

Symposium

Industrieböden aus Beton

4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Universität Karlsruhe (TH), 15. März 2007



Betonböden



Symposium

Industrieböden aus Beton

Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. Harald S. Müller
Dipl.-Wirt.-Ing. Ulrich Nolting
Dipl.-Ing. Michael Haist

Symposium

Industrieböden aus Beton

4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung
Universität Karlsruhe (TH), 15. März 2007

mit Beiträgen von:

Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher
Prof. Dr.-Ing. Claus Flohrer
Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann
Dipl.-Ing. Michael Haist
Dr.-Ing. Werner Hörenbaum
Dr.-Ing. Jürgen Krell
Prof. Dr.-Ing. Harald S. Müller
Dipl.-Ing. Andreas Reichertz
Dipl.-Ing. Josef Steiner
Dr.-Ing. Jörg-Peter Wagner
Dr.-Ing. Karl-Heinz Wiegrink
Dr.-Ing. Ulrich Wöhl

Veranstalter:

Universität Karlsruhe (TH)
Institut für Massivbau und Baustofftechnologie
76128 Karlsruhe

VDB – Verband Deutscher Betoningenieure e. V.
Regionalgruppen 9 und 10

Betonmarketing Süd GmbH
Gerhard-Koch-Straße 2+4
73760 Ostfildern



Impressum

Universitätsverlag Karlsruhe
c/o Universitätsbibliothek
Straße am Forum 2
76131 Karlsruhe
www.uvka.de



Dieses Werk ist unter folgender Creative Commons-Lizenz
lizenziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/de/>

Universitätsverlag Karlsruhe 2007
Print on Demand

ISBN 978-3-86644-120-0

Hinweis der Herausgeber:

Für den Inhalt namentlich gekennzeichnete Beiträge ist die jeweilige Autorin bzw. der jeweilige Autor verantwortlich.

Vorwort

Industrieböden aus Beton werden zunehmend oberflächenfertig hergestellt und müssen unterschiedlichsten, teils extremen Beanspruchungen und Anforderungen widerstehen können. Erschwerend kommt hinzu, dass die Herstellung der Böden oftmals unter hohem Zeitdruck erfolgt, da die Flächen für die nachfolgenden Gewerke dringend benötigt werden.

Die Herstellung von Betonböden ist bislang nicht normativ geregelt, was häufig zu Unsicherheiten bei Planern, Ausführenden und Nutzern führt. In der Praxis ist es derzeit üblich, die Bemessung und Ausführung von Betonböden in Übereinstimmung mit DIN 1045-1 in Verbindung mit DIN EN 206-1 bzw. DIN 1045-2 vorzunehmen. Diese Normen berücksichtigen jedoch nur bedingt die speziellen Anforderungen, die für die Herstellung von Böden aus Beton gelten.

Vor diesem Hintergrund wird im 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung „Industrieböden aus Beton“ ein Überblick über die Planung und Bemessung sowie die Ausführung von Betonböden gegeben. Weiterhin wird auf Schäden sowie deren Instandsetzung und Sonderbauweisen eingegangen. Der begleitend erschienene Tagungsband fasst alle schriftlichen Beiträge zu den einzelnen Vorträgen zusammen.

Die Veranstalter

Inhalt

	Vorwort	V
Harald S. Müller Michael Haist	Industrieböden aus Beton im Überblick	1
Planung und Bemessung		
Karl-Heinz Wiegrink	Planung und Ausschreibung von Betonböden	11
Werner Hörenbaum	Bemessung unbewehrter Betonböden	21
Josef Steiner	Bewehrte Industrieböden für Hallen und Freiflächen	37
Ausführung von Betonböden		
Jörg-Peter Wagner Andreas Reichertz	Ausführung – Einbauplanung und Technik sowie neue Erkenntnisse zur Oberflächenbearbeitung bei LP-Betonen	47
Ulrich Wöhnl	Betontechnologische Aspekte bei der Ausführung von Bodenplatten	57
Jürgen Krell	Oberfläche und Nachbehandlung von Betonböden	63
Schäden und Instandsetzung		
Rolf Breitenbücher	Potentielle Ursachen von Mängeln in Industrieböden aus Beton und deren Bewertung	73
Claus Flohrer	Instandsetzen von Industrieböden	83
Sonderbauweisen		
Thomas Freimann	Sonderbauweisen – Technik und Gestaltung	89
	Programm des Symposiums	103
	Referenten- / Autorenverzeichnis	105

Industrieböden aus Beton im Überblick

Harald S. Müller und Michael Haist

Zusammenfassung

Industrieböden aus Beton haben sich seit vielen Jahren bewährt und die bei ihrer Herstellung zum Einsatz kommende Technik ist inzwischen gängige Praxis. Dennoch treten an derartigen Bauteilen immer wieder Schäden auf, die oftmals auf eine unzureichende Planung und Bemessung oder aber auf Ausführungsmängel oder eine Kombination beider Ursachen zurückzuführen sind. Unerwartete Rissbildungen sind beispielsweise aber auch dann aufgetreten, wenn keine der genannten Defizite vorlagen. Ursache waren dann unberücksichtigte thermisch-hygrische Beanspruchungen und damit einhergehende Spannungszustände. Diesbezüglich liegen heute jedoch neue Erkenntnisse und darauf aufbauende Bemessungskonzepte vor, die Eigen- und Zwangsspannungen berücksichtigen. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die aktuellen Konzepte bei der Planung, Bemessung, Herstellung und Sanierung von Betonböden. Für weitergehende Informationen wird auf die Tagungsbeiträge der Referenten des 4. Symposiums Baustoffe und Bauwerkserhaltung in diesem Tagungsband verwiesen.

1 Einführung

Böden aus Beton sind ein weit verbreitetes Konstruktionselement im Industriebau. Der Begriff „Betonboden“ beschreibt dabei ein aus mehreren Schichten bestehendes System, dessen oberseitiger Abschluss aus einer Betonplatte besteht und welches verschiedensten Anforderungen im Hinblick auf die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit, die Geometrie bzw. Struktur und nicht zuletzt auch die gestalterischen Eigenschaften erfüllen muss. Sie werden eher seltener konventionell bewehrt, oft jedoch mit Stahlfaserbewehrung aber auch unbewehrt ausgeführt.

Obwohl Industrieböden aus Beton nicht als tragende Beton- bzw. Stahlbetonbauteile mit baurechtlichen Anforderungen im Sinne von DIN 1045-1 anzusehen sind (es sei denn, sie besitzen eine aussteifende Funktion), müssen sie dennoch für die einwirkenden Beanspruchungen bemessen werden. Diese können neben statischen Lasten wie lagernden Gütern oder Stützenlasten insbesondere rollende Verkehrslasten, z. B. Gabelstapler oder LKW, sein. Aufgrund derartiger dynamischer Beanspruchungen, sind bei der Bemessung von Industrieböden aus Beton auch immer Ermüdungsbetrachtungen anzustellen.

Darüber hinaus sind Betonböden aufgrund ihrer großen, flächigen Ausdehnung und den begrenzten Möglichkeiten der Trocknung des Betons den massigen Bauteilen zuzuordnen. Eigenspannungen und unter Berücksichtigung von Verformungsbehinderungen zusätzliche Zwangsspannungen, resultierend

aus Schwindvorgängen und Temperaturverformungen, müssen in die Bemessung mit einbezogen werden. Diese können z. T. einen erheblichen Einfluss auf das Rissverhalten der Platten besitzen.

Die Bemessung von Betonböden erfolgt i. d. R. für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Im Unterschied zu herkömmlichen Stahlbetonbauteilen, wo dieser durch zulässige Durchbiegungen oder Rissweiten klar definiert ist, müssen bei Böden auch Dauerhaftigkeitsaspekte im Zuge der Gebrauchstauglichkeitsbetrachtungen verstärkt berücksichtigt werden. Dies sind insbesondere Frostbeanspruchungen mit und ohne Tausalz, Verschleißbeanspruchungen und chemischer Angriff. Jede dieser Einwirkungen bzw. ihre Kombination kann einen erheblichen Einfluss auf die Qualität der Betonoberfläche ausüben und damit die nutzungsrelevanten Eigenschaften der Böden erheblich beeinträchtigen.

Auch die Ausführung von Betonböden birgt verschiedene Besonderheiten und Probleme. Neben der Auswahl einer geeigneten Rezeptur sind es verfahrenstechnische Fehler die z. T. massive Schäden zur Folge haben können. Exemplarisch seien an dieser Stelle das fachgerechte Glätten der Oberfläche und die Nachbehandlung – insbesondere der Zeitpunkt, ab dem diese begonnen wird – genannt.

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über alle maßgeblichen Fragen bei der Planung, Bemessung und Ausführung von Betonböden. Darüber hinaus wird auf häufig beobachtete Schäden, deren Ursachen und mögliche Instandsetzungsmethoden eingegangen. Der Beitrag schließt mit zwei ausgewählten Beispielen für mögliche Sonderbauweisen

von Industrieböden aus Beton. Für weitergehende Informationen zu den einzelnen Teilthemen wird auf die Beiträge der Referenten des 4. Symposiums Baustoffe und Bauwerkserhaltung in diesem Tagungsband sowie auf weiterführende, hier zitierte Literatur, siehe z. B. [1-4], [13], [15] und [16] verwiesen.

2 Planung und Bemessung

2.1 Anforderungen an Betonböden

2.1.1 Mechanische Beanspruchungen

Die mechanischen Beanspruchungen, denen Industrieböden aus Beton ausgesetzt sind, können grundsätzlich in punktförmige Einzellasten und Flächenlasten unterteilt werden. Insbesondere die zuerst genannten Belastungen sind in vielen Fällen für die Bemessung der Betonplatte maßgebend.

Unter punktförmigen Einzellasten versteht man unter anderem Einzellasten aus gestapelten Gütern mit kleiner Aufstandsfläche wie dies z. B. bei Containern sowie Stützenlasten von Hochregallagern oder ähnlichem gegeben ist. Diese Lasten können bis zu 250 kN betragen und in Abhängigkeit von der Aufstandsfläche Flächenpressungen von bis zu 16 N/mm² hervorrufen [2].

Als punktförmige Einzellasten sind jedoch auch Radlasten, z. B. von Gabelstaplern oder LKW, anzusehen. Je nach Gewicht und Art der Bereifung können durch diese Fahrzeuge erhebliche Flächenpressungen in der Kontaktfläche Reifen-Beton eingetragen werden, die nach [2] 7 N/mm² überschreiten können.

Von untergeordneter Bedeutung für die Bemessung von Industrieböden aus Beton sind i. d. R. flächige Lasten. Bei dieser Beanspruchungsart sollte jedoch ein besonderes Augenmerk auf das Setzungsverhalten des Untergrundes, insbesondere unter Dauerlasten, gerichtet werden. Weiterhin wird bei einer Überdrückung der Platten ggf. eine Austrocknung und somit die Schwindverkürzungen verhindert. Diesem Umstand muss bei der Zwangbemessung Rechnung getragen werden.

2.1.2 Thermisch-hygrische Beanspruchungen

Thermische und hygrische Verformungen bzw. die Kombination beider Beanspruchungen können hohe Spannungen in Betonbodenplatten hervorrufen, die bereits für sich allein genommen oder aber zusammen mit aus Verkehrslasten resultierenden Spannungen eine Rissbildung in den Platten auslösen können.

Maßgebend für das thermische Verformungsverhalten ist im Wesentlichen die aktuelle Temperaturverteilung in der Betonplatte im Verhältnis zum Ver-

lauf der Nullspannungstemperatur. Als Nullspannungstemperatur bezeichnet man dabei jene Temperatur, die an einer definierten Stelle im Querschnitt einer Betonplatte zum Zeitpunkt der Erhärtung des Betons geherrscht hat.

Aufgrund der Hydratation erwärmt sich der Beton während des Abbindevorgangs. Unabhängig von Umwelteinflüssen kommt es dabei im Kern des Bauteils zu einer stärkeren Erwärmung als in den Randbereichen, da die entstehende Wärme nur langsam an die Umgebung abgeführt wird. Der frische, noch viskos verformbare Beton dehnt sich in Folge dieser Erwärmung entsprechend stärker aus als die doch kühleren Randbereiche. Gleichzeitig hat die Wärmeentwicklung jedoch einen früheren Beginn und ggf. eine Beschleunigung des Abbindevorgangs zur Folge. Der Kern einer Betonplatte erhärtet somit bei einer anderen Temperatur als die Randzone der Platte. Hierdurch wird über den Plattenquerschnitt bzw. die Plattendicke ein Temperaturprofil eingepreßt.

Kühlt der Betonboden nach dem Abschluss der Betonierarbeiten auf eine gleichmäßige Temperatur über den Querschnitt ab, so führen die in den Querschnitt eingepreßten, nun in der Rückverformung behinderten Temperaturdehnungen unter Berücksichtigung der Bernoulli-Hypothese zu Eigenspannungen über den Verlauf der Plattenhöhe.

Die Größe dieser Eigenspannung ist abhängig vom Verhältnis der in der Platte vorliegenden Temperatur und der bei der Herstellung eingepreßten Nullspannungstemperatur. Somit hat der Herstellungsprozess von Industrieböden entscheidenden Einfluss auf deren inneren Spannungszustand und muss in die Bemessung von Platten eingehen, insbesondere wenn die Tragfähigkeit ausgeschöpft, eine Rissbildung aber sicher ausgeschlossen werden soll.

Abbildung 1 veranschaulicht die Zusammenhänge. Dargestellt wird der Einfluss verschiedener Nullspannungstemperaturen auf die über den Querschnitt einer Betonplatte entstehenden Spannungen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur. Der Einfachheit halber ist hierbei angenommen, dass die Nullspannungstemperatur über den Querschnitt konstant ist (denkbar z.B. bei Erhärtung unter Wärmedämmung). Man erkennt, dass eine hohe Nullspannungstemperatur eine frühe Rissbildung in der Randzone bewirkt, während eine geringe Nullspannungstemperatur dort zu einer Druckvorspannung führt, jeweils gleiche Umgebungstemperaturen vorausgesetzt. Dieses Beispiel verdeutlicht, welchen Einfluss die Erhärtungsbedingungen auf das Risiko einer thermisch induzierten Rissbildung besitzen.

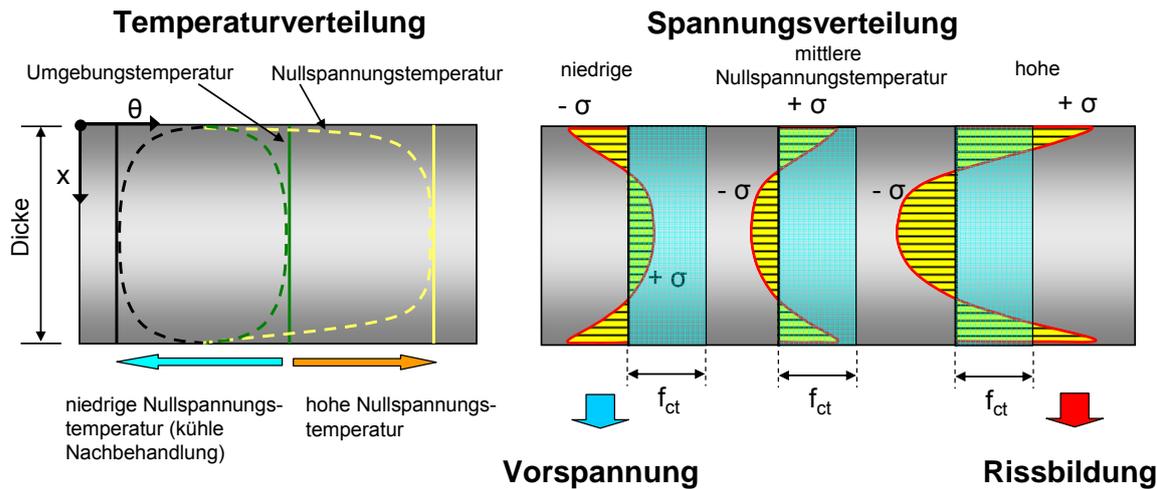


Abb. 1: Einfluss der Nullspannungstemperatur auf die entstehenden thermischen Spannungen in einer Betonplatte (f_{ct} = Zugfestigkeit des Betons)

Foos [3] hat hierzu umfangreiche experimentelle und numerische Untersuchungen durchgeführt und ein Bemessungsmodell für Betonfahrbahnen vorgestellt, das erstmals neben den Eigengewichts- und Verkehrslasten auch Beanspruchungen aus Umwelt- randbedingungen berücksichtigt.

Zusätzlich zu den thermischen Beanspruchungen unterliegen Industrieböden aus Beton auch hygri- schen Beanspruchungen, die den in den einzelnen Platten vorliegenden Eigenspannungs- bzw. Zwang- spannungszustand stark beeinflussen können. Da es bei Betonböden i. d. R. nur zu einer einseitigen Aus- trocknung auf der Plattenoberseite kommt, entstehen über die Plattenhöhe starke Feuchtgradienten. Die daraus resultierenden behinderten Schwindver- formungen tragen wiederum zu einer Verstärkung der Eigenspannungen im Plattenquerschnitt bei.

Bei derartigen Betrachtungen sollte besonders die Lagerungsart der Betonplatte beachtet werden. Je nach Aufbau des Plattenunterbaus kann es zu einer Befeuchtung der Platten an deren Unterseite bei einer gleichzeitigen Trocknung auf deren Ober- seite kommen. Im konkreten Fall wäre ein ausge-prägtes Aufschüsselungsbestreben die Folge.

Abbildung 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Auf- schüsselung bei oberseitigem Betonschwinden zweier in Bezug auf die Unterseite unterschiedlich gelagerter Betonplatten. Es wird deutlich, dass eine kapillar mögliche Wasseraufnahme an der Unterseite einer Betonplatte das Maß der Aufschüsselung um den Faktor 2 erhöht [3]. Die Folge sind große Zug- spannungen im Beton an der Luftseite, die in Kombi- nation mit den bereits erläuterten Spannung aus einer thermischen Beanspruchung und Spannungen aus Eigen- bzw. Verkehrslasten eine Rissbildung an der Plattenoberseite sehr wahrscheinlich machen.

Grundsätzlich kann das Schwinden des Betons praktisch nicht verhindert werden, jedoch können

durch geeignete betontechnologische Maßnahmen die Verformungsbestrebung begrenzt und die negati- ven Folgen für die Betonplatte minimiert werden. Zielsetzung bei der Entwicklung einer Betonrezeptur sollte es sein, das Schwinden des vorgesehenen Betons unter Beachtung aller weiteren betontechno- logischen Randbedingungen, wie z. B. der mechani- schen Kennwerte oder der Dauerhaftigkeit, zu mini- mieren.

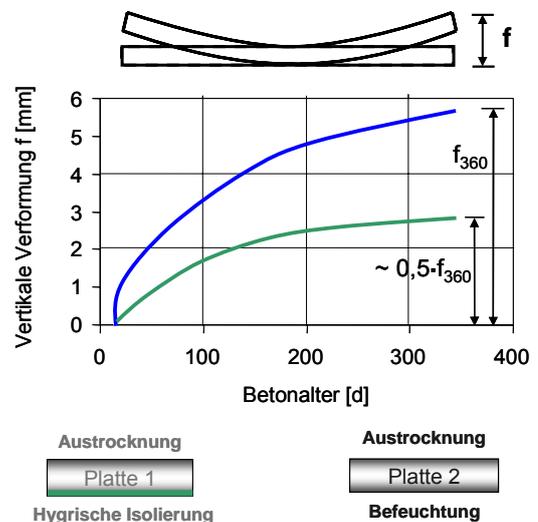


Abb 2: Aufschüsselung von Betonplatten in Abhän- gigkeit von den Lagerungsbedingungen. Versuchsergebnisse nach [3] an Platten von 5 m Länge, 1,2 m Breite und 0,26 m Dicke

2.1.3 Dauerhaftigkeitsrelevante Beanspruchungen

In Anlehnung an DIN 1045-1 kann auch bei Industrieböden zwischen Beanspruchungen die zu einer Betonkorrosion oder zu einer Bewehrungskorrosion führen unterschieden werden. Während die Bewehrungskorrosion bei Industrieböden meist eine eher untergeordnete Rolle spielt, kommt der Betonkorro-

sion insbesondere aus Verschleißbeanspruchungen aber auch Frosteinwirkung oder durch chemischen Angriff besondere Bedeutung zu [1].

Je nach Nutzungsart und Belastung sind Industrieböden z. T. einer erheblichen Verschleißbeanspruchung ausgesetzt. Hierbei muss wiederum zwischen drei Beanspruchungsarten unterschieden werden:

- Schleifverschleiß
- Rollverschleiß
- Stoßverschleiß

Insbesondere bei befahrenen Flächen besitzen der Rollverschleiß und die stoßartige Verschleißbeanspruchung eine besondere Bedeutung. In Bezug auf ihre mechanische Wirkungsweise haben beide Verschleißarten gemein, dass sie lokal z. T. sehr hohe Lasten in die Platte einleiten und damit hohe Flächenpressungen verursachen. Diese können z. B. im Bereich der Kontaktzone Reifen-Beton die Festigkeit des Betons und insbesondere der Zementsteinschicht an der Betonoberfläche überschreiten. Die Folge ist eine langsam fortschreitende Zerstörung der Betonoberfläche.

Weiterhin handelt es sich bei dieser Beanspruchungsart um hoch-dynamische Vorgänge, so dass bei Dauerhaftigkeitsbetrachtungen derartig belasteter Platten auch Ermüdungsprozesse berücksichtigt werden müssen. Bei Flächen, die zur Lagerung von Schüttgütern dienen, muss weiterhin von einer schleifenden Beanspruchung ausgegangen werden.

Die Verschleißbeständigkeit von Beton ist stark von der Art und dem Volumenanteil der verwendeten Gesteinskörnung abhängig. Während Zementstein selbst eine nur geringe Verschleißbeständigkeit aufweist, kann durch Verwendung ausgewählter Gesteinskörnungen oder durch zusätzlichen Einsatz von Hartstoffen das Verschleißverhalten des Betons erheblich verbessert werden. Eine Übersicht über die hierbei in Frage kommenden Ausgangsstoffe und ihre Eignung gibt [4].

Im Bereich von Außenflächen oder im Eingangsbereich von Hallen muss bei der Bemessung von Industrieböden mit einer Frost- bzw. Frost-Tausalzbeanspruchung gerechnet werden. Für die Gewährleistung der Frostbeständigkeit der Betonplatten gelten dabei die einschlägigen Regeln, wie sie auch die DIN 1045-2 in Verbindung mit der DIN EN 206-1 vorschreiben. Als betontechnologische Maßnahmen zur Gewährleistung einer hohen Frostbeständigkeit fordern diese Normen u. a. einen bestimmten Mindestzementgehalt. Der Zementgehalt sollte daher ausreichend hoch, jedoch mit Blick auf die Verschleißbeständigkeit des Betons, nicht zu hoch gewählt werden. Darüber hinaus wird in DIN 1045-2 der w/z-Wert des Betons auf Werte kleiner 0,50 bzw. 0,45 begrenzt. Im Hinblick auf die Verar-

beitung dieser Betone ist daher häufig die Zugabe von Betonverflüssigern bzw. Fließmitteln erforderlich.

Zur Gewährleistung einer hohen Frost-Tausalz-Beständigkeit werden weiterhin Betone mit einer leicht porosierten Zementsteinmatrix (LP-Mittel-Zugabe) eingesetzt. Hierbei muss beachtet werden, dass besonders an der Betonoberfläche ein definiertes und geeignetes Luftporensystem erzeugt wird. Von besonderer Schwierigkeit ist dabei die geeignete Abstimmung der Betonzusammensetzung und der Betonnachbehandlung bzw. Nachbearbeitung. Nach Wagner [8] beeinflusst insbesondere der Glättvorgang sowie der Zeitpunkt, zu dem geglättet wird, maßgeblich die Frostbeständigkeit von Betonböden, die unter Verwendung von LP-Bildnern hergestellt wurden. Soll darüber hinaus eine Kombination von LP-Bildner und modernen Fließmitteln auf Polycarboxylatetherbasis im Beton eingesetzt werden, muss die Kompatibilität beider Zusatzmittel im Beton geprüft werden.

Von besonderer Bedeutung für die Frostbeständigkeit eines Industriebodens aus Beton ist zudem der Aufbau des Unterbaus. Dieser muss durch Wahl geeigneter Körnungen sowie Drainagemaßnahmen ebenfalls frostbeständig ausgeführt werden.

In Industrie- und Wirtschaftsbetrieben kommen Betonböden ggf. in Kontakt mit betonangreifenden Stoffen. Häufig sind dies organische oder anorganische Säuren, Laugen oder auch Sulfate. Aufgrund der Vielzahl der möglichen Angriffsarten müssen diese sowie die damit verbundenen Maßnahmen jeweils im Einzelfall geprüft werden.

Grundsätzlich ist für Betone, die einem chemischen Angriff ausgesetzt sind, ein Wasserelementwert kleiner 0,50 in Verbindung mit einem definierten Mindestzementgehalt anzustreben. Ist weiterhin mit einer Sulfatbeaufschlagung zu rechnen sind sulfatbeständige Zemente mit niedrigem Tricalciumaluminatgehalt einzusetzen.

2.2 Aufbau und Konstruktion

Betonböden besitzen im Regelfall einen geschichteten Aufbau aus drei bzw. vier Lagen. Aufbauend auf den vorliegenden Untergrund, der eine ausreichende Tragfähigkeit aufweisen muss, folgt die Tragschicht. Diese kann entweder aus einer verdichteten Kies- oder Schotterfüllung oder aber aus hydraulisch gebundenen bzw. verfestigten Kies- oder Schotterkörnungen bestehen.

Für alle Aufbauten gilt, dass diese eine ausreichende Tragfähigkeit für die eigentliche Betonplatte aufweisen müssen. Dies ist vor dem Einbau z. B. durch den Lastplattenversuch nach DIN 18134 zu prüfen. Die oberste Schicht des Betonbodens bildet die eigentliche Betonplatte, die entweder direkt oder getrennt durch eine Gleitschicht auf der Tragschicht aufliegt. Im Falle einer zusätzlichen Frostbeanspru-

chung wird der oben beschriebene Aufbau durch eine Frostschutzschicht zwischen Untergrund und Tragschicht ergänzt (siehe [5]).

Die Dicke der einzelnen Schichten ist stark von der Größe der in den Boden eingetragenen Einzelasten abhängig. So sollten die Tragschicht eine Mindestdicke von 15 cm und die darauf aufliegende unbewehrte Betonplatte eine Mindestdicke von 14 cm aufweisen (siehe [2]). Hierbei handelt es sich lediglich um grobe Richtwerte. Der tatsächlich erforderliche Aufbau, die Abmessungen, die Zusammensetzung des Unterbaus sowie des Betons und deren Materialeigenschaften sind im Rahmen des Bemessungsvorgangs zu ermitteln bzw. festzulegen (siehe Abschnitt 2.3).

Neben ihrem Querschnitt ist ein weiteres wichtiges Konstruktionsmerkmal von Betonböden die Anordnung und Ausbildung von Fugen. Hierbei wird unterschieden zwischen:

- Scheinfugen, die eine Querschnittsschwächung und somit Sollbruchstelle im Beton darstellen,
- Pressfugen, die aus dem Herstellungsvorgang resultieren und über die gesamte Plattenhöhe verlaufen,
- Randfugen, die ebenfalls über die gesamte Plattenhöhe verlaufen und als Trennung zwischen der Betonplatte und anderen Bauteilen dienen und unter Verwendung von weichen Fugeneinlagen eine unbehinderte Dehnung der Platten erlauben.

Die Wahl und Anordnung der einzelnen Fugenarten ist neben den geometrischen Abmessungen der Bodenfläche auch von den vorliegenden Lasten abhängig. Grundsätzlich sollte jedoch eine feldartige Anordnung mit einem Verhältnis der Länge/Breite der Felder von $L/B \leq 1,5$ angestrebt werden [2].

Neben der Ausführung als unbewehrte Platte kommen in seltenen Fällen auch bewehrte Betonplatten zur Ausführung. Dies ist immer dann der Fall, wenn aufgrund hoher Verkehrslasten und insbesondere großer Einzellasten die zulässige Betonzugfestigkeit bzw. Betongrenzdehnung überschritten wird und dies eine Rissbildung zur Folge hätte. Die eingelegte Bewehrung übernimmt die Funktion einer Rissbreitenbegrenzung. Nach [4] muss jedoch beachtet werden, dass das Tragverhalten einer Betonbodenplatte sich wesentlich von dem eines Stahlbetonbauteils im Hochbau unterscheidet. Dies ist im Wesentlichen auf die vollflächige elastische Lagerung zurückzuführen, die in den Platten zu lokal stark unterschiedlichen Spannungszuständen führt. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass der Einsatz einer Stahlbewehrung lediglich eine Begrenzung der Rissbreiten nach Überschreiten der Betonzugfestigkeit zur Folge hat. Die Rissbildung selbst kann dadurch jedoch nicht verhindert werden. Vor diesem Hinter-

grund kommen betontechnologischen Maßnahmen zur Maximierung der Betonzugfestigkeit bei der Herstellung von Industriefußböden eine besondere Bedeutung zu.

Alternativ zum Einsatz einer konventionellen Bewehrung kann auch die Verwendung eines Stahlfaserbetons erwogen werden. Zwar wird auch durch die Zugabe von dünnen und schlanken Fasern eine Rissbildung in den Platten nicht verhindert, jedoch können die resultierenden Rissbreiten erheblich reduziert werden. Darüber hinaus führt die gegenüber Normalbeton stark erhöhte Bruchenergie des Faserbetons im Nachbruchbereich zu einer erheblichen Verbesserung der Platteneigenschaften bei hohen dynamischen Lasten und bei Ermüdung.

Ist eine Rissbildung weitgehend auszuschließen und auch die Ausbildung von Fugen nicht erwünscht, können Industrieböden aus Beton im sofortigen Verbund vorgespannt werden. Biegezugspannungen aus thermisch-hygrischen Beanspruchungen sowie großen Verkehrslasten werden dadurch überdrückt und somit eine Rissbildung weitestgehend verhindert.

2.3 Bemessung

Wie bereits in Abschnitt 2.2 erläutert, bestehen Industrieböden aus Beton i. d. R. aus dem Untergrund, der Tragschicht sowie der eigentlichen Betonplatte. Die Bemessung eines Betonbodens muss somit auch alle drei Konstruktionselemente umfassen.

Das bislang für Betonböden gebräuchliche Bemessungskonzept berücksichtigt primär Eigengewichts- und Verkehrslasten. Eigenspannungszustände, die aus Temperaturgradienten – insbesondere aus dem Verhältnis der Betontemperatur zur Nullspannungstemperatur – oder Schwinddehnungen resultieren (siehe Abschnitt 2.1.2) werden hingegen bislang nicht oder nur unzureichend berücksichtigt, obwohl sie, wie in [3] gezeigt wird, maßgebend sein können. Dauerhaftigkeitsanforderungen wie z. B. die Frost- bzw. Frost-Tausalz-Beständigkeit werden in Anlehnung an DIN 1045 bzw. EN 206-1 durch Festlegung der Betonzusammensetzung berücksichtigt.

Die Bemessung von Betonböden erfolgt in der Regel für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Die anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerte weichen z. T. deutlich von den in DIN 1045-1 festgelegten Werten ab und sind im Wesentlichen abhängig vom Grad der geforderten Rissfreiheit. Weiterhin wird für zu befahrende Bodenplatten dem Ermüdungsverhalten durch eine Erhöhung der Teilsicherheitsbeiwerte in Abhängigkeit von der Lastwechsellast Rechnung getragen.

Der Nachweis der Betonplatten selbst erfolgt nach dem Prinzip der zulässigen Spannungen (siehe [7]). Der wesentlichste Unterschied zur Nachweisführung für konstruktive Stahlbetonbauteile nach

DIN 1045-1 besteht in der Tatsache, dass für Industrieböden die Zugfestigkeit des Betons voll angesetzt wird. Versagen ist somit als Überschreitung der Betonzugfestigkeit und die Entstehung von Rissen definiert.

Die Bemessung und der Nachweis von Industrieböden aus Beton wird von Steiner [6] und Hörenbaum [7] im Detail erläutert. Einen guten Überblick über die gesamte Thematik geben weiterhin Lohmeyer und Ebeling in [2] und [4].

3 Ausführung von Industrieböden aus Beton

3.1 Einbauplanung und Technik

Wie sich aus dem mehrschichtigen Aufbau ergibt, erfolgt die Herstellung von Industrieböden in den Abschnitten Unterbau mit ggf. Dränarbeiten, Erstellung der Tragschicht, Einbau der Betonplatte und ggf. Veredelung der Betonplatte durch einen Estrich oder Einstreuung von Hartstoffen.

Die einzelnen Gewerke sollten grundsätzlich nur von Fachfirmen ausgeführt werden. Dabei muss besonders die fachgerechte Ausführung der Erd- und Tragschichtarbeiten in ihrer Bedeutung für die Gesamtmaßnahme betont werden. Unkontrollierte Setzungen können eine erhebliche Schädigung der Betonplatte und somit der Gesamtkonstruktion zur Folge haben. Vor diesem Hintergrund sind die Eigenschaften des lokal anstehenden Untergrundes ggf. durch einen Sachverständigen zu ermitteln und zu bewerten, und es ist ggf. ein Bodenaustausch vorzunehmen. Weiterhin ist bei der Baustellenein-

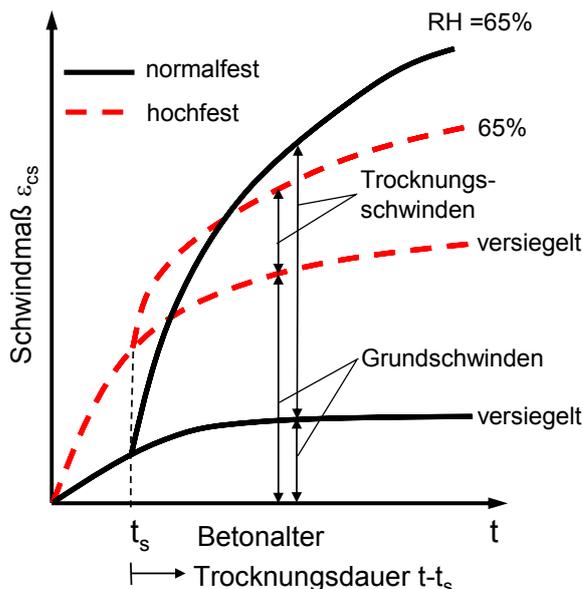
richtung sicherzustellen, dass es in bestimmten Bereichen des Unterbaus nicht zu einer übermäßigen Störung der Lagerung des Bodens z. B. durch Befahren mit schweren LKWs kommt. Besondere Beachtung gebührt in diesem Zusammenhang auch dem Wassergehalt und damit dem Konsolidierungsgrad des Untergrundes. Gegebenenfalls sind Dränmaßnahmen vorzusehen. Dies gilt insbesondere im Falle einer Frostgefährdung des Bodens.

3.2 Betontechnologische Aspekte

Vor dem Hintergrund der in Abschnitt 2 beschriebenen Anforderungen an Betonböden sollte der zur Herstellung der eigentlichen Betonplatte verwendete Beton folgende Eigenschaften aufweisen:

- **Zugfestigkeit:** Eine Rissbildung in der Betonplatte kann nur dann vermieden werden, wenn die in der Platte auftretenden Zugspannungen geringer sind als die Festigkeit des Werkstoffes. Vor diesem Hintergrund sollte eine möglichst hohe Betonzugfestigkeit angestrebt werden. Als geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Betonzugfestigkeit haben sich die Reduktion des Wasserzementwertes sowie die Zugabe von Betonzusatzstoffen, insbesondere von Silikastäuben, erwiesen. Noch vor diesen Maßnahmen sind jedoch die Art und die Kornverteilung der verwendeten Gesteinskörnung von Bedeutung für die Betonzugfestigkeit. So kann diese allein durch Verwendung von gebrochenen Körnungen anstelle von Rundkorn bereits erheblich gesteigert werden.

Komponenten des Schwindens



Maßnahmen zur Reduktion des Schwindens

bei normalfestem Beton:

- Verwendung C₃S-arter und/oder gröber gemahlener Zemente
- reduzierter Zementgehalt durch optimierte Sieblinie
- kleiner Wasserzementwert
- Verhinderung von frühzeitiger Austrocknung
- hoher E-Modul der Gesteinskörnung

bei hochfestem Beton, zusätzlich:

- innere Nachbehandlung durch geeignete wasserhaltige Zusatzstoffe

Abb. 3: Komponenten des Schwindens (links) und Maßnahmen zur Reduktion des Schwindens (rechts) für normal- und hochfeste Betone

- **Schwinden:** Schwindverkürzungen im Beton werden durch Volumenänderungen im Zementstein hervorgerufen. Vor diesem Hintergrund können durch eine Optimierung der Sieblinie der Gesteinskörnung der Zementsteingehalt im Beton und somit die Schwindverformungen beschränkt werden. Diese Maßnahme wirkt sich auch positiv auf die Verschleißeigenschaften der Betonoberfläche aus. Hinsichtlich einer Schwindreduktion erweisen sich auch die Wahl des Bindemittels und insbesondere die Beschränkung des Wasserzementwerts im Beton als sehr wirksam (siehe Abb. 3). Nach [4] haben sich hierbei w/z-Werte kleiner 0,50 als günstig erwiesen. Nähere Hinweise hierzu gibt Wöhl in [9].
- **E-Modul und Wärmedehnung:** Die in Betonplatten lokal auftretenden Spannungsspitzen resultieren u. a. aus behinderten Dehnungen (Bernoulli-Hypothese) und stehen in einem linearen bzw. direkt proportionalen Verhältnis zum E-Modul des Betons. Vor diesem Hintergrund sollten Betone entwickelt werden, die einen gegenüber Normalbeton reduzierten E-Modul bei dennoch gleicher oder verbesserter Verschleißbeständigkeit und Wirtschaftlichkeit aufweisen. Zentraler Parameter ist die Art der Gesteinskörnung. Die Wärmedehnung des Beton ist ebenfalls stark von der Art der verwendeten Ausgangsstoffe abhängig. Die Verwendung von Kalkstein als Gesteinskörnung kann die Wärmedehnung deutlich herabsetzen.
- **Dauerhaftigkeit:** Wie bereits erläutert, ist die Verschleißbeständigkeit eines Betons stark von der Art und dem Gehalt der verwendeten Gesteinskörnung abhängig. Vor diesem Hintergrund sollten Betone für die Herstellung von Böden einen möglichst hohen Zuschlaggehalt aufweisen. Dies kann durch eine Optimierung der Kornzusammensetzung der Betone sichergestellt werden. Eine hohe Frostbeständigkeit der Betone wird durch eine Minimierung der Kapillarporosität durch Begrenzung des Wasserzementwerts wie es DIN 1045-2 in Verbindung mit EN 206-1 vorschreibt, die Verwendung frostbeständiger Gesteine und durch die Zugabe eines LP-Bildners gewährleistet. Die Reduktion der Kapillarporosität ist auch für die Beständigkeit von Beton gegen chemischen Angriff ausschlaggebend. Zusätzlich muss hier bei der Auswahl der Ausgangsstoffe und insbesondere des Zements auf seine Beständigkeit in dem geforderten Milieu geachtet werden. Bei einer starken Sulfatbeaufschlagung sind beispielsweise Zemente mit niedrigem Tricalciumaluminatgehalt (HS-Zemente) einzusetzen. Grundsätzlich ist auch stets das Risiko einer Alkali-Zuschlag-Reaktion zu betrachten, gerade wenn gebrochenes Gesteinsmaterial verwendet wird.

- **Frischbetoneigenschaften:** Die bereits genannten Betoneigenschaften können nur sichergestellt werden, wenn der Frischbeton ausreichende und auf die Einbautechnik angepasste Frischbetoneigenschaften aufweist. Konsistenzmaße im Bereich F2/F3, bzw. geringer für den Einbau mit Fertigern, sind in der Praxis gängig.

Vor dem Hintergrund der obigen Ausführungen haben sich Betone mit Zementgehalten kleiner 350 kg/m^3 und Wasserzementwerten von ca. 0,45 als sinnvoll erwiesen (siehe [2]). Weiterhin sollte der Sandgehalt auf Werte kleiner 30 M.-% der Gesteinskörnung (Größtkorn $\geq 8 \text{ mm}$) beschränkt werden. Einzelheiten können [9] und [2] entnommen werden.

3.3 Oberfläche und Nachbehandlung

Die für die Nutzung relevanten Eigenschaften von Industrieböden werden maßgeblich durch die Eigenschaften der Betonoberfläche geprägt. Diesen Flächen, d. h. den obersten Millimetern der Betonplatte kommt daher besondere Bedeutung zu. Leider wird dieser Umstand in der Praxis oft nur unzureichend berücksichtigt.

Bereits während des Einbaus bzw. kurz danach sind Betonplatten einem Trocknungsvorgang ausgesetzt. Im noch frischen Beton kann dies zu einem Austrocknen der obersten Betonschicht führen. Dem Zement steht dadurch nicht mehr ausreichend Wasser zur Hydratation zur Verfügung. Eine erhebliche Beeinträchtigung der Oberflächenqualität ist die Folge.

Vor diesem Hintergrund sollte die Nachbehandlung des Betons so früh wie möglich einsetzen, d. h. direkt nach dem Betoneinbau erfolgen. In vielen Fällen wird jedoch mit der Nachbehandlung erst nach Abschluss des Glättens mit z. T. erheblichen Nachteilen für die Betonoberfläche begonnen. Krell [10] empfiehlt vor diesem Hintergrund den Zeitraum zwischen Betonierende und Glättvorgang und der angeschlossenen Nachbehandlung zu minimieren. Gleichzeitig ist jedoch ein Glätten des Betons, das sich wiederum äußerst positiv auf die Oberflächeneigenschaften auswirkt, nur bei einer ausreichenden Grünstandstragfähigkeit der Betonoberfläche möglich. In [10] sind daher Hinweise aufgeführt, wie der optimale Zeitpunkt zum Glätten abgeschätzt werden kann. Dort wird weiterhin empfohlen, bei zu großem Zeitversatz eine Zwischennachbehandlung vorzunehmen.

3.4 Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung bei der Herstellung von Industrieböden muss den kompletten Planungs- und Herstellungsprozess bis zur Übergabe an den Bauherrn umfassen. Für den Herstellungsvorgang kann dabei zwischen Maßnahmen zur Qualitätssicherung des Unterbaus und der Tragschicht und Maßnahmen

zur Sicherung der Betonqualität und des Einbaus unterschieden werden.

Im Mittelpunkt der Maßnahmen zur Qualitätssicherung des Unterbaus und der Tragschichten steht die Gewährleistung einer ausreichenden Tragfähigkeit bei geringen Verformungen. Durch statische oder dynamische Lastplattendruckversuche oder die Bestimmung des Verdichtungsgrades mittels des Proctorversuchs kann die Einhaltung der Anforderungen überprüft werden. Weiterhin kann mittels Nivellement die Höhenlage und Dicke der einzelnen Schichten sowie deren Ebenheit geprüft werden. Bei allen Maßnahmen sollte dabei beachtet werden, dass die Tragfähigkeit, das Setzungsverhalten und damit auch die Höhenlage und Schichtdicken ausgeprägt vom Feuchtegehalt des Bodens bzw. der eingebauten Materialien abhängen. Starke Änderungen im Wassergehalt während der Bauzeit können daher erhebliche Änderungen in den geprüften Kennwerten zur Folge haben.

Für die Qualitätssicherung des Betons ist grundsätzlich die Einhaltung der Regelungen nach DIN 1045-2 bzw. DIN EN 206-1 zu empfehlen. Vor allem sollte der Beton bereits während der Planungsphase einer Erstprüfung unterzogen werden, in der alle maßgeblichen Parameter ermittelt und für den endgültigen Beton festgelegt werden. Die zu prüfenden Parameter sind stark von den Anforderungen an die spätere Betonplatte abhängig. Lohmeyer et al. [4] geben einen Überblick über die maßgeblichen Kennwerte.

Neben der Prüfung des Lieferscheins bzw. des Chargenprotokolls jedes Fahrzeugs sollten die Konsistenz und bei LP-Betonen der LP-Gehalt ermittelt werden.

Schließlich sollte die Qualitätssicherung auch den Betoneinbau, die Nachbehandlung und die Nachbearbeitung, d. h. das Glätten umfassen. Insbesondere die Festlegung des genauen Zeitpunktes, ab dem geglättet werden kann, der Glättvorgang selbst und die vorgeschaltete Zwischennachbehandlung und anschließende Nachbehandlung müssen nachvollziehbar geregelt sein.

4 Schäden und Instandsetzung

Unter Berücksichtigung der in den vorangegangenen Abschnitten aufgezeigten Vorgehensweise und den gegebenen Empfehlungen ist es problemlos möglich, qualitativ hochwertige und technisch anspruchsvolle Industrieböden aus Beton herzustellen. In der Praxis treten jedoch immer wieder Schäden an derartigen Böden, insbesondere an deren Oberfläche auf, die zu massiven Nutzungseinschränkungen führen können. Die Ursachen hierfür liegen nach Flohrer [12] z. T. in Ausführungsmängeln, mehr noch aber in einer unzureichenden Planung und insbesondere

einer fehlerhaften Bemessung für die tatsächlich vorliegenden Beanspruchungen.

Häufig auftretende und immer wiederkehrende Schadensbilder sind u. a. Abplatzungen an Fugen, gerichtete Risse in Folge von Biege- bzw. Zwangspannungen oder Mängel in der Ebenheit der Böden. Darüber hinaus können Aufwölbungen an den Plattenrändern, Hohllagenbildungen oder Fehler in der Beschichtung bzw. der Hartstoffschicht beobachtet werden.

In den Beiträgen von Breitenbücher [11] und Flohrer [12] wird detailliert auf verschiedene typische Schadensbilder eingegangen. Dabei werden zunächst die Schadensmerkmale eingehend beschrieben und anschließend deren Ursachen und die fachgerechte Instandsetzung erläutert. Einen umfassenden Überblick über das Thema Schäden an Industrieböden geben auch Cziesielski et al. [13].

5 Sonderbauweisen

5.1 Geschliffene und geprägte Böden

Die Oberflächenstruktur und Optik eines Industriebodens aus Betons kann auch durch Maßnahmen nach dem Einbau gezielt beeinflusst werden. Dies geschieht beispielsweise durch ein Schleifen oder Polieren des Bodens oder aber durch Einbringen einer Prägung.

Industrieböden aus Beton sind Sichtbetonflächen an die ggf. hohe ästhetische Anforderungen gestellt und die als gestalterisches Mittel in der Architektur eingesetzt werden. Neben rein technischen Anforderungen wie der Ebenheit, Dauerhaftigkeit oder Rissfreiheit müssen Böden daher auch Sichtenanforderungen erfüllen. Eine wirksame Möglichkeit das Erscheinungsbild zu beeinflussen, stellt das nachträgliche Polieren oder Schleifen der Oberflächen dar. Je nach gewünschter Ausprägung wird dabei die oberste Zementsteinschicht des Bodens mit Hilfe von Schleifgeräten abgetragen und so die Gesteinskörnung freigelegt. Da sich die im Betonbodenbau verwendeten Rezepturen häufig zur Erzielung bestimmter Sichteffekte nicht eignen, werden oftmals selbstnivellierende Bodenmassen mit Schichtdicken zwischen 5 und 15 mm aufgebracht und anschließend maschinell bearbeitet. Dabei muss sichergestellt sein, dass der Untergrund eine ausreichende Rauigkeit und Haftzugfestigkeit aufweist, um einen sicheren Verbund zu gewährleisten und damit eine Hohllagenbildung zu vermeiden. Weiterhin sollte möglichst eine Verarbeitung „frisch-in-frisch“ auf den noch feuchten Bodenbeton angestrebt werden. Trotz der Zugabe von Kunststoffdispersionen zu derartigen Estrichmassen ist eine sorgfältige Nachbehandlung dieser Systeme zwingend erforderlich.

Eine weitere Möglichkeit Industrieböden zu gestalten, stellen Prägeverfahren dar. Hierzu werden

Kunststoffmatrizen in die noch frische abgezogene Betonoberfläche eingepresst und diese somit strukturiert. Hinweise zur genauen Vorgehensweise bei der Herstellung von geschliffenen und geprägten Böden gibt Freimann in [14].

5.2 Walzbeton

Eine im Industriebodenbau weit verbreitete Sonderbauweise zur Herstellung von großen Verkehrs- und Abstellflächen ist der Betoneinbau als Walzbeton. Dabei werden zumeist Betone mit erdfechter Konsistenz maschinell mit einem Straßenfertiger eingebaut und anschließend mit schweren Walzen nachverdichtet.

Die Verwendung von Walzbetonen ermöglicht einen sehr schnellen Einbau und gewährleistet robuste und dauerhafte Oberflächen mit hohem Verschleißwiderstand. Aufgrund einer geringen Schwindneigung derartiger Betone sind weiterhin große Fugenabstände möglich. Diesen Vorzügen stehen als Nachteile eine eingeschränkte Griffigkeit der Oberfläche bei Nässe und ein hoher maschinentechnischer Aufwand bei der Herstellung gegenüber. Weiterhin ist diese Bauweise nach Freimann [14] nur für zusammenhängende und stützenfreie Flächen geeignet und erfordert eine sehr hohe Kapazität des liefernden Transportbetonwerkes.

Bei der Planung und Ausführung von Walzbetonflächen müssen verschiedene Grundsätze beachtet werden, die im Wesentlichen einen kontinuierlichen Betoneinbau zum Ziel haben. Die Bemessung von Walzbetonflächen erfolgt dabei nach den bereits in Abschnitt 2 beschriebenen Grundsätzen und kann beispielsweise nach dem Merkblatt der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen [15] durchgeführt werden.

Da Walzbetone zumeist im Außenbereich eingesetzt werden, sind sie i. d. R. aus vier Schichten, nämlich dem Untergrund, einer Frostschuttschicht, der Tragschicht und aus dem eigentlichen Walzbeton aufgebaut. Wie bereits erläutert, muss dabei jede der einzelnen Schichten eine ausreichende Tragfähigkeit aufweisen, die mittels Plattendruckversuchen zu prüfen ist. Der Einbau der Betonplatte selbst erfolgt wie bereits erläutert mit Straßenfertigern, die den Beton gleichmäßig über die gewünschte Einbaubreite verteilen und mittels Rüttelbohle verdichten. Somit können Bahnbreiten von 3,5 bis 4,75 m realisiert werden. Aufgrund der hohen Grünstandfestigkeit der Betone ist es weiterhin problemlos möglich, eine definierte Querneigung der einzelnen Fertigerbahnen einzustellen. Um eine ausreichende Verdichtung sicherzustellen, sind schwere Walzen einzusetzen.

Entsprechend ihrer Konsistenz ist die Zusammensetzung von Walzbetonen durch einen geringen Mehlkornleimgehalt und äquivalente w/z-Werte kleiner 0,40 geprägt. Als Gesteinskörnung werden häufig gebrochene Körnungen (Splitte) eingesetzt. Die Betone sollten direkt im Anschluss an den Walzvorgang nachbehandelt werden. Dies kann entweder durch eine feinversprühte Beregnung oder durch ein Abdecken mit Folie erfolgen.

fig gebrochene Körnungen (Splitte) eingesetzt. Die Betone sollten direkt im Anschluss an den Walzvorgang nachbehandelt werden. Dies kann entweder durch eine feinversprühte Beregnung oder durch ein Abdecken mit Folie erfolgen.

6 Schlussbemerkung

Der heutige Kenntnisstand auf dem Gebiet der Bontontechnologie, gepaart mit den verfügbaren Herstellungs- und Fertigungstechnologien, erlaubt den Bau besonders dauerhafter und hoch tragfähiger Industrieböden aus Beton. Sie sind ohne Alternative und aus der modernen Industriegesellschaft nicht mehr wegzudenken. Es liegt an allen bei der Herstellung von Betonböden Beteiligten, durch die Ausschöpfung des vorhandenen Wissens, das Entstehen von Schäden möglichst zu vermeiden, um damit auch das Ansehen dieser Bauweise positiv weiterzuentwickeln. Trotzdem werden immer wieder auch Schäden auftreten. Für diesen Fall haben Forschung und Praxis fachgerechte Instandsetzungsmaßnahmen verfügbar gemacht.

7 Literatur

- [1] Verein Deutscher Zementwerke e. V. (Hrsg.): Zement-Merkblatt: Industrieböden aus Beton. Düsseldorf, 2006
- [2] Lohmeyer, G., Ebeling, K.: Betonböden im Industriebau. Verlag Bau+Technik, 1999
- [3] Foos, S.: Unbewehrte Betonfahrbahnplatten unter witterungsbedingten Beanspruchungen. Dissertation, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Karlsruhe (TH), 2006
- [4] Lohmeyer, G., Ebeling, K.: Betonböden für Produktions- und Lagerhallen. Verlag Bau+Technik, 2006
- [5] Wiegrink, K.-H.: Planung und Ausschreibung von Betonböden. In: 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung – Industrieböden aus Beton, Müller, H. S., Nolting, U., Haist, M. (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2007
- [6] Steiner, J.: Bewehrte Industrieböden für Hallen und Freiflächen. In: 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung – Industrieböden aus Beton, Müller, H. S., Nolting, U., Haist, M. (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2007
- [7] Hörenbaum, W.: Bemessung unbewehrter Betonböden. In: 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung – Industrieböden aus Beton, Müller, H. S., Nolting, U., Haist, M. (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2007
- [8] Wagner, J.-P., Reichertz, A.: Ausführung – Einbauplanung und Technik, sowie neue Erkenntnisse zur Oberflächenbearbeitung bei LP-Betonen. In:

4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung – Industrieböden aus Beton, Müller, H. S., Nolting, U., Haist, M. (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2007

[9] Wöhl, U.: Betontechnologische Aspekte bei der Ausführung von Bodenplatten aus Beton. In: 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung – Industrieböden aus Beton, Müller, H. S., Nolting, U., Haist, M. (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2007

[10] Krell, J.: Oberfläche und Nachbehandlung von Industrieböden aus Beton. In: 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung – Industrieböden aus Beton, Müller, H. S., Nolting, U., Haist, M. (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2007

[11] Breitenbücher, R.: Potentielle Ursachen von Mängeln in Industrieböden aus Beton und deren Bewertung. In: 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung – Industrieböden aus Beton, Müller, H. S., Nolting, U., Haist, M. (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2007

[12] Flohrer, C.: Instandsetzen von Industrieböden aus Beton. In: 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung – Industrieböden aus Beton, Müller, H. S., Nolting, U., Haist, M. (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe

[13] Cziesielski, E., Schrepfer, T.: Schäden an Industrieböden. IRB Verlag, Stuttgart, 1993

[14] Freimann, T.: Sonderbauweisen – Technik und Gestaltung von Industrieböden aus Beton. In: 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung – Industrieböden aus Beton, Müller, H. S., Nolting, U., Haist, M. (Hrsg.), Universitätsverlag Karlsruhe, 2007

[15] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für den Bau von Tragschichten und Tragdeckschichten mit Walzbeton für Walzbetonflächen. 2000

[16] Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e. V.: Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen. Berlin, 2004

Planung und Ausschreibung von Betonböden

Karl-Heinz Wiegrink

Zusammenfassung

In der Praxis kommt es regelmäßig zu Streitigkeiten über die Beschaffenheit oder sogar grundsätzliche Eignung des erstellten Betonbodens für die gewünschte Nutzung. Die Ursache liegt häufig in einer unzureichenden Festlegung der Anforderungen an den Betonboden zwischen Nutzer, Auftraggeber und Ausführenden. Insbesondere die Eigenschaften der Oberfläche werden nicht ausreichend definiert. Betonböden werden auch häufig nicht nach den anerkannten Regeln der Technik dimensioniert, sondern meist nur konstruktiv geplant. In diesem Beitrag werden die Grundlagen zur ordnungsgemäßen Planung dargestellt.

1 Allgemeines

Unter dem Begriff „Betonböden“ werden im Allgemeinen die Bodenplatten verstanden, die direkt genutzt werden, aber keine Lasten aus dem Bauwerk übernehmen und damit keine tragende oder aussteifende Funktion erfüllen.

Betonböden werden daher häufig nicht nach den anerkannten Regeln der Technik dimensioniert, sondern meist nur konstruktiv geplant. Dies liegt u.a. daran, dass derartige Bodenplatten nicht als Bauteil nach DIN 1045 angesehen werden.

2 Planung

Vergibt der Bauherr einen Auftrag für die Planung eines Bauwerks, so geht er davon aus und hat Anspruch darauf, dass der Planer die nötige Sachkunde besitzt, um seine Vorstellungen umzusetzen.

Die Unkenntnis über die Problematik der Planung von Betonböden führt dazu, dass der Planer nur selten Sonderfachleute einschaltet.

Die Planung eines Betonbodens erscheint so einfach, ist jedoch umfangreicher und diffiziler als andere Betonbauteile, da eine auf der sicheren Seite liegende Normung nicht vorliegt.

Ein Versagen von Betonböden führt i.d.R. nicht unmittelbar zu Standsicherheitsproblemen. Sie fallen i. Allg. nicht unter den Prüfauftrag des Prüfingeniieurs, so dass ein Vier-Augen-Prinzip nicht gewährleistet ist. Nur so lässt sich erklären, dass Betonböden überhaupt konstruktiv bemessen werden. Konstruktiv heißt dabei jedoch nicht willkürlich.

