



SIKA BETONTECHNOLOGIE

HANDBUCH

BUILDING TRUST



Sika Betontechnologie Handbuch

Herausgeber
Sika Schweiz AG
Tüffenwies 16
CH-8048 Zürich

Autoren

Dipl.-Ing. HTL Jürg Schlumpf, Sika Services AG
Dipl.-Ing. Bastian Bicher, Sika Services AG
Dipl.-Ing. Oliver Schwoon, Sika Services AG
Ayça Kavas, Produktingenieurin, Technical Departement, Sika Schweiz AG
(Übersetzung und Domestizierung)

Layout

Sika Schweiz AG
Marketing & Kommunikation

© 2024 Sika AG
Alle Rechte vorbehalten

VORWORT

Dieses neue Betonhandbuch ist eine Anleitung, die Kapitel für Kapitel durch die Hauptmethoden und -prozesse zur Herstellung von Beton für verschiedene Anforderungen führt. Natürlich wird auch beim Beton der zunehmende Ruf nach Nachhaltigkeit berücksichtigt.

Eine der Hauptanforderungen an dauerhaften Beton ist seine Wasserundurchlässigkeit. Doch wasserdichter Beton ist längst nicht das Einzige, was zur Herstellung eines dauerhaften Bauwerks benötigt wird. Dem Thema "Wasserdichter Betonbau" ist in diesem Betonhandbuch ein eigenes Kapitel namens "Weisse Wanne" gewidmet, in dem Form und Umfang der Rezeptur, von wasserundurchlässiger Betone und Alternativlösungen für eine wasserdichte Fugenabdichtung behandelt werden.

Moderner Beton ist ein komplexes System, dessen Prüfung für alle Beteiligten immer wieder eine Herausforderung darstellt. Für jedes Bauteil müssen die Komponenten an die Leistungsvorgaben des Frisch- und Festbeton angepasst werden.

Die Autoren des Betonhandbuchs sind seit vielen Jahren bei Sika als Ingenieure im Projekt- und Produktmanagement tätig. Dieses Buch soll sowohl als Einführung in das Thema Beton und seine Anwendung als auch zur Vertiefung des wichtigsten Baustoffs Beton dienen; es soll unseren Partnern als zuverlässige Informationsquelle dienen.

INHALT

VORWORT	3
1 BAUSTOFF BETON	7
1.1 Einführung	7
1.2 Grundlagen	8
1.2.1 Begriffe	8
1.2.2 Zusatzmittel	8
1.3 Geschichte der Zusatzmittel bei Sika	9
1.4 Hauptverwendungszwecke von Beton	10
2 NACHHALTIGKEIT	15
2.1 Betonzusatzmittel und die Umwelt	15
2.2 Leistungsstark und nachhaltig	17
2.3 Ökobilanz für Betonzusatzmittel	21
3 DIE KOMponentEN DES BETONS	25
3.1 Zement und Bindemittel	25
3.1.1 Zement nach Europäischer Norm	26
3.2 Gesteinskörnungen für Beton (Zuschläge)	28
3.2.1 Gesteinskörnung nach Europäischer Norm	29
3.2.2 Schwierige Sande	30
3.3 Betonzusatzmittel	33
3.3.1 Betonzusatzmittel nach Europäischer Norm	33
3.3.2 Polycarboxylatether-Technologie	36
3.3.3 Sika Produkte	39
3.4 Betonzusatzstoffe und Zementzusatzstoffe	40
3.4.1 Betonzusatzstoffe nach Europäischer Norm	40
3.5 Fasern	41
3.5.1 Klassifizierung von Fasern	43
3.5.2 Spezifizierung von faserverstärktem Beton	44
3.5.3 SikaFiber® Sortiment	45
3.6 Wasser	46
3.6.1 Wasser nach Europäischer Norm	46
4 BETONREZEPTUR	47
4.1 Berechnung von Betonrezepturen	47
4.2 Rezepturkonzept für Leimvolumen	51
4.3 Sika Mix Design Tool	54
5 EIGENSCHAFTEN VON FRISCHBETON UND TESTS	57
5.1 Wasserzementwert	57
5.1.1 Darrversuch	59
5.1.2 Mikrowellenprüfung	59

5.2	Verarbeitbarkeit und Konsistenz	60
5.3	Betonieren bei hohen Temperaturen	69
5.4	Betonieren bei tiefen Temperaturen	74
5.5	Frischbeton-Luftporengehalt	77
5.6	Frischbeton-Rohdichte	78
5.7	Frischbeton-Temperatur	79
5.8	Kohäsion und Bluten	80
6	ANWENDUNG VON BETON	83
6.1	Kranbeton	83
6.2	Pumpbeton	85
6.3	Selbstverdichtender Beton (SVB/ SCC)	89
6.4	Beton für Verkehrsflächen	93
6.5	Massenbeton	95
6.6	Monolithische Betonbodenplatten für Industrieböden	97
6.7	Walzbeton (RCC)	99
6.8	Gleitbeton	101
6.9	Spritzbeton	103
6.10	Beton für die Vorfabrikation / Betonfertigteile	107
6.11	Tübbingbeton	111
6.12	Erdfeuchter Beton / Betonwaren	113
6.13	3D-Betondruck	121
7	EIGENSCHAFTEN VON FESTBETON UND TESTS	125
7.1	Anforderungen an Probekörper und Schalungen	125
7.2	Rohdichte	129
7.3	Druckfestigkeit	130
7.4	Biegezugfestigkeit	135
7.5	Zugfestigkeit	137
7.6	Elastizität (E-Modul)	138
7.7	Schwinden	140
7.8	Wasserdichtigkeit	142
7.9	Frost- und Frost-Tausalz-Beständigkeit	146
7.10	Abriebwiderstand (Abrasionsbeständigkeit)	148
7.11	Chemische Beständigkeit	150
7.12	Sulfatbeständigkeit	152
7.13	AAR-Beständigkeit	154
7.14	Feuerbeständigkeit	155
7.15	Chlorid-Migration	157

INHALT

8	BETONARTEN	159
8.1	Wasserdichter Beton	159
8.2	Korrosionsbeständiger Beton	163
8.3	Frost- und Frost-Tausalzbeständiger Beton	169
8.4	Sulfatbeständiger Beton	173
8.5	Feuerbeständiger Beton	177
8.6	Gegen Alkali-Aggregat-Reaktion beständiger Beton	181
8.7	Abriebbeständiger Beton	185
8.8	Chemikalienbeständiger Beton	189
8.9	Hochfester Beton	191
8.10	Schwindarmer Beton	195
8.11	Faserbeton	197
8.12	Sichtbeton	201
8.13	Farbbeton	203
8.14	Unterwasserbeton	205
8.15	Leichtbeton	207
8.16	Schwerbeton	209
8.17	Schleuderbeton	211
8.18	Sickerbeton	213
9	WEISSE WANNE	217
10	EMPFOHLENE MASSNAHMEN	223
10.1	Vorbehandlung der Schalung	223
10.2	Betoneinbau	230
10.3	Nachbehandlung	232
11	NORMEN	239
11.1	Normen EN 206	239
11.1.1	Definitionen aus der Norm	240
11.1.2	Expositionsklassen im Zusammenhang mit Umgebungsbedingungen	241
11.1.3	Klassifizierung nach Konsistenz	245
11.1.4	Druckfestigkeitsklassen	246
11.1.5	Der k-Wert (Auszug aus EN 206)	248
11.1.6	Chloridgehalt (Auszug nach EN 206)	248
11.1.7	Bezeichnung von Beton	249
11.1.8	Konformitätskontrolle	249
11.1.9	Nachweis anderer Betoneigenschaften	250
11.2	Normen EN 934-2	251
12	INDEX	253

1 BAUSTOFF BETON

1.1 EINFÜHRUNG



SIKA – LANGJÄHRIGE ERFAHRUNG

Sika wurde 1910 von Kaspar Winkler gegründet. Heute steht der Name Sika für wasserdichte, dauerhafte Lösungen. Vom Putzmörtel – erstmals bei der Abdichtung des alten Gotthard-Eisenbahntunnels eingesetzt – bis hin zu kompletten Abdichtungssystemen für etliche Anwendungen, zu denen derzeit auch der Gotthard-Basistunnel (der längste Hochgeschwindigkeits-Eisenbahntunnel der Welt) zählt, tragen Produkte von Sika überall zum Erfolg im Baugeschäft bei.

Die Planung eines wasserdichten Gebäudes vom Fundament bis zum Dach erfordert die Entwicklung von Lösungen für die unterschiedlichsten Anwendungen, die gut einbaubar sind und einen dauerhaften Schutz bieten. Bei einem ganzen Bau bedeutet dies die Abdichtung von Oberflächen wie Dächern, unterirdischen Wänden oder Fundamentplatten. Es geht auch darum, die Wasserdichtigkeit von Arbeits- und Bewegungsfugen zu gewährleisten. Darüber hinaus müssen Abdichtungssysteme in sichtbaren Bereichen höchste ästhetische Ansprüche erfüllen. Neben Wasser sind Bauwerke einer Vielzahl von Kräften und Belastungen ausgesetzt, angefangen bei mechanischen Beanspruchungen, die sich aus der Art der Konstruktion ergeben, bis hin zu verschiedensten äusseren Einflüssen. Extrem heisse oder kalte Temperaturen, aggressives Wasser oder andere Chemikalien, ständig rollende, schleifende oder schwellende Oberflächenbelastungen oder im Extremfall Brände beanspruchen Bauten und Baumaterialien stark.

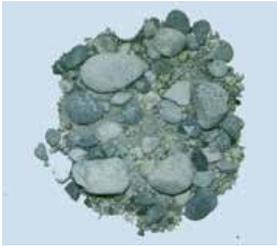
Seit 1910 leistet Sika einen bemerkenswerten Beitrag bei der Entwicklung von Beton zu einem dauerhaften Baumaterial – und Beton hat wiederum den Ausbau des Unternehmens Sika nachhaltig geprägt!

1.2 GRUNDLAGEN

Für die Herstellung von Beton genügen grundsätzlich drei Hauptkomponenten:

- Bindemittel (Zement)
- Gesteinskörnungen
- Wasser

Aufgrund der ständig steigenden Anforderungen an die Betonqualität (vor allem an die Dauerhaftigkeit) und der enormen Fortschritte in der Zusatzmittel- und Biontechnologie ist es heute möglich, viele verschiedene Arten von Beton herzustellen.



Die Gesteinskörnungen (Sand und Kies) sind die Hauptbestandteile von Beton und machen über 70% des Volumens aus. Art und Qualität der Gesteinskörnung sind daher äusserst wichtig für die Eigenschaften des Betons, sowohl von Frisch- als auch Festbeton.

1.2.1 BEGRIFFE

Normalbeton	Beton mit einem Grösstkorndurchmesser von > 8 mm Rohdichte (ofentrocken) $> 2\,000$ kg / m ³ und $< 2\,600$ kg / m ³
Schwerbeton	Rohdichte (ofentrocken) $> 2\,600$ kg / m ³
Leichtbeton	Rohdichte (ofentrocken) > 800 kg / m ³ und $< 2\,000$ kg / m ³
Frischbeton	Beton, gemischt, solange er noch verarbeitet und verdichtet werden kann
Festbeton	Beton nach dem Abbinden, mit messbarer Festigkeit
“Grüner” Beton	Frisch eingebrachter und verdichteter, standfester Beton, noch bevor ein Erstarren erkennbar wird (grüner Beton ist ein Begriff aus der Fertigteilindustrie)

Andere gebräuchliche Begriffe sind Spritzbeton, Pumpbeton, Kranbeton usw. Sie umschreiben das Einbringen in die Schalung, die Verarbeitung und / oder den Transport an die Einbaustelle (siehe Kapitel 6).

1.2.2 ZUSATZMITTEL

Zusätzlich zu den drei Hauptkomponenten von Beton werden in Beton mit höheren Leistungsspezifikationen auch Betonzusatzmittel und -stoffe verwendet und zwar bei Frisch- und Festbeton.

1.3 GESCHICHTE DER ZUSATZMITTEL BEI SIKA

Bereits im Gründungsjahr 1910 begann Sika die ersten Zusatzmittel für zementöse Gemische zu entwickeln. Die Hauptziele waren damals, die Erstarrungszeit der Mörtelgemische zu verkürzen, sie wasserdicht zu machen oder ihre Festigkeit zu erhöhen. Einige dieser ersten erfolgreichen Sika-Produkte sind noch heute im Einsatz.

Wasser ist im Beton für die Verarbeitung und die Hydratation des Zements notwendig, aber zu viel Wasser ist ungünstig für die Eigenschaften des Festbetons. Daher wurden bald Sika-Produkte entwickelt, um den Wassergehalt zu reduzieren und gleichzeitig die Konsistenz (Verarbeitbarkeit) zu verbessern.

Seit der Firmengründung ist Sika überall dort dabei, wo Zement, Gesteinskörnungen, Sand und Wasser zu Mörtel oder Beton vermischt werden. Sika – Ihr zuverlässiger Partner für den wirtschaftlichen Bau von dauerhaften Betonbauten.

Datum	Produktbasis	Typisches Sika-Produkt	Wichtigste Auswirkungen
1910	Wässrige alkalische Lösung	Sika®-1	Dichtungsmittel
1930	Lignosulfonat	Plastocrete®	Wasserreduktion bis zu 10%
1940	Glukonat	Plastiment®	Wasserreduktion bis zu 10% plus Verzögerung
1960	Mischung aus Kohlenhydraten und Polyphosphaten Mischung aus Tensiden	Sika® Retarder	Verzögerung
		Sika® FRO V	Traditioneller Luftporenbildner
1970	Naphthalin	Sikament®	Wasserreduktion bis zu 20%
1980	Melamin		Wasserreduktion bis zu 20%
1990	Vinyl-Copolymere		Wasserreduktion bis zu 25%
1990	Gemisch aus organischer und anorganischer Salzlösung	SikaRapid®	Erhärtungsbeschleuniger
1992	Amino-Alkohole	Sika® FerroGard®-901	Korrosionsinhibitor
2000	Modifizierte Polycarboxylate (PCE)	Sika® ViscoCrete®	Wasserreduktion bis zu 40%
2010	Modifizierte Polycarboxylate (PCE)	Sika ViscoFlow®	Konsistenzerhalt für bis zu 7 Stunden
2018	Gemisch aus Kalziumkarbonat und Legierungspulver	SikaControl® AER-200 P	Chemischer Luftporenbildner

1.4 HAUPTVERWENDUNGSZWECKE VON BETON



Bei den Verwendungsarten von Beton ist eine Einteilung nach Ort der Herstellung und Verwendung sinnvoll, da bezüglich Anforderungen und Eigenschaften andere Voraussetzungen gegeben sind. Der Zementabsatz aus dem Jahr 2019 aus vier verschiedenen Ländern zeigt, wo Beton produziert und wie er verwendet wird:

	Zementverbrauch %				
	Deutsch-land	USA	China	Indien	Schweiz
Transportbetonwerke	57	67	40	15	75
Vorfabrikation und Betonwarenhersteller	22	8	15	15	5
Bauunternehmer	15	13	7	25	18
Sonstige	6	12	38	45	2

Die richtige Planung und Vorbereitung der Betonarbeiten sind entscheidend für den erfolgreichen Einsatz dieses Baumaterials.

Vorbereitende Arbeitsschritte

Bei der Erstellung einer Betonrezeptur muss die Betonleistung durch die spezifischen Projektanforderungen definiert werden. Folgende Parameter sind zu definieren:

- Anforderungen an die Festigkeit
- Anforderungen an die Dauerhaftigkeit
- Optische Anforderungen
- Maximaler Korndurchmesser
- Mischanlagen
- Einbringmethode
- Einbauleistung
- Betonkonsistenz (Verarbeitungszeit)
- Nachbehandlung / Oberflächenbehandlung
- Umgebungstemperaturen
- Transportart- und zeit
- Festlegung der Prüfungen
- Festlegung der Rezeptur (Betonzusammensetzung)
- Durchführung von Vorversuchen
- Gegebenenfalls Anpassung der Rezeptur
- Entfernen der Schalung

Produktion



Die Art und Weise der Betonherstellung ist für das Endprodukt von entscheidender Bedeutung und besteht im Wesentlichen aus dem Dosieren und Mischen der Komponenten. Folgenden Parameter können die Betoneigenschaften beim Mischen beeinflussen:

- Betonrezeptur
- Art, Dosierung und Zeitpunkt der Beimischung der Zusatzmittel
- Typ und Grösse des Mixers
- Mischintensität und Mischdauer
- Betonmaschinist
- Reinigung / Wartung des Mixers
- Beigabe der Ausgangsstoffe
- Qualitätskontrolle des Werkes
- Mischverfahren
- Temperatur

Vorbereitung vor Ort



Die Vorbereitungen vor Ort umfassen folgendes:

- Installation der Betonförder- / einbringanlagen
- Vorbereitung der Schalung (Auftrag des Trennmittels)
- Kontrolle der Bewehrung
- Kontrolle der Schalung (Befestigung, Dichtigkeit, Schalungsdruck)
- Bereitstellen der Gerätschaften für die Verdichtung (Rüttler usw.) und die Endbearbeitung (Balken und Traufel usw.)

Transport



Wird der Beton fertig angeliefert (Transportbeton), müssen folgende Kriterien beachtet werden:

- Transportzeit (Verkehrsbedingungen, mögliche Verzögerungen usw.)
- Drehzahl der Trommel während der Fahrt definieren
- Den Fahrmischer nicht in der Sonne stehen lassen
- Bei flüssiger Konsistenz (SCC) die maximale Füllmenge definieren
- Grundsätzlich keine Wasserzugabe
- Nachdosierung von Zusatzmittel vermeiden und nur von Fachpersonal durchzuführen
- Vor dem Abladen nochmals gründlich aufmischen (eine Minute pro m³)

Einbringen des Betons



Der Beton wird im Allgemeinen innerhalb eines bestimmten Zeitraums eingebracht. Die folgenden Faktoren sind entscheidend für die Betonqualität und tragen zum Erfolg dieses Einbringens bei:

- Lieferscheinkontrolle
- Verwendung des richtigen Equipments (Rüttler usw.)
- Beton möglichst wenig umschlagen
- Kontinuierlicher Einbau und Verdichtung
- Nachverdichtung bei grossen Bauteilen
- Bei Betonierunterbrüchen die entsprechenden Massnahmen ergreifen
- Durchführung der notwendigen Nachbearbeitung (Schlusskontrolle)

Nachbehandlung



Um eine konstante und gleichbleibende Betonqualität zu gewährleisten, ist eine angemessene und korrekte Nachbehandlung unerlässlich. Die folgenden Nachbehandlungsmassnahmen tragen dazu bei:

- Generell: Schutz vor Witterungseinflüssen (dir. Sonneneinstrahlung, Wind, Regen, Frost usw.)
- Erschütterungen vermeiden (nach der Nachbearbeitung)
- Nachbehandlungsmittel verwenden
- Mit Folien oder Thermomatten abdecken
- Bei Bedarf konstantes Benetzen, Nasshalten
- Die Nachbehandlungszeit in Abhängigkeit von der Temperatur einhalten



2 NACHHALTIGKEIT

2.1 BETONZUSATZMITTEL UND DIE UMWELT

Betonzusatzmittel sind flüssige oder pulverförmige Zusätze. Sie werden der Betonmischung in kleinen Mengen zugesetzt, um bestimmte Anforderungen zu erfüllen:

- Beeinflussung des Verhaltens vom Frischbeton
- Steuerung des Erstarrens oder Erhärtens
- Erhöhung der Dauerhaftigkeit
- Erzeugung spezieller Eigenschaften

Der Zweck von Zusatzmitteln ist immer die Verbesserung des Betons. Mengenmässig machen die Gruppe der Fliessmittel (leistungsfähige und hochleistungsfähige Wasserreduzierer) und Betonverflüssiger (Wasserreduzierer) deutlich mehr als die Hälfte aller heute verwendeten Zusatzmittel aus.

Inwieweit können Betonzusatzmittel ausgewaschen, biologisch abgebaut werden oder flüchtige Stoffe freisetzen?

Sie sind weder als giftig oder gesundheitsschädlich noch als umweltgefährlich eingestuft.

Ein Produkt wird dann als umweltverträglich bezeichnet, wenn seine Emissionen von der Herstellung bis zur Entsorgung, also Während des gesamten Lebenszyklus, weder Lebewesen noch Umwelt beeinträchtigen. Dies ist bei Betonzusatzmitteln gegeben. Wie jede menschliche Tätigkeit führt der Einsatz von Betonzusatzmitteln zu Emissionen. Bei vorschriftsgemässer Anwendung ist jedoch mit keinerlei Beeinträchtigung von Mensch und Umwelt zu rechnen. Der Einsatz von Betonzusatzmitteln darf somit als umweltverträglich bezeichnet werden. Die FSHBZ-Mitgliedsfirmen und die Anwender von Betonzusatzmitteln sind jedoch weiterhin bestrebt, die geringen Emissionen noch weiter zu reduzieren.

Wie umweltfreundlich sind Fliessmittel?

Betonzusatzmittel sind bei richtiger Anwendung unbedenklich für Mensch, Tier und Umwelt.

Die technischen Vorteile von Fliessmitteln für Bauherren und Baufachleute überwiegen das Auftreten geringer, kontrollierbarer Emissionen bei der Anwendung. Betonzusatzmittel werden als umweltverträglich eingestuft, weil sie Luft, Boden und Grundwasser in vernachlässigbarer Weise belasten.

Veröffentlichungen:

- Fachverband Schweizerischer Hersteller von Betonzusatzmitteln (FSHBZ)
 “EFCA-Siegel für Umweltqualität von Betonzusatzmitteln: Technische Richtlinien”
 Technischer Bericht

EFCA Mitgliedschaft

Sika ist Mitglied der EFCA, des Europäischen Verbands der Hersteller von Betonzusatzmittel.



Die lokalen Unternehmen der Sika Gruppe arbeiten weltweit mit ihren lokalen Beton- und Zusatzmittelverbänden zusammen, um eine zunehmend nachhaltige Entwicklung durch den Einsatz von Betonzusatzmittel-Technologien zu unterstützen und zu fördern.

Sika Betonzusatzmittel unterliegen daher dem EFCA-Model-EPD, indem es ein vom IBU genehmigtes Verfahren anwendet, um zu bestätigen, dass ein bestimmtes Produkt den Geltungsbereich einer bestimmten Produktkategorie Modell-EPD fällt. Dies bedeutet, dass die Ökobilanzdaten und andere Inhalte der Model-EPD für die Produkte gelten Produkte und können für die Nachhaltigkeitsbewertung der Bauprodukte und Bauprojekten, verwendet werden.

Eine Auswahl der Verbände:



SACA
 Swedish Association for
 Concrete Admixtures



2.2 LEISTUNGSSTARK UND NACHHALTIG

Betonzusatzmittel können die Nachhaltigkeit von Beton auf unterschiedlichste Weise verbessern. Erst einmal erhöhen sie die Qualität und Leistungsfähigkeit des Betons erheblich und verlängern somit dessen Lebensdauer. Durch die Zugabe von stabilisierenden und speziellen wasserreduzierenden Zusatzmitteln können auch recycelte Gesteinskörnungen für die Herstellung von hochwertigem Beton verwendet werden. Schliesslich kann der Energieaufwand zur Erlangung hoher Frühfestigkeiten bei Vorfabrikationswerken durch wasserreduzierende und beschleunigende Zusatzmittel stark reduziert oder sogar vollständig ersetzt werden.

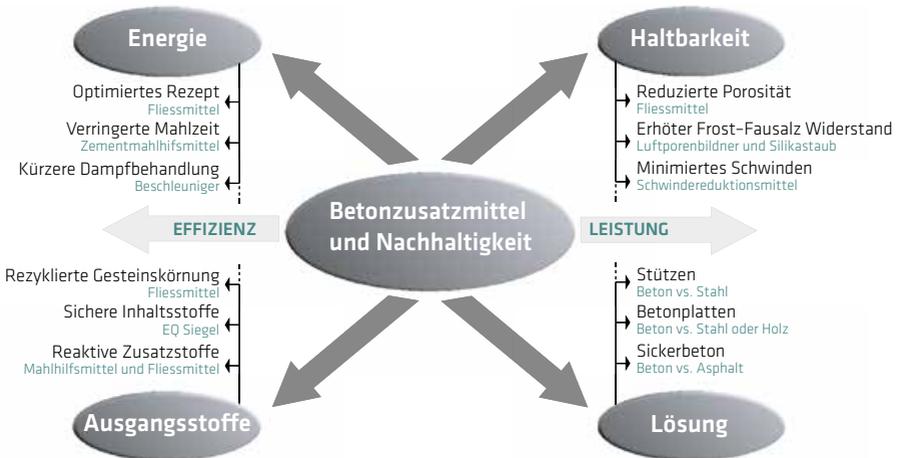


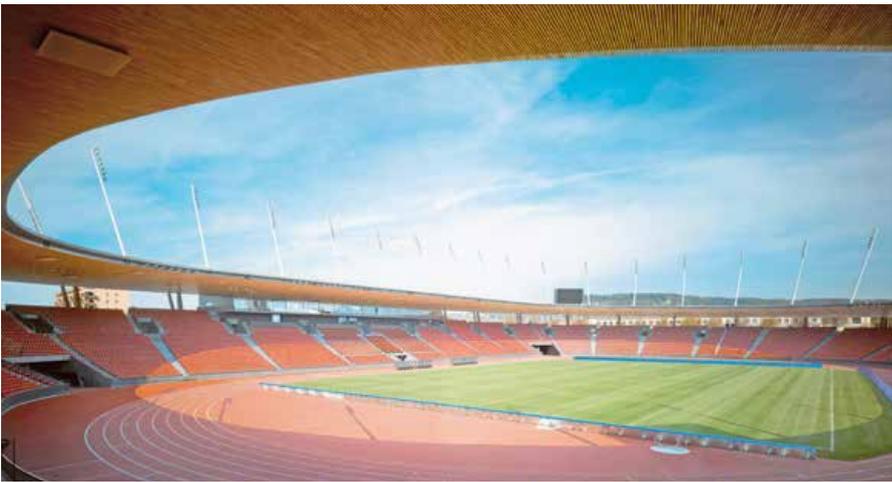
Abb. 2.2.1: Einflüsse von Betonzusatzmitteln auf die Nachhaltigkeit von Beton

Effizienz

Betonzusatzmittel sind ein wichtiger Bestandteil, um eine erhebliche Energieeinsparung beim Betonieren zu erreichen. Zusatzmittel erfüllen eine wichtige Aufgabe im Hinblick auf die Nachhaltigkeit.

Leistung

Beton ist ein Baustoff mit einer bemerkenswerten Produktleistung in Bezug auf Dauerhaftigkeit und Einsatzmöglichkeiten. Betonzusatzmittel sind Teil dieses erfolgreichen Konzepts!



Ressourcenschonung und Abfallvermeidung bei der Betonherstellung

Beton ist einer der vielseitigsten und dauerhaftesten Baustoffe, die es gibt und der meistverwendete Baustoff der Welt. Ob in Schulen, Krankenhäusern, Wohnungen, Büros, Strassen, Eisenbahnstrecken, Dämmen usw., Beton ist allgegenwärtig. Angesichts der hohen Nachfrage nach Beton wird die nachhaltige Herstellung und Anwendung für die Baubranche und die Behörden in der ganzen Welt immer wichtiger. Alter Beton wird immer häufiger recycelt. Er wird zerkleinert und als Gesteinskörnung für die Herstellung von neuem Beton verwendet. Zusätzlich wird die Materialeffizienz durch Vor-Ort-Recycling von Aushubmaterial weiter verbessert. Die Vorteile für die Umwelt liegen auf der Hand:

- Die Wiederverwendung vorhandener Baustoffe reduziert den Abbau neuer Gesteinskörnungen und der Transport von Abfall auf Deponien wird eingedämmt.

