

# INDUSTRIEBODEN AUS STAHLFASERBETON

Technische Dokumentation zu  
Presyn a-plus

Rapperswil, 9. Juli 2019  
SSI

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung und Grundlagen</b>	<b>4</b>
1.1	Zielsetzung	4
1.2	Technische Regelwerke und Abgrenzung	4
1.3	Stahlfaserbeton	4
1.4	Systemaufbau Industrieböden	5
<b>2</b>	<b>Einwirkungen, Festlegungen und Anforderungen aus der Nutzung</b>	<b>6</b>
2.1	Einwirkungen	6
2.1.1	Lasten	6
2.1.2	Zwangsbeanspruchungen	6
2.1.3	Umgebungsbedingungen	6
2.2	Anforderungen an Fugen und Oberfläche	6
<b>3</b>	<b>Aufbau und Tragprinzip von Industrieböden</b>	<b>7</b>
3.1	Untergrund	7
3.2	Tragschicht	7
3.3	Wärmedämmschicht	8
3.4	Gleitschicht	8
3.5	Betonplatte	8
3.6	Schutz- und Verschleisschichten	9
<b>4</b>	<b>Fugen</b>	<b>9</b>
4.1	Scheinfugen	10
4.2	Bewegungsfugen	10
4.3	Fugen mit Querkraftdorn oder Fugenprofil	10
4.4	Kantenschutz	10
4.5	Fugenanordnung und konstruktive Zusatzbewehrung	10
<b>5</b>	<b>Bemessung und Berechnung</b>	<b>11</b>
5.1	Entwurf	11
5.2	Einwirkungen	12
5.2.1	Baugrund und Bettung	12
5.2.2	Flächenlasten	12
5.2.3	Einzel- und Punktlasten	13
5.2.4	Zwangsschnittgrössen	14
5.2.5	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen	14
5.3	Plastische Schnittgrössenermittlung für Einzel- und Punktlasten	14
5.3.1	Bruchmechanismus einer elastisch gebetteten Stahlfaserbetonplatte	14
5.3.2	Schnittgrössenermittlung nach Meyerhof	15
5.4	Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	16
5.4.1	Bemessung für Einzellasten	16
5.4.2	Flächenlasten	18

5.4.3	Querkraftwiderstand und Durchstanzen .....	19
5.5	Bemessung für Zwangsbeanspruchungen .....	19
5.5.1	Zwang im frühen Alter.....	19
5.5.2	Zwang im späten Alter .....	19
5.6	Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	20
<b>6</b>	<b>Ausführungsgrundsätze .....</b>	<b>20</b>
6.1	Vorarbeiten.....	20
6.1.1	Innenflächen.....	20
6.1.2	Aussenflächen.....	20
6.2	Beton Einbau.....	21
6.2.1	Innenflächen.....	21
6.2.2	Aussenflächen.....	21
6.3	Oberflächenvergütung .....	21
6.3.1	Hartstoffeinstreuung .....	21
6.3.2	Imprägnierung, Versiegelung oder Verkieselung.....	22
6.3.3	Beschichtungen.....	22
6.4	Oberflächenvergütung bei Aussenflächen .....	22
6.5	Nachbehandlung .....	22
6.5.1	Nachbehandlungsarten .....	22
6.5.2	Nachbehandlungsdauer (siehe SIA 262) .....	23
6.6	Scheinfugen .....	23
6.7	Nutzung nach Fertigstellung der Bodenplatte.....	23
6.7.1	Belastung .....	23
6.7.2	Temperatureinflüsse .....	23
6.8	Sorgfaltspflicht und Haftung .....	23
<b>7</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>25</b>
7.1	Bemessungsbeispiel Industrieboden aus Stahlfaserbeton nach der Bruchlinientheorie, Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	25
<b>8</b>	<b>Quellen.....</b>	<b>27</b>

## Änderungen

Datum	Änderung	Visum

## 1 Einführung und Grundlagen

### 1.1 Zielsetzung

Stahlfaserbeton hat sich als Baustoff für Industrieböden über die vergangenen Jahrzehnte bewährt und wurde vielfach eingesetzt. In der vorliegenden technischen Dokumentation sind die wichtigsten Planungsgrundlagen für Industrieböden aus Stahlfaserbeton, bezogen auf den Schweizer Markt, dargestellt.

### 1.2 Technische Regelwerke und Abgrenzung

Die gültige Schweizer Norm SIA 162/6:1999 – Stahlfaserbeton [1], bietet eine gute und schlanke Basis, die allerdings nicht mehr in das Sicherheitskonzept der Schweizer Tragwerksnormen passt. Derzeit wird das SIA-Merkblatt 2064 Faserbeton erarbeitet (Stand Juli 2019) und eine Veröffentlichung ist für 2021 geplant.

Für die weiteren Ausführungen wurden Grundlagen der aktuellen Tragwerksnormen (SIA 260 – 267 [2][3][4][5]) sowie spezifisch auf Industrieböden bezogene ausländische Regelwerke und Literatur [DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton (2012) [15], DBV-MB Industrieböden aus Stahlfaserbeton (2013)[17], DBV-MB Industrieböden aus Beton (2017)[18], Technical Report 34 (2013)[19] herangezogen.

### 1.3 Stahlfaserbeton

Stahlfaserbeton für Industrieböden enthält in der Regel 20 bis 40 kg Stahlfasern pro m<sup>3</sup> Beton. Die Stahlfasern sind häufig an den Enden gekröpft und bilden damit eine Endverankerung im Beton.

Stahlfaserbeton verhält sich im Zustand I wie unbewehrter Beton. Wird die Zugfestigkeit von Stahlfaserbeton erreicht, so kommt es zur Rissbildung und die Fasern übernehmen Zugkräfte. In der Regel zeigt sich nach der Rissbildung ein entfestigendes Verhalten, welches anhand von Biegezugprüfungen nach SN EN 14651 charakterisiert wird.

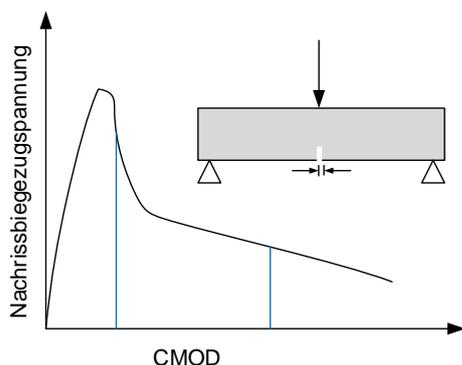


Abbildung 1: Biegezugtragverhalten von Stahlfaserbeton

Analog zu europäischen Bestimmungen werden die Nachrisszugfestigkeiten bei zwei definierten Rissbreiten ermittelt, die künftig die Leistungsklassen L1/L2 eines Stahlfaserbetons abbilden. Die Herleitung charakteristischer Rechenwerte aus Versuchsdaten ist im Anhang gezeigt.

Zur Beschreibung des Tragverhaltens von Stahlfaserbeton werden folgende Begriffe erläutert:

Zugfestigkeit	Die Zugfestigkeit des Stahlfaserbetons ist erreicht, wenn es zur Rissbildung kommt. Sie entspricht etwa der Betonzugfestigkeit.
Nachrisszugfestigkeit	Allgemeine Zugfestigkeit des Stahlfaserbetons nach der Rissbildung.
Nachrissbiegezugfestigkeit	Biegezugfestigkeit des Querschnittwiderstandes $W$ nach Rissbildung.
Zentrische Nachrisszugfestigkeit	Zentrische Zugfestigkeit nach der Rissbildung.

#### 1.4 Systemaufbau Industrieböden

In dieser Dokumentation werden ausschliesslich Industrieböden aus reinem Stahlfaserbeton behandelt. Aufgrund der Eigenschaften können Risse mit einer reinen Faserbewehrung nicht wirksam kontrolliert werden. Daher können keine Rissbreiten- oder Dichtheitsanforderungen eingehalten werden. Ein Entwurfsgrundsatz ist daher die Rissvermeidung durch eine Fugenanordnung in definierten Abständen.