Eine Einschränkung der Nutzbarkeit des Betonbodens oder eine Produktionsunterbrechung kann zu erheblichen Kosten führen, die die Einsparung schnell übersteigt. Zudem sind Sanierungsmaßnahmen

von Betonböden durch die intensive Beanspruchung der Oberfläche i.d.R. aufwendig und teuer.

Planung bedeutet also mehr als das Ziehen von zwei parallelen Strichen. Sie umfasst zunächst die Definition der Funktion und der Nutzungsanforderung. Sie erfordert die Regelung der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit unter der Berücksichtigung des gewünschten Sicherheitsniveaus. Dies beinhaltet:

- Untergrund
- Betonzusammensetzung
- Bauteilabmessung und Bewehrung
- Oberflächeneigenschaften
- Fugen, Anschlussdetails
- Bauablauf, Betonierabschnitte
- Überwachung
- Nachbehandlung
- Inbetriebnahme

Die Planung umfasst ggf. auch die Koordinierung, falls Teilbereiche (Entwurf, Bemessung, Ausführung) durch Sonderfachplaner ausgeführt werden. Sie erfordert die nachvollziehbare Dokumentation und Information der Festlegungen und Entscheidungen.

3 Definition der Funktion und Nutzungsanforderung

Der Soll-Zustand des Betonbodens ist mit dem Bauherrn eindeutig zu klären. Insbesondere Bauherren, die zum ersten Mal bauen, sind auf einen Planer angewiesen, der ihre diffusen und unklaren Wünsche in technische Begriffe umsetzt.

Technische Begriffe sind dem Bauherrn, insbesondere wenn er Laie ist, zu erläutern. Was bedeutet „ölresistent“, „erhöhte Ebenheit“ oder „staubarm“ für seine spezielle Nutzung.

Falls ein Bauherr keine eindeutigen Angaben zur Nutzung machen kann oder eine multifunktionale

Nutzung geplant ist, sind dem Bauherrn die Grenzen der möglichen Planung aufzuzeigen. Dies bedeutet insbesondere auch den Hinweis auf mögliche Schäden, Erscheinungsbilder und Mehrkosten.

Diese Aufklärung ist eine wesentliche Aufgabe. Dabei bedeutet Aufklärung des mündigen Bauherrn auch eine Erläuterung des Für und Wider unterschiedlicher Ausführungsvarianten. Jede mögliche Ausführungsvariante hat ihre Nach- und Vorteile; und sei es nur der Preis.

Daher muss der Planer auf der Basis des vom Bauherrn genannten Sollzustandes ein konkretes Anforderungsprofil in eine sinnvolle Planung umsetzen. Die ungenaue Definition des Soll-Zustandes oder eine unzureichende Aufklärung führt zu Schäden, Mehrkosten durch Nachträge und gerichtlichen Auseinandersetzungen zwischen Bauherrn, Planer und Ausführenden.

Im Schadensfall spielen die während der Planung noch wichtigen Sowieso-Kosten dann häufig keine Rolle mehr.

4 Untergrund

Ein geeigneter Untergrund (Baugrund) und eine ordnungsgemäß hergestellte Tragschicht sind entscheidend für einen dauerhaften Betonboden.

Neben der Tragfähigkeit, ist insbesondere eine hohe Verdichtung erforderlich, um nachträgliche Setzungen und Verformungen, insbesondere im Bereich von Fugen, weitestgehend zu vermeiden.

Der Untergrund sollte nach DIN 18300 [24] hergestellt werden und mindestens einen EV_2 -Wert von 45 N/mm² aufweisen.

Die Tragschicht sollte nach DIN 18315 [25] oder DIN 18316 [26] hergestellt werden. Sie ist gleichmäßig maschinell zu verdichten und sollte einen EV_2 -Wert von mindestens 80 N/mm² (100 N/mm² bei starker Fahrbeanspruchung) aufweisen. Das Material muss die zum Verdichten geeignete Feuchte haben. Falls lange Zeit zwischen Herstellung und Betonage liegen, sind gegen Austrocknung empfindliche Tragschichten (z.B. Sand) zu befeuchten.

Das Material ist entsprechend des Betonageverfahrens zu wählen. Sande und Kiese sind i. Allg. ungeeignet, um mit Betonfahrzeugen befahren zu werden, so dass eine Betonpumpe erforderlich ist. Es bieten sich daher grundsätzlich Schottertragschichten an.

An die profilgerechte Lage sind besondere Anforderungen zu stellen. Die vorgenannten Regelwerke lassen Abweichungen von 3 cm zu. Abweichungen dürfen von der Sollhöhe an keiner Stelle mehr als ± 2 cm betragen. Bei bewehrten Betonböden sollten die Abweichungen an keiner Stelle mehr als +1 / -2 cm und bei fugenarmen Betonböden an keiner Stelle mehr als ± 1 cm betragen.

Die jeweiligen Toleranzen sind vom Statiker bei bewehrten Betonböden in einem geeigneten Vorhaltmaß (5 cm) der Betonüberdeckung zu berücksichtigen. Zudem ist zu beachten, dass die nach DIN 1045 [5] zulässigen Toleranzen der Bauteildicke überschritten werden.

Die Höhenlage des Planums ist durch das ausführende Unternehmen mit einem Nivellement zu überprüfen.

Die Verdichtung muss über statische Lastplattendruckversuche [27] nachgewiesen werden. Das Befahren mit LKW und die Bestimmung der Tiefe der Fahrspur sind ungeeignet zur Ermittlung der Verdichtung. Es ist jedoch geeignet, um sinnvolle Prüfstellen für den Lastplattendruckversuch zu finden.

5 Trennlagen

Trennlagen sollen eine Trennung des Betonbodens vom Planum sicherstellen und somit den Verlust von Feinmörtel auf der Unterseite und eine „Verzahnung“ mit dem Planum vermeiden, um die Reibung gering zu halten.

Für Trennlagen sind Geotextilien, Vliese mit einem Flächengewicht von 100 g/m² oder PE-Folien mit einer Dicke von 0,2 mm geeignet. Bei bewehrten Betonböden ist eine Dicke von 0,1 mm ausreichend.

Zur Verringerung der Reibung bei großen Fugenabständen sollte insbesondere das Planum eben und nicht rau sein. Die Verwendung von 2 PE-Folien mit einer Dicke von 0,2 mm ist zur Verringerung der Reibung geeignet. Hierdurch entstehen jedoch zwangsläufig Falten, die die Dicke der Bodenplatte schwächen. Daher bietet sich eher 1 PE-Folie mit einer Dicke von 0,5 mm an.

Folien verhindern die Austrocknung auf der Unterseite, wodurch dünne Betonböden verstärkt aufschüsseln.

Für übliche Nutzungen verringern PE-Folien in Kombination mit einem dichten und ausreichend dicken Betonboden sowie einer kapillarbrechenden Tragschicht den Feuchtetransport aus dem Untergrund.

Die vorgenannten Trennlagen sind jedoch nicht geeignet als Abdichtung nach DIN 18195 [28]. Sofern diese erforderlich ist, sind spezielle Abdichtungen zu verwenden und mit Schutzestrich oder -matten beim Betonieren zu schützen.

6 Anforderung

Nachfolgend werden die wesentlichen Anforderungen/Beanspruchungen von Betonböden zusammengestellt.

6.1 Äußere Lasten

Die Beanspruchung von Betonböden erfolgt durch flächig oder punktförmig wirkende Lasten aus Gü-

tern, Regalen oder Radlasten. Ein großer Teil dieser Lasten wirkt punktförmig. Während die punktförmigen Belastungen bei Decken im Verhältnis zu den Flächenlasten vernachlässigt werden können ist es bei Betonböden eine entscheidende Beanspruchung.

Die genaue Kenntnis der Lasten ist entscheidend für eine ausreichend sichere und gleichzeitig wirtschaftliche Lösung.

Angaben wie „5 to/m²“ oder „Gabelstaplernutzung“ sind absolut unzureichend. Mindestangaben sind daher:

- Blocklasten
- mittlere Flächenlasten
- Punklasten (statisch)
- Radlasten (dynamisch)
- Überlagerungen, Fugenabstände, Aufstandsflächen

Empfehlenswert ist die Angabe dieser Lasten als Nutzungsschild im Einfahrtsbereich um Überbelastungen, insbesondere bei „dünnen“ Bodenplatten, zu vermeiden.

Ausführungen zur Bemessung bewehrter und unbewehrter Betonböden sind in den weiteren Aufsätzen enthalten und werden daher hier nicht weiter ausgeführt.

6.2 Innere Beanspruchung

6.2.1 Schwinden

Betonböden in geschlossenen Hallen trocknen i.d.R. einseitig nach oben aus. Durch diese ungleichmäßige Austrocknung werden in den ersten Wochen auch bei ausreichender Nachbehandlung Eigenstressungen an der Oberseite erzeugt, die zu krakenleartigen Rissen führen, s. Abb. 1.

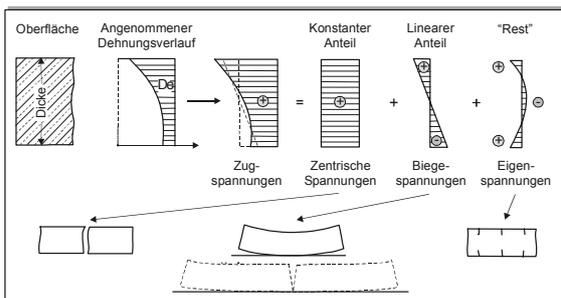


Abb. 1: Unterteilung der Spannungen bei der Austrocknung eines Betons von oben und vollständiger Behinderung der Verformung, nach [22]

Bei weiterer Austrocknung schüsselt der Betonboden auf, s. Abb. 1, wodurch erhebliche Biegezugspannungen entstehen, s. Abb. 2, die bereits ohne äußere Lasten zu V-förmigen Rissen führen können.

Die zunehmende Austrocknung führt zudem zu einer Verkürzung des Betonbodens wodurch zentrische Zwangsspannungen infolge der Reibung zum

Untergrund entstehen. Eine vollständige Behinderung, z. Bsp. durch Einbindung in Fundamente, muss zwangsläufig zu Rissen führen.

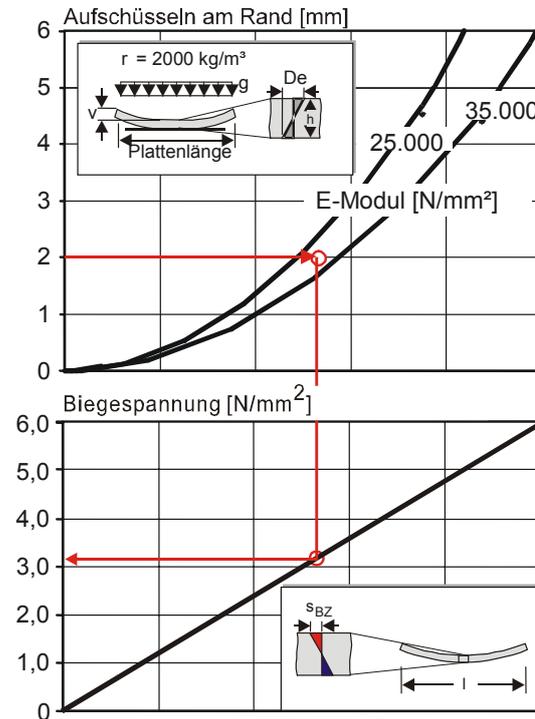


Abb. 2: Biegespannungen in einem Betonboden in Abhängigkeit vom Aufschüsseln [23]

6.2.2 Temperatur

Betonböden erfahren im jungen Alter während der Erhärtung durch die abfließende Hydrationswärme eine Temperaturbeanspruchung. In geschlossenen Hallen ist die Abkühlung in der ersten Nacht im Vergleich zu Außenflächen vergleichsweise moderat. Zudem wird kein negativer Temperaturgradient als Nullspannungstemperatur eingepreßt.

In der späteren Nutzung wird die Temperatur in üblichen beheizten Produktionshallen relativ konstant bleiben. Bei Produktionsunterbrechungen ergeben sich jedoch gewisse Temperaturschwankungen. Im Tor- und Anlieferungsbereich werden immer große Temperaturschwankungen auftreten, da die Außentemperatur in die Halle eindringt. An nach Süden orientierten Glasfassaden kann eine erhebliche Erwärmung stattfinden. Unbeheizte oder nur frostgeschützte Umschlag- und Lagerhallen erfahren erhebliche Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter.

Diese Temperaturbeanspruchung ist abzuschätzen und bei der Konstruktion des Betonbodens sowohl bei der statischen Berechnung als auch bei der Wahl der Fugen zu berücksichtigen.

6.3 Nachweis zur Vermeidung von Rissen

Für den Nachweis zur Vermeidung von Rissen können bei unbewehrten Betonböden die zulässigen

Dehnungen oder die zulässigen Biegezugspannungen bei einer Bemessung im Zustand I (ungerissen) begrenzt werden.

Dabei können unterschiedliche Sicherheitsniveaus angestrebt werden, s. Tab. 1. Eine sehr hohe Sicherheit führt bei üblichen Nutzungen zu einer unwirtschaftlicheren Bauweise. Die Dicke der Bodenplatte nimmt z.B. je Gruppe um rd. 15 % zu. Der Planer muss dem Bauherrn dies vor der Ausführung vor Augen führen, dann wird später vor dem Hintergrund der Kostenersparnis ein „ungewollter“ Riss eher akzeptiert.

Tab. 1: Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte für Beton für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit [14]

Gruppe	Wirtschaftliche Bedeutung, Anforderung an Rissbildung	Teilsicherheitsbeiwert Beton
A	Normale B., keine A.	1,00
B	Erhöhte B., übliche A.	1,33
C	Hohe B., erhöhte A.	1,67
S	Baurechtlich relevante A.	1,80

Bei der Bemessung von bewehrten Betonböden (Stahldrahtfasern oder Stahlbewehrung) erfolgt die Bemessung im Zustand II, d.h. mit planmäßigen Rissen, deren mittlere rechnerische Rissbreite begrenzt werden kann. Da die Rissbreiten statistisch stark variieren, stellen vereinzelte, gegenüber der rechnerischen Rissbreite, breitere Risse keinen Mangel dar. Auch hier kann die Wahrscheinlichkeit durch eine sicherere (unwirtschaftlichere) Bemessung reduziert werden.

Feine Oberflächenrisse mit geringer Tiefe, sog. Krakeleerisse lassen sich bei Betonböden nur durch besondere Maßnahmen zielsicher vermeiden und stellen daher auch bei der Bemessung im Zustand I (ungerissen) keinen Mangel dar.

6.4 Oberflächenbeanspruchung

6.4.1 Mechanische Beanspruchung

Die Oberflächen von Betonböden werden i.d.R. durch die Nutzung mechanisch stark beansprucht. Die überwiegenden Einwirkungsarten sind:

- Rollverschleiß (Fahrzeuge mit harter Bereifung)
- Schleifverschleiß (Fußgänger, Schleifen von Gütern, Beschleunigen und Kurven von Fahrzeugen)
- Stoßverschleiß (Absetzen von Gütern, Überfahren von Fugen mit harter Bereifung).

In der Praxis findet i.d.R. eine Kombination aller Arten statt. Während harte, spröde Stoffe den Roll- und Schleifverschleiß verbessern, bieten zähe Stoffe einen besseren Stoßverschleiß.

Die Ausführungen zu den Expositionsklassen XM nach DIN 1045-1 [5] sind vollkommen unzureichend und für die Praxis untauglich, da ein Prüfkriterium fehlt. In Anlehnung an Lohmeyer [21] können die in Tab. 2 genannten Verschleißwerte erwartet werden. Werte für die Bestätigungsprüfung sind gesondert zu vereinbaren (i. Allg. MW +20 %, EW + 30 %).

Tab. 2: Beispiele für Verschleißwerte von Beton nach DIN 52108 [21]

Beton	w/z	Zuschlag	Schleifverschleiß [cm ³ /50 cm ²]
C20/25	0,53	Kiessand AB32	≤ 15
C30/37	0,47	Kiessand AB32	≤ 12
C30/37	0,42	Sand + Edelsplitt	≤ 9
C35/45	0,38	Brechsand + Edelsplitt	≤ 6

Tab. 3: Beispiele für Verschleißwerte von zementgebundenen Industrieestrichen (Hartstoffschichten) nach DIN 18560-7:04 [6]

Festigkeitsklasse	Zuschlag	Schleifverschleiß [cm ³ /50 cm ²]
F9 A	Naturstein ¹⁾	≤ 6
F11 M	Metall	≤ 3
F9 KS	Elektrokorund, Siliziumcarbid	≤ 1,5

¹⁾ Naturstein und oder Gemisch von A, M und KS

Bei mineralisch gebundenen Industrieestrichen (Hartstoffschichten) nach DIN 18560-7:04 [6] sind hingegen eindeutige Prüfkriterien, s. Tab. 3 vorhanden. Oberflächen von Betonböden sollten daher mit diesen versehen werden oder Prüfkriterien in Anlehnung an DIN 18560-7:04 [6] vereinbart werden, z.B. Schleifverschleiß „A6“.

Einstreuungen können den Schleifverschleiß verbessern. In stark beanspruchten Bereichen sind die Widerstände aufgrund der geringen Schichtdicken jedoch nur begrenzt dauerhaft. Die Einstreumengen sind in kg/m² anzugeben. Bei Handeinstreuungen sind keine gleichmäßigen Schichtdicken zu erreichen. Die Einstreuung sollte auf den angesteiften Beton daher mit Einstreuwagen erfolgen. Einstreumengen von rd. 2 kg/m² sind üblich. Mit speziellen Einstreumaschinen (Spreader), die in den frischen Beton einstreuen, können Mengen von rd. 5 kg/m² erzielt werden. Der verwendete Beton darf dabei nicht übermäßig bluten, da das Blutwasser nicht entfernt werden kann, ohne die Einstreuung zu zerstören.

Der Schleifverschleiß bedarf einer vollständigen Ausglättung, die die oberflächennahe Zone extrem verdichtet und somit die Festigkeit erhöht. Bei anderen Oberflächenbearbeitungen (Scheuern, Besenstrich) erhöht sich daher der Schleifverschleiß.

Die Verschleißprüfung erfolgt in Deutschland i.d.R. mit dem Verfahren nach Böhme [1]. Hierbei wird nur die schleifende Beanspruchung geprüft. Im Allg. ist diese auch bei Flurförderzeugen ausreichend [4]. Falls andere Prüfverfahren, z.B. [2], [3] vereinbart werden, mit denen in Deutschland nur geringe Erfahrungen vorliegen, ist auf eine Gleichwertigkeit zu achten.

6.4.2 Frost- und Frost-Tausalz-Beanspruchung

Betonböden im Freien werden durch Frost-Tau-Wechsel beansprucht. Die üblicherweise verwendeten Betonrezepturen sind bei ausreichender Entwässerung auch aufgrund der Oberflächenbearbeitung so dicht und fest, dass ein ausreichender Frost-Widerstand vorhanden ist.

Bei einer gleichzeitigen Belastung mit Tausalzen verstärkt sich die Beanspruchung erheblich. Ein ausreichender Frost-Tausalz-Widerstand kann nur durch die Verwendung geeigneter Luftporenmittel erreicht werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die i.d.R. gewünschte Oberflächenbearbeitung mittels Flügglättern, den Beton intensiv verdichtet, wodurch der Widerstand des Betons zwar ansteigt, gleichzeitig aber auch die Luftporen im oberflächennahen Bereich zerstört werden können, was zur Schädigung führt. Auf Glätten und feinen Besenstrich (bedingt Vorglätten) sollte daher bei der Verwendung von LP-Beton verzichtet werden.

Bei gleichzeitiger Anwendung von LP-Beton mit Einstreuungen und Hartstoffschichten ergeben sich auch ohne Frostbeanspruchung zwangsläufig Ablösungen in einer Tiefe bis zu mehreren Millimetern, s. Abb. 3. Die Vorgaben in DIN 1045-1 zu den Expositionsclassen XM, entsprechen daher nicht dem Stand der Technik.

Dies ist insbesondere bei der Ausführung in Tiefgaragen und Fahrzeughallen zu beachten. Von Planern wird Frost-Tausalz-beständiger Beton (LP-Beton) dann häufig wegen des Eintrags von Chloriden ausgeschrieben, obwohl keine Frost-Beanspruchung zu erwarten ist.

Wenn ein hoher Verschleißwiderstand gefordert ist, so ist daher statt Einstreuungen oder Hartstoffschichten eine geeignete Betonrezeptur mit Edelsplitten (PSV-Wert ≥ 53) [7] zu verwenden und die Oberflächenbearbeitung auf ein Minimum zu begrenzen (grober Besenstrich, Jutetextur).

Schädlich für die Frost- und Frost-Tausalz-Beanspruchung ist eine hohe Wassersättigung. Die Austrocknung der Betonoberfläche muss durch eine gute Entwässerung gewährleistet und kann durch eine Hydrophobierung verbessert werden.

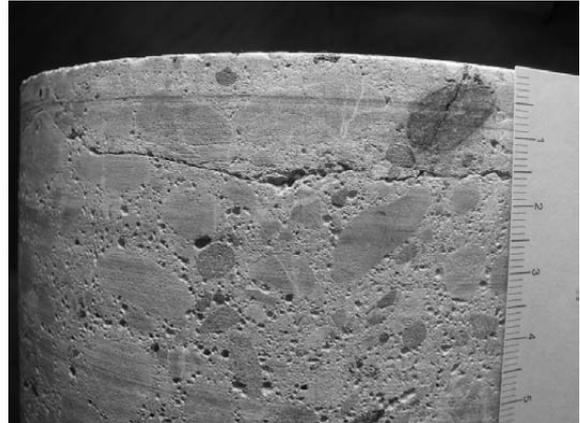


Abb. 3: Ablösungen bei einem geglätteten Beton mit Luftporen (PCE) und Einstreuungen.

6.5 Chemische Beanspruchung

Die in DIN 1045-1 vorgesehene Einteilung in die Expositionsclassen XA für chemische Betonkorrosion ist für die Oberfläche von Betonböden ungeeignet, da hier der Angriff durch im Grundwasser gelöste Stoffe geregelt ist. Zudem wird ein Abtrag der Oberfläche (Opferschicht) über die Lebensdauer akzeptiert.

In Industriebetrieben können zusammengesetzte Flüssigkeiten die Bodenoberfläche chemisch angreifen. Der chemische Angriff und die Folgen sind im Einzelfall abzuklären. Insbesondere Menge und Dauer der Beaufschlagung sind zu beachten.

Vor allem Sulfate (Sprengdruck) und Säuren (auflösend) greifen den Zementstein an.

Bei Sulfatangriff ist Zement mit hohem Sulfatwiderstand (HS) zu verwenden.

Anorganische Säuren bewirken einen starken Angriff. Organische Säuren oder säurebildende organische Stoffe (Konservenindustrie, Fruchtverarbeitende Industrie) wirken zwar nur schwach angreifend, fallen jedoch häufig in großen, abfließenden Mengen an und werden durch intensive Reinigung verstärkt, so dass erhebliche Abtragsraten (mehrere mm/Jahr) erreicht werden können, s. Abb. 4.

Natürliche Öle und Fette haben ein schwaches Angriffsvermögen. Regelmäßige Reinigung ist jedoch erforderlich, um eine biologische Zersetzung zu vermeiden, durch die Betonangreifende Stoffe entstehen können. Mineralöle und -fette greifen den Beton nicht an. Alkalische Stoffe (Reinigungsmittel) greifen den Beton nicht an.

Bei mäßigem Angriff ist im Allgemeinen Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit W/Z-Werten $\leq 0,50$ ausreichend. Auf eine besondere Verdichtung (Glätten, vakuumieren, Industrieestriche) und Nachbehandlung der Oberfläche ist zu achten.

Angriffsgrade verschiedenster Stoffe können z.B. [8] entnommen werden.

Beim Umgang mit stark angreifenden Stoffen ist i.d.R. zum Schutz des Grundwassers eine dichte Bodenplatte nach den Grundsätzen des Wasserhaushaltsgesetzes erforderlich.



Abb. 4: Beispiel für Betonkorrosion in einem lebensmittelverarbeitenden Betrieb nach 3 a Nutzung.

6.6 Weitere Anforderungen

6.6.1 Ebenheit

Die üblichen Ebenheitsanforderungen sind in DIN 18202:05 [9] Tabelle 3 geregelt. Für die meisten Industrieböden sind die allgemeinen Ebenheiten nach Zeile 3 oder die um 1 mm verbesserten Ebenheiten nach Zeile 4 ausreichend.

Nach DIN 18202:05 sind zeitabhängige Verformungen nicht im Verantwortungsbereich der ausführenden Firmen, sondern durch den Planer zu beachten. Aufschüsselungen an Plattenrändern können bei dünneren Betonböden bis zu mehreren Millimeter betragen und Funktion und Dauerhaftigkeit beeinträchtigen.

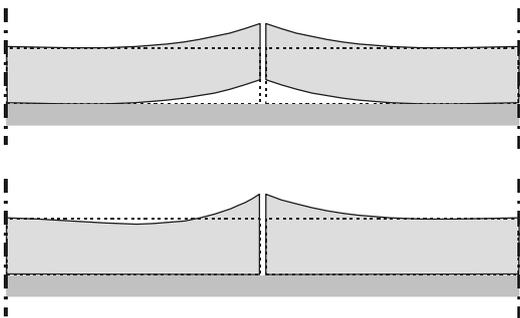


Abb. 5: Beispiel für Aufschüsselung (oben) und Knick (unten) am Übergang von Plattenrändern. Keine Regelung nach DIN 18202:05

Zu beachten ist, dass DIN 18202:05 die zulässigen Toleranzen nur bei stetigen Übergängen regelt. Unstetigkeitsstellen wie z.B. Arbeitsfugen oder eingebaute Schienensysteme fallen nicht in den Geltungsbereich der DIN 18202:05, s. Abb. 5.

Im Bereich von Hochregalen sind Ebenheiten nach DIN 15185-1:91 [10] erforderlich, die weit über die Anforderungen der DIN 18202:05 hinausgehen. Neben einer Anforderung in Fahrtrichtung, die den halben Werten der Zeile 3 entspricht, ist zusätzlich verschärfend der Höhenunterschied zwischen den Fahrspuren je nach Regalhöhe und Gangbreite begrenzt.

6.6.2 Wärmeschutzanforderung

An Industrieböden werden aus Gründen des Wärmeschutzes, der Energieeinsparung und zum Schutz der Arbeitnehmer Anforderungen an eine Wärmedämmung gestellt.

Um zum Beispiel die bei bestimmten Randbedingungen (Hallentemperatur > 19°C, vorwiegend sitzende Tätigkeit) geforderte Mindestoberflächentemperatur von 18 °C zu gewährleisten ist eine Wärmedämmung i.d.R. erforderlich.

Bei stehenden oder sitzenden Tätigkeiten wird diese Oberflächentemperatur häufig noch als unangenehm empfunden, da der Betonboden aufgrund seiner guten Wärmeleiteigenschaft „fußkalt“ erscheint.

Es bietet sich daher an, den Komfort derartiger Oberflächen durch einen fußwarmen Belag oder Fußbodenheizung zu verbessern. Dies können z.B. im Kassenbereich Gummiauflagen oder im Schwerlastbereich Magnesia-Estriche sein.

Als Wärmedämmschichten eignen sich Dämmplatten aus XPS oder Schaumglas, Schüttungen aus Schaumglas-Schotter oder Porenleichtbetone mit Schaumbildner oder Polystyrolkugeln.

Unter großen Gebäuden bildet sich bei ausreichend niedrigen Grundwasserständen eine Wärmelinse aus, durch die in Gebäudemitte ein hinreichender Wärmeschutz erreicht werden kann. Im Randbereich bildet sich eine „Kältebrücke“ aus. Der Rand muss daher gedämmt werden. Hierfür reichen üblicherweise horizontale Randstreifen mit einer Breite von rd. 2 m aus oder eine vertikal angeordnet Wärmedämmung bis rd. 1 m Tiefe im Bereich der Frostschürzen.

Durch die Verwendung von Wärmedämmstoffen erhöhen sich die Biegezugspannungen infolge Punktlasten geringfügig. Die Verformung nimmt jedoch überproportional zu, so dass besondere Maßnahmen (Bewehrung, Verdübelung) erforderlich sind.

6.7 Anforderungen an Sicherheit

6.7.1 Rutschhemmung

In der Arbeitsstättenverordnung und den Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften werden rutschhemmende Fußböden gefordert [11]. Mit zunehmender Rauigkeit verbessert sich zwar die Rutschhemmung, gleichzeitig werden bei Betonböden die Verschmutzungsneigung und Reinigungs-

fähigkeit und somit auch die Hygiene verschlechtert. Diese Anforderung steht im Widerspruch zum Wunsch des Nutzers, der i. Allg. eher eine dichte, glatte und somit leicht zu reinigende Oberfläche anstrebt.

Durch Begehungsversuchen auf einer schiefen Ebene werden die Fußböden gemäß DIN 51130 [12] in fünf Bewertungsgruppen R9 bis R13 eingeteilt. Mit zunehmender Zahl erhöht sich die Rutschhemmung.

Bewertung Rutschwerte	Neigungswinkel Haftreibungswert
R13	> 35° sehr groß
R12	> 27° ... ≤ 35° groß
R11	> 19° ... ≤ 27° erhöht
R10	> 10° ... ≤ 19° normal
R9	≥ 6° ... ≤ 10° gering

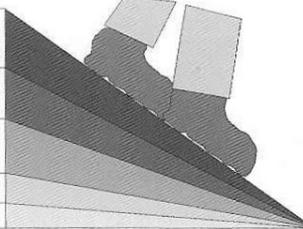


Abb. 6: Prüfverfahren der schiefen Ebene mit Zuordnung der Bewertungsgruppen [12]

Bei Betonböden kann die Rutschhemmung vor Ort durch die Oberflächenbearbeitung variiert werden, s. Tab. 4. Der Planer muss sich aber bewusst sein, dass höhere R-Gruppen und Verdrängungswerte nicht an allen Stellen zielsicher eingehalten werden können, wie dies z.B. bei industriell gefertigten Oberflächen wie Fliesen möglich ist. Ggfs. sind industriell hergestellte Beläge oder Beschichtungen mit Quarzsandeinstreuungen zu planen.

Tab. 4: Erfahrungswerte für Rutschhemmung von Betonböden

Oberflächenbearbeitung	R-Gruppe
Glätten mit Flügelglätter	R9
Glätten von Hand	R9, R10
Scheuern maschinell	R12
Besenstrich, fein	R11, R12
Besenstrich, grob	R13

Die Rutschhemmung kann insbesondere bei geglätteten Oberflächen durch Nachbehandlungsmittel oder eine übermäßige Pflege so verschlechtert werden, dass bereits bei geringer Nässe oder sogar im trockenen Zustand R9 (Mindestanforderung) nicht mehr erreicht wird.

Die Prüfung einer vorhandenen Betonoberfläche ist vor Ort nach dem Begehungsverfahren nicht möglich, da dieses nur im Labor durchgeführt werden kann.

Mit Gleitreibungsmessgeräten kann der dynamische Gleitreibungskoeffizient geglätteter Betonböden vor Ort ermittelt werden. In Anlehnung an den Normentwurf [13] kann mit Hilfe der Wuppertaler Sicherheitsgrenzwerte die Rutschhemmung abgeschätzt

werden. Mit Hilfe dieses Verfahrens kann auch in der Nutzung die Rutschhemmung glatter Böden überwacht werden um rechtzeitig eine Grundreinigung durchzuführen.

Tab. 5: Erfahrungswerte für Rutschhemmung von glatten Betonböden

Bewertung	Gleitreibungskoeffizient				
	< 0,21	0,21 - 0,29	0,30 - 0,42	0,43 - 0,63	> 0,64
Sehr unsicher					
unsicher					
Bedingt sicher					
sicher					
Sehr sicher					

6.7.2 Elektrische Leitfähigkeit

Durch Reibung an Materialien und Luft entsteht eine elektrische Aufladung.

Bei der Entladung kann es zur Funkenbildung kommen, die z.B. eine Gefahr darstellt für explosionsgefährdende Stoffe, oder zu einem „elektrischen Schlag“, der elektronische Bauteile (z.B. Steuerungen von Gabelstaplern) beschädigen kann.

Die Entladung wird durch den elektrischen Widerstand des Bodens wesentlich beeinflusst. Bei Betonböden ist der spezifische Widerstand stark von der relativen Luftfeuchte (Trocknungsgrad) abhängig, s. Tab. 6.

Tab. 6: Erfahrungswerte des spezifischen Ableitwiderstandes von Beton [21]

Relative Luftfeuchte	Spezifische Widerstand [10 ⁶ Ω/cm]
30 %	~ 0,6
60 %	~ 0,1
80 %	~ 0,05

Der Widerstand von Betonböden ist für übliche Nutzungen ausreichend gering. Für Sondernutzungen wie „explosionsgefährdete Räume“, elektrostatisch leitfähige Böden (ESD, EFC), ableitfähige Böden (DIF) sind besondere ableitfähige Beschichtungen zu verwenden.

6.7.3 Flüssigkeitsdichtheit

Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Flüssigkeiten (Produktionshallen, Lagerflächen, Tankstellen u.a.) unterliegen einer Vielzahl von gesetzlichen Regelungen [14] - [19]. Neben dem Baurecht, sind dies z.B. Wasserhaushaltsgesetz, Immissionsschutzgesetz, Gewerbeamt, Chemikalienrecht und Abfallrecht.

Die Regelungen sind Ländersache und umgesetzt in der VAWS [14]. Verlangt werden u.a. Dichtigkeit und Beständigkeit gegenüber den wassergefährdenden Stoffen über den geplanten Beaufschlagungszeitraum. Die Arbeiten dürfen nur von zugelassenen Firmen ausgeführt werden.

Nach der Bauregelliste A Teil 1 (15.32) gelten Dichtkonstruktionen aus Beton als geregeltes Bauprodukt, wenn sie nach der DAfStb-Richtlinie [15] hergestellt worden sind.

Wirtschaftliche Konstruktionen können häufig auch durch übliche Betonböden mit einer unterhalb angeordneten Folienabdichtung erzielt werden.

7 Betonzusammensetzung

Die Anforderungen an den Beton ergeben sich aus den Beanspruchungen des Betonbodens. Die Expositionsklassen nach DIN 1045-1 [5] sind zu beachten. Die Ausführungen der DIN 1045-1 hinsichtlich der Expositionsklassen XM und XF (s. auch Abschnitt 6.4.2) entsprechen nach Auffassung des Unterzeichners nur bedingt dem Stand der Technik.

7.1 Zuschlag

Die Gesteinskörnung für Betonböden muss den Anforderungen der DIN EN 12620 und DIN V 20000-103 genügen. Dies ist bei Beton nach DIN EN 206 (DIN 1045-2) der Fall.

Bei Betonböden sind zusätzliche Anforderungen an die Begrenzung der schädlichen Anteile zu stellen, die weit über die Anforderungen nach DIN 1045:00 hinausgehen.

Zuschläge sollten frei von organischen Verunreinigungen (Holz, Kohle, etc.) sein, da diese aufschwimmen und sich an der Oberfläche anreichern. Dies gilt insbesondere für die Kornfraktion > 4 mm.

Bei alkaliempfindlichen Zuschlägen sind besondere NA-Zemente erforderlich [20].

Als Kornzusammensetzung hat sich eine stetige Sieblinie im mittleren (günstigen) Bereich zwischen den Sieblinien A und B bewährt. Der Sandanteil 0/2 sollte aufgrund des erhöhten Wasseranspruchs auf 30 M.-% begrenzt werden. Um die Schwankungen der Verarbeitbarkeit und des Blutens zu vermeiden sollte der Mehlkornanteil auf 4 M.-% begrenzt werden.

7.2 Zemente

Grundsätzlich sind die nach DIN 1045-2 in Abhängigkeit der Expositionsklassen genannten Zemente verwendbar.

In der Praxis haben sich Portlandzemente CEM I in der Festigkeitsklasse 32,5 R bewährt. Bei niedrigen Temperaturen ist ein 42,5 R aufgrund der stärkeren Wärmeentwicklung vorteilhaft.

Kompositzemente CEM II und CEM III erreichen gleichwertige Festigkeiten wie Portlandzemente. Die

Festigkeits- und Wärmeentwicklung kann deutlich geringer sein. Dies ist bei warmer Witterung ein Vorteil, da es die Verarbeitung verlängert und die Hydrationswärme verringert. Die Nachbehandlungsdauer muss jedoch entsprechend verlängert werden.

Bei Portlandzementen kann grundsätzlich eine Eignung für geglättete Betonböden vorausgesetzt werden, bei Kompositzementen sollte diese vom Betonwerk bestätigt werden.

7.3 Zusatzmittel und Zusatzstoffe

Vor der Anwendung von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen sind stets Eignungsprüfungen durchzuführen. Bei ausreichender Erfahrung des Betonwerks hinsichtlich der Festigkeitsentwicklung können bereits Frischbetonprüfungen die wesentlichen Informationen liefern und daher auch noch kurz vor Ausführung durchgeführt werden.

Luftporenbildner sind zur Erhöhung des Frost-Tausalz-Widerstandes zwingend bei Freiflächen erforderlich. Der LP-Gehalt ist beim Einbau zu überwachen. Zu geringe LP-Gehalte führen zu unzureichendem Frost-Tausalz-Widerstand, zu hohe LP-Gehalte verringern die Festigkeit und erhöhen das Risiko von Ablösungen. Bei Betonböden, die an Freiflächen angrenzen (Toreinfahrten) oder nur durch Chloride aber nicht durch Frost (beheizte Parkflächen) beansprucht werden, sollte kein LP-Beton verwendet werden, da hier die Gefahr von Ablösungen beim Glätten größer ist, als die Gefahr von Frostschäden.

Betonverflüssiger (BV) verbessern die Verarbeitbarkeit und verringern den Wasseranspruch. Aufgrund ihrer langen Wirkdauer können sie bereits im Betonwerk zudosiert werden.

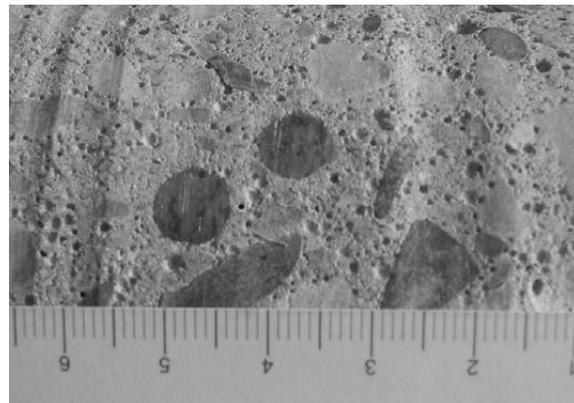


Abb. 7: Unerwünschte Luftporenbildung bei Verwendung von Fließmitteln (PCE).

Fließmittel (FM) wirken wie Betonverflüssiger. Da die Wirksamkeit zeitlich begrenzt sein kann, werden sie vor Ort im Fahrmischer zudosiert.

Hinweis: Neue hochwirksame Fließmittel auf der Basis von Polycarboxylatether (PCE) weisen eine stark verflüssigende und lange Wirkdauer auf. Sie bergen jedoch die Gefahr ungewünschter Luftporenbildung, die sich mit üblichen Verdichtungsverfahren

nicht austreiben lassen und zu Ablösungen beim Glätten führen können.

Bei der Verwendung von PCE ist daher der LP-Gehalt direkt oder über die Frischbetonrohichte beim Einbau stetig zu überwachen. Zudem ist die verflüssigende Wirkung von PCE's stark temperaturabhängig. Die Eignungsprüfung muss daher den tatsächlichen Temperaturbereich beim Betoneinbau abdecken.

Flugaschen haben sich als Zusatzstoff bewährt. Aufgrund ihrer kugelförmigen Form können sie fehlende Mehlkorngelände ersetzen und damit die Gefahr des Blutens reduzieren und die Verarbeitbarkeit verbessern. Wenn Flugaschen als Zementersatz eingesetzt werden, ist die Nachbehandlungsdauer mindestens um den Faktor 2 zu verlängern, um eine ausreichende Oberflächenfestigkeit zu erzielen.

Silikastaub hat sich als Zusatzstoff bei geglätteten Betonböden nicht bewährt, da die Klebrigkeit erhöht wird.

Fasern gelten als Zusatzstoff. Sie können dem Beton zur Verbesserung der Festbetoneigenschaften zugegeben werden. Kunststofffasern verbessern die Rissgefahr im jungen Beton erhöhen aber nicht die Tragfähigkeit. Stahlfasern erhöhen die Tragfähigkeit und verringern die Verarbeitbarkeit des Frischbetons. Stahlfaserbeton kann in der Konsistenzklasse F3 nicht zielsicher eingebaut werden. Ein unterer Grenzwert von 46 cm ist i. Allg. erforderlich.

Fasern verteilen sich homogen im Beton, sie erscheinen damit zwangsläufig auch an der Betonoberfläche. Um aus ästhetischen Gründen sichtbare Stahlfasern (liegende, herausstehende) an der Oberfläche zu vermeiden oder ein Verletzungsrisiko auszuschließen, sind Deckschichten (Hartstoffschichten, Beschichtungen, Industrieestriche) erforderlich. Mit Einstreuungen kann die sichtbare Anzahl zwar reduziert, aber nicht vollständig vermieden werden. Fasern an der Oberfläche und Ausbrüche im Bereich von Fasern und durch Fasern im Bereich von Fugen stellen daher keinen Mangel, sondern lediglich eine technisch unerwünschte Nebenwirkung dar. Die Dauerhaftigkeit wird kaum beeinträchtigt und kann „einfach“ durch Aufbohren und verharzen beseitigt werden.

7.4 Betonzusammensetzung

Im Allgemeinen wird Transportbeton verwendet. Die Bestellung nur nach Expositionsklassen (Beton nach Eigenschaften) ist nur bedingt zielführend.

Neben den Expositionsklassen sollten daher die in Tab. 7 genannten Grenzwerte eingehalten werden. Aus dem Betonsortenverzeichnis kann dann eine entsprechende Betonrezeptur ausgewählt werden. Eine Eignungsprüfung ist stets durch das Betonwerk durchzuführen. Bei ausreichender Erfahrung des Betonwerks hinsichtlich der Festigkeitsentwick-

lung können bereits Frischbetonprüfungen die wesentlichen Informationen liefern und daher auch noch kurz vor Ausführung durchgeführt werden.

Eine Überwachung des Betons auf der Baustelle ist zu empfehlen.

Tab. 7: Empfohlene Betonzusammensetzung für Industrieböden

Zement	CEM I (CEM II) 320 kg/m ³ , ≤ 350 kg/m ³
Wasser	≤ 165 kg/m ³
w/z-Wert	≤ 0,55 (0,50)
Mehlkorngehalt	≤ 360 kg/m ³
Feinstsandgehalt	≤ 430 kg/m ³
Zuschlag 0/2	≤ 30 M.-%
Organische Verunreinigung	< 4 mm ≤ 0,25 % > 4 mm 0 % (≤ 0,02 %)
LP-Gehalt	4,5 - 6,0 Vol.-%
Konsistenz	48 ± 2 cm
Frischbetontemperatur	10 – 25 °C

7.4.1 Frischbeton

Der Frischbeton muss sich mit den einzusetzenden Geräten für die jeweilige Bauaufgabe gut verarbeiten lassen. Die Konsistenzklassen nach DIN 1045 sind für Betonböden nur bedingt geeignet. Beim maschinellen Einbau kann Beton der Konsistenzklassen F2 und F3 verarbeitet werden.

Die untere Grenze von F3 (42 cm) ist für den händischen Einbau, insbesondere bei Stahlfaserbeton zu steif, um ausreichende Ebenheiten zu erzielen. Stattdessen sollte ein Zielmaß von 48 ± 2 cm bei Normalbeton vereinbart werden. Bei Stahlfaserbeton mit mehr als 30 kg/m³ sollte das Zielmaß auf 50 ± 2 cm erhöht und ein Größtkorn von 16 mm verwendet werden.

Sehr weiche Konsistenzen (F4, F5) können z.B. bei dichter Bewehrung sinnvoll sein. Sie führen nur bei ungeeigneter Betonzusammensetzung zu Entmischungen und Schläμβbildungen an der Betonoberfläche. Bluterscheinungen sollten grundsätzlich vermieden werden, um die Oberflächenfestigkeit nicht zu verringern. Erhebliches Blutwasser muss abgeflächelt werden und darf nicht eingerieben werden.

Die Frischbetontemperatur sollte über 10°C betragen und 25°C nicht übersteigen. Hierdurch kann die Zeit für die erforderliche Oberflächenbearbeitung begrenzt werden und zu schnelles Erhärten vermieden werden.

8 Literatur

8.1 Literaturhinweise

- [1] DIN EN 13892-3:04 Prüfverfahren für Estrichmörtel- und Estrichmassen – Teil 3: Bestimmung des Verschleißwiderstandes nach Böhme
- [2] DIN EN 13892-4:03 Prüfverfahren für Estrichmörtel- und Estrichmassen – Teil 4: Bestimmung des Schleifverschleißes nach BCA
- [3] DIN EN 13892-5:03 Prüfverfahren für Estrichmörtel- und Estrichmassen – Teil 5: Bestimmung des Widerstandes gegen Rollbeanspruchung von Estrichen mit Bodenbelägen
- [4] Manns, W.; Zeuß, K.; Knödler, F.: Zur Widerstandsfähigkeit von Estrichen bei Beanspruchung durch Flurförderfahrzeuge. Zentralblatt für Industriebau, Sonderbeilage industrie-boden-technik 32 1986, H. 4, S.2-13
- [5] DIN 1045:00: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Teil 3: Bauausführung, Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung die Konformität von Fertigteilen
- [6] DIN 18560-7:04: Hochbeanspruchbare Estriche (Industrieestriche)
- [7] ZTV-Beton-STB 01: Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton
- [8] TFB Wildegg: Die Einwirkung verschiedener Stoffe auf den Beton. Hrsg.: Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie TFB, Cementbulletin Blatt 2/1982
- [9] DIN 18202:05: Toleranzen im Hochbau, Bauwerke
- [10] DIN 15185-1:91: Lagersysteme mit leitliniengeführten Flurförderzeugen; Anforderungen an Boden, Regal und sonstige Anforderungen
- [11] HVBG-Merkblatt für Fußböden in Arbeitsräumen und Arbeitsbereichen mit Rutschgefahr (BVGR 181). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften
- [12] DIN 51130:04: Prüfung von Bodenbelägen, Bestimmung der Rutschhemmenden Eigenschaft; Arbeitsräume und Arbeitsbereiche mit erhöhter Rutschhemmung; Begehungsverfahren – schiefe Ebene
- [13] E DIN 51131:99: Prüfung von Bodenbelägen – Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft; Verfahren zur Messung des Gleitreibungskoeffizienten
- [14] VAWs: Verordnung über Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe und Zulassung von Fachbetrieben.
- [15] Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, 2003, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
- [16] Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie), 2003, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
- [17] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts, Wasserhaushaltsgesetz WHG
- [18] TRwS DWA-A 786:05: Technische Regel wassergefährdender Stoffe (TRwS) – Ausführung von Dichtflächen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA)
- [19] Bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise für Beton beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, DIBt, 1999
- [20] Richtlinie Vorbeugende Maßnahmen gegen schädliche Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie). Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2001
- [21] Lohmeyer, G.: Betonböden im Industriebau: Hallen- und Freiflächen, Hrsg. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie
- [22] Springenschmid, R.: Die Ermittlung der Spannungen infolge von Schwinden und Hydratationswärme im Beton. Beton- und Stahlbetonbau 79 (1984), Heft 10, S. 263-269.
- [23] Wiegrink, K.-H.: Modellierung des Austrocknungsverhaltens von Calciumsulfat-Fließestrichen und der resultierenden Spannungen und Verformungen, Dissertation TU München (2002)
- [24] DIN 18300:02 Erdarbeiten VOB Teil C
- [25] DIN 18315:02 Verkehrswegebauarbeiten. Oberbauschichten ohne Bindemittel. VOB Teil C
- [26] DIN 18316:02 Verkehrswegebauarbeiten. Oberbauschichten mit hydraulischen Bindemitteln. VOB Teil C
- [27] DIN 18134:01 Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte - Plattendruckversuch
- [28] DIN 18195:00 Bauwerksabdichtungen Teil 1 – 6

Bemessung unbewehrter Betonböden

Werner Hörenbaum

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird ein zusammenfassender Überblick über die Möglichkeiten der Bemessung unbewehrter Betonböden (bestehend aus Untergrund, Tragschicht und Betonbodenplatte) bei industrieller Nutzung gegeben. Dabei umreißt der Beitrag kurz die im Hinblick auf eine konventionelle Bemessung für übliche Verkehrs- und Lagerlasten relevanten Normen und stellt exemplarisch Rechenansätze zur Ermittlung von Biegezugspannungen infolge dieser Lastenwirkungen in Betonplatten vor. Darauf aufbauend wird der für die Bemessung unbewehrter Betonplatten maßgebende Gebrauchstauglichkeitsnachweis behandelt.

Der Beitrag zeigt darüber hinaus, dass neben einer Bemessung von Industrieböden aus Beton im klassischen Sinne für lastbedingte Beanspruchungen auch eine Bemessung für Witterungs- und Verschleißbeanspruchungen sowie für Beanspruchungen durch chemische Angriffe möglich ist. Berücksichtigung finden dabei sowohl Beanspruchungen infolge von Temperatur- und Feuchteinwirkungen, sowie Kombinationen aus beiden, als auch Frost- und Frost-Tausalzbeanspruchungen. Kern dieser „Bemessung“ ist die gezielte, auf den jeweiligen Einzelfall ausgerichtete Festlegung von Anforderungen an den Beton der Bodenplatte, die darauf abzielt, eine angemessene Widerstandsfähigkeit dieses Betons für die zu erwartenden Beanspruchungen sicherzustellen.

Der Beitrag konzentriert sich auf die Zusammenstellung von Empfehlungen zur Dimensionierung insbesondere der Betonbodenplatte, aber auch der Tragschicht, und benennt Anforderungen an die für die Bodenplatte einzusetzenden Betone bzw. an die Baustoffe der Tragschicht und des Untergrundes. Zudem werden Empfehlungen hinsichtlich der Fugenausbildung dargelegt.

1 Einführung

Industrieböden werden im Laufe ihrer Herstellung und Nutzung sehr unterschiedlichen, teilweise ausgesprochen intensiven Beanspruchungen ausgesetzt. Nicht selten ist in Industrieanlagen der Boden das am stärksten beanspruchte Bauteil des gesamten Gebäudes. Darüber hinaus können Schäden am Fußboden u. U. gravierende wirtschaftliche Konsequenzen für den Nutzer (z. B. Produktionsausfallkosten durch kurzfristige Unbrauchbarkeit des Bodens) zur Folge haben. Industriefußböden sind daher mit höchster Sorgfalt zu planen und auszuführen.

Betonbodenplatten liegen entweder direkt auf tragfähigem Untergrund oder auf einer zwischen Bodenplatte und Untergrund angelegten Tragschicht. Die Aufgabe der Betonböden besteht in der Regel nicht darin, andere Bauteile einer Konstruktion zu tragen oder auszusteiern. Schäden an Betonböden haben bei sachgerechter Ausführung daher im Regelfall kein Versagen anderer Konstruktionsbestandteile zur Folge. Im Allgemeinen sind Betonböden somit keine tragenden oder aussteifenden Bauteile gemäß DIN 1045-1 [1] bzw. DIN EN 206-1 [2]. Da Betonbodenplatten ihre Lasten direkt in den Untergrund ableiten, sind Betonböden keine Tragwerke im

Sinne von DIN 1055 „Einwirkung auf Tragwerke“ [3]. Es besteht daher kein direkter Zwang zur Erfüllung der in diesen Normen aufgeführten Anforderungen.

Eine Ausnahme stellen hingegen Betonplatten dar, die z. B. bei Hochregallagerbauten die Dachkonstruktion tragen. In derartigen Fällen sind die Anforderungen der DIN 1045 zu erfüllen, da ein Versagen des Betonbodens u. U. gravierende stand sicherheitsrelevante Konsequenzen haben kann.

Fachspezifische Normen, die explizit für den Bau bzw. die Bemessung von Betonböden für Produktions- und Lagerhallen sowie für Freiflächen gelten, existieren zur Zeit nicht. Trotzdem können dem planenden Ingenieur eine Reihe von Normen und Regelwerken bei der Bemessung von Betonböden gerade auch im Hinblick auf die industrielle Nutzung eine wertvolle Hilfe sein.

Obwohl die DIN 1045 nicht obligatorisch angewandt werden muss, wird doch eine Beachtung bestimmter Punkte dieser Norm dringend empfohlen (z. B. in Bezug auf die Anforderungen hinsichtlich Betonfestigkeiten und Expositionsklassen).

Ein Betonboden kann nur dann dauerhaft seinen Zweck erfüllen, wenn er einwandfrei hergestellt wurde und die auftretenden Beanspruchungen sicher aufnehmen kann. Voraussetzung für das sichere

Widerstehen der auftretenden Beanspruchungen ist eine hinreichende Bemessung der Gesamtkonstruktion „Betonboden“. Darunter ist eine sorgfältige Anpassung der Bodenkonstruktion an die im Rahmen der Herstellung und Nutzung zu erwartenden Einwirkungen zu verstehen.

Im vorliegenden Beitrag soll gezeigt werden, dass dem Planer mittlerweile eine Vielzahl an Werkzeugen und Regelwerken zur Verfügung stehen, die es ihm erlauben, sichere, wirtschaftliche und dauerhafte Betonböden zu bemessen. Hervorzuheben ist diesbezüglich beispielsweise das Merkblatt des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins „Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen“ [4].

2 Konstruktionsmerkmale unbewehrter Betonbodenplatten

2.1 Konstruktionsbestandteile

Wesentliche Bestandteile eines Betonsbodens sind der Untergrund, die Tragschicht und die Betonbodenplatte. In Abbildung 1 ist der Aufbau üblicher Industrieböden aus Beton in schematischer Form dargestellt.

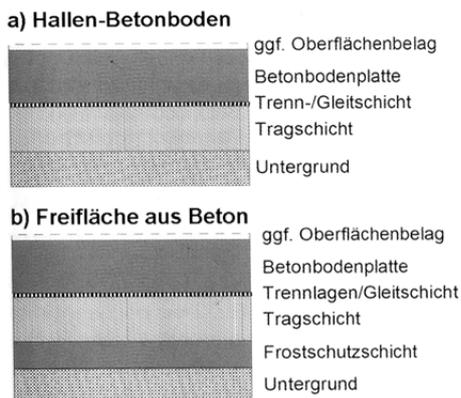


Abb. 1: Aufbau von Industrieböden in Hallen und im Freien [5]

Der dreischichtige Aufbau des Bodens stellt sicher, dass die auftretenden Belastungen zuverlässig in den Untergrund abgeleitet werden. Damit die Funktionsfähigkeit bzw. Nutzbarkeit des Betonbodens auf Dauer bestehen bleibt, müssen die drei übereinander angeordneten Bestandteile langfristig ihre Wirksamkeit aufrechterhalten.

Essentielle Voraussetzung ist, dass der vorhandene Untergrund eine hinreichende Tragfähigkeit besitzt. Ggf. ist diese durch entsprechende Maßnahmen sicher zu stellen (z. B. durch Austausch des Untergrundes). Darüber hinaus ist der Untergrund zu verdichten, um die erforderliche Tragfähigkeit sicherzustellen. Die tatsächlich vorliegende Tragfähigkeit des Untergrundes kann durch geeignete Prüfmethoden, z. B. durch Plattendruckversuche, festgestellt werden.

Für die Tragschicht darf nur geeignetes Baumaterial eingesetzt werden, das zudem in hinreichender Schichtdicke eingebaut werden muss. Dabei ist auf einen höhengerechten Einbau der Tragschicht (nach der Verdichtung) zu achten. Der notwendige Verdichtungsgrad muss dabei ebenfalls sicher eingehalten werden.

Bei der Planung eines Bodenaufbaus ist zu berücksichtigen, ob der Boden im Freien oder in einer Halle angelegt werden soll. Böden im Freien müssen frostsicher gegründet werden. Die Dicke der gesamten Plattenkonstruktion (unter besonderer Beachtung der erforderlichen Tiefe einer frostfreien Gründung) ist dabei so zu dimensionieren, dass während der Herstellung und der Nutzung Frostschäden vermieden werden. Die Dicke des Plattenaufbaus wird dabei maßgeblich durch die Frostepfindlichkeit des Bodens und die Frosteindringtiefe bestimmt.

Für die Herstellung des Betons der Bodenplatte sind die Vorgaben der DIN 1045 zu beachten. Hier finden sich umfassende Spezifikationen bzw. Anforderungen an den Beton der Bodenplatte, durch deren Beachtung sich ein sehr dauerhafter Industrieboden ausführen lässt. Neben der Betonfestigkeit ist die Plattendicke derjenige Parameter, der die Tragfähigkeit der Platte maßgebend bestimmt.

Die Betonbodenplatte ist durch sachgerecht ausgeführte Raumfugen von anderen Bauteilen wie Stützen und Wände zu trennen, damit Zwängungen in der Bodenplatte vermieden werden und damit die Bodenplatte keine Beanspruchungen auf angrenzende Bauteile ausüben kann. (siehe Kapitel 5). Zwängungen sind – sofern es sich um behinderte Kontraktionsverformungen handelt – häufig die Ursache für Rissbildungen in Betonbodenplatten, die es zu vermeiden gilt. Zwängungen infolge behinderter Expansionsverformungen sind in Bezug auf Rissbildungen unkritisch. Durch die Trennung der Betonbodenplatte von anderen Bauteilen und die Anordnung von Scheinfugen in nicht zu groß gewählten Abständen wird die Rissgefahr erheblich verringert.

