang unter Folie ohne Wasserzufuhr bei rd. 20°C gelagert wurde, werden zwei Probekörper von rd. 150 mm Breite und rd. 800 mm Länge geschnitten. Die Dicke sollte nicht mehr als 60 mm betragen.

(3) Die Probekörper sind mindestens 56 Tage lang im Normalklima 20/65 zu lagern.

A.6.3 Durchführung der Prüfung

(1) Die Enden der Probekörper werden in Stahlschuhe eingeklebt, die zentrisch in eine Zugprüfvorrichtung horizontal eingespannt sind. Auf beiden geschnittenen Längsseiten der Probekörper werden in Längsrichtung mittig liegende Messstrecken für Setzdehnungsmesser angelegt. Die jeweils fünf Messmarken jeder Messstrecke müssen untereinander einen Abstand von 100 mm haben.

(2) Die Probekörper werden in der Zugprüfvorrichtung in geeigneten Stufen langsam durch Zugkräfte beansprucht, bis an zwei nebeneinanderliegenden Messstrecken auf beiden Seiten eine Dehnung von mindestens 2 ‰ gemessen wird (s. a. DAfStb-Heft 465). Diese Dehnung ist während der Prüfung mit dem jeweiligen wassergefährdenden Stoff aufrecht zu erhalten.

(3) Sollten die Probekörper bei Zugbeanspruchung nach Absatz (2) nur eine ausgeprägte Bruchzone zeigen, ohne dass die verlangte Dehnung an den übrigen Messstrecken erreicht wird, ist die Prüfung beendet. Das Ergebnis zeigt, dass die Dichtschicht dann keine wesentlich erhöhte Dehnfähigkeit aufweist.

(4) Auf jeden Probekörper sind im Bereich mit einer Dehnung von ≥ 2 ‰ flüssigkeitsbeständige Zylinder oder Trichter (s. Bilder A-1 oder A-3) mit Innendurchmesser 80 mm aufzukleben. Anschließend wird um jeden Zylinder herum eine Fläche von rd. 150 mm × 150 mm provisorisch abgedichtet. Auf den Seitenflächen und auf der Unterseite werden die jeweils angrenzenden Flächen abgedichtet, wobei eine kreisrunde Fläche mit 80 mm Durchmesser unterhalb des Zylinders frei bleiben muss. Die untere freie Fläche wird mit einer Glasplatte abgedeckt, die z. B. mit Klebeband am Probekörper befestigt wird.

(5) Anschließend wird der wassergefährdende Stoff 0,5 m hoch in das Standrohr über dem Zylinder gefüllt. Das Standrohr wird oben verschlossen, siehe A.2.3, Absatz (3). Der Stand des wassergefährdenden Stoffes muss stets mindestens 0,4 m sein.

(6) Durch Beobachtung der freien Fläche unter dem Zylinder ist der Zeitpunkt des Durchtritts des wassergefährdenden Stoffes festzustellen.

A.6.4 Auswertung und Prüfbericht

Im Prüfbericht ist anzugeben:

- Prüfstelle;
- Prüfbericht-Nr. und -datum;
- Ziel und Umfang der Prüfungen;
- Herstellung bzw. Entnahme der Probekörper (Tag, Ort, Menge, Kennzeichnung, Zusammensetzung);
- Probenvorbereitung bis zur Prüfung (Lagerung);
- Durchführung der Prüfungen (wassergefährdender Stoff, verwendetes Verfahren);
- Ergebnisse der Prüfungen (Bewertung der Eindringtiefe e_{tm} erfolgt in Anlehnung an Abschnitt A.3.4, Zeitpunkte des Durchtritts des wassergefährdenden Stoffes);
- Sachbearbeiter bzw. Prüfer.

A.7 Prüfung der Medienbeständigkeit von Fasern in Beton oder in Dichtschichten

A.7.1 Zweck der Prüfung

Die Prüfung soll zeigen, ob die zu untersuchenden Fasern ihre Festigkeit im Beton verlieren, wenn der Beton mit den während der Nutzung des Bauwerks möglicherweise einwirkenden wassergefährdenden Stoffen beaufschlagt wird. Ein ungünstiger Einfluss soll sich am Abfall der Biegezugfestigkeit von Probekörpern zeigen. Die Prüfung gilt für alle Fasern in Beton oder in Dichtschichten.

A.7.2 Prüfbeton und Probekörper

(1) Vorausgesetzt wird, dass die Widerstandsfähigkeit der Fasern gegenüber den möglicherweise einwirkenden wassergefährdenden Stoffen direkt am Faserwerkstoff untersucht wurde, und dass das Ergebnis eine Prüfung am Beton noch als sinnvoll erscheinen lässt.

(2) Probekörper für Beton sind Balken nach Abschnitt A.1.1. Probekörper für Dichtschichten sind Balken nach Abschnitt A.1.2.

(3) Für jede Prüfung sind mindestens sechs gleichartige Balken bereitzustellen.

A.7.3 Durchführung der Prüfung und Prüfbericht

(1) Die Balken sind gemäß Abschnitt A.1.1 oder A.1.2 über die Höchstlast hinaus bis zu einer Durchbiegung in Balkenmitte von 1 mm zu belasten.

(2) Danach werden die Probekörper entlastet und drei Probekörper bei einer Temperatur von 20 °C fünf Stunden lang in den wassergefährdenden Stoff gelegt. Sie sollen dabei von dem ständig leicht bewegten wassergefährdenden Stoff frei umspült werden (Magnetrührer). Die drei Probekörper werden danach in einem Klimaraum bei Normalklima 20/65 frei gelagert und nach jeweils sieben Tagen einem neuen Tauch- und Trocknungszyklus ausgesetzt. Insgesamt sind 10 solcher Lagerungszyklen durchzuführen. Sollte die Möglichkeit bestehen, dass sich der wassergefährdende Stoff durch eine Reaktion mit den Probekörpern bezüglich der Einwirkung auf die Fasern verändert, so ist der wassergefährdende Stoff oft genug zu erneuern. Die drei Vergleichsprobekörper sind in Folie eingeschlagen bei rd. 20 °C zu lagern.

(3) Anschließend werden die Probekörper in exakt der gleichen Lage wie vor der Medienbelastung wieder in die Prüfmaschine eingebaut und bis zur Höchstlast belastet.

(4) Die Biegezugfestigkeiten aller Probekörper nach erneuter Belastung sind nach Abschnitt A.1.1 oder A.1.2 zu berechnen.

(5) Neben den allgemeinen Angaben sind im Prüfbericht der verwendete wassergefährdende Stoff, die Biegezugfestigkeiten der einzelnen Probekörper für die erste und die zweite Belastung sowie die jeweiligen Mittelwerte anzugeben. Das Verhältnis der Mittelwerte der Biegezugfestigkeiten der jeweils drei Probekörper nach der zweiten Belastung mit oder ohne Einwirkung des wassergefährdenden Stoffes gilt als Widerstandsgrad ξ .

Normen, Richtlinien und andere Unterlagen

Allgemeine Normen und Richtlinien siehe Teile 1 und 2 dieser Richtlinie

DIN EN 12390-2, *Prüfung von Festbeton – Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen*

DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“

Prüfung von Beton; Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048. Berlin: Beuth. – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Nr. 422

Lemberg, M.: Dichtschichten aus hochfestem Faserbeton. Berlin: Beuth. – In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Nr. 465

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAfStb-Richtlinie

Betonbau beim Umgang
mit wassergefährdenden Stoffen (BUmwS)

Anhang B: Erläuterungen (informativ)

Anhang B – Erläuterungen (informativ)

Erläuterungen zu Teil 1 der Richtlinie

Zu Vorbemerkung

Über die Anforderungen dieser Richtlinie hinaus gilt, dass die einschlägigen Gesetze und Verordnungen einzuhalten sind. Die in sicherheitsrelevanten Bauteilen zum Einsatz kommenden Bauprodukte und Bauarten müssen für die vorgesehene Verwendung geeignet sein. Der Nachweis der Verwendbarkeit kann für die geregelten Bauweisen einerseits durch anerkannte und nach VAUwS bekanntgemachte Regeln erbracht werden, für LAU-Anlagen andererseits über die Bauregellisten (gegebenenfalls in Verbindung mit Liste III der Technischen Baubestimmungen) erfolgen.

Für nicht geregelte Bauprodukte, Bauarten und Bausätze für LAU-Anlagen ist die Verwendbarkeit über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen bzw. über europäische technische Zulassungen (in Verbindung mit Liste III der Technischen Baubestimmungen) nachzuweisen. Die Randbedingungen und technischen Festlegungen dieser Regeln und Zulassungen sind zu beachten.

Für HBV-Anlagen liegt die Regelungszuständigkeit beim Wasserrecht. Die für LAU-Anlagen erarbeiteten und geprüften Detaillösungen können aber auch hier angewendet werden, wenn abweichende Beanspruchungen bei der Planung und Ausführung berücksichtigt werden. Damit dieser Unterschied zwischen LAU- und HBV-Anlagen auch bei Anwendung einzelner Richtlinienenteile beachtet wird, wurde in allen Teilen darauf hingewiesen.

Zu 3 Sicherheitsbeiwerte

Die in Tabelle 1-1 aufgeführten Sicherheitsbeiwerte wurden in Abhängigkeit vom Überwachungsintervall gewählt. Ausgehend von der Überlegung, dass bei halbierten Inspektionsintervallen die Versagenswahrscheinlichkeit P verdoppelt werden darf, ohne dass sich das Risiko verändert, wurden die Sicherheitsbeiwerte unter Berücksichtigung sicherheitstheoretischer Grundlagen neu ermittelt.

Neu hinzugekommen ist die Zeile 4 der Tabelle 1-1. Die erhöhten Sicherheitsbeiwerte in dieser Zeile tragen der Erkenntnis Rechnung (s. [1]), dass bei sehr kleinen Rissbreiten die Zuverlässigkeit der Bemessungsverfahren nach EC 2-1-1 deutlich zurückgeht.

Zu 4.1 Physikalische Einwirkungen

Unter Infrastruktur werden hier Einrichtungen verstanden, die im Fall einer Beaufschlagung aktiv werden. Beispiele hierfür sind:

- periodische Sichtkontrolle – automatische Warneinrichtungen;
- periodische Überwachung – permanent besetzte Leitzentrale;
- keine eigenen technischen Dienste – permanent bereite, entsprechend ausgestattete technische Dienste (Betriebsfeuerwehr).

Bei den Abfüllungen wird zwischen geschlossener und offener Abfüllung unterschieden, da die Erfahrung gezeigt hat, dass bei geschlossener Abfüllung der Beaufschlagungsfall als einmalig einzustufen ist, während es bei offenen Abfüllungen (z. B. ähnlich wie bei öffentlichen Tankstellen) häufiger zu Tropfbeaufschlagung kommt. Bei Fällen, bei denen mit häufiger Beaufschlagung zu rechnen ist, bedarf die längere Beaufschlagung besondere Beachtung. Für leichtflüchtige Stoffe (z. B. Ottokraftstoff) wurde festgestellt, dass zwischen den einzelnen Beaufschlagungszyklen durch die Verdunstung eine Entspannung der Situation stattfinden kann. Unter Umständen sind daher in Abhängigkeit von den Stoffeigenschaften bei intermittierender Beaufschlagung weitergehende Untersuchungen erforderlich.

Zu 4.3.3 Einwirkungen aus eingepprägten Verzerrungszuständen

Aus Bild 1-2 können die einzelnen Anteile entsprechend dem Beispiel in Bild E1-1 abgelesen werden.