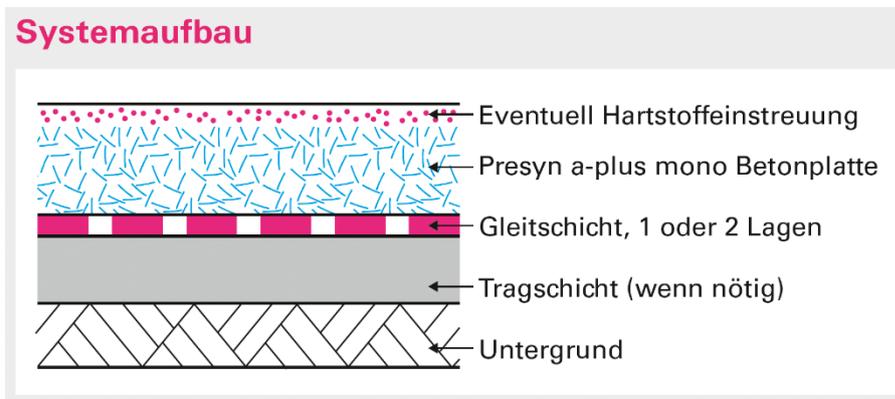


Abbildung 2: Systemaufbau typischer Industrieböden

Systemaufbau eines typischen Industriebodens von oben nach unten:

- ggf. Schutz- und Verschleisschicht (z.B. Belag, Überzug, Hartstoffeinstreuung)
- Betonplatte mit Stahlfaserbewehrung (Presyn a-plus mono)
- Gleitschicht (z.B. Folie)
- ggf. Wärmedämmung (z.B. bei Hallen)
- ggf. Tragschicht (z.B. Magerbeton)
- ggf. Frostschutzschicht (z.B. bei Freiflächen)
- Untergrund

## 2 Einwirkungen, Festlegungen und Anforderungen aus der Nutzung

Die Anforderungen an den Industrieboden sind in Abstimmung mit den Bedürfnissen des Bauherrn in der Nutzungsvereinbarung festzuhalten. Die Nutzungsdauer beträgt maximal 50 Jahre.

### 2.1 Einwirkungen

Typische Einwirkungen sind Lasten, Zwangsbeanspruchungen und Umgebungsbedingungen.

#### 2.1.1 Lasten

Industrieböden sind von anderen Bauteilen vollständig entkoppelt und übernehmen keine tragende Funktion. Übliche Lasten sind Eigenlasten, Flächenlasten (z.B. Lagergut), punktförmige Lasten (z.B. Regalstützen) und dynamisch wirkende Lasten (z.B. Fahrzeuge).

#### 2.1.2 Zwangsbeanspruchungen

Formänderungen des Betons führen zu Verformungen oder Verkrümmungen der Betonplatte. Sofern die Verformungen durch Festhaltungen (Stützen, Fundamentvertiefungen, hohe Punktlasten resp. Eigengewicht in Verbindung mit Reibung) behindert werden, kann es bei Überschreitung der zentrischen Betonzugfestigkeit zur Rissbildung kommen.

Zwangsbeanspruchungen treten infolge Temperaturbeanspruchungen (abfliessende Hydratationswärme, Temperaturänderungen im Aussenbereich, beheizte oder gekühlte Hallen) oder Schwinden (Frühschwinden und Trocknungsschwinden) auf.

#### 2.1.3 Umgebungsbedingungen

Die Umgebungsbedingungen werden durch Expositionsclassen definiert. Da keine konventionelle Bewehrung enthalten ist, ist lediglich der Betonangriff durch Frost, chemische Einwirkungen oder mechanische Beanspruchungen zu definieren. Korrosion an den oberflächennahen Stahlfasern mindert die Tragfähigkeit nicht, stellt aber ein ästhetisches Problem dar. Korrosion findet lediglich in Rissbreiten grösser als 0,2 mm im Aussenbereich statt.

### 2.2 Anforderungen an Fugen und Oberflächen

Die unkontrollierte Rissbildung wird bei schwimmend verlegten Industrieböden aus Faserbeton durch konsequente Entkopplung von andern Bauteilen, gleitende Lagerung ohne konstruktive Festhaltungen und geeignete Fugenabstände verhindert. Die Fugen sind bezüglich der Lage, des Zeitpunkts des Fugenschnittes und der Art der Ausführung zu planen.

An die Oberflächen werden je nach Nutzung unterschiedliche Anforderungen gestellt. So ist anfallendes Wasser durch ein geeignetes Gefälle abzuleiten. Regalanlagen mit automatisierten Förderzeugen stellen für den reibungslosen Betrieb hohe Anforderungen an die Ebenheit.

Die Oberflächenbeschaffenheit ist entsprechend der Nutzung zu definieren. So können Anforderungen an die Rutschhemmung resp. Griffigkeit oder der Widerstand gegen mechanische Beanspruchungen definiert werden.

### 3 Aufbau und Tragprinzip von Industrieböden

Schwimmend eingebaute Industrieböden tragen vertikale Lasten wie Eigengewicht, Flächenlasten, Radlasten von Verkehrsmitteln oder Punktlasten - beispielsweise von Regalstützen - als elastisch gebettete Platte ab. Massgebende Einflussfaktoren auf der Widerstandsseite sind die Plattendicke und die Steifigkeit der darunter befindlichen Schichten.

#### 3.1 Untergrund

Der natürliche Untergrund ist entscheidend für die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.

Der Untergrund muss ausreichend tragfähig sein und soll sich nicht differenziell setzen. Das DBV-Merkblatt Industrieböden aus Beton [18] gibt Anforderungen für eine ausreichende Tragfähigkeit vor:

- Proctordichte  $D_{Pr} > 95\%$  (SN EN 13286-50)
- Zur Sicherstellung einer ausreichenden Verdichtung muss der Verhältniswert  $E_{V2}/E_{V1} \leq 2,5$  sein.
- Der minimale Wert für das Verformungsmodul ist von der Belastung abhängig und kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 1: Minimale Werte des Verformungsmoduls ( $E_{V2}$ , Wiederbelastung) für die Tragschicht und den Untergrund

Belastung Einzellast [kN]		50	80	100	150
$E_{V2}$ -Wert Tragschicht	MN/m <sup>2</sup>	100	100	120	150
$E_{V2}$ -Wert Untergrund	MN/m <sup>2</sup>	50	80	80	80

#### 3.2 Tragschicht

Die nachträglich eingebaute Tragschicht hat drei Hauptaufgaben:

- Übertragung und Verteilung der Lasten der Bodenplatte
- Sicherstellen eines ebenen Planums
- Sicherstellen der Tragfähigkeit für den Bauprozess

Alternativ dazu kann die Tragschicht auch noch für die Frostsicherheit und/ oder für die Wärmedämmung zuständig sein.

Damit die Tragfähigkeit gewährleistet ist, sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Proctordichte  $\geq 100\%$
- Zur Sicherstellung einer ausreichenden Verdichtung muss der Verhältniswert  $E_{V2}/E_{V1} \leq 2,2$  betragen.
- Der minimale Wert für das Verformungsmodul ist von der Belastung abhängig und ist in der Tabelle 1 aufgeführt.

Zu beachten ist bei einer Tragschicht aus Schaumglasschotter, dass sich oberflächennah eine plastische Verformung (Sofortsetzung) einstellt. Dadurch kann das Verhältnis der Verdichtungswerte  $E_{V2}/E_{V1} > 2,2$  werden.

Der Einbau von Recyclingmaterial als Tragschicht ist heikel. Quellfähige und treibende Bestandteile können zu verstärkter Rissbildung führen. Zudem sind Recyclingmaterialien oftmals nicht frostsicher. Die Eignung von Recyclingmaterial ist sorgfältig zu prüfen.

Falls keine Gleitschicht resp. Gleitschicht durch Folien gebildet wird, ist die Ebenheit des Planums wichtig. Als Minimalanforderung wird in [17][18] eine Ebenheit von  $\pm 12,5$  mm resp.  $+0, -25$  mm gefordert. Bei erhöhten Anforderungen wird eine Ebenheit von  $\pm 7,5$  mm resp.  $+0, -15$  mm empfohlen.

Sofern das Planum die Anforderungen der Ebenheit erfüllt, kann in der Regel auf eine Sauberkeitsschicht verzichtet werden. Unabhängig davon führt eine maschinell abgeglättete Sauberkeitsschicht aus (Mager-) Beton zur Minimierung von Zwangsbeanspruchungen.

### 3.3 Wärmedämmschicht

In der Regel werden beheizbare oder kühlbare Industrieböden mit einer Wärmedämmung vollflächig oder am Rand ausgeführt. Dazu werden feuchteunempfindliche Materialien wie extrudierte Polystyrolplatten (XPS), Schaumglasplatten und verdichteter Schaumglasschotter verwendet. Eine Trennschicht verhindert oder mindert das Abfliessen des Zementleims. Dies kann durch die Sauberkeitsschicht, ein Geotextil oder eine Polyethylenfolie (PE-Folie) geschehen. Beim Einsatz einer Polyethylenfolie wird das unterseitige Austrocknen verhindert.

### 3.4 Gleitschicht

Die Gleitschicht vermindert die Reibung zwischen der Bodenplatte und der darunterliegenden Schicht. Die Gleitschicht kann aber Unebenheiten des Planums nicht kompensieren. Eine Verringerung der Reibung führt automatisch zu weniger behinderter Verformung (Zwang). Je grösser die Beanspruchung ist und je grösser die Anforderungen an die Rissbreite sind, desto wichtiger ist eine wirksame Gleitschicht. Bei kleiner Beanspruchung ( $Q < 60$  kN) kann die Gleitschicht durch eine Lage PE-Folie ausgeführt werden. Bei höherer Beanspruchung empfiehlt sich eine Gleitschicht aus zwei Lagen PE-Folie (je 0,2mm dick).