Als weitere Bestandteile eines Betonbodens können bei Bedarf Sauberkeitsschichten, Trennlagen und Gleitschichten sowie Wärmedämmungen zum Einsatz kommen (Einzelheiten hierzu siehe z. B. [5]).

2.2 Tragverhalten

Betonböden sind vollflächig auf einer tragfähigen, aber elastischen Unterlage gebettete Plattenkonstruktionen. In dieser besonderen Lagerungsart unterscheiden sie sich von anderen Plattenkonstruktionen des klassischen Hochbaus (wie beispielsweise Geschossdecken, Decken in Industriegebäuden oder Parkdecks).

Betonbodenplatten können ohne Einbußen in Bezug auf Sicherheit und Dauerhaftigkeit in unbewehrter Bauweise ausgeführt werden. Eine bewehrte

Bauweise von Bodenplatten ist nur dann von Vorteil, wenn die entstehenden Biegezugspannungen so groß werden, dass sie vom Beton allein nicht mehr aufgenommen werden können. Wird in so einem Fall die Stahlbewehrung zur Aufnahme der Biegezugspannungen herangezogen, ist in jedem Fall mit der Entstehung von Rissen zu rechnen. Bei dieser Bemessung wird das Entstehen von Rissen bewusst in Kauf genommen. Bei bewehrten Betonbodenplatten ist stets eine Bewehrung zur Begrenzung der Rissbreite erforderlich, damit sich die entstehenden Risse nicht ungünstig auf die Funktionsfähigkeit und die Dauerhaftigkeit der Betonbodenplatte auswirken.

Bei unbewehrter Bauweise lassen sich Risse durch eine entsprechende Dimensionierung der Betonbodenplattendicke und die Verwendung eines Betons mit hinreichender Zug- bzw. Biegezugfestigkeit zuverlässig vermeiden. Zu den wichtigsten weiteren Voraussetzungen gehören u. a. ein ausreichend tragfähiger Unterbau und eine sorgfältige Planung der Fugenausbildungen. Werden diese Voraussetzungen erfüllt, dann bietet die unbewehrte Betonplattenbauweise folgende Vorteile:

- Sicherer Betoneinbau ohne störende Bewehrung
- Schnelle Bauausführung
- Wirtschaftliche Bauweise

Die dabei zu beachtenden Planungsgrundsätze und Voraussetzungen werden in diesem Beitrag behandelt.

3 Einwirkungen und Beanspruchungen

3.1 Lasteinwirkungen

3.1.1 Beanspruchungen durch Fahrzeuge

Industrieböden werden häufig von Gabelstaplern, Hubwagen sowie Lastkraftwagen befahren. Dabei entstehen in zeitlich wechselnder Abfolge Biegedruck- und Biegezugspannungen in der Bodenplatte. Die Tabellen 1 bis 3 enthalten eine Zusammenstellung von Radlasten, wie sie beim Befahren von Bodenplatten durch übliche Fahrzeuge auftreten. Hierbei handelt es sich um so genannte charakteristische Lasten Q_k . Die bei einer Bemessung anzusetzenden Lasten Q_d erhält man durch Multiplikation der charakteristischen Lasten mit einem Teilsicherheitsbeiwert γ_Q und einer Lastwechselzahl φ_n . Für den allgemein üblichen Bemessungsfall ist hier ein Gesamtfaktor von $\gamma_Q \cdot \varphi_n = 1,6$ anzusetzen. Die Bemessungslast Q_d lässt sich daher in der Regel wie folgt berechnen:

$$Q_d = 1,6 \cdot Q_k \quad (1)$$

Ist auf dem zu bemessenden Betonboden mit intensivem Fahrverkehr zu rechnen, dann sind die auftretenden Lastwechsel genauer zu berücksichtigen (Einzelheiten hierzu siehe Abschnitt 4.1.2). Im Rahmen einer Plattenbemessung sind die ungünstigsten

Kombinationen von Lasten in Ansatz zu bringen. Maßgebend ist dabei häufig der Fall, bei dem beide Räder eines Gabelstaplers nebeneinander am Plattenrand bzw. an der Plattenecke stehen. Sinnvollerweise sind die Plattenfugen daher so anzuordnen, dass die Plattenränder möglichst nicht entlang von vorgesehenen Regalstandorten oder im Fahrbereich verlaufen.

Tab. 1: Charakteristische Werte für lotrechte Nutzlasten bei Betrieb aus Gegengewichtsstaplern (in Anlehnung an DIN 1055-3 [3] bzw. [5])

Gabelstapler Kategorie	zulässige Gesamtlast	Nenn- tragfähigkeit	Nutzlast (Achslast)	Radlast Q_k auf 20 cm x 20 cm	Geometrie		
					Radabstand	Länge L	Breite b
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[m]
G1	31	10	26	13	0,85	2,60	1,00
G2	46	15	40	20	0,95	3,00	1,10
G3	69	25	63	32	1,00	3,30	1,20
G4	100	40	90	45	1,20	4,00	1,40
G5	150	60	140	70	1,50	4,60	1,90
G6	190	80	170	85	1,80	5,10	2,30

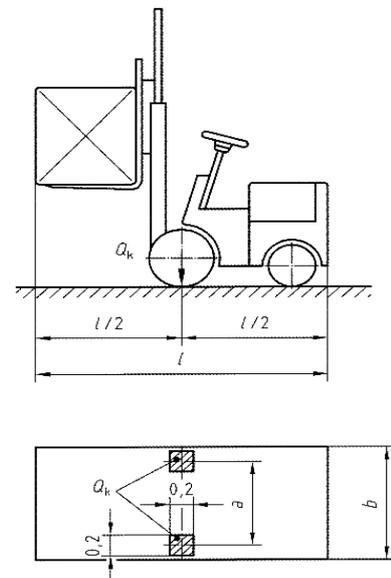


Abb. 2: Lastflächen für Gabelstapler (in Anlehnung an DIN 1055-3 [3] bzw. [4])

Der Kontaktdruck eines Rades berechnet sich aus der Radlast, die sich auch die Aufstandsfläche verteilt. In Abbildung 2 sind die bei Beanspruchungen durch Gabelstaplerverkehr anzusetzenden Lastflächen dargestellt. Die bei Beanspruchung durch LKW-Verkehr in Ansatz zu bringenden Lastflächen können der Abbildung 3 entnommen werden.

Tab. 2: Charakteristische Werte für lotrechte Nutzlasten bei Flächen mit LKW-Verkehr entsprechend den Brücknklassen (in Anlehnung an DIN 1072 [6] bzw. [4])

Bezeichnung	Fahrzeugart	Achslast					max. Radlast Q_k	Aufstandsfläche bei einzelner Achse	Radabstand	Achsabstand	Lastfläche b
		Gesamtlast		vorn	mitte	hinten					
		[kN]	[kN]								
SLW	60	600	200	200	200	100	20 x 60	2,00	1,50	6,0 x 3,0	
	30	300	100	100	100	65	20 x 46				
LKW	16	160	60	-	110	55	20 x 40	3,00	3,00	6,0 x 3,0	
	12	120	40	-	110	55	20 x 40				
	9	90	30	-	90	45	20 x 30				

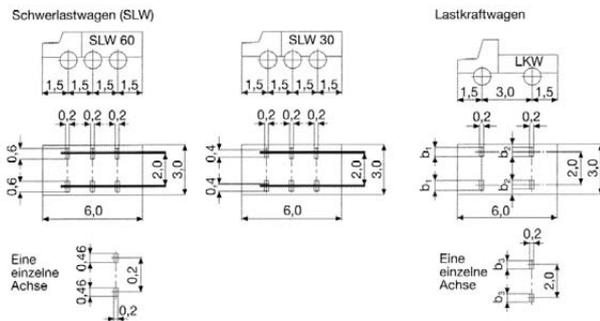


Abb. 3: Lastflächen für Schwerlastwagen (in Anlehnung an DIN 1072 [6] bzw. [4])

Tab. 3: Charakteristische Werte für lotrechte Nutzlasten bei Flächen mit Fahrzeugverkehr für zulässige Gesamtlasten ≤ 25 kN bzw. für ein zulässiges Gesamtgewicht $\leq 2,5$ t (in Anlehnung an DIN 1055-3 [3] bzw. [4])

Kategorie	Nutzung	Beispiele	Nutzlast (Achslast)	Radlast Q_k auf 20 cm x 20 cm	Radabstand
			[kN]	[kN]	[m]
F1	Verkehrs- und Parkflächen für leichte Fahrzeuge	Parkflächen einschl. Fahr gassen	20	10	1,80
F2			20	10	1,80
F3		Zufahrtsflächen	20	10	1,80

Im Falle einer Beanspruchung durch Fahrzeuge, die nicht den vorstehend aufgelisteten Tabellenangaben entsprechen bzw. die sich nicht den Fahrzeugkategorien zuordnen lassen, müssen die für die Bemessung erforderlichen Radlasten, Radabstände und -geometrien den Herstellerangaben (technische Datenblätter) entnommen werden.

Radlasten sind stets als lotrecht wirkende Einzellasten anzunehmen. Zur Bestimmung der Kontaktpression infolge von Radlasten bis maximal 25 kN ist von einer Radaufstandsfläche von 20 cm x 20 cm auszugehen. Im Einzelfall ist zu Prüfen, ob ggf. Horizontallasten infolge von Brems- oder Beschleunigungsvorgängen in Ansatz bringen sind.

3.1.2 Beanspruchungen durch Lagergüter

Flächenlasten

Da Flächenlasten keine Biegebeanspruchung bewirken, müssen sie bei der Bemessung der Betonbodenplatte in der Regel nicht berücksichtigt werden. Flächenlasten sind bei einer Bemessungen nur dann anzusetzen, wenn lotrechte Beanspruchungen langfristig tatsächlich über größere Flächen verteilt angreifen z. B. bei Lagerung von Schüttgütern. In derartigen Fällen können sie u. U. das Schwinden o. Temperaturverformungen behindern und die Entstehung von Zugspannungen in Betonbodenplatte begünstigen (Rissgefahr). Hier kann beispielsweise eine Gleitschicht zwischen Tragschicht und Bodenplatte erforderlich sein.

Regal- oder Gerüstlasten

Die Beanspruchungen durch Regal- oder Gerüstlasten auf Betonböden können bei unbedachter Bodennutzung leicht zu Rissen oder anderen Plattenschäden führen. In Hochregallagersystemen können Stützenlasten in Größenordnungen von 250 kN auftreten. Maßgebend für die Höhe der Beanspruchungen auf die Betonbodenplatte ist die Größe der Fußplatte. Prinzipiell ist bei Kontaktdrücken über 4 N/mm² eine genaue Bemessung der Betonbodenplatte erforderlich. Darüber hinaus ist neben dem Nachweis der Kontaktpression ggf. auch ein Nachweis gegen Durchstanzen zu erbringen.

Bei der Bemessung einer Betonbodenplatte ist zu berücksichtigen, dass u. U. neben der maximalen Stützen- bzw. Gerüstlast zusätzlich auch Radlasten (z. B. ein Gabelstapler in ungünstiger Position am Plattenrand) in Ansatz zu bringen sind. Wie im Falle der Radlasten erhält man die Bemessungslast G_d aus der Multiplikation der charakteristischen Last G_k mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_g . Diesbezüglich ist im Allgemeinen eine Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_g = 1,2$ ausreichend. Die Bemessungslast für Regal- und Gerüststützen ergibt sich damit zu:

$$G_d = 1,2 \cdot G_k \tag{2}$$

Grundsätzlich sind die Fugen in der Bodenplatte so anzuordnen, dass Regalstützenkräfte nur im mittleren Plattenbereich angreifen. Regalstützenangriff am Plattenrand oder an Plattenecken ist nach Möglichkeit zu vermeiden.

3.1.3 Beanspruchungen durch Maschinen

Maschinen dürfen nur dann direkt auf einem Betonboden gelagert und betrieben werden, wenn die sich daraus für den Betonboden ergebenden Lasten nicht zu groß sind bzw. wenn der Boden dafür entsprechend bemessen worden ist. Andernfalls sind gesonderte Maschinenfundamente vorzusehen, die die entstehenden Belastungen direkt in den Untergrund ableiten, ohne den Betonboden zu beschädigen. Hierfür sind ggf. Raumbefugen vorzusehen.

Zu beachten ist hier auch, dass der Untergrund zum Zwecke der sicheren Aufnahme maschinenerzeugter Schwingungen ausreichend tragfähig sein muss (ggf. Fachgutachter bei der Planung hinzuziehen).

3.2 Thermisch-hygrische Beanspruchungen

3.2.1 Temperaturbeanspruchungen

Wie jeder Baustoff weist Beton das Bestreben auf, sich bei Erwärmung auszudehnen bzw. sich bei Abkühlungen zusammenzuziehen. Bei einer über den Plattenquerschnitt gleichmäßig verteilten Temperaturänderung stellt sich eine Längenänderung der Platte ohne Verkrümmungen ein. Die Längenänderung Δl ergibt sich in einem solchen Fall aus der Temperaturdifferenz Δt , der Wärmedehnzahl α_T und der Länge des Bauteils l (hier Plattenlänge). Im Falle einer frei beweglichen Platte kann die Verformung unter Vernachlässigung der Reibung wie folgt berechnet werden:

$$\Delta l = \alpha_T \cdot l \cdot \Delta t \quad (3)$$

In der Regel sind jedoch zwischen Betonbodenplatte und Untergrund (Tragschicht) Reibungseinflüsse zu berücksichtigen, die die temperaturbedingten Verformungen behindern. Nach [7] kann die reibungsbedingte Längenänderung infolge einer Temperaturänderung wie unten angegeben berechnet werden:

$$\Delta l = \alpha_T \cdot l \cdot \Delta t - \frac{\gamma \cdot \mu \cdot l^2}{4 \cdot E} \quad (4)$$

mit γ = Wichte des Betons [N/mm³]
 μ = Reibungsbeiwert [-]
 E = E-Modul des Betons [N/mm²]

Die Größe der Reibungskräfte zwischen Betonbodenplatte und Tragschicht lässt sich durch Anordnen von Gleitschichten reduzieren. Darüber hinaus sind Raumbefugen vorzusehen, damit temperaturbedingte Ausdehnungen und Kontraktionen keine unerwünschten Risse in der Betonbodenplatte erzeugen.

Infolge über den Plattenquerschnitt ungleichmäßig verteilter Temperaturänderungen neigen Betonplatten zusätzlich zu den Längenänderungen auch zu Plattenverkrümmungen. Heben sich die Plattenenden vom Untergrund bzw. der Tragschicht ab, spricht man von Aufschüsselungen. Den umgekehr-

ten Fall (Abheben der Plattenmitte) bezeichnet man als Aufwölbung. Dieser Sachverhalt ist in der Abbildung 4 skizziert.

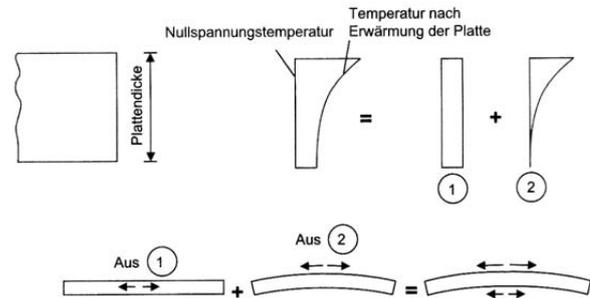


Abb. 4: Temperaturbedingte Verformungen einer Betonbodenplatte (in Anlehnung an [8])

Die Verformungsanteile aus konstanter Temperaturänderung (1) und über den Querschnitt ungleichmäßig verteilter Temperaturänderung (2) sind einander zu überlagern. Werden diese Verformungen behindert, entstehen Spannungen in der Platte, die u. U. zu Rissbildungen führen können. Eine entsprechende Bemessung der Betonbodenplatte, die derartigen Beanspruchungen Rechnung trägt, ist dringend zu empfehlen. Die Ursachen für ungleichmäßige Temperaturänderungen über die Höhe der Bodenplatte werden im Folgenden näher behandelt.

3.2.2 Hydratationswärmeentwicklung

Nach dem Herstellen und Einbringen des Betons wird ein Teil des zugegebenen Wassers im Rahmen einer exothermen Reaktion chemisch gebunden (Hydratation). Die damit einhergehende Wärmeentwicklung ist umso größer, je höher der Zementgehalt im Beton ist. Die Hydratationswärmeentwicklung wird von der Umgebungstemperatur erheblich beeinflusst. Niedrige Umgebungstemperaturen wirken reaktionsd. h. erhärtungsverzögernd. Hohe Außentemperaturen beschleunigen die Erhärtung bzw. die Wärmeentwicklung im Beton.

Problematisch ist nicht die hydratationsbedingte Ausdehnung des weichen Betons, sondern die anschließende Abkühlung des gerade erhärtenden, jungen Betons. In diesem Zustand ist durch entsprechende Maßnahmen dafür zu sorgen (Abdeckung), dass sich an der Betonplattenoberfläche kein ausgeprägter Temperaturgradient durch Abkühlung (z. B. Wind) einstellt, da sonst mit einem Überschreiten der noch geringen Zugfestigkeit des Betons gerechnet werden muss (Rissbildung).

3.2.3 Sonneneinstrahlung

Erfolgt das Betonieren an warmen Tagen, erhärtet der Beton an der Plattenoberseite bei höheren Temperaturen als der Beton an der Plattenunterseite. Als Folge der anschließenden Abkühlung des Platten-

querschnitts kann es in so einem Fall zu einem Abheben der Plattenränder (Aufschüsselung) kommen. Erhärtert die Betonbodenplatte unter gemäßigten Klimabedingungen bei annähernd gleichen Temperaturen an der Plattenober- und Plattenunterseite, kann es bei anschließender Erwärmung der Plattenoberseite (Sonneneinstrahlung) zu einem Abheben der Plattenmitte durch temperaturbedingte Verkrümmungen (Aufwölbung) kommen. Die damit einhergehenden Wölbspannungen stellen eine zusätzliche Beanspruchung dar, für die die Platte zu bemessen ist (siehe Abschnitt 4.3.4). Die Beanspruchungen werden weiter verschärft, wenn im aufgewölbten und im aufgeschüsselten Zustand vertikale Lasten, z. B. aus Verkehr, angreifen.

Zu den charakteristischen temperaturbedingten Schäden in Betonplatten gehören quer zur Plattenlängsachse verlaufende Trennrisse. Eine derartige Rissbildung kann durch Fugenschnitte in möglichst kurzen Abständen vermieden werden. In der Regel werden Wölbspannungen (Biegespannungen) hervorgerufen, wenn Aufschüsselungen oder Aufwölbungen der Platte infolge des Eigengewichts eingeschränkt werden. Hierdurch können keilförmige Risse entstehen. Derartige Risse lassen sich auch durch eine Begrenzung der Fugenabstände vermeiden (mehr dazu siehe Abschnitt 5).

3.2.4 Hygrische Beanspruchungen

In Innenräumen (Hallen) kann das Trocknungsschwinden des erhärtenden Betons vergleichsweise hohe Zugbeanspruchungen verursachen, die prinzipiell zwar durch die Relaxation des Zementsteins abgemindert werden, die aber unter ungünstigen Umständen für die Entstehung feiner Risse verantwortlich sein können. Zur Vermeidung dieser Netzrisse ist die frisch betonierete Betonplatte vor frühzeitiger intensiver Austrocknung zu schützen (Abdeckung mit Folien).

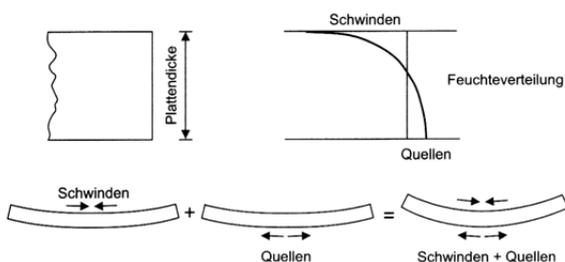


Abb. 5: Verformungen einer Betonbodenplatte infolge Schwindens an der Oberseite und Quellens an der Unterseite (in Anlehnung an [8])

Kommt es beispielsweise als Folge einer unzureichenden Drainage zusätzlich zum Trocknungsschwinden an der Plattenoberseite zu einer Wasseraufnahme an der Betonplattenunterseite, die mit

Quellverformungen einhergeht, entstehen Aufschüsselungen (siehe Abbildung 5).

Um das Quellen an der Plattenunterseite zu verhindern bzw. zu reduzieren, müssen dort langfristige Wasseransammlungen vermieden werden. Daher sollten Tragschichten bei Betonböden im Freien möglichst wasserdurchlässig ausgeführt bzw. aus Schotter hergestellt werden, damit Wasser nach unten abgeführt werden kann.

Ähnlich wie bei den temperaturbedingten Beanspruchungen verursachen hygrische Beanspruchungen Zwangs- und Eigenspannungen, für die die Betonbodenplatte zu bemessen ist, damit Schäden wie Rissbildungen und nicht hinnehmbare Plattenverformungen vermieden werden. Die Bemessung konzentriert sich dabei schwerpunktmäßig auf die Festlegung der erforderlichen Plattendicke (siehe Abschnitt 4.3.4) und auf die Begrenzung der Fugenabstände bzw. der Plattenlänge. Darüber hinaus werden Maßnahmen zur Verminderung der Austrocknung nach der Herstellung (Nachbehandlung) sowie auf die Sicherstellung einer wirksamen Plattdrainage zur Vermeidung der o. g. Verformungen empfohlen.

3.3 Sonstige Einwirkungen und Beanspruchungen

Neben den vorstehend behandelten thermisch-hygrischen Beanspruchungen und Beanspruchungen infolge Lasteinwirkungen können Betonböden weitere Beanspruchungen erfahren. Dazu gehören Frost- und Tausalzbeaufschlagungen, chemische Angriffe sowie der Verschleiß. Für derartige Beanspruchungen werden Betonböden zwar nicht im Sinne einer klassischen konstruktiven Vorgehensweise (also durch entsprechende Dimensionierung von Konstruktionselementen wie der Plattendicke oder der Fugenabstände) „bemessen“, sondern durch Festlegungen anderer Art besonders vorbereitet (siehe Abschnitte 4.3.5, 4.3.6 und 4.3.7). Eine Vernachlässigung dieser Beanspruchungsarten bei der Planung eines Betonfußbodens kann gravierende Schäden zur Folge haben.

3.3.1 Frostbeanspruchungen

Beton ist während des Erhärtens besonders frostempfindlich, daher muss Frosteinwirkung im jungen Alter unbedingt vermieden werden. Diesbezüglich ist hervorzuheben, dass auch der Unterbau eines Betonbodens durch entsprechend tiefe Gründung vor Frost zu schützen ist. Darüber hinaus ist zu beachten, dass auch Betonböden in Hallen ggf. im Bereich von Einfahrtstoren u. U. Frostbeanspruchungen erfahren können.

Frostschäden zeigen sich im konkreten Fall in einer Zerstörung der obersten Betonschichten. Sie lassen sich durch Einbau eines besonders geeigneten Betons gemäß DIN 1045 zuverlässig vermeiden.

Zuvor müssen die vor Ort zu erwartenden Frostbeanspruchungen einer Expositionsklasse zugeordnet werden. Die DIN 1045 erlaubt dann genauere Anforderungsspezifikationen für den Beton in Bezug auf eine sichere Vermeidung von frostbedingten Betonschäden. Einzelheiten hierzu werden in Abschnitt 4.3.5 näher erläutert.

3.3.2 Chemische Angriffe

Das Spektrum der chemischen Angriffe auf Betonböden in der Industrie ist ausgesprochen breit gefächert. Aus diesem Grunde beschränkt sich der vorliegende Beitrag auf diejenigen chemischen Schädigungsmechanismen, die bei Industrieböden am häufigsten auftreten bzw. zu erwarten sind.

Voraussetzung für die Entfaltung der aggressiven Wirkung der verschiedenen Substanzen ist im Prinzip ein in Lösung gehen in Wasser. Ohne Anwesenheit von Wasser ist deren Schädigungswirkung sehr gering. Aus dieser Tatsache lassen sich die wichtigsten Maßnahmen zur Vermeidung chemisch bedingter Schäden an Betonböden ableiten.

Eine „Bemessung“ von Industrieböden aus Beton im Hinblick auf einen chemischen Angriff besteht daher im Wesentlichen aus der Festlegung von Anforderung an den Eindringwiderstand von Flüssigkeit in den Beton, an die Betondichte und -festigkeit des Betons. Ergänzend kann der Einsatz von Oberflächenschutzsystemen in Erwägung gezogen werden. Voraussetzung für eine derartige „Bemessung“ ist die Kenntnis der Angriffsintensität, um eine entsprechende Klassifizierung des chemischen Angriffsgrades nach DIN 1045-2 vornehmen zu können. Nach erfolgter Klassifikation können dann Maßnahmen zur wirkungsvollen Vermeidung von Betonschäden abgeleitet werden. Diese Maßnahmen werden in Abschnitt 4.3.6 ausführlich behandelt.

3.3.3 Verschleißbeanspruchung

Unter Verschleiß sind mechanische Einwirkungen bzw. deren Folgen zu verstehen, bei denen schwere Fahrzeuge und Gegenstände (Gabelstapler, Hubwagen, Maschinenteile, Container, Stapelboxen, Gerüste) die Oberfläche einer Betonplatte schleifend, rollend oder stoßend (ggf. auch kombiniert) beanspruchen. Ähnlich wie im Falle der o. a. Frostbeanspruchungen und des chemischen Angriffs kann die Intensität einer Verschleißbeanspruchung gemäß DIN 1045 in drei Kategorien (Expositionsklassen XM1, XM2 und XM3, siehe Abschnitt 4.3.7) eingeteilt werden.

Die Schäden infolge einer Verschleißbeanspruchung können von leichten Kratzern und Riefenbildungen bis hin zur Bildung von flächigem Abrieb und mehrere Zentimeter tiefen Ausbruchkratern reichen. Die Ansatzmöglichkeiten einer Vermeidung von Verschleißerscheinungen an Betonbodenplatten betreffen im Wesentlichen die Eigenschaften des

einzusetzenden Betons bzw. Anforderungen, die an die Betoneigenschaften zu stellen sind (Betondruckfestigkeit, Zementgehalt, Zusammensetzung der verwendeten Gesteinskörnungen). Die Anforderungen sind in DIN 1045 in Abhängigkeit der vorliegenden Expositionsklasse spezifiziert. Einzelheiten hierzu sind in Abschnitt 4.3.7 zusammengestellt.

4 Bemessung

4.1 Grundlagen

4.1.1 Nutzungsbereiche

In Abhängigkeit von der vorgesehenen Nutzung (Nutzungsbereiche A, B und C) können die an den Betonböden zu stellenden Anforderungen in Bezug auf Rissfreiheit bzw. Risstoleranzen gemäß nachfolgender Tabelle 4 klassifiziert werden. Baurechtliche und wasserrechtliche Anforderungen sind in dieser Tabelle nicht berücksichtigt.

Tab. 4: Anforderungen an die Rissvermeidung für Betonböden mit geringem Gefährdungspotenzial bei Zug- und Biegezugbeanspruchung (in Anlehnung an [5])

Nutzungsbereiche	Anforderungen an die Rissvermeidung	Beispiele
A	gering	Lagerhallen für unempfindliche Schüttgüter, grobe Metall- und Holzverarbeitung, Stahlbaubetriebe, landwirtschaftliche Gerätehallen
B	mittel	feine Metall- und Holzverarbeitung, Kunststoff- und Gummiindustrie, Lagerhallen, Logistikzentren, Kfz-Reparaturbetriebe
C	hoch	Ausstellungs- und Verkaufsräume, Papier- und Textilverarbeitung, feinmechanische Betriebe, Hochregallager

4.1.2 Sicherheitsbeiwerte für Einwirkungen

Bei der Berechnung der Bemessungslasten sind verschiedene Kombinationen aus ständigen und langfristig wirkenden Lasten, veränderlichen Lasten und häufig wechselnden Verkehrslasten (Radlasten) zu berücksichtigen. Zwischen folgenden Fällen ist zu unterscheiden:

- Ständige und langfristig wirkende Lasten G_k (z. B. Eigenlasten, Regallasten)

$$G_d = \gamma_G \cdot G_k \quad (5)$$

- Ständige und veränderliche Lasten Q_k (z. B. bei wechselnden Stapelgütern)

$$Q_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k \quad (6)$$

- Ständige Lasten und Radlasten Q_k

$$Q_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot \varphi_n \cdot Q_k \quad (7)$$

Für die Bemessung von Untergrund, Tragschicht und Bodenplatte auf der Grundlage der Gleichungen (5) bis (7) werden die in Tabelle 5 aufgeführten Sicherheitsbeiwerte und Lastwechselzahlen vorgeschlagen.

Bei der Lastwechselzahl φ_n handelt es sich nicht um einen Schwingbeiwert. Vielmehr berücksichtigt die Lastwechselzahl φ_n die Häufigkeit, mit der die wechselnde Radlast einwirkt.

Tab. 5: Sicherheitsbeiwerte und Lastwechselzahlen für Betonbodenplatten, die keine Tragwerke nach DIN 1045-1 sind (in Anlehnung an [5])

Teilsicherheitsbeiwerte γ_G und γ_Q für ständige und veränderliche Lasteinwirkungen	
- bei ständigen Lasteinwirkungen G_k	$\gamma_G = 1,20$
- bei veränderlichen Lasteinwirkungen Q_k	$\gamma_Q = 1,35$
Teilsicherheitsbeiwerte γ_Q mit Lastwechselzahl φ_n für Radlasten Q_k	
bei Anzahl der Lastwechsel n	$n \leq 1 \cdot 10^3$ $\gamma_Q \cdot \varphi_n = 1,45$
	$n \leq 5 \cdot 10^3$ $\gamma_Q \cdot \varphi_n = 1,50$
	$n \leq 1 \cdot 10^4$ $\gamma_Q \cdot \varphi_n = 1,55$
	$n \leq 5 \cdot 10^4$ $\gamma_Q \cdot \varphi_n = 1,60$
	$n \leq 1 \cdot 10^5$ $\gamma_Q \cdot \varphi_n = 1,65$
	$n \leq 1 \cdot 10^6$ $\gamma_Q \cdot \varphi_n = 1,70$
	$n > 1 \cdot 10^6$ $\gamma_Q \cdot \varphi_n = 1,75$

4.1.3 Sicherheitsbeiwerte für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Unter Bezugnahme auf die im vorstehenden Abschnitt vorgestellten Nutzungsbereiche von Betonböden sind in Tabelle 6 die für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis in Ansatz zu bringenden Teilsicherheitsbeiwerte (siehe Abschnitt 4.3.2) zusammengestellt.

Neben der vorgesehenen Nutzung der Betonbodenplatte sind für die Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis auch die bei der Plattenherstellung vorliegenden Bedingungen und die Ausführung der Platte zu berücksichtigen.

Ausführungsart N steht dabei für „normale“ Ausführungsbedingungen. D. h. dass eine geeignete Betonzusammensetzung und beim Einbau der Bodenplatte in offenen Hallen übliche Temperaturen vorliegen müssen (Temperatur zwischen 10 °C und 25 °C). Die Nachbehandlung ist gemäß DIN 1045-3 (Tabelle 2) durchzuführen. Mit der Nachbehandlung soll sofort nach Abschluss der Oberflächenbearbeitung (entsprechend DIN 1045-3, Tabelle 2, Expositi-

onsklasse XM) begonnen werden. Die Nachbehandlung kann beendet werden, wenn die charakteristische Betonfestigkeit 70 % ihres Endwertes erreicht hat.

Tab. 6: Teilsicherheitsbeiwerte für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Betonbodenplatten (in Anlehnung an [5])

Teilsicherheitsbeiwerte	Nutzungsbereich A		Nutzungsbereich B		Nutzungsbereich C	
	Ausführung		Ausführung		Ausführung	
	N	S	N	S	N	S
Beton bei Zug und Biegezug $\gamma_{ct,Q}$	1,10		1,35		1,60	
Abfließen der Hydratationswärme $\gamma_{ct,H}$	1,30					
Schwinden des Betons $\gamma_{ct,S}$	1,15	1,10	1,20	1,15	1,30	1,20
Temperatureinflüsse auf Beton $\gamma_{ct,T}$	1,20	1,10	1,30	1,15	1,40	1,20

Die Bedingungen der **Ausführungsart S** liegen bei „speziellen“ Betonzusammensetzungen vor. Hier sind besondere Vorkehrungen gegen frühzeitiges Austrocknen des Betons umzusetzen. Direkte Sonneneinstrahlung und schnelles Abkühlen infolge Zugluft während des Einbaus ist zu vermeiden. Mit der Nachbehandlung ist sofort zu beginnen und die Dauer der Nachbehandlung ist gegenüber der Ausführungsart N (DIN 1045-3, Tabelle 2) zu verdoppeln.

4.2 Bemessung von Untergrund und Tragschicht

Maßgebend für die Bemessung der Tragschicht ist in der Regel die größte zu erwartende Einzellast Q_d (ermittelt nach Kapitel 4.1.2). Die Tragfähigkeit von Tragschichten hängt sowohl von der Art der verwendeten Materialien als auch von der Schichtdicke ab. Tabelle 7 zeigt Beispiele für Arten und Dicken von Tragschichten für Betonböden mit Angabe der aufnehmbaren Einzellasten.

Die Bezeichnung der Tragschichten gibt neben dem verwendeten Tragschichtmaterial jeweils den Wert des geforderten Verformungsmoduls E_{V2} in MN/m² (ermittelt im Plattendruckversuch nach zweimaliger Belastung) an. Dabei wird der Verformungsmodul nach der ersten Belastung als E_{V1} -Wert bezeichnet. Dementsprechend trägt der Verformungsmodul der zweiten Belastung die Bezeichnung E_{V2} .

Tab. 7: Beispiele für Tragschichtarten und -dicken für den Einsatz in Betonböden sowie maximal aufnehmbare Einzellasten [5]

Art der Tragschicht	Dicke der Tragschicht [cm]	max. Einzellast Q_d [kN]
Kiestragschicht KTS 80	15	10
Kiestragschicht KTS 80	28	20
Kiestragschicht KTS 80	34	30
Kiestragschicht KTS 100	33	50
Schottertragschicht STS 150	25	80
Verfestigung mit Zement, baustellengemischt	19	100

Eine Bemessung bzw. eine Auswahl geeigneter Tragschichtvarianten ist anhand des Diagramms in Abbildung 6 in Abhängigkeit von der maximal zu erwartenden Einzellast Q_d möglich.

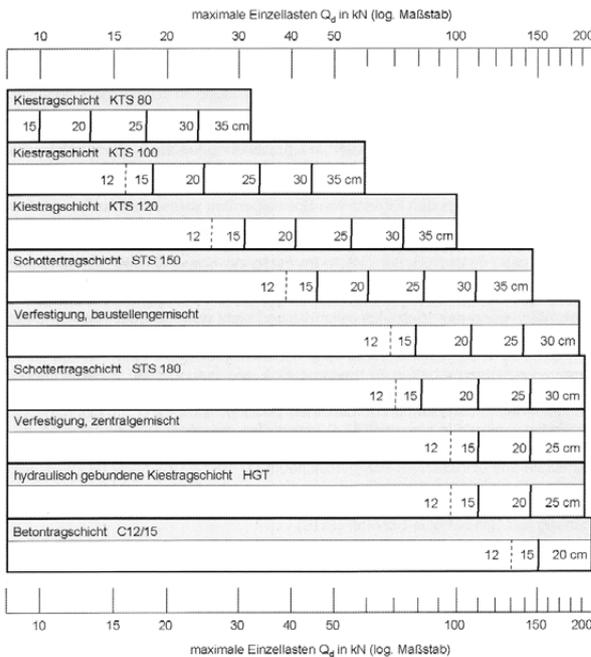


Abb. 6: Bemessungsdiagramm für verschiedene Tragschichtausführungen in Abhängigkeit von der maximal zu erwartenden Einzellast Q_d [5]

Dabei ist zu beachten, dass Tragschichten eine Minstdicke von 15 cm aufweisen sollten.

Darüber hinaus muss der Verformungsmodul der Tragschicht an den Verformungsmodul des Untergrundes angepasst sein. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die einzuhaltenden Mindestverformungsmoduln der Tragschicht in Abhängigkeit von der zu erwartenden maximalen Einzellast Q_d und des Verformungsmoduls des Untergrundes.

Tab. 8: Erforderlicher Verformungsmodul E_{V2} des Untergrundes (Index U) und der Tragschicht (Index T) unter Betonbodenplatten (in Anlehnung an [5])

max. Einzellast Q_d [kN]	Verformungsmodul E_{V2} in N/mm ² bzw. MN/m ²	
	des Untergrundes $E_{V2,U}$	der Tragschicht $E_{V2,T}$
≤ 30	≥ 35	≥ 80
≤ 60	≥ 45	≥ 100
≤ 100	≥ 60	≥ 120
≤ 140	≥ 80	≥ 150

Außerdem sollen die aus erster und zweiter Belastung gemessenen Verformungsmoduln des Untergrundes und der Tragschicht nicht zu unterschiedlich ausfallen:

$$\text{Untergrund: } \frac{E_{V2,U}}{E_{V1,U}} \leq 2,5 \quad (8)$$

$$\text{Tragschicht: } \frac{E_{V2,T}}{E_{V1,T}} \leq 2,2 \quad (9)$$

Werden die darin angegebenen Werte eingehalten bzw. durch Versuche nachgewiesen, gilt der Nachweis ausreichender Tragfähigkeit der Tragschicht und des Untergrundes als erbracht.

4.3 Bemessung der Betonbodenplatte

4.3.1 Vereinfachte Bemessung für Betonböden in Hallen

Für die Bemessung von Betonböden in Hallen, die durch übliche Verkehrs- und Lagerlasten beansprucht werden, kann ein vereinfachtes Verfahren gemäß Tabelle 9 zur Ermittlung der Plattendicke herangezogen werden.

Tab. 9: Mindestplattendicken für Betonbodenplatten in Hallen bei begrenzter Lastbeanspruchung (in Anlehnung an [5])

Expositionsklasse	Maximale Radlast Q_d [kN]	Maximale Regallast im Fahrbereich G_d [kN]	Betonfestigkeitsklasse	w/z-Wert des Betons	Dicke h der Betonbodenplatte [cm]		
					Nutzungsbereich		
					A	B	C
XM 1	10	15	C25/30	$\leq 0,55$	≥ 14	≥ 16	≥ 18
	20				≥ 16	≥ 18	≥ 20
	30	25	C30/37	$\leq 0,50$	≥ 16	≥ 18	≥ 20
	40				≥ 18	≥ 20	≥ 22
XM 2	50	35	C30/37	$\leq 0,46$	≥ 18	≥ 20	≥ 22
	60				≥ 20	≥ 22	≥ 24
	80				≥ 22	≥ 24	≥ 26
XM 3	100	50	C35/45	$\leq 0,42$	≥ 24	≥ 26	≥ 28
	120				≥ 26	≥ 28	≥ 30
	140				≥ 28	≥ 30	≥ 32

Folgende Voraussetzungen müssen für die Anwendbarkeit dieses Verfahrens erfüllt sein:

- Radlasten $Q_d \leq 140 \text{ kN}$
- Langfristig wirkende Lasten $q_d \leq 20 \text{ kN/m}^2$
- Kontaktpressung $q \leq 1,0 \text{ N/mm}^2$
- Einwandfrei ausgeführte Tragschicht

Wird der o. g. Grenzwert der Kontaktpressung überschritten, d. h. liegt der Kontaktdruck im Bereich $1,0 \text{ N/mm}^2 < q \leq 2,0 \text{ N/mm}^2$, dann dürfen die in der oben stehenden Tabelle 9 aufgeführten Werte der Betonplattendicke h durch Multiplikation mit dem Faktor $k = \sqrt{q}$ vergrößert werden.

4.3.2 Bemessung für Lasteinwirkungen

In allen Fällen, in denen die Voraussetzungen für eine vereinfachte Bemessung nicht eingehalten werden (z. B. durch Überschreiten der zu erwartenden Verkehrslasten oder beim Betonieren im Freien) ist eine genauere und aufwändigere Bemessung erforderlich.

Die Bemessung unbewehrter Betonbodenplatten basiert im Wesentlichen auf der Annahme einer Betonplattendicke mit anschließendem Nachweis, dass die (bei Angriff der maßgebenden Bemessungslastkombination) auftretenden Dehnungen der Bodenplatten vom Konstruktionsbeton sicher aufgenommen werden können, ohne dass mit Rissen zu rechnen ist (Gebrauchstauglichkeitsnachweis). Gelingt dieser Nachweis nicht im ersten Schritt, ist die Dicke der Betonbodenplatten zu vergrößern und die Nachweisführung zu wiederholen.

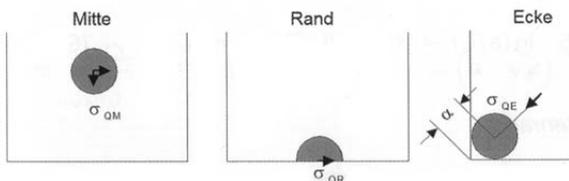


Abb. 7: Grundlastfälle zur Bemessung von Betonbodenplatten nach dem Verfahren Westergaard [9] und Eisenmann [7]

Prinzipiell stehen hierfür eine Reihe von Bemessungsverfahren zur Verfügung. Im Folgenden wird das Verfahren nach Westergaard [9] und Eisenmann [7] als repräsentatives Beispiel behandelt (siehe dazu auch [5]). Dieses Verfahren basiert auf der Bettungsmodul-Theorie. Der Bettungsmodul berücksichtigt dabei die Steifigkeit des unter der Betonbodenplatte vorhandenen Untergrundes. Er lässt sich wie folgt berechnen:

$$k_s = \frac{E_T}{0,83 \cdot h \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{c0m}}{E_T}}} \quad (10)$$

mit E_T = E-Modul der Tragschicht [N/mm²]
 E_{c0m} = E-Modul des Betons [N/mm²]
 h = Dicke der Betonbodenplatte [mm]

Auf Basis der drei in Abbildung 7 dargestellten Grundlastfälle können unter Heranziehung der Gleichungen (11), (12) und (13) die in einer Betonbodenplatte beliebiger Dicke h auftretenden Biegezugspannungen an der Unterseite der Betonbodenplatte σ_{QM} , σ_{QR} und σ_{QE} in [N/mm²] berechnet werden.

- Lastfall Einzellast in Plattenmitte

$$\sigma_{QM} = \frac{0,275 \cdot Q_d}{h^2} \cdot (1 + \mu_c) \cdot \left[\lg \left(\frac{E_{c0m} \cdot h^3}{k_s \cdot b^4} \right) - 0,436 \right] \quad (11)$$

- Lastfall Einzellast am Plattenrand

$$\sigma_{QR} = \frac{0,529 \cdot Q_d}{h^2} \cdot (1 + 0,54 \cdot \mu_c) \cdot \left[\lg \left(\frac{E_{c0m} \cdot h^3}{k_s \cdot b^4} \right) + \lg \left(\frac{b}{1 - \mu_c^2} \right) - 0,436 \right] \quad (12)$$

- Lastfall Einzellast in Plattenecke

$$\sigma_{QE} = \frac{3 \cdot Q_d}{h^2} \cdot \left[1 - \left(\frac{12 \cdot (1 - \mu_c^3) \cdot k_s}{E_{c0m} \cdot h^3} \right)^{0,3} \cdot (a \cdot \sqrt{2})^{1,2} \right] \quad (13)$$

mit μ_c = Querdehnzahl des Betons; ca. 0,20
 a = Belastungskreisradius [mm]
 b = Ersatzradius [mm]

wobei

$$a = \sqrt{\frac{Q_d}{\pi \cdot q_d}} \quad (14)$$

und

$$b = \sqrt{(1,6 \cdot a^2 + h^2)} - 0,675 \cdot h \quad \text{für } a < 1,724 \cdot h \quad (15a)$$

bzw.

$$b = a \quad \text{für } a > 1,724 \cdot h \quad (15b)$$

Wirken mehrere Lasten einer Lastfallkombination gleichzeitig, müssen die berechneten Spannungen aus jedem der Teillastfälle addiert bzw. superponiert werden. Dabei sind ggf. Einflusslinien heranzuziehen. Einzelheiten hierzu können z. B. [5] entnommen werden. Die für die Bemessung maßgebende Gesamtspannung wird im Folgenden mit σ_d bezeichnet.

Da das Ziel einer Bemessung unbewehrter Betonbodenplatten die dauerhafte Rissfreiheit der Konstruktion ist, muss beim Nachweis die rechnerisch zu ermittelnde vorhandene Betondehnung $\epsilon_{ct,vorh}$ der zulässigen Betondehnung $\epsilon_{ct,zul}$ gegenübergestellt werden (Gebrauchstauglichkeitsnachweis). D. h.

$$\epsilon_{ct,vorh} \leq \epsilon_{ct,zul} \quad (16)$$

muss gelten. Die vorhandene Betondehnung errechnet sich aus der allgemein gültigen Beziehung

$$\epsilon_{ct,vorh} = \frac{\sigma_Q}{E_{c0m}} \quad (17)$$

Für den allgemeinen Fall einer Kombination aus Last-, Schwind- und Temperaturbeanspruchung lässt sich die zulässige Betondehnung wie folgt berechnen:

$$\epsilon_{ct,zul} = \frac{\epsilon_{ct,U}}{\gamma_{ct,Q} \cdot \gamma_{ct,S} \cdot \gamma_{ct,T}} \quad (18)$$

Die Bruchdehnung $\epsilon_{ct,U}$ des Betons hängt dabei im Wesentlichen vom Zeitpunkt der Belastung (Alter des Betons) sowie von der Belastungsgeschwindigkeit ab (Einzelheiten hierzu siehe z. B. [10]). Für schnell einsetzende Lasten (wie z. B. Radlasten) und erhärteten Beton kann eine Bruchdehnung von $\epsilon_{ct,U} = 0,1$ mm/m angenommen werden.

Die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{ct,Q}$, $\gamma_{ct,S}$ und $\gamma_{ct,T}$ sind der Tabelle 6 in Abschnitt 4.1.3 zu entnehmen. Wirken außer den Lastbeanspruchungen Q_d nicht gleichzeitig noch Schwind- und Temperaturbeanspruchungen, dann können in Gleichung (18) die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{ct,S}$ und $\gamma_{ct,T}$ jeweils gleich 1,0 gesetzt werden.

4.3.3 Bemessung für thermische Wölbbeanspruchungen

Die als Folge thermisch bedingter Verwölbungen in Betonbodenplatten entstehenden Biegespannungen σ_w können mit dem Verfahren nach Eisenmann/Leykauf in Abhängigkeit der tatsächlichen Plattenlänge l bzw. der kritischen Plattenlänge l_{krit} abgeschätzt werden. Dabei wird zwischen folgenden 3 Fällen unterschieden:

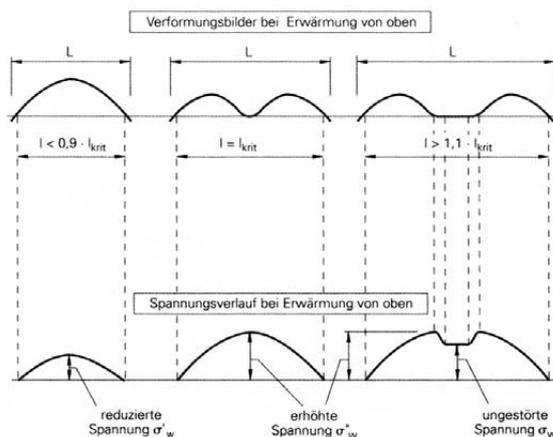


Abb. 8: Unterschiedliche Beanspruchungs- bzw. Verformungszustände in Betonbodenplatten in Abhängigkeit der Plattenlänge l [5]

Nach Eisenmann lässt sich die kritische Plattenlänge l_{krit} für quadratische Platten wie folgt abschätzen:

$$l_{krit} \approx 230 \cdot h \cdot \sqrt{\alpha_T \cdot \Delta t \cdot E_{c0m}} \quad (19)$$

Für den Fall einer vergleichsweise großen Plattenlänge mit $l > 1,1 \cdot l_{krit}$ lässt sich nach Eisenmann/Leykauf die so genannte „ungestörte“ Wölbspannung σ_w nach Gleichung (20) berechnen.

$$\sigma_w = \frac{1}{1 - \mu_c} \cdot \frac{h \cdot \Delta t}{2} \cdot \alpha_T \cdot E_{c0m} \quad (20)$$

Ist die tatsächliche Plattenlänge l gleich der kritischen Plattenlänge l_{krit} , dann kann die „erhöhte“ Wölbspannung σ''_w wie folgt berechnet werden:

$$\sigma''_w = 1,2 \cdot \sigma_w \quad (21)$$

Für Plattenlängen l mit $l < l_{krit}$ ergeben sich die geringsten Wölbspannungen. Sie können nach folgenden Gleichung berechnet werden:

$$\sigma'_w = \left(\frac{l - 400}{0,9 \cdot l_{krit}} \right)^2 \cdot \sigma_w \quad (22)$$

Für praktische Bemessungsfälle ergibt sich daraus die Empfehlung zur Begrenzung der Plattenlänge l auf Werte kleiner als $0,9 \cdot l_{krit}$.

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit erfolgt im Weiteren analog zur Vorgehensweise in Abschnitt 4.3.2, Gleichungen (16), (17) und (18).

4.3.4 Bemessung für witterungsbedingte Biegezugspannungen

Wie in Abschnitt 3.2 dargelegt wurde, kann der Zeitpunkt der Plattenherstellung (Jahres- und Tageszeit des Betoneinbaus) entscheidend für die Höhe der in der Betonplatte entstehenden witterungsbedingten Beanspruchungen (Spannungen) sein.

Foos [11] bzw. [8] entwickelte ein Verfahren zur Abschätzung der in Betonplatten auftretenden witterungsbedingten Spannungen in Abhängigkeit von der vorliegenden Plattengeometrie (Plattendicke h und Plattenlänge l) und dem Betonierzeitpunkt (siehe Tabelle 10).

Die angegebenen Werte tragen der Tatsache Rechnung, dass die Gefahr der Rissbildung beim Betonieren im Sommer ohne Sonnenschutz (vormittags) erheblich größer ist, als beim Betonieren an weniger heißen Tagen oder beim Betonieren am Nachmittag.

Auch im hier behandelten Fall der witterungsbedingten Spannungen kann der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit mit den Spannungen gemäß Tabelle 10 in Analogie zur Vorgehensweise in Abschnitt 4.3.2 erfolgen.

Tab. 10: Biegezugspannungen in Betonplatten infolge witterungsbedingter Beanspruchungen in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Plattenherstellung [11]

Dicke h der Betonbodenplatte [m]	Länge l der Betonbodenplatte [m]	Zeitpunkt der Herstellung		
		im Winter bzw. im Sommer am Nachmittag oder auch bei Verwendung von LH-Zementen im Sommer *)	im Frühling/Herbst bzw. im Sommer bei Schutz von Sonneneinstrahlung	im Sommer bzw. an einem heißen Tag im Schatten ($T_{max} \leq 35 \text{ °C}$)
Biegezugspannungen $\sigma_{ct,T}$ [N/mm ²]				
$\leq 0,25$	$l \leq 26h$	$\approx 0,3l - h - 0,1$	$\approx 4h + 0,25$	$\approx 0,5l - 6h + 1$
	$l > 26h$	$\approx 0,033l + 6,5h - 0,15$		$\approx 0,1l + 4h + 1,1$
$> 0,25$	$l \leq 24h$	$\approx 0,3l - 5h + 1,3$	$\approx 4,6h$	$\approx 0,25l - 6,5h + 2,8$
	$l > 24h$	$\approx 0,125l - 0,6h + 1,2$		$\approx 0,1l - 2,4h + 2,6$

*) Anmerkung: Bei Herstellung im Sommer am Nachmittag oder bei Verwendung von LH-Zementen im Sommer sind die angegebenen Spannungen um 50 % zu reduzieren.

4.3.5 Bemessung für Frostbeanspruchungen

Die Bemessung der Betonplatte für Frostbeanspruchungen sowie für Frostbeanspruchungen in Kombination mit Taumitteinsatz erfolgt durch Einsatz eines Betons, der die zu erwartenden Beanspruchungen schadlos aufnehmen kann. Diesbezüglich sind in der DIN 1045 die vom Beton zu erfüllenden Anforderungen an die Betonfestigkeit f_{ck} , den Wasserzementwert w/z und die zu verwendenden Gesteinskörnungen spezifiziert.

Zudem ist zu beachten, dass die Tragschicht einer Betonbodenkonstruktion den lokal zu erwartenden Temperaturgegebenheiten entsprechend tief genug zu gründen ist, um eine Frostfreiheit der Sohle sicher zu stellen. Ggf. ist eine Frostschutzschicht vorzusehen.

4.3.6 Bemessung für chemische Angriffe

Um sicher zu stellen, dass Betonböden chemische Angriffe schadlos überdauern, sollte die Verwendung eines dichten und damit widerstandsfähigen Plattenbetons angestrebt werden. Wie für die vorstehend behandelten Frostbeanspruchungen kann gemäß DIN 1045 (Teil 1 und Teil 2) eine Betonbodenplatte auch für chemische Angriffe dadurch bemessen werden, dass vorab in Abhängigkeit von der Intensität der zu erwartenden Angriffe entsprechende Anforderungen an die Druckfestigkeit, den Wasserzementwert und den Mindestzementgehalt des Beton festgelegt werden. Einzelheiten, insbesondere weitere, hier nicht aufgeführte Anforderungen sind in der DIN 1045 nachzulesen.

4.3.7 Bemessung für Verschleißbeanspruchungen

Sind Verschleißbeanspruchungen zu erwarten, dann kann eine Bemessung des Plattenbetons – wie für Frostbeanspruchungen und chemische Angriffe bereits erläutert wurde – nach einer Klassifikation der zu erwartenden Verschleißbeanspruchungen durch Festlegung der zu erfüllenden Betonanforderungen erfolgen. Nach DIN 1045 (Teil 1) ist eine Einteilung der zu erwartenden Verschleißbeanspruchung in Expositionsklassen möglich. Für die „Bemessung“ des Plattenbetons sind die in Tabelle 11 zusammengestellten Anforderungen zu beachten bzw. zu erfüllen.

Tab. 11: Anforderungen an für verschleißbeanspruchte Betonbodenplatten vorgesehene Betone (in Anlehnung an DIN 1045 [1] bzw. [5])

Klasse	Betonfestigkeitsklasse (f_{ck})	Abrieb nach DIN 52108 [cm ³ je 50 cm ²]	Wasserzementwert w/z	Zementgehalt z [kg/m ³]	Mehlkorngehalt f [kg/m ³]	Zusammensetzung und Art der Gesteinskörnungen
XM1	C25/30 ¹⁾ C30/37 ²⁾	≤ 12	$\leq 0,55$ $\leq 0,50$	≥ 300 < 360	$f \leq 400$ bei $z \leq 300$ $f \leq 450$ bei $z \geq 350$	Zusammensetzung A/B 32 möglich aus quarzitischem Gestein; ggf. Oberfläche mit Hartstoffeinstreuung ³⁾
XM2	C30/37 ²⁾	≤ 9	$\leq 0,46$	≥ 320 < 360		Korngruppen 0/2 u. 2/8 aus quarzitischem Gestein, Korngruppe 11/22 aus Hartsteinsplitt; ggf. Oberfläche mit Hartstoffeinstreuung ³⁾
XM3	C30/37 C35/45	≤ 7	$\leq 0,42$	≥ 320 < 360		Zusammensetzung A/B 32, Oberfläche mit Hartstoffschicht ⁴⁾ Zusammensetzung A/B 32, Oberfläche mit Hartstoffeinstreuung ³⁾

In Bezug auf die Angaben in Tabelle 14 gelten folgen Anmerkungen:

¹⁾ Verschleißschicht erforderlich, z. B. Hartstoffeinstreuung

²⁾ Bei Flächen im Freien als LP-Beton für Expositionsklasse XF4

³⁾ Hartstoffeinstreuungen entsprechen nicht DIN 18560, können aber zweckmäßig sein und erfordern besondere Vereinbarungen

⁴⁾ Hartstoffschicht nach DIN 18560, Teil 7

5 Fugen

Damit Betonbodenplatten die infolge von Temperaturschwankungen und des Betonschwindens auftre-

tenden Zwängungen ohne Rissbildungen überstehen, sind in den Bodenplatten Fugen anzuordnen. Gleichwohl sind Fugen aber auch Schwachstellen, weil sie das Tragverhalten der Betonplatten bei Angriff von Vertikallasten (Radlasten) nachteilig beeinflussen. Eine sorgfältige Fugenplanung ist daher im Hinblick auf die Vermeidung von Plattenschäden wie Rissbildungen von sehr großer Bedeutung. Eine umfassende Abhandlung zur sinnvollen Fugenplanung bzw. zur richtigen Fugenausbildung ist im Rahmen dieses Beitrages nicht lieferbar. Diesbezüglich muss auf Literaturquellen (wie beispielsweise [5]) verwiesen werden. Der Vollständigkeit halber werden nachfolgend trotzdem einige wesentliche Aspekte der Fugenausbildung und der Fugenabstände behandelt.

5.1 Fugenarten

Grundsätzlich wird zwischen Scheinfugen, Pressfugen und Randfugen unterschieden.