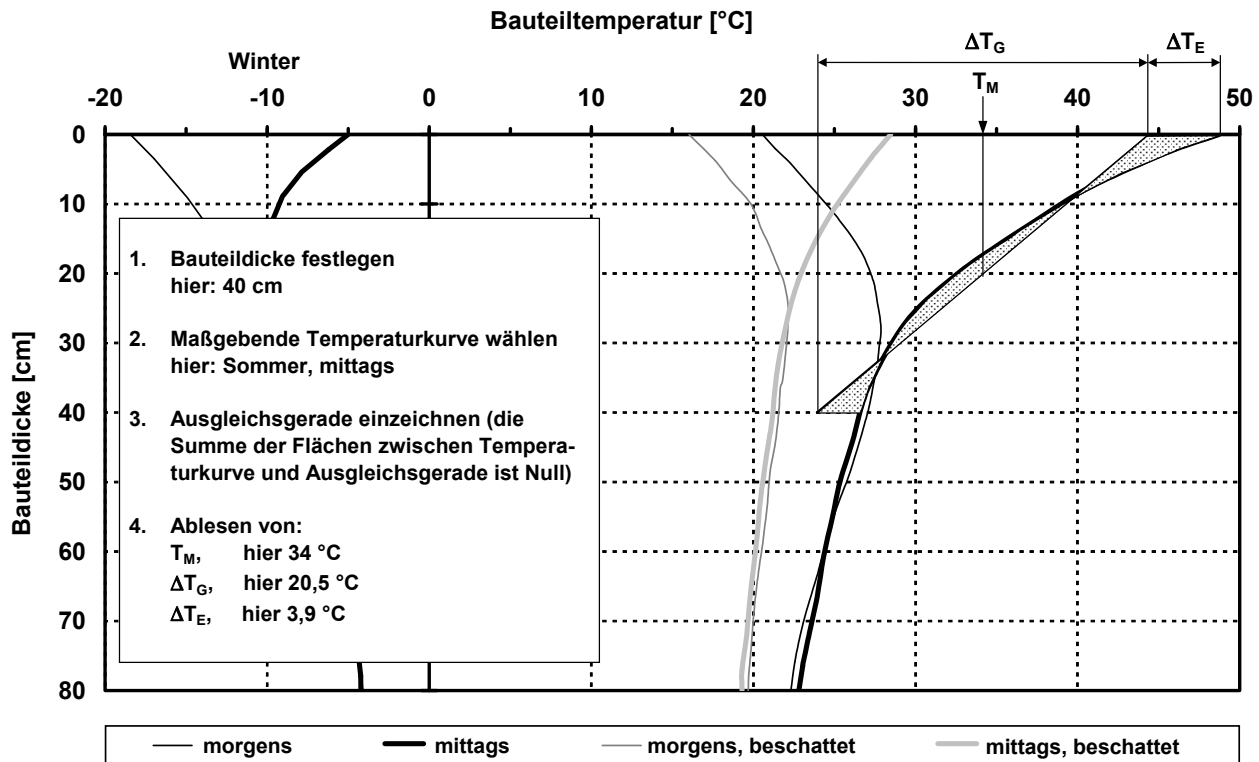


Bild E1-1 – Beispiel zur Auswertung der Temperaturverläufe

Zu 5.1.2 Vereinfachter Nachweis

Die in Tabelle 1-6 aufgeführten Bewehrungsgehalte für den vereinfachten Nachweis wurden mit den folgenden Randbedingungen ermittelt:

- Länge und Breite der Platten: ≤ 50 m;
- Rohdichte: $\rho_c = 25 \text{ kN/m}^3$;
- mittlere Auflast: $q \leq 5 \text{ kN/m}^2$ (ständiger und quasiständiger Anteil, s. ψ_2 in Tabelle 1-5);
- Reibbeiwert: $\mu = 0,75$;
- Relaxation für Schwinden oder Temperatur aus Eigengewicht: 30 % (entsprechend Jahresgang);
- $e_{tk} = 1,35 \cdot e_{tm}$;
- $n = E_s/E_c = 10$;
- $d_1 = 35 \text{ mm}$;
- keine Verschleißschicht.

Für Verhältnisse, in welchen die Betondruckfestigkeit nicht ausgenutzt wird, gilt Gleichung E1-1:

$$a_{s,\min} = \left[\frac{x^2}{2 \cdot n \cdot (d - x)} + \frac{N}{\sigma_s} \right] \cdot 10000 \text{ in cm}^2/\text{m} \quad (\text{E1-1})$$

Dabei ist

$$x = 1,5 \cdot 1,35 \cdot e_{tm} = 2,025 \cdot e_{tm} \text{ in m};$$

$$\sigma_s = 400 \text{ N/mm}^2;$$

$$N = (0,7g + q) \cdot \mu \cdot l/2 = (0,7 \cdot h \cdot 0,025 + 0,005) \cdot 0,75 \cdot 50/2 = (0,0175 \cdot h + 0,005) \cdot 18,75 \text{ in Nm/mm}^2;$$

$$n = 10;$$

$$d = h - 0,035 \text{ in m}.$$

ANMERKUNG Die Betondeckung kann bei diesen Nachweisen einen verhältnismäßig großen Einfluss auf die erforderliche Bewehrung haben. Tabelle 1-6 enthält daher auch Bewehrungsgehalte für $d_1 = 50 \text{ mm}$.

Aus der zunehmenden Normalkraft infolge steigenden Eigengewichts ergibt sich in den beiden letzten Zeilen ein Anstieg der Mindestbewehrung mit zunehmender Dicke.

Bei Ausnutzung der Druckfestigkeit wird aus Gleichung (E1-1) die Gleichung (E1-2):

$$a_{s,min} = \frac{x^2}{2 \cdot n \cdot (d - x)} + \frac{N \cdot x}{\sigma_c \cdot n \cdot (d - x)} \quad (E1-2)$$

Dabei ist

$$\sigma_c = 0,85 \cdot f_{ck} / 1,25 = 0,68 \cdot f_{ck}.$$

Für einen C30/37 bedeutet dies z. B. eine Betongrenzspannung von 20,4 N/mm². Eine Ausnutzung im Sinne eines Parabel-Rechteck-Diagramms ist wegen der n -Bindung nicht zulässig.

Zu 5.1.3 Nachweis in ungerissenen Bereichen

Zu Absatz (3)

Der Ansatz für die Biegezugfestigkeit in der Richtlinie wurde nicht an den EC 2-1-1 angepasst. Der charakteristische Wert für die Biegezugfestigkeit nach dem Richtlinienansatz führt im Vergleich zum Ansatz in EC 2-1-1 zu geringeren Werten und liegt damit für den Nachweis des ungerissenen Betons auf der sicheren Seite.

Zu 6 Mindestbewehrung

Die Vorgabe einer Mindestbewehrung soll dazu dienen, die Anlage im Falle der unplanmäßigen Rissbildung vor zu großen Rissen zu schützen und im Falle der Rissbildung eine Instandsetzung mit üblichen zugelassenen Oberflächenschutzsystemen zu ermöglichen, die in der Regel auf eine Rissbreitenüberbrückung von 0,2 mm ausgerichtet sind. Bei zentrischer Beanspruchung (besonders kritisch hinsichtlich Dichtheit) ergeben sich geringfügig größere Bewehrungsmengen, während bei Biegung weniger Bewehrung ausreicht.

Zu 7 Konstruktion und Bauausführung

Zu 7.1 Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze

(1) Bei Rissbreiten bis 0,1 mm kann davon ausgegangen werden, dass es sich um Risse aus Eigenspannungen handelt, die lediglich im Bereich der Oberfläche vorhanden sind. Solche Risse haben in der Regel maximale Risstiefen bis etwa $h/10$ der Dicke des Konstruktionselements. Risse, die im Rahmen der Nachweise der Dichtheit nach Abschnitt 5.1 nach Breite und Tiefe (Nachweis ausreichender Druckzonendicke oder Rissbreitennachweis) berücksichtigt wurden, sind nicht zu beanstanden.

(2) Die Forderung nach Vermeidung von Zwang bei gleichzeitiger Minimierung der Anzahl der Fugen erfordert in jedem Falle eine betontechnische Optimierung und die Einbeziehung von Bauausführungserfahrung in die Planung von Dichtkonstruktionen.

(3) Wenn Bauteile mit Dichtfunktion nicht in einem Arbeitsgang hergestellt werden können, so ist unter Berücksichtigung der Unterbrechung des Betoniervorgangs nachzuweisen, dass die Konstruktionen dicht bleiben. Aus dieser Bedingung ergibt sich, dass die Arbeitsfugen zu planen sind und dass Zwang aus abfließender Hydratationswärme in die Nachweise einzubeziehen ist.

Zu 7.2 Bauteile von Anlagen

Allgemeines

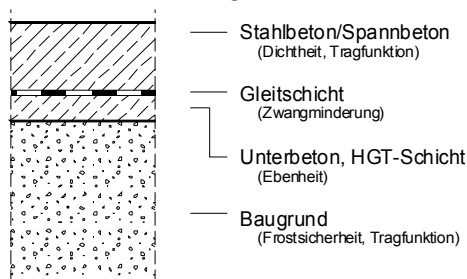
Zu den Bauteilen von Anlagen gehören Rückhalteeinrichtungen, z. B. Ableitflächen, Rinnen, Rückhalteflächen, Auffangräume, Auffangwannen, Gruben, Pumpensümpfe und Bunker. Tabelle E1-1 gibt eine Übersicht über die Beaufschlagung und Ausbildung dieser Bauteile.

**Tabelle E1-1 – Ausbildung von Dichtelementen
ohne Berücksichtigung besonderer Einwirkungen**

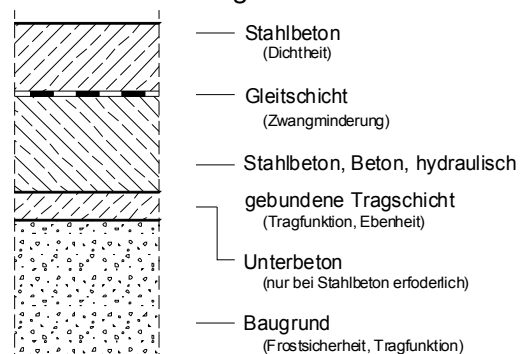
S	1	2	3	4	5	6	7
	Beaufschlagung			Bauteil/Dichtelement		Ausbildung	
	Dauer	Häufigkeit	Menge			Flächen	Bewegungs- fugen
Z							
1a	kurzzeitig	mehrmalig	gering	Dicht- flächen	Ableitflächen	Beton	a
1b		einmalig	groß		Rückhalte- flächen	Beton/ Sondermaßnahmen	
1c	Nachweis- dauer						
2a	kurzzeitig	einmalig	mittel	Rinnen		Beton	a
2b		mehrmalig	gering			Beton/ Sondermaßnahmen	
3a	Nachweis- dauer	einmalig	groß	Rück- halte- einrich- tungen	Auffangräume/ Auffangwannen	Beton	a
3b					Gruben		keine
4a	langzeitig	mehrmalig	mittel		Pumpen- sümpfe	Sonder- maßnahmen	keine
4b			gering				
4c			mittel		Bunker	Beton größerer Dicke	

^a Eine fugenlose Ausführung ist anzustreben.

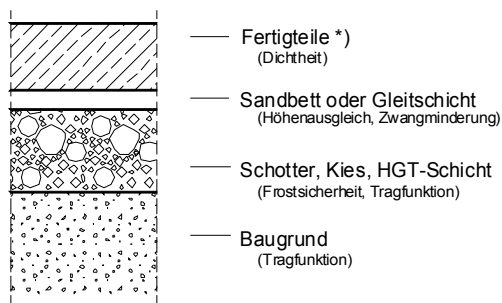
**Beispiel 1 : Ort beton übernimmt
Trag- und Dichtfunktion**



**Beispiel 2: Trennung von
Trag- und Dichtfunktion**



Beispiel 3: Fertigteillösung



*) Fertigteile als Dichtkonstruktion
müssen eine allgemeine
bauaufsichtlich Zulassung haben!

Bild E1-2 – Beispiele für den Aufbau von Bodenplatten mit Dichtfunktion

Dichtflächen

Über Ableitflächen und Rinnen werden wassergefährdende Stoffe Auffangräumen oder Auffangwannen zugeleitet. Ableitflächen und Rinnen werden in der Regel nur für eine kurzzeitige Sicherstellung der Dichtfunktion ausgelegt, welche jedoch auch mehrmalig erforderlich werden kann. Aus diesem Grunde ist ein ausreichendes Gefälle dieser Flächen erforderlich, um die Dauer der Beaufschlagung gering zu halten und eine Folgenutzung zu ermöglichen.

Flächen von Auffangräumen und Auffangwannen, z. B. Bodenflächen, dürfen ohne Gefälle ausgebildet werden. Sie werden in der Regel nur einmalig beaufschlagt und für eine Dauer der Beaufschlagung ausgelegt, die zur Beseitigung der Wassergefährdung erforderlich ist. Nach der Beaufschlagung werden sie in der Regel im Rahmen des Konzepts für den Beaufschlagungsfall nach Abschnitt 8.5 überprüft. Bei mehrmaliger Beaufschlagung solcher Flächen werden in der Regel Sondermaßnahmen (z. B. Beschichtungen, Auskleidungen) erforderlich.

Ausführungsbeispiele für Bodenplatten mit Dichtfunktion sind in Bild E1-2 zusammengestellt.