Zusatzmittel für hochwertigen Beton aus recyklierten Gesteinskörnungen

Das Recycling schont die natürlichen Ressourcen an Kies und Sand und verringert die Menge an Abbruchmaterial, das andernfalls auf Deponien entsorgt werden müsste. Rezyklierte Gesteinskörnungen sind für verschiedenste Bauanwendungen zugelassen und müssen den Anforderungen der jeweiligen Spezifikation entsprechen. Die Zusatzmittel von Sika ermöglichen den Einsatz von Betonabbruch als Zuschläge in der Betonproduktion, so dass Beton von guter Qualität und bester Verarbeitbarkeit hergestellt werden kann.

Sika Lösung: Zusatzmittel für das Vor-Ort-Recycling von Aushubmaterial

Beim neuen Stadion Letzigrund in Zürich wurde während des Baus das Vor-Ort-Recycling von Aushubmaterial erfolgreich angewendet. Die grosse Herausforderung bestand darin, unter Verwendung von recyklierter Gesteinskörnung aus Aushubmaterial einen Beton mit konstanter Qualität herzustellen. Dies war nur durch eine kontinuierliche Anpassung der Betonrezeptur und des Know-hows von Sika im Bereich Zusatzmittel möglich. Neben der Einsparung der Primärrohstoffen wurden auch über 6 000 Lastwagenfahrten vermieden, weil weniger Transporte notwendig waren.

Nachwachsende Rohstoffe für spezielle Sika® ViscoCrete®-Produkte

Fliessmittel auf der Basis von Polycarboxylatether (PCE) werden heutzutage häufig als Betonzusatzmittel verwendet, um die Verarbeitbarkeit des Betons während des Einbringens und die Dauerhaftigkeit nach der Aushärtung zu verbessern. Darüber hinaus können Fliessmittel zur Minimierung der Umwelteinflüsse von Beton eingesetzt werden, vor allem durch das Ermöglichen von Betonmischungen mit geringeren Zementmengen und / oder mit verstärktem Einsatz von Mischzementen mit Schlacke, Flugasche oder Kalkstein. Alle hochwirksamen PCE-Fliessmittel basieren auf Monomeren, die aus Rohöl gewonnen werden.

Als Alternative zu Rohöl werden aber auch andere Materialien, welche aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden, eingesetzt. Materialien, die ganz oder teilweise aus Biomasse-Ressourcen gewonnen werden, sind biobasiert. Biomasse-Ressourcen sind organische Materialien, die auf nachwachsender Basis verfügbar sind, wie Ernterückstände, Holzreste, Gräser und Wasserpflanzen.

Sika hat eine neue Synthesetechnologie zur Herstellung von PCE entwickelt, die hauptsächlich auf nachwachsenden Rohstoffen basiert. Diese umweltfreundliche Innovation steht im Einklang mit einem der erklärten Unternehmensziele von Sika, der nachhaltigen Produktentwicklung. Biobasierte oder organische Sika® ViscoCrete®-Produkte wurden Ende 2013 zum ersten Mal in Indien eingeführt. In diesen Produkten sind mehr als 80% der in Sika® ViscoCrete® verwendeten erdölbasierten Rohstoffe durch nachwachsende pflanzliche Stoffe ersetzt, die bei der Zuckerproduktion anfallen. Zusätzlich zu den ökologischen Vorteilen verbessert das biobasierte Sika® ViscoCrete® auch die Betoneigenschaften, wie zum Beispiel einer erheblichen Wasserreduktion und eines robusten Verhaltens im Frischbeton, indem es ein ideales Gleichgewicht zwischen seiner Dichte und seinen Konsistenz schafft.

Auch Sika Frankreich hat aus dem neuen biobasierten PCE ein Sika® ViscoCrete®-Produkt entwickelt. Das Produkt mit dem Namen Sika® ViscoCrete®-850 Végétal war Teil eines preisgekrönten Projekts, das vom französischen Transportbetonverband für den Wettbewerb "Sustainable Building E-C- Competition" ausgezeichnet wurde. Die Preisträger wurden nach mehreren Kriterien ausgewählt, darunter die Gestaltung des Projekts, seine (durch Beton ermöglichte) Leistung, seine Qualität und seine Wirtschaftlichkeit, wobei der Schwerpunkt auf der Reduktion des CO₂-Fussabdrucks lag.

In der Schweiz gibt es den Sika ViscoCrete-9037 Organic, welches zusätzlich ein International anerkanntes Qualitätssiegel besitzt. ViscoCrete-9037 Organic.



2.3 ÖKOBILANZ FÜR BETONZUSATZMITTEL

Es zeichnen sich Megatrends ab, durch die sich auch der Bedarf an Baustoffen wie Beton verändern wird. Diese sind unter anderem:

- Energie- und Ressourceneffizienz
- Klimawandel
- Wasserknappheit
- Steigender Bedarf an effizienter Infrastruktur
- Steigender Bedarf an ungefährlichen und sicheren Produkten

Die Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment – LCA) ist eine Methode zur Quantifizierung und Bewertung potenzieller Umweltauswirkungen. Der gesamte Lebenszyklus eines Produkts – vom Einkauf der Rohstoffe über die Produktion, die Nutzung, das Recycling bis hin zur endgültigen Entsorgung – wird allgemein als “Cradle to Grave” bezeichnet (ISO, 2006).

Die Ökobilanz hilft bei der Bewertung von Produkten und Tätigkeiten im Rahmen der Megatrends, indem sie eine quantitative Bewertung des Umweltprofils liefert. Dies ermöglicht es, Produkte zu verbessern und zu differenzieren.

Der Ansatz “Cradle to Gate” wird die potenziellen Umweltauswirkungen eines Produkts von der Rohstoffgewinnung bis hin zur fertigen Produktion untersucht und quantifiziert.

Für Betonzusatzmittel gelten die folgenden vier Kategorien und Ressourcenindikatoren als die aussagekräftigsten:

- Kumulierter Energieaufwand (spezifischer Heizwert)
- Treibhauspotenzial (Global Warming Potential – GWP, 100 Jahre)
- Eco-Indikator 99
- Einsatz von reinem Frischwasser

Tabelle 2.3.1: Ökobilanz einer ökologisch optimierten Betonrezeptur

Vergleichsparameter	Referenz-Betonrezeptur	Optimierte Betonrezeptur
Rezepturvergleich	Zement CEM II/A-LL 42.5 N: 325 kg/m ³ Zusatzstoff: 0 kg/m ³ Wassergehalt (0.52): 178 l/m ³ RC 0/22: 490 kg/m ³ 0/4 Sand: 584 kg/m ³ Kies: 1 007 kg/m ³ Fließmittel SikaPlast®: 5.2 kg/m ³	Zement CEM II/B-M (T-LL) 42.5 N: 290 kg/m ³ Zusatzstoff (Hydrolith F-200): 30 kg/m ³ Wassergehalt (0.52): 167 l/m ³ RC 0/22: 502 kg/m ³ 0/4 Sand: 599 kg/m ³ Kies: 1 087 kg/m ³ Fließmittel ViscoCrete®: 2.90 kg/m ³ Fließmittel ViscoFlow®: 0.58 kg/m ³
Vergleich der Betoneigenschaften	Frischbeton: Ausbreitmass: 55 cm Druckfestigkeit: 1 Tag: 20.8 N/mm ² 28 Tage: 44.3 N/mm ² Luftgehalt: 1.6%	Frischbeton: Ausbreitmass: 55 cm Druckfestigkeit: 1 Tag: 20.9 N/mm ² 28 Tage: 49.7 N/mm ² Luftgehalt: 1.2%
Wirtschaftlicher Vergleich	€/m ³ 99.70 Zusätzliche Kosten: mehr Zement, mehr Fließmittel	€/m ³ 94.75
Auswirkungen auf die Ökobilanz Cradle to Gate (Methode: CML2001 - Nov.09)		
Einsatz von reinem Wasser	178 l/m ³ Frischwasser	167 l/m ³ Recyclingwasser
Treibhauspotenzial	187.82 kg CO ₂ -Äquiv./m ³	163.55 kg CO ₂ -Äquiv./m ³

Beispiel: Ethylen-Pufferspeicher aus Beton

In Belgien wurde ein Ethylen-Pufferspeicher aus Beton mit einem Fassungsvermögen von 1 Mio. Tonnen gebaut. Das Gesamtvolumen des Betons betrug 3 461 m³. Um die Vorteile der Sika® ViscoCrete®-Fließmitteltechnologie in diesem Projekt aufzuzeigen, wurde eine Ökobilanz für zwei Betonrezepturen mit den gleichen Eigenschaften (w/z -Wert von 0.46) erstellt. Bei der einen Betonrezeptur wurde ein Fließmittel eingesetzt, während das alternative Mixdesign so konzipiert wurde, dass es die gleichen Eigenschaften ohne Fließmittel erreicht. Die Ökobilanz wurde nach dem "Cradle to Gate"-Prinzip erstellt, d. h. alle Phasen des Lebenszyklus von der Rohstoffgewinnung über die Logistik bis hin zur Herstellung und Verpackung wurden berücksichtigt.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Zur Bewertung der Vorteile aus der Verwendung des Fließmittels in Bezug auf die Wasser- und Zementreduktion ist der Einsatz von reinem Frischwasser und das Treibhauspotenzial (GWP) für beide Betonrezepturen angegeben. Reines Frischwasser kann aus unterschiedlichen Quellen stammen, wie zum Beispiel Leitungswasser, Grundwasser, Seewasser, Flusswasser oder Oberflächenwasser. Das GWP misst den potenziellen Beitrag zum Klimawandel im Hinblick auf Treibhausgasemissionen (z. B. CO₂, CH₄), durch die sich die Absorption der Wärmestrahlung in der Atmosphäre erhöht, was wiederum die Temperatur an der Erdoberfläche steigen lässt.



Einsatz von reinem Frischwasser [m³]

Wasserverbrauch (für die Betonproduktion)

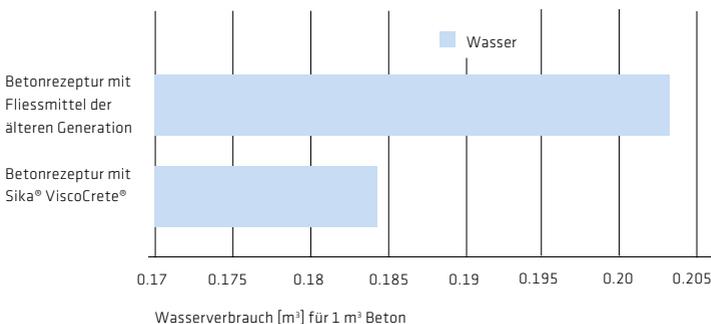


Abb. 2.3.1: Einsatz von reinem Frischwasser mit und ohne Sika® ViscoCrete®



Treibhauspotenzial [kg CO₂-eq.], CML 2001

Potenzieller Beitrag zum Klimawandel durch die Emission von Treibhausgasen

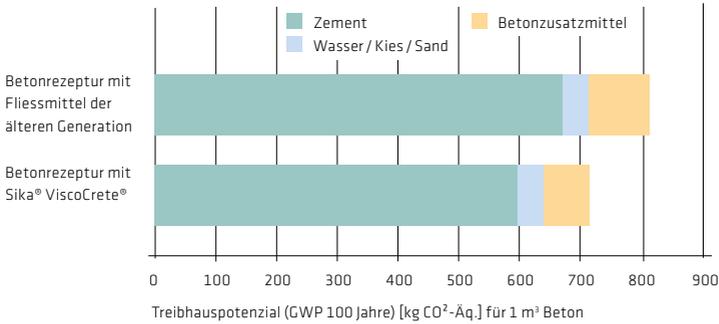


Abb. 2.3.2: Treibhauspotenzial mit und ohne Sika® ViscoCrete®



Kumulierter Energieaufwand [MJ]

Gesamtbetrag der Primärenergie aus erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Ressourcen

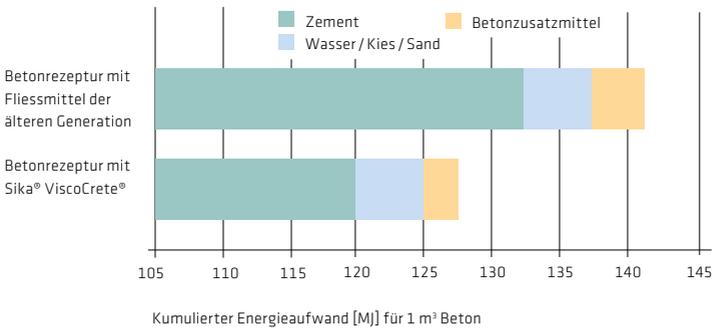
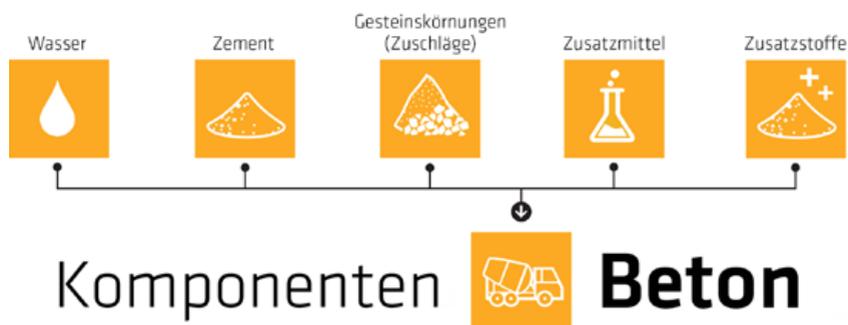


Abb. 2.3.3: Kumulierter Energieaufwand mit und ohne Sika® ViscoCrete®

3 DIE KOMPONENTEN DES BETONS

Beton ist ein vielseitig einsetzbares Baumaterial. In der Vergangenheit wurde Beton nur aus Zement, Wasser und Zuschlägen hergestellt. Um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden, wird heutzutage Beton aus bis zu sechs Komponenten hergestellt. Daraus ergibt sich eine komplexe Mischung, die für alle Beteiligten immer wieder eine Herausforderung darstellt. Für jedes Bauteil müssen die verschiedenen Komponenten sowohl an die Leistungsanforderungen des Frischbetons als auch an die des Festbetons angepasst werden.



3.1 ZEMENT UND BINDEMITTEL

Der Zement ist das hydraulische Bindemittel (hydraulisch = in Verbindung mit Wasser erhärtend), welches zur Herstellung von Beton verwendet wird. Der Zementleim (mit Wasser angemischter Zement) härtet durch Hydratation aus, sowohl an der Luft als auch unter dem Wasser.

Die wichtigsten Zement-Ausgangsmaterialien, z. B. für Portlandzement sind: Kalkstein, Mergel und Ton. Sie werden in einem bestimmten Verhältnis gemischt und gemahlen. Dieses Rohmehl wird bei etwa 1450 °C zu Klinker gebrannt, der später auf eine definierte Zementfeinheit gemahlen wird.



3.1.1 ZEMENT NACH EUROPÄISCHER NORM

In Europa und somit auch in der Schweiz werden Zemente in der Norm EN 197-1 (Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement) geregelt. Die Norm unterteilt die gebräuchlichen Zemente in fünf Haupttypen:

CEM I	Portlandzement
CEM II	Portlandkompositzement
CEM III	Hochofenzement
CEM IV	Puzzolanzement
CEM V	Kompositzement

Die verschiedenen Zementarten können unterschiedliche Bestandteile enthalten als Portlandzementklinker (K):

Hauptkomponenten	Typ-Index (nach EN 197-1)
Granulierte Schlacke	S
Silikastaub	D
Natürliche und industrielle Puzzolane	P oder Q
Kieselsäurereiche Flugasche	V
Kalkreiche Flugasche	W
Gebrannter Schiefer (z. B. Ölschiefer)	T
Kalkstein	L oder LL

Nebenkompontenten

Dies sind vor allem ausgewählte anorganische Mineralstoffe aus der Klinkerherstellung oder Bestandteile wie beschrieben (sofern sie nicht bereits als Hauptbestandteil im Zement enthalten sind, siehe Seite 27).



In den drei gelben Silos wird das bewährte SikaGrind® bei der Zementproduktion hinzugefügt.

Tabelle 3.1.1: Zementarten und ihre Zusammensetzung nach EN 197-1

Wichtigste Zementarten	Bezeichnung	Zement-Arten	Zusammensetzung (Massenanteil in %) ¹										Nebenkomponenten	
			Hauptkomponenten											
			Portland- zementklinker	Schlacke	Silikastaub	Puzzolane		Flugasche		Gebrannter Schiefer	Kalkstein			
						Natürlich	Künstlich	Kiesel- säurereich	Kalkreich					
K	S	D ²	P	Q	V	W	T	L ⁴	L ⁵					
CEM I	Portland- zement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portland- Hütten- zement	CEM II / A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II / B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland- Silikastaub- zement	CEM II / A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
Portland- Puzzolan- zement		CEM II / A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II / B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II / A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II / B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
Portland- Flugasche- zement		CEM II / A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II / B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II / A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II / B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
Portland- Schiefer- zement		CEM II / A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II / B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
Portland- Kalkstein- zement		CEM II / A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II / B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II / A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II / B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
Portland- Komposit- zement ³		CEM II / A-M	80-94	6-20									0-5	
		CEM II / B-M	65-79	21-35									0-5	
CEM III	Hochofen- zement	CEM III / A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III / B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III / C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Puzzolan- zement	CEM IV / A	65-89	-	11-35				-	-	-	0-5		
		CEM IV / B	45-64	-	21-55				-	-	-	0-5		
CEM V	Komposit- zement ³	CEM V / A	40-64	18-30	-	18-30			-	-	-	0-5		
		CEM V / B	20-39	31-50	-	31-50			-	-	-	0-5		

¹ Die Zahlen in der Tabelle beziehen sich auf die Gesamtheit der Haupt- und Nebenkomponenten.

² Der Silikastaubgehalt ist auf 10% begrenzt.

³ Bei den Portland-Kompositzementen CEM II / A-M und CEM II / B-M, den Puzzolanzementen CEM IV / A und CEM IV / B sowie den Kompositzementen CEM V / A und CEM V / B muss die Hauptkomponente durch die Zementbezeichnung angegeben werden.

⁴ Der gesamte organische Kohlenstoff (TOC) darf 0.2% Massenanteil nicht überschreiten.

⁵ Der gesamte organische Kohlenstoff (TOC) darf 0.5% Massenanteil nicht überschreiten.

3.2 GESTEINSKÖRNUNGEN FÜR BETON (ZUSCHLÄGE)

Gesteinskörnungen, bestehend aus Sand und Kies, bilden das Korngerüst des Betons. Alle Hohlräume innerhalb dieses Gerüsts müssen möglichst vollständig mit Bindemitteln gefüllt werden. Die Gesteinskörnung macht etwa 80% der Masse und 70% des Volumens aus. Eine optimale Abstimmung und Grössenverteilung der Gesteinskörnungen sowie auch eine gute Qualität der Gesteinskörnungen führen zu einer Verbesserung der Betonqualität.



Gesteinskörnungen können bereits natürlich vorliegen (aus Flüssen oder Gletschern) oder industriell hergestellt werden (leichte oder rezyklierte Gesteinskörnungen). Für hochwertigen Beton werden sie in Industrieanlagen durch mechanische Verfahren zerkleinert, gewaschen, sortiert und wieder in spezifischen Verhältnissen zusammengemischt. Betongesteinskörnungen sollten eine ausreichende Haftfestigkeit zum ausgehärtetem Zementstein besitzen und weder die Hydratation noch die Dauerhaftigkeit des Betons negativ beeinflussen.

Gesteinskörnungen	Rohdichte	Quelle
Normale Gesteinskörnung	2.2 – 3.0 kg / dm ³	Aus natürlichen Vorkommen, z. B. Flusskies, Moränenkies usw. Das Material kann gerundet oder gebrochen sein (z. B. Tunnelausbruch)
Schwere Gesteinskörnung	> 3.0 kg / dm ³	Wie Baryt, Eisenerz, Stahlgranulat zur Herstellung von Schwerbeton (z. B. Strahlenschutzbeton)
Leichte Gesteinskörnung	< 2.0 kg / dm ³	Wie Blähton, Bims, Polystyrol zur Herstellung von Leichtbeton, Dämmbeton
Harte Gesteinskörnung	> 2.5 kg / dm ³	Wie Quarz, Karborund zur Herstellung von Hartbetonbelägen
Rezyklierte Gesteinskörnung	etwa 2.4 kg / dm ³	Aus gebrochenem, alten Beton usw.

3.2.1 GESTEINSKÖRNING NACH EUROPÄISCHER NORM

In Europa sind Gesteinskörnungen in der Norm EN 12620 definiert. Diese Norm ist sehr umfangreich. Mehr Angaben als die folgenden würden den Rahmen dieses Dokuments sprengen.

Wichtige Begriffe aus der Norm (mit zusätzlichen Erläuterungen):

■ **Natürliche Gesteinskörnung**

Stammt aus mineralischen Ablagerungen; sie wird nur mechanisch aufbereitet und / oder gewaschen.

■ **Korngemisch**

Gesteinskörnung, die aus einer Mischung von groben und feinen Gesteinskörnungen (Sand) besteht. Ein Korngemisch kann ohne vorherige Trennung in grobe und feine Gesteinskörnung oder durch Kombination einzelner Fraktionen von grober und feiner Gesteinskörnung (Sand) hergestellt werden.

■ **Rezyklierte Gesteinskörnung**

Gesteinskörnung aus mechanisch aufbereitetem anorganischem Material, dass zuvor als Baumaterial (z. B. Beton) verwendet wurde.

■ **Füller (Gesteinsmehl)**

Gesteinskörnung, die überwiegend durch das 0.063 mm-Sieb hindurchgeht und zur Erzielung bestimmter Eigenschaften zugesetzt wird.

■ **Korngruppe**

Bezeichnung einer Gesteinskörnung nach unterer (d) und oberer (D) Siebweite, ausgedrückt als d / D.

■ **Feine Gesteinskörnung (Sand)**

Bezeichnung für kleinere Fraktionen mit D nicht grösser als 4 mm. Feine Gesteinskörnungen können durch natürlichen Zerfall von Felsgestein oder Kies und / oder durch das Brechen von Felsgestein oder Kies oder durch die Aufbereitung von industriell hergestellten Gesteinskörnung gewonnen werden.

■ **Grobe Gesteinskörnung**

Bezeichnung für grössere Fraktionen mit D mindestens 4 mm und d mindestens 2 mm.

■ **Natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0 / 8 mm**

Bezeichnung für natürliche Gesteinskörnungen aus Gletscher- oder Flussabbaugebieten mit einem D-Wert von höchstens 8 mm (kann auch durch Mischen von aufbereiteten Gesteinskörnungen hergestellt werden).

■ **Feinanteile**

Anteil einer Gesteinskörnung, die durch das 0.063 mm-Sieb hindurchgehen (Empfehlung für Überlegungen zur Betonrezeptur: 0.125 mm).

■ **Kornzusammensetzung**

Korngrössenverteilung, ausgedrückt durch die Siebdurchgänge als Massenanteil in Prozent durch eine festgelegte Anzahl von Sieben.

■ **Siebdurchgänge, Siebkurve**

Die Korngrösse wird nach der Lochweite der Prüfsiebe benannt, durch die das betreffende Korn gerade noch hindurchgeht. Für eine stetige Siebkurve ist es sehr wichtig, eine vernünftige Verteilung der verschiedenen Fraktionen zu wählen (siehe Seite 48).

3.2.2 SCHWIERIGE SANDE

Zuschläge wie Sand und Kies werden als eine Art inerter Füllstoff verwendet und bilden, wie bereits beschrieben, das sogenannte Korngerüst des Betons. Die spezifische Zusammensetzung gewährleistet eine maximale Raumauffüllung und trägt massgeblich zu den geforderten Eigenschaften, sowohl im Frisch- als auch im Festbeton, bei.

Während das gröbere Kies grundsätzlich diesem Konzept entsprechen, ergeben sich häufig Probleme aus der Art und Herkunft der kleineren Fraktionen, im Speziellen dem Sand. Ihre Fein- und Feinstkomponenten bzw. Verunreinigungen verursachen verschiedene betontechnologische Probleme. Die unterschiedlichen Eigenschaften der Sande und ihrer Verunreinigungen ergibt sich aus:

- Mineralogie
- Korngrößen und -formen
- Abbauprozess von Gestein zu Sand (Abtragung durch Gletscher, Flüsse, Meer oder Wind)
- Grad der mineralogischen Degradation (dichte oder geschichtete Mineralstruktur)
- Mechanische Verarbeitung (Brechen, Sieben, Waschen)



Für die Betonherstellung geeigneter Sand wird weltweit immer mehr zu einem seltenen Rohstoff. Auch wenn man mit Blick auf die Wüsten dieser Erde meinen könnte, dass Sand unendlich vorhanden sein müsste, ist genau das nicht der Fall. Gerade Wüstensande sind wegen ihrer extrem glatten Oberfläche für Beton ungeeignet. Beim Auftreten von Sandproblemen sind vor allem zwei Aspekte zu berücksichtigen:

1. Einfluss der Korngrösse

Je kleiner die Körner / Partikel desto grösser wird die spezifische Oberfläche (Oberfläche pro Masse [m^2 / g]). Diese beiden Merkmale sind direkt proportional zueinander. So ist beispielsweise die spezifische Oberfläche von feinen Partikeln im Bereich unter 100 Mikrometer etwa 200 Mal grösser als die von Sandkörnern mit einer Grösse von 8 bis 10 mm.

Die spezifische Oberfläche bestimmt den Wasseranspruch der Zuschläge und hat deshalb einen direkten Einfluss auf die Betontechnologie. Ein zu hoher Feinkornanteil erhöht demzufolge die spezifische Oberfläche, was wiederum zu einem erhöhten Wasseranspruch führt. Um also eine angemessene Verarbeitbarkeit gemäss den Vorgaben zu erreichen muss zusätzliches Wasser und / oder Zusatzmittel verwendet werden. Bei nicht fachgerechter Berücksichtigung dieser Faktoren, kann dies dazu führen, dass der Wassergehalt viel zu hoch wird und / oder die Zusatzmittel unwirksam werden. Noch problematischer sind jedoch die Schwankungen des Feinanteils, die eine durchgängig homogene Betonproduktion erschweren.

2. Adsorptionseigenschaften

Weitere problematische Feinanteile der Zuschläge können auch Tonminerale oder Glimmer sein. Diese Mineralien können aufgrund ihrer einzigartigen, geschichteten Kristallstruktur ernsthafte Probleme verursachen. Je nach Art der Mineralien können diese Schichtsilikate nicht nur kleinere Moleküle und Ionen einlagern, sondern auch stark quellen und sogar Wasser einlagern. Dadurch nimmt die spezifische Oberfläche und somit auch der Wasseranspruch wieder erheblich zu und kann sich im schlimmsten Fall sogar im Laufe von Stunden verändern. In diesem Fall werden auch die sehr grossen Polycarboxylatether-Moleküle (PCE) teilweise oder vollständig aus dem Betonsystem entfernt.

Tonminerale und Glimmer führen somit zu einem individuell sehr unterschiedlichen Wasseranspruch und auch die Fliessmittel sind in ihrer Wirkung stark eingeschränkt. Spezifische Sika® ViscoCrete®-Fliessmittel ermöglichen eine gezielte Kompensation solcher schwierigen Sandeigenschaften und darüber hinaus ist Sika® Stabilizer auch als spezielles Stabilisierungsmittel für diese Fälle erhältlich.

Lösungsansätze für solch schwierige Sande und Zuschläge in der Betonproduktion

Sika hat ein Konzept entwickelt, um die richtige Lösung für die vom Kunden beobachteten Probleme im Zusammenhang mit Sanden und Zuschlägen zu finden. In vielen Fällen ist der Grund für veränderte, schwankende oder unerwünschte Betoneigenschaften nicht offensichtlich. Daher sind mehrere Schritte erforderlich, um das Problem zu ermitteln und die richtige Unterstützung und Produktlösungen zu finden.

Charakterisierung des Problems

Es ist wichtig, das Problem eingehend zu charakterisieren und die Herausforderungen zu verstehen. Die Experten von Sika werden, in Zusammenarbeit mit dem Kunden, die Qualität des Betons begutachten und Verbesserungsmöglichkeiten aufzeigen.