Scheinfugen sind künstlich herbeigeführte Sollrissstellen, die angelegt werden, um eine kontrollierte Rissentstehung sicher zu stellen, da in den meisten Fällen eine gänzliche Vermeidung von Rissen (Schwindrissen) nicht möglich ist. Diese Sollrissstellen (Kerben) werden entweder durch Eindringen eines Profils in den noch weichen Beton kurz nach dem Betonieren oder durch nachträgliches Schneiden (Sägen, wenige Tage nach dem Einbau) angelegt.

Pressfugen sind Fugen, die durch einen unterbrochenen Betoniervorgang entstehen. Sie trennen die Betonplatten von Anfang an über die gesamte Plattendicke. Die Stirnfläche des zuerst hergestellten Plattenabschnitts wird fachgerecht geschalt. Nach ausreichender Erhärtung wird die stirnseitige Plattenschalung entfernt und der Beton des benachbarten Plattenabschnittes dagegen gefüllt.

Randfugen sind anzuordnen, damit die Betonbodenplatten keine Beanspruchungen auf angrenzende Bauteile (wie Wände oder Stützen) ausüben bzw. übertragen können.

5.2 Fugenanordnung

In der Tabelle 12 sind Empfehlungen zur Anordnung von Schein-, Press- und Randfugen zusammengefasst.

Unter der in Tabelle 15 aufgeführten Fugensicherung ist eine Verdübelung oder der Einsatz von Fugendoppelschienen zu verstehen.

Darüber hinaus ist im Hinblick auf eine Vermeidung von Rissen bei der Erstellung eines Fugenplanes Folgendes zu beachten [5]:

- Flächenunterteilung möglichst in quadratische Felder durch Schein- und Pressfugen, Seitenverhältnis von Plattenlänge l zu Plattenbreite b möglichst mit $l/b < 1,5$

- Schmale und spitz zulaufende Flächen ("Zwickel") wegen erhöhter Bruchgefahr vermeiden
- Bodenplatten mit einspringenden Ecken vermeiden
- Längs- und Quersfugen sollen sich kreuzen, Fugenversatz vermeiden
- Fugenkreuzungen in Hauptfahrbereichen vermeiden
- Längsfugen in Hauptfahrspuren und entlang von Regalen vermeiden
- Fugen in Bodenplatten auf Wärmedämmschichten stets mit Fugensicherung ausführen

Tab. 12: Anordnung von Schein-, Press- und Randfugen (in Anlehnung an [5])

Fugenart	Anordnung der Fugen
Scheinfugen	zweckmäßig in Längs- und Querrichtung bei großflächigem Betonieren: bei $Q_d \leq 30$ kN und Fugenabständen $\leq 7,5$ m ohne Fugensicherung; bei $Q_d > 30$ kN und Fugenabständen ≤ 6 m ohne Fugensicherung; bei $Q_d \leq 60$ kN und Fugenabständen ≤ 6 m ohne Fugensicherung; bei $Q_d > 60$ kN und Fugenabständen > 6 m mit Fugensicherung. Scheinfugen sind bei einspringenden Ecken stets erforderlich.
Pressfugen	zweckmäßig in Längsrichtung bei streifenförmigem Betonieren bei Tagesabschnittsfugen bzw. Arbeitsfugen: bei $Q_d \leq 60$ kN und Fugenabständen ≤ 6 m mit rauer Stirnseite; bei $Q_d > 60$ kN oder Fugenabständen > 6 m mit Fugensicherung der Hauptfahrstreifen
Randfugen	stets an Rändern von Betonbodenplatten zur Trennung von anderen Bauteilen, jedoch nicht zur Aufteilung der Fläche, in Hauptfahrstreifen sowie bei $Q_d > 30$ kN stets mit Fugensicherung

Von zentraler Bedeutung ist darüber hinaus im Hinblick auf die angestrebte Rissvermeidung bei den unbewehrten Betonbodenplatten die Festlegung der Fugenabstände. Die nachfolgende Tabelle 13 fasst in Abhängigkeit der bei Herstellung der Bodenplatte vorliegenden Umgebungsbedingungen die wichtigsten Empfehlungen zur Festlegung der Fugenabstände zusammen.

Die Empfehlung zu den Fugenabständen bzw. Plattenlängen in Tabelle 13 beruhen zum Teil auf Erfahrung. Darüber hinaus lassen sich die in Tabelle 13 aufgeführten Grenzwerte aber auch auf der Grundlage theoretischer Überlegungen (u. a. auch auf der Basis der in den vorstehenden Kapiteln aufgeführten Bemessungsansätze) rechnerisch herleiten.

Platten mit Fugenabständen, die deutlich größer als 10 m sind, sollten nicht in unbewehrter Bauweise hergestellt werden. Die Rissgefahr nimmt bei derartig

langen Plattenkonstruktionen erheblich zu. Als Alternative zum Bewehrungseinsatz könnte bei Fugenabständen größer als 10 m u. U. ein Walzbetoneinsatz zielführend sein.

Tab. 13: Fugenabstände (bzw. Plattenlänge) l bei Schein- und Pressfugen unbewehrter Betonbodenplatten (in Anlehnung an [5])

Herstellungs- bzw. Umgebungsbedingungen	Abstand der Fugen	Unterlage
Betonieren im Freien	Quadratische Platten mit $l/b \leq 1,25$: $l \leq 6 \text{ m}$ und $l \leq 34 \cdot h$ Rechteckige Platten mit $1,25 > l/b \leq 1,5$: $l \leq 30 \cdot h$	bei feuchter Tragschicht: Trennlage sinnvoll, aber nicht zwingend erforderlich
Betonieren in offenen Hallen bei Ausführungsart N*)	$l \leq 7,5 \text{ m}$	Trennlage auf Tragschicht
Betonieren in geschlossenen Hallen bei Ausführungsart S*)	$l \leq 10 \text{ m}$	Gleitschicht auf Tragschicht

*) Bei der Angabe der Herstellungs- bzw. der Umgebungsbedingungen wird auf die Ausführungsarten N und S Bezug genommen, die in Abschnitt 4.1.3 erläutert werden.

6 Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag liefert einen Überblick über die Bemessung von unbewehrten Industrieböden aus Beton. Obwohl zur Zeit keine speziellen Normen für die Bemessung von Betonböden für Produktions- und Lagerhallen sowie für Freiflächen existieren, können dem planenden Ingenieur trotzdem eine Reihe anderer Normen und Regelwerken bei der Bemessung von derartigen Betonböden eine wertvolle Hilfe sein.

Unbewehrte Betonbodenplatten können genau so dauerhaft, sicher und wirtschaftlich ausgeführt werden, wie bewehrte Betonbodenplatten. Eine bewehrte Bauweise von Bodenplatten ist nur dann von Vorteil, wenn die zu erwartenden Lastbeanspruchungen so hoch sind, dass die entstehenden Biegezugspannungen nicht mehr allein vom Beton aufgenommen werden können. Bei bewehrten Betonplatten ist jedoch stets mit Rissen zu rechnen. Bei unbewehrter Bauweise lassen sich Risse durch eine entsprechende Dimensionierung der Betonbodenplattendicke und die Verwendung eines Betons mit hinreichender Zug- bzw. Biegezugfestigkeit zuverlässig vermeiden.

Für die Bemessung von Betonböden in Hallen, die durch übliche Verkehrs- und Lagerlasten beansprucht werden, kann ein vereinfachtes Verfahren herangezogen werden. In allen Fällen, in denen die Voraussetzungen für eine vereinfachte Bemessung nicht eingehalten werden, ist eine genauere und aufwändigere Bemessung erforderlich.

Maßgebend für die Bemessung unbewehrter Betonbodenplatten ist in der Regel der Nachweis, dass die auftretenden Dehnungen der Bodenplatten vom Konstruktionsbeton sicher aufgenommen werden können, ohne dass mit Rissen zu rechnen ist (Gebrauchstauglichkeitsnachweis).

Neben einer Bemessung des Betonbodens für Lasteinwirkungen wird eine Bemessung für witterungsbedingte Beanspruchungen (Temperatur- und Feuchteinwirkungen der Umgebung) dringend empfohlen. Entsprechende Ansätze werden in diesem Beitrag vorgestellt. Eine derartige Bemessung konzentriert sich schwerpunktmäßig auf die Festlegung der erforderlichen Plattendicke und auf die Begrenzung der Fugenabstände bzw. der Plattenlänge. Darüber hinaus werden Maßnahmen zur Verminderung risserzeugender Plattenzwängungen behandelt bzw. empfohlen.

Frostbedingte Betonschäden lassen sich durch Einbau eines besonders geeigneten Betons zuverlässig vermeiden. Zuvor müssen die vor Ort zu erwartenden Frostbeanspruchungen einer Expositionsklasse gemäß DIN 1045 zugeordnet werden. Darauf aufbauend erlaubt die DIN 1045 genauere Anforderungsspezifikationen für den Beton in Bezug auf eine sichere Vermeidung von Frostschäden.

Auch für einen chemischen Angriff auf den Beton einer Industriebodenplatte ist eine „Bemessung“ möglich. Sie basiert im Wesentlichen auf einer Klassifikation des zu erwartenden Angriffsgrades nach DIN 1045 mit anschließender Ableitung von entsprechenden Anforderungen an die Eigenschaften des Plattenbetons. Darüber hinaus können ergänzend Oberflächenschutzsystemen in Erwägung gezogen werden.

Die Ansatzmöglichkeiten einer Vermeidung von Verschleißerscheinungen an Betonbodenplatten betreffen im Wesentlichen die Eigenschaften des einzusetzenden Betons bzw. Anforderungen, die an die Betoneigenschaften zu stellen sind. Dabei kann auch hier die Intensität einer Verschleißbeanspruchung gemäß DIN 1045 in Expositionsklassen eingeteilt werden.

7 Literatur

- [1] DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Juli 2001
- [2] DIN EN 206-1: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Juli 2001
- [3] DIN 1055: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteil-

len und Lagerstoffen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Juni 2002

[4] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein: Merkblatt „Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen“, 2004

[5] Lohmeyer, G.; Ebeling, K.: Betonböden für Produktions- und Lagerhallen. Planung, Bemessung, Ausführung, Verlag Bau + Technik GmbH, Düsseldorf, 2006

[6] DIN 1072: Straßen- und Wegebrücken. Lastannahmen, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Dezember 1985

[7] Eisenmann, J.; Leykauf, G.: Betonfahrbahnen. 2. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2003

[8] Foos, S.: Unbewehrte Betonfahrbahnplatten unter witterungsbedingten Beanspruchungen. Heft 56, Schriftenreihe des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Karlsruhe (TH), 2006

[9] Westergaard, H. M.: Analytical Tools for Judging Results of Structural Tests of Concrete Pavements. Public Roads, Band 14, Heft Nr. 10, 1933

[10] Weigler, H.; Karl, S.: Beton – Herstellung und Eigenschaften. Handbuch für Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1989

[11] Foos, S.; Müller, H. S.: Neues Verfahren zur Bemessung von befahrbaren Betonplatten. 3. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Universität Karlsruhe (TH), 2006

Bewehrte Industrieböden für Hallen und Freiflächen

Josef Steiner

Zusammenfassung

Bewehrte Industrieböden aus Beton kommen immer dann zum Einsatz, wenn eine Rissbreitenbegrenzung allein mit Hilfe betontechnologischer Maßnahmen nicht mehr zielsicher gewährleistet werden kann. Gegenüber herkömmlichen konstruktiven Stahlbetonbauteilen des Hochbaus gebührt bei der Bemessung derartiger Platten der Lagerungsart – i. d. R. eine vollflächige elastische Bettung – besondere Aufmerksamkeit. Weiterhin müssen bei der Bemessung neben Eigengewichts- und Verkehrslasten insbesondere hygrische sowie thermische Belastungen gesondert berücksichtigt werden. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die Vorgehensweise bei der Bemessung von bewehrten Industrieböden. Dabei werden neben einer konventionellen schlaffen Bewehrung auch vorgespannte Platten und Platten mit einer Stahlfaserbewehrung sowie Kombinationen daraus betrachtet.

1 Allgemeines

Obwohl seit langer Zeit Erfahrungen vorliegen, sind Industrieböden aus Beton nach wie vor als Bauteile mit relativ hohem Schadenspotential zu betrachten.

Die hohen Erwartungen von Nutzern und Bauherren werden oft enttäuscht, wenn von Herstellern eigentlich unerfüllbare Ausschreibungs-Anforderungen wie z.B.

- absolute Ebenheit
- Rissfreiheit

nicht zurückgewiesen, sondern stillschweigend akzeptiert werden.

Tatsächlich ist es nach wie vor schwierig, einem Nutzer klarzumachen, dass Risse planmäßige Begleiterscheinungen der Betonbauweise sind und – zumindest bei Industrieböden – rissfreie Böden, z. B. bei der Dimensionierung von Auffangflächen für den Umweltschutz zwar herstellbar, aber nur mit einem hohen Aufwand an die Planung, die Dimensionierung und die Herstellung einschließlich der Nachbehandlung zu realisieren sind [1].

Realistisch ist es hingegen, bei großflächigen Industrieböden mit einem geringen Anteil von wartungsempfindlichen Fugen rissarme Hallen- und Freiflächen zu erzielen. Davon soll hier die Rede sein.

Bodenplatten, die als unterer Abschluss baulicher Anlagen Wand-, Stützen- oder Aussteifungslasten in den Baugrund abzutragen haben, sind im Sinne der baurechtlichen Anforderungen als standsicherheitsrelevant zu betrachten und müssen grundsätzlich nach den bauaufsichtlich eingeführten Regeln, insbesondere nach der DIN 1045-1 [2] bemessen werden. Dem gegenüber handelt es sich bei Böden, die der Lastverteilung von Punkt- oder Blocklasten aus

Lagergut oder aus Fahrzeugen dienen, um Bauteile mit geringerem Gefährdungspotential. Für ihre Bemessung existieren Richtlinien, z.B. das Merkblatt des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins e.V. „Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen“ [3].

Die nachfolgenden Ausführungen gelten i. W. der Dimensionierung von großflächigen, bewehrten Industrieböden.

2 Schichtaufbau, Anforderungen an den Untergrund

Angestrebt werden Böden mit

- ausreichender Belastbarkeit
- hoher Abriebfestigkeit
- einem hohen Maß an Ebenheit
- Beschränkung von Rissbreiten auf unschädliche Werte,
- ggf. Beständigkeit gegen Chemikalien

Bei der Bemessung sind insbesondere nachfolgende Lasten zu beachten:

- statische Punktlasten (Regale, Einbauten)
- statische Flächenlasten (Lagergut, Paletten)
- bewegliche Lasten (Gabelstapler, LKW, SLW)

Neben diesen mechanischen Einwirkungen sind Zwänge zu beachten

- aus dem Schwinden des Betons
- aus Temperaturdifferenzen und
- aus Setzungsunterschieden

Die Belastbarkeit hängt in hohem Maße von einem einwandfreien Untergrund ab. Er besteht in der Regel aus einem ausreichend verdichteten ggf. verbesserten Baugrund, einer mindestens 15 cm dicken

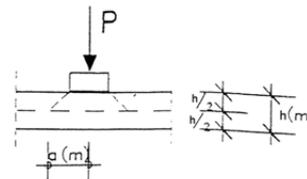
Tragschicht aus Kies, Schotter oder Mineralbeton, je nach der erforderlichen Belastbarkeit. Der Untergrund sollte gleichmäßig zusammengesetzt und gleichmäßig dicht gelagert sein, damit die Voraussetzungen für geringe Setzungen, vor allem aber für minimale Setzungsdifferenzen innerhalb der späteren Bodenfläche gegeben sind. Die erreichte Verdichtung des Untergrunds ist mit Hilfe des Proctor-Versuchs nachzuweisen. In aller Regel ist zur Festlegung der eventuell erforderlichen Verbesserungsmaßnahmen am Untergrund ein Baugrundsachverständiger einzuschalten, der auf der Grundlage ausreichender Aufschlüsse bei der Ausarbeitung der erforderlichen Maßnahmen beteiligt wird und auch vor Ort die notwendigen Kontrollen durchführt. Bei bewehrten Platten wird auf der Tragschicht der nach DIN 1045 erforderliche Unterbeton hergestellt. Im Sinne der Minimierung von Zwangbeanspruchungen aus der abfließenden Abbindewärme, aus Schwinden und aus wechselnden Temperaturen muss er geglättet und letztendlich mit einer reibungsmindernden Zwischenschicht belegt werden. Geeignet sind zwei Lagen ausreichend stabiler PE-Folie oder viskose Bitumenschichten. Näheres wird dazu in [1] ausgeführt.

3 Schnittkraftermittlung

Durch Einzel- oder begrenzte Flächenlasten beanspruchte Böden werden infolge des nachgiebigen Untergrundes auf Biegung beansprucht. Wegen der einfachen Handhabung wird zur Ermittlung der Schnittkräfte meistens das Bettungszifferverfahren angewandt. Die Größe der Biegemomente hängt dabei ab von der Biegesteifigkeit der Betonplatte, der Größe der Lastaufstandsfläche und der Nachgiebigkeit des Untergrundes. Grundlage des Bettungszifferverfahrens ist die Proportionalität zwischen Bodenpressung und Setzung an jedem Punkt der Fläche. Die Setzungen der Platten werden nur von der an der gleichen Stelle wirkenden Bodenpressung beeinflusst. Der Proportionalitätsfaktor, die sogenannte Bettungsziffer, ist ein Maß für die Federsteifigkeit des Untergrundes und wird entweder vom Bodengutachter angegeben oder auf der Grundlage der z.B. im Zuge einer geotechnischen Beurteilung ermittelten Steifeziffern rechnerisch abgeschätzt [4].

Übertriebene Genauigkeit bei der Ermittlung der Bettungsziffer ist nicht erforderlich, da sie in die Berechnung des Hilfswerts der elastischen Plattenlänge L unter der 4. Wurzel eingeht. Elastische Längen für Flächen aus Beton C20/25 mit üblichen Dicken sind in Abb. 1 angegeben. Zur Berücksichtigung von Dämmstoffen unter den Bodenplatten, z.B. bei Kühlhäusern, müssen die Festigkeitskennwerte der Dämmstoffe bekannt sein. Bei Verwendung von Schaumglas oder von extrudierten Polystyrol-Dämmstoffen ist der Einfluss auf die Federungsei-

genschaften des Untergrundes vernachlässigbar gering.



- a = Halbmesser der Aufstandsfläche
- l = $\sqrt[4]{\frac{E_B \cdot h^3}{12 \cdot k}}$ elastische Länge [m]
- E_B = E - Modul Beton [MN/m²]
- k = Bettungsziffer des Untergrundes [MN/m³]

Elastische Länge für C20/25				
h	k	Bettungsziffer [MN/m ³]		
		10	25	50
0.20		1.19	0.95	0.80
0.25		1.41	1.12	0.94
0.30		1.61	1.28	1.08

Abb. 1: Elastische Länge für verschiedene Plattendicken und Bettungsziffern

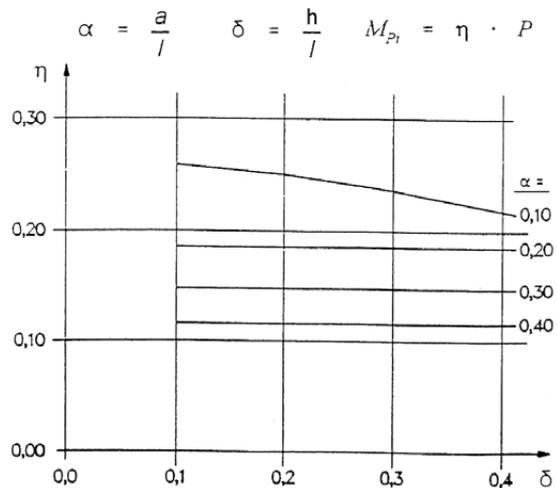


Abb. 2: Plattenmomente im Feld bei Belastung mit einer Einzellast

Für die Ermittlung von Schnittkräften aus Lasten werden in unserer heutigen EDV - geprägten Zeit weitgehend Programme nach der FE-Methode angewandt. Nach wie vor stehen dafür aber auch anschauliche Hilfsmittel in Form von Einflussflächen und Tabellen z.B. nach Stiglat/Wippel [4] zur Verfügung. In Abb. 2 (nach [5]) werden – ausreichend für Vordimensionierungen – die Plattenmomente aus einer Einzellast P im Innenbereich einer ausgedehnten Platte angegeben. Dabei versteht man unter dem Innenbereich Lasten mit Randabständen $> 6 h$.

Im Verhältnis zu den Momenten im Platteninneren kann die Größenordnung der Biegemomente für rand- oder ecknahe Laststellungen aus Abb. 3 ent-

nommen werden. Bei den Ermittlungen wurde eine Lastaufstandsfläche in Plattenmitte von ca. 50 x 50 cm zugrunde gelegt. Bei randnahen Laststellungen ist das entsprechende Biegemoment auf einer Breite von $b \sim 1,5 \times L$ zu berücksichtigen.

Für verdübelte Plattenränder wurden die Biegemomente anhand eines FE-Modells ermittelt. Die Dübelabstände wurden dabei mit 25 und 50 cm variiert. Auf die Biegemomente in den Platten, die in Abb. 4 angegeben sind hat dies nur geringen Einfluss. In Abhängigkeit von der Fugenbreite und von der Biegesteifigkeit und dem Abstand der Dübel werden etwa 35 % bis 45 % einer randnahen Einzelast über die verdübelte Fuge hinweg übertragen [6]. Bei üblichen Plattendicken bleibt die gegenseitige Beeinflussung benachbarter Lasten – z.B. Lkw-Achslasten – gering und kann bei einem Abstand $e > 2,0 L$ vernachlässigt werden. Eine Überlagerung des Einflusses kann für Vordimensionierungen z.B. mit Hilfe der Einflussfelder in [4] ermittelt werden.

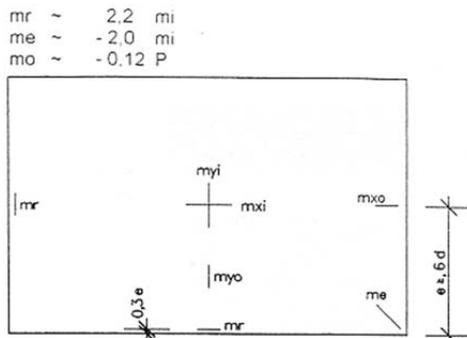


Abb. 3: Plattenmoment aus Einzelast (freie Fugenränder)

Auf der sicheren Seite liegend, kann der Einfluss einer zusätzlichen Radlast bei Gabelstaplern mit Radabständen von 1,20 m durch eine 20 %-ige Vergrößerung des Biegemoments aus der Einzelradlast berücksichtigt werden.

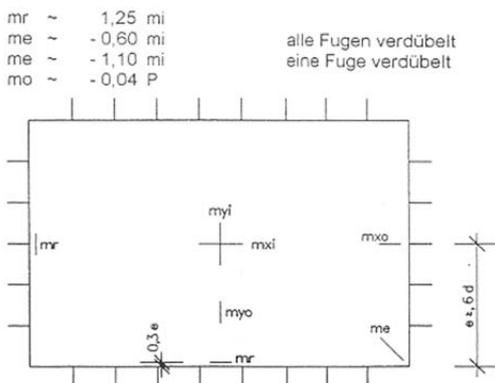


Abb. 4: Plattenmomente aus Einzelast (verdübelte Ränder)

3.1 Beanspruchungen aus Zwängen

Zwangbeanspruchungen in Bodenplatten ergeben sich

- als Längskräfte aus Reibungseinflüssen zwischen Betonsohle und Baugrund infolge Schwinden einschließlich der abfließenden Abbindewärme sowie aus temperaturbedingten Verformungen
- als Biegebeanspruchungen aus einem Temperaturgradienten, aus ungleichmäßigem Schwinden und aus aufgezwungenen Setzungen.

In der Richtlinie [1] sind charakteristische Temperaturverläufe in Abhängigkeit von der Plattendicke, von der Jahreszeit, der Tageszeit und vom Einfluss einer evtl. Beschattung in Diagrammform angegeben. Mit Hilfe dieser typischen Darstellung (Abb. 5) aus [1] lassen sich die einzelnen Anteile

- die lineare Plattenverkürzung oder –verlängerung
- der lineare Temperaturgradient ΔT_G zwischen Ober- und Unterseite
- der unterschiedliche nichtlineare Verlauf der Temperaturen ΔT_E zwischen Kern und Oberfläche

ermitteln.

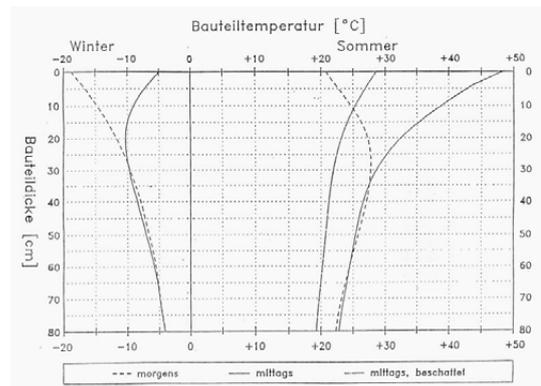


Abb. 5: Temperaturverlauf über die Plattendicke [1]

Die Reibungskräfte aus Plattenverlängerung oder aus Plattenverkürzung sind zu minimieren durch Anordnung der bereits erwähnten Gleitschichten.

Aus dem Temperaturgradienten ergeben sich Plattenverwölbungen und infolge der damit verbundenen Wirkung des Eigengewichts und sonstiger Auflasten Biegemomente und entsprechende Spannungen.

Bei Plattenausdehnungen $l > 33 \text{ h}$ (kritische Plattenlänge) führen im Sommerlastfall die allein durch das Platteneigengewicht verhinderten Aufwölbungen zu maximalen Biegespannungen von:

$$\sigma_{TG} = \pm E_{\text{Beton}} \cdot \alpha_t \cdot \frac{\Delta T_G}{2} \cdot 0,85$$

Mit dem Faktor 0,85 darf nach [1] der Abbau der Zwangsspannungen infolge Relaxation berücksichtigt werden. Der Größtwert für diesen Spannungsanteil ergibt sich im Sommerlastfall, mittags, ohne Beschattung. Die größten Betonzugspannungen treten dabei an der Plattenunterseite auf ($T_o > T_u$).

Die größten Betonzugspannungen an der Oberseite aus dem Temperaturgradienten ergeben sich

- im Sommerlastfall, morgens ($T_o < T_u$) oder
- im (maßgebenden) Winterlastfall, morgens ($T_o < T_u$).

Insbesondere bei Böden in überdeckten Räumen führt das zur Außenluft hin stärkere Schwinden des Betons zu Aufschüsselungen von Plattenrändern und entlang von Fugen. An einer kürzlich begutachteten Bodenfläche, die durch Schnittfugen in Einzelplatten von 6 x 8 m aufgeteilt war, haben wir an einzelnen

Plattenecken etwa 1 Jahr nach der Herstellung Hohlagelagen bis zu 10 mm festgestellt (Abb. 6). Kontrollmessungen nach 3 Jahren zeigten immer noch Aufschüsselungen von etwa 7 mm. Dies zeigt, dass bei etwa gleich bleibenden Feuchtigkeitsverhältnissen das Schüsseln, nicht wie verschiedentlich behauptet vollständig, sondern nur auf etwa 2/3 des ursprünglichen Maximalwertes zurückgeht.

Dies heißt jedoch auch, dass Punktlasten, die auf hochgeschüsselte Plattenbereiche einwirken, nicht elastisch gebettet werden. Die Biegespannungen aus einer Einzellast im Bereich der hochgeschüsselten Ecke erreichen im oben angesprochenen Fall etwa den 2,3-fachen Wert gegenüber der vollflächig gebetteten Platte (Abb. 7). Bemessung von bewehrten Böden

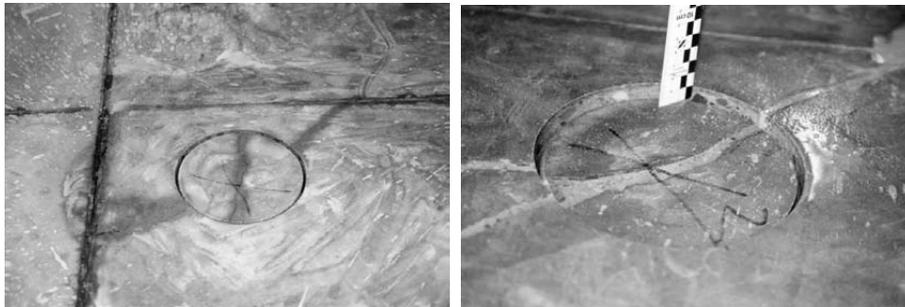


Abb. 6: Hohllage an Plattenecken durch Aufschüsselung

Rechnerische Untersuchungen

Lastfall 1:



System:

- Beton C30/37
- Elastisch gebettet ($C = 80 \text{ MN/m}^2$)
- Plattendicke 15 cm

Belastung:

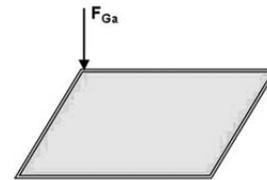
$\Delta t = 20^\circ$
Eigengewicht

Ergebnis:

- Rechnerische Eckhochwölbung $\approx 5,4 \text{ mm}$
- Maximale Zugspannung Plattenoberseite $\sigma_{\text{max}} = 3,52 \text{ N/mm}^2$

Rechnerische Untersuchungen

Lastfall 2:



System:

- Beton C30/37
- Elastisch gebettet ($C = 80 \text{ MN/m}^2$)
- Plattendicke 15 cm

Belastung 1:

$\Delta t = 20^\circ$
Gabelstapler 7 to, Radlast 32,5 kN in Plattenecke

=> Ergebnis:

Rechnerische Eckhochwölbung $\approx 5,4 \text{ mm}$
Maximale Zugspannung Plattenoberseite $\sigma_{\text{max}} = 3,66 \text{ N/mm}^2$

Belastung 2:

Gabelstapler 7 to, Radlast 32,5 kN in Plattenecke

=> Ergebnis:

Maximale Zugspannung Plattenoberseite $\sigma_{\text{max}} = 1,61 \text{ N/mm}^2$

Abb. 7 Einfluss von Randaufschüsselungen

4 Bemessung von bewehrten Böden

4.1 Anforderungen an die Dauerhaftigkeit

In der Vergangenheit wurde der Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen teilweise aus Nachlässigkeit, teilweise aber auch aufgrund unzureichender Regelungen zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. In der DIN 1045-1 wurde deshalb die Bedeutung der Dauerhaftigkeit auf eine Ebene mit der Standsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit gestellt.

Nach DIN 1045-1 finden

- Umwelteinwirkungen
- Chemische Einwirkungen
- Mechanische Beanspruchungen

ihren Niederschlag in Expositionsklassen, aus denen bereits der Planer Betoneigenschaften und – bei bewehrten Bauteilen – Betondeckungsmaße ableiten muss. Die Absicht, in DIN 1045-1 möglichst alles zu regeln, hat allerdings zu einer Unmenge von Kombinationen in Verbindung mit den unterschiedlichsten Bauteilen geführt. Dennoch blieben – wie in solchen Fällen üblich – viele Fragen nicht bzw. nicht ausreichend beantwortet.

Mit [7] wurde den Planern ein äußerst umfangreicher Katalog für die verschiedensten Bauteile und deren Beurteilung und Zuordnung hinsichtlich der Dauerhaftigkeit zur Verfügung gestellt.

Abb. 8 enthält die wesentlichen Anforderungen, die bei der Planung von Industrieböden zur Sicherstellung ausreichender Dauerhaftigkeit bereits bei der Planung beachtet werden müssen.

4.2 Mit Stab- oder Mattenstahl bewehrte Industrieböden

Flächig bewehrte ausgedehnte Platten sind nach den Regeln der DIN 1045-1 für den gerissenen Zustand II zu bemessen. Der Unterschied zu unbewehrten Platten zeigt sich bei Erreichen der zentrischen Zugfestigkeit oder der Biegezugfestigkeit. In diesem Moment wird die Bewehrung gefordert und muss die durch Rissbildung freigesetzte Zugkraft über den Rissquerschnitt hinweg auf kurzer Verbundlänge wieder in den Beton eintragen. Die Verbundeigenschaften zwischen Stahl und Beton und die Dehnung des Bewehrungsstahls sind dann die bestimmenden Parameter für die zu erwartende Rissbreite. Ziel von Maßnahmen zur Rissbreitenbegrenzung ist es, durch Bildung mehrerer Risse bei wirksam bleibenden äußeren Belastungen die Breite des Einzelrisses – gesteuert – gering zu halten und ein sogenanntes abgeschlossenes Rissbild zu erreichen. Dies ist nur möglich, wenn die Spannung im Bewehrungsstahl nicht schon bei der Bildung des ersten Risses die Streckgrenze erreicht. Der Nachweis der Rissbreitenbegrenzung ist nach DIN 1045, 11.2 für Beanspruchungen aus Lasten und für Beanspruchungen aus Zwangeinwirkungen zu führen:

spruchungen aus Lasten und für Beanspruchungen aus Zwangeinwirkungen zu führen:

- Bei erwarteter Rissbildung aus direkter Lastbeanspruchung ist nachzuweisen, dass die Grenzdurchmesser der Bewehrung in Abhängigkeit von der rechnerischen Stahlspannung nach DIN 1045 Tabelle 20 oder dass die Stababstände nach Tabelle 21 eingehalten werden.
- Der Gefahr der Rissbildung aus Zwangeinwirkung wird mit der Ermittlung einer Mindestbewehrung begegnet, die sich an der Risschnittgröße orientiert und im Bauteil zu Erstrissbildung führt.

Bei Bodenplatten entstehen die maßgebenden Zwänge meistens bereits zum Zeitpunkt des Abfließens der Abbindewärme, also bei üblichen Dicken von ca. 20 – 30 cm bereits nach 1 bis 2 Tagen, wenn der Prozess der Bauteilabkühlung auf Umgebungstemperatur einsetzt.

Ein Temperaturabfall von 20 K ist mit einer Verkürzung von 0,2 ‰ verbunden und würde bereits zur Rissbildung führen, da die ertragbare Grenzdehnung von Beton 0,1 ‰ nicht überschreitet. Deshalb ist es von großer Bedeutung, Zwänge, die zur Überschreitung der Grenzdehnung führen, zu minimieren. Genauso wichtig ist es, im Einzelfall zu überprüfen, ob die den vorgesehenen Mindestbewehrungen entsprechenden Zwangeinwirkungen überhaupt auftreten können.

Bei ausgedehnten Platten mit erhöhten Anforderungen an die Rissbeschränkung ist der Betontechnologie und einer sorgfältigen Nachbehandlung der gleiche Stellenwert einzuräumen wie der Ermittlung von Mindestbewehrungen.

Relativ einfach kann die erforderliche Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite nach der Gleichung (127) in DIN 1045-1 ermittelt werden:

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} \cdot \frac{1}{\sigma_s}$$

Setzt man für das Bauteil einen Beton C30/37 und zentrischen Zwang voraus, so ergibt sich daraus mit Hilfe der in DIN 1045-1 erläuterten Zusammenhänge

$$A_s = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 3,0 \cdot h \cdot 100 \cdot \frac{1}{\sigma_s}$$

Mit Hilfe der Grenzdurchmessertabelle 20 in DIN 1045-1 kann damit für späten zentrischen Zwang bei voll ausgebildeter Zugfestigkeit in Abhängigkeit vom gewählten Stabdurchmesser und einer angestrebten Rissbreite $w_k = 0,2$ mm eine einfache Beziehung für die erforderliche Mindestbewehrung in Abhängigkeit von der Plattendicke angegeben werden (Abb. 9).

		Karbonatisierung			Chloride			Frostangriff				chemische Angriffe			Verschleiß			Mindestdruckfestigkeitsklasse	Betondeckung			"Opferbeton"	
		XC			XD			XF				XA			XM				C _{min}	ΔC	C _{nom}		
		1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2		3	[mm]	[mm]		[mm]
1 Unterseite Bodenplatte																							
1.1	ohne Frost		X																C16/20	20	15	35	
1.2	ohne Frost, hoher Wassereindringwiderstand		X																C25/30 (wu)	20	15	35	
1.3	ohne Frost, schwacher chemischer Angriff		X										X						C25/30	20	15	35	
1.4	ohne Frost, mäßiger chemischer Angriff		X										X						C30/37(LP) C35/45	20	15	35	
1.5	ohne Frost, starker chemischer Angriff		X											X					C30/37(LP) C35/45	20	15	35	
2 Oberseite Industrieböden in offenen Hallen																							
2.1	mäßige Verschleißbeanspruchung luftbereifte Fahrzeuge; Reifendruck ≤ 6 bar			X													X		C25/30(LP) C30/37	20	15	35	+ 5
2.2	starke Verschleißbeanspruchung luftbereifte Gabelstapler Reifendruck > 6 bar oder vollgummibereifte Gabelstapler Kontaktpressung p ≤ 2 N/mm ²			X													X		C25/30(LP) ¹⁾ (C30/37 ¹⁾ C35/45	20	15	35	+ 10
2.3	sehr starke Verschleißbeanspruchung elastomerbereifte Gabelstapler Kontaktpressung p ≤ 4 N/mm ²			X													X		C30/37(LP) C35/45	20	15	35	+ 15
3 Oberseite Industrieböden im Freien																							
3.1	Einzellasten, Radlasten > 150 kN, 2 N/mm ² < Kontaktpressung p < 7 N/mm ²			X			X			X									C30/37(LP)	40	15	55	
3.2	mäßige Verschleißbeanspruchung luftbereifte Fahrzeuge; Reifendruck ≤ 6 bar			X			X			X							X		C30/37(LP)	40	15	55	+ 5
3.3	starke Verschleißbeanspruchung luftbereifte Gabelstapler Reifendruck > 6 bar oder vollgummibereifte Gabelstapler Kontaktpressung p ≤ 2 N/mm ²			X			X			X							X		C30/37(LP)	40	15	55	+ 10
3.4	sehr starke Verschleißbeanspruchung elastomerbereifte Gabelstapler Kontaktpressung p ≤ 4 N/mm ²			X			X			X							X		C30/37(LP)	40	15	55	+ 15
1) zusätzliche Anforderungen an Zuschläge oder Oberflächenbehandlung notwendig, z.B. Flügelglätten																							

Abb. 8: Dauerhaftigkeitsanforderungen an bewehrte Industrieböden

Grenzdurchmesser [mm]	σ _s [N/mm ²]	A _{s min} [cm ² /m]
8	300	0,80 x h [cm]
10	270	0,90 x h [cm]
12	250	0,95 x h [cm]
4	232	1,05 x h [cm]
16	216	1,10 x h [cm]

Abb. 9: Mindestbewehrung für zentrischen Zwang im späten Betonalter für w_k = 0,2 mm

Für den in der Bemessungspraxis oft ohne weitere Überlegungen als maßgebend eingestuft Nachweis einer Mindestbewehrung zur Berücksichtigung der Rissbildung infolge abfließender Abbindewärme wird in der Regel vereinfachend vorausgesetzt, dass

die Reißgefahr bei etwa 50 % der planmäßigen Endzugfestigkeit auftritt.

Unter dieser Voraussetzung ergibt sich der Bedarf an Mindestbewehrung bei Beachtung der veränderten Verbundeigenschaften aus Abb. 10.

mod. Grenzdurchmesser d _s [mm]	Grenzdurchmesser d _s * [mm]	σ _s [N/mm ²]	A _{s min} [cm ² /m]
8	16	216	0,55 x h [cm]
10	20	192	0,63 x h [cm]
12	24	176	0,70 x h [cm]
14	28	160	0,75 x h [cm]

Abb. 10: Mindestbewehrung für frühen Zwang aus abfließender Abbindewärme für w_k = 0,2 mm

Wenn eine Rissbreite w_k = 0,3 mm angestrebt wird, können die tabellierten Anhaltswerte A_{s min} für w_k = 0,2 mm i. M. um ca. 20 % reduziert werden.

Durch Rissbildung werden Zwänge abgebaut. Aus diesem Grund führen Zwangseinwirkungen in der Regel nicht zum abgeschlossenen Rissbild. Deshalb darf bei gleichzeitigem Auftreten von Beanspruchungen aus Lasten und aus Zwängen auf deren Überlagerung verzichtet werden, wenn die Zwangdehnung geringer bleibt als 0,8 ‰.

Bei ausgedehnten Bodenplatten, bei denen die Verkürzungen aus Schwinden und aus Temperaturdifferenzen durch reibungsmindernde Maßnahmen und durch Vermeidung von Festpunkten an Stützen o. ä. weitgehend unbeeinflusst bleiben, ist die Ermittlung der Bewehrung für den Lastfall abfließende Abbindewärme i. a. ausreichend.

Es sind aber durchaus Fälle denkbar, z.B. bei Bodenplatten mit schweren Lagerlasten oder bei nicht vermeidbarem kraftschlüssigem Kontakt mit aufgehenden Bauteilen, in denen später Zwang bei voll ausgebildeter Zugfestigkeit berücksichtigt werden muss. Dabei kann allerdings in Anspruch genommen werden, dass langsam anwachsende Spannungen aus Schwinden durch das Kriechen des Betons wieder abgebaut werden und dass bei Bauteilen mit unmittelbarem Kontakt zum Untergrund Schwindvorgänge erheblich reduziert ablaufen.

4.3 Vorgespannte Industriebodenplatten

Bei besonders hohen Ansprüchen an die Rissfreiheit, z.B. bei Böden mit WHG-Anforderungen, kann die Rissgefahr wirksam durch die Anwendung der Vorspannung reduziert werden. Zur Anwendung kommen fast ausschließlich im Herstellerwerk vorkonfektionierte Monolitzen, die mittig verlegt und für eine Vorspannung des Betons von etwa 2 N/mm² dimensioniert werden. Vorteilhaft anzuwenden sind die Bemessungsregeln für teilweise Vorspannung, wobei die Abtragung von Beanspruchungen aus Lasteinwirkungen weitgehend der schlaffen Bewehrung zugewiesen werden kann.

4.4 Stahlfaserbewehrte Industriebodenflächen

Hinsichtlich seines Trag- und Verformungsverhaltens ist Stahlfaserbeton zwischen unbewehrtem Beton und Stahlbeton einzugliedern. Im Gegensatz zum unbewehrten Beton können Stahl- oder Kunststofffasern auch nach der Rissbildung über die Risse hinweg Zugkräfte übertragen, die Duktilität des Betons wird so verbessert. Bei zugbeanspruchten Bauteilen ist es jedoch kaum möglich, allein durch Stahlfaserezugabe dafür zu sorgen, dass die bei der Rissbildung freigesetzten Zugkräfte von den Stahlfasern aufgenommen werden, wie man dies vom Stahlbeton gewohnt ist. Als Mindestbewehrung wären dafür Stahlfasergehalte erforderlich, die weit über den praktisch verarbeitbaren Mengen von 60 – 70 kg/m³ liegen. Im Gegensatz zu zugbeanspruchten Bauteilen ist es bei biegebeanspruchten Querschnitten aber möglich, die im Moment der Rissbildung frei-

werdenden Zugkräfte aufzunehmen, wenn der Stahlfaserbeton die erforderliche „Leistungsfähigkeit“ aufweist. Ein befriedigendes Verhalten von Stahlfaserbeton kann allerdings nur erwartet werden, wenn zur Aufnahme von Biegemomenten nur eine vergleichsweise geringe Bewehrung erforderlich wäre. Dementsprechend eingeschränkt ist die Anwendung von reinem Stahlfaserbeton. Bei statisch relevanten Bauteilen, bei denen die Tragfähigkeit im Vordergrund steht, wird auch künftig immer eine Mischbewehrung aus Stab- bzw. Mattenstählen und aus Stahlfasern erforderlich sein.

Als Grundlage für die Bemessung von Bauteilen aus Stahlfaserbeton liegt seit 2001 das DBV-Merkblatt „Stahlfaserbeton“ vor [8]. Daraus entstand eine Richtlinie, die durch den Deutschen Ausschuss für Stahlbeton erarbeitet wurde [9]. Nach den Vorstellungen des DAfStb soll sie bald bauaufsichtlich eingeführt werden. Solange dieses Ziel nicht erreicht ist, muss für Bauteile aus Stahlfaserbeton mit statisch relevanter Funktion eine Zustimmung im Einzelfall oder eine bauaufsichtliche Zulassung beantragt werden.

Auf das Verhalten des ungerissenen Betons haben Stahlfasern kaum nennenswerten Einfluss. Entgegen mancher Aussage in Firmenprospekten werden die Zugfestigkeit und die Biegezugfestigkeit des Betons nicht erhöht. Auch das Schwinden und die Kriecheigenschaften werden durch die Fasern kaum beeinflusst. Verringert wird allerdings die Rissneigung des Betons durch ein „Vernähen“ von Mikrorissen.

Ziel der DAfStb-Richtlinie ist es, Stahlfaserbeton mit unterschiedlichen Fasertypen und mit unterschiedlichen Fasergehalten so zu regeln, dass er als Baustoff künftig nach den Erfordernissen der Bemessung bei einem Betonwerk bestellt werden kann.

Um diese Möglichkeit zu eröffnen, werden Stahlfaserbetone künftig durch die Einführung von „Stahlfaserbeton-Leistungsklassen“ unterschieden. Das wesentliche Merkmal des Stahlfaserbetons ist in diesem Zusammenhang die „Äquivalente Zugfestigkeit“ bzw. die „Äquivalente Biegezugfestigkeit“. Dieses Nachrissverhalten, das den wesentlichen Unterschied zu unbewehrtem Beton beschreibt, zeigt sich an der σ - ϵ -Linie für Stahlfaserbeton:

Nach Überschreiten der Zugfestigkeit bzw. der Biegezugfestigkeit werden mit Hilfe der Stahlfasern über den Riss hinweg Zugkräfte übertragen. Die Tragfähigkeit ist erschöpft, wenn die Fasern aus der Betonmatrix herausgezogen werden oder wenn sie reißen.

Bis zum Versagen stabilisiert sich die übertragbare Zugkraft auf einem etwa gleichmäßigen Niveau, dessen Höhe in Relation zur Zugfestigkeit vom Stahlfasergehalt abhängt. Man unterscheidet dabei das Verhalten bei überkritischem, kritischem und unter-

kritischem Fasergehalt. Bei zentrischem Zug erfordert der kritische Fasergehalt (übertragbare Zugkraft im Riss etwa auf Höhe der Zugfestigkeitsgrenze des Betons) ca. $100 \div 150 \text{ kg/m}^3$ an Fasern. Schon we-

gen der Verarbeitbarkeit werden deshalb in aller Regel unterkritische Fasergehalte eingesetzt (Abb. 11).

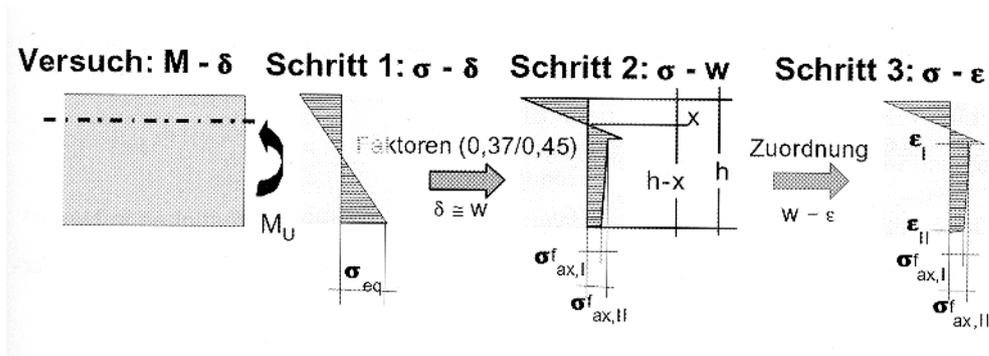


Abb. 11: Ermittlung der $\sigma - \epsilon$ -Beziehung aus Biegezugversuchen (Schrittfolgen) [10]

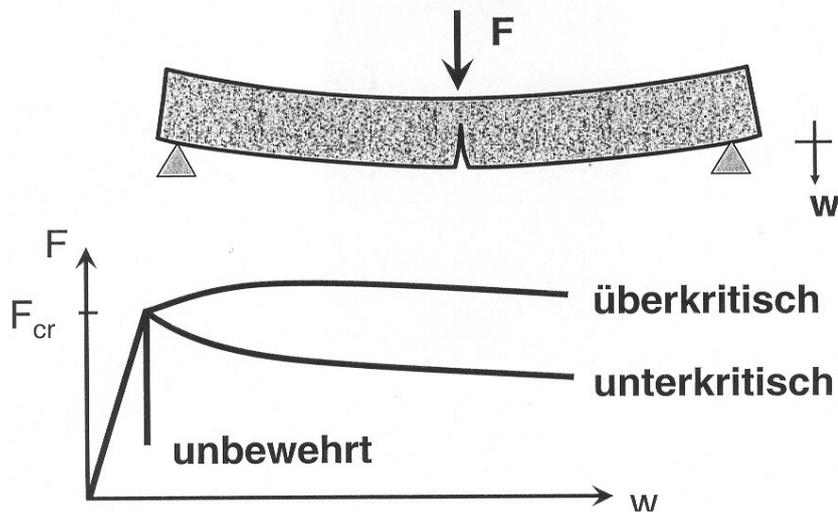


Abb. 12: Last – Verformungsbeziehung unbewehrter Beton / Stahlfaserbeton

Derart bewehrte Bauteile unter Biegebeanspruchung erzeugen in der Regel nach dem Übergang in Zustand II nur einen einzelnen Riss. Zur Bildung von Folgerissen wären überkritische Fasergehalte erforderlich. Nach der Rissbildung wirken die Fasern wie eine in unterschiedlichen Höhenlagen verteilte Bewehrung. Bei ausreichendem Fasergehalt bleibt das Spannungsplateau bis zum Bruch etwa auf gleicher Höhe. Am Last-Verformungsdiagramm stellt die Fläche unter dem Plateau des Nachrissbereichs das Arbeitsvermögen der Fasern dar (Abb. 12).

Anders als am Balken zeigt sich die Wirkung von Stahlfasern bei innerlich statisch unbestimmten Bodenplatten, wenn die Schnittkräfte unter Lasteinwirkung nicht nach der Elastizitätstheorie, sondern nach plastischen Bemessungsverfahren berechnet werden. Das Nachweisformat dafür enthält z.B. die DAFStb-Richtlinie. Auch wenn die praktische Handhabung der Inhalte dieser Richtlinie nicht zu den einfachen Bemessungsaufgaben gehört, ist es wich-

tig, dass die Regeln konsequent angewendet werden, da bei der bisherigen Anwendung des Baustoffes Stahlfaserbeton in der Praxis, insbesondere bei der Planung und der Herstellung von Industrieböden, von den Anbietern oft Eigenschaften versprochen wurden, die der Baustoff einfach nicht erfüllen kann. Die Nachrisszugfestigkeit wird bei Industrieböden zielsicher aktiviert, wenn dem Beton eine Stahlfasermindstmenge von $30 - 35 \text{ kg/m}^3$ zugemischt wird. Die Erfahrungen aus Gutachtertätigkeit zeigen aber eher, dass Fasergehalte von weniger als 20 kg/m^3 angeboten und in Wirklichkeit oft noch weniger Fasern eingebaut werden. In vielen Fällen beruht die tatsächliche Funktionsfähigkeit von stahlfaserbewehrten Böden auf einer hohen Betonzugfestigkeit, nicht aber auf der Wirkung der Fasern.

In den zurückliegenden 10 Jahren hat sich – bei gebremster Baukonjunktur – der Verbrauch an Stahlfasern um mehr als 60 % erhöht, wobei etwa 70 %

des erzeugten Stahlfaserbetons für die Herstellung von Industrieböden verwendet wurde.

Diese Entwicklung wurde natürlich gefördert durch den Wirtschaftlichkeitsaspekt, dass bei der Herstellung von Stahlfaserbeton-Böden die Bewehrung durch einfache Art und Weise zugemischt und nicht aufwendig vor Ort in der planmäßigen Lage eingebaut werden muss.

Man kommt aber an der Tatsache nicht vorbei, dass eine 20 cm dicke Bodenplatte, bewehrt mit 2 Lagen Q 513 (entspricht 80 kg/m^3) hinsichtlich der Fähigkeit, Zugkräfte oder Biegemomente abzutragen, bedeutend leistungsfähiger sein muss, als eine Platte gleicher Dicke, die mit 30 kg/m^3 stochastisch verteilter Stahlfasern bewehrt wird.

Insofern bietet es sich an, bei Böden, die man aufgrund der abzutragenden Einzel- oder Blocklas-

ten mit Stab- oder Mattenstahl bewehren würde, nur die einfach zu verlegende untere Bewehrung einzubauen und anstelle der oberen Bewehrung dem Beton etwa $25 - 30 \text{ kg/m}^3$ an Fasern beizumischen (Abb. 13).

Wegen der damit etwas verminderten Fähigkeit, die Breite von Rissen zu beschränken, wird man in einer solchen Platte im Abstand von etwa $10 - 15 \text{ m}$ Sollbruchfugen zur Entspannung einschneiden. Die Querkraftübertragung an den damit verbundenen Trennrissen wird der durchlaufenden unteren Bewehrung und den Fasern, die den Riss kreuzen, zugewiesen. Im Nachweis der Rissbreitenbeschränkung darf der positive Einfluss der Stahlfasern entsprechend [9] berücksichtigt werden.

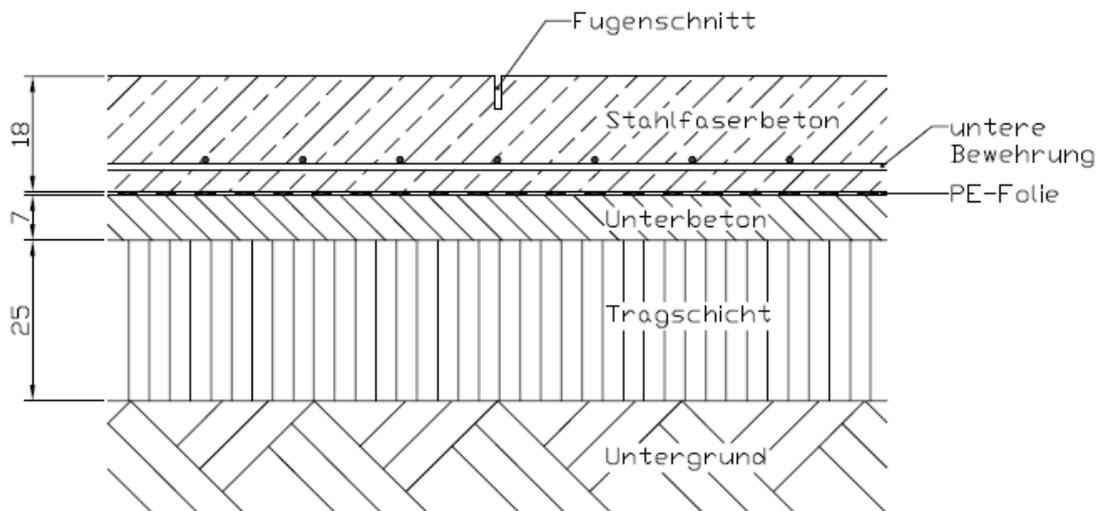


Abb. 13: Vorschlag für einen Industrieboden mit Kombibewehrung

5 Zusammenfassung

Hinweise zur Konstruktion und zur Ausführung

Bei hohen Punkt- und Flächenlasten, bei Lkw- oder Staplerverkehr und bei kritischen Untergründen ist der Einsatz von bewehrten Stahlbetonböden angezeigt.

Solche Böden können grundsätzlich großflächig mit einem geringen Anteil an wartungsbedürftigen Fugen hergestellt werden.

Die Unterseite ausgedehnter Bodenflächen sollte möglichst eben sein, damit Verzahnungen mit dem Untergrund weitgehend vermieden werden. Rinnen oder Gruben sollten möglichst mittig in einer Fläche angeordnet werden.

Zur Minimierung von Zwängen aus Schwinden oder Temperaturdifferenzen sind zwischen einem geglätteten Unterbeton zur Reibungsminderung z.B. zwei Lagen fester PE-Folie oder geeignete bituminö-

se Schichten zu verlegen. Alternativ sind grundsätzlich auch Unterlagen aus einer rolligen aber festen 6 cm dicken Sandschicht mit Schutzfolie möglich.

Nach [3] und [11] ist für bewehrte Böden eine Minstdicke $d = 16 \text{ cm}$ vorzusehen. Es ist zu empfehlen, bei Gabelstaplerbetrieb und schweren Punktlasten Plattendicken von $d > 20 \text{ cm}$ zu wählen.

Zur Ermittlung von Schnittgrößen aus Punkt- und Blocklasten kann das Bettungszifferverfahren gewählt werden.

Der Einfluss nicht gebetteter aufgeschüsselter Randbereiche ist bei der Schnittgrößenermittlung und der Bemessung zu berücksichtigen. In [12] hat sich Foos ausführlich mit den hygrischen Beanspruchungen von Industriebodenflächen auseinandergesetzt und Vorschläge für die Minimierung der Auswirkungen ausgearbeitet.

Es wird empfohlen, bei Gabelstaplerverkehr die maßgebenden Gesamtlasten mit einem Schwingbeiwert $\phi = 1,20$ zu beaufschlagen.

Bei der Bemessung nach DIN 1045-1 sind Ermüdungsnachweise dann zu führen, wenn z. B. in Fahrbereichen von Gabelstaplern ermüdungsrelevante Lastspielzahlen innerhalb einer Nutzungsdauer von 10 Jahren zu erwarten sind.

Wenn Zwangsbeanspruchungen i. W. aus Schwinden und Temperaturdifferenzen entstehen können, müssen Zwang- und Lastschnittgrößen im Rissnachweis nicht überlagert werden.