Rinnen

Die Bilder E1-3 bis E1-5 zeigen beispielhaft Ausbildungen von Rinnen aus FD-Beton. Grundsätzlich sind Rinnen aus Dichtflächen gebildet, welche häufig kurzzeitig mit geringen Mengen wassergefährdender Stoffe beaufschlagt werden können. Die Grundprinzipien der möglichst zwängungsfreien Ausbildung gelten auch für Rinnen. Wegen der Verzahnung mit dem Baugrund sollten Rinnen möglichst in den Bewegungsruhepunkt von Schwind- und Temperaturverformungen gelegt werden. Bei Ortbetonkonstruktionen und geringen abzuleitenden Flüssigkeitsmengen sind Muldenrinnen zu bevorzugen (siehe Bild E1-3), da die Unterfläche eben ausgebildet werden kann und Kerbwirkungen weitgehend vermieden werden.

Kastenrinnen aus Ortbeton sollten mit den angrenzenden Flächen ohne Arbeitsfugen betoniert werden (siehe Bild E1-4). Ist dieses bei tiefen Rinnen nicht möglich, so sind Arbeitsfugen nach Abschnitt 7.3.3 anzuordnen (siehe Bild E1-5). Die Höhenlage von Arbeitsfugenbändern und -blechen ist mit der Bewehrung abzustimmen.

Rinnen, Gruben und Pumpensümpfe werden häufig auch als hochbeanspruchte Tiefpunkte gemäß Arbeitsblatt DWA-A 786 (TRWS 786 „Ausführung von Dichtflächen“) eingesetzt. Hier wird die Betondichtfläche sinnvollerweise mit einer dauerhaften Auskleidung geschützt, z. B. aus nichtrostendem Stahl. Der Übergang zwischen diesen Tiefpunkten und der Betonableitfläche ist mit geeigneten Abdichtungssystemen auszuführen.

Rückhalteeinrichtungen

a) Pumpensümpfe und Gruben

Pumpensümpfe und Gruben, die häufig beaufschlagt werden, sind mit geeigneten Sondermaßnahmen (z. B. Edelstahlauskleidungen) zu versehen. Bei der Auswahl der Sondermaßnahme sind die voraussichtliche Beaufschlagungsdauer, die Beaufschlagungsart und der Geltungsbereich der Verwendbarkeitsnachweise zu berücksichtigen.

Anschlüsse von Rinnen und Rohrleitungen sind zwängungsfrei und dicht (i. S. von flüssigkeitsundurchlässig) gemäß den Anforderungen des DWA-A 786 auszubilden.

b) Bunker in Verbrennungsanlagen

Die Wände und Sohlplatten von Bunkern in Verbrennungsanlagen für feste Siedlungsabfälle mit vergleichbaren gewerblichen Abfällen können in Anlehnung an die Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen ausgebildet werden.

In diesem Fall sind Bunkersohlen, Abkippstellen und Bodenflächen unter Schlackenaustrageinrichtungen mit Gefälle auszubilden. Pumpensümpfe von Eingangsbunkern, in denen über längere Zeit Flüssigkeiten stehen können, sind mit einer dichten, gegebenenfalls auch verschleißfesten, Auskleidung zu versehen.

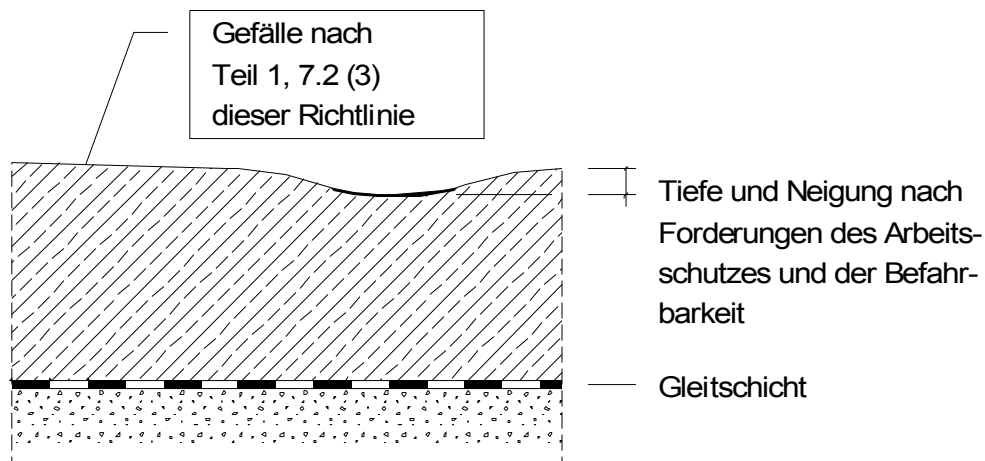


Bild E1-3 – Muldenrinne

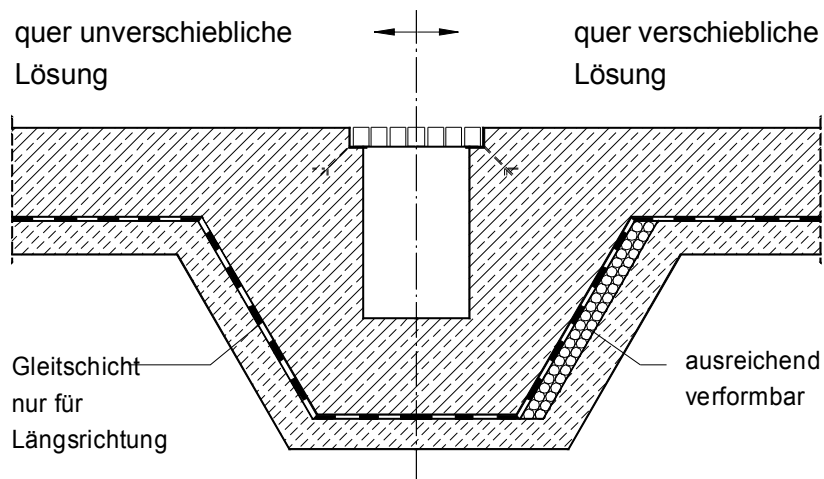


Bild E1-4 – Ortbetonrinne mit der Platte in einem Zuge betoniert

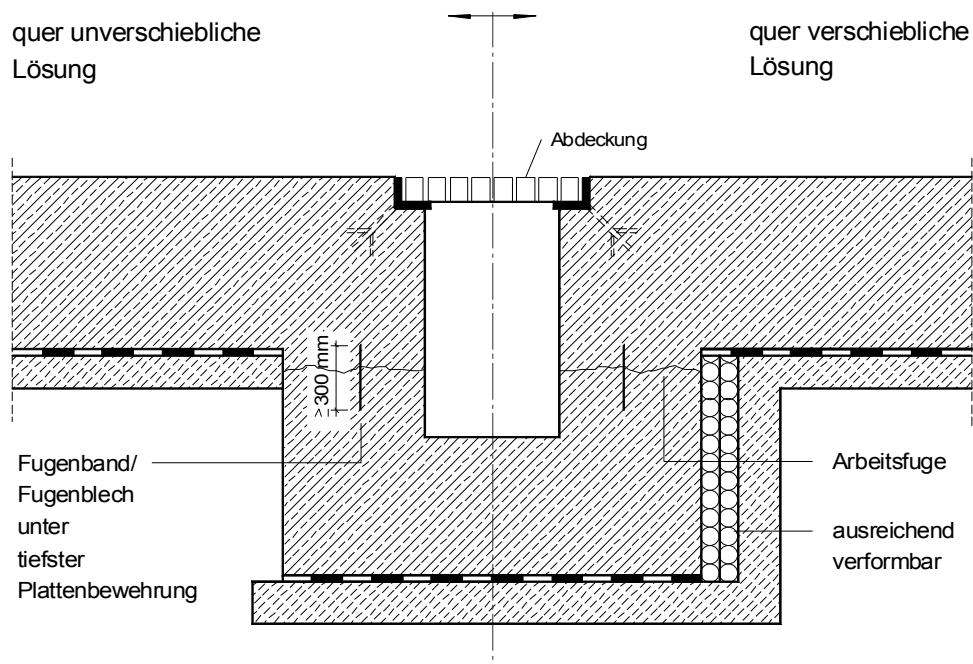


Bild E1-5 – Ortbetonrinne mit senkrechten Außenflächen und Arbeitsfugenbändern

Für Wand- und Bodenflächen sind in Abhängigkeit von der Art und der Höhe der zu erwartenden Einwirkungen gegebenenfalls Zusatzmaßnahmen zum Schutz der Dichtkonstruktion vorzusehen. In Tabelle E1-2 ist eine Auswahl geeigneter Konstruktionen dargestellt. Wesentliche Beurteilungskriterien für die Wahl einer Lösung sind: Beständigkeit, Kontrollierbarkeit und Reparierbarkeit.

Bewegungsfugen in Bunkern sind zu vermeiden. Unumgänglich erforderliche Arbeitsfugen sind mindestens mit einbetonierten Fugenblechen auszubilden.

Kanten von Dichtkonstruktionen sind gegen Greiferanprall zu schützen (z. B. Panzerung durch Stahlbleche).

Tabelle E1-2 – Zusatzmaßnahmen bei Bunkern gegen besondere Einwirkungen

S	1	2	3	4
Z	Bauteil	Einwirkung		Zusatzmaßnahme (alternativ)
		thermisch	mechanisch	
1	Einfüllleinrichtungen	keine besonderen Einwirkungen	hoch	<ul style="list-style-type: none">– Betonfertigteile– Beton mit hohem Verschleißwiderstand– Erhöhung der Betondeckung– Pflasterung– Stahlfaserbeton
2a	Boden- und Wandflächen		mittel	<ul style="list-style-type: none">– Beton mit hohem Verschleißwiderstand– Betonverschleißschicht– Erhöhung der Betondeckung– Pflasterung
2b			hoch	<ul style="list-style-type: none">– Betonfertigteile– Stahlfaserbetonschicht– Stahlplatten
3a		Brand	mittel	<ul style="list-style-type: none">– Betonopferschicht
3b			hoch	<ul style="list-style-type: none">– Betonfertigteile– Hartholzverkleidung– Stahlfaserbetonschicht

Zu 7.3 Konstruktive Durchbildung

Zu 7.3.1 Bewehrung

Die Standsicherheit und Dichtheit der Konstruktion muss vor, während und nach der Beaufschlagung sichergestellt sein. Wenn bei beaufschlagten Bauteilflächen nachgewiesen wird, dass der Verbund während der Beaufschlagung erhalten bleibt und keine unzulässigen Querschnittsminderungen durch Schädigung des Betons eintreten, darf die Betondeckung ohne Berücksichtigung der beaufschlagenden Medien festgelegt werden.

Im Bereich von Einbauten, Gruben etc. ist – um die Rissbreite aus Kerbeffekten zu beschränken – die Bewehrung lokal entsprechend der Hauptzugspannungen einzulegen.

Zu 7.3.2 Verankerungen und Einbauteile

Die Anzahl der Verankerungen, Verankerungskörper und Einbauteile im Beaufschlagungsbereich ist zu minimieren. Linienförmige Einbauteile (Ankerschienen) sind wegen der Kerbgefahr zu vermeiden.

Zu 7.3.3 Fugen

Grundsätze

Auf Arbeits- und Bewegungsfugen im Beaufschlagungsbereich sollte nach Möglichkeit verzichtet werden. Unvermeidbare Fugen sollten möglichst oberhalb der Füllhöhe angeordnet werden. Wenn dies nicht möglich ist, sind sie bevorzugt im Bereich der Hochpunkte der Dichtflächen auszubilden. In jedem Falle sind die Anordnung und die Ausbildung von Arbeits- und Bewegungsfugen mit allen Einzelheiten zu planen.