Table 2: Rechenwerte für Reibbeiwerte

Planum der Tragschicht	Gleitschicht	min $\mu$	max $\mu$
Verdichtete Tragschicht	Keine Gleitschicht	1,8	1,8
	1 Lage PE 0,2 mm	1,4	1,4
	2 Lagen PE 0,2 mm	1,0	1,0
Sauberkeitsschicht flügelgeglättet	1 Lage PE 0,2 mm	0,8	1,4
	2 Lagen PE 0,2 mm (leicht verschmutzt)	0,6	1,0
	2 Lagen PE 0,2 mm (ideal sauber)	0,4	1,0

Reibbeiwerte für Gleitschichten aus anderen Materialien sind in [18] aufgeführt.

Die Gleitschicht darf während der Bauphase nicht beschädigt werden. Gegebenenfalls kann sie zu ihrem Schutz in der Bauphase abgedeckt werden. Die Stösse der Folien sind überlappend auszuführen.

### 3.5 Betonplatte

Die Betonplatte aus Presyn a-plus mono kann nach Abschnitt 5 (vor-) bemessen werden.

### 3.6 Schutz- und Verschleisschichten

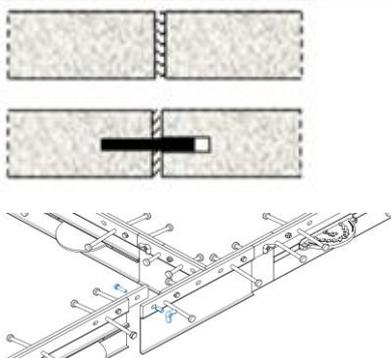
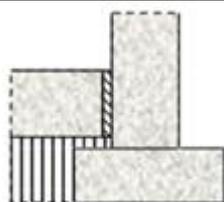
Die Oberfläche der Bodenplatte kann unterschiedlich ausgeführt werden. Üblich ist ein Besenstrich oder eine abgeglättete Oberfläche mit Hartstoffeinstreuung. Des Weiteren kann auch eine Beschichtung mit Reaktionsharzen oder ein Hartstoffestrich aufgebracht werden.

Die Einstreuung von Hartstoffen erhöht den Verschleisswiderstand und verhindert herausstehende Stahlfasern an der Oberfläche.

## 4 Fugen

Abfliessende Hydratationswärme, Schwinden und Temperaturbeanspruchungen führen zu Zugbeanspruchungen im Betonquerschnitt. Die Beanspruchung kann durch die Ausbildung der Gleitschicht und durch eine angepasste Fugenteilung derart gesteuert werden, dass sich keine Risse in den Feldern infolge zentrischen Zwangs bilden.

Tabelle 3: Fugenarten bei Industrieböden in Anlehnung an [18]

Fugenart	Darstellung	Beschreibung
Scheinfuge		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durch Einschnitte (ca. <math>h/3</math>) treten Risse an den Sollbruchstellen auf</li> <li>– Abbau von Zwangsspannungen; Rissöffnung bei Bauteilverkürzung</li> <li>– Querkraftübertragung bei kleinen Rissbreiten durch Kornverzahnung</li> </ul>
Bewegungsfuge		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gegenseitige Bewegungsmöglichkeit durch definierte Fugenstärken</li> <li>– Ggf. mit Querkräftdorn oder Fugenprofil zur Kraftübertragung</li> <li>– Ggf. mit Kantenschutz</li> </ul>
Randfuge (Unterart der Bewegungsfuge)		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Trennung zwischen Bodenplatte und aufgehenden Bauteilen</li> <li>– Gegenseitige Bewegungsmöglichkeit</li> </ul>

#### 4.1 Scheinfugen

Mit Scheinfugen werden Sollbruchstellen in der Betonplatte festgelegt. Diese werden zum frühestmöglichen Zeitpunkt in den jungen Beton eingeschnitten, um Risse infolge abfließender Hydratationswärme zu verhindern. Zudem werden Zwangskräfte infolge Schwindens und Temperaturbeanspruchungen abgebaut. Querkräfte werden durch Verzahnung übertragen, sofern die Rissbreite nicht zu gross wird. Die Fuge ist 3 – 4 mm breit und etwa  $h/3$  tief. Falls erforderlich, kann die Fuge mit einem dauerelastischen Material verfüllt werden.

#### 4.2 Bewegungsfugen

Bewegungsfugen trennen die Betonplatte mit bemessener Fugenbreite. Sie ermöglichen Längenänderungen der einzelnen Plattensegmente oder Relativbewegungen angrenzender Bauteile. Mit Bewegungsfugen von mindestens 10 mm gegenüber angrenzenden Bauteilen und 20 mm gegenüber Stützen wird der Industrieboden wirksam entkoppelt.

#### 4.3 Fugen mit Querkraftdorn oder Fugenprofil

Arbeitsfugen oder Dehnfugen, in denen Querkräfte planmässig übertragen werden sollen, sind mit einem entsprechendem Fugenprofil oder Querkraftdorn auszuführen. So können Aufschüsselungen, Hohllagen oder Niveauunterschiede wirksam vermieden werden.

Presyn unterstützt gerne bei der Auswahl geeigneter Fugenprofile.

#### 4.4 Kantenschutz

Je nach Nutzung sind die Kanten von Fugen stark beansprucht und benötigen einen Kantenschutz.

#### 4.5 Fugenanordnung und konstruktive Zusatzbewehrung

Fugen haben maximale Abstände aufgrund von Zwangsbeanspruchungen. Praktisch wird die Einteilung auch auf das Stützenraster ausgelegt, da so Risse verhindert werden können. T-förmige Fugen wirken dagegen eher ungünstig.

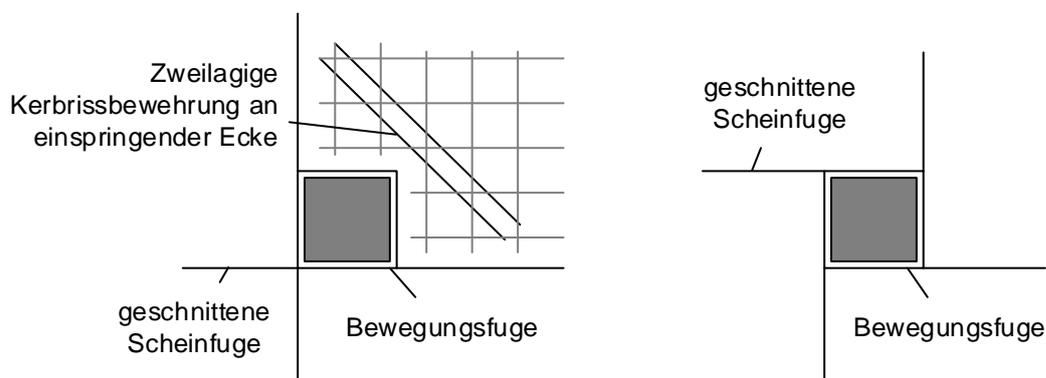


Abbildung 3: Günstige Anordnung von Fugen nach [18]

Bei einspringenden Ecken ist eine Spannungskonzentration zu erwarten. Diese kann Rissbildung zur Folge haben. Durch zusätzlich eingelegte konstruktive Betonstahlbewehrung wird die Kernrissbreite beschränkt. Die konstruktive Bewehrung soll sowohl als untere wie auch als obere Bewehrung und diagonal angeordnet werden. Sie kann anhand der Betonzugfestigkeit und der Bemessungsspannung des Betonstahls abgeschätzt werden.

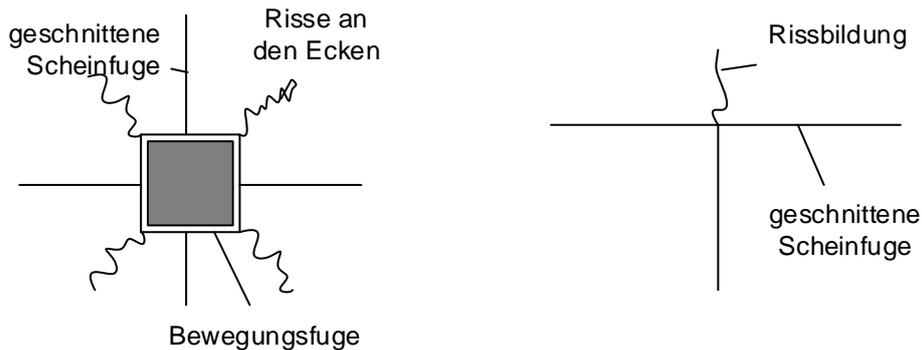


Abbildung 4: Eher ungünstige Fugenanordnung

## 5 Bemessung und Berechnung

### 5.1 Entwurf

Je nach Belastung und Fugenausbildung stellt Presyn vier Produktkategorien des Stahlfaserbetons a-plus mono für Industrieböden zur Verfügung.