Bei der Festlegung von Mindestbewehrungen sind die Zwang auslösenden Randbedingungen ausreichend zu analysieren. Bei üblichen Industrieböden kann die Mindestbewehrung für den Lastfall abfließende Abbindewärme ermittelt werden. Falls keine weitergehenden Anforderungen z.B. nach WHG gestellt werden, sollte die Mindestbewehrung in geschlossenen Hallen für $w_k = 0,30$ mm, in Freiflächen für $w_k = 0,20$ mm entworfen werden.

An größeren Toröffnungen sollte aufgrund der Einflüsse aus tiefen Temperaturen oder aus Sonneneinstrahlung die Mindestbewehrung angehoben werden. Risse an solchen Stellen sind häufig zu beobachten.

Im Hinblick auf die bei der Bemessung gewählte rissbreitenbeschränkende Bewehrung ist bei der Wahl der Betonrezeptur darauf zu achten, dass keine gravierenden Überfestigkeiten eintreten.

Sorgfältige Nachbehandlung, Vakuumbehandlung und ggf. Hartkorneinstreuung fördern die angestrebte Dauerhaftigkeit und die Oberflächendichtigkeit. Ein niedriger w / z – Wert reduziert die Schwindverkürzungen und erhöht die Dichtigkeit des Betons. Beim Einbau der unteren Bewehrung ist zu beachten, dass keine durchgehenden linienförmigen Abstandhalter aus Kunststoff eingebaut werden, da sie Kerben bilden und die Rissgefahr vergrößern. Die Angaben im DBV-Merkblatt „Abstandhalter“ sind zu beachten.

Eine geeignete Ausführung bei Fugenabständen von 10 – 15 m ist die Anwendung von Stahlfaserbeton in Verbindung mit einer unteren Bewehrungslage aus Stab- oder Mattenstahl. Faserzugabe verbessert die Duktilität und führt bei ausreichendem Fasergehalt (etwa 30 kg/m³) zu einer Verringerung von Rissbreiten. Bei der Ermittlung der Flächenbewehrung darf bei solchen Böden der Fasereinfluss in Abzug gebracht werden.

Fugen müssen ausreichend tief (ca. 1/3 h) und zum frühestmöglichen Zeitpunkt eingeschnitten werden.

Risse haben meistens ihren Ursprung an Kerben, Kiesnestern oder einspringenden Ecken. Auch ihre Breite kann im Einzelfall durchaus abweichen vom rechnerisch angestrebten Wert.

Realistische Bauherren müssen zur Kenntnis nehmen, dass Bauteile aus Beton, aus Stahlbeton oder aus Stahlfaserbeton reißen können.

Hersteller von Industrieböden müssen bei der Abgabe von Angeboten bzw. vor Auftragserteilung darauf achten, dass sie nicht leichtfertig Forderungen akzeptieren, die realistischweise nicht erfüllbar sind.

6 Literatur

[1] DAFStb:Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Teile 1 - 3, Ausgabe 10/2004

[2] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton Teil 1: Bemessung und Konstruktion Beuth Verlag, Berlin, 2001

[3] DBV-Merkblatt „Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen, Fassung Nov. 2004;Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin 2005

[4] Stiglat, K. und Wippel, H.: Platten, 3. Auflage 1983, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin

[5] DOW Vertriebsges. mbH, Wärmedämmung für belastete Flächen, Frankfurt, 1989

[6] Steiner, J.: Statische und konstruktive Planung von Industrieböden;BmK, Bauen mit Kunststoffen und neuen Baustoffen, Heft 5/91, IBK Darmstadt

[7] Bauteilkatalog: Planungshilfe für dauerhafte Betonbauteile nach der neuen Normgeneration;5. überarbeitete Auflage, Beton-Marketing Deutschland GmbH, Erkrath

[8] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (DBV):Merkblatt „Stahlfaserbeton“, Oktober 2001

[9] Deutscher Ausschuß für Stahlbeton (DAfStb):Richtlinie „Stahlfaserbeton“ (22. Entwurf), Ergänzung zu DIN 1045, Teile 1 ÷ 4, November 2005

[10] Schnütgen,B.: Tragwerksplanung von Bauwerken und Bauteilen aus Stahlfaserbeton, Tagungsbericht 30 zur Arbeitstagung 2002 in Freudenstadt; Landesvereinigung der Prüffingenieure für Baustatik in Baden-Württemberg

[11] Stenzel, G.: Industriefußböden; Betonkalender 2006, Kap. XVII, S. 265 ÷ 287

[12] Foos, S.: Unbewehrte Betonfahrbahnplatten unter witterungsbedingten Beanspruchungen; Dissertation an der Universität Karlsruhe (TH), 2006 Schriftenreihe des Instituts für Massivbau, Heft 56, 2006

Ausführung – Einbauplanung und Technik sowie neue Erkenntnisse zur Oberflächenbearbeitung bei LP-Betonen

Jörg-Peter Wagner und Andreas Reichertz

Zusammenfassung

Für eine erfolgreiche Ausführung von Industrieböden ist es wichtig, dass ausgehend von den Anforderungen des Bauherrn, der Planer, der Betonlieferant und der Bauausführende gemeinsam die optimale Lösung für den zu erstellenden Industriefußboden erarbeiten. Für den Ausführenden ist eine umfassende Planung der Ausführung ein wesentlicher Baustein für den geschuldeten Erfolg. Bei dieser Planung sind Einflüsse aus der Bauteilgeometrie genauso zu berücksichtigen wie dargestellte Einflüsse aus der eingesetzten Verarbeitungstechnik für den Beton.

1 Allgemeines

Für den Bau von Straßen, Flugflächen, aber auch im Industriebau werden besondere Betoneigenschaften gefordert. Die hergestellten Bauteile müssen oftmals einen hohen Widerstand gegen Frost- und Tausalzangriff aufweisen, einer hohen Verschleißbelastung Widerstand leisten und zudem noch erhöhten Ebenheitsanforderung genügen. Erschwerend kann noch ein chemischer Angriff aus dem Baugrund, oder auch aus der späteren Nutzung heraus, hinzukommen (Dieser Sonderfall soll in den nachfolgenden Überlegungen nicht betrachtet werden).

In der Praxis stellt es sich zunehmend schwierig dar, alle benötigten Bauteileigenschaften durch ein einzelnes System oder einen einzigen Baustoff, wie z.B. eine Ortbetonbodenplatte ohne weitere Verschleißschichten, zu erreichen. Es hat sich daher als sinnvoll erwiesen, neben der Lastabtragung, insbesondere die Gebrauchstauglichkeit in den Vordergrund der Überlegungen zu stellen.

Dazu müssen Schichten mit unterschiedlichen Funktionen betrachtet werden. Der Untergrund (Baugrund) hat im Wesentlichen lastabtragende Funktion und ist entsprechend sorgfältig einzubauen und zu prüfen, bzw. entsprechend den benötigten Anforderungen zu verbessern. Weiterhin wäre die Trag- und eine ggf. vorhandene Nuttschicht zu nennen. Dies können z.B. Industrieestriche oder Beschichtungssysteme sein. Unter gewissen Umständen kann sowohl die Trag- als auch die Nutzfunktion durch den Baustoff Beton abgedeckt werden.

Nachfolgend wird über die Auswirkungen einzelner Parameter wie z.B. die Betonförderung oder die Art der Oberflächenbearbeitung auf einzelne Aspekte der Gebrauchstauglichkeit, wie z.B. die Frost- und Tausalzbeständigkeit berichtet werden.

2 Planung der Ausführung

2.1 Allgemeines

Beton, der besonders starker mechanischer Beanspruchung ausgesetzt wird, muss einen hohen Verschleißwiderstand aufweisen. Hierfür ist eine sorgfältige Planung unerlässlich. Die nachfolgend aufgezählten Randbedingungen haben in der Regel den größten Einfluss, sie können aber üblicherweise nur eingeschränkt beeinflusst werden. Eine Wertung einzelner Betoneigenschaften ist daher vorzunehmen um dann einen ausführbaren Kompromiss hinsichtlich aller Eigenschaften finden zu können.

- normative Vorgaben, wie z.B. Anforderungen an Dauerhaftigkeit und Standsicherheit
- Bauteilabmessungen
- Bauverfahren
- Betonierkonzept und Verarbeitbarkeitseigenschaften des Frischbetons
- Wirtschaftlichkeit
- Verfügbarkeit von Ausgangsstoffen

Weiterhin sind die Möglichkeiten zur Nachbehandlung zu prüfen. Unter Umständen können besondere Verfahren zum Nachweis der Nachbehandlungsdauer erforderlich werden.

2.2 Normative Anforderungen

2.2.1 Mechanische Beanspruchung

Eine Verschleißbeanspruchung kann z.B. durch schleifenden und rollenden Verkehr (z. B. auf Fahrbahn-, Hallenböden), durch rutschendes Schüttgut (z.B. in Silos), durch stoßartige Bewegungen von schweren Gegenständen (z. B. Werkstätten, Verladerrampen) oder durch stark strömendes und Feststoffe führendes Wasser hervorgerufen werden.

In der DIN 1045 –1 [8] wird die Verschleißbeanspruchung in 3 Expositionsklassen unterteilt. Die Unterteilung erfolgt – vereinfacht dargestellt – in mechanische Angriffe auf eine Betonoberfläche durch luftbereifte (XM1), gummibereifte (XM2) und stahlrollenbereifte (XM3) Fahrzeuge. Eine direkte messbare Verschleißgröße, die eine exakte Einteilung ermöglicht, ist nicht definiert

Tab. 1: Klasseneinteilung "Verschleißbeanspruchung" gem. DIN 1045-1 [8]

Klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiel für die Zuordnung von Expositionsklassen
XM1	mäßige Verschleißbeanspruchung	Bauteile von Industrieanlagen mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge
XM2	starke Verschleißbeanspruchung	Bauteile von Industrieanlagen mit Beanspruchung durch luft- oder vollgummibereifte Gabelstapler
XM3	sehr starke Verschleißbeanspruchung	Bauteile von Industrieanlagen mit Beanspruchung durch elastomerebereifte oder stahlrollenbereifte Gabelstapler, Wasserbauwerke in geschlebebelasteten Gewässern, z.B. Tosbecken, Bauteile, die häufig mit Kettenfahrzeugen befahren werden.

Bei schleifender Beanspruchung können feinkörnige Betonbestandteile – abhängig von der Reibung und Rauigkeit der Berührungsf lächen – herausgerissen werden. Diese Beanspruchung führt zu einem Abtrag der Oberfläche.

Eine rollende Beanspruchung (Polieren) durch Fahrbetrieb mit gummibereiften Rädern (weich) bzw. mit Kunststoffreifen (hart) bewirkt eine Schädigung der Zementsteinmatrix und kann zum Herauslösen der groben Gesteinskörner führen.

Eine schlagende Beanspruchung wird durch den Anprall eines Gegenstands auf die Betonoberfläche verursacht. Dabei wird der weichere Zementstein angegriffen, die Gesteinskörner werden allmählich freigelegt und schließlich aus ihrer Einbettung herausgelöst.

Je nach Beanspruchungsart wird der Verschleißwiderstand eines Betons von den Eigenschaften der Gesteinskörnung (Art u. Korngröße), des Zementsteins und des Verbundes zwischen Zementstein und Gesteinskörnung bestimmt.

Da der Zementstein i. d. R. eine geringere Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung

aufweist als die Gesteinskörnung, soll die Zementleimenge bzw. der Mörtelanteil möglichst gering gehalten werden. Ferner muss der Beton so zusammengesetzt werden, dass er nicht zum Wasserabsondern (Bluten) neigt.

Aufgrund der teilweise fehlenden normativen Vorgaben ist eine intensive Abstimmung über die geplante Nutzung und das auszuführende System zwischen dem Bauherrn, dem Planer und dem Ausführenden zwingend erforderlich.

2.2.2 Beton mit hohem Frost- und Tausalz-widerstand

Beton, der im durchfeuchteten Zustand häufigen und schroffen Frost- / Tauwech-seln ausgesetzt ist, muss einen hohen Frostwiderstand aufweisen. Wirken parallel dazu Taumittel (z.B. Tausalz, Harnstoff etc.) auf die Betonoberfläche, so muss der Beton einen hohen Widerstand gegen Frost- und Taumittel aufweisen.

Der Phasenübergang von Wasser in Eis ist mit einer Volumenvergrößerung (ca. 9 Vol. %) verbunden. Gefriert Wasser in den wassergesättigten Kapillarporen des Zementsteins oder im Porensystem der Zuschläge, so tritt ein Kristallisationsdruck auf, der umso größer ist, je schneller das Porenwasser gefriert. Überschreitet dieser Frostdruck die Festigkeit der Zuschläge oder des Zementsteines, so wird das jeweilige Gefüge zerstört.

Aufgrund der unterschiedlich ausgeprägten Kapillarporenradien gefriert das dort eingelagerte Wasser mit abnehmendem Porenradius über einen Temperaturbereich von 0 bis -20°C. Das gefrierende Wasser in den kleinen Poren erzeugt einen hohen Kristallisationsdruck, der nicht abgebaut werden kann, weil Eis in den großen Poren eine Volumenausdehnung verhindert. Bei zusätzlicher Beanspruchung durch Tausalze (Frost-Taumittelangriff) ergibt sich ein Temperaturschock auf die Betonoberfläche. Dieser resultiert aus dem plötzlichen Wärmeentzug durch das Auftauen einer Eisfläche auf der Betonoberfläche. Der dabei entstehende Frostdruck ist wesentlich höher als bei reiner Frostbeanspruchung.

Zur Reduktion des Frostdruckes in wassergefüllten Kapillaren werden künstliche Luftporen (Luftporenbildner) in das Betongefüge eingebracht. Diese Luftporen reduzieren zum einen das kapillare Saugvermögen durch Aufweitung der Kapillare, zum anderen wird ein Luftraum zur Expansion des Eises geschaffen. Die künstlich eingefügten Luftporen werden in Größe und Abstand als statistisch verteilt angesehen.

Die nachfolgend aufgeführten Grundanforderungen sind in Abhängigkeit von der festgelegten Expositionsklasse einzuhalten. Diese Anforderungen sind in der Regel höher als nach DIN 1045, Ausgabe 88.

Tab. 2: Anforderungen an Beton mit hohem Frost- bzw. Frost-Taumittelwiderstand mit künstlich eingeführten Luftporen

Expositionsklasse	XF2	XF3	XF4
max. w/z	0,55	0,55	0,50
Mindestdruckfestigkeitsklasse	C25/30	C25/30	C30/37
Mindestzementgehalt kg/m ³	300 ¹⁾	300 ²⁾	320 ¹⁾
Luftporengehalt durch Luftporenbildner	in Abhängigkeit vom Größtkorn 3,5 % bis 5,5 %		
Zusätzliche Anforderungen an Gesteinskörnungen	M ₂₅	F ₂	M ₁₈

¹⁾ Anrechnung von Zusatzstoffen nicht erlaubt

²⁾ Anrechnung von Zusatzstoffen möglich

Falls chloridhaltige Taumittel verwendet werden, (das ist die Regel) sind zusätzlich die Expositions-klassen XD (Bewehrungskorrosion) verursacht durch Chloride, zu beachten.

2.3 Konstruktion des Bauteil, bzw. Bauwerk

Aus den konstruktiven Vorgaben des Bauwerkes ergeben sich vielfältige Randbedingungen die bei der Herstellung eines Industriebodens zu beachten sind.

Hier wäre zuerst ein tragfähiger Untergrund, bzw. eine entsprechend dimensionierte Tragschicht zu nennen. Diese muss in der Lage sein ungleichmäßige Setzungen zu reduzieren und die daraus resultierenden Biegezugspannungen aufzunehmen. Für das Betonierkonzept, wie auch den Betoneinbau (Ortbe-ton, Fertiger) hat z.B. die Befahrbarkeit des Untergrundes entscheidenden Einfluss.

Weiterhin sind in der Regel Zwischenschichten auszubilden. Dies können Sauberkeitsschichten, Trennlagen, Gleitschichten oder auch Wärmedäm-mungen sein.

Für die Herstellung eines Industriebodens sind die geometrischen Randbedingungen wie Größe, Fugen- und Stützenraster von Bedeutung. Durchdringungen jeglicher Art stellen Bereiche mit erhöhter Rissgefahr dar. Es sind besondere Maßnahmen (Fugenschnitt) zu treffen.

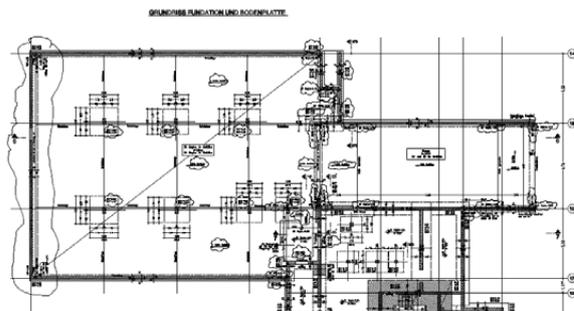


Abb.1: günstige Stützenanordnung und Feldgrößen

Für die Ausführung unbewehrter Bodenplatten ist insbesondere das Stützenraster, d.h. die Anordnung

derselben zu nennen. Daraus ergeben sich z.B. Zwangspunkte hinsichtlich des Fugenbildes, die gegebenenfalls eine unbewehrte Ausführung stark erschweren. Als Faustformel für die Feldgrößen von unbewehrte Bodenplatten gilt, dass die größte Ab-messung des Feldes das 25 bis 30-fache der Plat-tendicke nicht überschreiten sollte. Sind größere Flächen herzustellen, können z.B. Scheinfugen ge-schnitten werden. Diese Richtgröße sollte allerdings auch nicht zu stark unterschritten werden, da sonst die Gefahr besteht, dass einzelne Scheinfugen bei der Rissbildung übersprungen werden und sich trotz ausgeführter Fugenschnitte als Sollrissstelle weitere Risse in der Platte ausbilden.

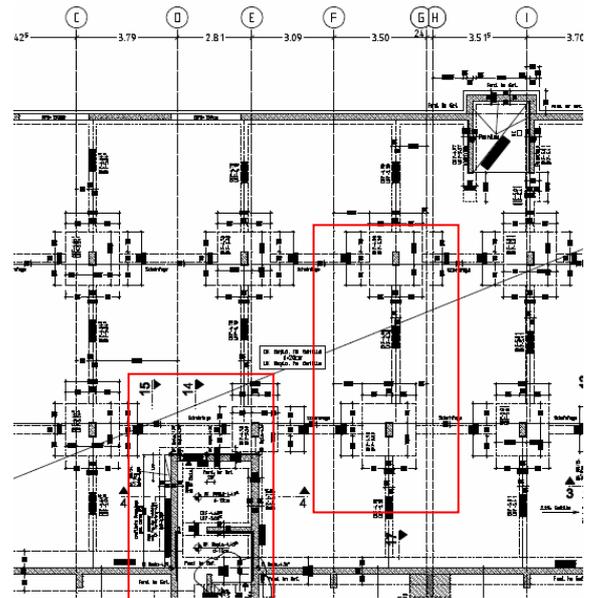


Abb. 2: ungünstiges Stützenraster und Feldgeometrie

Weiterhin sollten möglichst quadratische Felder ausgebildet werden einspringende Ecken sind wegen einer erhöhten Kerbwirkung zu vermeiden.

2.4 Bauverfahren

Aus den Erfahrungen im Straßenbau ist bekannt, dass sowohl mit erdfeuchten Betonen, die mit dem Fertiger eingebaut werden, als auch mit Betonen im Konsistenzbereich F3, die mit dem Innenrüttler verdichtet werden, wie z. B. bei Handfeldern, eine für die Beanspruchung Strassen- und Schwerlastver-kehr ausreichende Dauerhaftigkeit erreicht werden kann.

Gerade bei der Ausführung von Industriefußbö-den stehen vielfältige und sehr unterschiedliche Bauverfahren zur Auswahl. I.d.R. ist das Pumpen von Beton beim Bau von Industriefußböden eine gängige Art der Betonförderung. Nachfolgende Aus-führungen werden auf Einflüsse dieser Betonförde-rung und den daraus resultierenden Auswirkungen auf den Luftporengehalt näher eingehen.

Mit der Wahl des Einbauverfahrens werden zu-erst die Art der Förderung des Beton (Rutsche oder

Pumpe) und die Art der Verdichtung (Fertiger oder Innenrüttler) bestimmt. Aus der getroffenen Festlegung ergeben sich dann weitere Abhängigkeiten für die Zusammensetzung des Frischbetons wie z.B. Sieblinie, Größtkorn, Konsistenz oder benötigtes Ansteifverhalten.

2.5 Betonierkonzept und Verarbeitbarkeit

Nach der Auswahl des Bau- und Einbauverfahrens ist als nächstes das Betonierkonzept abzustimmen. Zusammen mit den Randbedingungen aus dem Bauverfahren ergeben sich aus dem Betonierkonzept die maßgeblichen Anforderungen an die benötigten Frischbetoneigenschaften und damit an die Betonzusammensetzung.

Zur Erstellung des Betonierkonzeptes sind zuerst die Größe des Betonierabschnittes und die geplante Einbauleistung festzulegen. Daraus können dann der Personalbedarf und die benötigte stündliche Frischbetonmenge bestimmt werden. Weitere folgende Gewerke wie z.B. das Glätten oder das Einstreuen von Hartstoffen in die Oberfläche des Frischbetons sind ebenfalls in die Ablaufplanung einzubeziehen.

In der Praxis wird oftmals der Personalbedarf für Einbau und Glätten unterschätzt, d.h. die Dauer des Einbaus bis zum Abschluss der Glättarbeiten wird zu kurz abgeschätzt und eine deswegen benötigte 2. Kolonne nicht vorgehalten. Mit Hinblick auf die zu erzielende Qualität sollte immer die benötigte Zeitspanne für Einbau und Glätten objektspezifisch bestimmt werden und dementsprechend Personal, Gerät und Material vorgehalten werden.

3 Ausgewählte Aspekte der Ausführung

3.1 Auswirkungen der Pumpenförderung auf die Betoneigenschaften

3.1.1 Allgemein

Pumpfähige Betone benötigen neben einer homogen abgestuften Sieblinie auch immer einen ausreichenden Mehlkorn- und Mörtelgehalt um ein Entmischen beim Pumpen zu verhindern. Diese Anforderung steht oftmals im Widerspruch zu gleichzeitig vorhandenen Anforderungen aus der Expositionsklasse XM. Hier gilt es den Bindemittelgehalt, ebenso wie den Mörtelgehalt zu begrenzen, um die Beständigkeit gegen mechanische Beanspruchungen zu verbessern. Oftmals werden sogar Ausfallkörnungen verwendet.

Hinsichtlich der Verarbeitbarkeit kann ein geringerer Mörtelgehalt durch den einzustellenden Luftporengehalt kompensiert werden, da die Luftporen und hierbei insbesondere die Mikroluftporen die Verarbeitbarkeit des Frischbetons günstig beeinflussen.

Beim Pumpen von Luftporenbeton ist dagegen mit einer Verschlechterung der Betoneigenschaften zu rechnen. Durch die erforderlichen Pumpendrucke,

die je nach Förderweite und -höhe kurzzeitig bei über 150 bar liegen können, wird eine Kompression der Luftporen im Frischbeton bewirkt, die für die oftmals beobachtete, verschlechterte Pumpfähigkeit und spätere Verarbeitung von Luftporenbeton verantwortlich ist.

3.1.2 Eigene Untersuchungen

Tab 3: Betonzusammensetzungen des Luftporenbetons

Festigkeitsklasse	C25/30
Betonsorte	I
CEM II/B-S 42,5 kg/m ³	290
Flugasche kg/m ³	50
Anmachwasser kg /m ³	165
w/z-Wert	0,55
Gesteinskörnung 0/2 mm kg/m ³	663
Gesteinskörnung 2/8 mm kg/m ³	287
Gesteinskörnung 8/16 mm kg/m ³	430
Gesteinskörnung 16/32 mm kg/m ³	412
Fließmittel	1,10 %
Luftporenbildner	0,18 %

Nachfolgend soll über eigene Erfahrungen mit der Veränderung des Luftporengehaltes von Frischbeton beim Pumpen berichtet werden. Herzustellen waren massige Bauteile mit bis zu 1,50 m Stärke im Auslaufbereich eines Wasserkraftwerkes. Da keine Anforderung aus dem Bereich XM bestand, konnte eine homogene Sieblinie und ein ausreichender Mörtelgehalt vorgesehen werden. Zur Anwendung kam die in Tabelle 3 dargestellte Betonzusammensetzung.

Tab. 4: Luftporengehalte in Abhängigkeit der Entnahmestelle

	Sorte 1, C25/30, XF3		
Anzahl Betoniertage	6 Tage		
Kubatur	ca. 500 m ³		
Ort der Probenahme	vor der Pumpe	nach der Pumpe	Differenz
Anzahl der Prüfungen	48	30	-
Min	5,2	5,3	0,6
Max	7,5	6,4	1,9
Mittelwert	6,67	5,76	1,09
Standardabweichung	0,50	0,33	-
5%-Fraktil	5,84	5,22	-

Im Rahmen der Baustellenüberwachung wurde der Luftporengehalt nach DIN EN 12360-7 mit LP-

Topf sowohl vor der Pumpe wie auch nach der Pumpe geprüft. Wie es nicht anders zu erwarten war konnten Verluste im LP-Gehalt resultierend aus dem Pumpen des Frischbetons beobachtet werden. Diese lagen im Mittel bei ca. 1-Vol. % und streuten im Einzelfall zwischen 0,5-Vol% und 2-Vol% (siehe Tabelle 4).

Die Verteilung der Prüfergebnisse des Luftporengehaltes für die Probenahme vor der Pumpe kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

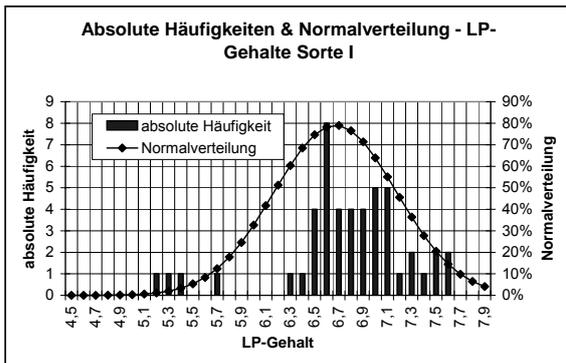


Abb. 3: statistische Auswertung der Luftporengehalte

In den während der Verarbeitung durchgeführten Prüfungen wurden die nachfolgenden Ergebnisse erreicht.

Tab. 5: Frisch- und Festbetoneigenschaften der Luftporenbetone (Mittelwerte)

	Beton I (Erstprüfung)	Beton I (Güteprüfung)
Frischbetonkennwerte		
Ausbreitmaß	49 cm	48 cm
Festbetonkennwerte		
Druckfestigkeit 28d	41 N/mm ²	40 N/mm ²
Spaltzugfestigkeit 28d	3,0 N/mm ²	3,8 N/mm ²
stat. E-Modul 28d	32.000 N/mm ²	29.300 N/mm ²

Der Einfluss des Pumpens auf das Luftporensystem, insbesondere auf den Mikroluftporengehalt kann anhand der nachfolgend dargestellten Ergebnisse von CIF-Prüfungen abgeschätzt werden. Bei der Erstprüfung wurden die Probekörper im Labor hergestellt. Bei der Güteprüfung wurde dagegen der Beton an zwei Betoniertagen nach der Pumpe entnommen.

Die Prüfung und Bewertung erfolge nach [2]. Demnach gilt ein Beton als geschädigt, wenn ein relativer dynamischer E-Modul von 75 % unterschritten wird. Das maßgebende Kriterium zur Beurteilung der Frostbeständigkeit ist dabei die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bis zum Erreichen dieses Schädigungskriteriums. Nach [2] darf in der Erstprüfung dieser Grenzwert frühestens nach 28 Zyklen erreicht werden.

Die untersuchten Proben wiesen sowohl in der Eignungsprüfung, als auch in der Güteprüfung im Mittel einen dynamischen E-Modul von > 99 % auf und erfüllen somit die Anforderungen der Frostprüfung (siehe Tabelle 6). Die Prüfung der Erstprüfung wurde nach 76 Zyklen abgebrochen.

Tab. 6: Abwitterungsraten und Änderung des dynamischen E-Modul in der CIF Prüfung

Anzahl der Zyklen	Dynamischer E-Modul [%]		Abwitterung [g/m ²]		
	Erstprüfung	Güteprüfung	Erstprüfung	Güteprüfung	
		Probe 1	Probe 2	Probe 1	Probe 2
0	100	100	100	0	0
4	100	100	100	59	211
14	100	100	100	94	614
20	100	99,9	100	111	825
30	99,9	99,9	99,9	136	932
42	99,9	Versuch läuft	Versuch läuft	174	Versuch läuft
58	99,9			230	
64	99,9			277	
72	99,9			326	
76	99,9			398	

Als zusätzliches Abnahmekriterium wurde noch die Abwitterung bestimmt. Für die CIF-Prüfung wird in [2] eine maximale Abwitterung von 1000 g/m² nach 28 Zyklen zugelassen. Mit mittleren Abwitterungsraten von 136 g/m² wurde auch dieser Grenzwert in der Eignungsprüfung eingehalten (siehe Tabelle 6). In der Güteprüfung können dagegen mit Abwitterungen zwischen ca. 100 g/m² und ca. 950 g/m² deutliche Streuungen der Prüfergebnisse für die Probenahme an unterschiedlichen Tagen festgestellt werden.

3.2 Einfluss der Oberflächenbearbeitung auf die Betoneigenschaften am Beispiel eines Feldversuch

3.2.1 Allgemeines

Bei der Herstellung befahrener und frei bewitterter Bauteile, wird in der Regel Beton mit künstlich eingeführten Luftporen (LP-Beton) verwendet, der oftmals nach dem Einbau und der Verdichtung geglättet und gescheibt wird. Bei bestimmten Bauteilanforderungen werden zusätzlich noch Hartstoffe in die frische Betonoberfläche eingestreut, um deren Abriebfestigkeit zu erhöhen.

Das Ausmaß der Störung des Luftporensystems durch das Einbauverfahren oder die folgende Oberflächenbearbeitung, sowie deren Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit solcher Betonbauteile ist bis heute ungeklärt, obgleich sich die genannte Vorgehensweise (Glätten und Scheiben) bei der Herstellung von befahrenen Betonbauteilen in der Praxis bewährt hat.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens der Bilfinger Berger AG Mannheim in Kooperation mit der HeidelbergCement AG wurde eine Versuchsfläche

mit unterschiedlichen Betonen und verschiedenen Methoden der Oberflächenbearbeitung hergestellt, um den Einfluss einzelner Herstellmethoden von Fahrbahnflächen aus Beton auf deren Dauerhaftigkeit zu prüfen. Nachfolgend werden die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens in komprimierter Form dargestellt. Einzelheiten können in [7] nachgelesen werden.

3.2.2 Versuchsfläche und Varianten der Oberflächenbearbeitung

Es wurde eine Versuchsfläche (Abmessungen: Länge x Breite = 36,0 m x 3,5 m) mit Verwendung verschiedener Betonzusammensetzungen angelegt. Dabei kamen drei unterschiedlichen Oberflächenbearbeitungen, jeweils mit bzw. ohne Folienabdeckung zur Anwendung. Insgesamt ergaben sich 18 Versuchsfelder. Die angewandten Methoden waren:

- ohne Oberflächenbearbeitung, nur durch Verwendung einer Rüttelbohle
- Oberflächenbearbeitung durch Scheiben und Glätten
- Oberflächenbearbeitung durch Scheiben und Glätten mit Hartstoffeintrag

Zur Anwendung kam dabei das Material der Fa. Korodur VS 0/5, das frisch in frisch auf den eingebauten Beton aufgebracht und beim anschließenden Flügelglätten eingerieben wurde. Die mittlere Einstreumenge betrug 2,5 kg/m², was einer angestrebten Eindringtiefe von ca. 1 bis 2 mm entspricht.



Abb. 4: Betonage der Versuchsfläche im Zementwerk Mainz Weisenau



Abb. 5: Betonage der Versuchsfläche im Zementwerk Mainz Weisenau

Die Versuchsfläche wurde im Zementwerk Weisenau der HeidelbergCement AG hergestellt.

Die Fläche wird regelmäßig von schwerem Lastverkehr befahren und seit dem Winter 2004/05 von November bis März planmäßig, zwei Mal wöchentlich mit Tausalzen belegt.

Aus der Versuchsfläche wurden Bohrkerne entnommen. Diese wurden hinsichtlich Abriebfestigkeit, des Frost- und Tausalzwiderstandes und der Luftporenkennwerte untersucht. Hinzu kamen Untersuchungen zur Bestimmung des Mikroluftporengehaltes A₃₀₀ und der Abstandsfaktoren am Frischbeton. Zur Beurteilung der Frost-Tausalzbeständigkeit der Festbetone wurde das CDF-Verfahren [2] angewendet.

3.2.3 Gewählte Betonzusammensetzung

Ziel war es Betone mit vergleichbaren w/z-Werten und Festigkeiten herzustellen. Deshalb wurden die erforderlichen Zementarten und -mengen bei unterschiedlichen LP-Gehalten variiert.

- ein Beton ohne künstliche Luftporen (Beton A)
- ein Beton mit einem kleineren als nach DIN 1045-2 geforderten LP-Gehalt von 3,0 % (Beton B)
- ein Beton mit einem nach DIN 1045-2 geforderten LP-Gehalt (Beton C)

Tab. 7: Betonzusammensetzungen Feldversuch

Betonzusammensetzung	Beton A	Beton B	Beton C
CEM I 32,5 R kg/m ³ Weisenau	340	370	-
CEM I 42,5 R kg/m ³ Weisenau	-	-	390
Anmachwasser kg /m ³	164	175	175
w/z-Wert	0,48	0,47	0,45
Gesteinskörnung 0/2 mm (Rheinsand) kg/m ³	631	604	571
Gesteinskörnung 2/8 mm (Rheinsand) kg/m ³	278	267	252
Gesteinskörnung 8/16 mm (Edelsplitt) kg/m ³	1070	1025	969
Fließmittel	1,5 % FM 6	1,3 % FM 31	1,05% FM 31
Luftporenbildner LP-S 87	-	0,10	0,40

3.2.4 Durchgeführte Betonuntersuchungen

Frisch- und Festbetonkennwerte

Eine weitere Diskussion der Ergebnisse der Versuchsflächen ohne Nachbehandlung erfolgt an dieser Stelle nicht, da die Witterung an den beiden Ausführungsterminen sehr unterschiedlich war und eine vergleichende Betrachtung der Ergebnisse deswegen keinen Sinn verspricht. Bei der ersten Betonage wurden mit einer windstillen und bewölkten Witterung, sowie einer sehr hohen Luftfeuchtigkeit gerade zu ideale Bedingungen für die Nachbehandlung vorgefunden. Am nächsten Termin war ein sehr

sonniger und heißer Tag mit entsprechenden Windbewegungen zu verzeichnen, welche zu eher ungünstigen Verhältnissen für die Nachbehandlung führten.

Das angestrebte Ziel vergleichbarer Betondruckfestigkeiten nach 28 Tagen wurde nur bedingt erreicht.

Tab. 8: Frischbetonkennwerte Feldversuch

Betonzusammensetzung	Beton A	Beton B	Beton C
Frischbetonkennwerte			
Ausbreitmaß	45 cm	48 cm	46 cm
Luftporengehalt bestimmt mit dem LP-Topf [%]	1,4	3,0	6,0
Luftporengehalt bestimmt mit dem AVA-Gerät [%]	1,9	3,5	6,4
Mikroluftporengehalt bestimmt mit dem AVA-Gerät [%]	0,38	0,79	3,98
Abstandsfaktor bestimmt mit dem AVA-Gerät [mm]	0,57	0,38	0,15
Festbetonkennwerte			
Druckfestigkeit			
7 Tage N/mm ²	43	31	33
28 Tage N/mm ²	54	39	35
91 Tage N/mm ²	62	-	43

Die Bestimmung der Luftporenkennwerte am Frischbeton erfolgte im eingebauten Zustand mit dem AVA-Gerät (s. Abbildung 6).



Abb. 6: Bestimmung der Luftporenkennwerte am Frischbeton

Prüfung der Frost-Tausalzbeständigkeit mit dem CDF-Verfahren

In Abbildung 7 werden die bei den Betonagen gesondert hergestellten Probekörper mit Bohrkernen, ebenfalls im Alter von 28 Tagen, verglichen. Diese zeigen sowohl den Einfluss der Art der Oberflächenbehandlung wie auch den Unterschied zwischen Güte- und Bauteilprüfung.

Nur die beiden Prüfkörper des Betons A, ohne Hartstoffeinstreuung, wie auch die zur Güteprüfung gesondert hergestellten Probekörper, überschreiten den nach dem CDF-Verfahren zulässigen Abwitte-

rungsgrad von 1.500 g/m². Die übrigen Betonen weisen eine deutlich höhere Widerstandsfähigkeit auf, so auch der Beton A, auf dessen Oberfläche Hartstoffe eingerieben wurden. Dies kann u.U. auf die Reduktion des w/z-Wertes und eine damit verbundene dichtere Zementsteinstruktur im oberflächennahen Bereich, bedingt durch das Einreiben von Hartstoffen und Zement, zurückgeführt werden.

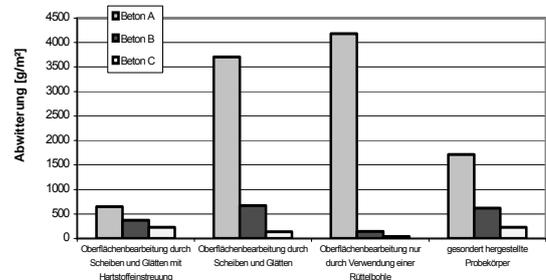


Abb. 7: Vergleich der Abwitterungsmengen in Anlehnung an [2]

Der Beton mit einem LP-Gehalt, der im Vergleich zur normativen Forderung um ca. die Hälfte reduziert wurde (Beton B), erfüllt die Beurteilungskriterien zur Frost-Tausalzbeständigkeit des CDF-Tests. Die Oberflächenbehandlungen „Scheiben und Glätten“ und „Scheiben, Glätten und Hartstoffeinstreuung“ wirken sich jedoch hier leicht negativ auf den Frost-Tausalz-Widerstand aus. Eine Vermutung sind zunehmende Feinmörtelabwitterungen durch das Scheiben und Glätten der Oberfläche, die wiederum durch die Hartstoffeinstreuung verringert werden.

Die gemessenen Abwitterungsmengen bei einem LP-Beton nach Norm (Beton C) sind gering. Ein Einfluss der Oberflächenbehandlung kann, wenn auch auf sehr niedrigem und damit vermutlich unkritischen Niveau vermutet werden.

Bestimmung der Luftporenkennwerte am Festbeton

Zur Erzielung einer ausreichenden Frost-Tausalzbeständigkeit sind nach [5] folgende Mikroluftporengehalte A_{300} , bzw. Abstandsfaktoren L einzuhalten.

Tab. 9: Mindestanforderungen an den Mikroluftporengehalt

Art der Prüfung	Mikroluftporengehalt A_{300} in Vol.-%	Abstandsfaktor L in mm
Einigungs- / Erstprüfung	$\geq 1,8 \%$	$\leq 0,20$
Bauwerksprüfung	$\geq 1,5 \%$	$\leq 0,24$

Die Ermittlung und der Vergleich der Luftporenkennwerte (Abbildung 6) am Festbeton wurden sinnvollerweise nur an den Bohrkernen B und C vorgenommen.

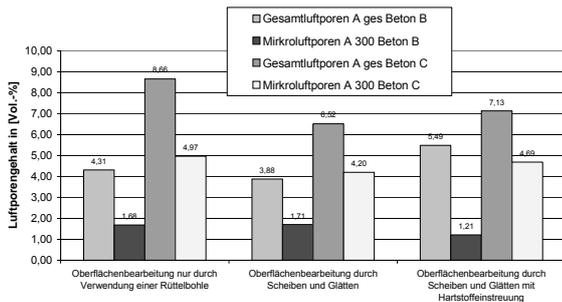


Abb. 8: Vergleich der am Festbeton ermittelten Gesamt- und Mikroluftporengehalte

Deutlich erkennbar ist der prozentual geringere Anteil an Mikroluft A₃₀₀ beim Beton B im Bezug zum Gesamtluftgehalt, erklärbar durch den geringen Eintrag von Mikroluft durch den LP-Bildner gegenüber mischungsbedingten Luftanteilen. Erstaunlich ist der durch die Hartstoffeinstreuung steigende Gesamtluftporenanteil. Insgesamt werden die Anforderungen an die Luftporenkennwerte nach [5] von Beton C umfassend erfüllt, jedoch vom Beton B in keinem Fall umfänglich.

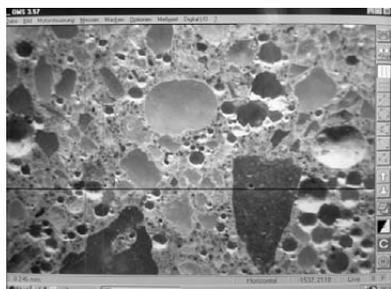
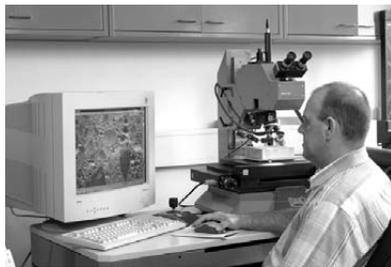


Abb. 9: Bestimmung der Luftporenkennwerte am Festbeton

Tab. 10: Abstandsfaktoren in Abhängigkeit von der Oberflächenbearbeitungsmethode

Beton-sorte	Abstandsfaktor [mm] OF-Bearbeitungsmethode		
	ohne	Scheiben und Glätten	Scheiben und Glätten und Hartstoffeinstreuung
Beton B	0,26	0,28	0,33
Beton C	0,24	0,15	0,14

Untersuchungen zur Abriebfestigkeit

Eine exemplarische Beurteilung der Abriebfestigkeit, welche im Rahmen des Forschungsvorhabens eine Rolle spielt, da die Versuchsfläche regelmäßig mit schwerem Verkehr befahren wird, erfolgt hier laborseits durch Prüfung des Abriebs nach Böhme

[4]. Die festgestellten Werte liegen im Bereich der zu erwartenden Größenordnung für vergleichbare Betone B35, die mit Rundkorn hergestellt werden [6].

Die Bewertung des Abriebs erfolgt in Anlehnung an EN 13813, Tabelle 4. Der Beton A mit Scheiben, Glätten und Hartstoffeinstreuung zeigt unabhängig von einer erfolgten Nachbehandlung einen Schleifverschleiß von im Mittel 7,1 bis 7,3 cm³/50 cm². Der Beton kann somit in die Abriebklasse A9 eingeordnet werden [3].

Eine Bewertung der Abriebklasse erfolgt in Anlehnung an EN 18560-7 und lässt lediglich für den Normalbeton den Nachweis der Beanspruchungsgruppe „leicht“ zu [4].

3.2.5 Visuelle Beurteilung der Versuchsfläche in situ nach 3 Jahren

Die Versuchsflächen wurden im Sommer 2002 hergestellt. Nach 3 Winterperioden weisen die einzelnen Flächen in der Mehrzahl keine wesentlichen Schäden aus mechanischer Beanspruchung, oder durch Frost- und Tausalzangriff auf, die eine Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit oder des optischen Erscheinungsbildes erwarten lassen.

Ungeachtet davon weisen alle Flächen mit Hartstoffeinstreuung eine Oberflächenstruktur auf, die aufgrund ihrer Rauigkeit untypisch für flügelgeglättete Oberflächen ist (Abbildung 10) und auf eine beginnende Abwitterung des Feinmörtels im oberflächennahen Bereich hindeuten.

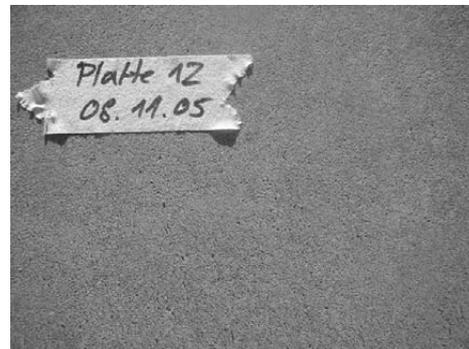


Abb. 10: Oberfläche des Beton B: Flügelglätten mit Hartstoffen



Abb. 11: Oberfläche des Beton B: Flügelglätten

3.2.6 Bewertung

Die hier vorgestellten ersten Untersuchungsergebnisse zeigen einen in der Praxis bisher nicht immer erwarteten Sachverhalt. So weisen z.B. die Flächen mit Beton ohne Luftporen und die Flächen mit einem Luftporengehalt, der geringer als der normativ geforderte ist, bisher keine Schäden infolge von Frosteinwirkung, bzw. Frost- und Tausalzangriff auf. Diese Beobachtung konnte an dieser Stelle für den Normalbeton aufgrund der Prüfergebnisse der CDF Prüfung nicht erwartet werden.

Für den Beton mit einem geringeren Luftporengehalt und einem damit verbundenen erhöhten Abstandsfaktor können die Beobachtungen in situ, aufgrund der Prüfergebnisse der CDF-Prüfung, bestätigt werden.

Damit wäre zu vermuten, dass das Prüfverfahren im Allgemeinen eine über die üblichen Praxisverhältnisse hinausgehende Beanspruchung der Betonprobe abfordert und daher eine Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf das Bauteil im Allgemeinen nur in einer Richtung möglich ist. Nach bestandener CDF-Prüfung kann von einer ausreichenden Frost- und Tausalzbeständigkeit des Bauteils ausgegangen werden. Eine nicht bestandene Prüfung ist jedoch nicht immer mit einer ungenügenden Beständigkeit des Bauteils gleichzusetzen.

4 Literatur

- [1] Kottas, R. / Hilsdorf, H.: Der Einfluss der Temperatur auf die Wirksamkeit von Luftporenbildnern, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 274 / 1979
- [2] Bundesanstalt für Wasserbau - BAW Merkblatt Frostprüfung / Dezember 2004
- [3] EN 13813: 2002 - Estrichmörtel, Estrichmassen und Estriche - Estrichmörtel und Estrichmassen - Eigenschaften und Anforderungen
- [4] DIN 18560 Teil 7: 2004-04, Estriche im Bauwesen: Hochbeanspruchte Estriche (Industriestriche)
- [5] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 2004, Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton
- [6] Bauberatung Zement - Merkblatt „Betonböden für Hallen und Freiflächen“
- [7] Wagner, J.P.; Reichertz, A.; Satter, I.; Linsel, S.; Bohlmann, E.; Westermann, B.: „Einfluss der Oberflächenbearbeitung auf die Dauerhaftigkeit von Fahrbahndecken aus LP-Beton“ in der Zeitschrift Beton, Veröffentlichung in Vorbereitung
- [8] DIN 1045 Teile 1 bis 4

Betontechnologische Aspekte bei der Ausführung von Bodenplatten

Ulrich Wöhnl

Zusammenfassung

Bei der Planung und dem Einbau von Betonböden ist die Betontechnologie als Bindeglied zu verstehen, welches die notwendigen Betonzusammensetzungen im Zusammenspiel mit den geforderten Eigenschaften des fertigen Bodens und den zur Verfügung stehenden Einbaugeräten, dem Personal, und den vorliegenden Einbaubedingungen koordiniert. Die Bauausführenden müssen insbesondere beim Erstellen der Betonböden in räumlich sehr unterschiedlichen Gebieten die Besonderheiten der Ausgangsstoffe – hauptsächlich der Gesteinskörnungen und des Zementes – beachten, um zu optimalen Ergebnissen zu gelangen. Schon bei der Planung von Betonböden ist die Wahl der Ausgangsstoffe, der Betonzusammensetzung, die Berücksichtigung der jahreszeitlichen Einflüsse oder die mögliche Verschleißbeanspruchung richtungsgebend für das Gelingen der Betonoberfläche.

1 Einführung

Erfahrene Planer und Bauausführende berücksichtigen bei der Erstellung von Betonböden eine Reihe von Einflüssen auf die künftigen Eigenschaften der fertigen Böden, um ein mangelfreies Bauwerk zu übergeben. Dennoch zeigt die Praxis bei der Arbeit der Sachverständigen, dass die Betontechnologie gelegentlich vernachlässigt wird – mit der Folge von mehr oder weniger ausgeprägten Mängeln oder Schäden.

Die Betontechnologie ist als Bindeglied zwischen den Beteiligten hinsichtlich der Realisierbarkeit des Betonbodens mit den vorhandenen Ausgangsstoffen, der Geräteausstattung und – last not least – dem Personal zu verstehen. Ausgehend von den geschuldeten Anforderungen an den zu erstellenden Betonboden wird unter Berücksichtigung des zum Einsatz kommenden Geräteparks und der Einbaubedingungen die Betonzusammensetzung aufgestellt.

2 Betontechnologische Aspekte

2.1 Anforderungen an die Betonböden

Ausgangspunkt für die betontechnologischen Betrachtungen sind zunächst die Anforderungen an die Betonböden, wie z. B.:

- Mechanische Beanspruchungen,
- Chemische Beanspruchungen,
- Frost- und Frost-Taumittel-Beanspruchung,
- Temperaturbeanspruchung,
- Ebenheit.

Die Anforderungen ergeben sich aus dem Charakter des zu erstellenden Gebäudes. So sind beispiels-

weise bei Betonböden in einem Logistikzentrum eher mechanische Beanspruchungen, verbunden mit einer hohen Ebenheit zu erwarten, siehe Abb. 1.



Abb. 1: Beispiel einer Halle mit Hochregalen

2.2 Wahl der Betonzusammensetzung

Aus den Anforderungen, aber auch aus dem vorhandenen (oder geplanten) Geräteinsatz, z. B. für Einbau oder Glätten, ergibt sich die notwendige Zusammensetzung mit der Wahl der Ausgangsstoffe.

In Anbetracht der vielen Anforderungskategorien und der breiten Vielfalt von Ausgangsstoffen muss die vorgesehene Betonzusammensetzung von Fall zu Fall variabel gewählt werden. Dennoch ist es sinnvoll, die empfohlenen Grenzbereiche der Betonzusammensetzungen einzuhalten, um optimale Ergebnisse zu erzielen.

Die Betonzusammensetzung hinsichtlich der Druckfestigkeitsklasse wird nach den mechanischen Anforderungen an den Betonboden gewählt, sie wird meist durch die Vorgaben von DIN 1045-2 [1] beeinflusst. Soll die Betonzusammensetzung allerdings

ausschließlich nach den Vorgaben von DIN 1045-2 geplant werden, kann es u. U. zu Überregulierungen kommen, wenn man sich ausschließlich an den höchsten Kategorien orientiert.

Insbesondere bei Betonböden, die nach der Erhärtung mit Beschichtungen versehen werden sollen, ist auf eine hohe Haftzugfestigkeit zu achten. Da dem Bauunternehmen zur Zeit gern Betonzusammensetzungen mit langsam erhärtenden Zementen angeboten werden, welche im Einkaufspreis etwas geringer liegen als die schnell erhärtenden, muss bei deren Verwendung besondere Sorgfalt auf die Nachbehandlung verwandt werden: Steht dem Zement in der Betonrandzone nicht genügend Wasser zur Verfügung, so kann es bis zum vollständigen Austrocknen des Oberflächenbetons kommen, so dass die für die Beschichtung geforderte Haftzugfestigkeit (meist 1,5 N/mm²) nicht erreicht wird. Betone mit einem Festigkeitsnachweis erst nach 56 Tagen haben im Normalfall in Betonböden nichts zu suchen.

Eine Frost-Taumittelbeanspruchung tritt in der Regel nur in Außenbereichen auf. Zur Erhöhung der Beständigkeit gegen die Einwirkungen der Frost-Tau-Zyklen werden dem Beton Mikroluftporen zugegeben. Bearbeitet man die Betonoberfläche mit Glättmaschinen, so werden die für die Beständigkeit wichtigen Mikroluftporen aufgerieben und zerstört, zum Teil schäumen sie beim Glätten auf. Das Ziel, mit den eingebrachten Luftporen einen gegen Frost-Taumittel beständigen Betonboden zu schaffen, wird also verfehlt.

Unverträglich sind auch die Anforderungen an einen hohen Widerstand gegen Frost-Taumittel unter Zusatz von Luftporenbildnern bei gleichzeitiger Einstreuung von Hartstoffen. Der oben beschriebene Effekt der Zerstörung der Luftporen durch das Glätten wird durch das Einstreuen der Hartstoffe noch verstärkt, es wird an der Betonrandzone eine mehrere Millimeter dicke, feste Schicht geschaffen. Noch in der ersten Erhärtungsphase kann sich einerseits durch Blutvorgänge, andererseits durch die Anlagerung von Luftporen direkt unter der geglätteten Schicht ein horizontales Rissystem bilden. Die daraus entstehenden Hohlstellen werden spätestens bei den ersten Belastungen nach der Inbetriebnahme festgestellt und sorgen für Reklamationen. Zusätzlich ergibt sich der Effekt verschiedener E-Modul der einzelnen Schichten, der zu unterschiedlichem Dehnverhalten bei mechanischer und thermischer Belastung und somit zu Rissen führt.

Als Zusatzmittel werden hauptsächlich Betonverflüssiger und Fließmittel eingesetzt. Sie beeinflussen nicht nur das Blutverhalten der Betone, sondern auch im starken Maße den Zeitpunkt des Glättbeginns. Bei Verwendung von PCE-Fließmitteln kann

der Zeitpunkt des Glättbeginns sich um mehrere Stunden verzögern (Vorsicht im Winter!).

2.3 Empfohlene Betonzusammensetzungen

2.3.1 Gesteinskörnung

Für Gesteinskörnungen sind in DIN EN 12620 [1] Anforderungskategorien aufgestellt. Das DBV-Merkblatt Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen [2] empfiehlt die in Tabelle 1 angegebene Einordnung.

Der Mehlkorngelalt soll für Betonböden nach [2] bei etwa 360 kg/m³ bis 370 kg/m³ liegen, der Mehlkorn- und Feinstsandgehalt nicht über 430 kg/m³.

Tab. 1: Anforderungen an Gesteinskörnungen nach DBV-Merkblatt [2]

Eigenschaft	Empfohlene Anforderungskategorie
Bestandteile, die die Oberfläche des Betons beeinträchtigen (Quellfähige Bestandteile)	≤ 0,25 M.-% (feine Gesteinskörnung) ≤ 0,05 M.-% (grobe Gesteinskörnung)
Höchstgehalt an Feinteilen für grobe Gesteinskörnungen	f _{1,5} (d. h. 1,5 M.-% Siebdurchgang durch das Sieb 0,063 mm)
Frost-Taumittel-Widerstand (im Freien)	F ₁ oder MS ₁₈

Die Zusatzmittel beeinflussen nicht nur die Verarbeitbarkeit positiv, sie wirken sich unter Umständen erheblich auf den frühestmöglichen Glättzeitpunkt aus. Der Einfluss ist zu beachten.

2.3.2 Zement

Vorzugsweise werden für Betonböden Zemente CEM I oder CEM II verwendet, um den Zeitpunkt des Glättbeginns und der darauf folgenden Nachbehandlung nicht wesentlich zu verzögern. Eine Kombination mit Flugasche kann sich bei höheren Einbautemperaturen vorteilhaft auswirken. Bei hoch belasteten Betonen kann zur Verbesserung der Dichtigkeit auch Silikastaub eingeführt werden.

Ungeachtet möglicher Besonderheiten liegt der Zementgehalt für die Herstellung üblicher Betonböden zwischen 320 kg/m³ und 340 kg/m³. Damit werden in der Regel die Festigkeitsklassen C30/37 bei w/z ≤ 0,55 bzw. C35/45 bei w/z ≤ 0,45 erreicht. Da die Rezepturen einen wesentlichen Einfluss auf die Zeitspanne bis zum Erreichen der Trittfestigkeit ha-

ben, kann die Betonzusammen-setzung im konkreten Fall betontechnologisch wunschgemäß angepasst werden.

2.4 Konsistenz und Einbau

Die Einbaukonsistenzen in der Ausbreitmaßklasse F3 haben sich bewährt, um die Zwangsspannungen im jungen Beton zu minimieren. Aber auch leicht verarbeitbare Betone bis zur Ausbreitmaßklasse F6 werden zunehmend verwendet. Letztere erfordern zum Erreichen einer dichten Packung zwar kaum Verdichtungsenergie, jedoch reagieren die Betone in der Regel empfindlicher auf Änderungen der äußeren Bedingungen. So muss bei den leicht verarbeitbaren Betonen mit etwas längerer offener Zeit im Winter verstärkt auf die Temperatur des Untergrundes geachtet werden. Bei einer Temperatur des Untergrundes zwischen 0 und 5 °C tritt eine Verzögerung der chemischen Prozesse ein, die zum Sedimentieren führen kann, wie in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt. Im vorliegenden Fall hat sich an der Oberfläche des Betonbodens eine Orangenhaut gebildet, da die groben Gesteinskörnungen abgesunken sind.