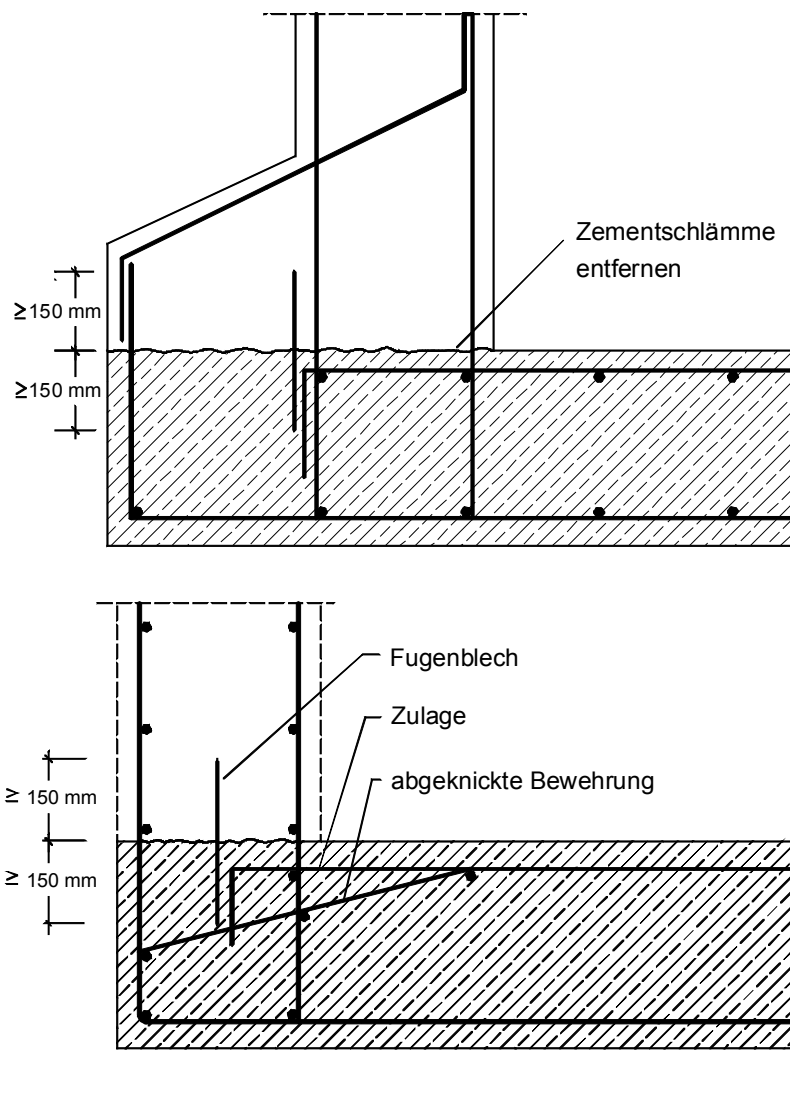


Bild E1-7 – Fugenblech in der Arbeitsfuge zwischen Bodenplatte und Wand (Lösungsbeispiele)

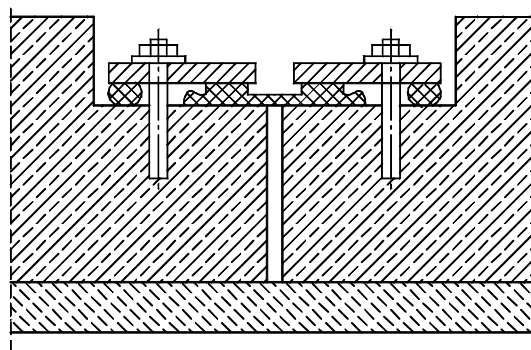


Bild E1-8 – Angeflanshtes Fugenband (Prinzip)

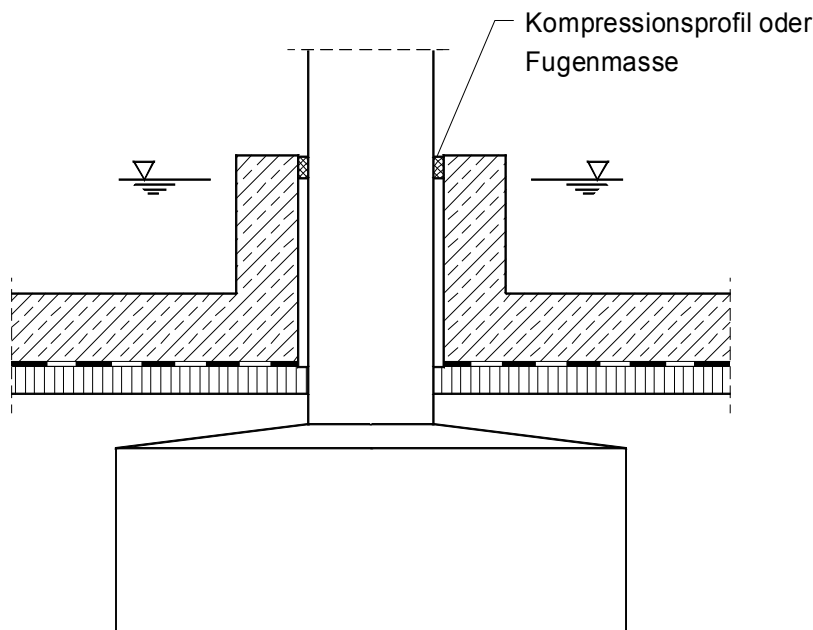


Bild E1-9 – Stützendurchdringung mit Hochführung der Betonkonstruktion über die Füllhöhe

Zu 7.4 Hinweise für die Bauausführung

Zu 7.4.4 Bauablauf, Betonierabschnitte

Der Bauablauf und die Unterteilung in Betonierabschnitte müssen dem Grundprinzip einer möglichst zwangungsfreien Herstellung der Dichtkonstruktion entsprechen. Dafür sind unplanmäßige Unterbrechungen des Betoniervorgangs auszuschließen.

Der Bauablauf muss so dokumentiert werden, dass er für einen mit der Überwachung betrauten Sachverständigen nachvollziehbar ist. Dadurch soll bei eventuellen Schäden die Ursachenfindung erleichtert werden, und Instandsetzungsmaßnahmen können darauf abgestimmt werden.

Zu 7.4.5 Betoneinbau und –verdichtung

Die Regelungen haben den Zweck, einen möglichst dichten Beton herzustellen. Die Bildung von anfänglichen feinsten Rissen durch Austrocknung oder Setzen des Betons relativ zur Bewehrung ist durch Nachverdichten und frühzeitig beginnende Nachbehandlung zu minimieren (siehe Abschnitt 7.4.6).

Zu 7.4.6 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung hat möglichst frühzeitig zu beginnen. Bei Nachbehandlung durch Aufbringen einer Folie sollte gegebenenfalls eine Befeuchtung des Betons erfolgen. In Randzonen wird ein solches Anfeuchten auch im weiteren Verlauf in regelmäßigen Abständen empfohlen.

Die Verwendung chemischer Nachbehandlungsmittel kann das Prinzip der Reparierbarkeit (Verminderung des Verbundes bei Beschichtungen) einschränken. Aus diesem Grunde sind sie unzulässig.

Zu 8 Überwachung und Konzept für den Beaufschlagungsfall

Das zu erarbeitende Konzept muss alle wesentlichen Punkte umfassen, wie z. B.

- Nennung der Stelle, die für die Überprüfung nach einem Beaufschlagungsfall vorgesehen ist,
- Angaben zur Feststellung des Kontaminierungsgrades der Betonbauteile,
- Angaben zur Feststellung der eventuellen Schädigung der Konstruktion,
- Umfang der Prüfungen,
- Maßnahmen in Abhängigkeit von dem Ergebnis der Prüfungen an den Betonbauteilen und der Art des wassergefährdenden Stoffes,
- gegebenenfalls Angabe von Dekontaminierungsverfahren in Abhängigkeit von der Beaufschlagung.

Prüfliste

Die hier genannten Einzelheiten der Prüfliste sind exemplarisch. Der Aufsteller sollte anhand der durchgeführten Nachweise alle wichtigen Punkte und zugehörigen Prüfverfahren benennen. Die kursiven Texte geben inhaltliche Beispiele.

Bauwerk:	<i>Auffangwanne</i>
Bauteil:	<i>Bodenplatte</i>
Material:	<i>Stahlbeton</i>
Konstruktion:	<i>fugenlos, mehrschichtig</i>
Dichtheitsnachweis:	<i>ungerissen, Teil 1</i>
Unterlagen:	<i>Dichtheitsnachweis, Ausführungspläne</i>

Überprüfungen bis zur Fertigstellung

Unterlagen:	<i>Prüfung der bautechnischen Unterlagen gemäß Teil 1</i>
-------------	---

Übereinstimmung Planunterlagen – Ausführung

Baustoffe:	<i>Betonfestigkeit, Fugenmaterial</i>
Ausführung:	<i>Mehrschichtaufbau, Gefälle, Oberfläche, Ebenheit</i>

Überprüfungen durch den Betreiber

Prüfungsnummer:	<i>1, 2, 3</i>
Gegenstand:	<i>Risse</i>
Prüfverfahren:	<i>Risslupe</i>
Referenz:	<i>Anhang A</i>
Anforderung:	<i>$w \leq 0,1 \text{ mm}$</i>
empf. Maßnahme:	<i>Riss schließen, Teil 3</i>

Überprüfungen durch den Sachverständigen

Zeitspanne:	<i>5 Jahre</i>
-------------	----------------

Erläuterungen zu Teil 2 der Richtlinie

Zu 3.1 Beton, allgemein

FD- und FDE-Betone müssen grundsätzlich die Anforderungen an Normalbeton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 erfüllen. Dabei leiten sich die Anforderungen u. a. aus den dauernden Einwirkungen, die über die Expositionsklassen nach DIN EN 206-1 klassifiziert werden, ab. Maßgebend für den Widerstand von FD-Beton gegenüber dem Eindringen von in der Regel nicht dauernd einwirkenden wassergefährdenden Stoffen ist weiterhin die Einhaltung des Wasserzementwertes $w/z \leq 0,50$. Durch diese Anforderung wird das Kapillarporenvolumen, das wesentlich für den Stofftransport ist (s. Erläuterung zu 4.2.1), begrenzt und somit aus betontechnischer Sicht die Dichtheit im Sinne dieser Richtlinie sichergestellt. Es gilt stets, dass die Anforderungen der Richtlinie und der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 einzuhalten sind.

Zu 3.1.1 Flüssigkeitsdichter Beton (FD-Beton), Absatz (9)

Da Flugasche selbst keinen nennenswerten Beitrag zur Hydratationswärmeentwicklung von Beton leistet und unter Einhaltung der Verwendungsregeln nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 kein Unterschied im Schwindverhalten flugaschehaltiger und flugaschefreier Betone feststellbar ist, wird nicht die gesamte, dem Beton zugegebene, Flugaschemenge bei der Berechnung des Leimvolumens angesetzt, sondern nur der Anteil Flugasche, der auf den äquivalenten Wasserzementwert angerechnet wird. Das nachfolgende Beispiel in Tabelle E2-1 verdeutlicht, wie bei dem Einsatz von Flugasche als Betonzusatzstoff das maßgebende Leimvolumen des Frischbetons ermittelt wird.

Tabelle E2-1 – Zahlenbeispiel zur Ermittlung des maßgebenden Leimvolumens im Frischbeton bei Verwendung von Flugasche

S	1	2	3	4	5
Z	Ausgangsstoff	Gehalt im Frischbeton kg/m ³	Rohdichte kg/m ³	Anteil im Leimvolumen l/m ³	Maßgebendes Leimvolumen l/m ³
1	Wasser w	158	1.000	158,0	158,0
2	Zement z	280	3.100	90,3	90,3
3	Flugasche f (gesamt)	100	2.300	43,5	–
4	Auf das Bindemittel anrechenbarer Flugascheanteil f_b	$280 \cdot 0,33 = 92,4$	2.300	40,2	–
5	Auf den äquivalenten Wasserzementwert $(w/z)_{eq}$ mit $k_f = 0,4$ anrechenbarer Flugascheanteil $f_{(w/z)eq}$	$92,4 \cdot 0,4 = 37,0$	2.300	16,1	16,1
				Summe	$264,4 \leq 290$

Zu 3.1.2 Flüssigkeitsdichter Beton nach Eindringprüfung (FDE-Beton), Absatz (2)

In der Richtlinie, Ausgabe 2004, war in Absatz (2) noch der Zusatz „Der Beton muss der Festigkeitsklasse $\geq C30/37$ entsprechen“ enthalten. Die seinerzeit in der Richtlinie geforderte Mindestdruckfestigkeitsklasse war im Zusammenhang mit entsprechenden Anforderungen aus DIN EN 206-1/DIN 1045-2 an die Dauerhaftigkeit für Normalbetone zu sehen. Die Festlegung einer Mindestdruckfestigkeitsklasse für Normalbeton im Zusammenhang mit den Expositionsklassen stellt als zusätzliche Größe sicher, dass der für die Dichtheit des Betons maßgebende höchstzulässige Wasserzementwert von 0,50 nicht überschritten wird. Für Leichtbetone sind in DIN EN 206-1/DIN 1045-2 im Zusammenhang mit den Expositionsklassen (Dauerhaftigkeit) keine Anforderungen an die Mindestdruckfestigkeitsklasse enthalten, da dies aufgrund der unterschiedlichen Rohdichten der leichten Gesteinskörnungen in einheitlicher Weise auch nicht möglich ist (s. z. B. DAfStb-Heft 526). Für eine ausreichende Dichtheit und Dauerhaftigkeit von Leichtbetonen ist hier ausschließlich der Wasserzementwert maßgebend. Für einen Leichtbeton, der als FDE-Beton eingesetzt werden soll, ist daher die Einhaltung eines höchstzulässigen Wasserzementwertes von 0,50 maßgebend und nicht die Druckfestigkeitsklasse. Die Druckfestigkeit eines Leichtbetons sagt nicht unmittelbar etwas

über dessen Dauerhaftigkeit aus. Charakteristisch für einen FDE-Beton ist weiterhin, dass dessen Eignung in einer gesonderten Eindringprüfung nachgewiesen werden muss (Dichtheitsnachweis). Da die Forderung nach der Mindestdruckfestigkeitsklasse für Leichtbeton aus den genannten Gründen nicht zutreffend ist, wurde der o. a. Satz in dieser neuen Ausgabe der Richtlinie gestrichen.