Bei der Betonherstellung können folgende Probleme auftreten:

- Hoher Wasseranspruch
- Hoher Zusatzmittelverbrauch
- Klebrigkeit
- Bluten / Entmischen / Absetzen
- Pumpfähigkeit
- Schlechte Oberflächen
- Konsistenzhaltung / Ansteifen

Diagnose der Ursache

Anhand der Analyseergebnisse kann die Ursache des Kundenproblems diagnostiziert werden. Natürlich kann es sein, dass es mehrere Ursachen gibt, die zu Schwierigkeiten führen.

Die meisten von ihnen sind jedoch in dieser Liste zu finden:

- Wasseraufnahme
- Absorption der Zusatzmittel
- Kornform
- Hoher Feinanteil
- Niedriger Feinanteil

Optimale Analyse

Konzept besteht in der Analyse. Proben der Sande und Zuschläge werden in den Sika-Laboren auf der ganzen Welt mit verschiedenen Methoden analysiert.

Der Schwerpunkt der Analyse liegt auf folgenden Aspekten:

- Mineralogie
- Sieblinie
- Absorption
- Aussehen

Effektive Sika-Lösung

Nach der Identifizierung der Ursache können unsere Sika-Experten die effektivste Lösung für unseren Kunden erarbeiten. Bei der Lösung kann es sich um ein Produkt, eine Kombination von Produkten, technische Unterstützung oder aber um Produkte und um Unterstützung handeln.

Unter anderem können die folgenden Lösungen angeboten werden:

- Mixdesign-Optimierung
- Sonstiger technischer Support
- Fließmittel mit unterschiedlicher Formulierung
- Stabilisierer oder andere Zusatzmittel

3.3 BETONZUSATZMITTEL

Betonzusatzmittel sind in der Regel Flüssigkeiten und in manchen Fällen auch Pulver, die dem Beton während dem Mischen in kleinen Mengen zugesetzt werden. Die Dosierung wird in der Regel auf den Zementgehalt bezogen.

Betonzusatzmittel haben einen erheblichen Einfluss auf die Frisch- und / oder Festbetoneigenschaften. Die Wirkung von Zusatzmitteln kann auf chemischer und / oder physikalischer Ebene erfolgen.



3.3.1 BETONZUSATZMITTEL NACH EUROPÄISCHER NORM

Nach EN 206 werden Betonzusatzmittel definiert und die Anforderungen in EN 934-2 beschrieben. In der Norm EN 934-2 sind die verschiedenen Produktgruppen definiert, die in den Tabellen 3.3.1.1 bis 3.3.1.4 auszugsweise beschrieben sind.

Tabelle 3.3.1.1: Dosierung der Zusatzmittel nach EN 206

Zulässige Dosierungen	≤ 5 Gew.-% des Zements (Die Auswirkung einer höheren Dosierung auf die Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit des Betons muss nachgewiesen werden.)
Niedrige Dosierungen	Zusatzmittelmengen $< 0.2\%$ des Zements sind nur zulässig, wenn sie in einem Teil des Anmachwassers aufgelöst sind.

Beträgt die Gesamtmenge der flüssigen Zusatzmittel > 3 l / m³ Beton, muss deren Wassermenge in die Berechnung des w / z-Wertes einbezogen werden. Wird mehr als ein Zusatzmittel hinzugegeben, muss deren Verträglichkeit durch spezifische Tests überprüft werden.

Tabelle 3.3.1.2: Zusatzmittel – nach EN 934-2

Betonverflüssiger

Zusatzmittel, das eine Verminderung des Wassergehalts einer gegebenen Betonmischung ermöglicht, ohne die Konsistenz zu beeinträchtigen, oder ohne Veränderung des Wassergehalts das Setzmaß / Ausbreitmaß erhöht, oder das gleichzeitig beide Wirkungen hervorruft.

Fließmittel

Zusatzmittel, das eine erhebliche Verminderung des Wassergehalts einer gegebenen Betonmischung ermöglicht, ohne die Konsistenz zu beeinträchtigen, oder ohne Veränderung des Wassergehalts das Setzmaß / Ausbreitmaß erheblich erhöht, oder das gleichzeitig beide Wirkungen hervorruft.

Stabilisierer

Zusatzmittel, das das Absondern von Zugabewasser durch vermindertes Bluten verringert.

Luftporenbildner

Zusatzmittel, das eine bestimmte Menge von kleinen, gleichmäßig verteilten Luftporen während des Mischvorgangseinführt, die nach dem Erhärten im Beton verbleiben.

Erstarrungsbeschleuniger

Zusatzmittel, das die Zeit bis zum Beginn des Übergangs der Mischung vom plastischen in den festen Zustand verringert.

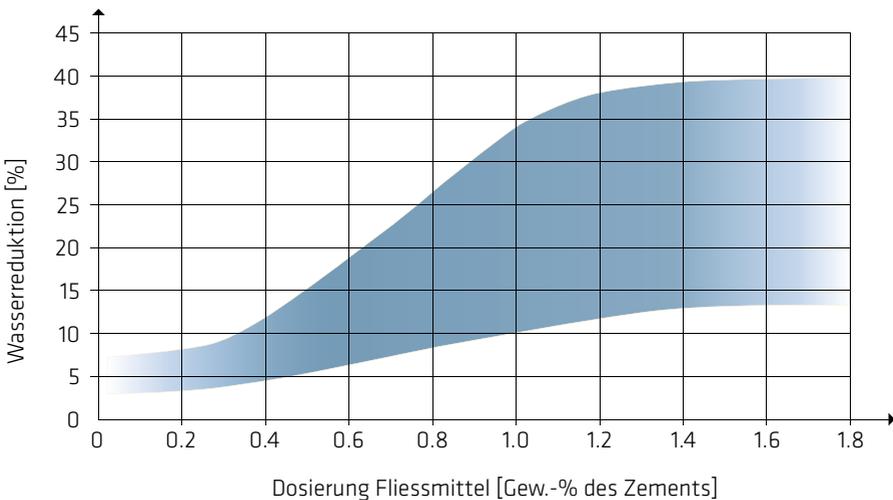


Abb. 3.3.1: Wasserreduktion mit Sika® ViscoCrete® / SikaPlast® / Sikament® / Sika® ViscoFlow®

Tabelle 3.3.1.3: Zusatzmittel – nach EN 934-2

Erhärtungsbeschleuniger

Zusatzmittel, das die Anfangsfestigkeit beschleunigt, mit oder ohne Einfluss auf die Erstarrungszeit.

Verzögerer

Zusatzmittel, das die Zeit bis zum Beginn des Übergangs der Mischung vom plastischen in den festen Zustand verlängert.

Betonverflüssiger / Verzögerer

Zusatzmittel, das die kombinierten Wirkungen eines Betonverflüssigers (Hauptwirkung) und eines Verzögerers (Zusatzwirkung) aufweist.

Fließmittel / Verzögerer

Zusatzmittel, das die kombinierten Wirkungen eines Fließmittels (Hauptwirkung) und eines Verzögerers (Zusatzwirkung) aufweist.

Betonverflüssiger / Erstarrungsbeschleuniger

Zusatzmittel, das die kombinierten Wirkungen eines Betonverflüssigers (Hauptwirkung) und eines Erstarrungsbeschleunigers (Zusatzwirkung) aufweist.

Viskositätsmodifizierer

Zusatzmittel, das zur Begrenzung der Entmischung durch Verbesserung der Kohäsion in den Beton gegeben wird.

Tabelle 3.3.1.4: Zusätzliche Betonzusatzmittel, die in den europäischen Vorschriften nicht definiert sind, aber im Nationalen Anhang NB wie folgt definiert sind:

Entlüftungsmittel

Zusatzmittel, das den Luftgehalt des Frischbetons reduziert.

Frostschutzmittel

Zusatzmittel, das die Gefrierbeständigkeit des jungen Betons während der kalten Jahreszeit bzw. bei tiefen Temperaturen erhöht.

Massenhydrophobierungsmittel

Zusatzmittel, das das kapillare Saugen des Betons reduziert.

Schwindreduktionsmittel

Zusatzmittel, das das Trocknungsschwinden des Betons reduziert.

3.3.2 POLYCARBOXYLATETHER-TECHNOLOGIE

Das Hauptmerkmal der Fließmitteltechnologie auf Basis von Polycarboxylatether (PCE) ist das gezielte Design von Polymeren, mit welchen spezifische Eigenschaften im Beton hergestellt werden können. Die Wirkungsweise der PCEs beruht auf dem adsorbieren des Polymers auf dem Zementkorn und dessen optimale Dispergierung durch elektrostatische Abstossung und sterische Hinderung.

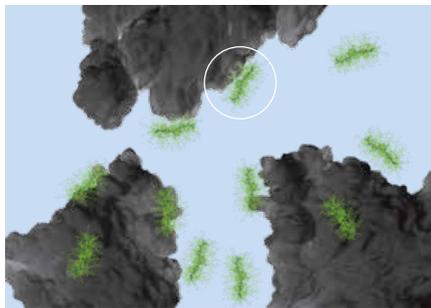
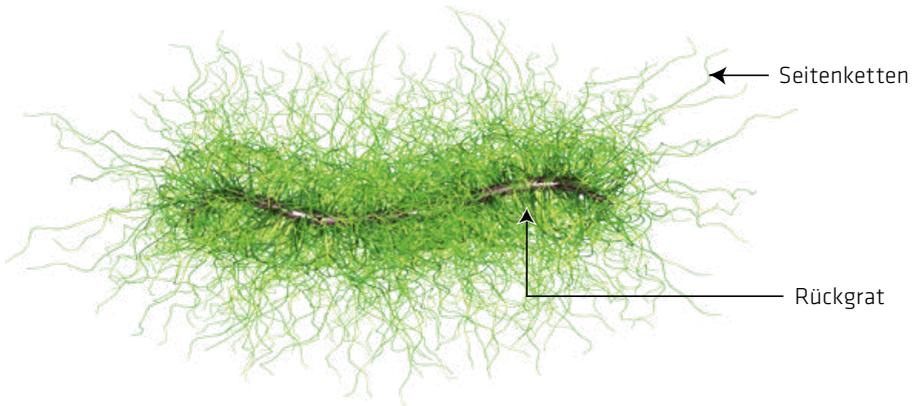
Beeinflussbare Eigenschaften sind:

- Adsorptionsgeschwindigkeit
- Wasserreduktion bei hoher Anfangsverflüssigung
- Konsistenzhaltung und trotzdem schnelle Festigkeitsentwicklung
- Frühe Festigkeitsentwicklung mit ausreichender Verarbeitungszeit
- Klebrigkeit
- Stabilität / Viskosität

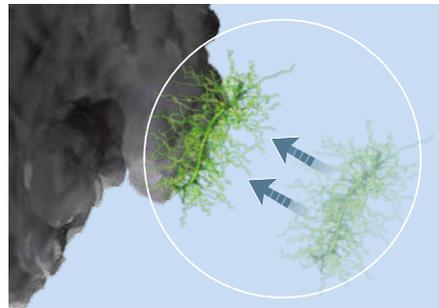
Diese Eigenschaften lassen sich auf unterschiedliche Weise kombinieren und optimieren. Die Polymere bestehen aus Rückgrat mit Carboxylgruppen sowie angehängte Seitenketten.

Die erste Komponente – das Rückgrat mit den Carboxylgruppen – ist für die Adsorptionsgeschwindigkeit, verantwortlich. Die zweite Komponente – die Seitenketten – bestimmt die Konsistenzhaltung, wobei eine zunehmende Anzahl von Seitenketten eine längere Konsistenzhaltung bedeutet. Der entscheidende Faktor ist der begrenzte Platz für Carboxylgruppen und Seitenketten entlang des Rückgrats. Es kann entweder eine Carboxylgruppe oder eine Seitenkette an einer bestimmten Stelle angebracht werden. Grundsätzlich führen Variationen dieser beiden Faktoren zu drei allgemeinen Typen von Polymeren: wasserreduzierende, konsistenzkontrollierende und konsistenzhaltende Polymere.

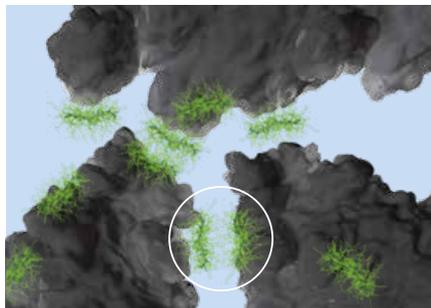
Polymerstruktur PCE



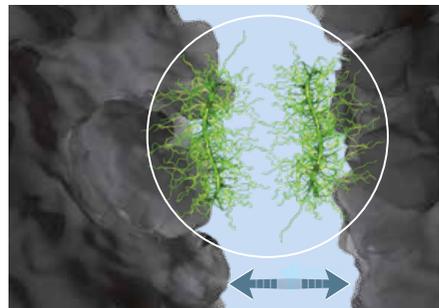
Adsorption des Polymers (Rückgrat) am Zementkorn.



Detail der Adsorption des Polymers (Rückgrat) am Zementkorn.



Verbesserte Verarbeitbarkeit durch sterische Hinderung.



Detail der verbesserten Verarbeitbarkeit aufgrund der sterischen Hinderung.

Abb. 3.3.2: Wirkungsweise der PCEs

Es ist möglich, ein PCE mit vielen Carboxylgruppen und folglich wenigen Seitenketten herzustellen, was zu einer hohen Wasserreduktion und einer kurzen Verarbeitungszeit des Betons führt (Wasserreduzierendes ViscoCrete®-Polymer).

Eine andere Möglichkeit ist viele Seitenketten mit wenigen Carboxylgruppen zu kombinieren, was zu einer geringeren Wasserreduktion und einer langen Verarbeitungszeit führt. Diese Art von PCE wirkt, indem sie einen Depoteffekt erzeugt, der zu einer verlängerten Fließfähigkeit und zu einer Konsistenzhaltung führt (Konsistenzhaltendes ViscoCrete®-Polymer).

Die dritte Möglichkeit besteht darin, PCE zu entwickeln, die ihre Struktur im Beton mit der Zeit verändern können. Dieses besondere Verhalten führt zu einer verzögernden Wirkung des Dispersionseffektes. Ein solches speziell entwickeltes Polymer kann zum Kontrollieren der Konsistenz verwendet werden (Konsistenzkontrollierendes ViscoCrete®-Polymer).

Die Sika® ViscoCrete®-Technologie bietet mehr als nur die Möglichkeit, PCE-Polymere mit spezifischen Eigenschaften herzustellen. Es ermöglicht die Kombination verschiedener Polymere, um das Potenzial jedes einzelnen Polymers zu nutzen. Diese Kompatibilität ist ein wesentlicher Vorteil der Sika® ViscoCrete®-Technologie: Es können massgeschneiderte Lösungen entwickelt werden. Die Leistung kann an lokale Herausforderungen angepasst werden. So lassen sich Endprodukte spezifisch für den lokalen Markt optimieren, um die beste Lösung mit dem besten Preis-Leistungs-Verhältnis zu erzielen.

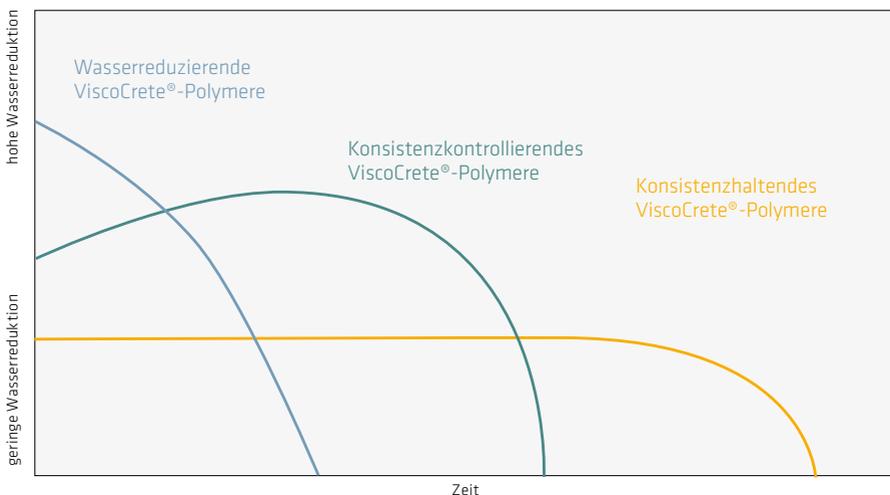


Abb. 3.3.3: Sika® ViscoCrete®-Produkttechnologie

3.3.3 SIKA PRODUKTE

Markenname	Produkttyp
SikaControl® AER	Luftporenbildner
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel
Sika® Frostschutz	Zusatzmittel für das Betonieren bei tiefen Temperaturen
SikaColor®	Betonfarben
SikaControl® SRA	Schwindreduzierer
Sika® FerroGard®	Korrosionsinhibitoren
SikaFiber®	Polymerische Mikro-oder Makrofasern oder Stahlfaser
SikaFume®	Silikastaub
Sika® Stabilizer Lightcrete	Schaumbildendes Zusatzmittel
Sikament®	Betonverflüssiger
SikaPaver®	Verdichtungshilfe / Ausblühverminderer
SikaControl® PerFin	Oberflächenverbesserer für Beton
SikaPlast®	Fliessmittel
Sika® Plastiment®	Betonverflüssiger
Sika® Stabilizer Pump	Pumpmittel
SikaRapid®	Betonbeschleuniger
Sika® Rugasol®	Oberflächenverzögerer
Sika® Separol®	Schalungstrennmittel
Sika® Sigunit®	Spritzbetonbeschleuniger
Sika® Stabilizer	Viskositätsmodifizierer / Stabilisierer
SikaTard® / Sika® Retarder	Verzögerer für Beton und Spritzbeton
Sika® ViscoCrete®	Fliessmittel
Sika ViscoFlow®	Konsistenzhalter
SikaControl® WT	Dichtungsmittel

3.4 BETONZUSATZSTOFFE UND ZEMENTZUSATZSTOFFE

3.4.1 BETONZUSATZSTOFFE NACH EUROPÄISCHER NORM

Betonzusatzstoffe sind definiert als fein verteilte Stoffe, die bei der Betonproduktion zugegeben werden, um bestimmte Eigenschaften im Frisch- und Festbeton zu verbessern oder zu erreichen. In der EN 206 sind zwei Arten von anorganischen Zusatzstoffen definiert:

- Inerte Zusatzstoffe (Typ I)
- Puzzolanische oder latent hydraulische Zusatzstoffe (Typ II)

Typ I

Nahezu inerte Stoffe wie Kalkfüller, Quarzmehl und Farbpigmente.

■ Gesteinsmehle (Quarzmehl, Kalksteinmehl)

Feinanteilarme Sieblinien können durch die Zugabe von Gesteinsmehl verbessert werden. Diese inerten Stoffe werden zur Verbesserung der Sieblinie verwendet. Der Wasseranspruch wird dadurch höher, insbesondere beim Kalksteinmehl.

■ Pigmente

Pigmentierte Metalloxide (hauptsächlich Eisenoxide) werden zum Einfärben von Beton verwendet. Sie werden in der Größenordnung von 0.5 – 5% des Zementgewichts dosiert; sie müssen in der alkalischen Zementumgebung farbecht, lichtecht und stabil bleiben. Bei einigen Pigmenten kann sich der Wasseranspruch der Mischung erhöhen.

Typ II

Dieser Typ von Zusatzstoffen sind puzzolanische oder latent hydraulische Stoffe wie natürliche Puzzolane (Trass), Flugasche oder Silikastaub sowie auch gemahlene Hochofenschlacke.

■ Flugasche

ist eine feine Asche aus Kohlekraftwerken, die als Zusatzstoff für Zement und Beton verwendet wird. Seine Zusammensetzung hängt hauptsächlich von der Art der Kohle, ihrer Herkunft sowie von den Verbrennungsbedingungen ab (EN 450).

■ Silikastaub (Siliziumdioxidstaub)

besteht hauptsächlich aus kugelförmigen Partikeln – amorphes Siliziumdioxid. Dies fällt bei der Herstellung von Silizium und Siliziumlegierungen an. Er hat eine spezifische Oberfläche von 18 – 25 m² pro Gramm und ist ein hochreaktives Puzzolan (EN 13263).

Die üblichen Dosierungen von Silikastaub liegen bei 5 bis maximal 10% des Zementgewichts. Die Anforderungen für gemahlene Hochofenschlacke zur Verwendung in Beton, Mörtel und Vergussmörtel sind in EN 15167-1 geregelt.

3.5 FASERN

Faserverstärkter Beton bzw. Faserbeton ist Beton, dem bei der Herstellung Fasern zugesetzt wurden, um sein Riss- und Bruchverhalten zu verbessern. Nach vielen Jahren der Forschung und Entwicklung hat sich Faserbeton aufgrund seiner grossen Vorteile auf dem Markt durchgesetzt.

Die Zugabe von geeigneten Fasern kann die Eigenschaften Ihres Betons deutlich verbessern.



Dazu zählt:

- Weniger Rissbildung aufgrund von Frühschwinden
- Besserer Zusammenhalt im Frischbeton
- Höhere Biegezug- und Scherfestigkeit
- Verbesserte Tragfähigkeit und Duktilität
- Erhöhter Abriebwiderstand
- Besserer Schutz gegen Frost-Tausalz-Angriffe
- Abplatzfestigkeit bei hohen Temperaturen



Es gibt drei Hauptkomponenten, die zur Leistung der Faser beitragen:

1. Zugfestigkeit und E-Modul

Risse können zu verschiedenen Zeitpunkten im Beton auftreten, hauptsächlich zu Beginn und während des Aushärtungsprozesses, wobei es sich grösstenteils um Frühschwindrisse in den ersten 24 Stunden handelt. Fasern verringern durch ihre Zugfestigkeit und Dehnbarkeit die Rissbildung während des Aushärtungsprozesses. Bei übermässigen Kräften verhindern die Fasern grosse Risse, indem sie die Spannungen verteilen, was dazu führt, dass sich feine und weniger schädliche Risse bilden. Wenn es zum Rissen im Beton kommt, ist der E-Modul der Fasern entscheidend, da es den Widerstand der Fasern gegen die elastische Verformung definiert.

2. Verankerung

Um die Kräfte vom gerissenen Beton auf die Fasern zu übertragen, ist es wichtig, dass eine ausreichende Verbindung oder Verankerung zwischen den Fasern und dem Matrixmaterial vorhanden ist. Diese Verankerung kann durch die Faserform oder -textur sichergestellt werden.

3. Formfaktor

Dies ist das Verhältnis zwischen der Länge und dem äquivalenten Durchmesser der Faser. Für eine gute Verankerung und eine gute Leistung im Festbeton wäre eine lange und dünne Faser gut. Bei einem solch hohen Formfaktor wäre die Faser gut im Beton eingebettet und würde nicht herausrutschen.

Ist die Haftung zwischen Faser und Matrix hingegen zu gut, kann es zu Faserbrüchen kommen. Dabei wird die Zugfestigkeit der Faser überschritten und es kommt zum Bruch in der Faser.

Die Fasern sind leicht in der Handhabung und können einfach dosiert werden, sie verteilen sich mit dem richtigen Mischprozess homogen und haben eine gute Bindung, wodurch der Beton einen besseren Zusammenhalt hat. Darum eignen sich Fasern für viele Anwendungen im Beton und Mörtel.

3.5.1 KLASSIFIZIERUNG VON FASERN

Europa

In Europa sind Fasern für Beton in der EN 14889-1 und 2 geregelt.

Nach EN 14889-1 werden Stahlfasern in eine der folgenden Gruppen eingeteilt:

Gruppe I	Kalt gezogener Stahldraht
Gruppe II	Aus Blech geschnittene Fasern
Gruppe III	Aus Schmelzgut extrahierte Fasern
Gruppe IV	Von kalt gezogenem Draht gespannte Fasern
Gruppe V	Von Stahlblöcken gehobelte Fasern

Nach EN 14889-2 werden Polymerfasern entsprechend ihrer physikalischen Form charakterisiert:

Klasse Ia	Mikrofasern mit einem Durchmesser von < 0.3 mm; als Monofilament ausgebildet
Klasse Ib	Mikrofasern mit einem Durchmesser von < 0.3 mm; fibrilliert
Klasse II	Makrofasern mit einem Durchmesser von > 0.3 mm

3.5.2 SPEZIFIZIERUNG VON FASERVERSTÄRKTEM BETON

Es gibt verschiedene Fasern für verschiedene Betone, je nach den geforderten Eigenschaften. Die beiden Haupttypen von Fasern sind Mikro- und Makrofasern, die nach den europäischen Normen durch ihren Durchmesser definiert sind. Synthetische Mikrofasern werden im Allgemeinen zur Vermeidung von Abplatzungen bei hohen Temperaturen im Brandfall und zur Vermeidung von Rissen eingesetzt. Stärkere synthetische Makro- oder Stahlfasern werden im Allgemeinen verwendet, um die mechanischen Eigenschaften von Festbeton zu verbessern wodurch auch einen Teil der Armierung durch die Fasern ersetzt werden kann. Sika ist eine Komplettanbieterin von Fasern und hat auch spezielle Fasertypen oder Fasermischungen im Angebot.



Synthetische Mikrofasern haben einen noch niedrigeren E-Modul (3 – 5 GPa) als synthetische Makrofasern. Sie werden hauptsächlich zur Verringerung von Frühschwindrisse und als Brandschutzfasern eingesetzt.

Durch den niedrigen Schmelzpunkt (160 °C) entstehen im Brandfall Hohlräume im Beton, welche als Expansionsraum für den Wasserdampf genutzt werden kann. So kommt es nicht zu Betonabplatzungen. Auch diese synthetischen Mikrofasern sind nicht korrosiv.



Synthetische Makrofasern haben einen niedrigeren E-Modul als Stahlfasern (5 – 15 GPa).

Im Gegensatz zu Stahlfasern können synthetische Makrofasern keine extrem hohen Lasten aufnehmen, aber sie wirken in den frühen Phasen der Aushärtung äusserst effektiv. So können frühe Risse im Beton verhindert werden oder die auftretenden Risse so verteilt werden, dass sie keinen negativen Einfluss mehr haben. Sie sind korrosionsbeständig und verleihen dem Beton eine höhere Duktilität. Synthetische Fasern haben eine geringere Dichte und somit mehr Fasern pro kg im Vergleich zu Stahlfasern. Dadurch wird auch der geringere E-Modul zu einem gewissen Grad kompensiert.



Stahlfasern zeichnen sich durch einen hohen E-Modul (200 GPa) und eine hohe Zugfestigkeit (2 500 MPa) aus. Sie verhindern das Kriechen des Betons und wirken nicht gegen das Frühschwinden.

Eine allfällige Korrosion der Stahlfasern verursacht keine Abplatzungen des Betons, sondern Verfärbungen an der Betonoberfläche.

Hervorstehende Stahlfasern bringen eine erhöhte Verletzungsgefahr mit sich, wodurch auch Dichtungsbahnen beschädigt werden können.

Optimale Nutzung der verschiedenen Fasertypen

Zustand von Beton oder Mörtel	Wirkung	Empfohlener Fasertyp
Frischbeton oder -mörtel	Verbesserung der Homogenität	Mikro-Polypropylen-Fasern
Bis etwa 12 Stunden	Verringerung der Frühschwindrisse	Mikro-Polypropylen-Fasern
1 – 2 Tage	Verringerung von Rissen, die durch Temperaturgradienten verursacht werden	Mikro- und Makro-Polypropylenfasern
28 Tage Aushärtung oder mehr	Übertragung von einwirkenden Kräften	Makro-Polypropylen & Stahlfasern
28 Tage Aushärtung oder mehr	Verringerung von Beton-abplatzungen bei hohen Temperaturen / im Brandfall	Mikro-Polypropylen-Fasern

3

3.5.3 SikaFiber® SORTIMENT

Mikrofasern



SikaFiber® PPM Sika® Fibermesh®

- Für Spritzbeton, Bodenplatten und Fertigteile

Dosierung: 0.6 – 2 kg / m³

Makrofasern



SikaFiber® Force

- Für Spritzbeton, Bodenplatten und Fertigteile
- Ersatz der Stahlbewehrung

Dosierung: 3 – 8 kg / m³

Nachhaltige Fasern



SikaFiber®-200

- Für Beton, Estrich und Mörtel um Beständigkeit gegen schnelles Austrocknen und plastische Schwindrisse zu verbessern

Dosierung: 300 g / m³

3.6 WASSER

Die Eignung von Wasser für die Betonherstellung hängt von seiner Herkunft ab.