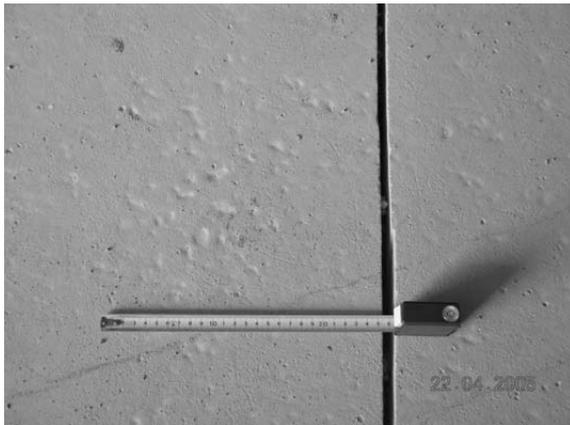


Abb. 2: Bildung einer Orangenhaut durch kalten Untergrund und dadurch zu lange offene Zeit



Abb. 3: Bruchbild eines Bohrkerns aus Abb. 2 mit abgesunkener grober Gesteinskörnung

Sind Witterung und Beton zu warm, kann es wiederum bei Betonen mit mehr plastischer Konsistenz zwischen F3 und F4 zum zu schnellen Ansteifen kommen. Sowohl die Ebenheit als auch der Oberflächenschluss sind dann u. U. kaum noch zu erreichen, wie als Beispiel in Abb. 4 gezeigt.

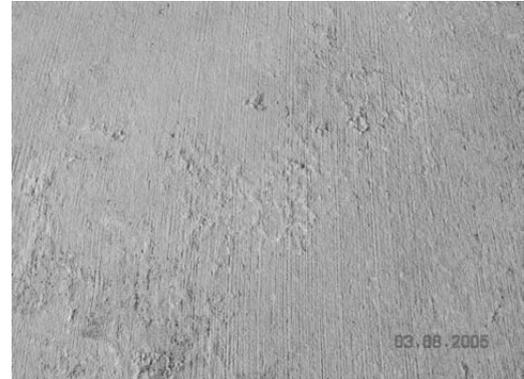


Abb. 4: Unebene Oberfläche und fehlender Oberflächenschluss durch zu schnelles Ansteifen des Betons



Abb. 5: Verdichtung des Betons mit einer Rüttelbohle

Zur gleichmäßigen Verdichtung der Betonböden bieten sich statt der Rüttelflaschen Rüttelbohlen an, wie z. B. in Abb. 5 [3] dargestellt. Die Verwendung von Rüttelbohlen erzeugt gegenüber den Innenrüttlern eine gleichmäßigere Verdichtung über die Fläche und in der Tiefe, was sich beim anschließenden Glätten positiv auswirkt.

Bei der Anordnung von Arbeitsfugen ist auf die ordnungsgemäße Ausführung zu achten. Das Anlegen von Kanthölzern, die nicht über die gesamte Höhe der Betonsohle reichen, führt zum Unterlaufen der Hölzer mit Beton und zur Querschnittsschwächung des weiteren Arbeitsabschnittes. Risse, wie in Abb. 6 am Beispiel eines Bohrkerns gezeigt, sind vorprogrammiert.



Abb. 6: Unterläufiges Kantholz an einer Arbeitsfuge führte zur Rissbildung

Die Verwendung von Streckmetallen bedingt das Verdichten des Betons von beiden Seiten, ansonsten sind auch, wie in Abb. 7 dargestellt, Risse unvermeidbar. Abb. 7 gibt einen Blick in ein Bohrloch über einem Riss frei, unter dem ein Streckmetall an kavernenartige Hohlstellen anschließt. Die Sohle wurde mit Rüttelflaschen verdichtet, aber die Hohlstellen nicht erfasst.



Abb. 7: Hohlstelle neben einem Streckmetall wegen zu geringer Verdichtung des Betons mit der Folge der Rissbildung



Abb. 8: Durch Belastung im Mittelfeld hochgedrückte Bewehrungsmatte

Bei bewehrten Sohlplatten ist zum Betonieren zu erwarten, dass die Bewehrungslagen gesichert sind, ohne dass die Bewehrung an den Enden der Matten hochgezogen wird, wie in Abbildung 8 erst nach dem Fräsen sichtbar wurde.

2.5 Hartstoffeinstreuung

Anforderungen an Beton unter Verschleißbeanspruchung werden in DIN 1045-2 [4] gestellt, wobei die dortigen Angaben in Tabelle 1 lediglich beispielhafte Anhaltspunkte geben. Auch die Tabelle F.2.2 aus [4] regelt nicht vollständig, welche Maßnahmen außer der Zusammensetzung zu unternehmen sind. Für Betone XM3 sind Hartstoffe gefordert, aber Art der Aufbringung oder Mengen sind nicht angegeben. Eine Schlussfolgerung daraus, dass ein Betonboden der Expositionsklasse XM3 entsteht, wenn Hartstoffe im Zufallsprinzip des freien Wurfes ausgestreut werden, ist falsch, obwohl sie gelegentlich realisiert wird.

Reinhardt beschreibt in den Erläuterungen zu den Normen [5] die Beispiele etwas eingehender, aber die Erfahrung der vergangenen Jahre zeigt, dass die Planungsunterlagen oft in die Richtung der höchsten Anforderungen gehen. Dies ist nicht immer der sichere Weg, wie das Beispiel der Kombination von Beton mit Luftporenzusätzen mit einer Hartstoffeinstreuung zeigt, bei dem mit hoher Sicherheit Hohlstellen zu erwarten sind.

Problematisch könnte die strikte Einhaltung der Normenanforderung aus DIN 1045-2, Tabelle F.2.2 [4] sein, einen Beton C35/45, XM3 mit einem w/z-Wert kleiner 0,45 einzubauen und Hartstoffe einzustreuen. Leider führt dies gelegentlich zu der Annahme, dass bei der Herstellung von Betonböden der Expositionsklassen XM2 mit Oberflächenbehandlung und XM3 als Problemlösung Luftporen eingeführt werden könnten. Ausgangspunkt der Abminderung der Druckfestigkeitsklassen war jedoch die Tatsache, dass mit erhöhtem Luftporengehalt die hohen Festigkeitsanforderungen kaum erreicht werden können. Die Anwendung auf oberflächenbearbeitete XM-Betone schafft oft die beschriebenen Hohlstellen-Erscheinungen.

Hartstoffeinstreuungen werden in den Regelwerken nicht betrachtet, obwohl genügend gute Erfahrungen vorliegen. In der Regel stellen die Hartstofflieferanten sowohl Verarbeitungshinweise als auch Geräte zum gleichmäßigen Auftragen der Hartstoffschicht zur Verfügung.

Neben einer verschleißfesteren Oberfläche bietet das Einstreuen von Hartstoffen den Vorteil des früheren Glättzeitpunktes (und wird deshalb gelegentlich als „legitimiertes Pudern“ bezeichnet).

3 Literatur

3.1 Literaturhinweise

[1] DBV-Merkblatt Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen, Fassung November 2004

[2] Lohmeyer, G.; Ebeling, K. (2006) Betonböden für Produktions- und Lagerhallen. Verlag Bau + Technik

[3] Dynapac Betongeräte – Rüttelbohlen und Rüttelpatschen, Informationsbroschüre

[4] DIN-Fachbericht 100, Beuth-Verlag

[5] Reinhardt, H.-W.; Expositionsklassen und Mindestanforderungen an die Betonzusammensetzung; In: Erläuterungen zu den Normen DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN 4226, Beuth-Verlag 2003

Oberfläche und Nachbehandlung von Betonböden

Jürgen Krell

Zusammenfassung

Bei Industrieböden wird nach Einbringen, Verdichten und Abziehen so lange gewartet bis man zum Glätten auf den Boden kann. Die Vorgänge in dieser Wartezeit, insbesondere ein mögliches Vertrocknen in dieser Zeit, werden häufig überhaupt nicht in Betracht gezogen. In dieser Arbeit werden die maßgebenden Einflüsse der Nachbehandlung (Zwischennachbehandlung) zwischen Abziehen und Glätten betrachtet und die wesentlichen Parameter, nämlich „erwartetes Bluten“ und „erwartete Verdunstung“ herausgearbeitet.

Liegt Wasserüberschuss bei Trittfestigkeit vor, so muss das Wasser vor dem Glätten abgeschoben werden, bei Vertrocknen der Oberfläche bevor die Trittfestigkeit erreicht wird, muss eine Zwischennachbehandlung erfolgen.

1 Allgemeines

Bei sachgerechtem Flügelglätten wird eine besonders ebene und harte Betonoberfläche erreicht. DIN 1045-2 gibt vor, dass bei der Expositionsklasse XM2 beim normalen Abziehen der Betonoberfläche mindestens ein Beton der Festigkeitsklasse C35/45 (mit $w/z \leq 0,45$) und bei Flügelglätten ein C30/37 (mit $w/z \leq 0,55$) anzuwenden sind.

Maßgebend für das Funktionieren der Oberflächenverbesserung ist das Treffen des richtigen Zeitpunktes und Feuchtigkeitszustandes für das Glätten.

- zu früh:
Einsinken, damit Verschlechtern der Ebenheit.
- zu spät:
Kein / schlechter Verbund der geglätteten Feinstmörtelschicht mit dem darunter liegenden Beton.
- zu nass:
Feuchtfilm auf Beton, wird dieser eingearbeitet vergrößert sich der w/z - Wert der ca. 3 mm dicken Feinstmörtelschicht deutlich. Geringe Festigkeit und hohes Schwindmaß (Krakeleerisse) sind die Folge.
- zu trocken:
Vertrocknet die Betonoberfläche vor der Begehbarkeit ist ein Glätten nicht mehr möglich.

Die Daumenregeln für den Glätter heißen:

So früh wie möglich glätten, aber erst wenn die Oberfläche mattfeucht und trittfest ist.

2 Konsistenz - und Festigkeitsentwicklung

Beton steift nach seiner Herstellung mit zunehmender Zeit an. Als grober Anhaltswert für übliche Betone im F3-Konsistenzbereich mit klassischen Verflüssigern gilt ein Ansteifen von 1 bis 1,5 cm je 10 Minuten Betonalter.

Ein Beton, der nach ca. 45 min eine Übergabekonsistenz von 45 cm im Ausbreitmaß haben soll, ist also mit 5 bis 7 cm weicher Konsistenz im Werk gestartet.

Abb. 1 zeigt den erwarteten Konsistenzabfall nach [1] und die beginnende Festigkeitsentwicklung nach [2] für einen C30/37 mit $w/z = 0,50$ und CEM I 32,5 R bei 20 °C, der mit 45 cm Ausbreitmaß eingebaut wird.

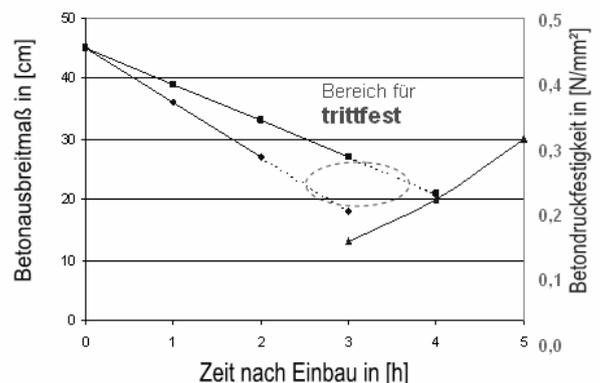


Abb. 1: Ansteifen und Festigkeitsentwicklung

Nimmt man an, dass sich die beginnende Trittfestigkeit bei einer „steifen“ Betonkonsistenz einstellt, so lässt sich aus DIN 1045-2 mit EN 206-1 [3] ablesen, dass dies erst bei Ausbreitmaßen unter 30 cm auftreten kann und eine „Festigkeitsentwicklung“ von 0,15 N/mm² vorhanden ist.

Abb. 1 macht deutlich, dass der richtige Glättzeitpunkt für F3 bei etwa 3 Stunden nach Einbau (also einem Betonalter von knapp 3 bis 4 Stunden) zu erwarten ist. Der Beton ist so weit angesteift, dass er trittfest ist, aber noch keine nennenswerte Festigkeitsbildung vorliegt.

Bei steiferer Einbaukonsistenz ist ein früherer Zeitpunkt für das Glätten bei weicherer ein entsprechend späterer Zeitbereich zu erwarten, wie Abb. 2 zeigt.

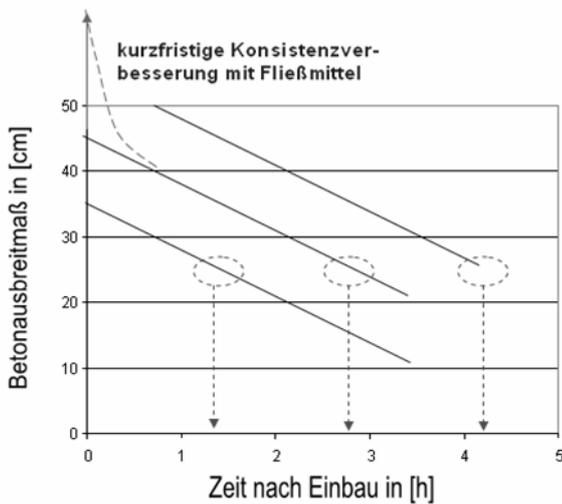


Abb. 2: Trittfestigkeit in Abhängigkeit der Ausgangskonsistenz

Bei einer Einbaukonsistenz von 35 cm ist der Beton nach knapp 1,5 Stunde trittfest, bei Regelkonsistenz 45 cm nach knapp 3 Stunden und bei 55 cm (F4/F5) nach über 4 Stunden.

Wird die Konsistenz mit nur kurzfristig wirkenden Fließmitteln bei der Übergabe auf höhere Ausbreitmaße gebracht, so ändert sich der Zeitpunkt der Trittfestigkeit praktisch nicht, da die Wirkung des Fließmittels nach 45 Minuten bereits wieder vollständig nachgelassen hat (gestrichelte Linie in Abb. 2).

Wird dagegen mit einem PCE das Ansteifen für zwei Stunden „aufgehoben“, also fast horizontaler Verlauf der Ansteifkurve, so verschiebt sich der Beginn der Trittfestigkeit deutlich nach hinten, hier sind bei 20° C auch 5 bis 8 Stunden in der Praxis beobachtet worden.

Der Zeitpunkt, wann die Trittfestigkeit zu erwarten ist, wird primär von der Betonzusammensetzung bestimmt. Die Haupteinflussgrößen sind die Konsistenz mit dem zugehörigen Ansteifverlauf. Schnellere (frühere) Trittfestigkeit tritt auf:

- je steifer die Einbaukonsistenz
- je schneller das Ansteifen
- je schneller der Beton (Festigkeitsentwicklung)
- je höher die Temperatur

3 Erstarrungszustand

Der Beton soll beim Glätten noch jung sein, dass noch keine nennenswerte Hydratation und damit Gefügebildung stattgefunden hat. Nach der Verzögerer-Richtlinie definiert man folgende Phasen:

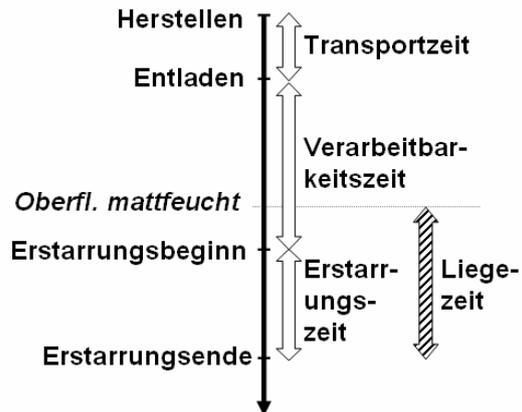


Abb. 3: Zeiten nach Verzögerer-Richtlinie

Das Glätten soll in der Liegezeit erfolgen. Es muss also kurz vor oder bei dem Erstarrungsbeginn beginnen und muss vor Erreichen des Erstarrungsendes abgeschlossen sein.

Aus der Zementprüfung kennt man das Erstarren, hier wird am Norm-Mörtel eine feste Konsistenz eingestellt, dabei ergeben sich je nach Zement Wasser-Zement-Werte von 0,25 bis 0,30. Für diese Konsistenz wird dann der Erstarrungsbeginn bestimmt, das Erstarrungsende liegt bei 20 °C etwa 45 Minuten bis eine Stunde nach dem Erstarrungsbeginn. (Deshalb ist die Prüfung des Erstarrungsendes in der Zementnorm entfallen.)

Warum die Konsistenz eine Rolle spielt ist hieran erkennbar. Im Normversuch wird die feste Konsistenz als Startkonsistenz vorgegeben. Ist also in der Praxis der Beton „weicher“ so muss die Zeit, bis der Beton von seiner weichen Konsistenz bis zur Normkonsistenz angesteift ist, zum Messwert der Erstarrungszeit im Normversuch addiert werden.

Anhaltswerte für Beton mit w/z = 0,50 gibt Tab. 1, die unteren Werte gelten für Betone mit schneller, die oberen für Betone mit langsamer Festigkeitsentwicklung, wie z.B. CEM III/B 32,5.

Tab. 1: Erwartetes Erstarrungsende (Anhaltswerte)

Temperatur	Erstarrungsende bei Alter des Betons
10 °C	5 bis 9 Stunden
20 °C	4 bis 7 Stunden
30 °C	2 bis 4 Stunden

Das Ende der Glättarbeiten muss vor dem Ende des Erstarrens liegen. Die Werte in Tabelle 1 beziehen sich auf das Betonalter, also ist bei einem Einbau 45 min bis 60 min nach Herstellung (aus Fahrzeit und Wartezeit), diese von der möglichen Zeit bis zum „zu alt“ abzuziehen. Dies ist insbesondere besonders zu berücksichtigen, wenn durch Einbaupannen ein Fahrzeug nach 30 min Anfahrt noch 60 min auf der Baustelle gewartet hat.

Praktikabel kann man den Zeitpunkt des spätesten Glättzeitpunktes im „Beutelversuch“ bestimmen. Man füllt etwa 1 l Beton in einen Kunststoffbeutel (z.B. Gefrierbeutel) und verschließt diesen. Dann „knetet“ man den Beton im Beutel, falls ein scholliges Zerbrechen stattfindet ist das Erstarrungsende erreicht, vorher lässt sich der Beton formen wie Knetmasse.

4 Oberflächenfeuchtigkeit beim Glätten

Die zweite notwendige Bedingung für den richtigen Glättzeitpunkt ist, dass beim Glätten eine mattfeuchte Oberfläche vorliegen muss.

Bei nasser Oberfläche darf nicht geglättet werden, die Begründung liefert die nachstehende Abschätzung.

Üblich ist eine ca. 3 mm dicke Glattschicht, die mit Feinmörtel angereichert ist. Geht man von einem üblichen Industriebodenbeton C30/37 mit 340 kg/m³ Zement und einem Wassergehalt von 170 l/m³ aus, beträgt der w/z Wert 0,50.

In jeder 1 mm dicken Betonscheibe von 1 m² wären 170 / 1000 = 0,17 l Wasser, also in der 3 mm dicken Schicht (3 x 0,17=) 0,5 l je m².

Würde man eine 0,2 mm dicke Wasserschicht in die oberen 3 mm einarbeiten, so bedeutet dies, dass nun 0,2 l/m² Wasser mehr in diese 3 mm Schicht gelangen.

Anstelle 0,5 l/m² nun 0,7 l/m², dies entspricht einer Erhöhung des w/z-Wertes von 0,50 auf 0,70.

Nach Walz [4] ergibt sich dadurch eine um 30 % geringere Festigkeit und nach Czernin [5] ein um 60 % höheres Schwinden (auch bei guter Nachbehandlung).

In der Praxis erkennbar an den Krakeleerissen, die nur in der oberen 3 mm dicken Schicht zu finden sind, und an der geringen Verschleißfestigkeit.

Die Feuchte an der Betonoberfläche ergibt sich aus:

- der Menge an Blutwasser, die i.W. von der Betonzusammensetzung und der Betontemperatur bestimmt wird und
- der Verdunstung an der Betonoberfläche, die i.W. durch die Randbedingungen der Baustelle, rel. Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit bestimmt wird.

4.1 Blüten des Betons

Nach [6 bis 8] beträgt das übliche Blüten von Beton 0,3 bis 1,6 Vol.-%. Selbstverdichtende Betone weisen sehr geringes bis kein Blüten auf [9].

Abb. 4 gibt als Prinzipbild das unterschiedliche Verhalten bei 20°C wieder.

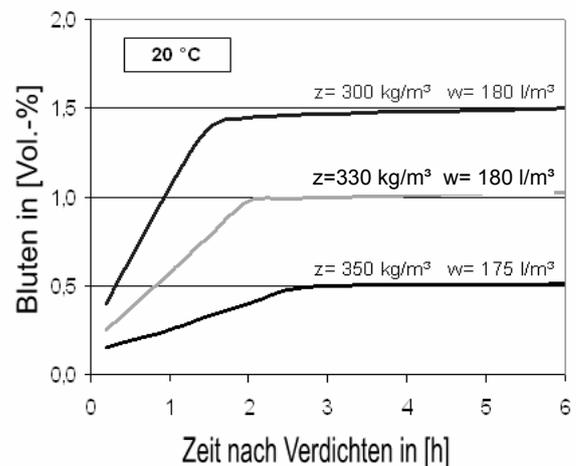


Abb. 4: Blüten von Beton

Je höher das Gesamtblüten, je schneller die Blutgeschwindigkeit. Bei den hier dargestellten Praxis-Mischungen wird etwa 95% des Blutwassers in den ersten 1,5 bis 2,5 Stunden abgegeben (Versuche an Proben mit Höhen bis 40 cm).

Das Blutwasser wirkt der auftretenden Verdunstung und damit Vertrocknung der Betonoberfläche entgegen.

Nach den Veröffentlichungen [6 bis 9] **steigt** die Blutwassermenge

- mit dem Wassergehalt der Mischung (mehr verfügbares Wasser)
- mit sinkendem Feinstkornanteil (weniger Oberfläche zum „festhalten“)
- mit steigendem BV/Fließmittelgehalt (weniger Agglomerate im Feinbereich)
- mit langsamer Zementreaktion
- niedrigere Temperatur
- langsamere Zemente
- Verzögernde Zusatzmittel
- (z.B. auch PCE Fließmittel)

Bei kühlen Betontemperaturen ist mit mehr, dagegen bei hohen Betontemperaturen mit weniger Blutwasser zu rechnen.

Das normale Bluten eines C30/37 mit w/z von 0,50 liegt etwa bei 0,5 Vol.-%. Das bedeutet, dass in Abhängigkeit der Dicke der Bodenplatte die folgenden Wassermengen und daraus resultierenden Wasserschichtdicken zu erwarten sind:

Tab. 2: Dicke der Blutwasserschicht bei 0,5 Vol.-%

Dicke der Bodenplatte [cm]	Wassermenge je m ² [l/m ²]	Dicke des Wasserfilms [mm]
20	1,00	1,00
25	1,25	1,25
30	1,50	1,50

Diese Blut-Wassermenge ist nach etwa 2,5 Stunden aus dem Beton herausgeblutet. Ob die Oberfläche also trocken oder nass ist, liegt an den auf der Baustelle vorliegenden Verdunstungsbedingungen.

4.2 Verdunsten von Wasser an der Betonoberfläche

In DIN 1045-3 [11] wird ein frühzeitiges Nachbehandeln gefordert. In Abb. 3 war der Zeitbereich zwischen Einbau und Glätten dargestellt. Die Zeitspanne kann bis 6 Stunden betragen. In dieser Zeit tritt also, je nach Randbedingungen, ein unterschiedlich großes Verdunsten auf. Üblicherweise wird die Verdunstungsmenge über das Nomogramm [13] abgeschätzt.

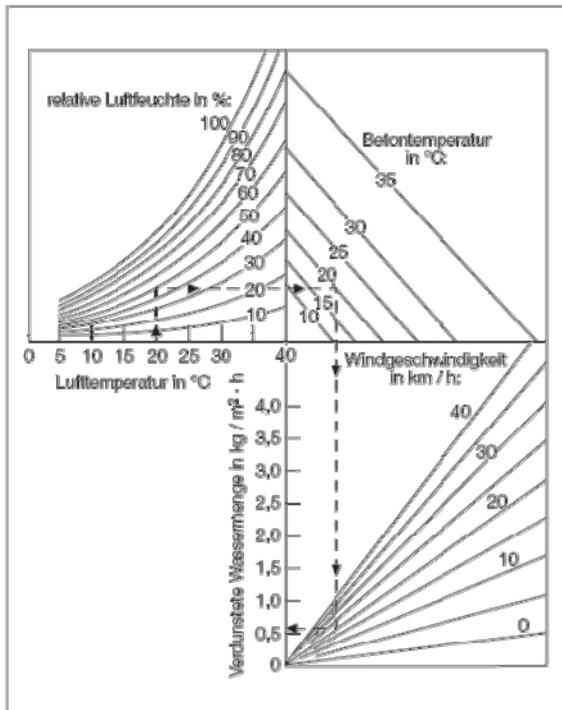


Abb. 5: Verdunstungsnomogramm aus [13]

Für 20 °C, Luftfeuchte von 50 % r.F. und Windgeschwindigkeit von ca. 7 km/h ergibt sich eine Verdunstungsrate von 0,5 l / (m²h).

Trägt man nun vergleichend die Blutwassermengen und die Verdunstungsmengen in das gleiche Bild ein, so zeigt sich, ob ein Abtrocknen auftritt.

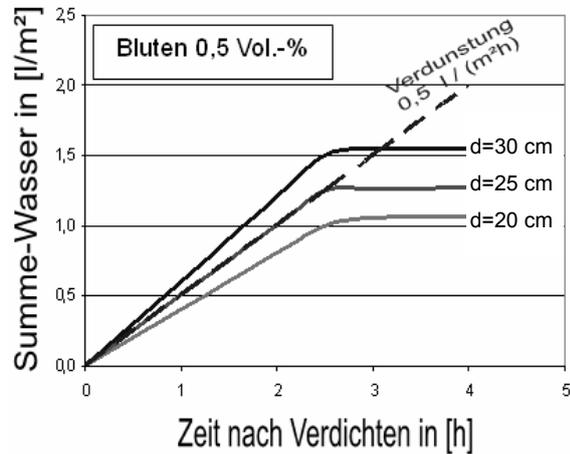


Abb. 6: Vergleich von Verdunstung und Bluten in Abhängigkeit der Plattendicke

Bei den hier unterstellten Verhältnissen würde die 30 cm dicke Platte langsam einen Blutwasserfilm aufbauen, der nach 2,5 Stunden ca. 0,2 mm dick ist und nach ca. 3 Stunden wieder verdunstet ist. Der Glättvorgang könnte aus dem Kriterium „Mattfeucht“ rund 3 Stunden nach dem Abziehen beginnen. Da dies mit dem Erreichen der Trittfestigkeit, die nach Abb. 1 nach 3 Stunden zu erwarten ist, zusammenfällt, ist ein sachgerechtes Glätten zu erwarten.

Bei der 25 cm dicken Platte sind Bluten und Verdunsten gleich hoch, somit liegt ab dem Abziehen bis 2,5 Stunden eine mattfeuchte Oberfläche vor. Somit greift die Trittfestigkeit, die nach ca. 3 Stunden vorhanden ist, als Kriterium für das Glätten. Hier ergibt sich ein Zeitfenster im Bereich 2,5 bis 3 Stunden nach dem Verdichten für das sachgerechte Glätten.

Bei einer 20 cm dicken Platte ist die Blutwassermenge stets unter der Verdunstungswassermenge. Praktisch unmittelbar nach dem Abziehen erschiene die Fläche mattfeucht und würde danach abtrocknen. Hier wären rund 0,3 l/m² bis zum frühest möglichen Glättzeitpunkt aus der Trittfestigkeit bei ca. 3 h abgetrocknet.

Wenn diese Wassermenge nur in der oben 3 mm Schicht fehlen würde, so würde sich die laut Rezeptur vorhandene Wassermenge in diesen 3 mm von 0,5 l/m² auf 0,2 l/m² (170 l/m³ auf 70 l/m³) reduzieren. Ein sachgerechtes Glätten wäre mit der reduzierten Wassermenge nicht mehr möglich. Da aber die trockene Betonoberfläche aus den nächsten 2 cm Wasser nachsaugt, ist hier zu erwarten, dass sich eine in erster Näherung lineare Verteilung in den ersten 2 cm Betontiefe einstellt.

Rechnet man so die $0,3 \text{ l/m}^2$ Verdunstung um, ergibt sich, dass ab 2 cm Tiefe der Soll-Wassergehalt von 170 l/m^3 vorliegt und dieser sich dann linear auf 140 l/m^3 zur Oberfläche hin reduziert. Die Konsistenz des Feinmörtels ist somit sehr steif und die Oberfläche und der Oberflächenschluss werden nicht optimal. Eine nicht hochglänzende Oberfläche ist zu erwarten.

Würde ein F6-Beton eingebaut, ergibt sich ein völlig anderes Bild. Der fast selbstverdichtende F6-Beton entspricht hinsichtlich seines Mehlkorngehaltes gerade noch DIN 1045, weist meist rund 450 kg/m^3 Körner bis $0,125 \text{ mm}$ auf (Zement + Flugasche 430 kg/m^2 und 20 kg/m^2 aus Gestein). Ferner hat er bei $170\text{-}175 \text{ l/m}^3$ Wasser rund 4 kg/m^2 PCE-Fließmittel.

Üblicherweise halten die PCE's die Konsistenz über 2 Stunden und reduzieren das Ansteifen, zudem verzögern sie das Erstarren und Erhärten. Die Trittfestigkeit stellt sich deutlich später, meist nach 4 bis 6 Stunden ein. Gleichzeitig wird das Bluten dieser Betone fast auf Null gedrückt. Somit sind diese Betone dem vollen Wasserverlust aus Verdunstung ausgesetzt.

Nimmt man an, dass die Trittfestigkeit hier erst nach 5 Stunden gegeben ist und über diesen Zeitraum $0,5 \text{ Liter je m}^2$ und Stunde verdunsten, sind je Quadratmeter $2,5 \text{ l}$ Wasser verdunstet. Das wären rund 2 cm völlig vertrockneter Beton oder bei Nachsaugen aus weiteren 2 Zentimetern ergibt sich die folgende Verteilung.

An der Oberfläche liegt dann ein Wassergehalt von nur 60 l/m^3 vor, der linear über 4 cm auf den Soll-Wassergehalt von 170 l/m^3 ansteigt. Die oberen 2 bis 3 Zentimeter wären hoffnungslos vertrocknet, bevor der Beton die Trittfestigkeit erreicht hat. In der Praxis wird dann fälschlicherweise von „schnellem Ansteifen“ gesprochen. Dies ist aber ein reines Vertrocknen der Oberfläche. Die oberen Zentimeter wirken fest und trocken, die darunter liegenden 16 cm Beton sind aber noch weich. Ein sachgerechtes Glätten ist unmöglich.

Wird dennoch versucht zu glätten, so sinkt beim Betreten oder Aufsetzen der Glättmaschine die Auflast mit der harten Schale in den noch weichen Beton ein. Die Schale bricht am Rand und weicher Beton tritt aus, die Ebenheit der gesamten Platte wird unrettbar zerstört.

5 Unebenheiten in der Platte

Nach den obigen Ausführungen ist stets anzustreben, dass das Bluten etwas über der Verdunstung liegt, dann trocknet die Oberfläche am Ende des Blutens 2,5 bis 3 h nach Einbau langsam ab. Bis dahin wird die Fläche durch das Blutwasser nachbehandelt.

Bei üblichen Wellen in der Bodenplatte, z.B. nach DIN 18 202 Tab. 3 Zeile 4 sind Täler von 10 mm auf 4 m Länge zulässig und auch zu erwarten. Hier ist also zwischen zwei Hochpunkten ein Tal mit 10 mm möglich und innerhalb der Normtoleranzen.

Bei dem Fall „Blutwasser deutlich über Verdunstung“ läuft also das überschüssige Blutwasser in die Täler ab, dort stehen Wasserpfützen, während die Hochpunkte bereits abtrocknen (Abb. 7).



Abb. 7: Ungleiches abtrocknen bei Unebenheiten

Das Bild veranschaulicht, dass anstelle eines gleichmäßigen Wasserfilms, hier ein Abfließen des Wassers in die Tiefpunkte erfolgt.

Am Ende des Blutens nach ca. 2,5 Stunden sind in den Tälern bis zu $0,7 \text{ mm}$ tiefe Pfützen zu erwarten, die dann rund 2 Stunden zusätzlich zum Abtrocknen brauchen. Die Hochpunkte sind gleichzeitig bereits 2 Stunden mit $0,5 \text{ l/(m}^2 \text{ h)}$ also 1 l/m^2 abgetrocknet.

Dies sind die üblichen Fälle, bei denen einzelne Bereiche hohl liegen, meist sind das die bereits „vertrockneten“ Hochpunkte, bei denen kein Verbund der Glätttschicht zum Beton erfolgt. Gleichzeitig findet man Bereiche mit deutlicher Krakelee-Rissbildung, die auf Einarbeiten des Blutwassers in den Tälern zurückzuführen sind.

Die Betrachtung verdeutlicht, je unebener die Fläche, je größer ist die Gefahr des Vertrocknens der Hochpunkte, während in den Tiefpunkten noch Pfützen stehen. Daher sind der Einbau mit Laserscreed (

Abb. 8) oder mit gut ausgerichteten schienengeführten Bohlen zu bevorzugen.



Abb. 8: Einbau mit Laserscreed

6 Betrachtung einiger Fälle

6.1 Bluten größer als Verdunsten

Wenn die Blutwassermenge über der Verdunstungsmenge liegt, ist zu erwarten, dass die Flächen erst nach Ende des Blutens (also ca. 3 Stunden nach Einbau) abzutrocknen beginnen. Je nach Menge an Blutwasser und Pfützenbildung durch Unebenheiten darf mit dem Glätten erst nach Abtrocknen der Pfützen begonnen werden. Dies kann je nach Gegebenheiten bereits so spät sein, dass der Beton bereits für einen sicheren Verbund der Glattschicht zum Unterbeton zu weit erstarrt ist. Die kritischsten Bereiche sind die zusätzlich noch „vertrockneten“ Hochpunkte, bei denen „hoher Erstarrungsgrad“ und „zu trocken“ zusammen fallen.

Wenn viel Blutwasser entstanden ist, aber wenig Verdunstung stattfindet, muss man bei beginnender Trittfestigkeit das Blutwasser abschieben (Abb. 9).



Abb. 9: hier Abziehen des Blutwassers

Hier ist zu beachten, dass keine Pfützen verbleiben, die anschließend mit eingearbeitet werden. Abb. 10 zeigt den Zustand des Abschiebens, später wurde beim ersten Abschieben dieses abgeschoben Blutwasser mit eingearbeitet.

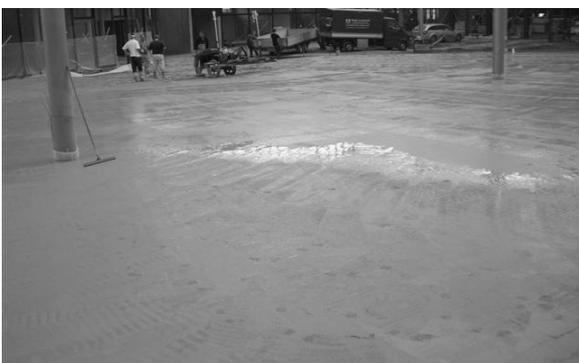


Abb. 10: Anreicherung des abgeschobenen Blutwassers

Das häufig gefundene Schadensbild, dass am Ende der Glättmaßnahme, also auf den letzten 50 m² des Tagesfeldes, eine sehr schlechte mit Krakelee-

Rissen durchsetzte Oberfläche vorliegt, kann häufig damit erklärt werden, dass diese „abgeschobene“ Wasser-Zementschicht dann im letzten Teilbereich mit eingearbeitet wurde.

6.2 Verdunsten größer als Bluten

Liegt die Verdunstungsrate über der Blutraterate, ist dies leicht erkennbar. Sehr frühzeitig stellt sich die „Mattfeuchte“ ein und anschließend erscheint die Betonoberfläche bereits trocken. Hier kann auf der Baustelle mit Erzeugen feiner Nebeltröpfchen die Betonoberfläche feucht gehalten werden. In [15] werden Geräte zur Nebelerzeugung beschrieben. Wasser wird mit Hochdruck in einer Nebeldüse zu feinsten Tröpfchen versprüht. Der Wasserdampf wird über den Beton geschossen und dadurch die Luftfeuchtigkeit über dem Beton auf 100% erhöht. Dies kann mit einem handelsüblichen Hochdruckreiniger erreicht werden, wenn mit einer geeigneten Flachdüse bei vollem Druck Wasser versprüht wird. Selbstverständlich soll hier kein Beregnen oder „Verwässern“ der Oberfläche stattfinden, daher wird der Nebelstrahl über die Fläche gehalten (und nicht auf die Fläche).

Hierdurch kann das Vertrocknen der Oberfläche bis zum Zeitpunkt der Trittfestigkeit vermieden werden. Voraussetzung ist, dass sowohl das Gerät (Hochdruckreiniger mit langer Lanze und Flachdüse), Wasseranschluss und ausreichend Personal vorhanden sind, um frühzeitig diese Maßnahme zu beginnen und ggf. auch 3 Stunden durchzuführen.

Hinweis: Wenn die Folie unter der Betonschicht nicht dicht oder nicht vorhanden ist, läuft ein Teil des Wassers nach unten ab, die oben wirksame Blutwassermenge sinkt!

6.3 Warmbeton auf kaltem Untergrund

Die typische Winterbaustelle mit 15 °C warmem Frischbeton, der auf Null Grad kaltem Untergrund (weil auf gefrorenen Untergrund nach DIN 1045-3 unzulässig) gelegt wird. Der Beton kühlt in der unteren Hälfte einer z.B. 20 cm dicken Platte rasch ab und wird hinsichtlich des Erstarrens langsamer und blutet länger.

Die obere Hälfte verhält sich der Temperatur von 15 °C entsprechend und ist nach ca. 3 bis 4 Stunden glättreif. Jetzt können die Bewegungen und die Schwingungen beim maschinellen Glätten das Bluten der unten liegenden noch „frischen und beweglichen“ Schicht anregen. Das Blutwasser steigt nach oben und sammelt sich unter der bereits durch das Glätten dichteren feinstmörtelreichen Glattschicht [16].

Die Folge sind Wasserlinsen unter der Glattschicht, die den Verbund zwischen Glattschicht und Beton auf Null reduzieren. Wenn die Wasserlinse später verdunstet, liegt die Glattschicht bereits hohl, also wird beim Überfahren sofort die dünne Glattschicht runtergedrückt und es entstehen sichtbare Bruchrisse.

Hinweis: Verstärkt wird dieses Schadensbild, wenn auf Eislinen, die auf der Folie liegen betoniert wird. Hier wird die Eislinse durch den warmen Beton zeitversetzt aufgetaut und das zusätzliche Wasser erhöht die Blutwassermenge, die sich dann unter der dichten Glattschicht aufstaut.

Der analoge Fall ist bei Flächen mit extremer Sonneneinstrahlung denkbar, wenn die Oberseite deutlich gegenüber der Plattenunterseite aufgeheizt wird und damit schneller anzieht, mattfeucht und trittfest erscheint, bevor das Blutwasser aus der unteren kühleren Schicht entwichen ist.

7 Folgerungen für die Praxis

7.1 Bluten und Verdunsten vorher abschätzen

Vor der Betonage muss sich der Einbauer Klarheit über das zu erwartende Bluten und die zu erwartenden Randbedingungen beim Einbau verschaffen.

Häufig ist bei Rückfrage im Transportbetonwerk zum Blutverhalten der empfohlenen Sorte für Industrieböden nur mit Unverständnis und Schulterzucken zu rechnen.

Als grober erster Anhaltswert kann für den üblichen Industriebodenbeton C30/37, der mit Flügelglättung die Anforderung XM2 erfüllt, folgendes angenommen werden:

- C30/37 mit w/z bei 0,50 bis 0,53 (Zement der Festigkeitsklasse 32,5 R)
- Gesamt-Mehlkorn ($\leq 0,125$ mm) bei **360 bis 370 kg/m³** (nach [10])
- Feinstkornanteil ($\leq 0,25$ mm) max. 430 kg/m³ (nach [10])

Eine derartige Betonzusammensetzung weist bei KonsistenzEinstellung auf F3 mit klassischen Fließmitteln/Verflüssigern bei 20 °C im Eimerversuch ein Bluten von rund 0,5 Vol.-% auf. Die kurzfristige Konsistenzverbesserung durch klassische Fließmittel Zugabe auf der Baustelle vor der Übergabe verändert die Gesamtblutwassermenge kaum, das Bluten tritt aber etwas früher auf.

Daumenregeln:

- **bei 5°C:** Verdoppeln der Blutwassermenge also von 0,5 Vol.-% auf 1 Vol.-% gleichzeitig längere Blutzeit. Gleichzeitig deutlich späteres Erreichen der Trittfestigkeit.
- **bei 30 °C:** theoretisch Reduzieren der Blutwassermenge, aber bei 30 °C Frischbetontemperatur muss entweder eine Sommerrezeptur verwendet werden oder die Sollkonsistenz wird mit Erhöhen der Wasser- und Verflüssigermenge eingestellt. Die Sommerrezeptur weist dann etwa gleiches Bluten mit 0,5 Vol.-% auf.

Wasserzugabe

Die verbotene aber doch häufig anzutreffende Wasserzugabe zum Beton, um eine leichtere Verarbeitbarkeit zu erhalten, führt zu deutlich erhöhtem Bluten. Vereinfacht kann man annehmen, dass das gesamte zusätzlich auf der Baustelle zugegebene Wasser auch zusätzlich ausblutet.

10 l/m³ verbotene Wasserzugabe bedeuten
+ 5 cm Ausbreitmaß und
+ 1 Vol.-% mehr Bluten, also insgesamt 1,5 Vol.-%

20 l/m³ verbotene Wasserzugabe bedeuten
+ 10 cm Ausbreitmaß und
+ 2 Vol.-% mehr Bluten, also insgesamt 2,5 Vol.-%

Derartig hohe Blutwassermengen führen zum Hochspülen von Feinstkorn und viel zu hohen Zementgehalten in der Oberfläche. Selbst nach Abschieben des Blutwassers ist die verbleibende Oberfläche sehr stark mit Feinstmörtel und Zement angereichert. Deutliche Krakelee-Risse sind zu erwarten.

Maximale Einbautemperatur

In [10] wird empfohlen, die Einbautemperatur des Betons auf 25 °C zu begrenzen. Diese Maßnahme ist sinnvoll, insbesondere um die Temperaturspannungen klein zu halten. Die Platte kann bei 25 °C Betontemperatur incl. Hydratationswärme leicht im Inneren 40 °C erreichen. Erhärtet die Platte dann bei 40°C und zieht sich später bei 20°C um 0,2 mm/m zusammen. (Rechnung: Wärmedehnzahl = 10^{-5} also bei 20 °C Temperaturdifferenz: $20 \cdot 1000 \text{ mm/m} / 100.000 = 0,2 \text{ mm/m}$.)

Eine 8 m Platte würde also um 1,6 mm allein aus Temperatur verkürzt werden. Die üblichen Schwindverkürzungen von 0,5 mm/m kommen noch hinzu.

7.2 Betonierfelder und Personalbedarf festlegen

Nachdem die zu erwartenden Einbauverhältnisse abgeschätzt sind, liegt damit auch der wahrscheinliche Zeitpunkt des Glättens fest; aus dem obigen Beispiel bei 20°C nach 2,5 bis 3 Stunden.

Wenn die gleiche Kolonne einbaut und glättet, muss der Einbauvorgang mit allen Nebenarbeiten spätestens bis zum Beginn des Glättens abgeschlossen sein. Hieraus errechnet sich die Größe der Betonierfelder.

Wenn bei diesen Bedingungen mit einer Kolonne 6 Stunden eingebaut wird und dann die gleiche Kolonne mit dem Glätten beginnt, ist der Schaden unvermeidlich, da der Beton schon zu weit erstarrt wäre.

Ist ein besonders großes Verdunsten zu erwarten, so sind zusätzliches Personal und Geräte für die Nebelbefeuchtung zu planen. Dies ist immer preis-

werner als die Sanierung einer abgelösten Glattschicht!

7.3 Ebenheit

Der Beton ist möglichst eben einbauen, um die „Pfüthenbildung“ von Blutwasser zu minimieren. Pfüthenbildung bedeutet immer, dass die Hochpunkte bereits „an- oder vertrocknen“ bevor die Pfüthe weggetrocknet ist.

Die Ebenheit wird vom Abziehen bestimmt, durch das Glätten kann üblicherweise keine Verbesserung der Ebenheit mehr erreicht werden, also möglichst Einbau mit Laserscreed (

Abb. 8) oder genau ausnivellierten Führungsschienen durchführen.

8 Oberflächenglättung

Bislang wurde nur der richtige Zeitpunkt und das Verhalten des frischen und jungen Betons bis zum Beginn des Glättens erörtert.

Die Art und der Umfang des Glättens bestimmt die erreichte Oberflächenqualität.

Üblich ist ein erster Übergang mit dem Teller-Glätter, also das so genannte „Abscheiben“ oder „Abtellern“, dies erfolgt üblicherweise in zwei bis drei Übergängen.



Abb. 11: Hartstoff im „Wurfverfahren“ aufgebracht

Sofern vorgesehen, wird die Hartstoffeinstreuung nach dem ersten Abtellern aufgebracht und dann in mehreren Übergängen eingearbeitet (Abb. 11 und Abb. 12).



Abb. 12: Hartstoff z.T. nach einem Übergang mit der Scheibe (Teller)

Nach dem Glätten mit der Scheibe erfolgt, falls Flügelglättung gewünscht wird, das Feinglätten mit dem Flügelglätter bis zur gewünschten Oberfläche (Abb. 13).



Abb. 13: 2. Übergang mit Flügelglätter

Nach mehreren Übergängen ergibt sich eine glatte, dunkler schimmernde glänzende Oberfläche (Abb. 14).



Abb. 14: Beginnender Glanz der Geflügelten Oberfläche.

Wie bereits die Bilder verdeutlichen nimmt die Dichte und die Härte der Oberfläche mit jedem Übergang zu, sofern das Bearbeiten noch vor dem Erstarrungsende (vergl. Abb. 3) erfolgt.

Die Anforderungen an die Rutschhemmung von Böden werden nach den Einteilungen der Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BGR) festgelegt.

Als Erfahrungswerte gelten nach [10]:

Tab. 3: Rutschhemmung

Oberflächenbehandlung	Rutschhemm-Klasse Erfahrungswerte
Besenstrich	R 13
händisch abgerieben	R 12
maschinell abgerieben	R 11, R 10
Flügelgeglättet	R 10, R 9

Bei diesen Glättvorgängen wird die Betonoberfläche mechanisch in sich geschert und verdichtet. Abb. 15 zeigt die z.T. entstehenden Wülste beim ersten Ab-

scheiben, die dann bei den folgenden Übergängen wieder eingearbeitet werden.

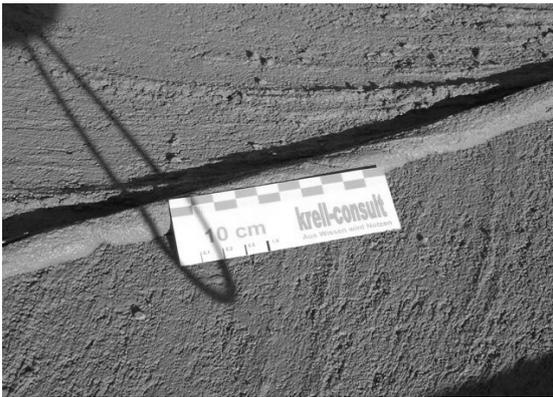


Abb. 15: „Wülste“

Daher wird verständlich, dass man darauf hinweist, dass bei Betonen mit künstlich eingeführten Luftporen, nicht sicher gestellt ist, dass nach dem Flügelglätten, das gewünschte Luftporensystem noch vorhanden ist. In der Praxis wurden fast vollständiges Austreiben der Luftporen oder auch zusammenschlagen von Mikroluftporen zu großen Poren oder Schaumblasen beobachtet. Diese Luftgebilde können dann in der Schicht zwischen bewegtem und unbewegtem Beton angereichert werden und den Verbund stören. Also sind bei LP-Beton zwei Probleme zu erwarten:

- Schädigung des LP-Systems, also mangelnder Frost/Taumittel Widerstand und
- Mögliche Verschlechterung des Haftverbundes der dünnen, meist 3 mm dicken Mörtelschicht, zum Beton.

9 Nachbehandlung nach dem Glätten

Ist die Betonoberfläche sachgerecht geglättet, so muss zum Erreichen der gewünschten Festbetonkennwerte eine ausreichend lange Nachbehandlung erfolgen. Nachbehandlung bedeutet:

- Schutz vor Temperatureinwirkungen, meist gegen Frost (Gefrierbeständig, ab 5 N/mm²)
- Schutz vor Erschütterungen und
- Schutz vor Austrocknung.

Im Weiteren soll nur der Punkt Schutz vor Austrocknung betrachtet werden. Für alle Expositionsklassen XM fordert DIN 1045-3 die Verdoppelung der Nachbehandlungszeiten.

Für die üblichen Industriefußbodenbetone XM1 mit $(w/z)_{eq}$ um 0,53 und Zementen 32,5 R oder 42,5 N ist mit einer mittleren Festigkeitsentwicklung des Betons zu rechnen. Hierfür bedeuten die doppelten Tabellenwerte der DIN 1045-3 die folgende Anzahl von Tagen der Nachbehandlung:

Bei Temperaturen	$\geq 15^\circ \text{C}$	mindestens	4 Tage
bei	≥ 10 bis 15°C	mindestens	8 Tage
bei	≥ 5 bis 10°C	mindestens	12 Tage.

Temperaturen unter 5°C dürfen nicht als Nachbehandlungszeit gezählt werden.

Werden aus Gründen der Hydrationswärme Betone mit „langsamer“ oder „sehr langsamer“ Festigkeitsentwicklung gewählt, erhöhen sich diese Werte noch deutlich.

Üblicherweise sind ausreichend dicke Folien aufzulegen und erforderlichenfalls gegen Abheben (Wind) zu sichern. Hier möglichst nicht auf dem jungen Beton beschweren sondern auf den anschließenden Flächen.

Es ist sicherzustellen, dass die Folie nach dem Fugenschneiden am nächsten Tag wieder richtig vollflächig aufgelegt wird. Ferner ist darauf zu achten, dass die Folie nicht durch Arbeiten für ein Folgegewerk zu früh entfernt wird.

Blasen und Falten führen auf der Betonoberfläche zu unterschiedlichen Farbschattierungen, die z.T. deutlich störend wirken. I.d.R. verblassen diese Unterschiede mit zunehmender Zeit.

Bei sehr langen Nachbehandlungszeiten und Beschweren der Folie auf dem jungen Beton können an diesen Stellen Dunkelverfärbungen, wie bei lange eingeschalteter Sichtbeton, auftreten [17].

10 Zusammenfassung

Sachgerecht ausgeführte flügelgeglättete Betonoberflächen sind besonders glatt und widerstandsfähig. Durch Flügelglätten werden mit den Betonen, die für XM1 erforderlich sind die Anforderungen von XM2 erfüllt (DIN 1045-2).

Maßgebend für das Gelingen ist der richtige Zeitpunkt für das Glätten, nämlich das Erreichen der Trittfestigkeit bei gleichzeitig matffeuchter Oberfläche.

- Ist die Oberfläche zu nass, weil das Bluten größer war als das verdunsten, so muss das Überschusswasser abgeschoben werden. Andernfalls weist die geglättete Schicht einen zu hohen $(w/z)_{eq}$ -Wert auf, Krakelee-Risse aus erhöhtem Schwinden sind die zwingende Folge. Zudem sinkt die Festigkeit durch die Wassergehaltserhöhung.
- Ist die Oberfläche schon zu trocken, weil die Verdunstungsrate deutlich über dem Bluten liegt, ist ein mangelnder Haftverbund unvermeidlich. Hier ist mit geeigneten Zwischennachbehandlungsmaßnahmen, z.B. feinen Sprühnebel mit Hochdruckreiniger über die Fläche legen, ein Vertrocknen zu verhindern.

11 Literatur

- [1] Meyer, J und J. Krell; Varianten statt starrer Mischanweisung; beton, Heft 1 1999, Bau Verlag, Düsseldorf.
- [2] Wierig/Grube; Zement-Taschenbuch 2000, Seite 279 f
- [3] DIN 1045-2 und EN 206-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton Beton, Beuth-Verlag: 2001
- [4] Walz-Kurve; Zement-Taschenbuch 2000, Seite 273
- [5] Czernin, W.: Über die Rolle der Feinstanteile im Portlandzement. Zement-Kalk-Gips 7 (1954) H. 4, S. 160-166.
- [6] Schießl, P. et al. Blüten von Frischbeton, Schriftenreihe der Transportbetonindustrie Heft 9, 1997
- [7] Kulanan Thumasujarit Bleeding model for fly ash concrete, Research and Development Journal of the Engineering Institute of Thailand, Vol. 15, No. 3.
- [8] Järvepää, H.; Quality characteristics of fine aggregates and controlling their effects on concrete, Acta Polytechnica Scandinavia, Ci 122, Espoo 2001
- [9] Ravindrarajah, R.S. Bleeding of fresh concrete containing cement supplementary materials, Ninth east Asia-Pacific Conference on structural Engineering and Construction, Bali , Indonesia 2003
- [10] DBV Merkblatt: Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen, Deutscher Beton- und Bau-technik Verein e.V., November 2004
- [11] DIN 1045-3: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 3: Bauausführung; Beuth-Verlag 7-2003
- [12] Erstarrungsphasen Zement-Taschenbuch 2000, Seite 278
- [13] Nachbehandlung von Beton, Zement-Merkblatt; B8N 2002
- [14] DIN 18 202: Toleranzen im Hochbau - Bauwerke, Beuth-Verlag 10-2005
- [15] Hover, K. The gentle Art of Fogging, CONCRETE CONSTRUCTION MAGAZINE Publication date: 06/01/2005
- [16] Blistering or Efflorescence on the Concrete Surface, During the Power Trowelling Operation, ACN097 789 87 92 Vasey Cres CAMPBELL ACT2612
- [17] DBV-Merkblatt Sichtbeton 8/2004 Anhang E4

Potentielle Ursachen von Mängeln in Industrieböden aus Beton und deren Bewertung

Rolf Breitenbücher

Zusammenfassung

Industrieböden unterliegen im Normalfall nicht dem bauaufsichtlich geregelten Bereich und bergen nicht zuletzt wegen fehlender systematischer Untersuchungen naturgemäß ein erhöhtes Schadenspotenzial. Daher ist es ratsam, vor Ausschreibung und konstruktiver Planung einen detaillierten Anforderungskatalog für die voraus-sichtliche Nutzung des Industriebodens zu erstellen. Auf dieser Grundlage können schließlich in der Planungsphase die Konstruktions- und Ausführungsdetails definiert werden, die für die späteren Anforderungen aus Nutzung und Beanspruchung am besten geeignet sind. Des Weiteren ist eine hohe Sorgfalt bei der Bauausführung und -überwachung für die Herstellung eines schadensfreien Industriebodens unabdingbar. Treten Mängel, wie z. B. Risse, Ablösungen, Unebenheiten, etc. an Industrieböden auf, so sind bei deren Bewertung neben Art und Ausmaß auch immer die vorliegenden Anforderungen aus der Nutzung zu berücksichtigen.

1 Einleitung

Wenn der Bereich „Industrieboden“ auch nicht zu den spektakulärsten im Betonbau zählt, nimmt er doch einen nicht zu vernachlässigenden Marktanteil ein. Wie andere Bereiche haben auch Industrieböden ihre Spezifika. Werden diese bei der Planung, Ausführung und Wartung außer Acht gelassen, stellen sich sehr rasch Mängel und Schäden ein, die die Gebrauchstauglichkeit maßgeblich beeinträchtigen können.

Solche negativen Erscheinungen zeigen sich meist in Form von mehr oder weniger intensiver Rissbildung, Ausbrechen von Kanten, bei mehrschichtigem Aufbau des Industriebodens auch durch oberflächige Ablösungen dünner Schichten, Unebenheiten und u. U. extremen Verschleiß in der Oberfläche. Besonders gravierend wirken sich Mängel und Schäden in Industrieböden aus, wenn diese nicht auf einem lokalen Einzelfehler beruhen, sondern systematischer Natur sind. Da Industrieböden sich in der Regel über große Flächen erstrecken (oftmals mehrere tausend m²), ergeben sich aus solchen systematisch implementierten Fehlerpotentialen meist sehr hohe Instandsetzungskosten. Vielfach sind mit Schäden im Industrieboden auch hohe Folgekosten verbunden, die durch Betriebsstillstand bzw. Ein- und Ausbau von installierten Produktionseinrichtungen entstehen.

Bei der Betrachtung von potentiellen Schwachstellen, die sich bereits bei der Herstellung von Industrieböden einstellen können, ist auch die Entwicklung bzw. Weiterentwicklung in diesem

speziellen Sektor des Betonbaus zu berücksichtigen. Industrieböden unterliegen im Normalfall nicht dem bauaufsichtlich geregelten Bereich wie beispielsweise tragende Bauteile nach DIN 1045 [3]. Lediglich in Ausnahmefällen, z. B. bei Regalhöhen über mehrere Meter oder wenn die Betonplatte gleichzeitig tragende und/oder aussteifende Aufgaben übernimmt, ist der Beton baurechtlich nach Norm herzustellen und zu verarbeiten. Bedingt durch die nur selten gegebene baurechtliche Relevanz fehlen bei Industrieböden auch weitgehend entsprechend detaillierte normative Vorgaben über einzuhaltende Randbedingungen, Baustoffe und Ausführungsschritte, wie sie für statisch relevante Stahlbetonkonstruktionen festgelegt und üblicherweise durch einschlägige wissenschaftliche Untersuchungen gestützt sind. Die Entwicklung im Bereich der Industrieböden ist demgegenüber vor allem durch handwerkliche Ideen und Empirie geprägt. So haben sich im Laufe der Zeit vielfältige Varianten bei der Planung und auch bei der Ausführung von solchen Flächen etabliert. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sind dann meist auch mehr individuell geprägt und oft regional begrenzt. Sie bergen aufgrund fehlender systematischer Untersuchungen naturgemäß auch ein höheres Schadenspotenzial. Entsprechend dieser mehr empirisch geprägten Entwicklung werden das Vorgehen und die verallgemeinerbaren Erfahrungen auch nur in wenigen Merkblättern mit informativem Charakter [1, 6, 9] dokumentiert.