Tabelle 4: Entwurfshinweise für Industrieböden von Presyn für a-plus mono

Technische Angaben	Normale Belastung	Hohe Belastung	Fugenlose Industrieböden	Aussenflächen
<b>Betonsorte</b>	<b>a-plus mono a1</b>	<b>a-plus mono a2</b>	<b>a-plus mono a3</b>	<b>a-plus mono g4**</b>
<b>Flächenlast</b>	50 kN/m <sup>2</sup>	80 kN/m <sup>2</sup>	*	*
<b>Stapler-Gesamtgewicht</b>	7,0t	13,0t	*	*
<b>Einzellast aus Regalfuss 10 x 10 cm</b>	50 kN	80 kN	*	*
<b>EV<sub>2</sub>-Wert Untergrund</b>	≥ 60 MN/m <sup>2</sup>	≥ 80 MN/m <sup>2</sup>	≥ 100 MN/m <sup>2</sup>	≥ 80 MN/m <sup>2</sup>
<b>Feldgrösse</b>	10 x 10 m	12 x 12 m	40 x 40 m	10 x 10 m
<b>Längen/Breiten-Verhältnis</b>	1:1,5	1:1,3	1:1,3	1:1,3
<b>Trennschicht/Folie</b>	1 Folie	1 Folie	2 Folien	2 Folien
<b>Druckfestigkeitsklasse</b>	C 30/37 N/mm <sup>2</sup>			
<b>Expositionsklasse</b>	XC2	XC2	XC2	XC4, XD3, XF4

\* Gemäss Angaben Presyn  
\*\* Beim Presyn a-plus mono g4 sind zusätzlich die Anforderungen der SN 640 464b «Betondecken» einzuhalten.

Für den Entwurf sind in der Regel folgende beide Situationen entscheidend

- Zwangsschnittgrößen geben die Fugenteilung und die Anordnung von Gleitschichten vor.
- Einzellasten an ungünstiger Stelle (Ecken) geben die Anforderungen an Untergrund, Tragschicht und Plattendicke vor.

Die im Folgenden dargestellten Ansätze sind konservativ und können zur Vorbemessung verwendet werden. Für detailliertere Ansätze oder konkrete Widerstandswerte wenden sie sich an die Presyn AG.

## 5.2 Einwirkungen

### 5.2.1 Baugrund und Bettung

Die Eigenschaften des Untergrundes gehen aus dem geologischen Bericht hervor, der alle benötigten Parameter für die Bemessung eines baugrundgestützten Systems inklusive Langzeitsetzungen beinhalten sollte. Bindige Böden (wie Ton und Silt) tendieren unter Last zu konsolidieren, was zu Langzeitsetzungen führt. Insbesondere bei Punktlasten von Regalstützen führen differenzielle Setzungen zu unzulässigen Verformungen. Bei bindigen Böden wird daher eine entsprechende Tragschicht empfohlen.

Für die Bemessung von elastisch gebetteten Betonplatten wird der Bettungsmodul für das zweischichtige System aus Betonplatte auf elastischer Bettung wie folgt abgeschätzt werden:

$$k_s = E_{V2} / \{0,83 \cdot h \cdot (E_{cm} / E_{V2})^{1/3}\}$$

mit

h = Dicke der Betonplatte

$E_{cm}$  = Elastizitätsmodul Beton

$E_{V2}$  = Verformungsmodul des Untergrundes (Wiederbelastung, Plattendruckversuch)

Die Berechnung ist für Einzellasten auf tragfähigem Baugrund ausreichend genau.

Für Verformungsberechnungen, FEM- und nichtlineare Berechnungsverfahren ist der Bettungsmodul mit einer Setzungsberechnung zu bestimmen.

$$k_s = q/s$$

mit

q = Flächenlast (Sohlpressung)

s = zugehörige Setzung

Alternativ kann das Steifezifferverfahren verwendet werden.

### 5.2.2 Flächenlasten

Flächenlasten aus Eigengewicht oder lagernden Gütern sind bei der Bemessung bereichsweise zu berücksichtigen. Zudem können Flächenlasten die Reibung erhöhen und

somit Bauteilverkürzungen infolge Schwinden und Temperaturbeanspruchungen behindern. Daher sind Flächenlasten projektspezifisch zu definieren.

### 5.2.3 Einzel- und Punktlasten

Abgesehen von Flächenlasten sind typische Einwirkungen auf Industrieböden Einzellasten aus Regalstützen oder Radlasten von Fahrzeugen. Diese treten einzeln oder in Lastgruppen (z.B. Tandemachse) zu zwei oder vier Lasten auf. Die massgebende Lastanordnung ist an einer Plattenecke.

Charakteristische Lasten wie Fahrzeuglasten oder Lasten je Regalfuss sind projektspezifisch in der Nutzungsvereinbarung zusammen mit der wirksamen Aufstandsfläche und Mindestabständen festzuhalten. Für Lastwagenverkehr kann auf den Ansatz der Tandemachse gemäss SIA 261, Fig. 11 [3] zurückgegriffen werden, wobei reduzierte Werte für Langsamverkehr angesetzt werden dürfen.

Für Gabelstaplerverkehr kann beispielsweise auf den Eurocode 1 [10], Tab 6.5 f zurückgegriffen werden oder es können Lastansätze in der Nutzungsvereinbarung definiert werden.

*Tabelle 5: Gabelstaplerlasten gemäss Eurocode 1 [10]*

Gabelstapler Klasse	Eigengewicht (Netto) in [kN]	Hublasten in [kN]	Radabstand a in [m]	Fahrzeug -breite b [m]/ -länge l [m]	Achslast $Q_k$ in [kN]
FL1	21	10	0,85	1,0/2,6	26
FL2	31	15	0,95	1,1/3,0	40
FL3	44	25	1,00	1,2/3,3	63
FL4	60	40	1,20	1,4/4,0	90
FL5	90	60	1,50	1,9/4,6	140
FL6	110	80	1,80	2,3/5,1	170

- 1) Radaufstandsfläche je 0,2 x 0,2 m; bei nicht luftbereiften Staplern ist die kleinere effektive Aufstandsfläche zu berücksichtigen
- 2) Achslast mit dyn. Anteil  $Q_{k,dyn} = \varphi * Q_k$ ;  $\varphi = 1,4$  für Luftbereifung,  $\varphi = 2,0$  für Vollgummiräder

Die Lasten von Regalstützen sind vom Bauherrn zu definieren. Für die Bestimmung der effektiven Aufstandsfläche darf gem. [19] innerhalb der Fussplatte eine Lastausbreitung von 1:4 angenommen werden.

#### 5.2.4 Zwangsschnittgrössen

Im jungen Alter treten durch abfliessende Hydratationswärme und Schwindprozesse Zwangsbeanspruchungen auf, deren Grössenordnung durch die Fugenanordnung, aber auch durch Rezeptur, Gleitschichten und Nachbehandlung massgeblich beeinflusst werden kann, siehe Abschnitt 6 Ausführung. Für erste Abschätzungen können Daten der SIA 262 [4] entnommen werden oder der erforderliche Fugenabstand nach Abschnitt 5.5 ermittelt werden.

#### 5.2.5 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen

Für die Bemessung werden verminderte Teilsicherheitsbeiwerte gem. [17] vorgeschlagen, da Industrieböden in die untere Schadensfolgeklasse CC1 gem. Eurocode [7] eingeordnet werden können. Dementsprechend können die Teilsicherheitsbeiwerte für ständige und veränderliche Einwirkungen gem. [17] mit  $\gamma_{g,q} = 1,30$  und für indirekte Einwirkungen aus Zwang mit  $\gamma_{S,T} = 1,0$  angesetzt werden.

### 5.3 Plastische Schnittgrössenermittlung für Einzel- und Punktlasten

Stahlfaserbewehrte Industrieböden, die durch Punkt- und Einzellasten beansprucht werden, lassen sich wirtschaftlich mithilfe der Bruchlinientheorie bemessen. Einfache Rechenmodelle lieferte Meyerhof, dessen Ansätze in das DBV-Merkblatt [17] und den TR 24 [19] eingeflossen sind. Die Ansätze des DBV-Merkblatt [17] werden im Folgenden gezeigt.

Alternativ können FE-Programme mit plastischen Ansätzen angewendet werden.

#### 5.3.1 Bruchmechanismus einer elastisch gebetteten Stahlfaserbetonplatte

Der Bruch bei einer elastisch gelagerten Stahlfaserbetonplatte erfolgt durch ein Biegeversagen. Querkraftversagen oder Durchstanzen werden nicht massgebend, da sich kein Zuggurt ausbilden kann.