Zu 3.5 Rissinjektionen

Als zusätzliche Informationsquelle können die Ergebnisse aus Untersuchungen zum Eindringen wassergefährdender Stoffe in Betonbalken mit Rissverpressung herangezogen werden, die im Rahmen des BMFT-Verbundforschungsvorhabens Anfang der 1990er-Jahre durchgeführt wurden (s. a. Heft 474). Gerissene Betonprüfkörper, die kraftschlüssig mit EP injiziert wurden, wiesen bei den untersuchten Referenzflüssigkeiten Aceton und n-Hexan (n-Heptan) selbst unter einer Schwellbeanspruchung ein vergleichbares Eindringverhalten auf wie der ungerissene Beton. Die Eindringtiefen und -mengen in Betonproben, die mit PUR injiziert wurden, lagen dagegen in der Regel deutlich über denen der ungerissenen Referenzbetone. Zudem waren die damals untersuchten PUR in der Regel gegenüber den untersuchten Flüssigkeiten (Aceton und insbesondere n-Hexan (n-Heptan)) im Kurzzeitversuch nicht beständig. Bei sorgfältig ausgeführten Rissinjektionen mit ZS konnten seinerzeit vergleichbare Eindringtiefen wie beim ungerissenen Beton erzielt werden (Aceton, n-Hexan).

Die zuvor genannten Hinweise liefern nur orientierende Angaben zum typischen Beständigkeitsverhalten einzelner Materialien für Rissfüllstoffe. Aus diesem Grund muss der Hersteller eines spezifischen Stoffes, der als Rissfüllstoff eingesetzt werden soll, den maßgebenden baurechtlichen Verwendbarkeitsnachweis erbringen (LAU-Anlagen: allgemeine bauaufsichtliche Zulassung). Dabei ist nicht nur der Rissfüllstoff sondern auch die Eignung und Funktionssicherheit des Injektionssystems (Rissfüllstoff, Injektionsschlauchsystem und Verpressgerät) zu berücksichtigen.

Zu 4.2.1 Physikalische Grundlagen, Absatz (1)

Das kapillare Eindringen von nicht betonangreifenden Flüssigkeiten hängt seitens des Betons von folgenden Einflussgrößen ab:

- Von der zugänglichen „offenen“ Porosität des Betons. Sie wird durch Porenvolumen und Porengrößenverteilung beschrieben. Ein niedriger Wasserzementwert und ein hoher Hydratationsgrad (wasserrückhaltende Nachbehandlung) vermindern das Porenvolumen und die mittlere Porengröße und damit das Eindringen.
- Vom Gesamtfeuchtegehalt und der Feuchteverteilung im Bauteil (die Oberfläche ist i. A. trockener als tiefer gelegene Schichten). Wassergefüllte Poren behindern den kapillaren Transport.
- Gegebenenfalls von der Wirksamkeit organischer Zusatzstoffe.

Das Eindringen hängt andererseits von den Eigenschaften der Flüssigkeiten ab:

- Steigende Viskosität η behindert das Eindringen.
- Steigende Oberflächenspannung σ fördert das Eindringen.
- Steigende Wasserlöslichkeit der Flüssigkeit vermindert das Eindringen.

Die beiden Parameter η und σ sind abhängig von der Temperatur, die in entsprechenden Fällen berücksichtigt werden muss. In der Regel werden η und σ bei 20 °C ermittelt. Das Eindringen wird bei sinkender Temperatur i. A. vermindert. Bei Bauteiltemperaturen < 30 °C wird das veränderte Eindringen in der Bemessung nicht berücksichtigt.

Der laminare Transport in einem Rohr unter dem Einfluss von Kapillarkräften und eines äußeren Drucks wird durch folgende Gleichung (E2-1) beschrieben:

$$e_t = \left(\sqrt{\sigma \cdot \cos \vartheta \cdot \frac{r}{2\eta} + \frac{\Delta p \cdot r}{2} \cdot \frac{r}{2\eta}} \right) \cdot \sqrt{t} \quad (\text{E2-1})$$

Dabei ist

- e_t Eindringtiefe in m;
- σ Oberflächenspannung in N/m;
- η dynamische Viskosität in N·s/m²;
- ϑ Randwinkel ($\cos \vartheta \approx 1$);
- r Kapillarradius in m;
- t Fließzeit in s;
- Δp Druckhöhe in N/m².

Für sehr kleine Radien, wie z. B. Kapillarporen im Beton, spielen geringe Drücke, z. B. 1,40 m Wasserhöhe, keine Rolle. Dies kann z. B. für Wasser leicht durch Vergleich der beiden Ausdrücke $\sigma \cdot \cos \vartheta \gg p \cdot r/2$ gezeigt werden. Deshalb können die Aufstandshöhen bei der Prüfung nach Anhang A, Abschnitt A.2 auf ein für Abzugsschränke günstiges Maß (0,5 m) verringert werden, ohne dass das Ergebnis seine Gültigkeit für Aufstandshöhen bis $h \approx 1,5$ m verliert.

Damit erhält man näherungsweise für den allein maßgebenden kapillaren Transport die Eindringtiefe e_t :

$$e_t = \sqrt{\frac{\cos \vartheta \cdot r}{2}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\eta}} \cdot \sqrt{t} = a \cdot b \cdot \sqrt{t} \quad (\text{E2-2})$$

Dabei ist

- a in $\sqrt{\text{m}}$ – Werkstoffkonstante des Betons, im Wesentlichen abhängig von r , d. h. vom Wasserzementwert und der Nachbehandlung, jedoch auch vom Zusammenwirken zwischen Beton und Flüssigkeit (Randwinkel ϑ und Wasserlöslichkeit)
- b in $\sqrt{(\text{m/s})}$ – Werkstoffkonstante der Flüssigkeit

Unter der Annahme, dass der Randwinkel ϑ unverändert bleibt, kann mit Hilfe der Gleichung (E2-3) abgeschätzt werden, ob sich eine Prüfung lohnt, wenn Prüfwerte vorliegen, die unterhalb der Geraden auf Bild 2-1 liegen.

$$e_2 = e_1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot \frac{\eta_1}{\eta_2}} \quad (\text{E2-3})$$

Wasserlösliche Flüssigkeiten führen, verglichen mit nicht wasserlöslichen Flüssigkeiten, bei gleichem σ/η zu geringeren Eindringtiefen. Deshalb können einzelne Flüssigkeiten erheblich geringere Eindringtiefen aufweisen als die Gerade im Bild 2-1 angibt. Es kann deshalb für spezifische Flüssigkeiten lohnend sein, Prüfungen der Eindringtiefe an FD-Betonen durchzuführen.

Der kapillare Transport der wassergefährdenden Stoffe stellt zweifellos die wesentliche Transportart dar. Bei Flüssigkeiten mit hohem Dampfdruck findet auch ein nennenswerter Transport in der gasförmigen Phase durch Diffusion statt. Diese Transportart ist während der zeitlich begrenzten Einwirkung (drei Tage) wenig bedeutend, trägt jedoch anschließend wesentlich zur Dekontaminierung bei.

Die Richtlinie betrachtet für den Dichtheitsnachweis ausschließlich die Flüssigkeitsfront der eindringenden Flüssigkeit. Eine gesonderte Betrachtung der Gasfront kann aus folgenden Gründen entfallen:

- Die Prüfbedingungen gemäß DAfStb-Richtlinie setzen i. d. R. ausgetrockneten Beton voraus. Dieses führt zu einem raschen Eindringen. Beton mit üblicher Feuchtigkeit stellt insbesondere für die Gasfront eine sehr wirkungsvolle Barriere dar.
- Für leichtflüchtige Stoffe ist der Emissionspfad durch den Beton (mit begrenzter Kapillarität) wesentlich unkritischer als die mögliche Verunreinigung von Boden und Gewässer über den „Luftpfad“.
- Durch die in der Richtlinie enthaltenen Sicherheitsbeiwerte ist gewährleistet, dass immer eine ausreichende Sicherheit auch gegen den Gasdurchtritt im Beaufschlagungszeitraum vorliegt. Die Fragestellung konzentriert sich daher mehr auf die Maßnahmen nach einer Beaufschlagung. Hier sind die Sachkunde und die Verantwortung des beurteilenden Sachverständigen gefragt.

Zu 4.2.1 Physikalische Grundlagen, Absatz (4)

Wenn die physikalischen Eigenschaften der wassergefährdenden Stoffe nicht bekannt sind, darf die Eindringtiefe e_{72m} vereinfacht zu 40 mm angesetzt werden. Ist bei Gemischen die Zusammensetzung bekannt, darf alternativ zur Ermittlung der Eindringtiefe auch das bekannte σ/η -Verhältnis derjenigen Komponente des Gemisches angenommen werden, das gemäß Bild 2-1 zu den größten Eindringtiefen führt.

Zu 4.2.2 Eindringtiefen für die Bemessung bei einmaliger zeitlich begrenzter Beaufschlagung, Absatz (4), Bild 2-1

Obwohl Versuchseinzelwerte oberhalb der e_{72m} -Linie liegen können, wird die Linie in Bild 2-1 unter Berücksichtigung folgender Aspekte beibehalten:

- Die angegebene Größenordnung der Eindringtiefe ist insbesondere für Druckzonennachweise relevant. Es hat sich in den Versuchen gezeigt, dass selbst beim Erreichen der Eindringtiefe = Druckzonenhöhe kein Medienaustritt stattfindet.
- Es wird davon ausgegangen, dass die Mindestdickenvorgabe für ungerissenen Beton in allen Fällen eine ausreichende Sicherheit gewährleistet.
- Die e_{72m} -Linie wird für die Bemessung zur Erfassung von Streuungen mit dem Faktor 1,35 multipliziert. Daher ist ein Überschreiten der Eindringtiefen gemäß Bild 2-1 durch Versuche unkritisch.

Zu 4.2.2 Eindringtiefen für die Bemessung bei einmaliger zeitlich begrenzter Beaufschlagung, Absatz (6)

Die Eindringtiefen für FDE-Betone sind stets im Vergleich zum FD-Referenzbeton nach Anhang A, Abschnitt A.2, zu prüfen. Dies ist notwendig, um ständige Vergleichsprüfungen zwischen den Prüflaboratorien zu vermeiden. Da die Prüfwerte für den FD-Beton in der Regel 70 - 100 % der durch die Grenzlinie in Bild 2-1 angegebenen Werte betragen werden, lässt sich nur durch die direkte Vergleichsprüfung entscheiden, ob ein FDE-Beton tatsächlich günstigere Werte als FD-Beton aufweist. Vereinzelt können auch für FD-Beton Prüfwerte e_{72m} auftreten, die über der Grenzlinie im Bild E2-1 liegen, siehe Tabelle E2-2 für Di-Chlormethan. In diesem Fall ist der Prüfwert für einen FDE-Beton auf den Wert der Grenzlinie des FD-Betons zu beziehen (s. Spalte 6, Tabelle E2-2). Nachfolgendes Beispiel zeigt die Auswertung der Prüfergebnisse, um eine neue allgemeingültige Grenzlinie der Eindringtiefen für einen bestimmten FDE-Beton zu ermitteln. Die neue Grenzlinie für den untersuchten FDE-Beton dürfte bei 67 % der Grenzlinie nach Bild 2-1 angeordnet werden, siehe Bild E2-1.