2 Gebrauchstauglichkeit von Industrieböden

Die Nutzung von Industrieböden ist sehr breit gefächert, dementsprechend ergeben sich auch unterschiedliche Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit. Somit sind auch Mängel und Schäden je nach Nutzung unterschiedlich zu bewerten. Während beispielsweise Unebenheiten von wenigen Millimetern in einem Hochregallager (Abbildung 1), das von automatisierten Flurförderfahrzeugen angefahren wird, die Nutzung schon praktisch unmöglich machen, beeinträchtigen diese in einer Lagerhalle für Schüttgüter (Abbildungen 2 und 3) die Nutzung nicht besonders. In gleicher Weise sind auch Risse, Absandungen etc. differenziert zu werten. Je nach Nutzung als Produktions-, Lager-, Park- oder Fahrfläche sind die maßgeblichen Anforderungen an einen Industrieboden bereits in der Ausschreibung festzuhalten.



Abb. 1: Hochregallager



Abb. 2: Lagerhalle für Schüttgut



Abb. 3: Lagerhalle für Schüttgut

Industrieböden werden in den meisten Fällen sehr starken Verschleißbeanspruchungen beispielsweise durch starken Verkehr, häufige Stöße oder Schläge, sowie durch rollendes oder schleifendes Bewegen von schweren Gegenständen unterzogen, wobei häufig eine Kombination dieser Beanspruchungsarten vorliegt. Unvollständige Informationen in der Planungsphase über die Nutzungsart oder Nutzungsänderungen im Laufe der Lebensdauer können dazu führen, dass Widerstand und Beanspruchung eines Industriebodens nicht richtig aufeinander abgestimmt sind und die Nutzung durch entsprechende Schädigungen bereits weit vor dem Ende der geplanten Lebensdauer einschränkt wird.

Bei hochbeanspruchten Industrieböden sind bereits bei der Herstellung besondere Maßnahmen zu ergreifen, um dauerhaft einen hohen Verschleißwiderstand zu erzielen. Für mäßige und starke Verschleißbeanspruchungen (Expositionsklassen XM1 und XM2) reicht i. Allg. die Einhaltung besonderer betontechnologischer Regeln (Begrenzung Zementgehalt und Wasserzementwert) aus. Demgegenüber ist bei einer sehr starken Verschleißbeanspruchung (XM3) der zusätzliche Einsatz von besonders widerstandsfähigen Hartstoffen nach DIN 1100 [4] unabdingbar. In der Vergangenheit haben sich hierbei zwei gängige Methoden für ihren Einbau in den noch frischen Beton entwickelt:

- Einstreuung und Einarbeiten von Hartstoffen nach DIN 1100 [4] in die noch frische Betonoberfläche; Schichtdicke: rd. 2 bis 3 mm
- Aufbringen eines eigens hergestellten Hartstoff-Zement-Mörtels (Hartstoffestrich nach DIN 18560-7 [2]) frisch-in-frisch auf den noch nicht erstarrten bzw. erhärteten Beton der Bodenplatte; Schichtdicke: rd. 8 bis 15 mm

In Sonderfällen lässt sich darüber hinaus die Hartstoffschicht auch als echter Industrieestrich mit Hilfe einer Haftbrücke auf den bereits erhärteten Beton aufbringen. Ebenso wird in vielen Fällen eine Kunstharzbeschichtung mit besonderem Verschleiß-

widerstand nachträglich auf die Bodenplatte appliziert. (Auf diese Bauweise wird im Folgenden nicht näher eingegangen.)

3 Ursachen und Bewertung von Rissen

Grundsätzlich muss bei einer Beurteilung von Rissen neben den bereits erwähnten Nutzungsarten eines Industriebodens auch zwischen verschiedenen Rissausbildungen und Rissursachen differenziert werden.

Risse in Industrieböden sind meist auf Zwangs- und / oder Eigenspannungen zurückzuführen. Infolge statischer oder dynamischer Überbeanspruchungen treten Risse nur in Sonderfällen auf.

Zwangsspannungen entstehen, wenn Eigenverformungen des Betons behindert werden. Relevante Eigenverformungen stellen sich vor allem bei Temperatur- und Feuchteänderungen ein. Maßgeblich dafür können beispielsweise jahres- oder tageszeitliche Temperaturänderungen, periodisches Beheizen einer Halle, abfließende Hydratationswärme oder die Einlagerung von Schüttgut mit deutlich höherer / niedrigerer Temperatur als die Umgebung sein. In gleicher Weise führt die Austrocknung des Betons zu Eigenverformungen (Schwinden).

Abhängig vom Grad der Verformungsbehinderung können sich infolge über die Plattendicke gleichmäßig verlaufender Eigenverformungen sehr schnell zentrische Zwangsspannungen in der Betonplatte aufbauen, die die Zugfestigkeit des Betons deutlich überschreiten. Das Ergebnis daraus sind dann Trennrisse, die über die Plattendicke etwa mit gleicher Breite verlaufen (Abbildungen 4 und 5). Insbesondere bei der nach wie vor verfolgten Tendenz, Industrieböden möglichst großflächig, z. B. Felder von 30 m x 30 m fugenlos herzustellen, werden die sich einstellenden Zwangsspannungen im Beton oftmals unterschätzt.

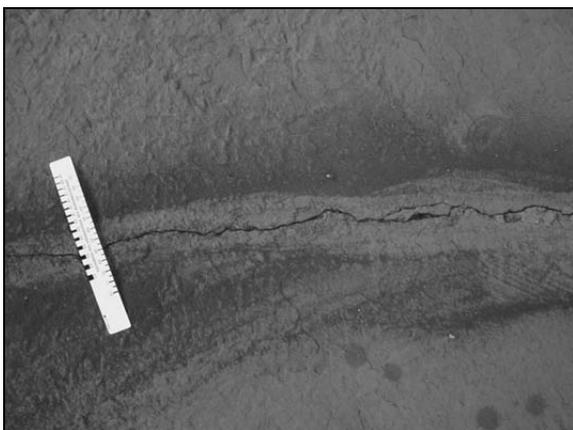


Abb. 4: Trennriss mit einer Rissbreite von rd. 0,8 mm

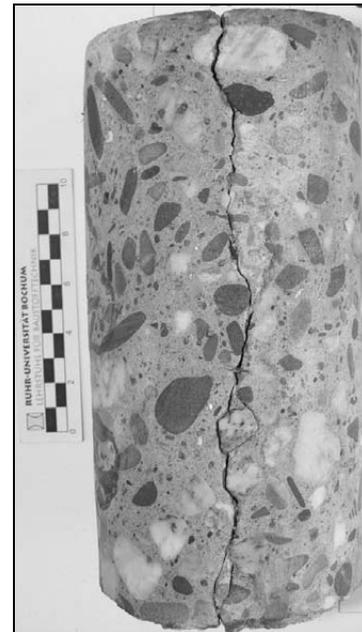


Abb. 5: Trennriss in einem Bohrkern

Durch direkte Sonneneinstrahlung, einseitig abfließende Hydratationswärme oder auch die Art der Nutzung z. B. Lagerung von heißem Schüttgut können sich darüber hinaus ungleichmäßige Temperaturverformungen über den Plattenquerschnitt ergeben. Ein über die Plattendicke linear verlaufender Verformungsgradient würde zu Verwölbungen der Betonplatte führen (Abbildung 6). Diesen wirkt jedoch das Eigengewicht der Platte und ggf. weitere Verkehrslasten entgegen. Die daraus resultierenden Biegespannungen können die Lastspannungen je nach Beanspruchungsgrad, Plattendicke und -länge deutlich übersteigen und i. d. R. von der Konstruktion nicht rissfrei aufgenommen werden. Die Folge sind keilförmig über die Plattendicke verlaufende Biegerisse.

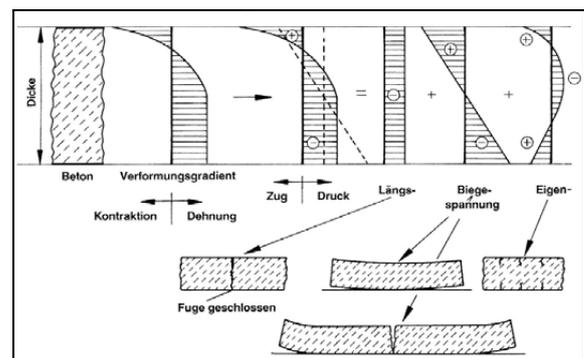


Abb. 6: Spannungen und Risse in Betonplatten infolge eines negativen Verformungsgradienten bei Temperaturänderungen und / oder Schwindvorgängen (nach [8])

Neben den linear veränderlichen Verformungen stellt sich in der Regel noch ein gekrümmter Verlauf ein, der zu entsprechenden Eigenspannungen führt.

Überschreiten diese die Betonzugfestigkeit bilden sich nur wenige Millimeter tiefe, netzartige Oberflächenrisse (Abbildungen 7 und 8).

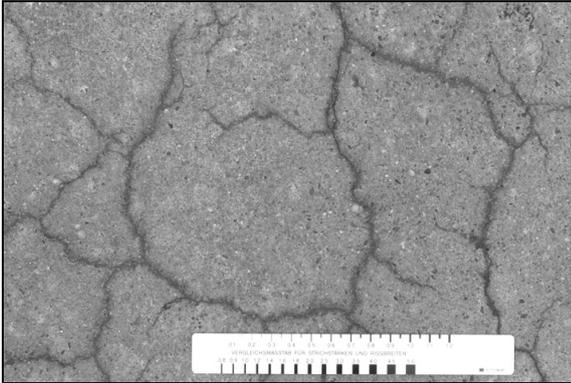


Abb. 7: Netzartige Risse in der Betonoberfläche

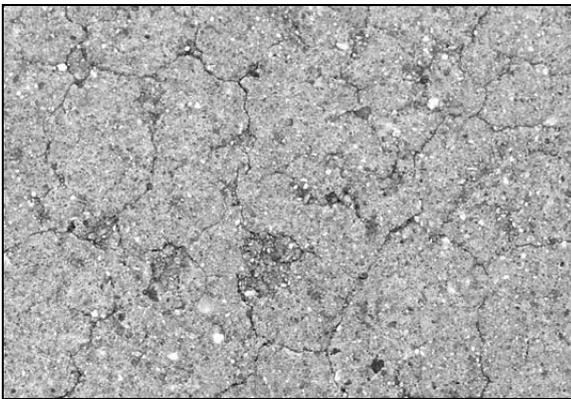


Abb. 8: Krakeleerisse mit ausgebrochenen Flanken

Eigenverformungen der Betonplatte rufen in Verbindung mit den vorhandenen Vertikallasten (hier reicht schon das Eigengewicht der Bodenplatte) Reibungskräfte zwischen Beton und Tragschicht hervor. Um die Verformungsbehinderung und damit auch die daraus resultierenden Zwangsspannungen zu reduzieren, werden des öfteren Gleitschichten, meist PE-Folien mit $d \geq 0,2$ mm, unter der Betonplatte angeordnet. Dabei muss gleichzeitig sichergestellt sein, dass die Unterseite bzw. die Sauberkeitsschicht eben ausgerichtet ist. Sobald sich im Untergrund größere Unebenheiten befinden, wird bei einer horizontalen Verformung (z. B. bei Temperatur- oder Schwindverformungen) eine vertikale Verformungskomponente aktiviert, die das gesamte Eigengewicht der Betonplatte und einer ggf. vorhandenen Auflast entgegensteht. Unebenheiten auf der Unterseite einer Betonplatte wie in den Abbildungen 9 und 10 lassen selbst mit Folieneinlagen kein zwängungsfreies Gleiten der Betonplatte zu. Im vorliegenden Fall haben sich vor oder während des Betonierens diese Unebenheiten in einer nicht verfestigten Sandschicht, die als ebene Ausgleichsschicht vorgesehen war, eingestellt.

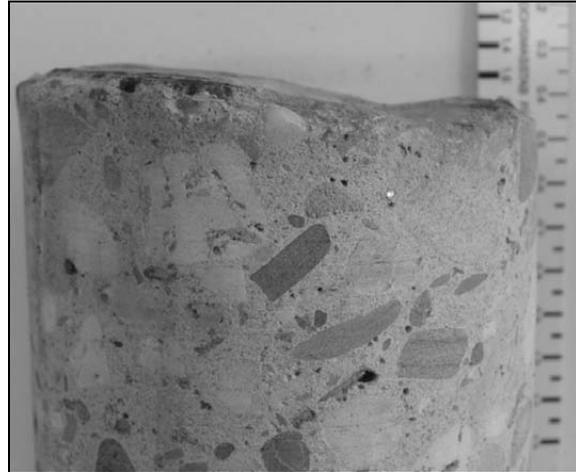


Abb. 9: Unterseite eines Bohrkerns aus einem Industrieboden

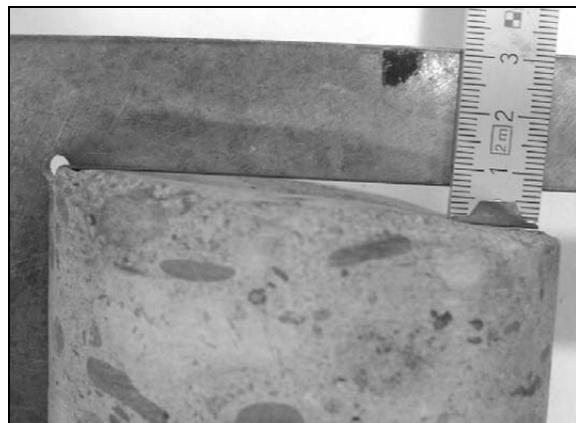


Abb. 10: Unebenheit an der Unterseite eines Bohrkerns

Gelegentlich zeichnen sich bereits wenige Stunden nach Herstellung eines Industriebodens jeweils lokal relativ eng begrenzt erste Risse auf der Oberfläche ab. Solche Risse sind in erster Linie auf Eigenspannungen infolge eines sehr hohen Feuchteentzugs im jüngsten Alter zurückzuführen. Neben der natürlichen Verdunstung ist hierfür oftmals ein übermäßiger Feuchteentzug im Rahmen der Hartstoffeinstreuung verantwortlich, wenn dabei gleichzeitig vergleichsweise viel Zement mit eingestreut wird. Wird anschließend nicht intensiv genug nachbehandelt kann dies wie bei hochfesten Betonen zu einer massiven Rissbildung führen. Meist handelt es sich hierbei um kurze krakeleeartige Risse mit einer Breite zwischen 0,1 mm bis 0,2 mm (Abbildung 11) und einer Tiefe von meist nur wenigen Millimetern.

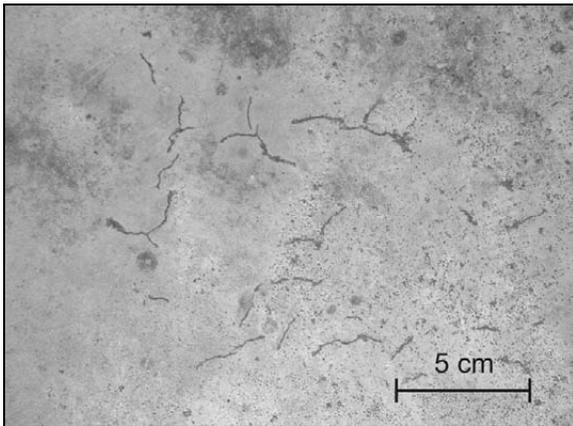


Abb. 11: Netzartige Risse in der Hartstoffmörtelschicht

Während solche Risse im Fall der o. g. Lagerhalle für Schüttgüter nur von untergeordneter Bedeutung sind und keinen Mangel darstellen, können sie in automatisierten Hochregallagern die Nutzung u. U. beeinträchtigen. Insbesondere bei hoch beanspruchten Industrieböden können die Flanken solcher Krakeleerrisse bei der späteren Nutzung schnell ausbrechen und damit zu Unebenheiten führen. Falls der Industrieboden mit schnell fahrenden Fahrzeugen genutzt wird, können diese Ausbrüche wie bei Betonfahrbahndecken (Abbildung 12) erhebliche Ausmaße annehmen.



Abb. 12: Ausgebrochene Flanken bei einer Betonfahrbahndecke

Aufgabe einer fachgerechten Planung und Konstruktion ist daher, die Rissbildung so zu kontrollieren, dass die Rissbreiten bestimmte, für die Nutzung und Dauerhaftigkeit akzeptable Grenzwerte nicht überschreiten. Je nach Nutzung und Umgebungsbedingungen liegen diese zwischen rd. 0,1 und 0,4 mm. Diese Grenzzrissbreite kann bei der großflächigen, fugenlosen Bauweise in der Regel nur über eine entsprechende Bewehrungsführung gesteuert werden. Besonders an einspringenden Ecken (z. B. integrierte Stützen) bilden sich infolge der dort zusätzlich auftretenden Kerbspannungen leicht breite

Risse. Hier ist durch eine entsprechende Diagonalbewehrung Abhilfe zu schaffen (Abbildung 13).

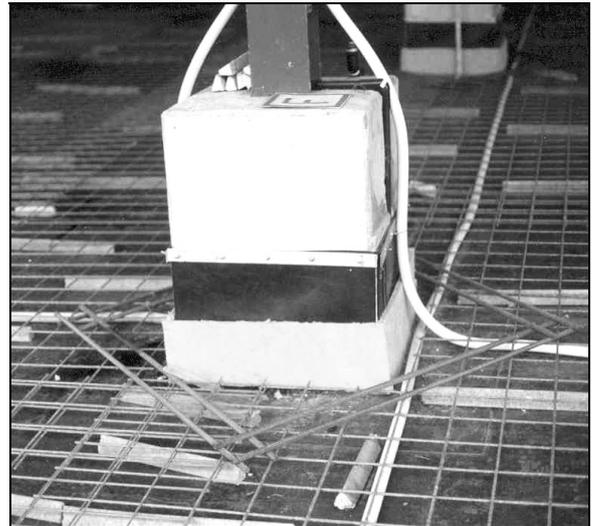


Abb. 13: Diagonalbewehrung bei integrierten Stützen

In vielen Fällen werden Industrieböden heute mit Stahlfaserbeton hergestellt. Ein ausreichender Stahlfasergehalt und eine gleichmäßige Verteilung der Stahlfasern im Beton vorausgesetzt führt i. d. R. zu einer Verbesserung der Risseverteilung, des Verschleißwiderstandes und der Schlagfestigkeit. Vorteile hat der Stahlfaserbeton zusätzlich im Bereich von Rissflanken und Kanten, wo die Stahlfasern den Widerstand gegen Ausbrechen erhöhen. Die Rissbreitenbegrenzung ausschließlich über Stahlfasern herbeizuführen würde jedoch extrem hohe Fasergehalte (rd. 100 kg/m³ und mehr) erfordern, was sowohl verarbeitungstechnisch als auch wirtschaftlich als ungünstig zu bewerten ist. Daher wird in der Regel der Einsatz von herkömmlicher Stab- oder Mattenbewehrung unabdingbar sein.

4 Schadensfälle im Fugenbereich

Von besonderer Bedeutung für den Spannungszustand und damit auch für die Frage einer Rissbildung sind die in einer Betonplatte planmäßig angeordneten Fugen. Sie dienen v. a. dazu, Längenänderungen aus Schwinden und Temperaturänderungen auszugleichen und so eine unkontrollierte Rissbildung zu verhindern. Um eine Rissbildung von Haus aus zu vermeiden, sollte eigentlich die Plattengröße durch entsprechende Fugeneinteilung auch in geschlossenen Hallen allgemein unter etwa 12 bis 15 m gehalten werden, was aber oftmals deutlich überschritten wird. Dann sind besondere Maßnahmen (siehe Abschnitt 3) zu ergreifen.

Die Lage, Abmessungen und Ausführungsdetails von Dehn-, Arbeits- und Scheinfugen sind bereits in der Planungsphase festzulegen und in einem Fugenplan darzustellen. Die Fugenanzahl sollte aber auf ein Minimum beschränkt bleiben, da jede Fuge

eine Schwachstelle der Konstruktion darstellt und zu folgenden typischen Schäden führen kann:

- Ausbrüche im befahrenen Bereich der Fugen (vgl. Abbildung 12)
- Verkantungen der einzelnen Bodenfelder
- Rissbildung im Estrich, wenn die Fugen der Bodenplatte nicht passgenau übernommen werden
- Risse im Bereich der Fugendichtungsmassen
- Starker Oberflächenverschleiß im Fugenbereich

In der Praxis häufig aufgetretene Ausbrüche in Fugenbereichen sind i. Allg. darauf zurückzuführen, dass der vorhandene Beton z. B. C25/30 nicht in der Lage ist, die schlagenden Belastungen beispielsweise durch vollgummibereifte Flurförderfahrzeuge schadensfrei aufzunehmen. Insbesondere im Bereich von breiteren Dehnungsfugen sind entsprechende Fugenprofile vorzusehen.

5 Ablösungen von dünnen Schichten

5.1 Allgemeines

Industrieböden werden mit separat aufgetragenen Hartstoffschichten in monolithischer Bauweise durchaus erfolgreich hergestellt. Allerdings kommt es, nicht zuletzt wegen fehlender systematischer Studien, dennoch immer wieder Mal zu einzelnen Verbundstörungen, teilweise sogar zu lokalen Hohlstellen. Diese sind oftmals im Bereich von gleichzeitig aufgetretenen Rissen anzutreffen. Die Größe dieser Hohlstellen kann im Laufe der Zeit zunehmen und durchaus 20 bis 30 cm im Durchmesser erreichen. Öffnet man solche Hohlstellen, lässt sich häufig eine Trennung direkt in der Grenzfläche zwischen Hartstoffmörtelschicht und dem Beton der Bodenplatte feststellen. Diese Trennfläche kann sowohl glatt als auch rau ausgebildet sein.

Dabei zeigen sich meist zwei unterschiedliche Charakteristiken:

- Typ 1: Anreicherung von Mörtelschlämpe direkt in der Verbundfuge,
- Typ 2: Trennfläche in der Verbundfuge.

5.2 Schicht aus Mörtelschlämpe - Typ 1

Im Bereich der Verbundstörung ist direkt unter der Hartstoffschicht eine Anreicherung von Mörtelschlämpe anzutreffen. Diese weist eine vergleichsweise glatte Oberfläche auf und konnte offensichtlich nie einen festen Verbund zwischen Beton und Mörtel ermöglichen (Abbildung 14). Eine genauere Analyse dieser Schlämpe z. B. in raster-elektronenmikroskopischen Aufnahmen (Abbildung 15) zeigt, dass sie überwiegend aus weichem Calciumhydroxid besteht. Dies geht auch mit der relativ glatten Oberfläche der Schlämpeschicht einher.

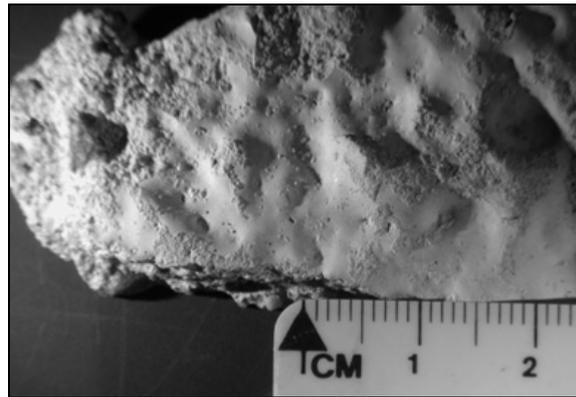


Abb. 14: Abplatzung Typ 1 - Aufnahme der glatten Oberfläche der Mörtelschlämpe

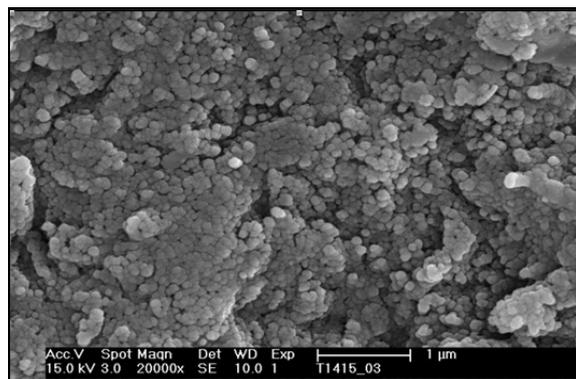


Abb. 15: REM – Aufnahme der Mörtelschlämpeoberfläche (20.000-fache Vergrößerung): Keine typischen Calciumsilikathydrate, mehr noppenförmiges, wenig festes Calciumcarbonat / Calciumhydroxid

Diese Mörtelschlämpe sondert sich lokal auf der frisch eingebauten Betonoberfläche noch vor der Applikation des Hartstoffmörtels ab. Die Wahrscheinlichkeit einer solchen Absonderung wird von der Betonzusammensetzung, der Art und Intensität der Oberflächenbearbeitung und der Temperatur beeinflusst. Bei einer weichen bis fließfähigen Konsistenz des Frischbetons mit Ausbreitmaßen nach DIN EN 12350 [5] über etwa 500 mm und höheren Temperaturen ist diesbezüglich das Risiko erheblich höher als bei einer steiferen Frischbetonkonsistenz. Daher wird in dem Merkblatt „Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen“ des Deutschen Beton- und Bautechnikvereins nachdrücklich empfohlen, den Frischbeton mit einer Konsistenz nicht weicher als F3 (Ausbreitmaß ≤ 480 mm) einzubauen [7]. Durch das rotierende Abscheiben mit Tellergrättmaschinen wird bei weich eingebauten Betonen sehr leicht Feinmörtel aus den tiefer liegenden Bereichen an die Oberfläche gefördert, der sich dann lokal massiv anreichert (Abbildungen 16 und 17). Es versteht sich von selbst, dass in solchen Bereichen der Verbund zwischen Hartstoffschicht und Bodenplatte drastisch vermindert wird.

Zudem ist darauf zu achten, dass der einzubringende Frischbeton möglichst wenig vom bauausführenden Personal durchlaufen wird, da dies ebenfalls zur Entmischung und Anreicherung von Zementschlämpe im oberen Bereich führen kann.

Bis dato sind zur Phänomenologie der Schlämpebildung nicht alle maßgebenden Einflussparameter untersucht worden, oftmals spielen dabei auch nur geringe Abweichungen von Nebenbestandteilen (z. B. Alkaligehalte, Mahlhilfen u. ä.) eine entscheidende Rolle.

Das Problem einer solchen Schlämpebildung beschränkt sich aber nicht nur auf die Applikation von zusätzlichen Schichten auf eine frische Betonoberfläche. Auch in Fällen, in denen keine abschließende Hartstoffmörtelschicht aufgebracht wird, kann die beschriebene Schlämpebildung die Qualität der Betonoberfläche durch ihre nur geringe (Verschleiß-) Festigkeit beeinträchtigen. Im Laufe der Nutzung können in solchen Fällen leicht Absandungen und Ablösungen von dünnen Schichten auftreten.

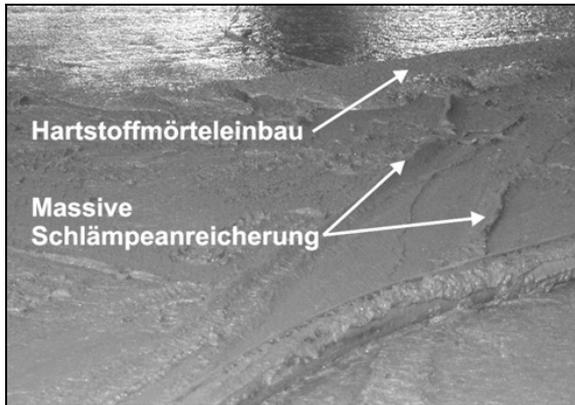


Abb. 16: Schlämpeanreicherungen auf der Betonoberfläche unmittelbar vor dem Einbau der Hartstoffmörtelschicht



Abb. 17: Lokale massive Schlämpeanreicherungen auf der Betonoberfläche

5.3 Hydratationsbedingte Trennfläche in der Verbundfuge - Typ 2

Aber auch ohne die Konzentrationen von Mörtelschlämpe finden sich immer wieder lokale Verbundstörungen unmittelbar unter der Hartstoffmörtelschicht (Abbildung 18). Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Fehlstellen liegt hier keine „physikalische Trennschicht“ (Schlämpe) vor. Vielmehr konnte sich hier von Anfang an kein signifikanter Verbund zwischen dem Beton der Bodenplatte und der Hartstoffmörtelschicht ausbilden. Offensichtlich war der kurz vorher eingebaute Frischbeton zum Zeitpunkt der Applikation des Hartstoffmörtels schon so weit angesteift bzw. sogar schon in der Erstarrungsphase, dass eine monolithische Verbindung frisch-in-frisch nicht mehr sichergestellt werden konnte. An Bruchstücken aus solchen Bereichen sind im Gegensatz zu dem oben beschriebenen Phänomen in der Trennfläche auch keine Anreicherungen von (nur wenig festem) Calciumhydroxid vorzufinden. Vielmehr sind hier eindeutig Calciumsilikathydrate (CSH) zu erkennen, die sich aber nicht mehr innig mit den Hydratationsprodukten der Hartstoffmörtelschicht verbinden konnten (Abbildung 19).

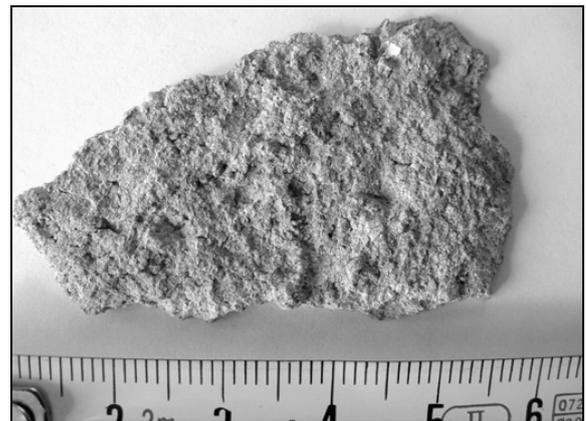


Abb. 18: Abplatzung Typ 2 (ohne anhaftende Mörtelschlämpe); Bruch direkt in Verbundfuge



Abb. 19: REM – Aufnahme der Verbundfläche unterhalb der Hartstoffmörtelschicht (10.000-fache Vergrößerung): Typische Calciumsilikathydrat - Ausbildungen

Zu einem solchen mangelhaften Verbund trägt maßgeblich die zeitliche Gratwanderung zwischen zwei einander mehr oder weniger widersprechenden Randbedingungen bei. Auf der einen Seite muss der Beton der Bodenplatte schon soweit angesteift sein, dass für die maschinelle Oberflächenbearbeitung bereits eine ausreichende Tragfähigkeit gegeben ist. Andererseits darf der Beton aber noch nicht soweit angesteift bzw. erstarrt sein, dass die frisch-in-frisch-Verbindung zwischen den beiden Schichten nicht mehr sichergestellt ist.

Daher verbleibt nur ein vergleichsweise enges Zeitfenster für die technisch einwandfreie Applikation der Hartstoffschicht. Der frühest mögliche Zeitpunkt wird von zahlreichen Umgebungsbedingungen (z. B. Lufttemperatur, Belüftungsverhältnisse, Sonneneinstrahlung) und betontechnologischen Einflüssen (z. B. Konsistenz beim Einbau, Frischbetontemperatur) bestimmt. Es bedarf langjähriger Erfahrung des Poliers bzw. Bauleiters und des ausführenden Fachpersonals, den richtigen Zeitpunkt bzw. das optimale Zeitfenster für die Oberflächenbearbeitung festzulegen. Allgemeingültige Regeln oder Prüfkriterien für die Festlegung dieses Zeitraums gibt es hierzu bislang nicht.

Wird im Anschluss an das Abscheiben der Hartstoffmörtel aufgetragen, ist der Beton der Bodenplatte meist schon vier bis sechs Stunden alt. Unter ungünstigen Randbedingungen (z. B. bei wärmerer Witterung) ist der Beton dann schon soweit erstarrt bzw. das Zeitfenster so eng, dass in vielen Fällen eine monolithische Verbindung nicht mehr sichergestellt ist. Die abgescheibte Betonoberfläche sieht zu diesem Zeitpunkt nurmehr mattfeucht aus (Abbildung 20), was in der Regel ein Indiz für einen bereits beginnenden Erstarrungsprozess darstellt. Derzeit wird der richtige Zeitpunkt bzw. das zulässige Zeitfenster für die Applikation der Hartstoffschicht i. Allg. daran beurteilt, wenn der Beton soeben „begehbar“ ist, was sicherlich auch subjektiv zu sehr unterschiedlichen Einschätzungen führen kann.

Als praxisorientierte Hilfestellung wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes am Lehrstuhl für Baustofftechnik der Ruhr-Universität Bochum ein Prüfverfahren entwickelt, mit dem der Ansteif- und Erstarrungszustand von Beton erfasst und auf Grundlage weniger Vorversuche ein geeignetes Zeitfenster für die Hartstoffapplikation ermittelt werden kann [2]. Basierend auf der Bestimmung des Eindringwiderstands bei Penetrometerprüfungen kann der Ansteif- und Erstarrungszustand reproduzierbar bestimmt und bewertet werden (Abbildungen 21 und 22).



Abb. 20: Lokale bereits weit angesteifte, erstarrende Betonoberfläche (mattfeucht)



Abb. 21: Penetrationsversuch mit Kraftmessgerät und Eindringkörper (Kreiskegel)

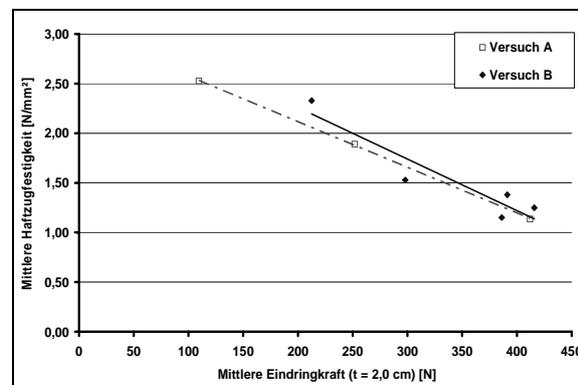


Abb. 22: Mittlere Haftzugfestigkeiten nach 7 Tagen in Abhängigkeit vom mittleren Penetrationswiderstand des Betons unmittelbar vor Hartstoffmörtelapplikation (Penetration mit 20°-Kreiskegel; Eindringtiefe t = 2,0 cm)

Wie aus Abbildung 20 weiterhin ersichtlich ist, können solche Bereiche mit bereits weitgehend angesteiftem / erstarrendem Beton auch in unmittelbarer Nähe von Stellen mit Schlämpeanreicherung liegen.

6 Sonderfälle von Mängeln

6.1 Walzbeton

Bei Vorliegen entsprechender Randbedingungen werden Industrieböden vereinzelt auch in Walzbeton hergestellt. Dazu wird ein erdfeuchter Beton mit einem Fertiger in Lagen von etwa 20 cm Dicke eingebaut, vorverdichtet und danach mit einer Glattmantelwalze oder Gummiradwalze verdichtet. Um den Herstellungsaufwand zu minimieren, wurde des öfteren anstelle der genannten Walzgeräte darauf vertraut, eine ausreichende Verdichtung ausschließlich über die Rüttelbohle am Fertiger zu erzielen. Dies hat sich häufig als folgenschwere Fehleinschätzung herausgestellt. Die Verdichtungswirkung dieser vergleichsweise leichten Geräte reicht nicht über die gesamte Plattendicke. Während der späteren Nutzung ist es dann oftmals zu Eindrückungen und massiver Rissbildung gekommen. Bei fachgerechter Walzverdichtung traten solche Schadensbilder praktisch nicht auf.

6.2 Verzinkte Stahlfasern

In Sonderfällen, z. B. bei besonders aggressiven Umgebungsbedingungen oder hohen optischen Anforderungen an die Betonoberfläche, werden für Stahlfaserbeton aus Korrosionsschutzgründen gelegentlich verzinkte Stahlfasern eingesetzt. Dabei kann es bereits im Frischbeton zu einer Oberflächenreaktion zwischen der Zinkschicht und der anstehenden alkalischen Porenlösung kommen. Bei der Reaktion wird unter Bildung von Calciumhydroxozinkat Wasserstoff abgespalten. Das gasförmige Reaktionsprodukt kann sich an der Grenzfläche zwischen Stahlfaser und umgebendem Beton anlagern und so den Verbund nachhaltig schwächen. Darüber hinaus kann eine Gefügeveränderung des Betons durch die entstehenden Gasblasen verursacht werden, woraus in erster Linie eine Beeinträchtigung der Oberflächenqualität des Betons und u. U. ein Einfluss auf das Verbundverhalten der Bewehrung zu erwarten sind. Die Intensität dieser Reaktion wird maßgeblich auch vom Chromatanteil im Zement bestimmt. Je niedriger der Gehalt an löslichem Chromat ist, desto mehr Wasserstoff kann sich bilden. Bis vor kurzem reichte der im Zement von Natur aus vorliegende Chromatgehalt in der Regel aus, um die Reaktion von Zink und Calciumhydroxid wirksam zu unterbinden. Seit der werksmäßig vorgenommenen Chromatreduzierung der Zemente hat diese Problematik an Bedeutung gewonnen.

7 Literatur

[1] AGI-Arbeitsblatt A 12: Teil 1 Industrieböden, Industrieestriche – Ergänzungen zu DIN 18560 Zementestrich, zementgebundener Hartstoffestrich, 1997

[2] Breitenbücher, R.; Siebert, B.: Zielsichere Herstellung von Industrieböden mit Hartstoffschichten. Beton 56 (2006), Heft 4, S. 148 – 156

[3] DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1; Teil 3: Bauausführung, 2001

[4] DIN 1100: Hartstoffe für zementgebundene Hartstoffestriche, Anforderungen und Prüfverfahren, 2004

[5] DIN 18560: Estriche im Bauwesen, Teil 7: Hochbeanspruchbare Estriche (Industrieestriche), 2004

[6] Lohmeyer, G.: Betonböden im Industriebau – Hallen- und Freiflächen. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 1999

[7] Merkblatt Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E. V., Berlin 2004

[8] Springenschmid, R., Fleischer, W.: Oberflächenrisse in älteren Betonfahrbahndecken. Tiefbau-Ingenieurbau-Straßenbau 1993, Heft 10, S. 724 – 732

[9] Zement-Merkblatt Tiefbau: Betonböden für Hallen und Freiflächen, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., 1998

Instandsetzen von Industrieböden

Claus Flohrer

Zusammenfassung

Schäden an Industrieböden können die Gebrauchstauglichkeit erheblich beeinträchtigen, so dass Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich werden um eine weitere Nutzung zu ermöglichen. Insbesondere beeinflussen Schäden an der Oberfläche die Nutzung der Böden. Beispielhaft werden Überschreitung der zulässigen Ebenheitstoleranz bei Hochregallagern, Verformungen von kleinfeldrig unterteilten Böden oder Ausbrüche der Betonoberfläche an Fugen genannt. Die Instandsetzung kann durch Wiederherstellen der erforderlichen Ebenheit durch Schleifen, durch Aufbringen zusätzlicher Ausgleichs- oder Nutzsichten, durch eine Instandsetzung der Fugen, durch partiellen Austausch der Betonbodenplatten oder das Unterpressen einzelner Plattenabschnitte erfolgen. Zur Vermeidung von Schäden sind Industrieböden individuell bezüglich ihrer Lastbeanspruchung und ihrer Nutzung so zu planen, dass die zu erwartenden Beanspruchungen schadensfrei aufgenommen werden können.

1 Allgemeines

Industrieböden werden häufig ohne ausreichende Planung und ohne Berücksichtigung der späteren Nutzung hergestellt. Folgen derartiger unzureichender Planung sind Schäden insbesondere an den Oberflächen der Böden, die in vielen Fällen die geplante Nutzung massiv beeinträchtigen.

Die Instandsetzung derartiger Schäden muss häufig während der Nutzung oder in kurzen Nutzungspausen erfolgen. Dadurch wird die Werkstoffauswahl und die Verfahrensart der Instandsetzung massiv beeinflusst

2 Typische Schadensmerkmale und Instandsetzungsmethoden

2.1 Schadensbilder

Bei der Herstellung von Industrieböden wird oft die planerische Vorarbeit und die Sorgfalt bei der Ausführung vernachlässigt. Um Schäden aus falscher oder unzureichender Planung des Industriebodens, aus vorher nicht bekannter Nutzung des Industriebodens und aus Ausführungsmängeln zu vermeiden, sind bestimmte Grundsätze einzuhalten, auf die in [1] hingewiesen wird. Der Planer hat ein hohes Maß an Verantwortung, wenn er den Bauherrn hinsichtlich der technischen Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit seiner Wünsche berät.

Da dies in der Vergangenheit oft nur unzureichend erfüllt wurde, sind zahlreiche Schäden an Industrieböden aufgetreten.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über immer wiederkehrende Schäden an Industrieböden.

Tab. 1: Schadensmerkmale und mögliche Ursachen

Schadensmerkmale	Mögliche Ursachen
Abplatzungen an Fugen	Zu breite Fugen Fugen ohne Kantenschutz oder Profil Fugen für Beanspruchung ungeeignet
Gerichtete Risse	Biegebeanspruchung durch Lasteinwirkung oder Nachgiebigkeit des Untergrunds Zwangbeanspruchung durch behinderte Verformung
Netzrisse	Zu schnelles Austrocknen Unzureichende Nachbehandlung Chemisches Schwinden der Hartstoffsichten
Holz-/ Muscheleinschlüsse	Ungeeignete Betonzusammensetzung, z.T. Einschlüsse nicht vermeidbar
Ebenheit nicht erreicht	gewählte Einbaumethode nicht auf die geforderte Ebenheit abgestimmt, fehlende Planungsvorgaben
Aufwölbungen der Plattenränder	PE-Folie, ungeeignete Betonzusammensetzung fehlende Verdübelung
Ablösen der Hartstoffschicht	Verdichtungsfehler, ungeeigneter Glättvorgang, Betonzusammensetzung
Blasen in Beschichtung	Ungeeignetes Beschichtungsmaterial Falscher Beschichtungsaufbau
Beläge	Ungeeigneter Belagaufbau, nicht abgestimmt auf Anforderungen und auf Untergrund

2.2 Instandsetzungsmethoden

Die anzuwendenden Instandsetzungsmethoden sind abhängig von Art und Ausmaß der Schäden, von der zukünftigen Beanspruchung und Nutzung des Industriebodens und von der zeitlichen Möglichkeit der Durchführung der Instandsetzungsmaßnahme.

Als Instandsetzungsmethoden stehen zur Verfügung [2,3]:

- Austausch einzelner Plattenabschnitte
- Unterpressen einzelner Plattenabschnitte
- Abfräsen und/oder Abschleifen der Industriebodenoberfläche
- Kraftschlüssiges oder bedingt dehnfähiges Verbinden von Rissen und Fugen
- Reprofilierung der Oberflächen durch Ausgleichsschichten oder Estriche
- Beschichtung der Oberflächen

3 Beispiele

3.1 Aufwölbungen und Hohllage der Plattenränder

3.1.1 Sachverhalt und Schadensursache

Betonbodenplatten als Industriefußböden müssen auf einem ausreichend tragfähigen Unterbau hergestellt werden, zur Trennung zwischen Unterbau und Betonplatte wird häufig eine PE-Folie eingebaut.

Ziel des Einbaus der Folie aus Sicht der Planer könnte sein, eine Absperrung gegenüber der Feuchtigkeit aus dem anstehenden Boden zu bilden oder ein Gleiten der Bodenplatte auf dem Unterbau zu ermöglichen, um möglichst geringe Zwangsspannungen aufgrund behinderter Verformungen aufzubauen.

PE-Folien als einlagige Folien stellen keine wirkungsvolle Verminderung des Gleitwiderstandes dar. Wird eine wirkliche Reduzierung des Gleitwiderstandes erforderlich, sollten entweder werkmäßig hergestellte Gleitfolien oder eine Kombination aus stumpf gestoßenen Schweißbahnen mit 2 Lagen PE-Folie eingesetzt werden.

Eine Absperrung gegenüber der Bodenfeuchtigkeit ist in den meisten Fällen nicht erforderlich. Es gilt jedoch zu bedenken, dass durch die unterseitig angeordnete Folie ein Austrocknen der Bodenplatte nach unten verhindert wird.

Für eine 30000 m² große Hallenfläche einer Lagerhalle für Luftfracht wurde ein 2-lagig bewehrter Industrieboden mit geschnittenen Scheinfugen (obere Bewehrungslage durchtrennt), einer Fugeneinteilung von 7,5 m x 7,5 m und einer Betongüte eines B 35 planmäßig vorgegeben.

Vom GU wurde der Boden an eine Fachfirma vergeben, die als Sondervorschlag einen Stahlfaserbeton mit einer Fugeneinteilung von 12 x 12 m und unverdübelten Fugen einbaute.

Nach Inbetriebnahme stellte sich über einen Zeitraum von ca. 2 Jahren eine extreme Verkrümmung der Plattenränder ein (Abb. 1). Untersuchungen an Bohrkernen ergab, dass die Plattenränder hohl lagen und die geschnittenen Scheinfugen sowie die Arbeitsfugen weit geöffnet waren (Abb. 2). Die Luftfeuchtigkeit in der Lagerhalle betrug konstant ca. 30 %. Die Nutzung war stark beeinträchtigt, da die Stapler beim Überfahren der Fuge starken Erschütterungen ausgesetzt waren und die Platten wegen der Hohllage „pumpten“.

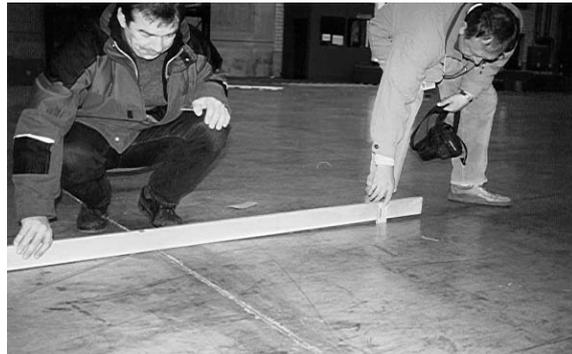


Abb. 1: Aufwölbung der Ränder an geschnittenen Fugen

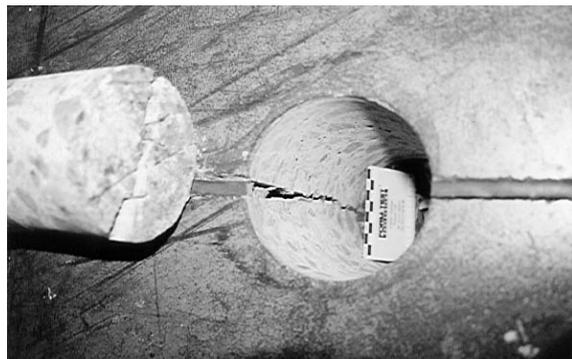


Abb. 2: Öffnen der geschnittenen Fugen durch Austrocknen des Betons

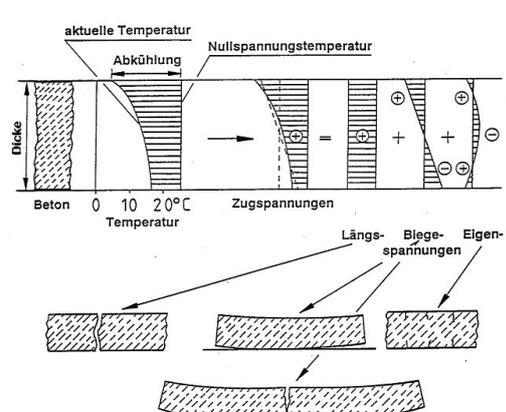


Abb. 3: Verkrümmung der Platten durch einseitige Temperatureinwirkung oder Austrocknung

Ursache für die Verkrümmung war die einseitige Austrocknung, insbesondere wegen der geringen

Luftfeuchtigkeit (Abb. 3). Durch die fehlende Verdübelung der Fuge und die Öffnung der Fuge wegen der Verkürzung der Platten war kein Widerstand gegen das Verkrümmen vorhanden [2].

3.1.2 Instandsetzung

Zur Wiederherstellung der uneingeschränkten Nutzung war es erforderlich, die Betonbodenplatten im Bereich der Aufwölbungen abzufräsen und die Oberfläche nachzuspachteln. Damit bei einer Beanspruchung durch Staplerbetrieb die einzelnen Bodenplattenelemente nicht „pumpen“, mussten die Platten im Randbereich mit Zementleim unterpresst werden (Abb. 4). Sind die Verformungen nicht abgeschlossen, können sich auch danach weitere Verkrümmungen einstellen.

3.1.3 Vermeidung des Schadens

Um ein gleichmäßiges Austrocknen der Betonplatten noch oben und unten zu ermöglichen sollte die Folie zur Trennung der Bodenplatte vom Unterbau durch ein einfaches Geotextil ersetzt werden, oder ein Verbundsystem zwischen Platte und einer hydraulisch gebundenen Tragschicht eingesetzt werden (vgl. Betonstraßenbau). Die Platten sind untereinander wirkungsvoll zu verdübeln.



Abb. 4: Instandsetzung durch Unterpressen der Plattenränder mit Zementleim

3.2 Verformungen des Unterbaus

3.2.1 Sachverhalt und Schadensursache

Bei einem Industrieboden traten insbesondere parallel zu den Laderampen gerichtete Biegerisse auf (Abb. 5). In diesem Bereich trat kein Versatz zwischen Industrieboden und Laderampe auf. In Teilbereichen ohne Längsrisse trat ein Versatz des Bodens gegenüber der Ladebühne ein, der die Nutzung durch den Staplerverkehr stark beeinträchtigt (Abb. 6). Die Oberfläche des gesamten übrigen Bodens war eben.



Abb. 5: Längsriß parallel zu den Ladebühnen

Ursache für die beobachteten Verformungen könnten Absenkungen der auf eigenen Fundamenten gegründeten Ladebühnen oder eine Anhebung des gesamten Industriebodens sein.

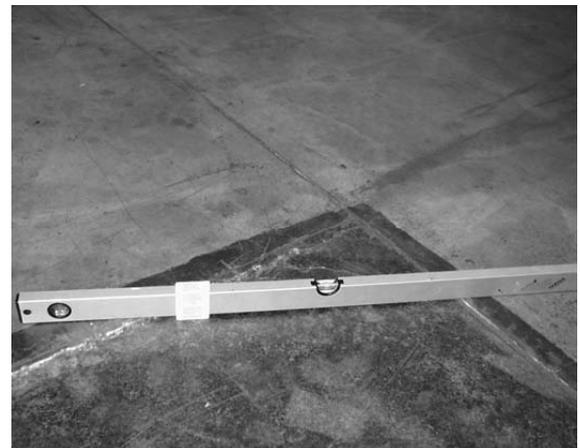


Abb. 6: Versatz zwischen Oberfläche des Industriebodens und den Ladebühnen

Da gleichzeitig bei allen Innenstützen ein gleichartiger Versatz vorhanden war (Abb. 7) und die auf dem Industrieboden montierten Maschinen gegen das Hallendach wanderten, konnte die Ursache nur ein Anheben des gesamten Bodens sein. Ursache für diese Anheben waren Quellvorgänge im Recyclingmaterial des Unterbaus, ausgelöst durch Bodenfeuchtigkeit.



Abb. 7: Versatz zwischen Oberfläche Industrieboden und Innenstützen

3.2.2 Instandsetzung

Bis zum Abklingen der Quellvorgänge im Recyclingmaterial wurde der Boden im Bereich des Versatzes mehrmals abgefräst und den Oberflächen der Ladebühnen höhenmäßig angepasst. Die Längsrisse wurden belassen, weil sich in diesem Bereich ein Gelenk ausgebildet hatte, das zu einer Anpassung des Bodens, allerdings mit zunehmender Rissöffnung führte. Die Maschinen wurden so angepasst, dass der Betrieb störungsfrei weiterlaufen konnte. Begleitend wurden Verformungsmessungen vor Ort durchgeführt und das Recyclingmaterialverhalten studiert.

3.2.3 Vermeidung des Schadens

Erstprüfung des Recyclingmaterials für den Unterbau einfordern sowie laufende Qualitätsüberwachung des Materials überprüfen.

3.3 Unzureichende Ebenheit im Hochregallager

3.3.1 Sachverhalt und Schadensursache

Bei einem Industrieboden, der als WHG-Boden geplant und bemessen und in großen Teilen als Hochregallager genutzt wurde, war die Nutzung aus logistischen Gründen stark eingeschränkt. Wegen nicht erfüllter Ebenheitsanforderungen wurde die Geschwindigkeit des Flurförderfahrzeugs automatisch gedrosselt, um ein Anschlagen des Staplers an den Regalen zu vermeiden (Abb. 8). Dadurch war die geforderte Leistung bei der Kommissionierung der Waren stark eingeschränkt. Sanierungsversuche

durch Einbau einer Beschichtung an allen 18 Schmalgängen scheiterten, da der NU für die Beschichtungsarbeiten die hohen Anforderungen unterschätzte und die Beschichtung ohne Lehren einbaute. Außerdem waren osmotische Blasen in der Beschichtung vorhanden.



Abb. 8: Beschichtete Schmalgangfläche mit unzureichender Ebenheit; das Flurförderfahrzeug schlägt bei schneller Fahrweise gegen die Regale

Weitere Merkmale außerhalb der Schmalgänge durch Abplatzungen der Hartstoffschicht, Einschlüsse von Holz und Muscheln in der Oberfläche und netzartige Risse prägten den Gesamteindruck.

Der Industrieboden wurde als monolithische, 2-lagig bewehrte Bodenplatte mit Hartstoffeinstreuung und flügelgeglätteter Oberfläche fugenlos hergestellt. Ursache der Unebenheiten war, dass mit der gewählten Einbauart (monolithische Bodenplatte) eine Erfüllung der Ebenheitsanforderung nach DIN 15185 (leitliniengesteuerte Flurförderfahrzeuge) nicht möglich ist.

3.3.2 Instandsetzung

Möglichkeiten zur Herstellung der geforderten Ebenheit sind:

- Abfräsen der Betonoberfläche (incl. Beschichtung) und Einbau eines Verbundestrichs (Zement- oder Magnesitestrich)
- Abfräsen der Altbeschichtung und Einbau einer neuen Beschichtung
- Schleifen der Oberfläche durch lasergesteuertes Diamantschleifgerät (Laser-Grinder)

Da die Instandsetzung bei laufendem Betrieb stattfinden musste, waren nur die Abendstunden ab 21:00 Uhr bis 6:00 Uhr morgens für die Sanierung nutzbar. Anschließend musste der betreffende Schmalgang wieder genutzt werden können.

Als einziges der 3 genannten Instandsetzungsverfahren war unter den gegebenen Randbedingungen das Schleifen des Industriebodens möglich.

An allen 18 Schmalgängen des Hochregallagers wurde zunächst die Betondeckung geprüft, da eine Mindestbetondeckung (insbesondere wegen Verbund und Brandschutz) nach dem Schleifen verbleiben musste. Anschließend wurde die Ebenheit der Betonoberfläche mit dem DFP (Digital Floor Profiler) aufgenommen (Abb. 9) und das Maß für das Abschleifen der Fläche festgelegt.



Abb. 9: Überprüfung der Ebenheit der Betonoberfläche mit dem DFP (Digital Floor Profiler)

Der Schleifvorgang erfolgte mit dem lasergesteuerten Laser-Grinder je Schmalgang in 2 Schleifbahnen (Abb. 10). Jede Nacht konnte ca. $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ eines Schmalgangs auf die beschriebene Art geschliffen werden. Die Oberfläche weist in Querrichtung die geforderte Ebenheit auf, in Längsrichtung sind größere Toleranzen zulässig. Die geschliffene Oberfläche stellt eine ideale Nutzfläche dar (Abb. 11).

Die Abplatzungen und Einschlüsse wurden herkömmlich durch lokale Ausbesserung saniert. In Bereichen mit starker Netzrissebildung wurde die Oberfläche mit herkömmlichen Schleifgeräten abgeschliffen

3.3.3 Vermeidung des Schadens

Durch planmäßige Festlegung der erforderlichen Ebenheit, der Einbaumethoden zum realistischen Erreichen der geplanten Ebenheit, durch qualitätssichernde Maßnahmen während der Ausführung und durch entsprechende Fachkenntnis von Industrieböden lassen sich derartige Schäden zielsicher vermeiden.



Abb. 10: Abschleifen der Betonoberfläche (einschl. Beschichtung) mit dem Laser-Grinder



Abb. 11: Geschliffenen Oberfläche

3.4 Unzureichende Luftdichtheit für Luftkissenfahrzeug

3.4.1 Sachverhalt und Schadensursache

Bei einem Industrieboden, der als Geschoßdecke für die Befahrung mit einem Luftkissenfahrzeug geplant war, wurde als Fahrbelag ein polierter Werksteinbelag als Verbundsystem auf der Stahlbetondecke vorgegeben. Mit dem Luftkissenfahrzeug sollten hohe Edelstahlbehälter (360 kN) mit Lacken leitliniengeführt zu einem Wiegeplatz verfahren werden, wo Farbmischungen aus den Einzelfarben der Lacke hergestellt wurden (Abb. 12). Der Werksteinbelag war im Dickbett verlegt und mit Epoxydharzmörtel verfugt.