3.6.1 WASSER NACH EUROPÄISCHER NORM

EN 1008 sind die folgenden Arten unterschieden:

■ **Trinkwasser**

Geeignet für Beton. Muss nicht geprüft werden.

■ **Wasser, das bei Prozessen in der Betonindustrie zurückgewonnen wird**

(z. B. Waschwasser, Recyclingwasser)

Generell für Beton geeignet, aber die Anforderungen in Anhang A der Norm müssen erfüllt sein (z. B. das zusätzliche Gewicht der Feststoffe im Beton, das entsteht, wenn Wasser aus Prozessen der Betonindustrie verwendet wird, weniger als 1% des Gesamtgewichts der in der Mischung enthaltenen Gesteinskörnung beträgt).

■ **Grundwasser**

Kann für Beton geeignet sein, muss aber geprüft werden.

■ **Natürliches Oberflächenwasser und industrielles Brauchwasser**

Kann für Beton geeignet sein, muss aber geprüft werden.

■ **Meerwasser oder Brackwasser**

Darf nur für unbewehrten Beton verwendet werden, ist aber nicht für bewehrten Beton oder Spannbeton geeignet. Bei Beton mit Stahlbewehrung oder eingebetteten Metallteilen ist der maximal zulässige Chloridgehalt im Beton zu beachten.

■ **Abwasser**

Nicht für Beton geeignet.

Kombiniertes Wasser ist eine Mischung aus Wasser, das aus Prozessen in der Betonindustrie gewonnen wird und Wasser aus einer anderen Quelle. Die einzelnen Anforderungen gelten für den kombinierten Wassertyp.

Vorprüfungen (EN 1008, Tabelle 1)

Das Wasser muss auf Öl- und Fettspuren, Schaumbildner (Reinigungsmittel), Schwebstoffe, Geruch (z. B. kein Schwefelwasserstoffgeruch nach Zugabe von Salzsäure), Säuregehalt ($\text{pH} \geq 4$) und Huminstoffe untersucht werden.

Wasser, das eine oder mehrere der in Tabelle 1 genannten Anforderungen nicht erfüllt, darf nur verwendet werden, wenn es den folgenden chemischen Anforderungen entspricht und seine Verwendung keine negativen Auswirkungen auf die Erstarrungszeit und die Festigkeitsentwicklung hat (Prüfverfahren siehe EN 1008).



4 BETONREZEPTUR

4.1 BERECHNUNG VON BETONREZEPTUREN

Materialvolumenberechnung

Die Materialvolumenberechnung dient dazu, die Dosierung der Komponenten und der Mischung von Beton im Allgemeinen sowie von speziellen Betonsorten zu ermöglichen. Die Berechnung geht davon aus, dass die vorgesehenen Mengen an Zement, Wasser, Gesteinskörnung, Zusatzmitteln und Zusatzstoffen sowie die Luftporen nach der Verdichtung ein Volumen von 1 m³ Frischbeton ergeben.

Die richtige Materialvolumenberechnung führt zur Erfüllung aller relevanten Normen, verbessert die Qualität des produzierten Betons und öffnet die Tür zu wirtschaftlicheren Lösungen.

Der Feinanteil besteht aus:

- Dem Zement und eventuellen Betonzusatzstoffen
- Dem Kornanteil 0 bis 0.125 mm der Siebkurve

Die Feinanteile wirken im Frischbeton als Schmiermittel, um die Verarbeitbarkeit und das Wasserrückhaltevermögen zu gewährleisten. Zudem wird die Entmischungs- und Blutneigung während des Einbringens verringert und das Verdichten erleichtert.

Ein zu hoher Feinanteil führt jedoch zu teigigem, klebrigem Beton. Es kann auch eine grössere Schwind- und Kriechneigung auftreten (höherer Wassergehalt).

Die folgenden Mengen haben sich bewährt:

Tabelle 4.1.1: Empfehlung von Sika:

	Runde Gesteinskörnung	Gebrochene Gesteinskörnung
Für Beton mit Grösstkorn 32 mm	Feinanteil zwischen 350 und 400 kg / m ³	Feinanteil zwischen 375 und 425 kg / m ³
Für Beton mit Grösstkorn 16 mm	Feinanteil zwischen 400 und 450 kg / m ³	Feinanteil zwischen 425 und 475 kg / m ³

Für selbstverdichtende Betone (SCC / SVB) sind in der Regel höhere Feinanteile erforderlich.

Normalerweise beginnt die Materialvolumenberechnung mit der Wahl eines bestimmten Zementgehalts und w / z-Wertes (oder Bindemittelgehalts und w / b-Wertes). Auf diese Weise kann man das Volumen von Gesteinskörnungen und Sand in Litern berechnen. Durch die Anwendung einer kombinierten Kornverteilungskurve wird dieses Volumen mit Sand und Gesteinskörnungen aufgefüllt.

Tabelle 4.1.2: Beispiel für kombinierte Gesteinskörnungen 0 – 32 mm:

Komponente	Korngröße in mm	Anteil in der Mischung in % (Gewicht)
Sand	0 – 4	48.0
Kies	4 – 8	12.0
Kies	8 – 16	20.0
Kies	16 – 32	20.0

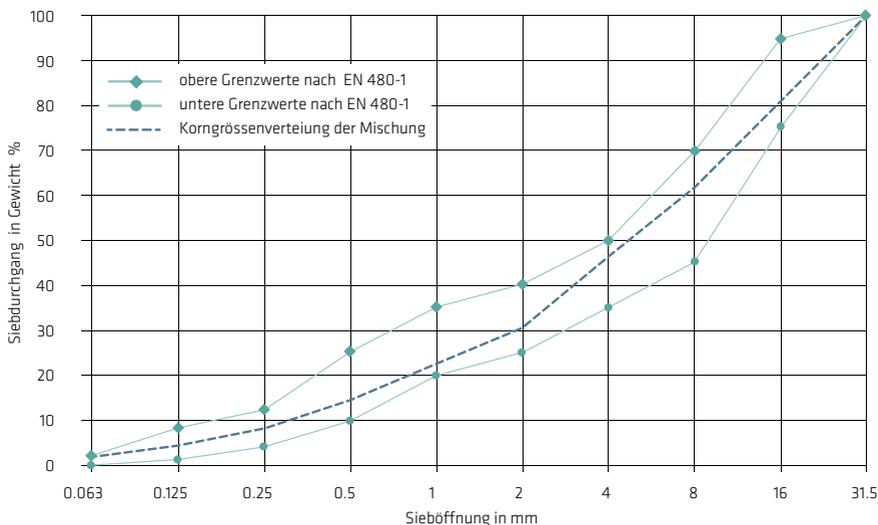


Abb. 4.1.1: Korngrößenverteilung (Siebkurvenbereich nach EN 480-1)

Wenn der Sand und Kies gewaschen sind, muss Füller hinzugefügt werden, um die Stabilität und die Gesamtkonsistenz der Betonmischung zu verbessern.

Es gibt verschiedene Methoden zur Planung von Betonmischungen. Eine der gebräuchlichsten und beliebtesten Methoden zur Bemessung von Betonmischungen ist die "Methode des absoluten Volumens".

Bemessung der Betonmischung nach der Methode des absoluten Volumens:

Tabelle 4.1.3: Berechnung von Volumen und Masse für 1 m³ Beton

Rohstoff für Beton	Dosierung auf Zementmörtel bezogen [%]	kg für 1 m ³		Dichte [kg / l]	Berechnungsweg	Ertrag in Liter für 1 m ³
Zementart: CEM II		kg	325	3.1 (produkt-abhängig)	→	103
Zusatzstoff Hydrolith F200 (zus. Bindemittel)	6	kg	19.5	2.2 (produkt-abhängig)	→	9
Zusatzmittel: Sika® ViscoCrete®	1.2	kg	4.13			(inkl. in Wasser)
Luft erwartet oder geplant 1% $\hat{=}$ 10 l in 1 m ³		Vol.-%	1.5	-	→	15
Anmachwasser w / z = 0.48 (inkl. Wassergehalt der Gesteinskörnung) w / z (oder w / Z _{eq.}) = 0.48		kg	156	1.0	→	155
Gesamtvolumen in Liter ohne Gesteinskörnungen						282 ↓
Gesteinskörnungen (im trockenem Zustand)		kg	1902	2.65 (produkt-abhängig)	←	718 (= Δ für 1000 l)
Total Beton		kg 2362 (für 1 m ³)		2362 kg / m ³ (spez. Dichte von Frischbeton)		1000 l (= 1 m³)

Bemerkung: Wenn die Gesamtmenge der Zusatzmittel 3 l / m³ Beton übersteigt, muss der Wassergehalt der Zusatzmittel in die Berechnung des w / z-Wertes einbezogen werden.

Gesteinskörnungen und Dosierwasser

Die bei der Betonherstellung verwendeten Gesteinskörnungen können je nach Art und Herkunft sowie den Umgebungsbedingungen unterschiedliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt haben. Die Gesteinskörnungen haben typischerweise eine bestimmte Wassermenge gespeichert, die sogenannte Kernfeuchte und können ebenfalls eine zusätzliche Menge an Wasser an der Oberfläche haben, was als Oberflächenfeuchte bezeichnet wird. Diese Effekte und das bereits vorhandene Wasser müssen bei der Betonrezeptur entsprechend berücksichtigt werden.

Die Kapillarporosität von Gesteinskörnungen führt zu Wasseradsorptionseffekten, was als Kernfeuchte bezeichnet wird. Wenn die Poren wassergesättigt sind, darf dieses Wasser bei der Berechnung des w/z -Wertes nicht berücksichtigt werden. Bei teilweise oder ganz trockenen Gesteinskörnungen würde jedoch ein Teil des Dosierwassers sofort von der Gesteinskörnung bis zur Sättigung adsorbiert werden, das Mischgut würde versteifen und die Gesamtdosierung müsste entsprechend erhöht werden. Typischerweise sind die Gesteinskörnungen jedoch oft nass und tragen zusätzliches Wasser auf ihrer Oberfläche, das zum gesamten Dosierwasser beiträgt und somit den w/z -Wert erhöht.

In Bezug auf die Gesteinskörnung können drei extreme Szenarien definiert werden, wie in Abbildung 4.1.2 dargestellt. Die Berechnung der Betonrezeptur basiert auf trockenen Zuschlägen (Oberflächentrocken, Kernfeuchte jeweils in den Zuschlägen vorhanden) wobei die gesamte Wassermenge, die durch die verwendeten Gesteinskörnungen eingebracht wird (die Oberflächenfeuchte ist variabel) und deren Absorptionswasser bekannt und berücksichtigt werden müssen.

Ofentrocken

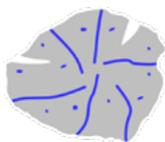


Kein Wasser

Die Gesteinskörnungen sind vollständig trocken (Oberfläche und Kapillarporen, keine Kernfeuchte):

- Die Konsistenz des Betons wird steifer sein als geplant
- Beton benötigt mehr Wasser, als sich aus dem w/z -Wert ergibt, bis die Poren gesättigt sind

Oberflächentrocken



Kernfeuchte

Die Kapillarporen sind gesättigt, Kernfeuchte ist vorhanden und die Oberfläche ist trocken:

- Die Konsistenz des Betons wird wie geplant sein
- Beton benötigt Dosierwasser, das aus dem w/z -Wert berechnet wird

Feuchte Zuschläge



Kernfeuchte und Oberflächenfeuchtigkeit

Die Kapillarporen sind gesättigt und die Oberfläche ist (zum Teil) mit einem Wasserfilm bedeckt:

- Die Konsistenz des Betons wird flüssiger sein als geplant
- Beton benötigt aufgrund des zusätzlichen Wassers auf der Gesteinsoberfläche weniger Dosierwasser als aus dem w/z -Wert errechnet

Abb. 4.1.2: Feuchtigkeitszustand von Gesteinskörnungen in Beton

4.2 REZEPTURKONZEPT FÜR LEIMVOLUMEN

Dieses Kapitel "Rezepturkonzept für Leimvolumen" bezieht sich auf die Erkenntnisse von Abrams, dass die Druckfestigkeit von Beton, als zentrale Materialeigenschaft, hauptsächlich vom w/z -Wert abhängt. Dies gilt für alle Betone mit einem w/z -Wert von mehr als 0.35, was bei den meisten Betonen der Fall ist. Diese Vorgabe ist die Grundlage für die folgenden Ausführungen und Schlussfolgerungen des Rezepturkonzepts für Leimvolumen.



Der Zementmörtelleim enthält alle Bindemittel, pulverförmige Zusatzmittel und das freie Wasser (welches nicht von den Gesteinskörnungen absorbiert wird).

Feinmörtelleim umfasst zusätzlich auch alle feinen Teile der Gesteinskörnungen ≤ 0.125 mm.

Die Anforderungen an den Feinanteil der Betonmischung sind nach Einbringmethode unterschiedlich. Daneben spielen natürlich auch die grösseren Komponenten eine Rolle, die aber von deutlich geringerer Bedeutung sind. Die groben Körner bilden vor allem das Gerüst und dienen als Füllmaterial. Auf der Grundlage unzähliger Betonrezepturen über viele Jahrzehnte hinweg können für verschiedene Einbauarten, Bandbreiten von Feinkorngesamt und Mörtelmengen angegeben werden, die auch bei unterschiedlichen Gesteinskörnungen zu einem richtigen Ergebnis führen bzw. diese Schwankungen berücksichtigen.

Tabelle 4.2.1: Feinmörtelleim für verschiedene Betonsorten

Einbringmethode	Feinanteil	Feinmörtelleim	Bemerkungen
Kranbeton	-	250 bis 280 l / m ³	Der Feinmörtelleim enthält:
Pumpbeton	> 375 kg / m ³ mit max. Körnung 32 mm	280 bis 320 l / m ³	Zement, pulverförmige Zusatzstoffe und
Selbstverdichtender Beton (SCC / SVB)	> 500 kg / m ³ mit max. Körnung 16 mm	320 bis 380 l / m ³	Feinanteile aus Sand ≤ 0.125 mm.

Für eine bestimmte Feinmörtelmenge, einen bestimmten Feinanteil und einen bestimmten w/z-Wert kann die Feinanteilmenge in Abhängigkeit von den Dauerhaftigkeitsanforderungen festgelegt werden:

- Physikalische Anforderungen an den Beton (Druckfestigkeit, Biegefestigkeit, Zugfestigkeit, Frühfestigkeit)
- Anforderungen an die Dauerhaftigkeit (z. B. Wasserundurchlässigkeit, Sulfatbeständigkeit, AAR)
- Anforderungen an die Verarbeitung (Kornform und Reaktivität)
- Lokale und regionale Verfügbarkeit (insbesondere von Sand und Bindemitteln)
- Kosten (Materialkosten und Transportkosten)
- Transportentfernungen
- Nachhaltigkeit aufgrund der Art des Materials, der Verarbeitung oder des Transports der Komponenten

Die richtige Feinmörtelmenge

Wenn man davon ausgeht, dass der Zementgehalt für das Erreichen der geforderten Festigkeit keine Rolle spielt (Abrams), dann muss die notwendige oder richtige Zementmenge über andere Kriterien ermittelt werden:

- Erreichen der geplanten Betonverarbeitung (Feinkorngehalt und Zementleim)
- Erreichen der geforderten Dauerhaftigkeitseigenschaften (Beständigkeit gegen äussere Einflüsse)

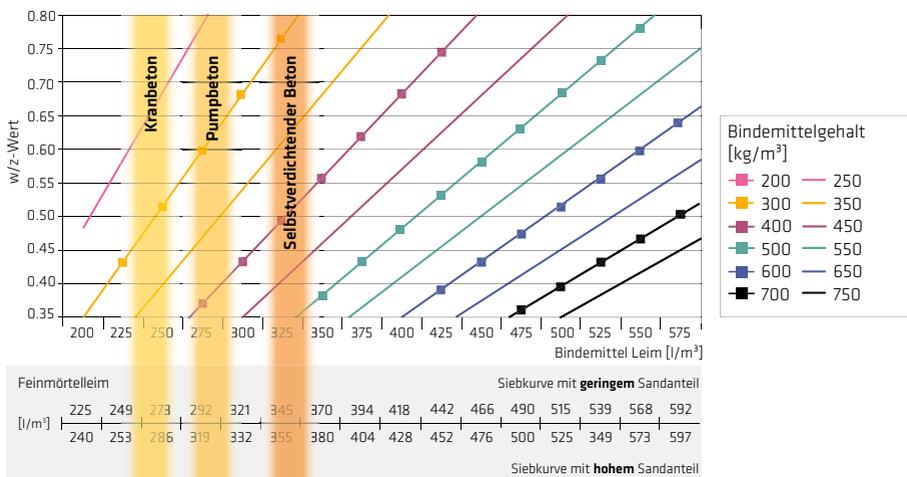


Abb. 4.2.1: Verhältnis zwischen der Betondruckfestigkeit eines bestimmten Zements, ausgedrückt im w/z-Wert, und der Feinmörtelmenge (l/m³) bei einem geforderten Zementgehalt (kg/m³)

In beiden Fällen ist es möglich, einen gewissen Anteil an Zement durch Ersatzstoffe zu ersetzen und damit die Materialbilanz (Kosten / Betontechnologie / Ökologie) positiv zu beeinflussen. Die Pumpbarkeit kann z. B. durch die Verwendung von gutem Kalksteinmehl oder Flugasche verbessert werden. Eine hohe Druck- oder Abriebfestigkeit ergibt sich aus der Zugabe von Silikastaub oder der Erhöhung der Sulfatbeständigkeit durch die Verwendung von granulierter Schlacke. Je nach den Eigenschaften eines bestimmten Zementtyps kann das Verhältnis zwischen der Festigkeit und dem minimal erforderlichen Feinmörtelleim als solches dargestellt werden.

Ausgehend von lokalen Zement- oder Bindemitteltypen muss die Festigkeit in Bezug auf den w/z -Wert definiert werden. Basierend auf dieser Erkenntnis zeigt Abb. 4.2.1 das erforderliche Volumen des Feinmörtelleims. Die spezifische Menge an Feinanteilen muss mit den lokal verfügbaren Sand- und Pulverzusatzstoffen abgestimmt werden.

Ausgewogene Feinmörtelmenge

Um sowohl eine gute Verarbeitbarkeit als auch möglichst geringe negativen "Nebenwirkungen" (z.B. Hydrationswärme) zu vereinen, wird nicht die grösstmögliche Menge an Zementleim verwendet, sondern nur so viel, wie nötig ist. Damit wird eine Reihe von Vorteilen erzielt:

- **Betontechnologie:** Geringstmögliches Volumen der Hydratationsprodukte, d. h. auch geringes Schwinden und geringe Wärmeentwicklung in allen Phasen
- **Wirtschaftlich:** Gezielter, sparsamer Einsatz von Zementen und SCM senkt die Kosten für die gesamte Betonrezeptur
- **Ökologisch:** Durch Substitution von Zement mit SCM fällt die Ökobilanz (LCA) deutlich positiver aus



Abb. 4.2.2: Bestandteile der Betonrezeptur: Kies, Wasser, Zement, Hochleistungsfließmittel, Sand (von links nach rechts)

4.3 SIKA MIX DESIGN TOOL

Die richtige Rezeptur von Beton ist ein entscheidender Schritt bei der Herstellung von Beton und bei der Bewertung der Leistung von Beton im frischen und im festem Zustand. Darüber hinaus ist der Austausch von Betonrezepturen und die Diskussion bestimmter Massnahmen zur Verbesserung von Betonrezepturen eine tägliche Herausforderung für jeden, der im Betongeschäft tätig ist.



Abb. 4.3.1: Programm-Navigation

Das Hauptziel des Sika Mix Design Tools ist eine vollständige Rezepturberechnung. Eine Datenbank für die Rohstoffe und die Projekte / Kunden ist Bestandteil des Tools, um die Rezepturberechnung auf effiziente Weise durchzuführen. Die Möglichkeit, verschiedene Währungen, Einheiten und Sprachen zu definieren, macht den weltweiten Einsatz des Tools möglich.

Für jeden Anwender ist es zwingend erforderlich, zuerst das Handbuch zu lesen, da dieses anspruchsvolle Programm zur Betonrezepturberechnung nicht vollständig selbsterklärend ist. Es lohnt sich, etwas Zeit zu investieren, um alle enthaltenen Funktionen vollständig zu verstehen und alle Aspekte des Programms zu erkunden.

Die Programmnavigation sieht wie folgt aus:

- Voreinstellung aller relevanten Parameter wie Lokalisierung, Einheiten, Währung
- Verwaltung der für die Berechnung der Betonrezeptur verwendeten Rohstoffe (Zement, Gesteinskörnungen, Zusatzstoffe und Zusatzmittel)
- Definition der Kunden und ihrer Projekte in Verbindung mit einer beliebigen Betonmischungsberechnung
- Gezielte Suche nach einer Rezeptur oder einem bestimmten Schlüsselwort

Nachfolgend finden Sie Beispiele für einige Programmfunktionen:



Abb. 4.3.2: Rezepturberechnung mit Änderungsschaltflächen für die Materialauswahl in der Datenbank

- **Schnelle Erstellung von Betonrezepturen durch Rohstoffauswahl aus der Datenbank**
- Flexible Anrechenbarkeit für den w / z -Wert
- Berechnung der Frischbetondichte sowie w / z -Wertes
- Kontrolle der Einhaltung des definierten Betontyps
- Übersicht über die LCA-Parameter



Abb. 4.3.3: Entwurf und Berechnung einer Siebkurve

- **Einfacher Entwurf von Siebkurven mit mehreren Fraktionen**
- Verwendung von vordefinierten Standardsiebwerten
- Definition von individuellen, benutzerdefinierten Siebkurven
- Anpassung von Anteilen in Prozent oder mit der Maus durch "Drag and Drop"

■ **Vorhersage der Druckfestigkeit von Beton auf der Grundlage der Zementfestigkeit**

- Detaillierte Analysen wichtiger Frischbetonparameter wie z.B. Feinanteilgehalt / Mehlkorngelalt
- Hinweis auf Nichteinhaltung von Anforderungen an die Betonsorte

■ **Berechnung der Kosten für einen m³ Beton**

- Berechnung der Kosten für jede einzelne Komponente
- Grafische Darstellung der absoluten Kosten pro Komponente sowie der Kostenanteile

■ **Möglichkeit zur Berechnung verschiedener Chargengrößen**

- Detaillierte Mengenangaben für einzelne Komponenten
- Ist für Labormischungen als auch für Versuche in Grossanlagen geeignet

■ **Anzeige aller Frisch- und Festbetoneigenschaften**

- Vergleich verschiedener Beton-eigenschaften wie Ausbreitmass, Luftporengehalt, Druckfestigkeit usw.

5 EIGENSCHAFTEN VON FRISCHBETON UND TESTS

5.1 WASSERZEMENTWERT

Der Wasserzementwert (w/z) ist das Gewichtsverhältnis von wirksamem Wasser zu Zement im Frischbeton. Er wird berechnet, indem das Gewicht des gesamten wirksamen Wassers (w) durch das Gewicht des zugegebenen Zements (z) geteilt wird. Der k -Wert ist ein Konzept, das in der EN 206 erläutert wird (siehe Kapitel 11.1.5).

Die Gleichung für den w/z -Wert lautet daher:

$$w/z = \frac{W_{\text{wirk}}}{z} \text{ oder } \frac{W_{\text{wirk}}}{Z_{\text{eq}}} = \frac{W_{\text{irk}}}{z + (K \times \text{Typ II Zusatzstoff)}} \quad [5.1.1]$$

Der wirksame Wassergehalt w_{wirk} einer Mischung errechnet sich aus der Differenz zwischen der Gesamtwassermenge w_0 im Frischbeton und von der Gesteinskörnung aufgenommenen Wassermenge w_G (bestimmt nach EN 1097-6).

$$W_{\text{wirk}} = W_0 - W_G \quad [5.1.2]$$

Der erforderliche Wassergehalt wird durch die verwendeten Gesteinskörnungen, rundes oder gebrochenes Material und deren Zusammensetzung beeinflusst. Die Wahl des w/z -Wertes wird in erster Linie durch die Umwelteinflüsse (Expositionsklassen) nach EN 206 bestimmt.



Zur Bestimmung des Wassergehalts in einem Beton werden zwei Methoden verwendet. Das Grundprinzip besteht darin, das Wasser durch Trocknung zu verdampfen. Der Test kann entweder mit einem Gasbrenner oder einer Mikrowelle durchgeführt werden.

$$w_0 = \frac{m_f - m_{dry}}{m_f} * 100\% \quad [5.1.5]$$

w_0 Wassergehalt [%]

m_f Gewicht der Frischbetonprobe einschliesslich Prüfplatte

m_{dry} Gewicht der Probe des getrockneten Betons einschliesslich Prüfplatte

Die Dichte von Wasser wird mit $\rho_{water} = 1000 \text{ kg / m}^3$ festgelegt

Aus dem berechneten Wassergehalt in % und der Dichte des Frischbetons kann der Wassergehalt in kg / m^3 nach Gleichung 5.1.6 berechnet werden:

$$w_{(kg/m^3)} = w_0 * \rho / 100 \quad [5.1.6]$$

$w_{(kg/m^3)}$ Wassergehalt [kg / m^3]

w_0 Wassergehalt [%]

ρ Dichte des Frischbetons [kg / m^3]

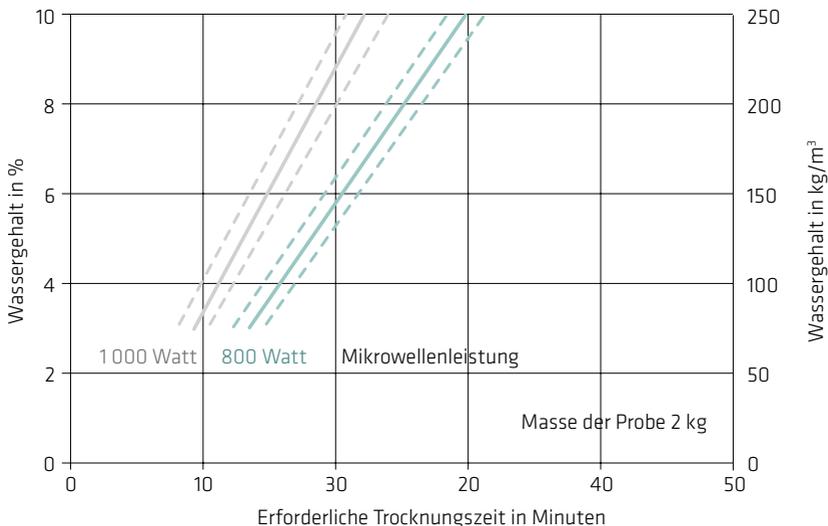


Abb. 5.1.1: Wassergehalt / Trocknungszeit

5.1.1 DARRVERSUCH

Das Gewicht der Darrpfanne (a) für die Prüfung des Wassergehalts muss im ersten Schritt gemessen werden. Eine Masse von ca. 10 kg (für die Prüfgenauigkeit) Beton (b) muss in die Darrpfanne gegeben werden. Nach 20 Minuten Erwärmung der Darrpfanne wird das Gewicht der Darrpfanne mit dem getrockneten Beton (c) gemessen. Die Differenz zwischen (a)+(b) und (c) ist der Wassergehalt des Betons.

Um sicherzustellen, dass der Beton trocken ist, wird das Gewicht des getrockneten Betons (nach den ersten 20 min) alle 5 min erneut bestimmt. Liegt die Differenz im Intervall von 5 Minuten das erste Mal unter 5 g, ist der Beton per Definition trocken.