Wenn eine Punktlast im mittleren Bereich (ohne Fugeneinfluss) auf eine elastisch gebettete Betonplatte drückt, können Spannungen und Verformungen einer elastisch gebetteten Platte nach Bruchlinientheorie ermittelt werden.

Wenn das negative Moment grösser als das Rissmoment  $M_r = f_{ctf} \cdot W$  wird, bilden sich auf der Plattenunterseite radiale Risse. Durch diese Fliessgelenke und die einhergehenden Verformungen wird die stützende Kraft des elastischen Bodens erhöht.

Der Grenzzustand der Tragsicherheit ist erreicht, wenn sich oben ein kreisförmiger Riss und damit weitere Fliessgelenke bilden. Der kritische Querschnitt ist ein Kreis rund um die Punktlast. Da der Beton im Grenzzustand der Tragsicherheit tangential (auf dem Kreis) reisst, wird das positive, tangential Moment als ungerissen und das negative, radiale Moment für den gerissenen Zustand berücksichtigt.

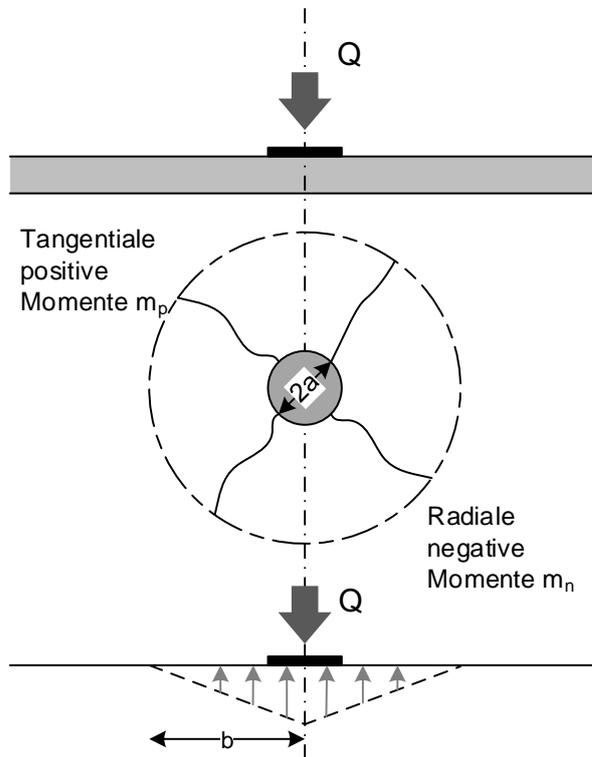


Abbildung 5: Fließgelenke und Momente in Anlehnung an [19]

### 5.3.2 Schnittgrössenermittlung nach Meyerhof

Das Rechenmodell von Meyerhof wurde als Artikel im Magazin «Proceedings of the American Society of Civil Engineers» im Juni 1962 veröffentlicht.

Meyerhof schliesst von einer Einzellast oder von mehreren nahestehenden Einzellasten auf das Moment. Die maximalen Einzellasten können daher aus dem Systemwiderstandsmoment berechnet werden, welches sich gem. [17] aus der Summe der tangentialen und radialen aufnehmbaren Momente ergibt.

$$m_R = m_p + m_n$$

Die Berechnung des Systemwiderstands und der zugehörigen aufnehmbaren Lasten  $Q_{Rd}$  wird im folgenden Abschnitt dargestellt.

Der Systemwiderstand ist von der elastischen Bettung, von der elastischen Länge nach Westergaard, der Auflagefläche der Einzellast(en) und dem Abstand  $x$  von Einzellasten zueinander abhängig.

Die elastische Länge nach Westergaard ist definiert als:

$$l = [(E_{cm} \cdot h^3) / (12 (1-\nu^2) \cdot k_s)]^{0,25}$$

wobei

$E_{cm}$  = kurzzeitiger E-Modul des Betons [ $N/mm^2$ ]

$h$  = Plattendicke [ $mm$ ]

$k$  = Bettungsmodul [ $N/mm^3$ ]

$\nu$  = Poissonzahl (angenommen als 0,2)

Die Aufstandsfläche wird durch den äquivalenten Kontaktradius  $a$  ausgedrückt.

## 5.4 Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die im Folgenden dargestellten Ansätze sind konservativ und können zur Vorbemessung verwendet werden. Die wirtschaftliche und detaillierte Planung erfolgt in Zusammenarbeit mit Presyn.

Die Berechnung der Systemsteifigkeit beruht auf folgenden Annahmen:

- Ebenheit der Querschnitte (Bernoulli Hypothese)
- Die Spannungen im Stahlfaserbeton haben einen charakteristischen Verlauf
- Für einen Querschnitt ohne Stabbewehrung wird als statische Höhe die Querschnittshöhe  $h$  angesetzt.

Der Bemessungswert des Systemwiderstandes für stahlfaserbewehrte Industrieböden kann vereinfachend mit der folgenden Gleichung ermittelt werden:

$$m_{R,d} = \max \left\{ \left( \frac{f_{ctk,fl}^f}{\gamma_c} + \frac{f_{cflk,L2}^f}{\gamma_{ct}^f} \cdot 1,70 \right) \cdot W; \left( \frac{f_{cflk,L1}^f}{\gamma_{ct}^f} + \frac{f_{cflk,L2}^f}{\gamma_{ct}^f} \right) \cdot 1,70 \cdot W \right\}$$

wobei:

$f_{ctk,fl}^f = k_h \cdot f_{ctk;0,05}$ , charakteristische Biegezugfestigkeit

$k_h = 1,6 - h \geq 1,0$  (Höhenbeiwert,  $h$  in m)

$f_{ctk;0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm}$ , charakteristische Zugfestigkeit des Betons

$f_{cflk,L1}^f$  = charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit im Verformungszustand 1

$f_{cflk,L2}^f$  = charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit im Verformungszustand 2

$W = h^2/6$  pro Meter Breite, Widerstandsmoment

$h$  = Dicke der Bodenplatte

$\gamma_c = 1,35$ , Teilsicherheitsfaktor Beton gem. [17]

$\gamma_{ct}^f = 1,20$ , Teilsicherheitsfaktor Fasern gem. [17]

Der Faktor 1,70 wird aus den Faktoren  $\kappa_G^f = 1,70$  und  $\kappa_F^f = 1,0$  der DAfStb-Richtlinie [15] abgeleitet und berücksichtigt die Geometrie von Industrieböden und die Auswirkungen auf die Faserwirkung.

Die charakteristische Nachrissbiegezugfestigkeit der Verformungszustände 1 und 2 wird aus Versuchen abgeleitet und vom Hersteller angegeben. Derzeit (Stand Juli 2019) ist die normative Situation unklar und ein abgeleiteter Vorschlag ist im Anhang aufgeführt.

### 5.4.1 Bemessung für Einzellasten

Zum Nachweis von Einzellasten wird aus dem Systemwiderstand  $m_{Rd}$  die aufnehmbare Einzellast  $Q_{Rd}$  mit den plastischen Ansätzen von Meyerhof ermittelt und der Nachweis  $Q_{Rd} \geq Q_{Ed}$  geführt.

Einzellasten aus Radlasten oder Regalstützen können in der Feldmitte, am Rand oder in der Ecke von Fugen ohne Querkraftübertragung auftreten.

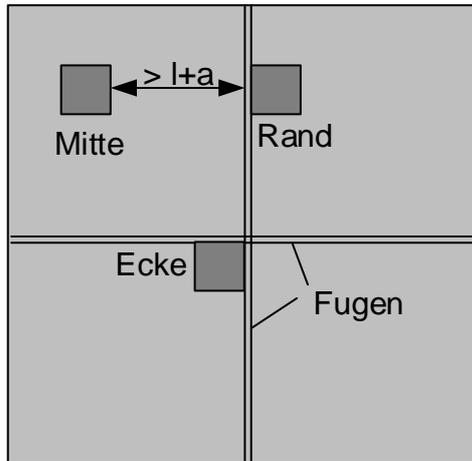


Abbildung 6: Massgebende Stellungen von Einzellasten nach [17]

Für die Bemessung ist die reale Aufstandsfläche in eine kreisförmige äquivalente Aufstandsfläche umzurechnen, deren Kontaktradius  $a$  in die weitere Berechnung eingeht. Für rechteckige Aufstandsflächen mit der Seitenlänge  $s$  ist der äquivalente Kontaktradius  $a = (s^2/\pi)^{0,5}$ . Für die Bemessung ist das Verhältnis Kontaktradius  $a$  zu elastischer Länge  $l$  massgebend. Im Folgenden werden die konservativen Ansätze für  $a/l = 0$  aufgeführt. Günstigere Ansätze für  $a/l \geq 0,2$  können [19] entnommen werden.