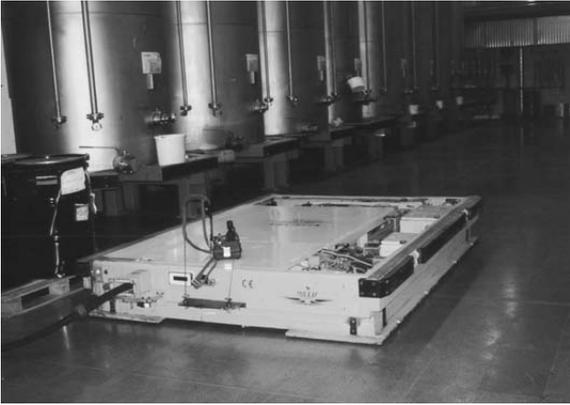


Abb. 12: Luftkissenfahrzeug auf einem Industrieböden mit Werksteinbelag

Bereits beim Probetrieb zeigte sich, dass das Luftpolster unter den Luftkissen während des Verfahrens plötzlich zusammenbrach und ein Verfahren der Behälter damit nicht mehr möglich war. Die Luft trat aus den Fugen in der Umgebung des Luftkissenfahrzeugs aus. Auch verschiedene Sanierungsversuche durch teilweises Neuverlegen des Werksteins sowie Unterpressen des Werksteins mit EP-Harz zeigten keinen Erfolg (Abb.13)

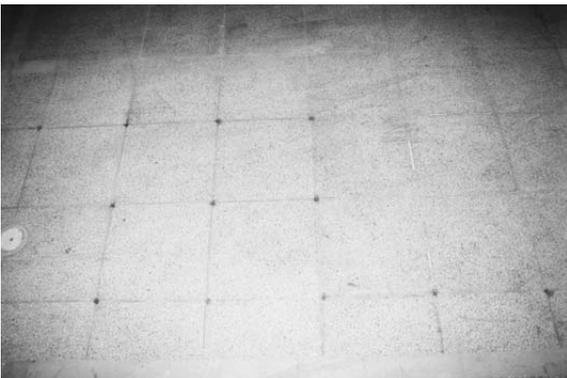


Abb. 13: Instandsetzungsversuche durch Unterpressen des Werksteins mit Epoxydharz

Ursache für das Zusammenbrechen des Luftpolsters waren Undichtigkeiten des Belags im Bereich der Fugen. Die Luft konnte so in den Verlegemörtel des Werksteins abwandern und verteilte sich unterhalb des Werksteins. Die erforderliche Luftmenge, die das Gerät kurzfristig nachliefern müsste, war dafür nicht dimensioniert. Ursache waren somit vorwiegend Planungsfehler, da ein Werksteinbelag auf einer Geschosdecke keine ausreichende Luftdichtigkeit für den Betrieb eines Luftkissenfahrzeugs aufweisen kann. Eine Abstimmung im Vorfeld zwischen Luftkissenfahrzeughersteller und Systembodenhersteller fand zwar statt, die dazu durchgeführten Vorversuche basierten jedoch auf falschen Annahmen. An

den dafür hergestellten Musterflächen traten die gleichen Probleme auf, die Mörtelfugen wurden mehrfach nachgebessert.

3.4.2 Instandsetzung

Mehrere Instandsetzungsversuche, wie oben beschrieben, führten nicht zum Erfolg. Zur Herstellung einer ausreichenden Luftdichtigkeit der Fläche musste diese beschichtet werden. Gewählt wurde eine verschleißfeste, gewebearmierte, rissüberbrückende Beschichtung (Abb. 14)

3.4.3 Vermeidung des Schadens

Durch planmäßige Festlegung der Anforderungen, der Art der Nutzung und Berücksichtigung der konstruktiven Gegebenheiten (Durchbiegung Geschoßdecke und dadurch Zugspannungen über den Unterzügen) bei der Auswahl des Bodenaufbaus können derartige Schäden vermieden werden. Voraussetzung ist die Kenntnis von Werkstoffeigenschaften und baukonstruktiven Eigenschaften von Bodenaufbauten.



Abb. 14: Instandsetzung des Werksteinbelags durch Einbau einer luftdichten, rissüberbrückenden, verschleißfesten Beschichtung

4 Literatur

- [1] DBV-Merkblatt Industrieböden für Hallen- und Freiflächen; Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein, Berlin, 2004
- [2] Flohrer, Claus: Fehlerquellen und Diagnoseverfahren bei Industrieböden; Betoninstandsetzung 2000; 5. Int. Fachtagung Innsbruck-Igls, 27./28.1. 2000
- [3] Flohrer, Claus: Schäden an Industrieböden und deren Vermeidung; TFB-Fachveranstaltung Nr. 864331/32, „Unterlags- und Industrieböden“; 29. November 2006 und 13. März 2007 in CH-Wildegg

Sonderbauweisen – Technik und Gestaltung

Thomas Freimann

Zusammenfassung

Im Industriebodenbau sind eine Reihe von Sonderbauweisen möglich, die für spezielle Anwendungszwecke dienen sowie aus gestalterischen oder wirtschaftlichen Gründen angewandt werden. Nachfolgend werden einige dieser Maßnahmen detaillierter beschrieben und Hinweise für den Einsatz gegeben. Für große, hindernisarme Flächen mit robusten Oberflächenanforderungen können Walzbetone unter Einsatz eines Straßenfertigers eingebaut werden. Bei der Oberflächengestaltung von Industrieböden ist neben einer eher seltenen direkten nachträglichen Bearbeitung der Betonoberfläche das Aufbringen zusätzlicher dünner Estrichschichten gebräuchlich, die besondere Gesteinskörnungen und Farbzusätzen enthalten. Die Palette der möglichen Oberflächenbearbeitungen reicht vom Flügelglätten über Schleifen bis hin zum Polieren und erlaubt je nach Wunsch des Bauherrn ein vielfältiges Erscheinungsbild des fertigen Bodens. Ein in Deutschland wenig bekanntes Verfahren zur Oberflächengestaltung ist das Creteprint-Verfahren bzw. die Prägebeton-Bauweise, bei der eine Oberflächenstruktur mit Hilfe von aufgelegten Matrizen in den plastischen Beton einprägt wird. Die fertigen Flächen nähern sich optisch einer Pflaster- oder Natursteinfläche an.

1 Walzbetone

1.1 Walzbeton und gewalzter Beton

Als Walzbeton bezeichnet man erdfeucht hergestellten Beton, der mit Straßenfertigern eingebaut und mit schweren Walzen nachverdichtet wird. Tragschichten und Tragdeckschichten aus Walzbeton können hohe Verkehrslasten aufnehmen. Während Walzbeton-tragschichten im Straßenbau mit einem Asphaltbelag überbaut werden können, sind Tragdeckschichten bereits oberflächenfertige Betonflächen für direkte Beanspruchung. Einsatzgebiete für Tragdeckschichten aus Walzbeton sind entweder Flächen mit besonderer Beanspruchung wie bei der Kompostierung und Müllsortierung, in der Land- und Forstwirtschaft oder Verkehrs- und Abstellflächen mit vorwiegend ruhendem Verkehr, Werks- und Industriestraßen, Hafenanlagen und Flugplätze. Walzbetone eignen sich nicht für öffentliche Straßen mit schnell fahrendem Verkehr, weil die nach ZTV Beton-Stb '01 geforderte Griffbarkeit der Oberfläche nicht gewährleistet werden kann.

Neben der o.a. Walzbeton-Bauweise findet man in Ausschreibungen für Industriebodenflächen immer wieder einen ebenfalls als „Walzbeton“ bezeichneten Betoneinbau, der sich aber deutlich vom klassischen Walzbeton unterscheidet. Dieser „gewalzte Beton“ wird auch erdfeucht hergestellt, dann per Hand eingebaut und verteilt und anschließend mit kleinen Handwalzen (bis ca. 3 t Gesamtgewicht) verdichtet. Die erzielbaren Betonfestigkeiten sind erheblich geringer (ca. C12/15) als nach der Verdichtung mit schweren Straßenwalzen (ca. C30/37). Zudem sind die Ebenheitsabweichungen aufgrund des Handein-

baus recht hoch, so dass i.d.R. eine zweite Schicht im Verbund - meist Gussasphalt oder Zementestrich - auf diesen Böden erforderlich wird, um die maximalen Ebenheitsabweichungen nach DIN 18202 an flächenfertige Böden einhalten zu können. Vor Ausführung dieser „gewalzten Böden“ sollte die statisch erforderliche Biegezugfestigkeit des Bodens mit einer Erstprüfung nachgewiesen werden. Für frostbeanspruchte Flächen sind diese Böden aufgrund ihrer zu geringen Betondruckfestigkeit nicht geeignet.

Die folgenden Ausführungen behandeln die klassische Walzbetonbauweise mit Fertigerinbau und der Verdichtung mit schweren Straßenwalzen (bis 16 t). Diese Betonflächen weisen bei sachgerechter Ausführung und richtiger Materialauswahl einen hohen Frostwiderstand und mit üblichem Straßenbeton vergleichbare Druck- und Biegezugfestigkeiten auf.

1.2 Voraussetzungen für Walzbetonflächen

Bevor eine Entscheidung zugunsten der Walzbetonbauweise gefällt wird, sollten die folgenden Randbedingungen geprüft und bewertet werden:

- Große, stützen- und hindernisfreie zusammenhängende Flächen sind erforderlich, um einen kontinuierlichen Einbau mit einem Fertiger zu ermöglichen.
- Flächen zwischen Entwässerungsrinnen sollten mit einheitlichem Gefälle ohne Verwindung angeordnet sein.
- Das Transportbetonlieferwerk muss eine ausreichend große Lieferkapazität aufweisen. Gleichzeitige Lieferungen aus zwei Mischwerken sind zu vermeiden.

Vorteile und Merkmale einer Walzbetonbauweise sind:

- Schneller Einbau mit hohen Einbau-Tagesleistungen möglich
- Robuste, dauerhafte Oberfläche
- Hoher Verschleißwiderstand
- Geringe Schwindspannungen
- Weitgehend resistent gegenüber Benzin-, Dieseldieselkraftstoff und Motorölen, eingeschränkt widerstandsfähig gegenüber bestimmten Hydraulikölen
- temperaturunabhängige Tragfähigkeit
- Große Fugenabstände
- Frühzeitige Nutzung möglich

Nachteile von Walzbetonflächen:

- Keine hohe Griffigkeit bei Nässe
- Optische Beeinträchtigungen durch ungleichmäßigen Oberflächenschluss möglich
- Geräteintensive Bauweise
- Sehr hoher Koordinationsbedarf zwischen Transportbetonwerk und Bauausführung
- Sorgfältige Nachbehandlung erforderlich

1.3 Grundsätze der Planung und Konstruktion

Anhaltswerte und Hinweise zur Planung und Ausführung von Walzbetondecken lassen sich neben dem FGSV-Merkblatt für den Bau von Tragschichten und Tragdeckschichten mit Walzbeton [3] auch aus weiterführender Literatur [4], [5], [6], [7] entnehmen.

Die Bemessung von Walzbetonflächen kann z.B. nach RStO erfolgen, wenn luftbereifte Fahrzeuge und maximale Achslasten von 11,5 t vorhanden sind. Darin sind je nach Bauklasse standardisierte Schichtdicken und Anforderungen an den Verformungsmodul von Tragschichten, Frostschutzschichten und Untergrund festgelegt. Bei Sonderlasten wie Gabelstapler und Regallasten wird wie im Industriebodenbau üblich individuell bemessen.

Nach dem FGSV-Merkblatt [3] stellt eine Dicke von 20 cm die obere Grenze für den einlagigen Einbau dar, da eine gleichmäßige Verdichtung über größere Dicken kaum möglich ist.

Wesentliche Planungsgrundsätze sind:

- Die Koordination aller Beteiligten untereinander ist unerlässlich. Nur ein kontinuierlicher Einbau ohne Unterbrechungen verspricht einen erfolgreichen Bauablauf und das Einhalten der Ebenheitsabweichungen.
- Gleichmäßiges Gefälle ohne Verwindung anstreben, damit der Fertiger nicht ständig nachreguliert werden muss.
- Einseitiges Gefälle oder Dachprofil
- Die Flächen sollten einen bahnenweisen Einbau von etwa 35 m bis 60 m ermöglichen.
- Fundamente und Schächte innerhalb der Fläche werden mit dem Fertiger überbaut und Öffnungen nachträglich eingesägt. Die Höhenlagen dieser Bauteile sollten daher in der Planung berücksich-

tigt werden. Vor dem Einbau des Walzbetons sind die zu überbauenden Bauteile exakt einzu-messen.

- Walzbeton ist eine unbewehrte Betonbauweise. Auf eine gleichmäßige und hinreichende Verdichtung des Untergrundes, der Frostschutz- und Tragschicht ist daher besonders zu achten. Je Schicht sollten etwa drei Plattendruckversuche je 1000 m² angeordnet werden. Zusätzlich hilft eine augenscheinliche Kontrolle größerer Abschnitte mit Hilfe von Profileinsenkungen durch LKW-Befahrung. Dann können die Plattendruckversuche punktuell dort angesetzt werden, wo die tiefste Einsenkung im Prüffeld vorhanden ist.
- Für die Entwicklung der Betonzusammensetzung sind umfangreiche Erstprüfungen erforderlich. Dem Transportbetonwerk oder der Prüfzelle sollte ein ausreichender Zeitrahmen von mindestens 6 Wochen zur Verfügung stehen.
- Wenn es die Baumaßnahme erlaubt, ist ein Feldversuch an einer Probefläche zur Feinabstimmung der Betonzusammensetzung und der Einbauarbeitsschritte hilfreich.
- Der bahnenweise Einbau des Walzbetons legt gleichzeitig den Abstand der Längsscheinfugen fest. Je nach Fertigerbreite sind Längsfugenabstände zwischen 3,50 m und 4,75 m üblich.
- Nachbehandlungsmaßnahmen müssen geplant und vorgehalten werden. Eine kontinuierliche Bewässerung über 3 Tage ist sicherzustellen. Bei unbeständiger Witterung sind Abdeckfolien vor-zuhalten.

Die Druckfestigkeiten von Walzbetontragdeckschichten liegen mit 30 N/mm² bis 50 N/mm² nach 28 Tagen im Bereich von üblichen Fahrbahndeckenbetonen. Die geräteintensive Einbautechnik mit Straßenfertigern - modifizierten Asphaltfertigern - erlaubt einen schnellen Baufortschritt, ist aber nur bei großen Flächen wirtschaftlich. Die erforderliche Gerätetechnik zum Einbau von Walzbetonen ist in den meisten Straßenbauunternehmen vorhanden. Besonderes Augenmerk ist auf den Einsatz schwerer Walzen zu legen.

1.4 Ausführungsbeispiel: BW-Gerätdepot Hesedorf (Niedersachsen)¹⁾

¹⁾ Auszüge aus dem Beitrag „Verkehrsflächen aus Walzbeton“ von H. Haupt, A. Peters, J. Brendel, T. Freimann, erschienen in Beton-Information 4,2004

Im Sommer 2003 wurde innerhalb des Bundeswehr-Materialdepots in Hesedorf/ Bremervörde (Abb. 1) eine insgesamt 52.000 m² große Freifläche in Walzbetonbauweise ausgeführt. Nach militärischer Infrastrukturforderung müssen derartige Freilagerflächen „panzerfest“, also widerstandsfähig gegen Drehen, Rangieren und Eindrückungen von Kettenfahrzeugen sowie schleifenden Lasten ausgebildet sein. Außer-

dem muss das Versickern von Schadstoffen aus defekten Geräten, wie z.B. Hydrauliköl oder Kühlfüssigkeit, in den Untergrund vermieden werden. Weite Teile der Fläche wurden im weiteren Verlauf mit standardisierten Schutzdächern überbaut (Abb. 2).



Abb. 1: Walzbetoneinbau im Materialdepot Heselorf

Die klassische Bundeswehrbauweise nach den Bau fachlichen Richtlinien BFR 9112 [1] sah zunächst einen vollgebundenen Oberbau aus Beton vor, zur Zeit der Ausschreibung nach RStO 86 [2] Tafel 4, Zeile 2.1 oder 2.2, beispielsweise 18 cm Deckendicke für Bauklasse IV.

Die Entscheidung des Bundesministeriums für Verteidigung (BMVg) fiel im Juli 2001 zugunsten der Sonderbauweise „Walzbeton“ nach dem FGSV-Merkblatt „Walzbeton“, Ausgabe 2000 [3].



Abb. 2: Überbauung der fertigen Walzbetonflächen mit Schutzdächern

Baubeginn war März 2003, Fertigstellung der gesamten Maßnahme einschließlich der zu errichtenden Gebäude war Mai 2004. Der Einbau des maßgeblichen 2. Walzbetonabschnitts mit einer Fläche von 42.000 m², über den hier berichtet wird, fand innerhalb von 5 Wochen im Juni/ Juli 2003 statt.

1.4.1 Planung und Konstruktion

Die 42.000 m² große Freifläche war mit 200 m Kantenlänge annähernd quadratisch. Da hohe Anforderungen an die umweltgerechte Ableitung des u.U. mit Schadstoffen versetzten Niederschlagwassers be-

standen, wurden zur Entwässerung rd. 1300 m Pendelrinnen aus Transportbeton mit einem durchschnittlichen Abstand von 40 m vorgesehen (Abb. 3). Die Aufteilung der Fläche erfolgte so, dass ca. 400 m² Oberfläche einem Straßenablauf zugeordnet wurde. Die komplette Walzbetonfläche entwässert über Regenrückhaltebecken und Abscheideranlagen als Direkteinleiter in den Vorfluter. Für die Fläche selbst wurde ein Dachprofil mit 1,5 % bis 2,5 % Gefälle festgelegt.

Die Schichtdicken für den vollgebundenen Oberbau sowie die Anforderungen an den Verformungsmodul für den Untergrund wurden auf Grundlage der Bauklasse IV noch nach RStO 86 Tafel 4, Zeile 2 [2], festgelegt.

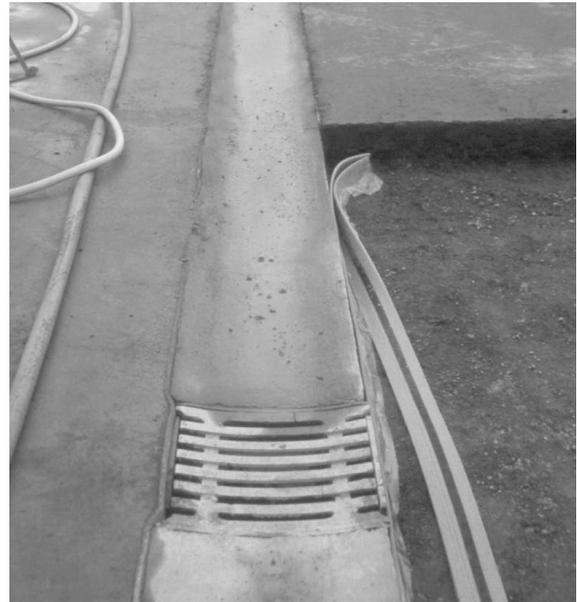


Abb. 3: Pendelrinne aus Ortbeton

1.4.2 Untergrund

Der Baugrund wies oberhalb einer bis zu 2 m mächtigen Moorschicht ein Gemenge aus bindigem Boden und Bauschutt auf, so dass in weiten Teilen der geplanten Fläche ein Bodenaustausch vorgenommen werden musste. Der geforderte E_{V2} -Wert für den Untergrund von 45 MN/m² wurde nach Bodenaustausch mit 50 MN/m² erreicht. Auf der eingebauten Schicht aus Füllsand wurden E_{V2} -Werte von durchschnittlich 120 MN/m² ermittelt.

1.4.3 Tragschicht

In der Tragschicht wurde auch aus ökologischen Gesichtspunkten Recycling (RC)-Material in Form von Betonabbruch mit einem Anteil von ≤ 50 % bituminösem Straßenbaustoffen verwendet. In Anlehnung an die – mittlerweile zurückgezogene – EBANS 86 Tabelle 4 [8] erfüllt das RC-Material die Anforderungen an B2. Gegenüber der nach RStO 86 geforderten 20 cm dicken hydraulisch gebundenen Tragschicht (HGT) ist die Dicke der ungebundenen Tragschicht aus RC-Material auf 25 cm erhöht wor-

den. Auf der Tragschicht wurde mit dynamischen Plattendruckversuchen ein Verformungsmodul $E_{V2} \geq 155 \text{ MN/m}^2$ nachgewiesen.

1.4.4 Walzbetondecke

Die Regelbauweise nach RStO 86 sah eine 18 cm dicke Betondecke auf einer hydraulisch gebundenen Tragschicht (HGT) vor. Da hiervon abweichend eine ungebundene Tragschicht geplant war, wurde die Dicke für die Walzbetondecke auf 20 cm angehoben. Der Schichtenaufbau der ausgeführten Walzbetonbauweise im Vergleich zur Bauweise nach RStO ist in Abb. 4 dargestellt. Für Tragdeckschichten ist nach Merkblatt [3] mindestens eine Festigkeitsklasse WB 35 vorzusehen.

Die Anforderungen an die Ebenheit der fertigen Oberfläche wurden in Anlehnung an das FGSV-Merkblatt [3] mit 1,0 cm Stichmaß, bezogen auf eine 4 m lange Messstrecke, festgelegt. Diese Anforderungen sind vergleichbar mit denen in DIN 18202 Tabelle 3, Zeile 3, für flächenfertige Böden und Estriche und werden auch im üblichen Industriebodenbau gefordert.

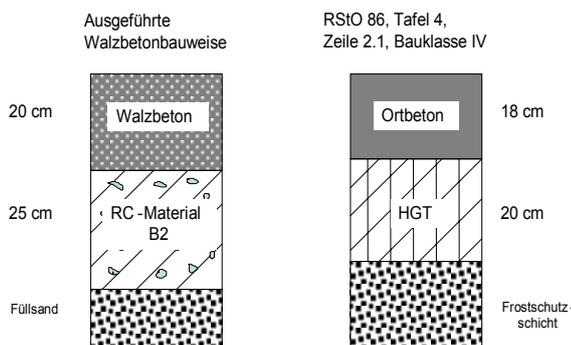


Abb. 4: Schichtenaufbau der ausgeführten Walzbetonbauweise im Vergleich zur Bauweise nach RStO 86, Tafel 4, Zeile 2.1

1.4.5 Fugen

In Abhängigkeit der Einbaubreite der Fertigerbohle wurden Längsfugenabstände überwiegend zwischen 3,50 m und 3,75 m angeordnet. Die Abstände der Querscheinfugen waren mit 5 m festgelegt worden. Scheinfugen wurden in diesem Raster spätestens 2 Tage nach dem Einbau 80 mm tief und 3 mm breit geschnitten. Aufgrund der warmen Witterung während des Einbaus und der deutlichen Temperaturunterschiede zwischen Nachmittags- und Nachttemperatur wurde bereits am Einbautag eine Entspannung (Fugenschnitt) des betonierten Tagesabschnitts in 25 m-Felder vorgenommen. Nach den

Erfahrungen an ersten Tagesfeldern konnten auf diese Weise wilde Risse vermieden werden.

Alle Scheinfugen wurden zu einem späteren Zeitpunkt 25 mm tief auf eine Breite von 15 mm nachgeschnitten, um eine Fugenabdichtung einbauen zu können. Aufgrund der Schadstoff-Tropfmengen sollten die Fugendichtstoffe mineralöl- und kraftstoffbeständig aus Polysulfid gemäß der KIWA-Beurteilungsrichtlinie [9] sein.

Zwischen den vorher eingebauten Pendelrinnen und den Walzbetonflächen sind Raumfugen mit einer Schaumstoff-Fugeneinlage angeordnet worden, die nach Fertigstellung ebenfalls dauerelastisch verschlossen wurden.

1.4.6 Entwicklung der Walzbeton-Zusammensetzung

Grundlage für die Anforderungen an die Zusammensetzung des Walzbetons war das FGSV-Merkblatt „Walzbeton“ [3]. Wesentliche Aufgabe ist die Optimierung der Kornzusammensetzung und des Wassergehalts, um bei maximaler Verdichtbarkeit eine geeignete Einbaukonsistenz und eine ausreichende Grünstandsfestigkeit zu erreichen. Die in Tabelle 1 dargestellten Anforderungen und Hinweise sind hierbei zu beachten.

Das Baustoffgemisch mit dem Anspruch einer fertigen Tragdeckschicht wurde zweckmäßigerweise aus Mineralstoffen mit einem Größtkorn von 16 mm zusammengesetzt. Dabei wurde gebrochenes Material (Splitt aus Norwegen) der Korngruppen 2/8 und 8/16 verwendet, um eine ausreichende Verdichtung, Standfestigkeit und Oberflächenbeschaffenheit zu erreichen und das Entmischen bei der Verarbeitung dieses erdfeuchten Betons so gering wie möglich zu halten. Das Korngemisch setzte sich zu 63 M.-% aus der groben Gesteinskörnung 2/16 und zu 37 M.-% aus der feinen Gesteinskörnung 0/2 (Sand) zusammen und entsprach dem Sieblinienbereich A/B 16.

Als Bindemittel kamen der im Transportbetonwerk als Standardzement verwendete CEM III/A 42,5 N und als Betonzusatzstoff Steinkohlenflugasche mit einer Gesamtmenge (z+f) = 370 kg/m³ zum Einsatz. Die Gesamtmenge an Mehlkorn und Feinstsand betrug 463 kg/m³.

Der optimale Wassergehalt nach Ermittlung der modifizierten Proctordichte gemäß DIN 18127 ergab sich zu 120 l Wasser/m³.

Diese Wassermenge wurde aber auf Grund der Einbautechnik in Zusammenarbeit zwischen Bauunternehmen, Transportbetonwerk und Betonprüfstelle beim Einbau nach Bedarf korrigiert.

Tab. 1: Grenzwerte und Hinweise für Walzbeton-Tragdeckschichten nach FGSV-Merkblatt [3]

Druckfestigkeit	WB 35	Mindestdruckfestigkeit jedes Probekörpers nach 28 Tagen 35 N/mm ²	Mittlere Mindestdruckfestigkeit von 3 Probekörpern nach 28 Tagen 40 N/mm ²	Mittlere Mindestspaltzugfestigkeit von 3 Probekörpern nach 28 Tagen 4 N/mm ²	Probekörper: Zylinder D = 150 mm, H = 125 mm
optimaler Wassergehalt	w _{opt} [%]	nach DIN 18127 (mod. Proctorv.)	ca. 5 % bis 7 % bez. auf Gesamttrockengewicht		
Zementgehalt	z [kg/m ³]	≥ 270 kg/m ³	Zemente nach DIN 1164 (1996) → neu in DIN EN 197-1		
Mineralstoffe		nach DIN 4226-1 oder TL Min-StB (einschl. Abschn. 7.6 und 7.8 von DIN 4226-1)	Größtkorn ≤ 16 mm eFT und eQ nach DIN 4226-1	Körnung > 8 mm mind. 50 % gebrochene Mineralstoffe	
Kornzusammensetzung		stetige Zusammensetzung aus Bereich 3 (günstig) nach DIN 1045	aus mindestens 3 Korngruppen zusammensetzen		
Mehlkorn + Feinstsand	< 0,25 mm	≈ 500 kg/m ³ vom verdichteten Beton			
Sandanteil		ausreichend hoch, um guten Oberflächenschluss zu erreichen			
Zusatzmittel und Zusatzstoffe		Anforderungen der DIN EN 206-1, DIN 1045-2 und ZTV Beton-StB beachten			
Luft- oder Beton-temperaturen	T [°C]	ohne besondere Maßnahmen: T _{Luft} = 5°C bis 25 °C und T _{Beton} = 5°C bis 30°C	nur mit besonderen Maßnahmen: T _{Luft} < 5°C und > 25°C		

Tab. 2: Zusammensetzung des Walzbetons

Walzbetonfestigkeitsklasse	Einheit	WB 35			
Frischbetonrohddichte	kg/m ³	2285			
Zementart und Festigkeitsklasse Zementgehalt	kg/m ³	CEM 270	III/A	42,5	N
Wassergehalt w/(z+0,4f)	l/m ³ -	120 0,40			
Gesteinskörnungen					
Sand 0/2 (Stade)	kg/m ³	642	(ρ =	2,60	g/cm ³)
Splitt 2/8 (Norwegen)	kg/m ³	421	(ρ =	2,74	g/cm ³)
Splitt 8/16 (Norwegen)	kg/m ³	732	(ρ =	2,74	g/cm ³)
Gesamtgehalt	kg/m ³	1795			
MK + Feinstsand	kg/m ³	463			
Betonzusatzstoff Art Gehalt	kg/m ³	Steinkohlenflugasche 100			

Tab. 3: Kontrollprüfungen im Rahmen der Eigenüberwachung

Prüfgröße	Prüfmethode
Wassergehalt	Darrversuch oder CM-Gerät
Betontemperatur	Thermometer
Korngrößenverteilung	Probenahme und Trocknung von 5 kg Walzbeton, dann Absiebung
Druckfestigkeit / Rohdichte	modifizierter Proctorversuch
Verdichtung	leichtes Fallgewichtsgesetz auf der noch nicht erstarrten Walzbetondecke (dynamischer Plattendruckversuch) – wöchentlich durch Densitometermessungen kalibriert
Betonbeschaffenheit	Augenscheinkontrolle
profilgerechte Lage Einbaudicke/ Ebenheit	regelmäßige Kontrolle vor Ort (nach Fertigstellung umfangreiche Messung mit Planographen)

Die Eignungsprüfung dieser Betonzusammensetzung ergab nach 28 Tagen eine mittlere Druckfestigkeit von 42,9 N/mm² und eine mittlere Spaltzugfestigkeit von 4,2 N/mm². Die Betonzusammensetzung des verwendeten Walzbetons ist in Tabelle 2 aufgeführt.

Diese definierte und optimierte Betonzusammensetzung wurde im Praxistest vor Beginn der eigentlichen Bauarbeiten an Probeflächen getestet und für sehr gut einsetzbar befunden. Entscheidend für einen kontinuierlichen und störungsfreien Bauablauf war die ständige Überwachung auf der Baustelle verbunden mit einer engen betontechnischen Betreuung, um Schwankungen im Material zeitnah korrigieren zu können.

1.4.7 Bauausführung

Vor Beginn des Walzbetoneinbaus in den Hauptfeldern wurden mehrere Probestrecken in untergeordneten Randbereichen angefertigt, um eine Feinabstimmung der Betonzusammensetzung auf die Einbautechnik vorzunehmen. Hierbei stellte sich heraus, dass hohe Anforderungen sowohl an die Gleichmäßigkeit der Mischungszusammensetzung als auch an den zeitlichen Ablauf von Transport, Beschicken des Fertigers, Einbau und Walzenübergänge gestellt werden müssen. Nur durch einen kontinuierlichen Einbau ohne Verzögerungen bzw. Unterbrechungen und durch Minimierung der Schwankungen in den Materialeigenschaften können eine gleich bleibende Betondeckenqualität sowie die Einhaltung der Ebenheitsanforderungen sichergestellt werden.

Folgende Einbaugeräte wurden verwendet:

- Straßenfertiger Vögele S1800
- Glattmantelwalze Dynapac CC 501 (16 t)
- Glattmantelwalze Ammann (3,2 t)
- Gummiradwalze Scheidt RW 181 (9 t)

Der Walzbeton wurde vom Transportbetonwerk mit 16 t-Sattelauflegern in 12 m³-Chargen geliefert, wobei die Ladeflächen mit Planen abgedeckt worden

sind. Es wurde insbesondere auf die zeitliche Abstimmung der Fahrzeuge untereinander geachtet, damit nach der ca. 20-minütigen Fahrzeit keine langen Wartezeiten entstanden.



Abb. 5: Walzbetoneinbau in Bahnen

Während des Walzbetoneinbaus im Juni 2003 wurde eine durchschnittliche Tagestemperatur von 25 °C gemessen bei Höchsttemperaturen von 28 °C.

Der Walzbeton eines Tagesabschnitts wurde in nebeneinander liegenden Bahnen eingebaut (Abb. 5). Die Breite der Bahn wurde in Abhängigkeit der Feldbegrenzungen aus Flachborden F10 und Entwässerungsrinnen festgelegt und die Fertigerbohle danach eingestellt (Abb. 6). Die Länge der Bahnen wurde begrenzt durch die maximal mögliche Liegezeit des Betons (< 60 min) im 30 cm breiten Randstreifen der Bahn, der erst zusammen mit der nächsten Bahn gewalzt werden konnte. Am Ende

jeder Einbaubahn wurde mit Bagger und Radlader zunächst eine etwa 2 m lange Rampe zum Aufbringen der Walzen hergestellt, die nach Beendigung aller Walzenübergänge sofort wieder rückgebaut wurde. Ein Einbauschema mit den Bahnabmessungen ist in Abb. 7 dargestellt. Die durchschnittliche Tagesleistung betrug 2000 m² bei einer Einbauzeit von rd. 11 Stunden.



Abb. 6: Einbau und Vorverdichtung mit Fertiger

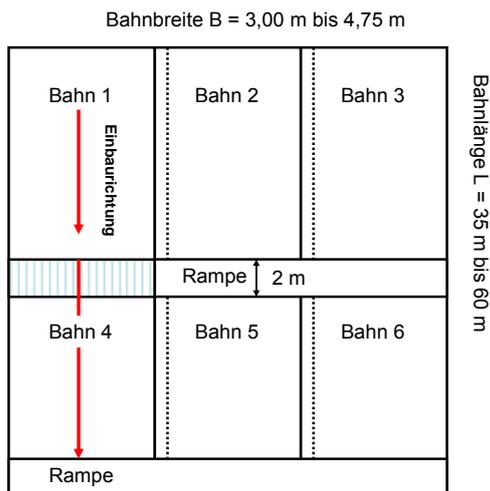


Abb. 7: Einbauschema der Walzbetonbahnen

Je nach Feuchtigkeitsgehalt des Betons brachte der Fertiger eine Einbaustärke von 26 cm bis 28 cm mit einem Verdichtungsgrad von $D_{pr} > 93 \%$ (bezogen auf Proctordichte) ein. Jede Bahn wurde mit dem Fertiger in ganzer Länge fertiggestellt, bevor die Rampe aufgeschüttet und die Walzenübergänge wie in der nachfolgend aufgeführten Reihenfolge begannen.

- 2 Übergänge 16 t Glattmantelwalze statisch
- 1 Übergang 16 t Glattmantelwalze mit Tiefenverdichtung (dynamisch 100 %)
- 1 Übergang 16 t Glattmantelwalze mit Oberflächenverdichtung (dynamisch 50 %)
- 2 Übergänge 3,2 t Glattmantelwalze zum Glätten der Kanten von Walzspuren

- 2 Übergänge 9 t Gummiradwalze zum Feinglätten

Nach den Walzenübergängen wurde eine Plattendicke von etwa 21 cm angezielt. Die Auswahl der Walzenübergänge ist projektbezogen unter ständiger Verdichtungskontrolle anhand der Probeflächen erarbeitet worden. Sie hängt unter anderem von der Untergrundbeschaffenheit und der verwendeten Betonzusammensetzung ab.



Abb. 8: Nachbehandlung der Walzbetonfläche mit Sektorenregnern

1.4.8 Nachbehandlung

Um Auswaschungen durch Niederschlag auf der fertig gestellten Walzbetonoberfläche zu vermeiden, wurden die Flächen bei Regenrisiko mit Folie abgedeckt. Bei warmer Witterung war unmittelbar nach Fertigstellung ein leichtes Benetzen / Besprühen mit Wasser erforderlich, um ein Austrocknen der Oberfläche zu verhindern. Vom 2. bis zum 4. Tag waren Sektorenregner auf der Fläche zur kontinuierlichen Bewässerung aufgestellt (Abb. 8). Anschließend wurde 3 Tage lang zweimal täglich ein Wasserwagen eingesetzt, um die Betondecke zu wässern.

1.4.9 Kontrollprüfungen

Eine Übersicht über jeweils morgens und mittags durchgeführte Prüfungen während des Walzbetoneinbaus zeigt Tabelle 3.

Im Rahmen der Kontrollprüfungen ergaben sich nachfolgende Spannweiten der gemessenen E_{V2} -Werte für den Untergrund die Tragschichten:

- Untergrund nach Aushub:
28 MN/m² bis 80 MN/m²
- auf Frostschuttsand:
94 MN/m² bis 129 MN/m²
- auf Schottertragschicht:
155 MN/m² bis 250 MN/m²

Nach 28 Tagen wurden an Bohrkernen folgende Druck- und Spaltzugfestigkeiten bestimmt:

- Druckfestigkeit: 35 N/mm² bis 55 N/mm²
(Mittelwert 41,6 N/mm²)
- Spaltzugfestigkeit: 4,0 N/mm² bis 4,3 N/mm²

Die Widerstandsfähigkeit der Walzbetonoberfläche für den täglichen Betrieb wurde durch Drehversuche mit einem Panzer – Scherbeanspruchung durch Drehen auf der Hochachse – nachgewiesen.

Sowohl an den Bohrkernen als auch an den herausgesägten Platten für die Entwässerungsschächte war ein homogenes, dichtes Gefüge über die ganze Plattendicke erkennbar.

1.4.10 Schächte / Fundamente

Innerhalb der Walzbetonfläche waren mehrere Abwasserschächte sowie Fundamente für später zu errichtende Hallenbauten einzuplanen. Sowohl die Schächte als auch die Fundamente wurden nach einer exakten Vermessung zunächst mit Walzbeton überbaut. Nach Kennzeichnung der Einbaustellen wurden diese Bereiche aus der fertiggestellten Fläche herausgeschnitten. Die Abbildung 9 zeigt das nachträgliche Aufsetzen der Schachtabdeckung einschließlich des Einbaus von Höhenausgleichsringen mit anschließender Ortbetonergänzung.



Bild 9: Nachträglicher Einbau der Schachtabdeckung

1.5 Literatur

[1] Baufachlichen Richtlinien BFR 9112 der Bundeswehr.

[2] RStO 86: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 1996.

[3] Merkblatt für den Bau von Tragschichten und Tragdeckschichten mit Walzbeton für Walzbetonflächen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2000.

[4] Dotzenrath, C.; Trosch, W.: Walzbeton – Baustoff der Zukunft ?, Beton 41 (1991) Nr. 2, S. 70 – 75.

[5] Statusbericht: Die Anwendung von Walzbeton im Straßenbau. Technisches Komitee für Betonstraßen, AIPCR Paris, 1993, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V.

[6] Zement-Merkblatt S6: Walzbeton für Tragschichten und Tragdeckschichten. Schriftenreihe der Bauberatung Zement, 9'2001.

[7] Birmann, D. et.al: Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und langjähriger Praxis. Straße + Autobahn 51 (2000) Nr. 3, S. 192 – 199.

[8] EBA-NS 86: Ergänzende Bestimmungen der Niedersächsischen Straßenbauverwaltung zu den Technischen Vorschriften und Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von bituminösen Fahrbahnen. Ausgabe 1986 (zurückgezogen).

[9] KIWA-Beurteilungsrichtlinie BRL-K 781/01: Kriterien für Fahrbahndecken-Fugenmassen, Rijswijk (NL).

2 Veredelte Betonböden

- Eingefärbte Böden
- geschliffene Oberflächen
- polierte Oberflächen
- geprägte Oberflächen

2.1 Eingefärbte, geschliffene und polierte Oberflächen

Zementgebundene Böden können durch großflächiges Schleifen und Polieren nachbearbeitet werden und ein dem Betonwerkstein ähnliches Aussehen erhalten. Durch das Schleifen wird die feinkornreiche Zementsteinschicht an der Betonoberfläche entfernt und die Gesteinskörnungen freigelegt. Das Schleifen monolithischer Bodenbetone ist eher unüblich, da die gewöhnlich verwendeten Gesteinskörnungen in Art und Zusammensetzung nicht nach optischen Gesichtspunkten ausgesucht werden. Zumeist wird frisch in frisch oder nachträglich eine zusätzliche dünne Schicht aufgebracht und diese später geschliffen und ggf. poliert. Oftmals werden derartige im Verbund aufgebrachte Schichten als zementgebundene Bodenbeläge, Bodenverlaufmassen oder als Designböden bezeichnet.

2.1.1 Anwendung

Der Aufwand für gestaltete Betonoberflächen lohnt sich bei repräsentativen Räumlichkeiten wie Verkaufs- und Ausstellungsräumen, Foyers, Bürogebäuden sowie in der Gastronomie. Durch Auswahl und Größe der Gesteinskörnungen, des Zements und etwaiger Farbzusätze ist eine große gestalterische Vielfalt vorhanden. Fast jeder Hersteller bietet neben Farbpaletten auch unterschiedliche Korngrößen und Kornfarben von Gesteinskörnungen an. Neben den geschliffenen Flächen lassen sich mit diesen Bodensystemen natürlich auch ungeschliffene einfarbige oder marmorierte Flächen herstellen. Erweitert wird die Anwendungsvielfalt durch nachträgliche Lasuren, Imprägnierungen oder Versiegelungen, die farblos, farbvertiefend oder einfärbend wirken können. Durch Imprägnierungen und Versiegelungen sind unterschiedliche Abstufungen im Glanz erzielbar.

Mit Hilfe von Metallschienen lassen sich scharf abgegrenzte Felder im Boden anlegen, die mit unterschiedlichen Mischungen ausgefüllt werden können. Damit können beliebige Muster oder z.B. Firmenlogos in der Oberfläche bewerkstelligt werden. Stufen oder Absätze sollten ebenfalls an den vertikalen Flächen mit Metallschienen eingefasst werden, um Eckabplatzungen zu vermeiden.

2.1.2 Eigenschaften

Zementgebundene selbstverlaufende Bodensysteme werden in Schichtdicken von 5 mm bis 15 mm eingebaut. Die werksmäßig hergestellten Produkte basieren auf mineralischen Bindemitteln, sind aber z.T. mit Kunststoffzusätzen versehen. Damit sind die Erhärtungseigenschaften und Verarbeitungsanforderungen mit denen von Estrichen vergleichbar. Bereits nach einem Tag ist bei normaler Raumtemperatur eine Druckfestigkeit von etwa 15 N/mm² vorhanden. Die 28 Tage-Druckfestigkeiten liegen überwiegend zwischen 40 und 60 N/mm², die Biegezugfestigkeiten bei etwa 5 bis 10 N/mm².

2.1.3 Vorbereitung des Untergrunds bei nachträglicher Aufbringung

Werden Estrichschichten oder zementgebundene Verlaufsmassen nachträglich auf bereits erhärtete Betonböden aufgebracht, muss der Untergrund den Verbund zwischen den Schichten ermöglichen. Hierfür sollte er frei von Staub und Schmutz, Trenn- und Nachbehandlungsmitteln sein. Eine ausreichende Rauigkeit kann durch Kugelstrahlen erreicht werden. DIN 18560 fordert eine mittlere Haftzugfestigkeit des Betonuntergrundes von mindestens 1,5 N/mm². Fugen im Untergrund sind in die obere Schicht zu übernehmen. Die Ebenheitsabweichungen nach DIN 18202 sollten die Grenzmaße für flächenfertige Böden nach Tabelle 3, Zeile 3 nicht überschreiten.

2.1.4 Verarbeitung

Die Verarbeitungstemperaturen liegen wie bei anderen zementgebundenen Böden bei $T > 5 \text{ °C}$. Vorteilhaft ist ein Aufbringen der Schicht „frisch in frisch“ auf den abgeschleibten Betonboden. Nachträglich auf erhärtete Betonböden aufgebrachte Schichten sind nach Herstellerangaben i.d.R. mit einer Haftbrücke zu verankern. Hierbei wird die aufzubringende Schicht in die noch feuchte Haftbrücke verteilt. Gegebenfalls ist vorher eine Grundierung erforderlich.

Das im Estrichmischer angemischte Material ist pumpfähig und wird nach dem Verteilen je nach Konsistenz fluchtgerecht abgezogen bzw. abgerieben. Nach entsprechender Standzeit wird die Oberfläche maschinell abgeschleibt und flügelgeglättet.

2.1.5 Nachbehandlung

Die vergleichsweise dünnen Schichten erfordern eine sorgfältige Nachbehandlung, um die geringe enthaltene Wassermenge am Verdunsten zu hindern. Direkte Sonneneinstrahlung ist ebenso wie

Zugluft zu vermeiden. Eine mehrtägige Folienachbehandlung ist empfehlenswert.

Als Schutz vor Verschmutzungen haben sich Imprägnierungen bewährt, die auf die trockenen Oberflächen aufgetragen werden.

2.2 Prägebeton bzw. Creteprint-Verfahren

2.2.1 Grundsätze und Anwendung

Das Einprägen von Strukturen in die noch plastische Betonoberfläche stellt ebenfalls eine Form der Oberflächenbearbeitung eines Betonbodens dar. Am bekanntesten ist das aus England stammende lizenzierte Creteprint-Verfahren, das dort seit 25 Jahren auf dem Markt ist. In Deutschland sind mit einem Stempelabdruck bzw. einer Schablone gestaltete Oberflächen unter dem Begriff des Prägebetons zu finden. Hierbei werden Kunststoffmatrizen auf die Oberfläche des Bodens gelegt und eingedrückt. Durch Aneinanderlegen verschiedener Matrizen können auf diese Weise auch große Flächen mit einem regelmäßigen Muster versehen werden. Die Bauweise ist vor allem in Südeuropa, Frankreich und England verbreitet. In Kombination mit Einfärbungen durch auf den frischen Beton aufgestreute Farbpigmente entstehen Oberflächen, die optisch an Pflasterflächen erinnern. Ähnlich wie bei Schalungsmatrizen an vertikalen Wandflächen erlauben die Kunststoffformen eine nahezu grenzenlose gestalterische Freiheit hinsichtlich Form und Fugenbild. Sowohl regelmäßig angeordnetes Pflaster als auch polygone Naturpflasterflächen können nachgebildet werden. Durch ungleichmäßig eingestreute Farbpigmente entstehen Farbchangierungen, die bei handwerklich geschickter Ausführung den Farbnuancen von Natursteinen ähneln können.

Anwendungsbereiche von Prägebetonen sind überwiegend Hofflächen (Abbildungen 10 und 11), Straßen, Wege und Plätze (Abb. 12), Garagen und Carports, Schwimmbadumfassungen sowie im Garten- und Landschaftsbau.



Abb. 10: PKW-Stellplätze aus Prägebeton



Abb. 11: Eingeprägte Struktur in eine Betonfläche



Abb. 12: Eingeprägte Betonflächen mit unterschiedlichen Farbeinstreuungen

2.2.2 Ausführung

Folgende Arbeitsschritte sind für einen Prägebeton durchzuführen:

1. Konventionelle Herstellung eines Betonbodens. Die Oberfläche wird eben abgezogen (z.B. mit einem Richtschieber). Wie beim Abscheiben eines Industriebodens muss auch hier gewartet werden, bis der Boden nahezu begehbar wird, aber noch im ausreichenden Maße plastisch verformbar ist.
2. Farbiger Beton kann auch durch Einfärbung des gesamten Betons entstehen. Gebräuchlicher ist jedoch das Aufstreuen von Farbpulvermischungen auf die frische Betonoberfläche. Das Einstreuen wird i.d.R. per Hand ausgeführt. Die Einstreumenge kann bis zu 6 kg/m² betragen. Größere Einstreumengen werden u.U. eingerieben und abgeschleibt.
3. Bereiche, die nachträglich in einem zweiten Arbeitsgang mit einer anderen Struktur geprägt werden sollen, werden mit einer festen Auflage abgedeckt, um keine Einprägungen im Randbereich durch die zuerst verwendete Form zu erhalten.

4. Für das Einprägen sind bei großen Formteilen mindestens zwei Formteile notwendig. Die Auflast für das Eindrücken der Struktur in die Betonoberfläche wird durch Begehen der Kunststoffformen erreicht. Dabei stellt sich der Ausführende auf das erste aufgelegte Formteil, legt die nächste Form im Anschluss an das erste heran, wechselt auf diese und nimmt dann die erste Form auf. Der Prozess wiederholt sich solange, bis eine Bahn der gesamten Fläche eingepägt ist. Bei kleinen Formteilen sind für einen sicheren Stand des Ausführenden jeweils zwei aufgelegte Formen notwendig, so dass das Prägen insgesamt mindestens drei, besser aber mehrere Formteile erfordert (Abbildungen 13 und 14).
5. Vorher abgedeckte Bereiche (z.B. Randeinfassungen) werden im nachfolgenden Arbeitsgang mit einer anderen Struktur eingepägt (s. z.B. Abb. 10 linke untere Bildhälfte). Einzelne Fehlstellen in den Übergängen lassen sich mit einer Fugenrolle per Hand nachziehen.
6. Fertig gestellte trockene Oberflächen werden mit einer Versiegelung versehen. Dies können z.B. Acryharze oder Wachse sein. Je nach Auswahl können farbvertiefende Wirkungen oder Glanzeffekte erzielt werden. Die Versiegelungen sollten nach einigen Jahren der Bewitterung wiederholt aufgetragen werden.

2.2.3 Kostenaufwand:

Formteile aus Polyurethan sind im Handel je nach Größe für etwa 200 € bis 400 € je Stück zu beziehen.

Die Mehrkosten für eine Einprägung inklusive Farbeinstreuung und Imprägnierung der Oberfläche auf einer vorhandenen frischen Betonfläche liegen etwa bei 7 bis 10 €/m².

2.2.4 Zusammenfassung

Prägebeton bzw. Creteprint-Bauweisen erlauben eine sehr individuelle Oberflächengestaltung von Betonböden. Durch Farbeinstreuungen und Oberflächentexturierungen können vielfältige geometrische Formen und Oberflächen nachgebildet werden. Eine abschließende Versiegelung schützt die Oberfläche vor Verschmutzungen und Moosbildung.



Abb. 13: Kunststoff-Prägeschablonen



Abb. 14: Kleinformatige Präge-Formteile aus Frankreich (www.francebeton.com)

Programm des Symposiums

15. März 2007, „Johann-Gottfried-Tulla-Hörsaal“, Universität Karlsruhe (TH)

9.00 Uhr	Anmeldung/Kaffee		Ausführung von Betonböden
9.30 Uhr	Begrüßung/Grußworte Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Franz Nestmann Dekan der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften Universität Karlsruhe (TH)	13.45 Uhr	Ausführung – Einbauplanung und Technik sowie neue Erkenntnisse zur Oberflächenbearbeitung bei LP-Betonen Dr.-Ing. Jörg-Peter Wagner, Bilfinger Berger AG, Mannheim
	Ulrich Nolting, Geschäftsführer, Betonmarketing Süd GmbH, Ostfildern	14.15 Uhr	Betontechnologische Aspekte bei der Ausführung von Bodenplatten Dr.-Ing. Ulrich Wöhl, Ing.-Büro für Beton und Mauerwerk, Osnabrück
10.00 Uhr	Industrieböden aus Beton im Überblick Prof. Dr.-Ing. Harald S. Müller, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Karlsruhe (TH)	14.45 Uhr	Oberfläche und Nachbehandlung von Betonböden Dr.-Ing. Jürgen Krell, Krell-Consult, Hilden
	Planung und Bemessung	15.15 Uhr	Kaffeepause
10.30 Uhr	Planung und Ausschreibung von Betonböden Dr.-Ing. Karl-Heinz Wiegrink, Sachverständigenbüro Dr. Wiegrink	15.45 Uhr	Schäden und Instandsetzung Potentielle Ursachen von Mängeln in Industrieböden aus Beton und deren Bewertung Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher, Lehrstuhl für Baustofftechnik, Ruhr-Universität Bochum
11.00 Uhr	Kaffeepause	16.15 Uhr	Instandsetzen von Industrieböden Prof. Dr.-Ing. Claus Flohrer, HOCHTIEF Consult Materials, Mörfelden-Walldorf
11.30 Uhr	Bemessung unbewehrter Betonböden Dr.-Ing. Werner Hörenbaum, SMP – Ingenieure im Bauwesen, Karlsruhe	16.45 Uhr	Sonderbauweisen Sonderbauweisen – Technik und Gestaltung Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann, Fachhochschule Nürnberg
12.00 Uhr	Bemessung bewehrter Betonböden Dipl.-Ing. Josef Steiner, Ingenieurgruppe Bauen, Mannheim	17.15 Uhr	Schlusswort Prof. Dr.-Ing. Harald S. Müller Universität Karlsruhe (TH)
12.30 Uhr	Mittagspause		Ulrich Nolting Betonmarketing Süd GmbH, Ostfildern
			Umtrunk/Imbiss

Referenten- / Autorenverzeichnis

Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher

Lehrstuhl für Baustofftechnik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, Gebäude IA 5/126, 44801 Bochum

Prof. Dr.-Ing. Claus Flohrer

HOCHTIEF Consult Materials, Farmstr. 91-97, 64546 Mörfelden-Walldorf

Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann

FH Nürnberg, Kesslerplatz 12, 90489 Nürnberg

Dipl.-Ing. Michael Haist

Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe

Dr.-Ing. Werner Hörenbaum

SMP – Ingenieure im Bauwesen GmbH, Tullastraße 74, 76131 Karlsruhe

Dr.-Ing. Jürgen Krell

Krell-Consult, Am Strauch 86, 40723 Hilden

Prof. Dr.-Ing. Harald S. Müller

Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe

Dipl.-Ing. Andreas Reichertz

Bilfinger Berger AG, Zentrales Labor für Baustofftechnik, Carl-Reiß-Platz 1 - 5, 68165 Mannheim

Dipl.-Ing. Josef Steiner

Ingenieurgruppe Bauen, Besselstraße 16 a, 68219 Mannheim

Dr.-Ing. Jörg-Peter Wagner

Bilfinger Berger AG, Zentrales Labor für Baustofftechnik, Carl-Reiß-Platz 1 - 5, 68165 Mannheim

Dr.-Ing. Karl-Heinz Wiegrink

Sachverständigenbüro Dr. Wiegrink, Fritz-Meyer-Weg 3a, 81925 München

Dr.-Ing. Ulrich Wöhl

Ing.-Büro für Beton und Mauerwerk, Heinrich-Mann-Str. 78, 49088 Osnabrück



Lohmeyer / Ebeling

2006, 336 S., 16,5 x 23,5 cm,

91 Abb., 61 Taf., Kart.

€ 41,80 / sFr 63,50

ISBN 978-3-7640-0456-9

**Betonböden
für Produktions-
und Lagerhallen**

Bodenflächen im Industriebau müssen in der Regel außergewöhnlich hohen Belastungen standhalten. Mit Blick auf die spätere hohe Beanspruchung ergeben sich für die Praxis besondere Überlegungen bereits bei der Planung und beim Bau. Das Buch ermöglicht, den neuen Normen angepasst, dem Planenden eine einfache Festlegung der Konstruktion. Dem Ausführenden erläutert es die wichtigsten Parameter für die Herstellung von Straßen-, Park-, Lager- und Produktionsflächen aus Beton.

Aus dem Inhalt: Vorschriften und Richtlinien / Beanspruchungen / Konstruktion / Untergrund und Tragschicht / Herstellen und Einbauen des Betons / Oberflächenbearbeitung / Herstellen der Fugen / Dübel und Anker / Nachbehandlung des Betons / Oberflächenbehandlungen / Inbetriebnahme / Prüfungen / Bemessung von Betonböden mit zahlreichen Berechnungsbeispielen

Das Buch zu den Abbildungen und Tabellen im Vortrag:

**Bemessung unbewehrter
Betonböden**

VERLAG  BAU+TECHNIK



Ich bestelle ...

BESTELLSCHEIN

Bestellfax: 0211 / 92499 - 55

..... Exemplar(e) des Titels

**Betonböden für
Produktions- und Lagerhallen**

€ 41,80 / sFr 63,50

Verlag Bau+Technik GmbH
Fachbuch
Postfach 12 01 10
40601 Düsseldorf

Firma/Name

Strasse/Nr.

PLZ/Ort

Datum/Unterschrift



Universität Karlsruhe (TH)
Forschungsuniversität • gegründet 1825



Beton

Industrieböden aus Beton werden zunehmend oberflächenfertig hergestellt und müssen unterschiedlichsten, teils extremen Beanspruchungen und Anforderungen widerstehen können. Erschwerend kommt hinzu, dass die Herstellung der Böden oftmals unter hohem Zeitdruck erfolgt, da die Flächen für die nachfolgenden Gewerke dringend benötigt werden.

Die Herstellung von Betonböden ist bislang nicht normativ geregelt, was häufig zu Unsicherheiten bei Planern, Ausführenden und Nutzern führt. In der Praxis ist es derzeit üblich, die Bemessung und Ausführung von Betonböden in Übereinstimmung mit DIN 1045-1 in Verbindung mit DIN EN 206-1 bzw. DIN 1045-2 vorzunehmen. Diese Normen berücksichtigen jedoch nur bedingt die speziellen Anforderungen, die für die Herstellung von Böden aus Beton gelten.

Vor diesem Hintergrund wird im 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung „Industrieböden aus Beton“ ein Überblick über die Planung und Bemessung sowie die Ausführung von Betonböden gegeben. Weiterhin wird auf Schäden sowie deren Instandsetzung und Sonderbauweisen eingegangen. Der begleitend erschienene Tagungsband fasst alle schriftlichen Beiträge zu den einzelnen Vorträgen zusammen.