Tabelle E2-2 – Zahlenbeispiel zur Ermittlung einer neuen Grenzlinie

S	1	2	3	4	5	6	7
Z	Prüfflüssigkeit	$(\sigma/\eta)^{0,5}$	Eindringtiefe in mm			in %	Mittel
			Bild 2-1 ^a	FD ^b	FDE ^b	FDE/FD	x %
1	n-Hexan	7,83	36,1	29	20	20/29 = 69	67
2	Di-Chlormethan	7,97	36,5	38	24	24/37 = 65	
^a $e_{72m} = 10 + 3,33 \cdot (\sigma/\eta)^{0,5}$ ^b in der Eindringprüfung bestimmt							

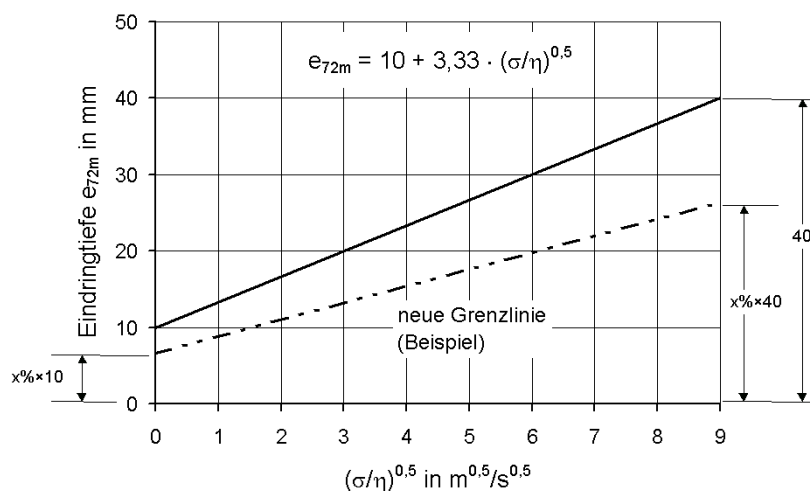


Bild E2-1 – Ermittlung einer neuen Grenzlinie für FDE-Beton

Zu 4.2.2 Eindringtiefen für die Bemessung bei einmaliger zeitlich begrenzter Beaufschlagung, Absatz (10)

Homologe Reihen (Tabelle E2-3) von chemischen Verbindungen entstehen durch Aneinanderreihung gleichartiger Moleküle. Die Vergrößerung der Moleküle ist in der Regel mit einer Vergrößerung der Viskosität einer Flüssigkeit verbunden. Deshalb kann von der Lage der Moleküle innerhalb der homologen Reihe auf die Viskosität einer Flüssigkeit im Verhältnis zu den benachbarten Flüssigkeiten innerhalb einer homologen Reihe geschlossen werden.

Tabelle E2-3 – Homologe Reihe (modifizierte Schönberg-Liste)

S	1	2
Z	Bez.	Homologe Reihe
1	A	Aliphatische Kohlenwasserstoffe
2	B	Aromatische Kohlenwasserstoffe
3	C	Alkohole (einwertig)
4	D	Ester
5	E	Sonstige organische Sauerstoffverbindungen (außer den Gruppen C/D/F/G/H/L)
6	F	Mehrwertige Alkohole
7	G	Aldehyde
8	H	Ketone
9	I	Aliphatische Stickstoffverbindungen
10	J	Aromatische Stickstoffverbindungen
11	K	Halogenierte aliphatische Kohlenwasserstoffe
12	L	Organische Säuren
13	M	Wässrige Lösungen (außer Tensidlösungen)
14	N	Anorganische Säuren
15	O	Anorganische Alkalien
16	P	Nitrierte Aromaten
17	Q	Wässrige Tensidlösungen
18	R	Halogenierte aromatische Kohlenwasserstoffe
19	T	Halogenierte aliphatische Kohlenwasserstoffe mit zusätzlichen funktionellen Gruppen
20	U	Anorganische Verbindungen (außer Säuren und Laugen)
21	V	Organische Schwefelverbindungen (außer Säuren und Ester)
22	W	Organische Phosphorverbindungen (außer Säuren und Ester)
23	X	Unbekannt, nicht einzuordnen
24	Y	Metallorganische Verbindungen u. ä.

Zu 4.2.3 Eindringtiefen für die Bemessung bei wiederholter zeitlich begrenzter Beaufschlagung, Absatz (2)

Die zeitlich begrenzte, nur selten wiederholte, Beaufschlagung mit kontaminiertem Löschwasser erfordert noch geringere Sicherheitsmaßnahmen als nach dieser Richtlinie. Dieser Fall ist in LÖRüRL (Richtlinie zur Bemessung von Löschwasser-Rückhalteinrichtungen beim Lagern wassergefährdender Stoffe) der Länder geregelt.

Die Eindringtiefen wassergefährdender Flüssigkeiten wurden an Abfallbunkern von 10 vorhandenen Abfallbehandlungsanlagen durch Entnahme von Bohrproben gemessen. Dabei wurden die TOC-erfassbaren organischen Substanzen gemessen (TOC = Summenparameter für den gesamten organisch gebundenen Kohlenstoff).

Nach 20 Jahren Betrieb ergaben sich folgende Werte:

- größter festgestellter Einzelwert der Eindringtiefe $e_{\text{TOC,max}} = 50 \text{ mm}$;
- Mittelwert der maximalen Eindringtiefen $e_{\text{TOC,m}} = 35 \text{ mm}$.

Für trockene Betone ohne Bodenfeuchtigkeit von außen darf für Flächen, die mit Abfall beaufschlagt werden, langfristig eine Eindringtiefe wassergefährdender Stoffe von $e_{\text{tm}} = 75 \text{ mm}$ angesetzt werden.

Zu 4.3.1 Chemische Grundlagen, Absatz (1)

Zu den besonders stark angreifenden Flüssigkeiten gehören alle anorganischen und organischen Säuren mit hoher Konzentration. Der Reaktionsmechanismus ist dadurch gekennzeichnet, dass die wirkende Säure unmittelbar im Kontaktbereich mit den reaktionsfähigen Bestandteilen des Betons reagiert und als solche nicht weiter in den Beton eindringen kann.

Zu 4.3.1 Chemische Grundlagen, Absatz (3)

Wenn keine mechanische Beanspruchung die Reaktionsprodukte entfernt, wirken sie als „Schutzschicht“, durch die die angreifenden Stoffe durch Diffusion hindurchtransportiert und die Reaktionsprodukte abtransportiert werden müssen. Dadurch verlangsamt sich der Angriff mit der Zeit ungefähr entsprechend einem \sqrt{t} -Verlauf.

Zu 4.3.2 Schädigungstiefen für die Bemessung, Absatz (3)

Umfangreiche Untersuchungen an Bunkern für Bunker in Verbrennungsanlagen für feste Siedlungsabfälle mit vergleichbaren gewerblichen Abfällen haben gezeigt, dass die Schädigungstiefe infolge kontaminierter Löschwässer usw. in 20 Jahren $s_{\text{Cm}} \leq 5 \text{ mm}$ beträgt.

Zu 4.4 Eindringen von nicht betonangreifenden wassergefährdenden Stoffen in gerissenen Beton

Das zeitliche Eindringen einer Flüssigkeit in einen Spalt mit glatten, parallelen Wandungen lässt sich näherungsweise über nachstehende Gleichung (E2-4) ermitteln:

$$t = \frac{12}{w^2} \cdot \frac{\eta}{\rho \cdot g} \cdot \left[z + \Delta h \cdot \ln \frac{\Delta h}{z + \Delta h} \right] \cdot \zeta \quad (\text{E2-4})$$

Dabei ist

- ζ 1,0;
- t Beaufschlagungsdauer;
- w Trennrissbreite;
- η dynamische Viskosität des Beaufschlagungsmediums;
- ρ Dichte des Beaufschlagungsmediums;
- z Eindringtiefe in den Trennriss;
- Δh Flüssigkeitsdruckhöhe während der Beaufschlagung.

Für Betonrisse erhöht sich der Wert ζ infolge der Rauheit der Rissufer. Er kann für verschiedene Betone nur aus Versuchen ermittelt werden.

Der sich nach Durchdringen des Spalts einstellende stationäre Durchfluss der Flüssigkeit wird näherungsweise durch nachstehende Gleichung (E2-5) beschrieben:

$$Q = \frac{w^2}{12} \cdot \frac{g \cdot (l+1) \cdot (b \cdot w)}{\eta / \rho} \cdot \frac{1}{\xi} \quad (\text{E2-5})$$

Dabei ist

- ξ 1,0
- w Trennrissbreite;
- $l = \Delta h / d$ (Druckgradient);
- Δh Flüssigkeitsdruckhöhe während der Beaufschlagung;
- d Bauteildicke;
- b Risslänge senkrecht zur Beaufschlagungsrichtung;
- η dynamische Viskosität des Beaufschlagungsmediums;
- ρ Dichte des Beaufschlagungsmediums.

Für Betontrennrisse ist wiederum der Wert ξ zur Beschreibung der Rauheit der Rissufer zu beachten, was zu einer Reduktion des Durchflusses im Vergleich zum idealen Spalt führt.

Zu 4.4.1 Betonbauteile mit durchgehenden Rissen, Absatz (3)

Eine Selbstabdichtung von feinen Rissen ist in der Regel nur durch die Einwirkung von Wasser möglich, wie z. B. bei Bauwerken im Grundwasser. Mit einer Selbstabdichtung von Rissen durch organische Flüssigkeiten kann nicht gerechnet werden.

Zu 4.4.2 Betonbauteile mit durchgehenden überdrückten Rissen, Absatz (1)

Das Bemessungskonzept geht davon aus, dass der Rechenwert der Rissbreite $w_{k,cal}$ infolge einer Zugbeanspruchung ermittelt wurde und die Risse nach Auftreten der Rissbildung durch andere Beanspruchungen oder Vorspannung überdrückt werden. Eine Überdrückungsspannung von $\sigma_b = 0 \text{ N/mm}^2$ im Bild 2-2 bedeutet, dass die risserzeugende Last nicht mehr vorhanden ist, d. h. die Rissbreite ist kleiner als $w_{k,cal} = 0,1 \text{ mm}$. Bei verformungsbehinderten Bauteilen (z. B. Wände auf Bodenplatten) kann die Überdrückung so stark behindert werden, dass der Nachweis der Dichtheit nach Abschnitt 4.4.1 (für sog. „offene“ Trennrisse) geführt werden muss.

Bei einigen Anwendungsfällen (Bauteile in Umgebungsbedingungen mit ständig hohen Feuchtegehalten) können die nach Bild 2-2 ermittelten Rechenwerte der Eindringtiefen überschritten werden, da die Saugfähigkeit der Rissflanken geringer als bei den Versuchen nach Anhang A.5 ist. Diese Einflüsse können durch eine Erhöhung der Eindringtiefen ew_{72m} um 25 % abgedeckt werden.

Zu 4.6 Eindringtiefen von wassergefährdenden Stoffen bei zusätzlichem mechanischem Angriff (Verschleiß)

Für Bauteile, die nicht oder nur mit gummibereiften Fahrzeugen befahren werden, erübrigt sich die Berücksichtigung einer Schädigungstiefe s_{vt} . Praxisbeobachtungen geben ausreichende Hinweise, ob ein erhöhter Verschleißwiderstand erforderlich ist.

Maßnahmen zur Erhöhung des Verschleißwiderstandes:

Im FD-Beton nach Abschnitt 3.1.1 sind die Maßnahmen zur Verringerung des Verschleißes weitgehend enthalten. Der Stoßverschleißwiderstand des Betons kann z. B. noch durch die Verwendung gebrochener Gesteinskörner mit gedrungener Form und rauer Kornoberfläche im Mittel- und Grobkornbereich erhöht werden. Der Größtkorndurchmesser sollte dabei auf 16 mm begrenzt werden. Die Zugabe von Stahlfasern führt ebenfalls zu einer Erhöhung des Stoßverschleißwiderstands.

Die mechanische Schädigungstiefe von Bauwerken muss in der Regel aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt werden, weil es nur selten möglich ist, die tatsächlich auftretenden Beanspruchungen vorherzusagen oder zu simulieren. Umfangreiche Untersuchungen an Bunkern in Verbrennungsanlagen für feste Siedlungsabfälle mit vergleichbaren gewerblichen Abfällen mit anschlagenden Greifern haben die in Bild E2-2 dargestellte Verteilungskurve für die Verschleißtiefe ergeben.