Einzellasten können unabhängig von Randeinflüssen bemessen werden, wenn der Randabstand grösser als  $l+a$  ist.

$$Q_{Rd} = 2 \cdot \pi \cdot m_{Rd} \geq Q_{Ed}$$

Für Einzellasten am Rand verringert sich die Länge der Fließgelenke.

$$Q_{Rd} = 3,5 \cdot \left[ 1 + \frac{3a}{l} \right] \cdot m_{Rd} \geq Q_{Ed}$$

Steht die Einzellast auf der Ecke, so ist die Tragfähigkeit am geringsten.

$$Q_{Rd} = 2 \cdot \left[ 1 + \frac{4a}{l} \right] \cdot m_{Rd} \geq Q_{Ed}$$

Wenn Einzellasten in Gruppen auftreten, wie es bei Achslasten oder Regalstützen in der Regel der Fall ist, so sind die gegenseitige Beeinflussung zu berücksichtigen und zu prüfen.

Ist der Abstand der Lasten kleiner als die zweifache Plattendicke  $h$ , so können gem. [19] die Lasten zusammengefasst werden und mit einer gemeinsamen Kontaktfläche berücksichtigt werden.

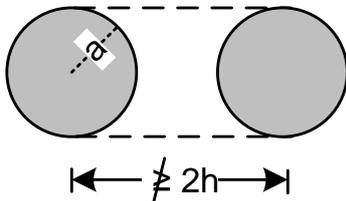


Abbildung 7: Kontaktfläche nahestehender Einzellasten, in Anlehnung an [19]

Ist der Abstand der Einzellasten grösser als  $2h$ , so sind diese zusätzlich als Lastgruppen nachzuweisen.

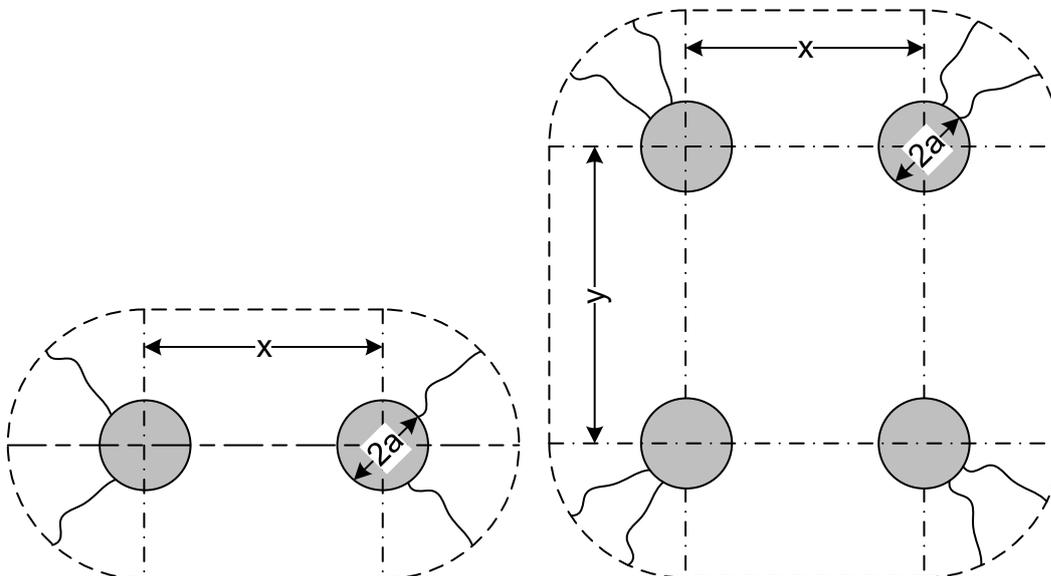


Abbildung 8: Bruchlinien für Lastgruppen, in Anlehnung an [19]

Für zwei Einzellasten in Plattenmitte (z.B. Achslast) beträgt die Gesamttragfähigkeit beider Lasten:

$$Q_{Rd} = [2 \cdot \pi + (1,8 \cdot x/l)] \cdot m_{Rd} \geq Q_{Ed}$$

Für vier Einzellasten in Plattenmitte (z.B. Regalstützen) beträgt die Gesamttragfähigkeit aller Lasten:

$$Q_{Rd} = [2 \cdot \pi + (1,8 \cdot (x + x)/l)] \cdot m_{Rd} \geq Q_{Ed}$$

### 5.4.2 Flächenlasten

Bei Schütt- und Lagergütern kann eine feldweise Beanspruchung auftreten, die je nach Nutzung projektspezifisch zu definieren ist. Die Betonplatte ist für den Lastfall konventionell als elastisch gebettete Bodenplatte nachzuweisen.

### 5.4.3 Querkraftwiderstand und Durchstanzen

Der Querkraftwiderstand ist für vorwiegend biegebeanspruchte elastisch gebettete Industrieböden ohne Betonstahlbewehrung nicht massgebend. Falls sich ein radialer Bruch einstellt, ist ein Durchstanzen oder ein Querkraftversagen nicht möglich, da sich kein Zuggurt ausbilden kann. Die Querkraftübertragung in geschnittenen Scheinfugen wird in der Regel und bei kleinen Rissbreiten durch Kornverzahnung gewährleistet.

### 5.5 Bemessung für Zwangsbeanspruchungen

Unabhängig von konkreten Temperatur- oder Schwindbeanspruchungen ist die Zugspannung durch die Betonzugfestigkeit und die Reibung resp. Plattengrösse begrenzt.

Grundsätzlich kann maximal folgende Normalkraft infolge Zwang auftreten:

$$\text{Max } N_d = [f_{ctk,0,05}(t) / \gamma_{ct} * A_c; l_{max}/2 * \mu * (g+q) * \gamma_{G,Q}]$$

Daraus lassen sich bei bekannter Zugfestigkeitsentwicklung des Betons die maximalen Abmessungen ableiten, um keine Rissbildung zu erhalten:

$$\text{Max } l = 2 * f_{ctk,0,05}(t) / \gamma_{ct} * A_c / (\mu * (g+q) * \gamma_{G,Q})$$

Nach Herstellererfahrung kann als Faustregel für einen geschnittenen Industrieboden eine Feldgrösse von  $33 \times h$  ( $h$  = Plattendicke) für den Innenbereich und  $30 \times h$  für den Aussenbereich angegeben werden.

#### 5.5.1 Zwang im frühen Alter

Besonders im frühen Alter ist es wichtig, die zeitliche Entwicklung der Betonzugfestigkeit realistisch abzuschätzen. Daher ist es wichtig, Sägeschnitte frühestmöglich und innerhalb der ersten 12 – 24 h zu erstellen. Als Auflast kann zu diesem Zeitpunkt das Eigengewicht der Bodenplatte angesetzt werden.

Gerade in den ersten Stunden vor dem Sägen der Schnitte ist eine möglichst schwindreduzierte Mischung mit optimaler Nachbehandlung und Temperaturmanagement wichtig. Dies ist besonders wichtig im Aussenbereich.

#### 5.5.2 Zwang im späten Alter

Unter Betrieb kann von der vollen Betonzugfestigkeit ausgegangen werden. Bei der Bestimmung des Reibwiderstandes sind realistische Auflasten zu berücksichtigen.

Für Bodenplatten, die planmässig beheizt, gekühlt oder im Aussenbereich sind, sollten Temperaturen und Schwinden genauer angesehen werden.

## 5.6 Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Industrieböden haben ein eng abgegrenztes Anwendungsgebiet unter definierten Umgebungsbedingungen. Dadurch kann der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit in bestimmten Fällen vereinfacht werden oder ganz entfallen.

Sofern keine besonderen Anforderungen vereinbart sind und der elastisch gebettete Industrieboden einen üblichen Aufbau und eine übliche Nutzung hat, darf der Nachweis für die Begrenzung der Verformungen entfallen.

## 6 Ausführungsgrundsätze

### 6.1 Vorarbeiten

#### 6.1.1 Innenflächen

Für Innenflächen sind folgende Vorarbeiten notwendig:

- Es wird empfohlen, die Verdichtung des Untergrundes oder des Unterbaus mit einem Plattendruckversuch zu prüfen und den ermittelten Verformungsmodul  $E_{v2}$  mit den geforderten Werten (Tabelle 1, Tabelle 4) für die projektspezifisch definierten Einwirkungen abzugleichen.
- Ebenheit des Planums (Oberfläche der Tragschicht) kontrollieren und mit den definierten zulässigen Toleranzen (z.B. Empfehlung gem. Abschnitt 3.2) abgleichen.
- Sauberes und straffes Verlegen (ohne Falten) der planmässig einzulegenden Trenn- oder Gleitfolien.
- Erstellen aller Raumfugen zur wirkungsvollen Trennung des Industriebodens von allen aufgehenden Gebäudeteilen.
- Versetzen aller Fugenprofile oder Fugensysteme sowie erforderlicher Zulagenbewehrung z.B. an einspringenden Ecken.
- Schutzvorrichtungen für bestehende, aufgehende Bauteilen zum Schutz vor Verunreinigungen beim Einbau des Industriebodens anbringen. (Höhe ca. 1 Meter).
- Wird eine Dämmschicht (XPS) eingebaut, so ist ein sauberes, gleichmässiges Planum zu gewährleisten. Es wird empfohlen vorab eine 3–5 cm starke Splittschicht auf der Tragschicht einzubauen.