Für die Messung der Frischbetondichte siehe Kapitel 5.6.

Kalkulation:

Wassergehalt:

$$w_0 = (m_0 - m_1) * \rho / m_0 \quad [\text{kg} / \text{m}^3] \quad [5.1.3]$$

w / z-Wert:

$$(w_0 - w_G) / z \quad [5.1.4]$$

ρ Dichte des Frischbetons $[\text{kg} / \text{m}^3]$	m_0 Probe nass $[\text{kg}]$	w_G absorbiertes Wasser $[\text{kg} / \text{m}^3]$
z Zementgehalt $[\text{kg} / \text{m}^3]$	m_1 Probe trocken $[\text{kg}]$	w_0 Wassergehalt $[\text{kg} / \text{m}^3]$

5.1.2 MIKROWELLENPRÜFUNG

Das Mikrowellenprüfverfahren für den Wassergehalt von Frischbeton basiert auf einer österreichischen Norm. Die maximale Korngrösse für diese Prüfung beträgt 32 mm. Die Zeit zwischen dem Mischen und der Prüfung des Betons darf 90 Minuten nicht überschreiten. Zudem darf die Prüfung nicht bei stahlfaserverstärktem Beton angewendet werden.

Für diese Prüfung wird eine Menge von ca. $2\,000 \pm 100$ g Frischbeton benötigt, die gleichmässig auf der Prüfplatte oder in der Silikonform verteilt werden muss. Das Gewicht (m_i) des Betons und der Platte muss mit einer Waage mit einer Genauigkeit von $\Delta \pm 1$ g gemessen werden.

Abbildung 5.1.1 zeigt die minimale Trocknungszeit in Abhängigkeit von der Leistung der Mikrowelle. Nach dieser Zeit wird das Gewicht der Platte mit dem getrockneten Beton gemessen und anschliessend weitere zwei Minuten in der Mikrowelle getrocknet.

Das aktuelle Gewicht und das gemessene Gewicht dürfen nicht mehr als 5 g voneinander abweichen. Andernfalls muss die Probe erneut getrocknet werden.

5.2 VERARBEITBARKEIT UND KONSISTENZ

Die Konsistenz bestimmt das Verhalten des Frischbetons beim Mischen, Umschlagen, Liefern und Einbringen auf der Baustelle sowie beim Verdichten und Glätten der Oberfläche. Die Verarbeitbarkeit ist also ein relativer Parameter und wird im Wesentlichen durch die Konsistenz definiert.

Anforderungen an die Verarbeitbarkeit:

- Kosteneffizientes Umschlagen, Fördern / Einbringen und Endverarbeiten des Frischbetons
- Möglichst plastische Konsistenz (Fließverhalten), durch den Einsatz von Fließmitteln
- Gute Kohäsion
- Geringe Entmischungsfahr, gute Abziehbarkeit / Taloschierbarkeit (Finishing-Eigenschaften) → Verzögerung / Sommerbeton
- Verlängerte Verarbeitbarkeit → Erstarrungs- und Erhärtungsbeschleunigung / Winterbeton
- Beschleunigter Abbinde- und Aushärtungsprozess

Die Konsistenz oder Verformbarkeit des Frischbetons kann, im Gegensatz zur Verarbeitbarkeit, genau gemessen werden. Die Norm EN 206 unterscheidet je nach Prüfverfahren zwischen 4 und 6 Konsistenzklassen und definiert Frischbetone von steif bis fließfähig. Die Konsistenzprüfungen gehören im Allgemeinen zu den Betonkontrollparametern, die in Vorversuchen für die jeweiligen Anwendungen ermittelt werden.

Faktoren, welche die Konsistenz beeinflussen:

- Kornform und Zusammensetzung der Sieblinie
- Zementgehalt und -art
- Wassergehalt
- Zusatzstoffen
- Zusatzmittel
- Temperatur
- Mischzeit und -intensität
- Zeitpunkt der Messung

Zeit und Ort der Prüfungen

Die Konsistenz des Betons sollte zum Zeitpunkt der Lieferung, d. h. vor dem Einbringen auf der Baustelle, bestimmt werden (Überwachung der Verarbeitbarkeit).

Wird die Konsistenz sowohl nach dem Mischvorgang (Überwachung der Produktionsregelmässigkeit) als auch vor dem Einbringen auf der Baustelle erfasst, ist ein direkter Vergleich der Konsistenzänderung in Abhängigkeit vom Frischbetonalter möglich.

Wird der Beton in einem Fahrmischer angeliefert, kann die Konsistenz an einer Stichprobe gemessen werden, die nach der Entleerung von etwa 0.3 m³ Material entnommen wird.

Prüfung der Konsistenz

Unter "Verarbeitbarkeit" versteht man das Verhalten des Frischbetons während des Mischens, des Umschlags, der Lieferung und des Einbringens an der Einbaustelle und anschliessend während der Verdichtung und der Oberflächenbehandlung. Sie ist ein Mass für die Verformbarkeit des Frischbetons und kann durch messbare Zahlen definiert werden.

Die Norm EN 206 teilt die Konsistenz je nach Prüfverfahren in 4 bis 6 Klassen ein. Diese können verwendet werden, um eine steife bis flüssige Konsistenz zu bestimmen und zu prüfen.

Prüfung der Konsistenz durch:

- Setzmass (siehe Seite 62)
- Verdichtungsmass (siehe Seite 63)
- Ausbreitmass (siehe Seite 64)
- Setzflussmass (siehe Seite 65)

Die Prüfhäufigkeit sollte sich an der Bedeutung des Bauwerks orientieren und so gestaltet sein, dass eine bestimmte Betonqualität gleichbleibend erzielt werden kann.

Kapitel 8 der EN 206 enthält detaillierte Informationen zu diesen Konformitätskontrollen.

Table 5.2.1: Toleranzen für Konsistenz-Zielwerte nach EN 206

Prüfverfahren	Verdichtungsmass			Ausbreitmass	Setzmass		
	≥ 1.26	1.25 ... 1.11	≤ 1.10		≤ 40 mm	50 ... 90 mm	≥ 100 mm
Zielwertbereich	≥ 1.26	1.25 ... 1.11	≤ 1.10	Alle Werte	≤ 40 mm	50 ... 90 mm	≥ 100 mm
Toleranz	± 0.10	± 0.08	± 0.05	± 30 mm	± 10 mm	± 20 mm	± 30 mm

Prüfung der Konsistenz mit dem Setzmass

Prinzip:

Der Frischbeton wird in eine hohlkegelförmige Form gegeben und verdichtet. Wenn die Form hochgezogen wird, ist das Setzmass ein Mass für die Konsistenz des Betons. Das Setzmass ist die Differenz in mm zwischen der Höhe der Form und der Höhe des Frischbetonkegels aus der Form.

EN 12350-2

Der gesamte Vorgang vom Beginn des Einfüllens bis zum Anheben der Form muss innerhalb von 150 Sekunden abgeschlossen sein. Die Prüfung ist nur dann gültig, wenn sie ein Setzmass ergibt, bei dem der Beton nach dem Entfernen der Form weitgehend intakt und symmetrisch bleibt, d. h. der Beton bleibt in Form eines Kegels (oder eines kegelähnlichen Körpers) stehen. Wenn der Beton abschert, muss eine weitere Probe genommen werden. Wenn die Probekörper in zwei aufeinanderfolgenden Tests abscheren, hat der Beton nicht die für den Setzversuch erforderliche Plastizität und Kohäsion.

Setzmassklassen

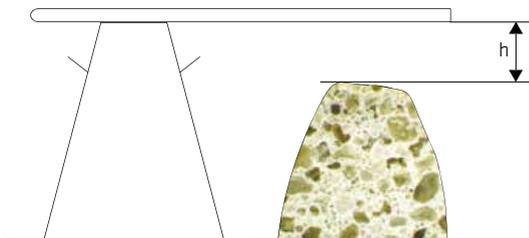


Abb. 5.2.1: Messung des Setzmasses

Formen des Setzmasses

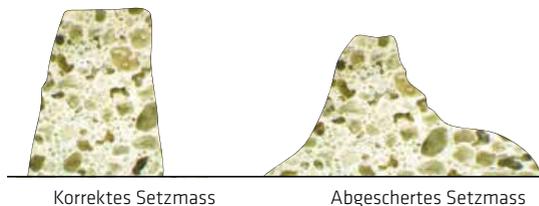


Abb. 5.2.2: Formen des Setzmasses

Setzmassklassen: Siehe Kapitel 11.1.3, Einteilung nach Konsistenzklassen, Seite 245

Prüfung der Konsistenz durch das Verdichtungsmass

Prinzip:

Der Frischbeton wird vorsichtig in den Stahlprüfbehälter gegeben, wobei eine Verdichtung vermieden werden muss. Wenn der Behälter voll ist, wird der Beton ohne Erschütterung bündig zum Rand abgezogen. Anschliessend wird der Beton verdichtet, z. B. mit einem Innenrüttler (Flaschendurchmesser max. 50 mm). Nach der Verdichtung wird der Abstand zwischen der Betonoberfläche und der Oberseite des Behälters in der Mitte aller 4 Seiten gemessen. Der gemessene Mittelwert (s) wird zur Berechnung des Verdichtungsmasses herangezogen.

EN 12350-4

Abmessungen des Behälters:

Bodenplatte 200 × 200 mm (±2 mm)
Höhe 400 mm (±2 mm)

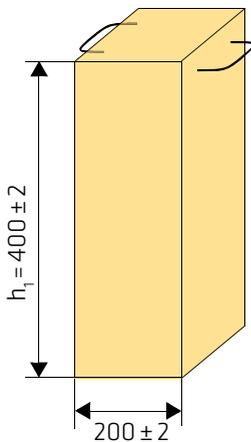
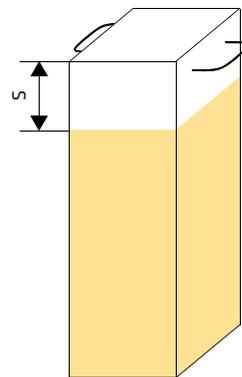


Abb. 5.2.3: Beton im Behälter vor dem Verdichten



Abmessungen in Millimetern

Abb. 5.2.4: Beton im Behälter nach dem Verdichten

Verdichtungsmass:

$$c = \frac{h_1}{h_1 - s} \quad [5.2.1]$$

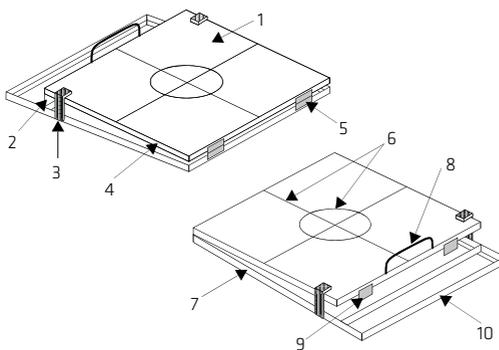
Verdichtungsklassen: Siehe Kapitel 11.1.3, Einteilung nach Konsistenzklassen, Seite 245

Prüfung der Konsistenz durch das Ausbreitmass

Prinzip:

Bei dieser Prüfung wird die Konsistenz von Frischbeton durch Messen der Ausbreitung von Beton auf einer horizontalen, flachen Platte bestimmt. Der Frischbeton wird zunächst in eine kegelförmige Form gefüllt (in 2 Lagen), leicht verdichtet und bündig mit der Oberseite der Form geglättet. Die Form wird dann vorsichtig senkrecht nach oben entfernt. Es muss gewartet werden, bis der Beton sich jeweils nicht mehr weiter absenkt, bevor die Platte manuell oder mechanisch 15 Mal bis zum oberen Anschlag angehoben und dann bis zum unteren Anschlag fallen gelassen. Das Ausbreitmass wird parallel zu den Seitenkanten durch das Mittelkreuz gemessen.

EN 12350-5



- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| 1 Metallplatte | 6 Markierung |
| 2 Hubhöhe (begrenzt auf 40 ± 1) | 7 Rahmen |
| 3 Oberer Stopper | 8 Handgriff |
| 4 Aufschlagplatte | 9 Unterer Stopper |
| 5 Scharniere (aussen) | 10 Fussraste |

Abb. 5.2.5: Ausbreittisch

Blechdicke der Stahlform
min. 1.5 mm

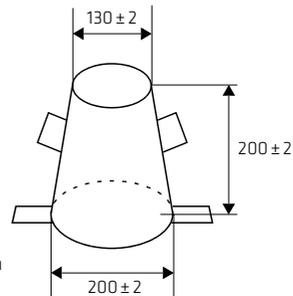


Abb. 5.2.6: Setzkegel

Ausbreitmassklassen: Siehe Kapitel 11.1.3, Einteilung nach Konsistenzklassen, Seite 245

Prüfung der Konsistenz durch Setzfließmass und t_{500}

Prinzip:

Bei dieser Prüfung wird die Konsistenz von sehr weichem Frischbeton, insbesondere auch selbstverdichtender Beton (SCC / SVB) durch Messen des Durchmessers von Beton auf einer horizontalen, flachen Platte bestimmt. Der Frischbeton wird zunächst in eine kegelförmige Form gegossen (ein Kegel ähnlich dem, der für das Ausbreitmass verwendet wird). Die Form wird dann vorsichtig senkrecht nach oben entfernt. Der Betonfluss wird anhand des grössten Durchmessers der Fließverteilung und dann des Durchmessers der Fließverteilung im rechten Winkel zur ersten Messung gemessen.

Beträgt die Differenz zwischen den beiden Messungen mehr als 50 mm, wird eine weitere Probe entnommen und das Verfahren wiederholt. Auf der Platte wird ein Ring mit 500 mm Durchmesser von der Mitte aus markiert. Die Zeit, die vom Anheben des Kegels bis zum ersten Kontakt des fließenden Betons mit dem Ring gemessen wird, ist die sogenannte t_{500} -Zeit.

EN 12350-8

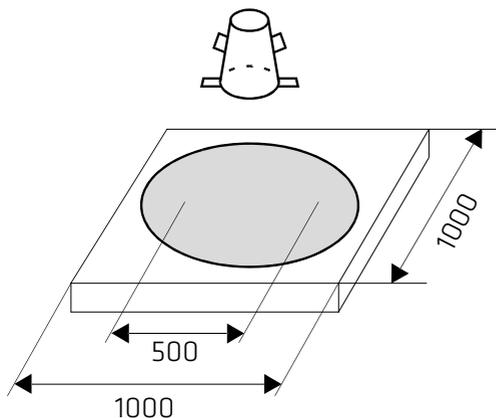


Abb. 5.2.7: Setzfließmass (Abmessungen in mm)

Eine alternative Methode, die manchmal angewandt wird, ist die Umkehrung des Kegels. Dies erleichtert die Arbeit, da die Form beim Befüllen nicht gehalten werden muss, aber es entspricht nicht der Norm.

Diese Methode ist sowohl für den Einsatz auf Baustellen als auch im Labor geeignet.

Weitere Hindernisse können durch einen Stahlring (J-Ring) mit zahnförmigem Stahl in der Mitte hinzugefügt werden, um das Fließverhalten um die Bewehrung zu simulieren.

Prüfung der Konsistenz durch den L-Kasten-Versuch

Prinzip:

Bei dieser Prüfung wird die Konsistenz von frischem, selbstverdichtendem Beton durch Messung des Betonflusses in einem L-Kasten bestimmt. Der frische Beton wird zunächst in den vertikalen Teil des Kastens gegossen. Nach dem Anheben der Sperre fließt der Beton in den horizontalen Teil des Kastens. Es wird die Höhe am vertikalen Abschnitt und die Höhe am Ende des horizontalen Abschnitts gemessen. Das Verhältnis dieser Höhen ist ein Maß für das Durchlass- oder Blockierverhalten des selbstverdichtenden Betons. In der Regel werden zwei Varianten dieses Tests angewandt:

Vorsatz mit zwei Stahlstäben und mit drei Stahlstäben. Der Test mit drei Stäben simuliert eine höhere Verengung durch die Bewehrung.

EN 12350-10

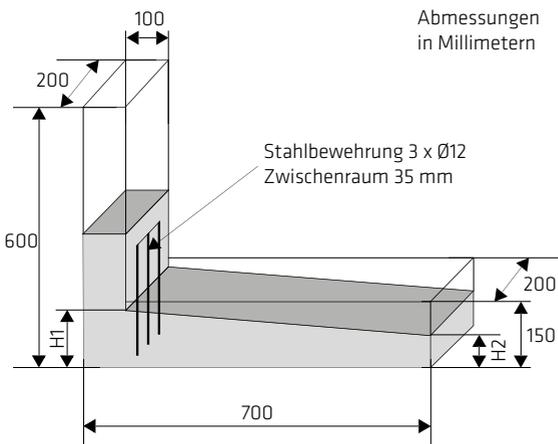


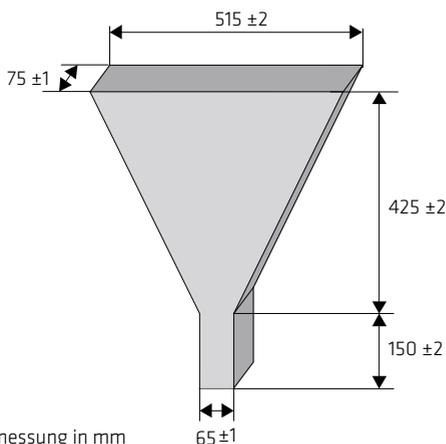
Abb. 5.2.8: L-Kasten-Versuch

Prüfung der Konsistenz durch den Auslauftrichterversuch (V-Funnel)

Prinzip:

Bei dieser Prüfung wird die Konsistenz von frischem, selbstverdichtendem Beton durch Messung des Betonflusses in einem V-förmigen Auslauftrichter bestimmt. Der frische Beton wird zunächst in den Auslauftrichter gegossen, welcher am unteren Ende mit einer Klappe verschlossen ist. Nach dem Öffnen der Klappe fließt der Beton aus dem Auslauftrichter. Die vom Öffnen der Klappe bis zur Entleerung des Auslauftrichters gemessene Zeit wird als Auslauftrichter-Fliesszeit erfasst. Dieser Versuch gibt Aufschluss über die Viskosität und das Füllvermögen von selbstverdichtendem Beton.

EN 12350-9



Abmessung in mm

Abb. 5.2.9: Auslauftrichter

Siebversuch zur Bestimmung der Sedimentationsstabilität

Prinzip:

Mit diesem Versuch wird der Widerstand von frischem, selbstverdichtendem Beton gegen Entmischung bestimmt. Eine Probe von ca. 10 l wird entnommen und 15 Minuten stehen gelassen. Nach dieser Wartezeit wird der selbstverdichtende Beton aus einer Höhe von ca. 50 cm auf ein Sieb geschüttet. Es müssen ca. 4.8 kg in einem Arbeitsgang auf das Sieb geschüttet werden.

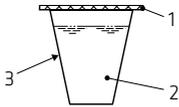


Abb. 5.2.10: Probenbehälter und Abdeckung

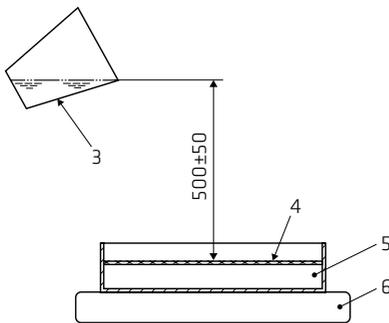


Abb. 5.2.11: Messung der Entmischung

- 1 Abdeckung
- 2 Beton
- 3 Probenbehälter
- 4 Sieb
- 5 Auffangbehälter
- 6 Waage

EN 12350-11

Die Entmischung SR wird anhand der folgenden Gleichung berechnet und auf 1% genau angegeben.

$$SR = \frac{(m_{ps} - m_p) * 100}{m_c} \quad [5.2.2]$$

SR Entmischung [%]

m_{ps} Masse des Siebauffangbehälters und des Durchgangs [g]

m_p Masse des Siebauffangbehälters [g]

m_c ursprüngliche Masse des auf das Sieb aufgebrauchten Betons [g]

5.3 BETONIEREN BEI HOHEN TEMPERATUREN

Das Betonieren bei hohen Temperaturen ist nur möglich, wenn besondere Schutzmassnahmen vorgesehen werden. Diese müssen vom Beginn der Betonherstellung bis zum Ende der Nachbehandlung eingehalten werden. Sie sind abhängig von der Aussentemperatur, der Luftfeuchtigkeit, den Windverhältnissen, der Frischbetontemperatur, der Wärmeentwicklung und -ableitung sowie den Abmessungen des Bauteils. Zum Beispiel muss der Beton während des Transports vor dem Austrocknen geschützt werden.

Der Frischbeton darf während des Einbringens und des Einbaus ohne Schutzmassnahmen nicht wärmer als +30 °C sein.

Mögliche Probleme

Bei Umgebungstemperaturen über 25 °C können folgende Probleme auftreten:

- Die Hydratation ist die chemische Reaktion von Zement und Wasser. Sie beginnt unmittelbar bei Kontakt, setzt sich über das Ansteifen bis zum Abbinden (Erstarrung) und schliesslich bei der Aushärtung des Zementleims fort.
- Alle chemischen Reaktionen werden bei erhöhten Temperaturen beschleunigt.

Durch das frühe Ansteifen ist das Einbringen des Betons nicht mehr möglich. Die üblichen Gegenmassnahmen sind die Verwendung von verzögernden Fließmitteln oder Fließmitteln in Kombination mit einem richtig dosierten Verzögerer. In einigen Fällen kann auch mit einem Konsistenzhalter gearbeitet werden.

Verzögerungsbegriffe und Dosierungstabellen

- **Ziel der Verzögerung:**
Verlängerung der Verarbeitbarkeitszeit bei einer bestimmten Temperatur.
- **Verarbeitbarkeitszeit:**
Die Zeit nach dem Mischen, in welcher der Beton problemlos vibriert werden kann.
- **Freie Verzögerung:**
Der Abbindebeginn setzt nach einer bestimmten Zeit mit Sicherheit ein.
- **Gezielte Verzögerung:**
Der Abbindebeginn setzt zu einer bestimmten Zeit ein.

Gewissheit gibt es nur durch gezielte Vorversuche! Die verzögernden Effekte sind sehr stark vom verwendeten Zement abhängig und allenfalls auch von den Zuschlägen und Zusatzstoffen.

Tabelle 5.3.1: Massgebliche Temperatur für Bauteile

Bauteil und Verzögerung	Massgebende Temperatur
Massige Betonquerschnitte	Frischbetontemperatur
Kleine Betonquerschnitte	Lufttemperatur am Einbauort
Die höhere Temperatur (Frischbeton- oder Lufttemperatur) ist bei massigen Betonquerschnitten mit langer Verzögerung und bei kleinen Betonquerschnitten mit kurzer Verzögerung entscheidend.	

Dosiertabelle für Beton mit freier Verzögerung

Die Verzögerung hängt sehr stark vom Zementtyp sowie auch dem Produktionswerk vom Zement und der Betonrezeptur ab. Vorversuche werden dringend empfohlen.

Tabelle 5.3.2: Dosierung von SikaTard® oder Sika® Retarder in % des Zementgewichtes (Beispiel)

Verzögerung [h]	Betontemperatur					
	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5
4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6
6	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8
8	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
10	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3
12	0.4	0.6	0.8	0.9	1.2	1.5
14	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.8
16	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	
18	0.6	0.9	1.1	1.4	1.7	
20	0.7	1.0	1.2	1.6		
24	0.8	1.1	1.5	1.8		
28	1.0	1.3	1.8			
32	1.2	1.5				
36	1.5	1.8				
40	1.8					

Die Dosierungen beziehen sich auf Beton mit 300 kg CEM I 42.5 N und w / z-Wert = 0.50. Bei erdfuchtem Beton muss die Dosierung um etwa 20% erhöht werden. Die Zahlen in dieser Tabelle sind Laborergebnisse und beziehen sich auf eine bestimmte Zementsorte und eine spezielle Formulierung des Verzögerers, die möglicherweise nicht überall erhältlich ist. Vorversuche zur Eignung sind immer notwendig.

Beeinflussende Faktoren

Verschiedene Faktoren beeinflussen die Verzögerung:

Einfluss der Temperatur

- Temperaturerhöhungen verkürzen und Temperatursenkungen verlängern die Verzögerung

Faustregel

- Jedes Grad unter 20 °C verlängert die Verzögerungszeit um etwa 1 Stunde
- Jedes Grad über 20 °C verkürzt die Verzögerungszeit um 0.5 Stunden

Zur Sicherheit: **Vorversuche!**

Kombination mit Betonverflüssiger / Fließmittel

- Bei einem nicht verzögerten Fließmittel verlängert SikaTard® / Sika® Retarder die Verzögerungszeit geringfügig
- Bei einem verzögerten Fließmittel verlängert SikaTard® / Sika® Retarder die Verzögerung weiter (kumulativ)
- **Sika ViscoFlow®** kann als hochleistungsfähiges Zusatzmittel zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit und Konsistenzhaltung verwendet werden, ohne dass der Abbindebeginn des Betons wesentlich verzögert wird

Es sollten **immer Vorversuche** durchgeführt werden.

Einfluss von Zement

Der Hydratationsprozess verschiedener Zemente kann aufgrund der unterschiedlichen Rohstoffe und Mahlfineiten variieren. Auch die verzögernde Wirkung unterliegt diesen Schwankungen, die bei Dosierungen von über 0.8% Verzögerer beträchtlich sein können. Die Tendenz:

- Reine, feine Portlandzemente: Verzögernde Wirkung verringert
- Größere Zemente und einige Mischzemente: Verzögernde Wirkung verlängert

Zur Sicherheit

- Vorversuche!
- Bei Verzögererdosierungen über 0.8% immer einen Vorversuch durchführen!

Einfluss des Betonvolumens

Wird ein ganzes Bauteil verzögert, hat das Volumen keinen Einfluss auf die Verzögerungswirkung. Während des Abbindens eines angrenzenden Bauteils (z. B. Nachtverzögerung in einer Fahrbahnplatte) ändert sich die "massgebliche Temperatur" in der Kontaktzone mit dem verzögerten nächsten Abschnitt (sie steigt an) und dies führt dazu, dass die Verzögerungswirkung abnimmt.

Merkmale des verzögerten Betons

■ Aushärtung

Beginnt die Aushärtung nach Beendigung der Verzögerung, erfolgt sie schneller als bei nicht verzögertem Beton.

■ Schwinden / Kriechen

Das Endswinden oder -kriechen ist geringer als bei nicht verzögertem Beton.

■ Frühes Schwinden

Durch Austrocknung während der Verzögerungszeit (Oberflächenverdunstung) können sich Risse infolge Frühschwindens bilden. Der Schutz vor Austrocknung ist für verzögerten Beton extrem wichtig! Eine korrekte Nachbehandlung ist unerlässlich!

Beispiele von Betonier-Etappen mit Verzögerung:

1. Nachtverzögerung:

■ Fundamentplatten

■ Decken, Träger usw.

Gegen Ende des normalen Betonierverlaufs werden 3 etwa 1.20 m breite Streifen mit zunehmender Verzögerung eingebaut.

1. Streifen: $\frac{1}{3}$ der Hauptdosis

2. Streifen: $\frac{2}{3}$ der Hauptdosis

3. Streifen: Hauptdosis aus Tabelle oder Vorversuchsergebnissen

Unterbrechung der Arbeiten über Nacht.