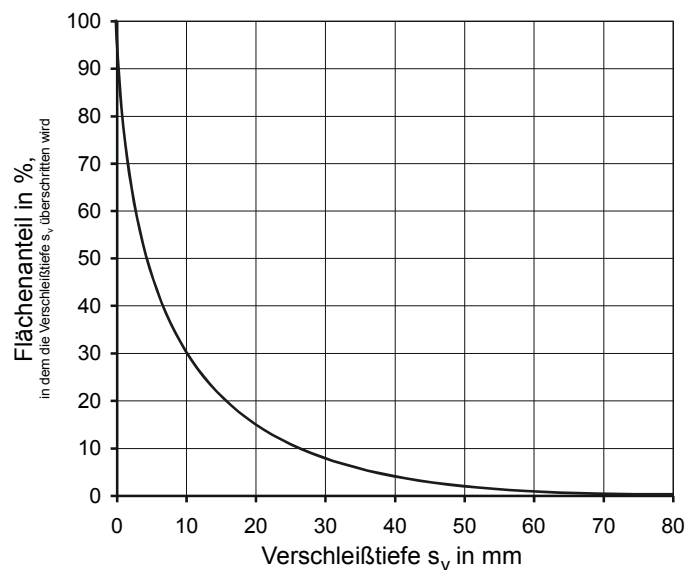


Bild E2-2 – Verteilungskurve für mechanische Abtragstiefen durch Greiferanprall innerhalb von 10 Jahren

Die Verschleißtiefe von Bunkern in Verbrennungsanlagen für feste Siedlungsabfälle mit vergleichbaren gewerblichen Abfällen gilt näherungsweise für FD-Beton in Wandbereichen mit Greiferanprall bis 50 kN Eigengewicht für eine 10jährige Betriebsdauer. Durch einen Zusatz von 60 kg/m^3 Stahlfasern zum Beton können die Verschleißtiefen auf rd. 80 % dieser Werte reduziert werden.

Erläuterungen zu Teil 3 der Richtlinie

Zu 6.4 Beschichtungssysteme und Auskleidungen aus Dichtungsbahnen

Auskleidungen mit Dichtungsbahnen und Beschichtungssystemen sind Sondermaßnahmen, die für die Einhaltung der Forderung nach Dichtheit und Beständigkeit unter Berücksichtigung besonderer Beaufschlagungssituationen (z. B. längerer Beaufschlagungszeiten) oder bei Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich werden können. Sie sind in der Richtlinie nicht im Detail behandelt, da sie bei LAU-Anlagen entweder eine bauaufsichtliche Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik oder eine europäische technische Zulassung erfordern.

Die Übergänge zwischen dem unbeschichteten Beton und den Beschichtungen oder den Auskleidungen sind unter Berücksichtigung der Beanspruchung zu planen. Zum Abdichten von Nuten sind organische Materialien zu verwenden. Diese müssen mit dem Beschichtungssystem verträglich sein und einen dichten Verbund aufweisen. Zweckmäßigerweise werden solche Übergänge in Bereiche ohne Beaufschlagung verlegt.

Beispiellösungen sind in den Bildern E3-1 bis E3-3 enthalten.

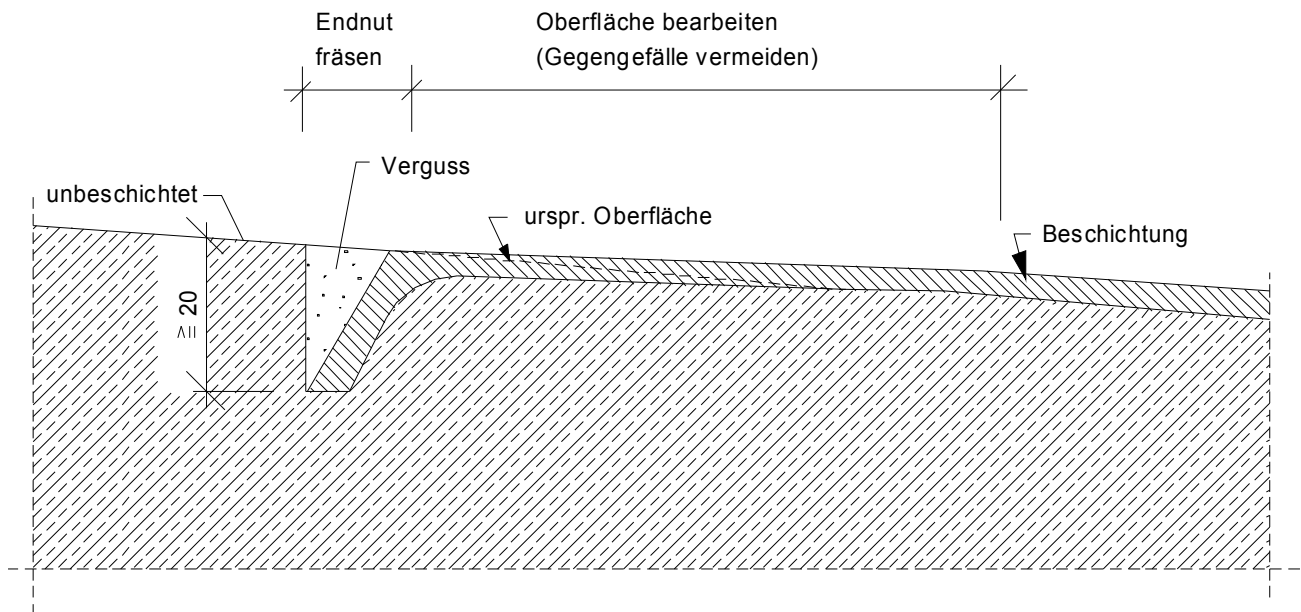
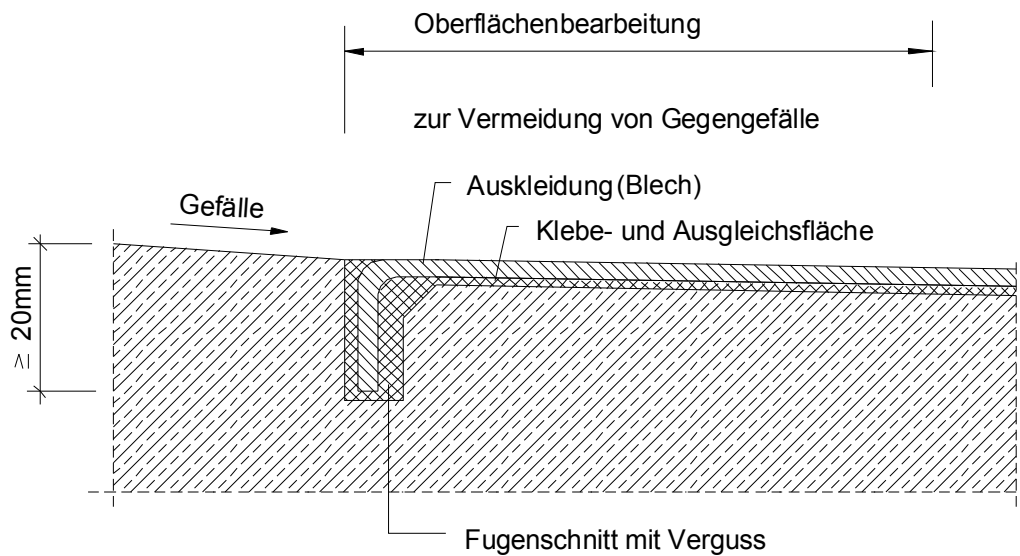


Bild E3-1 – Übergang zwischen beschichteter und unbeschichteter Fläche im Bodenbereich (FD-Beton); Beispiel (Abmessungen in mm)



E3-2 – Übergang zwischen ausgekleideter und nicht ausgekleideter Fläche im Bodenbereich (FD-Beton); Beispiel

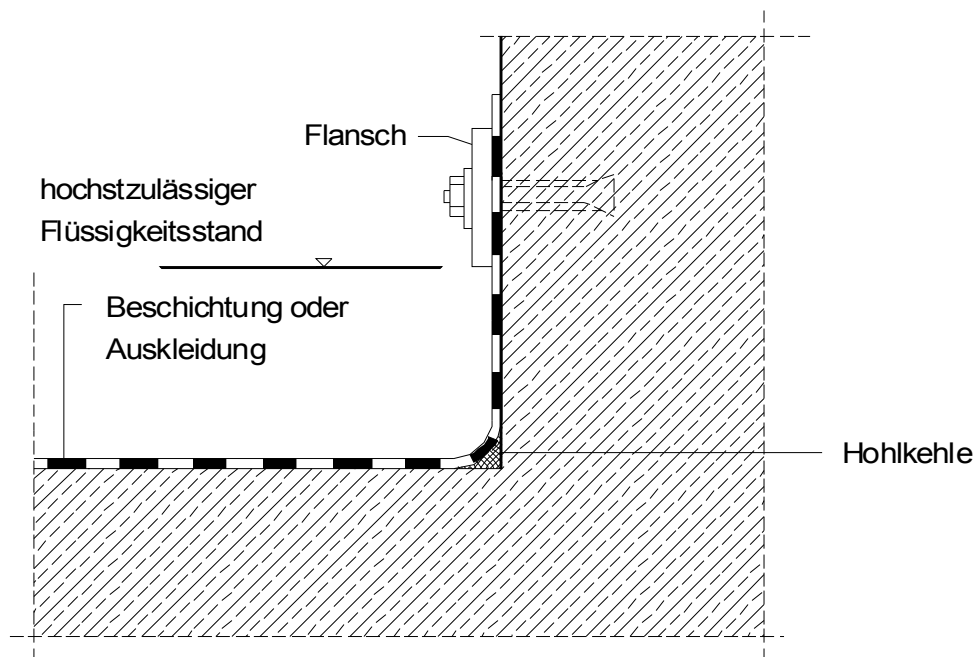


Bild E3-3 – Übergang zwischen beschichteter und unbeschichteter Fläche im Bereich Boden-Wand (FD-Beton); Flanschlösung

Zu 6.5 Betonersatz, Absatz (2)

Bei der Verwendung von Betonersatzprodukten und -systemen lassen sich zwei Fälle unterscheiden:

- a) der Betonersatz ist für die Dichtheit der Konstruktion im Sinne von Teil 1 der Richtlinie maßgebend;
- b) der Betonersatz ist nicht Teil der Dichtebene, sondern wird z. B. als Opferschicht auf eine bestehende Dichtkonstruktion aus Beton aufgebracht, die den Anforderungen der Richtlinie genügt.

Im erstgenannten Fall muss der Betonersatz über die Instandsetzungs-Richtlinie hinaus die Anforderungen des Deutschen Instituts für Bautechnik erfüllen, die in den entsprechenden Prüfprogrammen für Betonersatzprodukte und -systeme für den Gewässerschutz festgelegt sind.

Im Fall b) reicht das Einhalten der Anforderungen nach Instandsetzungs-Richtlinie aus, wobei sicherzustellen ist, dass Einwirkungen des beaufschlagenden Mediums auf die Dichtfläche rechtzeitig erkannt werden.

Zu 8.1 Füllen von Rissen, Allgemeines, Absatz (1)

Als Füllstoff für das drucklose Füllen (Tränken) von Netzzissen $\geq 0,1$ mm in horizontalen Flächen darf niedrigviskoses Epoxidharz mit einer dynamischen Viskosität ≤ 100 mPa·s verwendet werden. Vor dem Aufbringen des Epoxidharzes müssen die horizontalen Flächen zunächst unter ständiger Absaugung des Schleifstaubes abgeschliffen werden, um ein Verschließen der feinen Risse auszuschließen. Die Rissflanken breiterer Einzelrisse müssen gesäubert und intensiv ausgesaugt werden. Aufgrund des höheren Materialbedarfs beim Füllen von breiteren Einzelrisse ($> 0,6$ mm) werden entlang dieser Risse Tränkungs-rinnen aus einem geeigneten Material hergestellt. Diese Tränkungs-rinnen werden mit dem Füllstoff so lange geflutet, bis kein Füllstoff mehr eindringt. Die Tränkungs-rinnen im Bereich der Einzelrisse werden anschließend entfernt. Die Gesamtfläche ist anschließend mit dem Füllstoff zu fluten. Während der Gebinde-verarbeitungszeit ist oberhalb der Risse permanent ein Materialüberschuss sicherzustellen. Nach der Gebindeverarbeitungszeit des Füllstoffs wird das nicht eingedrungene Material mit geeignetem Werkzeug abgetragen. Nach Aushärtung des Füllstoffs ist das überschüssige Material auf der Bauteiloberfläche durch geeignete Schleifanlagen zu entfernen. Die Praxis hat gezeigt, dass mit Quarzsand abgestreute Flächen schleiftechnisch besser zu handhaben sind. Die Einstreuung des Quarzsandes darf dabei erst nach Beendigung der Tränkung erfolgen.