#### 6.1.2 Aussenflächen

Für Aussenflächen sind davon abweichend folgende Vorarbeiten notwendig:

- Es wird empfohlen, die Verdichtung des Untergrundes oder des Unterbaus mit einem Plattendruckversuch zu prüfen und den ermittelten Verformungsmodul  $E_{v2}$  mit den geforderten Werten (Tabelle 1, Tabelle 4) für die projektspezifisch definierten Einwirkungen abzugleichen.
- Für die Kofferung ist ein frostsicheres Material zu wählen.

- Versetzen von Randstellstreifen gegen Schächte und Ablaufrinnen als Trennung zur künftigen Bodenplatte.
- Versetzen von Randstellstreifen gegen bestehende Gebäudeteile,  $t = 20 \text{ mm}$ , um Zwangsspannungen infolge Temperaturänderungen zu vermeiden.

## 6.2 Betoneinbau

### 6.2.1 Innenflächen

Für Innenflächen werden von Presyn die Stahlfaserbetonsorten a-plus mono a1 bis a3 gemäss Tabelle 4 mit den aufgeführten Festigkeits- und Expositionsklassen angeboten. Die Konsistenz liegt üblicherweise im Bereich F4 / F5. Wird der Beton mittels Pumpe eingebracht, ist das Grösstkorn auf  $D_{\max} = 16 \text{ mm}$  zu begrenzen.

Bei Faserlängen über 35 mm, soll der Pumpenschlauch einen Durchmesser von 120 mm aufweisen.

Wird der Beton auf Dämmung oder Dämmung mit Bodenheizung eingebracht, ist die Pumpenleitung punktuell so abzustützen, dass durch die Betonpulsation im Schlauch, die Dämmung und die Heizleitung nicht beschädigt werden. Es wird empfohlen vorab zu klären, ob die Verantwortung beim Pumpenunternehmer oder beim Bodenbauer liegt.

Die Bodenplatte ist zunächst mit einer Rüttelflasche und anschliessend mit einer Rüttelbohle zu verdichten. Der Einbau sollte in der geschlossenen, zugluftfreien Halle ohne jegliche Witterungseinflüsse erfolgen.

### 6.2.2 Aussenflächen

Für Aussenflächen ist das Produkt Presyn a plus mono g4 im Angebot, welches die erforderlichen Expositionsklassen abdeckt.

Die Konsistenz des Betons ist den Einbaugeräten und dem Einbausystem anzupassen. Normalerweise liegt die Konsistenz im Bereich F2 bis F4.

Aussenflächen sollten in einem Temperaturbereich zwischen 5 Grad bis maximal 30 Grad eingebaut und mit der Rüttelflasche verdichtet werden. Beim Einbau ausserhalb dieser Temperaturen bedarf es der besonderen Vorplanung der entsprechenden Massnahmen.

## 6.3 Oberflächenvergütung

### 6.3.1 Hartstoffeinstreuung

Unmittelbar nach dem Einbringen des Betons und dem Nivellieren der Oberfläche wird ein Hartstoffgemisch auf die noch feuchte Oberfläche eingestreut. Die Dosiermenge von 3 – 5  $\text{kg/m}^2$  wird in zwei Arbeitsschritten aufgebracht. Durch Abscheiben und Feinglätten wird der Hartstoff in die Oberfläche eingearbeitet.

Durch das Feinglätten werden Feianteile an die Oberfläche gebracht. Dies ergibt eine kellenglatte Oberfläche, welche praktisch faserfrei ist und zusätzlich wird der Abrasionswiderstand erhöht. Geforderte Rutschhemmstufen werden über das Feinglätten gesteuert.

Bei grossen Einbauetappen kann es erforderlich sein, ein Zwischencuring vorab der Hartstoffeinstreuung zu applizieren, um die Oberfläche feucht zu halten. Trocknet diese zu schnell ab kann sich das Hartstoffgemisch nicht mehr genügend mit dem Beton verbinden. Es kann später zu Hohlstellen und Absandungen führen.

### 6.3.2 Imprägnierung, Versiegelung oder Verkieselung

Diese Massnahmen werden optional, je nach Nutzung geplant. Imprägnierung und Versiegelung erbringen Vorteile beim Reinhalten der Bodenoberfläche.

Die Verkieselung ergibt eine zusätzliche Verdichtung und Erhärtung der unmittelbaren Oberschicht des Industriebodens. Die Oberschicht ist absolut dicht und erfüllt auch erhöhte Anforderungen durch Einflüsse aus der Nutzung.

### 6.3.3 Beschichtungen

Beschichtungen, wie Epoxidharz oder Polyurethan, können erst ab einer gewissen Restfeuchte des Betons aufgebracht werden.

Um einen guten Verbund zur Bodenplatte zu erreichen, (Haftzug) braucht es entsprechende Vorarbeiten.

- Anfräsen der Oberfläche
- Kugelstrahlen der Oberfläche
- Haftbrücke erstellen

Trotz dem Aufbringen einer Beschichtung werden auch in diesem Fall vorab etwa 2 kg/m<sup>2</sup> Hartstoff (reduzierte Menge) in die Oberfläche der Bodenplatte eingearbeitet. Dieser Arbeitsschritt verhindert ein allzu starkes Ausreissen oder Herausstehen der Fasern durch das Anfräsen oder Kugelstrahlen.

## 6.4 Oberflächenvergütung bei Aussenflächen

Bei Aussenflächen wird nur eine Hartstoffeinstreuung der Menge 2 kg/m<sup>2</sup> eingearbeitet. Im Unterschied zu Innenflächen wird das Gemisch nur durch Abscheiben in Verbund mit dem Beton gebracht.

Ein Feinglätten würde zu viele Feianteile und Luftporen des FT-Betons an die Oberfläche ziehen. Es kann sich deshalb eine dünne, zementöse Schicht aus konzentrierten Luftporen bilden. Schadenfolge: Hohlstellen und Abplatzungen.

## 6.5 Nachbehandlung

Mit der Nachbehandlung muss so früh wie möglich begonnen werden. Der Beton ist vor dem Austrocknen, vor Temperaturschwankungen und Zugluft zu schützen. Allenfalls können Wärmeschutzmatten zum Einsatz kommen.

### 6.5.1 Nachbehandlungsarten

Besonders bewährt hat sich eine wasserführende oder wasserhaltende Nachbehandlung mittels Folien, da diese eine grössere Sperrwirkung aufweisen als flüssige Nachbehandlungsmittel.

Die Folie ist an den Rändern zu fixieren. Wenn besondere optische Anforderungen an diese gestellt werden, ist zu beachten, dass eine Folie Farbtonunterschiede (hell/dunkel) auf der Betonoberfläche hinterlassen kann.

Flüssige Nachbehandlungsmittel sollten einen Sperrkoeffizienten von mindestens 75% aufweisen. Entscheidend für die Wirksamkeit ist darüber hinaus, dass eine ausreichende Menge von ca. 150 – 200 g/m<sup>2</sup> Nachbehandlungsmittel aufgebracht wird.

Vorteilhaft ist auch eine Kombination beider Nachbehandlungsverfahren, denn bestimmte flüssige Nachbehandlungsmittel auf der Basis wasseremulgierbarer Epoxidharze oder Kunstharz-dispersionen werden unmittelbar nach dem Abziehen der Oberfläche aufgesprüht.

### **6.5.2 Nachbehandlungsdauer (siehe SIA 262)**

Die Nachbehandlung, soll in der Regel unmittelbar nach der Oberflächenbearbeitung, einsetzen und ist bis zum Erreichen von 70% der charakteristischen Druckfestigkeit des Betons durchzuführen.

Die Nachbehandlung muss bei mittleren Temperaturen (+ 15 °C bis + 25 °C) ohne besonderen Nachweis mindestens sieben Tage betragen. In dieser Zeit muss der Boden vor Beanspruchung (z.B. Abstellen von Paletten, Arbeitsmaterialien oder Maschinen bzw. Beginn von Folgearbeiten) geschützt werden.

### **6.6 Scheinfugen**

Scheinfugen sind nach einem Fugenplan auszuführen und sollten in den ersten 12 bis 24 Stunden nach der Betonage geschnitten werden, damit das Fröhschwinden keine unkontrollierte Rissbildung hervorruft.