Wiederaufnahme der Arbeiten am nächsten Morgen:

Der 1. Streifen (neben dem 3. vom Vortag) wird mit $\frac{1}{3}$ der Hauptdosis verzögert

2. Verzögerung bei gleichzeitigem Abbindebeginn

Dies geschieht bei grossen Fahrbahndecken, Kellerdecken usw. Wichtige Vorbereitungen sind:

■ Legen Sie gemeinsam mit dem Ingenieur und dem Bauunternehmer ein genaues Betonierprogramm fest

■ Unterteilen Sie auf dieser Grundlage die Abschnitte und erstellen Sie einen Zeitplan

■ Ziel: alle Abschnitte binden gleichzeitig ab

■ Wenn die Zeiten feststehen, können die Dosierungen für die einzelnen Abschnitte auf der Grundlage von Vorversuchen und genauen Temperaturangaben festgelegt werden

Vorversuche

Die Vorversuche beziehen sich nur auf die für die verzögerte Etappe festgelegte Betonzusammensetzung:

- Gleicher w / z-Wert und gleiche Zementsorte bei gleicher Dosierung. Die Grenzen der Vibrierbarkeit müssen auf der Baustelle mit mehreren Betonproben pro Dosierung (in mindestens 20 Liter-Behältern) unter Temperaturbedingungen geprüft werden, die den Bedingungen beim Einbau so ähnlich wie möglich sind.

Vorgehensweise:

- Bestimmen Sie die Dosierung des Verzögerers anhand der Tabelle
- Füllen Sie mindestens fünf Behälter mit dieser Betonmischung
- Vibrieren Sie den Inhalt des ersten Behälters zwei Stunden vor dem angenommenen Abbindebeginn
- Nach jeder weiteren Stunde wird der nächste Behälter vibriert (der Inhalt jedes Behälters wird nur einmal vibriert)
- Wenn der Inhalt eines Behälters nicht mehr vibriert werden kann, hat der Abbindevorgang begonnen
- Notieren Sie die sich ergebenden Zeiten und überprüfen Sie, ob sie mit den Vorhersagen (in der Tabelle) übereinstimmen
- Wenn die Unterschiede zu gross sind, wiederholen Sie die Tests mit einer angepassten Dosierung

MASSNAHMEN FÜR VERZÖGERTEN BETON

Die Schalung

Holzschalungen, die zum ersten Mal verwendet werden, können aufgrund von Holzzucker auf der Oberfläche unansehnliche Flecken, Oberflächenstaub usw. verursachen, insbesondere im Bereich der Äste.

Stark saugende, unzureichend befeuchtete und nicht ordnungsgemäss mit Trennmittel behandelte Holzschalungen entziehen der Betonoberfläche viel zu viel Wasser. Absanden und Abstauben sind die Folge. Diese Schäden sind bei verzögertem Beton grösser, weil die negativen Auswirkungen länger anhalten. Richtig vorbereitete und mit **Sika® Separol®** behandelte Holzschalungen ergeben auch bei verzögertem Beton gute, saubere Oberflächen.

Verdichtung und Nachbehandlung

Verzögerter Beton muss verdichtet werden. Die folgende Etappe (z. B. am nächsten Morgen) wird zusammen mit der "alten Schicht" vibriert. Verzögerte Flächen werden verdichtet und gemeinsam bearbeitet. Die Nachbehandlung ist enorm wichtig, damit der verzögerte, verdichtete und nun ruhende Beton so wenig Feuchtigkeit wie möglich verliert.

Die besten Methoden für verzögerte Oberflächen (Böden usw.) sind:

- Abdecken mit Kunststofffolie oder Thermomatten

An verzögerten Bereichen, die erneut zu vibrieren sind:

- Vollständige Abdeckung mit Kunststofffolien oder feuchter Jute. Vor Zugluft schützen. Zusätzliche Oberflächenbewässerung (z. B. Vernebelung) kann zu Auswaschungen führen.

5.4 BETONIEREN BEI TIEFEN TEMPERATUREN

Erhärtungsbeschleunigung / Winterbeton

Der Beton muss während des Transports vor Regen und Frost geschützt werden. Das Betonieren ist bei unter null Grad nur unter besonderen Schutzmassnahmen zulässig. Diese müssen vom Beginn der Betonherstellung bis zum Ende der Nachbehandlung vorhanden sein. Sie sind abhängig von der Aussentemperatur, der Luftfeuchtigkeit, den Windverhältnissen, der Frischbetontemperatur, der Wärmeentwicklung und -abgabe sowie den Abmessungen des Betonbauteils. Der Frischbeton darf während des Einbringens und der Verarbeitung ohne zusätzliche Schutzmassnahmen nicht kälter als + 5 °C sein. Das Anmachwasser und die Gesteinskörnungen müssen gegebenenfalls vorgewärmt werden.

Herausforderung

Niedrige Temperaturen verzögern das Abbinden des Zements. Bei Temperaturen unter -10 °C kommen die chemischen Prozesse des Zements zum Stillstand (werden aber nach Erwärmung fortgesetzt). Gefährliche Situationen entstehen, wenn Beton während des Abbindens gefriert, d. h. ohne eine bestimmte Mindestfestigkeit zu haben. Es kommt zu Gefügestörungen und -lockerungen, die zu einem Festigkeits- und Qualitätsverlust führen. Erfahrungsgemäss liegt die Mindestfestigkeit, bei welcher der Beton einen einmaligen Gefriervorgang schadlos überstehen kann, die sogenannte Gefrierbeständigkeit, bei > 5 N / mm² (Sika-Empfehlung > 10 N / mm²). Das Hauptziel muss sein, diese Gefrierbeständigkeit so schnell wie möglich zu erreichen.

Die Temperatur T_{Mischung} des Frischbetons kann mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$T_{\text{Mischung}} = \frac{c * c_z * T_z + a * c_a * T_a + w * c_w * T_w + W_a * c_w * T_a}{z * c_z + a * c_a + (w + W_a) * c_w} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad [5.4.1]$$

z	Zementgehalt [kg / m ³]	c_a	spezifische Wärmekapazität der Gesteinskörnung
a	Gesteinskörnung [kg / m ³]	Quarz	0.80 kJ / (kg·K)
w	Wasser [kg / m ³]	Kalkstein	0.85 bis 0.92 kJ / (kg·K)
w_a	Wasser in der Gesteinskörnung als Oberflächen- und Kernfeuchte [kg / m ³]	Granit	0.75 bis 0.85 kJ / (kg·K)
T_c	Zementtemperatur [°C]	Basalt	0.71 bis 1.05 kJ / (kg·K)
T_a	Gesteinskörnung-Temperatur [°C]	c_w	spezifische Wärmekapazität von Wasser 4.19 kJ / (kg·K)
T_w	Wassertemperatur [°C]		
c_z	spezifische Wärmekapazität von Zement 0.72 bis 0.92 kJ / (kg·K)		

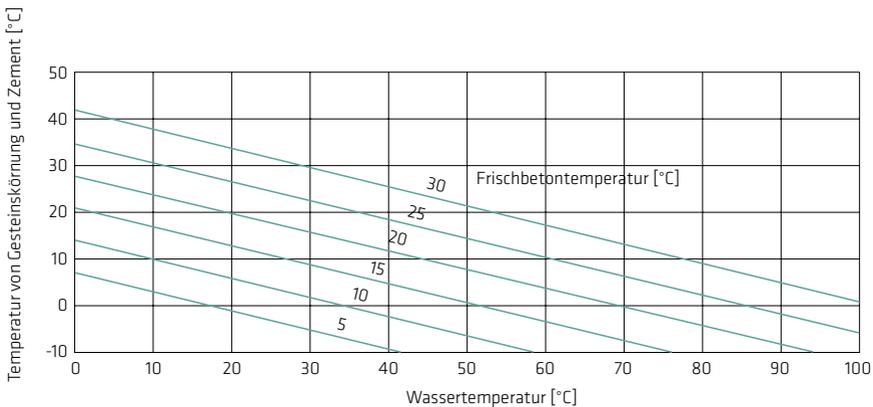


Abb. 5.4.1: Frischbetontemperatur

MASSNAHMEN

1. Mindesttemperatur

Nach EN 206 darf die Frischbetontemperatur bei der Anlieferung nicht unter + 5 °C liegen. (Bei dünnen, fein strukturierten Elementen und Umgebungstemperaturen von - 3 °C oder darunter, eine Frischbetontemperatur von + 10 °C, die 3 Tage lang gehalten werden muss!) Diese Mindesttemperaturen sind wichtig, damit die Aushärtung überhaupt stattfinden kann. Der Beton muss während des Transports und nach dem Einbringen vor Wärmeverlusten geschützt werden.

2. Senkung des w / z-Wertes

Ein möglichst geringer Wassergehalt führt zu einem schnellen Anstieg der Frühfestigkeit. Zudem ist weniger Feuchtigkeit vorhanden, die gefrieren könnte. Fließmittel ermöglichen einen niedrigen w / z-Wert bei gleichzeitig guter Verarbeitbarkeit.

3. Erhärtungsbeschleunigung

Die Verwendung von SikaRapid® oder Sika® Frostschutz ermöglicht eine maximale Erhärtungsbeschleunigung bei hohen Anforderungen an die Frühfestigkeit.

Tabelle 5.4.1: Zeit bis zum Erreichen von 10 N / mm² bei 0 °C in Tagen (Beispiel)

Beton	Zeit in Tagen	
	Kontrollmischung	Mit 1% SikaRapid®
CEM I 300 kg / m ³ w / z = 0.40	4 Tage	1 Tag
CEM I 300 kg / m ³ w / z = 0.50	8 Tage	2 Tage

4. Verwendung von schnell abbindenden Zementen

Die feiner gemahlene, hochwertigen Zemente sind dafür bekannt, dass sie einen schnelleren Anstieg der Frühfestigkeit bewirken. Fließmittel garantieren dabei die beste Verarbeitbarkeit bei einem niedrigen w / z-Wert.

Schutzmassnahmen auf der Baustelle:

1. Es darf nicht gegen oder auf gefrorenem Beton betoniert werden.
2. Die Temperatur der Stahlbewehrung muss mehr als 0 °C betragen.
3. Bauen Sie den Beton schnell ein und schützen Sie ihn sofort vor Wärmeverlust und Verdunstung (genauso wichtig wie im Sommer!). Am besten eignen sich hierfür Wärmedämmplatten.
4. Für Decken: Beheizen Sie die Schalung ggf. von unten.
5. Prüfen Sie regelmässig die Luft- und Umgebungstemperatur, die Betontemperatur und die Festigkeitsentwicklung (z. B. mit einem Prellhammer).
6. Verlängern Sie die Ausschalzeiten!

Beispiel

Ausstemperatur -5 °C und Frischbetontemperatur +11 °C.

Bauteil	Absinken der Betontemperatur auf +5 °C innerhalb von	
Betondecke d = 12 cm auf Holzschalungen	~ 4 Stunden ohne Wärmedämmplatten	~ 16 Stunden mit Wärmedämmplatten

Schlussfolgerung:

Wintermassnahmen müssen von allen Beteiligten frühzeitig geplant und organisiert werden.

5.5 FRISCHBETON-LUFTPORENGEHALT

Bestimmung des Luftgehaltes

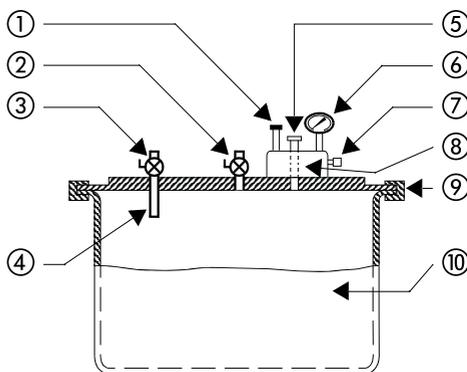
Es gibt zwei Testmethoden mit Geräten, die nach dem gleichen Prinzip funktionieren (Gesetz von Boyle-Mariotte): die Wassersäulenmethode und die Druckausgleichsmethode. Die folgende Beschreibung bezieht sich auf die Druckausgleichsmethode, da diese am häufigsten verwendet wird.

Prinzip:

Ein bekanntes Luftvolumen mit bekanntem Druck wird mit dem unbekanntem Luftvolumen der Betonprobe in einer dicht verschlossenen Kammer ausgeglichen. Die Skalenteilung des Manometers für den resultierenden Druck ist auf den prozentualen Luftgehalt der Betonprobe kalibriert.

EN 12350-7

1. Pumpe
2. Ventil B
3. Ventil A
4. Ausdehnungsröhrchen für Überprüfung während der Kalibrierung
5. Hauptluftventil
6. Manometer / Druckmesser
7. Luftauslassventil
8. Luftkammer
9. Klemmenverschluss
10. Behälter



Luftporenprüfbehälter für Normalbeton haben normalerweise ein Fassungsvermögen von 8 Litern. Die Verdichtung kann mit einem Innenrüttler oder einem Tischrüttler durchgeführt werden. Bei der Verwendung von Innenrüttlern ist darauf zu achten, dass künstlich eingeführte Luftporen nicht durch Übervibrieren ausgetrieben wird.

Beide Verfahren eignen sich nicht für Beton, der mit Leichtzuschlägen, luftgekühlten Hochofenschlacken oder hochporösen Gesteinskörnungen hergestellt wurde.

5.6 FRISCHBETON-ROHDICHTE

Bestimmung der Frischbetonrohichte

Prinzip:

Der Frischbeton wird in einem festen, wasserdichten Behälter verdichtet und anschließend gewogen.

EN 12350-6

Die kleinste Abmessung des Behälters muss mindestens das Vierfache der maximalen Nenngröße der groben Gesteinskörnung im Beton betragen, darf jedoch nicht unter 150 mm liegen. Das Fassungsvermögen des Behälters muss mindestens 5 Liter betragen. Die Oberkante und der Boden müssen parallel ausgerichtet sein.

(Als sehr geeignet haben sich auch Luftporen-Prüftöpfe mit einem Fassungsvermögen von 5 oder 8 Liter erwiesen.)

Die Verdichtung des Betons erfolgt mechanisch mit einem Innenrüttler, Tischrüttler oder manuell mit einem Stab oder Stampfer.

$$\rho = \frac{m_t - m_{\text{Topf}}}{V_{\text{Topf}}} * 1000 \quad [\text{kg} / \text{m}^3] \quad [5.6.1]$$

ρ	Dichte [kg / m ³]
m_t	Gesamtgewicht [kg]
m_{Topf}	Gewicht Luftporen-Prüftopf [kg]
V_{Topf}	Volumen Luftporen-Prüftopf [l]

5.7 FRISCHBETON-TEMPERATUR

Die Frischbetontemperatur darf nicht zu niedrig sein, damit der Beton schnell genug an Festigkeit gewinnt und nicht schon im Frühstadium Frostschäden erleidet.



Dazu gehört:

- Die Frischbetontemperatur darf während des Einbaus nicht unter +5 °C sinken
- Der frisch eingebrachte Beton muss vor Frost geschützt werden. Die Gefrierbeständigkeit wird bei einer Druckfestigkeit von ca. 10 N / mm² erreicht (Empfehlung von Sika)
- Andererseits können zu hohe Betontemperaturen zu Problemen beim Verarbeiten und zur Verschlechterung bestimmter Festbetoneigenschaften führen. Um dies zu vermeiden, darf die Frischbetontemperatur beim Einbringen und beim Verarbeiten nicht über +30 °C steigen

Vorsichtsmassnahmen bei niedrigen Temperaturen

- Siehe Winterbeton bei kalten Umgebungstemperaturen, siehe Kapitel 5.4

Vorsichtsmassnahmen bei hohen Temperaturen

- Siehe Sommerbeton bei warmen Umgebungstemperaturen, siehe Kapitel 5.3

5.8 KOHÄSION UND BLUTEN

Die Homogenität und die innere Kohäsion des Betons sind die entscheidenden Faktoren für einen leicht zu verarbeitenden und dauerhaften Beton. Ist die innere Kohäsion schlecht und / oder die Homogenität unzureichend, kann es zu Entmischung, Bluten und Gefügestörungen kommen und die Struktur des Betons wird geschädigt.



KOHÄSION

Verbesserung von Kohäsion / Homogenität:

- Überprüfung der Rezeptur hinsichtlich Zementleim und Mehlkorngehalt (< 0.125 mm)
 - Anpassung der Siebkurve der Gesteinskörnungen
 - Erhöhung des Feinanteils (Mehlkorn & feiner Sand)
- Angestrebte niedrige w / z-Werte bei gleichzeitig weicher / flüssiger Konsistenz
- **Sika® ViscoCrete®**-Technologie
- Verwendung eines wasserrückhaltenden / viskositätsverändernden Zusatzmittels (VMA)
→ **Sika® Stabilizer Pump / Sika® Stabilizer**
- Verwendung eines Luftporenbildners → **SikaControl® AER / Sika® Fro-V**

Eine unzureichende innere Kohäsion und / oder eine unzureichende Homogenität führen zu:

- Trennung des Betons
- Entmischung des Betons
- Gefügestörungen können auftreten und die Struktur des Betons wird beschädigt
- Behinderung beim Einbringen des Betons

BLUTEN

Bluten ist das Absondern von Wasser an der Oberfläche, das durch die Trennung des Betons verursacht wird. Es tritt häufig als Folge eines Mangels an Feinanteilen in der Gesteinskörnung und bei Mischungen mit niedrigem Zement- oder hohem Wassergehalt auf.

Ursachen für Bluten:

- Mangel an Feinanteilen in den Gesteinskörnungen
- Zementarme Mischungen
- Mischungen mit hohem Wassergehalt
- Mischungen mit geringem Feingehalt
- Schwankungen in der Rohstoffdosierung durch unsachgemässe Chargen
- Überdosierung von Fließmittel

Konsequenzen:

- Unregelmässige, abgesandete, poröse Betonoberfläche
- Unzureichende Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse und mechanische Abnutzung der Betonoberfläche
- Ausblühungen auf der Betonoberfläche und Wolkenbildung

Möglichkeiten zur Verringerung von Bluten:

- Optimierung der Siebkurve
- Verringerung des Wassergehalts
- Verwendung eines viskositätsverändernden Zusatzmittels (VMA)
- Erhöhung des Bindemittelanteils



6 ANWENDUNG VON BETON

6.1 KRANBETON

Kranbeton ist ein Orts- oder Transportbeton, der mit Kran und Kübel eingebracht wird. Der Beton wird durch einen Auslass am Boden des Kübels in die Schalung gegossen.

Diese Anwendungsmethode ist weit verbreitet und erfordert keine spezielle Betonrezeptur. In der Tat können fast alle Betonarten mit dieser Methode eingebaut werden, sobald der Beton eine Mindestkonsistenz aufweist.



Die Vielseitigkeit dieser Anwendungsmethode und die Tatsache, dass keine spezielle Betonrezeptur erforderlich ist, sind die grössten Vorteile. Dadurch sind Kranbetonanwendungen äusserst wirtschaftlich. Zudem ist es eine sehr einfache Einbauart, denn sobald ein Kran auf der Baustelle vorhanden ist, kann der Unternehmer jede Art von Beton mit dem Kübel einbringen. Fast jede Art von Beton lässt sich auf diese Weise einbringen, wie zum Beispiel:

- Beton mit geringer Fließfähigkeit bis hin zu selbstverdichtendem Beton
- Beton mit geringer bis hoher Festigkeit
- Jede Art von Beton hinsichtlich Expositionsklassen und Dauerhaftigkeitsanforderungen

Darüber hinaus hat diese Einbauart keinen Einfluss auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften wie Luftporengehalt oder Endfestigkeit.

Die Methode des Einbringens von Beton mit Kran und Kübel ist hinsichtlich der Betonmenge, die in einem bestimmten Zeitraum aufgebracht werden kann, begrenzt. Wenn grössere Mengen an Beton eingebaut werden müssen, ist diese Methode ungünstig, denn die Kübelkapazität ist begrenzt und der Beton kann nur immer schrittweise transportiert werden.

Da fast alle Betonsorten in Bezug auf Frisch- und Festbetoneigenschaften mit Kran und Kübel eingebaut werden können, gibt es eine grosse Auswahl an Sika-Betonzusatzmitteln, die eingesetzt werden können.

Beim Einbringen von Kranbeton müssen grosse Fallhöhen vermieden werden, insbesondere bei Sichtbeton, sehr weichem Beton und selbstverdichtendem Beton. Grosse Fallhöhen können zu einer Entmischung des Frischbetons führen, was durch die Verwendung von Füllrohr abgemildert werden sollte.



6.2 PUMPBETON

Das Pumpen von Beton ist eine sehr effiziente Methode, um besonders grosse Betonmengen schnell zu fördern. Diese Methode erfordert im Wesentlichen eine geeignete Betonrezeptur, damit der Beton ohne Entmischung und Verstopfung der Leitungen gepumpt werden kann.

Pumpbeton bietet den Vorteil einer hohen Betoneinbaurate und einer grossen Flexibilität auf der Baustelle.



ZUSAMMENSETZUNG:

Gesteinskörnung

- Max. Korndurchmesser $< \frac{1}{3}$ des Rohrdurchmessers
- Der Feinmörtel in der gepumpten Mischung muss einen guten Zusammenhang aufweisen, um eine Entmischung des Betons während des Pumpvorgangs zu verhindern.

Table 6.2.1: Richtwerte für den Mehlkorngelalt (Materialanteil < 0.125 mm) nach SN EN 206

Max. Korndurchmesser	8 mm	16 mm	32 mm
Feinanteil	450 kg / m ³	400 kg / m ³	350 kg / m ³

Table 6.2.2: Sika Empfehlung für den Mehlkorngelalt

Maximaler Korndurchmesser	Runde Gesteinskörnungen	Gebrochene Gesteinskörnungen
8 mm	500 kg / m ³	525 kg / m ³
16 mm	425 kg / m ³	450 kg / m ³
32 mm	375 kg / m ³	400 kg / m ³

Pumpbeton sollte nach Möglichkeit aus verschiedenen einzelnen Sand- und Gesteinskörnungsfractionen zusammengesetzt sein. Wichtig ist dabei eine kontinuierlich abgestufte Siebkurve.

Der Anteil von 4 – 8 mm sollte niedrig gehalten werden, aber es sollte keine Ausfallkörnung geben.

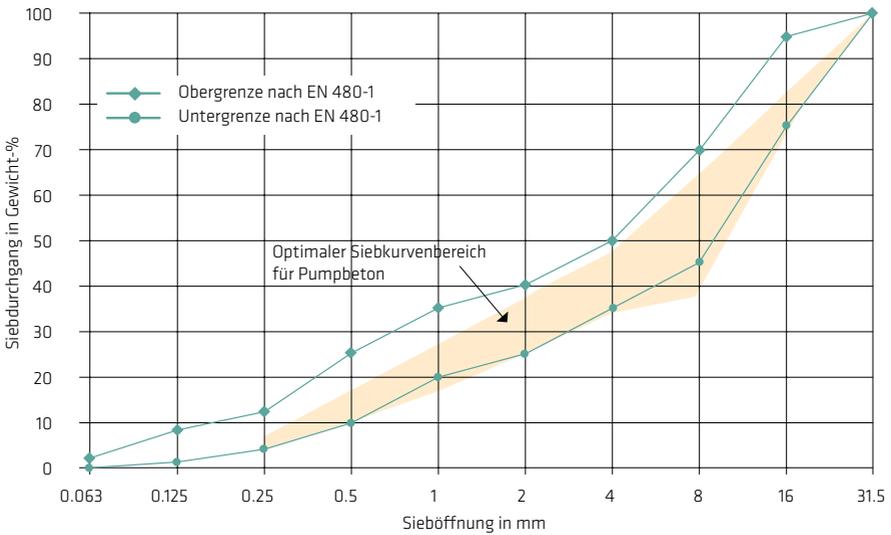


Abb. 6.2.1: Optimaler Siebkurvenbereich für Pumpbeton

Zement

Tabelle 6.2.3: Sika Empfehlung für den Zementgehalt

Maximaler Korndurchmesser	Runde Gesteinskörnungen	Gebrochene Gesteinskörnungen
8 mm	380 kg / m ³	420 kg / m ³
16 mm	330 kg / m ³	360 kg / m ³
32 mm	300 kg / m ³	330 kg / m ³

Wassermenge (w / z-Wert)

Wenn der Wassergehalt zu hoch ist, kommt es beim Pumpen zu Entmischungen und zum Bluten, was zu Stopfern führen kann. Der Wassergehalt muss immer durch den Einsatz von Fließmitteln reduziert werden.

Verarbeitbarkeit

Der Frischbeton muss eine weiche Konsistenz mit gutem Zusammenhalt aufweisen. Idealerweise sollte die Konsistenz des Pumpbetons durch das Ausbreitmass oder des Verdichtungs masses bestimmt werden.

Frischbetonkonsistenz

Prüfverfahren	Konsistenzklasse	Messgrösse
Ausbreitmass	F3 – F5	42 – 55 cm

Pumpmittel

Ungünstige Gesteinskörnungen, schwankende Rohstoffe, lange Lieferwege oder hohe Einbauleistungen erfordern den Einsatz eines Pumpmittels. Dies verringert die Reibung und den Widerstand in der Leitung, somit reduziert sich der Verschleiss an der Pumpe sowie den Leitungen und erhöht die Fördermenge.

Pumpleitungen

Durchmesser von 80 bis 200 mm (übliche Durchmesser 100 und 125 mm):

- Je kleiner der Durchmesser, desto anspruchsvoller die Förderung (Oberfläche / Querschnitt)
- Die Kupplungen müssen dicht schliessen und fest sitzen, um Verluste an Druck und Zementleim zu vermeiden
- Die ersten Meter müssen so waagrecht wie möglich und ohne Biegungen verlaufen, besonders wichtig vor Steigleitungen
- Schützen Sie die Leitungen im Sommer vor starker Sonneneinstrahlung

Schmiermischungen

Die Schmiermischung soll die Innenwände des Rohrs mit einer feinanteilreichen Schicht überziehen, um ein leichtes Pumpen von Anfang an zu ermöglichen:

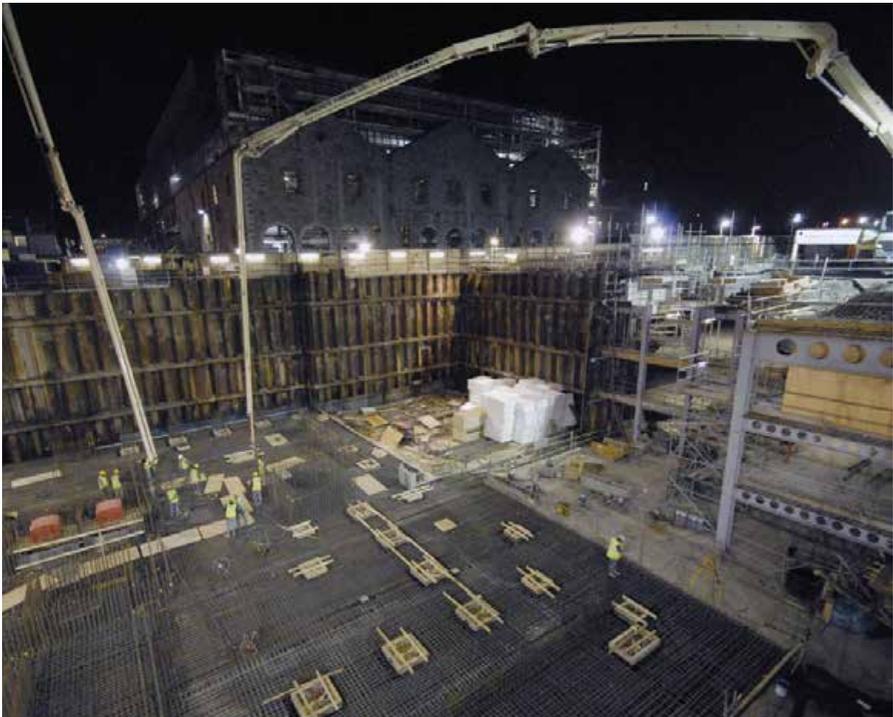
- Konventionelle Mischung: Mörtel 0 – 4 mm, Zementgehalt wie bei der folgenden Betongüte oder etwas höher
- Menge abhängig von Durchmesser und Leitungslänge
- Schmiermischung hergestellt mit **SikaPump® Start-1**

Einfluss des Luftgehalts auf den Beton

Frost-Tausalzbeständiger Beton mit Mikroporen kann gut gepumpt werden, wenn der Luftgehalt < 5% bleibt, da bei höherem Luftgehalt eine "Federwirkung" erzeugt werden kann.