Zu 8.1 Füllen von Rissen, Allgemeines, Absatz (2)

Hydraulisch gebundene Füllgüter (Zementsuspension ZS und Zementleim ZL) dürfen nur unter der Berücksichtigung des jeweiligen baurechtlichen Verwendbarkeitsnachweises und der DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ (Instandsetzungs-Richtlinie) mit dem Ziel des Abdichtens, Schließens und kraftschlüssigen Verbindens eingesetzt werden. Bedingt durch relativ große Bindemittelteilchen beim Zementleim ist die Breite der noch injizierbaren Risse rd. 0,8 mm. Für Betonbauteile im Umweltbereich scheinen deshalb Zementleime nur in Sonderfällen geeignet. Aus den oben genannten Gründen wurde die Zementsuspension (ZS) für Rissbreiten $w \geq 0,25$ mm entwickelt. Die Eignung dieser Zementsuspensionen und der dafür erforderlichen Injektionssysteme ist ebenfalls auf Grundlage des DIBt-Prüfprogramms für die Betoninstandsetzung in LAU-Anlagen mit einem baurechtlichen Verwendbarkeitsnachweis zu erbringen.

Zu 8.1 Füllen von Rissen, Allgemeines, Absatz (6)

Zur Injektion von Rissen im Umweltbereich sollten nur Klebepacker zur Anwendung kommen. Bohrpacker bergen die Risiken des Eindringens von wassergefährdenden Flüssigkeiten in die Bohrlöcher. Aus diesem Grund sollten sie nur dann eingesetzt werden, wenn Klebepacker z. B. aus Gründen der Applikation, des nichtaufnehmbaren Injektionsdruckes oder aus anderen Gründen nicht geeignet sind.

Erläuterungen zu Anhang A

Zu A.2.1 Zweck der Prüfung

In umfangreichen Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass das Eindringen von Flüssigkeiten in Beton überwiegend durch Kapillarkräfte bestimmt wird. Begrenzte Unterschiede in der statischen Druckhöhe sind deshalb für das praktische Ergebnis ohne Bedeutung. Die Prüfung wird mit einer Druckhöhe von rd. 0,5 m durchgeführt, um die Prüfeinrichtung erforderlichenfalls in Abzugsschrägen aufstellen zu können. Das Prüfungsergebnis gilt aus dem oben genannten Grund ohne Zuschlag für praktische Druckhöhen bis 1,5 m.

Zu A.2.5 Prüfung und Auswertung

Der Vergleich der abgelesenen und der durch Wägung ermittelten Eindringmengen dient dazu, Fehlermöglichkeiten auszuschließen. In der Regel ist zu erwarten, dass die durch Wägung ermittelte Eindringmenge etwas größer ist als die am Standrohr abgelesene. Dies wird durch die geringe Zeitspanne verursacht, die zwischen dem Einfüllen und der ersten Ablesung liegt.

Die nachstehende Tabelle EA-1 zeigt übliche Achsabschnitte A nach Bild A-4 für Bohrkern $\varnothing 80$ mm infolge der schnellen Anfangsaufnahme und für die etwas größeren Gewichtsänderungen ΔG der Probekörper vor und nach der Beaufschlagung.

Tabelle EA-1 – Anhaltswerte für A und ΔG

S	1	2	3
Z	Parameter	je Probe	je m ²
1	A	< 3 ml	< 0,6 l/m ²
2	ΔG	< 4 ml	< 0,8 l/m ²

Zu A.3.3 Prüfung

Zur Feststellung des Durchtritts der wassergefährdenden Flüssigkeit darf ein dünner Zellulosestreifen verwendet werden, der direkt an der Unterseite des Probekörpers entlang geführt wird. An einer Seite der Probe wird der Streifen starr befestigt und am anderen Ende durch eine Feder auf Spannung gehalten. Gleichzeitig wird an die Feder ein Wegaufnehmer angebracht, der in einem 30-Minuten-Intervall den Abstand zwischen Feder und Wegaufnehmer misst. Tritt die Flüssigkeit an der Unterseite des Probekörpers aus, so wird sie von dem Zellulosestreifen aufgesaugt. Dadurch wird der Streifen aufgeweicht, und die Federkraft bewirkt eine Längenänderung des Streifens. Durch die Aufweichung des Streifens reißt dieser durch. Die Längenänderung wird dann mit einer maximalen Verzögerung von 30 Minuten aufgezeichnet. Anhand der plötzlich ansteigenden Längenänderung kann der Austrittszeitpunkt der Flüssigkeit bestimmt werden.

Zu A.4.3 Prüfung und Auswertung, Absatz (7)

Bei starkem Säureangriff wird die mittlere Eindringtiefe e_{Ctm} direkt durch Messung ermittelt. Die „charakteristische Schädigungstiefe“ ist demnach

$$e_{\text{Ctk}} = 1,35 \cdot e_{\text{Ctm}}$$

Bei der Ermittlung der Schädigungstiefe anhand der mittleren Bruchlasten der chemisch beanspruchten und der wassergelagerten Prüfkörper erhält man direkt die „charakteristische Schädigungstiefe“, weil

- die Bruchlasten durch die größte Schädigungstiefe bestimmt werden und
- die größere Schlankheit der geschädigten Probekörper zu einem erheblichen Vorhaltemaß bei der

rechnerischen Schädigungstiefe führt.

Zu A.5.3 Prüfung und Prüfvorrichtung, Absatz (4)

Die Prüfeinrichtung eignet sich auch, um die Abhängigkeit von Rissbreiten, Flüssigkeitseigenschaften und Durchlaufmengen zu ermitteln. In diesem Fall werden auf der Unterseite entlang des Risses Tropfkanten angeordnet sowie eine durchsichtige Auffangvorrichtung, die eine Beobachtung des Flüssigkeitsdurchtritts ohne nennenswerte Verdampfungsverluste erlaubt. Eine durchsichtige Abdichtung der Risse an den Seiten (durchsichtige Beschichtung, Acrylglas mit durchsichtigem Kleber) ermöglicht eine kontinuierliche Beobachtung des Eindringens der Flüssigkeit.

Hinweise auf Berichte zur Thematik „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ in der DAfStb-Schriftenreihe

Heft 445: Zum Eindringverhalten von Flüssigkeiten und Gasen in ungerissenen Beton.

Von Thomas Fehlhaber.

Eindringverhalten von Flüssigkeiten in Beton in Abhängigkeit von der Feuchte der Probekörper und der Temperatur.

Von Massimo Sosoro und Hans-Wolf Reinhardt.

Untersuchung der Dichtheit von Vakuumbeton gegenüber wassergefährdenden Flüssigkeiten (1994).

Von Reinhardt Frey und Hans-Wolf Reinhardt.

Heft 446: Modell zur Vorhersage des Eindringverhaltens von organischen Flüssigkeiten in Beton (1995).

Von Massimo Sosoro.

Heft 450: Prüfverfahren und Untersuchungen zum Eindringen von Flüssigkeiten und Gasen in Beton sowie zum chemischen Widerstand von Beton.

Von Hans Paschmann, Horst Grube und Gerd Thielen.

Untersuchungen zum Eindringen von Flüssigkeiten in Beton sowie zur Verbesserung der Dichtheit des Betons (1995).

Von Hans Paschmann, Horst Grube und Gerd Thielen.

Heft 451: Beton als sekundäre Dichtbarriere gegenüber umweltgefährdenden Flüssigkeiten (1995).

Von Michael Aufrecht.

Heft 457: Verbesserung der Undurchlässigkeit, Beständigkeit und Verformungsfähigkeit von Beton.

Von Udo Wiens, Fritz Grahn und Peter Schießl.

Durchlässigkeit von überdrückten Trennrissen im Beton bei Beaufschlagung mit wassergefährdenden Flüssigkeiten.

Von Norbert Brauer und Peter Schießl.

Untersuchungen zum Eindringen von Flüssigkeiten in Beton, zur Dekontamination von Beton sowie zur Dichtheit von Arbeitsfugen (1996).

Von Hans Paschmann und Horst Grube.

Heft 460: Fließverhalten von Flüssigkeiten in durchgehend gerissenen Betonkonstruktionen (1996).

Von Christiane Imhof-Zeitler.

Heft 464: Sicherheitserhöhung durch Fugenverminderung – Spannbeton im Umweltbereich.

Von Jens Schütte, Manfred Teutsch und Horst Falkner.

Fugen in chemisch belasteten Betonbauteilen.

Von Hans-Werner Nordhues und Johann-Dietrich Wörner.

Durchlässigkeit und konstruktive Konzeption von Fugen (Fertigteilverbindungen) (1996).

Von Marko Bida und Klaus-Peter Grote.

Heft 465: Dichtsichten aus hochfestem Faserbeton.

Von Martina Lemberg.

Dichtheit von Faserbetonbauteilen (synthetische Fasern).

Von Johann-Dietrich Wörner, Christiane Imhof-Zeitler und Martina Lemberg.

Heft 468: Stahlfaserbeton für Dicht- und Verschleißschichten auf Betonkonstruktionen.

Von Burkhard Wienke.

Einfluß von Stahlfasern auf das Verschleißverhalten von Betonen unter extremen Betriebsbedingungen in Bunkern von Abfallbehandlungsanlagen (1996).

Von Thomas Höcker.

Heft 470: Anforderungen an Stahlbetonlager thermischer Behandlungsanlagen für feste Siedlungsabfälle (1996).

Von Georg Zimmermann.

Temperaturbeanspruchungen in Stahlbetonlagern für feste Siedlungsabfälle.

Von Ralf Brüning.

Heft 474: Injizierte Risse unter Medien- und Lasteinfluß – Teil 1: Grundlagenversuche.

Von Horst Falkner, Manfred Teutsch, Thies Claußen, Jürgen Günther und Sabine Rohde.

Injizierte Risse unter Medien- und Lasteinfluß – Teil 2: Bauteiluntersuchungen.

Von Hans-Wolf Reinhardt, Massimo Sosoro, Friedrich Paul, Xiaofeng Zhu.

Oberflächenschutzmaßnahmen zur Erhöhung der chemischen Dichtungswirkung.

Von Klaus Littmann.

Korrosionsschutz der Bewehrung bei Einwirkung umweltgefährdender Flüssigkeiten (1997).

Von Romain Weydert und Peter Schießl.

Heft 475: Transport organischer Flüssigkeiten in Betonbauteilen mit Mikro- und Biegerissen.

Von Xiaofeng Zhu.

Eindring- und Durchströmungsvorgänge umweltgefährdender Stoffe an feinen Trennrissen im Beton (1997).

Von Detlef Bick, Heiner Cordes und Heinrich Trost.

Heft 481: Sicherheitskonzept für Bauten des Umweltschutzes.

Von Daniela Kiefer.

Erfahrungen mit Bauten des Umweltschutzes.

Von Johann-Dietrich Wörner, Daniela Kiefer und Hans-Werner Nordhues.

Qualitätskontrollmaßnahmen bei Betonkonstruktionen (1997).

Von Otto Kroggel.

Grundlagen zur Festlegung und Beurteilung von Dichtheitsanforderungen für Anlagen beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen.

Von DAfStb-Arbeitskreis (Obmann: Prof. Dr.-Ing. J.-D. Wörner).

Heft 483: Durchlässigkeitsgesetze für Flüssigkeiten mit Feinstoffanteilen bei Betonbunkern von Abfallbehandlungsanlagen.

Von Klaus-Peter Grote.

Einfluß von Stahlfasern auf die Durchlässigkeit von Beton (1997).

Von Ralf Winterberg.

Heft 519: Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Zweiter Sachstandsbericht mit Beispielsammlung (2001).

Heft 538: Analyse der Transportmechanismen für wassergefährdende Flüssigkeiten in Beton zur Berechnung des Medientransportes in ungerissene und gerissene Betondruckzonen.

Von Norbert Brauer.

Weitergehende Literatur

- [1] Eckfeldt, L.; Schröder, S.; Lemnitzer, L.; Hamdan, A.; Curbach, M.: Verbesserung der Vorhersagequalität von sehr kleinen Rissbreiten. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt). Dresden: Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, 2009, 315 S.