### **6.7 Nutzung nach Fertigstellung der Bodenplatte**

#### **6.7.1 Belastung**

Während der Abbindezeit gelten für die Nutzung folgende Fristen: Bei 10 °C Bei 15 °C begehbar für Personen, jedoch ohne Materialtransporte 3 Tage 2 Tage leichter Baustellenbetrieb, ohne spezielle Auflasten wie Materialdepots, Gerüste und dgl. 10 Tage 7 Tage normale Beanspruchung 28 Tage.

Geräte zur Baustellenentfeuchtung dürfen erst 28 Tage nach Einbau des Bodens in Betrieb genommen werden.

#### **6.7.2 Temperatureinflüsse**

Der zeitliche Verlauf der Temperaturreduktion resp. -erhöhung, hat nach den gängigen Vorgaben zu erfolgen.

### **6.8 Sorgfaltspflicht und Haftung**

Diese Ausführungen entbinden den Anwender nicht von seiner Sorgfaltspflicht. Angaben des Tragwerksplaners der Hallenkonstruktion und des Industriefussbodenbauers haben Vorrang.

In Zweifelsfällen ist mit den Tragwerksplanern Rücksprache zu halten.

Presyn AG und die HSR übernehmen keine Funktion als Projektplaner oder Projektingenieure.

Alle Hinweise und Angaben sind als Unterstützung und Empfehlung für den Projektplaner zu verstehen.

Übernimmt er diese Unterlagen zur Planung und Ausführung eines Bauvorhabens, macht er dies auf seine eigene Verantwortung.

## 7 Anhang

### 7.1 Bemessungsbeispiel Industrieboden aus Stahlfaserbeton nach der Bruchlinientheorie, Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Bemessungsbeispiel nach [17], Anhang A

Zu bemessen ist ein Industrieboden mit Staplerverkehr.

Gegeben:

- Bodenplatte aus Stahlfaserbeton (C25/30,  $f_{ctk,0,05} = 1,8 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_{cfik,L1} = 1,2 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_{cfik,L2} = 0,9 \text{ N/mm}^2$ ), Schnittfugen 6 m x 6 m
- Zwischen Bodenplatte und Tragschicht ist eine PE-Folie angeordnet, die Bodenplatte ist von aufgehenden Bauteilen mit Bewegungsfugen entkoppelt
- Es wird ein Bettungsmodul von  $50 \text{ MN/m}^3$  angenommen
- Staplerlasten, Achslast  $Q_k = 63 \text{ kN}$ , Radabstand 1m, Aufstandsfläche  $0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$ , dynamischer Beiwert  $\varphi = 1,2$

Die Bemessung für die Radlasten des Staplers erfolgt mit den dargestellten Ansätzen von Meyerhof.

Bemessungslast im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$Q_{d, \text{Rad}} = \varphi * Q_k / 2 * \gamma_Q = 1,2 * 31,5 * 1,3 = 49,1 \text{ kN}$$

$$\text{Äquivalenter Kontaktradius } a = (200 * 200) / \pi ]^2 = 113 \text{ mm}$$

Baustoffkennwerte

$$E_{cm} = 30'000 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk,fl} = k * f_{ctk,0,05} = 1,4 * 1,8 = 2,5 \text{ N/mm}^2 \text{ mit } k = 1,6 - 0,2 = 1,4 > 1,0$$

$$f_{cfik,L1} = 1,2 \text{ N/mm}^2, f_{cfik,L2} = 0,9 \text{ N/mm}^2; f_{cfik,L2} / f_{cfik,L1} * 1,7 = 0,9 / 1,2 * 1,7 = 0,6 > 0,3$$

Elastische Länge nach Westergaard

$$l = [(E_{cm} * h^3) / (12 (1 - \nu^2) * k_s)]^{0,25} = [(30'000 * 200^3) / (12 (1 - 0,2^2) * 1,4)]^{0,25} = 810 \text{ mm}$$

mit  $k_s = 50 \text{ MN/m}^3 = 0,05 \text{ N/mm}^3$

## Systemwiderstand

$$m_{R,d} = \max \left\{ \left( \frac{f_{ctk,fl}^f}{\gamma_c} + \frac{f_{cf1k,L2}^f}{\gamma_{ct}^f} \cdot 1,70 \right) \cdot W; \left( \frac{f_{cf1k,L1}^f}{\gamma_{ct}^f} + \frac{f_{cf1k,L2}^f}{\gamma_{ct}^f} \right) \cdot 1,70 \cdot W \right\}$$

$$m_{R,d} = \max \left\{ \left( \frac{2,5}{1,35} + \frac{0,9}{1,2} \cdot 1,70 \right) \cdot \frac{100 \cdot 20^2}{6}; \left( \frac{1,2}{1,2} + \frac{0,9}{1,2} \right) \cdot 1,70 \cdot \frac{100 \cdot 20^2}{6} \right\} = 20,8 \text{ kNm}$$

Nachweise für  $Q_{Ed}$  in Plattenmitte (Randabstand grösser  $a+l$ )

$$Q_{Rd} = 2 \cdot \pi \cdot m_{Rd} = 2 \cdot \pi \cdot 20,8 = 130,7 \geq Q_{Ed} = 49,1 \text{ kN}$$

Nachweis für  $Q_{Ed}$  am Rand (für  $a/l = 0$ )

$$Q_{Rd} = 3,5 \cdot \left[ 1 + \frac{3a}{l} \right] \cdot m_{Rd} = 3,5 \cdot \left[ 1 + \frac{3 \cdot 113}{810} \right] \cdot 20,8 = 103,3 \geq Q_{Ed}$$

Nachweis für  $Q_{Ed}$  auf der Ecke

$$Q_{Rd} = 2 \cdot \left[ 1 + \frac{4a}{l} \right] \cdot m_{Rd} = 2 \cdot \left[ 1 + \frac{4 \cdot 113}{810} \right] \cdot 20,8 = 64,8 \geq Q_{Ed}$$

Nachweis für  $2 \times Q_{Ed}$  in Plattenmitte (z.B. Achslast)

$$Q_{Rd,Achse} = [2 \cdot \pi + (1,8 \cdot x/l)] \cdot m_{Rd} = \left[ 2 \cdot \pi + \left( 1,8 \cdot \frac{1000}{810} \right) \right] \cdot 20,8 = 176,9 \geq 2 Q_{Ed}$$

## 8 Quellen

- [1] SIA 162/6:1999 Stahlfaserbeton
- [2] SIA 260: 2013 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- [3] SIA 261:2014 Einwirkungen auf Tragwerke
- [4] SIA 262: 2013 Betonbau
- [5] SIA 267:3013 Geotechnik
- [6] SN EN 206:2013 – Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; inkl. Korrigenden C1:2016 und C2:2017
- [7] SN EN 1990:2002 Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung
- [8] SN EN 1990/A1:2005 Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung – Änderung A1 zur Norm EN 1990:2002
- [9] SN EN 1990/NA:2014 Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung – Nationaler Anhang NA zu SN EN 1990:2002
- [10] SN EN 1991-1-1:2002 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau
- [11] SN EN 1991-1-1/NA :2016 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau – Nationaler Anhang NA zu SN EN 1991-1-1:2002
- [12] SN EN 1992-1-1:2002 – Eurocode 2: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau
- [13] SN EN 1992-1-1/NA:2014 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings – National annex NA to SN EN 1992-1-1:2004
- [14] EN 1992-1-1- Annex-L, First Draft, 2018-05-03 (Stand der Bearbeitung, nicht veröffentlicht)
- [15] DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton, Ausgabe November 2012
- [16] DAfStb, Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie “Stahlfaserbeton”, Heft 614, 1. Auflage 2015
- [17] DBV-Merkblatt „Industrieböden aus Stahlfaserbeton“, Fassung Juli 2013, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin
- [18] DBV-Merkblatt „Industrieböden aus Beton“, Fassung Februar 2017, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin
- [19] Technical Report 34, Concrete Industrial Ground Floors – Fourth Edition, a guide to design and construction, The Concrete Society, August 2013
- [20] Schnütgen, B. – Presyn a-plus Stahlfaserbeton, Technische Dokumentation über den Einsatz von Stahlfaserbeton, 2. Auflage, April 2004
- [21] SN EN 14651:2005+A1:2007: Prüfverfahren für Beton mit metallischen Fasern – Bestimmung der Biegezugfestigkeit (Proportionalitätsgrenze, residuelle Biegezugfestigkeit)
- [22] VSS-70317, Böden; Plattendruckversuch EV und ME resp. DIN 18134
- [23] Meyerhof; Load-Carrying Capacity of Concrete Pavements, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, June 1962
- [24] Walder, Amos; Bemessungsansätze für Industriefussböden aus Stahlfaserbeton, Projektarbeit Herbstsemester 2018/2019, HSR Hochschule für Technik Rapperswil



**HSR**

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK  
RAPPERSWIL

FHO Fachhochschule Ostschweiz



**Baustoffe mit Mehrwert.**