Verwendung von Sika Produkten

Produktename	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Wasserreduzierung, erhöhte Festigkeit und Dichtigkeit bei garantierter Konsistenz (Verarbeitbarkeit) und Pumpbarkeit
Sika ViscoFlow®	Zusatzmittel zur Verbesserung der Konsistenzhaltung	Verlängerte Verarbeitbarkeitszeit, Wasserreduzierung
SikaFume®	Silikastaub	Hohe Festigkeit, erhöhte Dichtigkeit, verbesserte Pumpbarkeit
Sika® Stabilizer Pump	Pumphilfe	Unterstützt das Pumpen bei ungünstigen Gesteinskörnungen und schützt die Anlage vor übermässigem Verschleiss
Sika® Stabilizer	Viskositätsmodifizierer	Bewahrt die interne Kohäsion, unterstützt das Pumpen bei schwierigen Gesteinskörnungen und schützt die Anlage vor übermässigem Verschleiss
SikaPump® Start-1	Anpumphilfe	Erzeugt einer Schmiermischung auf die Rohrwände; erleichtert das problemlose Pumpen von zementhaltigen Mischungen



6.3 SELBSTVERDICHTENDER BETON (SVB / SCC)

Selbstverdichtender Beton (SVB / SCC) ist ein innovativer Beton, der beim Einbringen und Verdichten nicht vibriert werden muss. Er fließt unter seinem eigenen Gewicht, füllt die Schalung vollständig aus und erreicht eine vollständige Verdichtung, selbst bei engmaschiger Bewehrung. Der Festbeton ist dicht und homogen und hat die gleichen technischen Eigenschaften und die gleiche Dauerhaftigkeit wie konventioneller Beton, der vibriert werden muss für die Verdichtung.



Selbstverdichtender Beton (SVB / SCC) hat aufgrund eines höheren Bindemittelgehalts und einer anderen Siebkurve einen höheren Mehlkornanteil als herkömmlicher Beton. Diese Anpassungen in Kombination mit speziell angepassten Fließmitteln sorgen für ein einzigartiges Fließvermögen und Eigenverdichtverhalten.

Selbstverdichtender Beton eröffnet neue Möglichkeiten jenseits konventioneller Betonanwendungen:

- Verwendung bei engmaschiger Bewehrung
- Für komplexe geometrische Formen
- Für schlanke Bauteile
- Im Allgemeinen dort, wo die Verdichtung von Beton erschwert ist
- Für Spezifikationen, die ein homogenes Betongefüge erfordern
- Für hohe Einbauleistungen
- Zur Reduktion der Lärmbelastung (Vibrieren eliminieren oder reduzieren)
- Zur Reduktion der gesundheitlichen Belastung (Vibrationssyndrom)

ZUSAMMENSETZUNG

Gesteinskörnung

Kleinere maximale Korngrößen von ca. 12 bis 20 mm sind vorzuziehen, aber prinzipiell sind alle Gesteinskörnungen möglich.

Beispiel für die Korngrößenverteilung

Kornfraktion	SCC 0 / 8 mm	SCC 0 / 16 mm	SCC 0 / 32 mm
0 / 4 mm	60%	53%	45%
4 / 8 mm	40%	15%	15%
8 / 16 mm	-	32%	15%
16 / 32 mm	-	-	25%

Mehlkorgehalt ≤ 0.125 mm (Zement, Zusatzstoffe und Feinanteile)

SCC 0 / 4 mm	≥ 650 kg / m ³
SCC 0 / 8 mm	≥ 550 kg / m ³
SCC 0 / 16 mm	≥ 500 kg / m ³
SCC 0 / 32 mm	≥ 475 kg / m ³



Bindemittelgehalt

Ausgehend vom Feinanteilgehalt können in Abhängigkeit von der geforderten Betonqualität und dem maximalen Korndurchmesser folgende Bindemittelgehalte ermittelt werden:

Zement und Zusatzstoffe (insgesamt)	
SCC 0 / 4 mm	550 – 600 kg / m ³
SCC 0 / 8 mm	450 – 500 kg / m ³
SCC 0 / 16 mm	400 – 450 kg / m ³
SCC 0 / 32 mm	375 – 425 kg / m ³

Wassergehalt

Der Wassergehalt in SCC hängt von den Anforderungen an die Betonqualität ab und kann wie folgt definiert werden:

Wassergehalt	
≥ 200 l / m ³	Niedrige Betonqualität
180 bis 200 l / m ³	Standard-Betonqualität
≤ 180 l / m ³	Hohe Betonqualität

Betonzusatzmittel

Um die Frischbetoneigenschaften von selbstverdichtendem Beton zu gewährleisten, ist der Einsatz eines leistungsstarken Fließmittels auf Basis von Polycarboxylatether (PCE), wie die **Sika® ViscoCrete®**-Technologie, zwingend erforderlich. Auf diese Weise kann der Wassergehalt niedrig gehalten und die Homogenität sowie die Viskosität eingestellt werden.

EINBAU VON SVB / SCC

Schalung

Die Schalung für SVB / SCC muss sauber und dicht sein. Der Schalungsdruck kann höher sein als bei normalem Rüttelbeton. Er ist abhängig von der Viskosität des Betons, der Einbaugeschwindigkeit und dem Füllpunkt. Das gesamte hydrostatische Druckpotenzial des Betons sollte für die allgemeine Schalungsplanung und -dimensionierung verwendet werden.

Einbringmethode

Selbstverdichtender Beton wird auf die gleiche Weise wie herkömmlicher Beton eingebaut. SCC darf nicht frei aus grosser Höhe fallen gelassen werden. Das optimale Fliesspotential und Oberflächenbild wird durch den Einbau mit einem Füllstutzen von unten oder durch Füll-Rohre, die bis unter die Betonoberfläche reichen, erreicht.

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete®	Fliessmittel	Erhöhte Festigkeit und Dichtigkeit, Hohe Wasserreduktion, Verbessert das Eigenverdichtungs- und das Entlüftungsverhalten
Sika ViscoFlow®	Zusatzmittel zur Verbesserung der Konsistenzhaltung	Verlängerte Verarbeitbarkeitszeit, Wasserreduzierung
SikaFume®	Silikastaub	Hohe Festigkeit, erhöhte Dichtigkeit und unterstützt die Stabilität der eingeführten Luft
Sika® Stabilizer Pump	Pumpmittel	Unterstützt das Pumpen bei ungünstigen Gesteinskörnungen und schützt die Anlage vor übermässigem Verschleiss
Sika® Stabilizer	Viskositätsmodifizierer (VMA)	Steigert den Zusammenhalt Mehlkorersatz



6.4 BETON FÜR VERKEHRSFLÄCHEN

Beton für Verkehrsflächen ist vielseitig einsetzbar und wird aufgrund seiner Dauerhaftigkeit und weiterer Vorteile häufig als Alternative zu Schwarzbelägen eingesetzt. Die Anwendungsgebiete von Beton für Verkehrsflächen:

- Konventioneller Strassenbau
- Betonkreisel
- Flugpisten
- Parkflächen und Bushaltestellen



Wenn für diese Anwendungen Beton verwendet wird, dient die Betonschicht sowohl als Trag- wie auch als Verschleisschicht. Um die Anforderungen für beide Anwendungen zu erfüllen, muss der Beton die folgenden Eigenschaften aufweisen:

- Hohe Biegezugfestigkeit
- Frost-Tausalz-Beständigkeit, je nach Klima und erwarteter Belastung
- Gute Griffigkeit
- Geringer Abrieb

Die Zusammensetzung ist ein entscheidender Faktor, um die gewünschten Anforderungen zu erfüllen. Die Kriterien für die Auswahl der verschiedenen Bestandteile sind wie folgt:

Gesteinskörnung

- Verwendung von Mischungen mit geringem Feinanteil
- Verwendung einer ausgewogenen Siebkurve
- Gebrochenes oder teilweise gebrochenes Korn erhöht die Griffigkeit und Biegezugfestigkeit

Zement

- Dosierung 300 – 350 kg / m³, in der Regel Portlandzement

Zusatzstoff

- Silikastaub für stark belastete Bereiche oder zur allgemeinen Erhöhung der Dauerhaftigkeit
- Erhöhte Griffigkeit durch Einstreuen von Siliziumkarbid oder Hartsplitt in die Oberfläche

Beton für Verkehrsflächen ist ein Spezialbeton, bei dem die folgenden Punkte besonders zu beachten sind:

- Grosse Flächen werden oft mit Fertigmern eingebaut
- Die Konsistenz muss für den jeweiligen Maschinentyp angepasst werden
- Verbesserung der Griffigkeit durch Querrillen, Besenstrich oder Waschbetonoberflächen
- Eine intensive Nachbehandlung ist unerlässlich

Um die geforderte Griffigkeit und Rauheit zu gewährleisten, eignet sich ein systematischer Ansatz, bei dem ein Oberflächenverzögerer bzw. Nachbehandlungsmittel aufgetragen wird. Im Strassenbau erfolgt dies in der Regel mit einem Spezialanhänger und anschliessendem Ausbürsten der Oberfläche zu einem bestimmten Zeitpunkt nach dem Betoneinbau.

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Wasserreduzierung, verbesserte Druck- und Biegezugfestigkeit sowie eine verbesserte Konsistenz
SikaFume®	Silikastaub	Hohe Festigkeit, erhöhte Dichtigkeit
SikaControl® AER, Sika® Fro-V	Luftporenbildner	Luftporenbildung zur Erhöhung der Frost-Tausalz-Beständigkeit
SikaRapid®	Erhärtungsbeschleuniger	Steuerung des Erhärtungsprozess von Beton
SikaTard® Sika® Retarder	Abbindeverzögerer	Steuern des Abbindeprozesses
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung
Sika® Rugasol®	Nachbehandlungsmittel / Oberflächenverzögerer	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung und Oberflächenverzögerung, um ein einfaches Anbürsten der Oberfläche zu gewährleisten



6.5 MASSENBETON

Der Massenbeton bezieht sich auf sehr dicke Strukturen (> 80 cm). Diese Bauwerke haben ein grosses Volumen, was in der Regel bedeutet, dass in kurzer Zeit grosse Mengen an Beton eingebaut werden müssen. Dies erfordert eine sehr gute Planung und effiziente Prozesse. Massensbeton wird verwendet für:

- Fundamente mit grossen Belastungen
- Fundamente zur Auftriebssicherung
- Massive Wände (z. B. Strahlenschutz)



Diese massiven Strukturen verursachen die folgenden Hauptprobleme:

- Hohe Temperaturunterschiede zwischen inneren und äusseren Betonschichten während des Abbindens und der Aushärtung
- Sehr hohe maximale Betontemperaturen
- Durch das Austrocknen von aussen nach innen entstehen grosse Unterschiede in der Feuchtigkeit, wodurch das Schwinden behindert wird, was zu Rissen führen kann.
- Durch das Nachsetzen (Absetzen) des Betons und damit Rissbildung über den oberen Bewehrungslagen und auch Absacken unter den Bewehrungsstäben

Risiken

All diese Probleme können zu Rissen und Gefügestörungen führen. Sogenannte Schalenrisse können entstehen, wenn der Temperaturunterschied zwischen Aussen- und Innentemperatur mehr als 15 °C beträgt oder sich die Aussenschichten durch Austrocknung zusammenziehen. Die Schalenrisse sind in der Regel nur wenige Zentimeter tief und können sich später wieder schliessen.

Zu ergreifende Massnahmen:

- Niedriger Zementgehalt und Zemente mit geringer Wärmeentwicklung
- Möglichst grosses Grösstkorn (z. B. 0 - 50 mm statt 0 - 32 mm)
- Falls erforderlich, die Gesteinskörnungen kühlen, um eine niedrigere Ausgangstemperatur des Frischbetons zu erreichen
- Beton schichtweise einbauen (Schichtdicke < 80 cm)
- Verzögerung der unteren Schichten, um sicherzustellen, dass nach dem Einbau der oberen Schicht über den ganzen Querschnitt nachverdichtet werden kann
- Nachbehandlung mit wärmedämmenden Massnahmen
- Korrekte Gestaltung und Verteilung von Fugen und Betonierabschnitten, um die Wärmeabfuhr zu erleichtern und Temperaturschwankungen auszugleichen

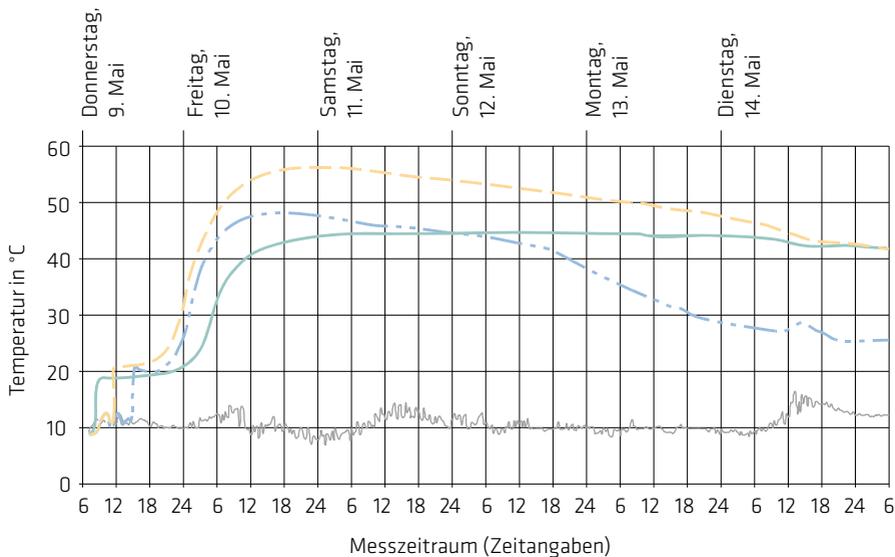


Abb. 6.5.1: Messung der Hydratationswärme in einer 160 cm dicken, in drei Schichten eingebauten Bodenplatte

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Starke Wasserreduzierung, gesicherte Verarbeitbarkeit und Pumpbarkeit
SikaTard® Sika® Retarder	Verzögerer	Steuern des Abbindeprozesses
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung

6.6 MONOLITHISCHE BETONBODENPLATTEN FÜR INDUSTRIEBÖDEN

Monobeton wird für den Bau von beständigen und ebenen Betonböden oder -decken verwendet. Diese Betonböden zeichnen sich durch eine hohe Qualität, Langlebigkeit und Wirtschaftlichkeit aus.

Monobeton muss als ein bauliches Konzept betrachtet werden, das mit der Planung beginnt und mit der Nutzung endet. Die Wahl des richtigen Betons stellt nur einen Baustein darin dar.



Zusammensetzung

Je nach besonderen Anforderungen muss die Betonmischung angepasst werden (wasserdichter Beton, frostbeständiger Beton usw.).

Einbau

Der Einbau erfolgt durch normales Einbringen und Verdichtung mit Tauchrüttler, das Abziehen mit Vibrationsbalken. Nachdem der Ansteifungsprozess begonnen hat, wird die Oberfläche mit Flügelglättern endbearbeitet.

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung muss so früh wie möglich beginnen und sollte über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhalten werden, indem **Sika® Antisol** aufgesprüht wird (Achtung! Nachfolgende Beschichtungen sind zu berücksichtigen!) oder durch Abdecken mit Matten und Folien.

Hinweis:

- Prüfen Sie, ob Fasern bei der Herstellung monolithischer Betonplatten verwendet werden können.
- Zur Vergütung der Oberflächen empfehlen wir die Verwendung von **Einstreustoffen**, die bei der Endbearbeitung auf die Oberfläche gestreut werden.
- Die Auswahl eines geeigneten Fließmittels ist von grosser Bedeutung. Die Verarbeitungszeit, das Ansteifverhalten und das Abbinden des Betons müssen auf die Anforderungen der Baustelle abgestimmt werden, da die Endverarbeitung mit Flügelglättern zeitlich abgestimmt werden muss. Führen Sie vorab Eignungsprüfungen durch, insbesondere bei Fließmitteln mit verlängerter Offenzeit.

Empfehlung von Sika:

Gesteinskörnungen

- Gebrochene oder runde Gesteinskörnungen sind geeignet
- Das Grösstkorn richtet sich nach den Anforderungen an den Frischbeton
- Siebcurve muss auf die Einbauart abgestimmt sein

Zement und Feinanteile

- Mindestzementgehalt richtet sich nach den ausgeschriebenen Expositions- und Festigkeitsklassen nach EN 206; ca. 300 bis 350 kg / m³
- CEM I oder CEM II Zemente werden empfohlen
- Mindestmenge an Feinanteilen etwa 425 bis 450 kg / m³

Wasser

- Der w / z-Wert muss den Anforderungen der ausgeschriebenen Expositions- und Festigkeitsklassen gemäss EN 206 entsprechen
- Verwenden Sie im Winter heisses Wasser in der Mischung (max. + 50 °C)
- Kein extra Wasserzusatz auf der Baustelle

Zusatzmittel

- Die Auswahl eines geeigneten Fliessmittels auf PCE-Basis sollte in enger Zusammenarbeit mit dem Lieferanten des Zusatzmittels erfolgen

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Erhöhte Festigkeit und Dichtigkeit. Gute Verarbeitbarkeit, Ansteifverhalten und schnelle Grünstandsfestigkeit
SikaRapid®	Beschleuniger	Steuerung des Aushärte- / Abbindeprozesses bei niedrigen Temperaturen
Sikafloor® ProSeal	Nachbehandlungs- und Erhärtungsmittel zur Abdichtung von Oberflächen	Geringerer Wasserverlust. Unterstützt die Erhärtung und Nachbehandlung, versiegelt die Oberfläche
Sika® Stabilizer Pump	Pumpmittel	Unterstützt das Pumpen bei ungünstigen Gesteinskörnungen und schützt die Anlage vor übermässigem Verschleiss
SikaFiber®	Mikro- / Makro-Fasern	Verringert das Auftreten von Schwindrissen
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Geringerer Wasserverlust

6.7 WALZBETON (RCC)

Walzbeton (roller-compacted concrete, RCC) besteht aus denselben Bestandteilen wie herkömmlicher Beton (Zement, Zusatzmittel, Sand, Kies, Wasser und mineralische Zusatzstoffe), wird aber mit Fertigmern eingebracht und mit Vibrowalzen verdichtet.

Walzbeton wird für den Bau von Dämmen, grossen Flächen (Parkplätzen) und Strassenstabilisierungen verwendet, wobei der Bau von Dämmen der wichtigste Anwendungsbereich ist.



Technologie

Eines der wichtigsten Merkmale von RCC ist sein erdfreudiges Erscheinungsbild. Dies ist auf den geringen Zement- und Wassergehalt dieser Betonart zurückzuführen. Walzbetone für Dämme mit dem niedrigsten Zementgehalt weisen zwischen 60 und 100 kg / m³ zementöses Material auf; RCC mit hohem Zementgehalt kann bis zu 220 kg / m³ aufweisen.

Bei den Gesteinskörnungen können RCC-Mischungen einerseits einen maximalen Gesteinsdurchmesser von bis zu 120 mm aufweisen. Andererseits hat diese spezielle Betonart einen höheren Feinkornanteil von mehr als 10% des Trockengewichts der Gesteinskörnungen.

Festigkeit und Dichte

In den meisten Fällen entwickelt Walzbeton bei einem niedrigeren w/z -Wert keine höhere Druckfestigkeit. Der entscheidende Faktor für die Festigkeitsentwicklung ist die Verdichtbarkeit des Materials, da es mit schweren Maschinen in einem Rüttelpressverfahren verdichtet werden muss. Daraus ergibt sich ein optimaler Feuchtigkeitsgehalt, mit dem eine höhere Dichte und damit höhere Festigkeitswerte erreicht werden können.

Walzbetonrezeptur

Bei der Planung von Walzbeton ist die Druckfestigkeit nicht der Hauptaspekt: die Scher- oder direkte Zugfestigkeit ist für die Rezeptur ausschlaggebend.

Im Allgemeinen liegt der Schwerpunkt der Betonrezeptur auf den folgenden Punkten:

- Annäherung an spezifische Korngrössenkurven, wodurch die erforderliche Menge an zementhaltigem Material minimiert wird
- Bestimmung des optimalen Feuchtigkeitsgehalts durch Prüfungen der maximale Dichte
- Gewährleistung des Mindestvolumens des Leimgehalts

Bindung zwischen den verschiedenen Schichten

Walzbeton wird in Schichten eingebracht (in der Regel 15 – 45 cm) und mit Rüttelpressmaschinen verdichtet (4 – 8 Durchgänge), was zu besonderen Überlegungen hinsichtlich einer ausreichenden Bindung zwischen diesen Schichten führt. Es werden zwei Methoden ausgeführt:

Hot joint Methode – die nachfolgende Schicht wird eingebaut und verdichtet, bevor die vorherige Schicht ihren Erstarrungspunkt erreicht hat. Bei dieser Methode muss der Erstarrungspunkt des Betons in Versuchen ermittelt werden. Es ist die wirtschaftlichste und schnellste Methode, die hohe Einbauleistungen ermöglicht.

Cold joint Methode – wird angewendet, wenn die baulichen Gegebenheiten die Hot-Joint-Methode nicht zulassen. Die Betonoberfläche muss dabei vorbehandelt werden, um die Haftung zu erhöhen. Anschliessend wird eine Bindemörtel- oder Betonschicht mit hoher Fließfähigkeit eingebaut, auf welche die nächste Walzbeton-Schicht folgen kann.

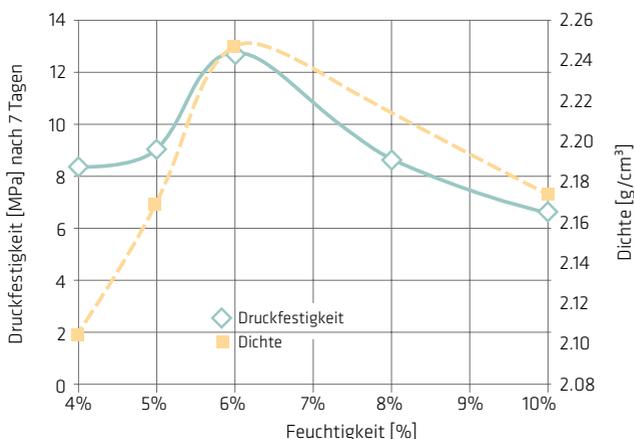


Abb. 6.71: Laborergebnisse (Stancy Dam)

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fließmittel oder Betonverflüssiger	Verbesserte Verdichtbarkeit und Dauerhaftigkeit, sichere Verarbeitbarkeit über einen längeren Zeitraum
SikaControl® AER Sika® Fro-V	Luftporenbildner	Gesicherte Frost- und Frost-Tausalz-Beständigkeit

6.8 GLEITBETON

Bei der Gleitschalungsbauweise wird die Schalung im 24-Stunden-Betrieb kontinuierlich im Takt des Betoniervorgangs bewegt und nachgezogen. Beim Betonieren wird die Schalung, einschliesslich der Arbeitsbühne und des innen oder beidseitig angebrachten Hängegerüsts, an den Kletterstangen in der Mitte der Wand befestigt.

Der ölhydraulische Heber hebt die Schalung je nach Temperatur um 15 bis 30 cm pro Stunde an.



Die Kletterstangen befinden sich oben in Rohrhülsen und stützen sich auf dem bereits ausgehärteten Beton ab. Auch die Stangen und Hülsen werden kontinuierlich angehoben. Diese Arbeiten werden fast ausschliesslich von erfahrenen Spezialfirmen ausgeführt. Die Gleitschalungstechnologie ist schnell und effizient.

Die Methode eignet sich besonders für einfache, einheitliche Grundrisse und hohe Bauwerke wie zum Beispiel:

- Hochregallager, Silos
- Turm- und Kaminbauten
- Schachtbauwerke

Da die Höhe der Schalung in der Regel nur etwa 1.20 m beträgt und die stündliche Produktionsrate 15 bis 30 cm beträgt, ist der Beton darunter 4 bis 8 Stunden alt und muss steif genug sein, um sein eigenes Gewicht zu tragen (Grünstandsfestigkeit). Er darf jedoch nicht so weit abgebunden haben, dass ein Teil davon an der hochziehenden Schalung kleben bleibt (Abreissen). Die wichtigste Voraussetzung für ein problemloses Gleiten der Schalung ist das gleichzeitige Betonieren aller Bereiche auf dem gleichen Niveau und das gleichzeitige Abbinden dieser Schichten. Daher hat die Temperatur einen grossen Einfluss, ebenso wie die Anforderung nach einem optimalen w/z -Wert.

Speziell zu beachten ist, dass eine Wandstärke von weniger als 15 cm problematisch sein kann (Abreissen, Verankerung der Kletterstangen usw.). Die neu ausgeschalteten Flächen müssen so weit wie möglich vor Wind, Sonnenlicht usw. geschützt werden.

Sika Empfehlungen:

Gesteinskörnungen

- 0 – 32 mm oder 0 – 16 mm für enge Bewehrung
- Obwohl es sich bei Gleitbeton hauptsächlich um krangeförderten Beton handelt, sollte der Feinanteil wie bei Pumpbeton sein

Zement

- Mindestens 300 kg / m³
- CEM I 42.5 für enge Bewehrung und grosse Abmessungen, CEM I 52.5 für kleinere Abmessungen (Türme, Kamine)

Verarbeitbarkeit

Zur optimalen Verarbeitung hat sich ein steifplastischer Beton mit einem Ausbreitmass von 35 – 40 cm und einem niedrigen Wassergehalt bewährt.

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Erhöhte Festigkeit und Dichtigkeit, Starke Wasserreduktion, Gute Frühfestigkeitsentwicklung
SikaFume®	Silikastaub	Hohe Festigkeit, erhöhte Dichtigkeit, Erhöhung der Feinanteile
Sika® Stabilizer	Viskositätsmodifizierer	Steigert die Kohäsion, Ersatz von Feinanteilen
SikaControl® AER Sika® Fro-V	Luftporenbildner	Einführung von Luftporen, Herstellung von Gleitbeton mit erhöhter Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit
SikaRapid®	Beschleuniger	Steuerung des Aushärtungs- / Abbindeprozesses von Gleitbeton
SikaTard® Sika® Retarder	Verzögerer	Steuerung des Abbindeprozesses von Gleitbeton
Sika® Separol®	Schalungstrennmittel	Trägt zur optisch einheitlichen und dauerhaften Betonoberfläche bei

6.9 SPRITZBETON

Spritzbeton ist ein Baustoff, der sich aus der Kombination von Materialien (Beton, Zusatzmittel) und einer speziellen Anwendungsmethode (Spritzen) ergibt. Die trockene oder feuchte Grundmischung wird in eine Düse gegeben, wo sie mit Druckluft auf den Untergrund gesprüht wird. Bei diesem Spritzverfahren wird die endgültige Nassmischung erreicht. Ein Beschleuniger kann zugegeben werden und der Spritzbeton wird durch den Aufprall auf einer Oberfläche verdichtet.



Spritzbeton hat aufgrund seiner hohen Flexibilität, guten Wirtschaftlichkeit und guten physikalischen Eigenschaften einen breiten Anwendungsbereich. Das Spritzbetonverfahren erfordert jedoch ein hohes Mass an Mechanisierung und gut ausgebildete Düsenführer. Dennoch ist der Vorteil gegenüber konventionellen Betonierverfahren herausragend: das Aufbringen von Beton ohne Schalung und sogar über Kopf.

Spritzbeton wird vor allem in den folgenden Bereichen eingesetzt:

Anwendungsgebiete

- Gruben- und Vortriebssicherung im Tunnel- und Bergbau
- Graben-, Fels- und Hangstabilisierung
- Hochwertiger Ausbauspritzbeton
- Sanierungen und Instandsetzungsarbeiten

Anforderungen an Spritzbeton

- Angepasste Verarbeitbarkeit (Offenzeit)
- Gute Pumpbarkeit
- Geringer Rückprall und geringe Staubentwicklung
- Gute Haftung auf dem Untergrund
- Hohe Frühfestigkeit und 28-Tage-Druckfestigkeit
- Hohe Dauerhaftigkeit (Dichtigkeit und Frost- und Frosttausalz-Beständigkeit)

Festigkeitsklassen (EN 14487-1)

Der Spritzbeton wird zum grössten Teil im Tiefbau / Tunnelbau verwendet. Für diese Anwendungen spielt insbesondere die Frühfestigkeitsentwicklung eine zentrale Rolle. Spritzbeton muss schnell und in dicken Schichten aufgetragen werden, auch über Kopf. Je nach Verwendungszweck werden die Festigkeiten von frisch aufgetragenem Spritzbeton in drei Klassen eingeteilt: J1, J2 und J3 (EN 14487).

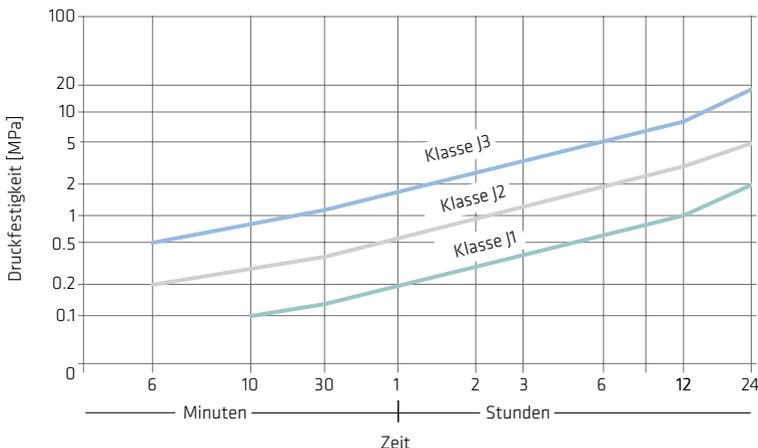


Abb. 6.9.1: Spritzbeton-Frühfestigkeitsklassen nach EN 14487-1

Klasse J1

Spritzbeton der Klasse J1 ist für das Auftragen in dünnen Schichten auf einem trockenen Untergrund geeignet. Bei dieser Art von Spritzbeton sind in den ersten Stunden nach dem Auftragen keine strukturellen Anforderungen zu erwarten. Typischerweise wird J1-Spritzbeton für die Stabilisierung von Hängen und Gräben verwendet.

Klasse J2

Spritzbeton der Klasse J2 wird für Anwendungen verwendet, bei denen in kurzer Zeit dickere Schichten erzielt werden müssen. Diese Art von Spritzbeton kann über Kopf aufgetragen werden und eignet sich auch unter schwierigen Umständen, z. B. zur sofortigen Baugrubensicherung.

Klasse J3

Spritzbeton der Klasse J3 wird bei sehr brüchigem Gestein oder starkem Wasserandrang verwendet. Da er schnell erstarrt, entsteht bei der Verarbeitung mehr Staub und Rückprall, weshalb Spritzbeton der Klasse J3 nur in besonderen Fällen verwendet wird.

DAS SPRITZVERFAHREN

Nassspritzverfahren

Es gibt zwei verschiedene Nassspritzverfahren, nämlich das Dünnstrom- und das Dichtstromverfahren.

Beim **Dichtstromverfahren** wird der Ausgangsbeton mit einer Spritzbetonpumpe in einem dichten Strom zur Düse gepumpt. An der Düse wird die gepumpte Ausgangsmischung durch Druckluft aufgerissen und so in einen dünnen Strahl umgewandelt. Der Beschleuniger, der Druckluft kurz vor der Düse beigemischt. Dabei wird er mit dem Ausgangsbeton homogen vermischt, wodurch eine optimale Beschleunigung erzielt wird.

Die gleiche Ausgangsmischung kann auch durch eine Rotormaschine im **Dünnstromverfahren** gefördert werden. Der Materialtransport erfolgt pneumatisch durch Druckluft, wie es beim Trockenspritzen von Spritzbeton (Gunit) der Fall ist. Der Beschleuniger wird ebenfalls an der Düse mit zusätzlicher Druckluft zugegeben. Geht man davon aus, dass für den aufgetragenen Spritzbeton die gleichen Anforderungen gestellt werden, so erfordern beide Verfahren – die Dichtstrom- und die Dünnstromförderung – die gleiche Grundmischung in Bezug auf Körnung, w/z-Wert, Zusatzmittel, Zusatzstoffe und Zementgehalt. Zur Verringerung des Rückpralls wird die Korngrösse in der Regel auf 8 mm begrenzt. Allerdings muss der Mehlkorngelalt im nassen Dünnstrom etwas geringer sein, um Verstopfungen durch abgelagerte Feinanteile in den Schläuchen zu vermeiden.

Beispiel für eine Rezeptur für 1 m³ Nassspritzbeton

Nassspritzbeton 0 – 8 mm, Spritzbetonklasse C 30 / 37, CEM I 42.5

Komponenten	Gewicht	Volumen
Zement	400 kg / m ³	127 l
Zuschläge: 60% Sand 0 – 4 mm (trocken)	1 031 kg / m ³	385 l
Zuschläge: 40% Kies 4 – 8 mm (trocken)	687 kg / m ³	256 l
Anmachwasser (w / z = 0.48) (einschl. Wassergehalt der Gesteinskörnung)	192 kg / m ³	192 l
Luftporen (4.0%) 1 Vol.-% $\hat{=}$ 10 l in 1 m ³		40 l
Spritzbeton		1000 l
Raumgewicht pro m ³	2 310 kg	

Zusatzmittel

Fliessmittel:

Sika® ViscoCrete® SC, Dosierung 1.0%

Alkalifreier Beschleuniger:

Sigunit® AF, Dosierung 5 – 9%

1 m³ aufgetragener Nassspritzbeton ergibt 0.90 – 0.94 m³ festes Material an der Wand.

PRODUKTE FÜR SPRITZBETON

Sika® ViscoCrete® SC – Fließmittel für Spritzbeton

Fließmittel für Spritzbeton unterscheiden sich von herkömmlichen Fließmitteln / Verflüssigern.

Für sie gelten die folgenden zusätzlichen Anforderungen:

- Gute Pumpbarkeit bei niedrigem w / z-Wert
- Verlängerte Verarbeitungszeit
- Kombinierbarkeit mit dem gewählten Beschleuniger zur Unterstützung der Festigkeitsentwicklung

Sika® Sigunit® – Spritzbetonbeschleuniger

Dieser bewirkt ein schnelles Erstarren des Spritzbetons und beschleunigt die Festigkeitsentwicklung in den ersten Stunden. Es gibt zwei Arten davon:

Sika® Sigunit® AF alkalifreier Beschleuniger

Sika® Sigunit® L alkalischer Beschleuniger

SikaFume® – Silikastaub

Das SiO₂ im Silikastaub reagiert mit Kalziumhydroxid und bildet zusätzliches Kalziumsilikathydrat. Dadurch wird die Zementsteinmatrix dichter, härter und beständiger. Die heutigen Anforderungen an Spritzbeton, wie z. B. Wasserundichtigkeit und Sulfatbeständigkeit, lassen sich ohne den Zusatz von Silikastaub nicht ohne Weiteres erfüllen.

SikaTard® – Abbindeverzögerndes Zusatzmittel

Reguliert die Hydratation von Spritzbeton. Dies ermöglicht eine nahezu beliebige Verlängerung der Verarbeitbarkeit von Spritzbeton, sodass frisch gemischter Spritzbeton über vom Anwender definierte Zeiträume von wenigen Stunden bis hin zu 72 Stunden problemlos verarbeitet werden kann.



Detaillierte Informationen entnehmen Sie bitte dem Sika "Spritzbeton-Handbuch".

6.10 BETON FÜR DIE VORFABRIKATION / BETONFERTIGTEILE

Zum Bau von Strukturen werden vorfabrizierte Betonelemente im Werk hergestellt und nach der Aushärtung geliefert. Beton, der für die Herstellung von vorfabrizierten Elementen verwendet wird, erfordert einen industrialisierten Produktionsprozess und eine gute Betonrezeptur, die kontinuierlich optimiert wird.



Die folgenden Produktionsschritte sind mit verschiedenen technischen Herausforderungen in der Vorfabrikation und der Endmontage der fertigen Elemente verbunden:

- Aufbau und Vorbereitung der Bewehrung
- Vorbereitung der Schalung – dichte Schalung und korrekte Anwendung von geeignetem Schalungstrennmittel
- Betonherstellung – kosteneffiziente, den Normen und technischen Anforderungen entsprechende Rezepturen
- Transport und Einbau von Frischbeton – ausreichende Verarbeitungszeit und hohe Fließfähigkeit für schnellen Einbau
- Endbearbeitung der Betonoberfläche – keine Verzögerung in der Produktion und verbesserte Bearbeitungseigenschaften
- Nachbehandlung von Beton – Anwendung von Nachbehandlungsmitteln so bald wie möglich und reduzierte Hitze- / Dampfaushärtung von Beton
- Entfernen der Schalung – schnelle Frühfestigkeitsentwicklung für kurze Schalungszyklen
- Ausbesserung von Oberflächenfehlern und Beschädigungen – schnelles und einfaches Anwenden des geeigneten Reparaturmörtels oder -systems
- Anwendung von Betonschutz – Verwendung einer Imprägnierung, die den gewünschten Schutz bietet
- Transport der Betonfertigteile zur Baustelle
- Reparatur von Schäden, die während des Transports entstanden sind – schnelles und einfaches Anwenden von geeignetem Reparaturmörtel oder -system
- Montage der Elemente und Abdichtung der Fugen – hochbelastbare Abdichtung der Fugen gemäss den technischen Anforderungen
- Endgültiges Verfüllen der Lücken und Bindung / Verankern von Einbauteilen

Erstellen einer Betonrezeptur

Bei der Ausarbeitung der Betonrezeptur müssen die konkreten Anforderungen je nach den spezifischen Elementen, ihrem Verwendungszweck und den Expositionsbedingungen festgelegt werden. Die folgenden Parameter müssen normalerweise definiert werden:

- Anforderungen an Festigkeit und Dauerhaftigkeit
- Expositionsclassen
- Ästhetische Anforderungen
- Grösstkorn
- Einbringmethode und Einbauleistung
- Konsistenz des Betons
- Allgemeine Randbedingungen (Temperatur usw.)
- Umschlag des Betons und Einbaumethode und -distanz
- Festlegung der notwendigen Prüfungen
- Berücksichtigung der spezifischen Betonelementparameter
- Definition der Nachbehandlung
- Festlegung der Rezeptur

Betonnachbehandlung und Erhärtungsprozess

Da es sich bei der Produktion von Betonfertigteilen im Allgemeinen um eine kontinuierliche Produktion handelt, sind in allen Produktionsphasen kurze Intervalle erforderlich. Die Nachbehandlung ist deshalb besonders wichtig, weil sie zeitlich begrenzt ist. Die Zeiterparnis ist der Hauptgrund für die übliche Hitze- oder Dampfnachbehandlung. Beides sind sehr energieaufwändige Verfahren. Trotz der zeitlichen Vorgaben gewinnt eine energieeffiziente und umweltfreundliche Produktion immer mehr an Bedeutung. Die Entwicklung einer geeigneten Betonrezeptur, einschliesslich innovativer Fließmitteltechnologie und leistungsfähiger Beschleunigertechnologie, führt zu einem optimierten Gesamtproduktionsprozess, bei dem der Energieverbrauch für die Wärme- oder Dampfnachbehandlung entweder reduziert oder sogar eliminiert werden kann:

- Einbeziehung der Nachbehandlung in die Betonrezeptur
- Falls erforderlich, Dampfnachbehandlung verwenden
- Vibrationen vermeiden (nach der Nachbearbeitung)
- Nachbehandlungsmittel verwenden
- Mit Folien oder Thermomatten abdecken
- Feucht halten / befeuchten oder ggf. besprühen
- Die Nachbehandlungszeit in Abhängigkeit von der Temperatur einhalten

Ausführliche Informationen zur Nachbehandlung finden Sie in Kapitel 10.3 (siehe Seite 232).

Verbesserte Erhärtung des Betons bei der Herstellung von Tunnelsegmenten

Die Herstellung von Betonfertigteilen verbindet oft die Herausforderung einer vorgegebenen hohen Frühfestigkeit mit höchsten Anforderungen an die Dauerhaftigkeit. Die Festigkeitsentwicklung wird in der Regel durch Wärme- oder Dampfnachbehandlung sichergestellt, was zu Problemen mit der Dauerhaftigkeit führen kann, wenn die Betonkerntemperatur zu hoch wird. Die Frühfestigkeit und Dauerhaftigkeit kann mit der **SikaRapid®**-Technologie verbessert werden.

Exemplarische Heizzyklen mit und ohne Anwendung von **SikaRapid®** und die daraus resultierende Betontemperatur mit der entsprechenden Frühfestigkeit sind in den nachfolgenden Grafiken zu sehen. Durch den Einsatz von **SikaRapid®** wird der Erhärtungsprozess des Betons optimiert, so dass rund 150 Minuten Aufheizzeit eingespart werden konnten. Gleichzeitig wird die Anforderung an die Früh- und Endfestigkeit erreicht. Ausserdem wird die Dauerhaftigkeit des Betons verbessert, da die Spitzentemperatur des Betons auf weniger als 60 °C begrenzt wurde.

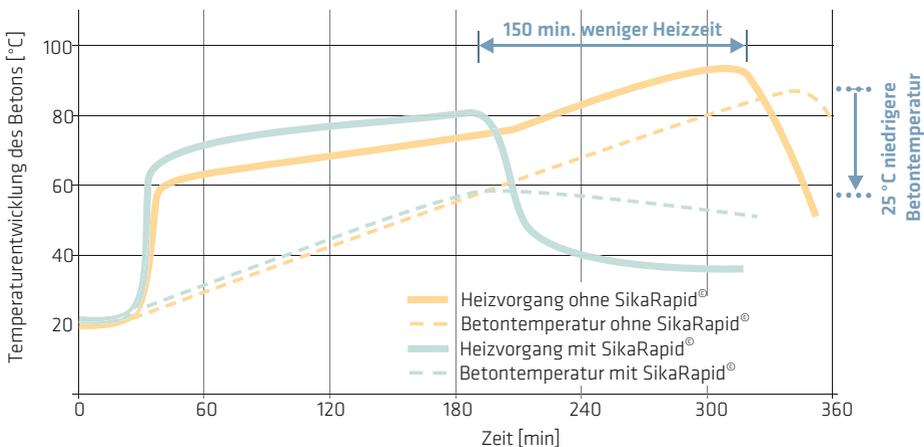


Abb. 6.10.1: Heizvorgang und Entwicklung der Betontemperatur

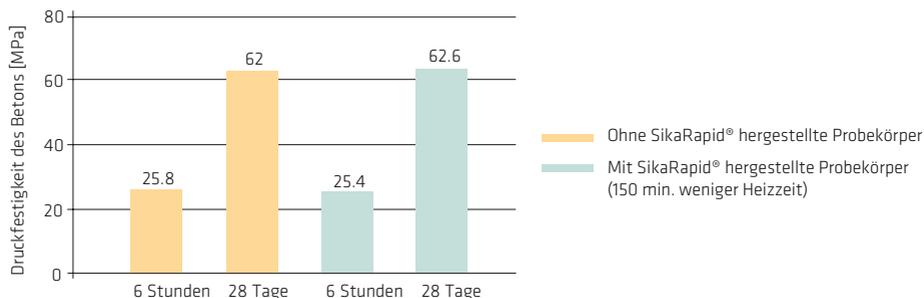


Abb. 6.10.2: Vergleich der Druckfestigkeit

Table 6.10.1: Für den gesamten Vorfabrikationsprozess und die Montage von Betonfertigteilen bietet Sika die folgenden Technologien an:

Betonproduktion	Oberflächenaspekt	Reparatur & Schutz	Abdichtung & Bindung
Sikament®	Sika® Separol®	Sika® Antisol®	Sikaflex®
Sika® ViscoCrete®	SikaControl® PerFin	Sikagard®	Sikadur®
SikaRapid®	Sika® ColorCrete	Sika MonoTop®	Sika AnchorFix®
Sika® Stabilizer	Sika® Rugasol®	SikaGrout®	
SikaControl® AER / Fro-V		Sikafloor®	
SikaFiber®		Sika® Ferrogard®	
SikaFume®			

Verwendung der Sika Produkte

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® Sikament®	Fliessmittel	Hohe Wasserreduktion, verbesserte Verarbeitbarkeit, selbstverdichtende Eigenschaften, Erhöhung der Festigkeit und Dauerhaftigkeit
SikaRapid®	Beschleuniger	Steuerung des Abbindens und der Aushärtung von Beton
Sika® Stabilizer	Viskositätsmodifizierer	Viskositätsveränderndes Zusatzmittel für verbesserte Stabilität und Entmischungsbeständigkeit
SikaControl® AER Fro-V	Luftporenbildner	Zur Herstellung von frost- und frost-tausalzbeständigem Beton
SikaControl® PerFin	Oberflächenverbesserer	Verbesserte fertige Betonoberflächen durch die Verringerung von Poren und Luftlöchern
SikaFiber®	Mikrofasern	Verringerung von Altersrissen, Erhöhung der Feuerbeständigkeit
	Makrofasern	Erhöhung der Schlagfestigkeit bei Umschlag und Transport, Ersatz der Stahlbewehrung unter bestimmten Bedingungen möglich
SikaFume®	Silikastaub	Unterstützt die Stabilität der eingeschlossenen Luft, erhöht die Festigkeit und Dauerhaftigkeit
Sika® ColorCrete	Farbpigmente	Zum Einfärben von Beton
Sika® Separol®	Schalungstrennmittel	Für hochwertige Betonoberflächen und Schimmelschutz
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung
Sika® Rugasol®	Oberflächenverzögerer	Oberflächenverzögerer
SikaControl® AE-10	Massenhydrophobierung für Sichtbeton	Massenhydrophobierung für Sichtbeton im Aussenbereich und farbigen Sichtbeton. Dadurch wird die kapillare Wasseraufnahme und Ausblühneigung stark reduziert.

6.11 TÜBBINGBETON

Moderne Tunnelbauverfahren in wenig standfesten Gesteinen erfordern Betonsegmente, die als Auskleidung des vollständig ausgehobenen Tunnelabschnitts sofort belastbar sind. Vorfabrizierte Betonelemente, sogenannte Tübbinge, erfüllen diese Funktion.



Produktion

Aufgrund der grossen Stückzahlen und des hohen Gewichts (bis zu mehreren Tonnen pro Stück) werden die Tübbinge fast immer in der Nähe des Tunneleingangs in eigens dafür eingerichteten Betonfertigteilwerken hergestellt. Sie müssen hohen Genauigkeitsanforderungen genügen. Schwere Stahlschalungen sind daher die Regel. Da das Ausschalen bereits nach 5–6 Stunden erfolgt und der Beton bereits eine Druckfestigkeit von $>15 \text{ N/mm}^2$ aufweisen muss, ist eine beschleunigte Festigkeitsentwicklung unerlässlich.

Hierfür gibt es mehrere Methoden. Beim Autoklav-Verfahren (Wärmerückstauverfahren) wird der Beton beim Mischen (mit heissem Wasser oder Dampf) auf $28–30 \text{ °C}$ erhitzt, in die Form gebracht und endbearbeitet. Anschliessend wird er etwa 5 Stunden lang in einem Autoklaven bei $50–60 \text{ °C}$ erhitzt, um die erforderliche Festigkeit für das Entfernen der Schalung zu erreichen.

Zusammensetzung:

- **Gesteinskörnung** – Typischerweise verwendet: 0–32 mm
- **Zement** – Zementgehalt 320 bis 360 kg / m³, CEM I 42.5 oder 52.5

Einbau

Die Frischbetonmischung neigt aufgrund der hohen Temperatur dazu, schnell anzusteifen, was die korrekte Verdichtung und die Nachbearbeitung der Oberfläche erschwert. Durch die schnelle industrielle Verarbeitung kann eine plastische Frischbetonkonsistenz verwendet werden.

Die gewünschte Frühfestigkeit kann nur mit einem niedrigen w/z -Wert erreicht werden, der daher immer < 0.48 sein sollte.

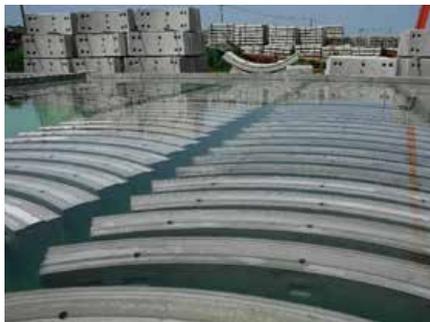
Besondere Anforderungen

Die neu entformten Segmente müssen durch Abdecken oder Besprühen mit einem Nachbehandlungsmittel wie **Sika® Antisol®** nachbehandelt werden.

Um jedoch eine Kombination aus maximaler Dauerhaftigkeit bei wechselnden Bodenbedingungen und optimaler Nachbehandlung zu erreichen, werden die Tübbingoberflächen häufiger unmittelbar nach dem Ausschalen mit einer speziellen **Sikagard®**-Schutzschicht behandelt. Mit diesem zusätzlichen Schutz gegen chemische Angriffe werden extrem dauerhafte Betonoberflächen erzielt.

Verwendung der Sika Produkte

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete®	Fliessmittel	Hohe Wasserreduktion, verbesserte Verarbeitbarkeit, Erhöhung der Festigkeit und Dauerhaftigkeit
SikaRapid®	Beschleuniger	Steuerung des Abbindens und der Aushärtung von Beton
SikaControl® AER Sika® Fro-V	Luftporenbildner	Luftporenbildung, Herstellung von frost- und frost-tausalzbeständigem Beton
SikaFiber®	Mikrofasern	Verringerung von Altersrissen, Erhöhung der Feuerbeständigkeit
SikaFume®	Silikastaub	Erhöhung der Festigkeit und Undurchlässigkeit, verbesserte Sulfatbeständigkeit
Sika® Separol®	Schalungstrennmittel	Für hochwertige Betonoberflächen



6.12 ERDFEUCHTER BETON / BETONWAREN

Erdfeuchter Beton wird für die Herstellung von Betonfertigteilen und Betonwaren verwendet, bei denen gemeinsam ist, dass sie trotz ihrer grossen Vielfalt an Formen, Texturen und Farben in grossen Mengen wirtschaftlich hergestellt werden können.



Dazu gehören folgende Möglichkeiten:

- Betonpflastersteine
- Bausteine
- Bordsteine
- Bodenfliesen aus Beton
- Garten- und Landschaftsbaulemente
- Rohre und Schächte
- Dachziegel
- Spannbetonfertigdecken
- Eisenbahnschwellen mit Sofortentschalung

Die grösste Menge an erdfeuchten Beton wird für die Herstellung von Pflastersteinen verwendet.

Allgemein

Der hochautomatisierte Prozess erfordert besondere Betoneigenschaften:

- Erdfeuchte Konsistenz nach dem Mischen, um eine schnelle und gleichmässige Befüllung der Form zu gewährleisten
- Nach der Verdichtung sofort aus der Form entnehmbar
- Masshaltigkeit (Formstabilität) trotz nicht abgebundenem Zement (Grünstandsfestigkeit)

Eine schwere Verdichtungsmaschine, die meist im Vibro-Press-System (Vibration plus Druck) arbeitet, ist erforderlich, um Betonwaren in einer grossen Vielfalt von Formen und Grössen herzustellen. Die Vorteile dieses Verfahrens sind:

- Nur eine Schalung pro Produktform (geringe Kapitalinvestition)
- Hohe Produktionsflexibilität durch schnellen Wechsel der Schalung für einen neuen Produkttyp
- Schnelle, effiziente und industrialisierte Produktion mit hohem Output

Einführung der Technologie

Die Rezeptur für erdfeuchten Beton folgt den gleichen Regeln wie bei konventionell gerüteltem Beton. Die Festigkeit entwickelt sich nach den allgemeinen Gesetzen der Biontechnologie und ähnelt am Ende hochfestem Beton. Allerdings müssen einige besondere Bedingungen berücksichtigt werden:

- Siebkurve (max. Korngrösse 8 mm bei runden Gesteinskörnungen, 11 mm bei gebrochenen Gesteinskörnungen) bei hohem Wasserbedarf
- Niedriger Gesamtwassergehalt aufgrund des niedrigen w/z -Wertes (0.34 – 0.40)
- Relativ niedriger Bindemittelgehalt (hochfester Zement in der Vorsatzmischung und eine zunehmende Verwendung von Zementzusatzstoffen als Zementersatz, z. B. Flugasche oder Kalksteinmehl in der Grundmischung)
- Hoher Gehalt an Verdichtungsporen durch schwierige Verdichtung
- Anfälligkeit für frühzeitiges Austrocknen und Wasserverlust durch ungeschützte grosse Oberfläche im Verhältnis zum kleinen Bauteilvolumen

Verdichtung

Die Verdichtbarkeit des verwendeten erdfeuchten Betons ist der wichtigste Faktor für die Produktqualität, einschliesslich Formstabilität, Festigkeit, Verfärbungen und Dauerhaftigkeit. Sie nimmt im Allgemeinen zu mit:

- Erhöhung der Verdichtungsenergie (Dauer, Frequenz usw.)
- Steigendem Wassergehalt
- Höherem Bindemittelgehalt
- Zugabe von Zusatzmitteln (Verdichtungshilfen)

Die Verdichtung lässt sich am besten durch den Verdichtungsporengehalt ausdrücken, da dieser den Einfluss der spezifischen Gesteinsdichte eliminiert. Ein gut verdichteter Kernbeton muss ≤ 5 Vol.-% Verdichtungsporen aufweisen (typisch ≤ 8.5 Vol.-%). Während ein hochwertiger Vorsatzbeton ≤ 8 Vol.-% Verdichtungsporen aufweisen kann (typisch ≤ 12 Vol.-%). Diese Poren müssen bei der Berechnung der Betonrezeptur berücksichtigt werden. Die damit verbundene Frischbetondichte muss während der Produktion kontrolliert werden.

Zusatzmittel wie die SikaPaver® C und HC-Serien ermöglichen eine schnellere und intensivere Verdichtung. Dies bietet die Möglichkeit, Verdichtungszeit zu sparen oder eine bessere und homogenere Betonqualität zu erzeugen.

Wassergehalt

Der Wassergehalt der Betonmischung ist entscheidend für eine gute Verdichtung. Zusammen mit dem Zement bildet er Zementleim, der als "Gleitmittel" betrachtet werden kann. Grössere Mengen erleichtern die Bewegung der Gesteinskörnungen während der Verdichtung, was zu einer besseren Verdichtung führt. Zu viel Zementleim hat jedoch negative Auswirkungen auf die Formfüllung und die Grünstandsfestigkeit.

Bei einem w/z -Wert von mehr als 0.40 entstehen zusätzliche Kapillarporen, die zu einem Verlust der Endfestigkeit und einer geringeren Frost-Tausalz-Beständigkeit führen.



Formfüllung

Eine gleichmässige Betonverteilung über das gesamte Unterlagsbrett ist notwendig, um eine geringe Schwankung der einzelnen Pflastersteingewichte zu gewährleisten und somit eine gleichbleibende Qualität zu erreichen. Spezielle SikaPaver Füll- und Verdichtungshilfen können helfen, das Formfüllverhalten bei einem erdfeuchten Beton zu verbessern.

Grünstandsfestigkeit

Die frisch hergestellten Betonwaren haben eine sogenannte Grünstandsfestigkeit, die sich aus den Gesetzen der Bodenmechanik ableitet (scheinbare Kohäsion). Dies ist der Grund, warum erdfeuchte Betone unmittelbar nach der Verdichtung entschalt werden können und dabei ihre Form behalten. Bei Standardpflastersteinen mit runden Gesteinskörnungen liegt diese Grünstandsfestigkeit (Druckfestigkeit) im Bereich von ca. 0.1–1.0 MPa.

Festigkeit

Erdfeuchte Betonpflastersteine werden nach der Herstellung etwa 24 Stunden lang auf Gestellen in einer Nachbehandlungskammer gelagert. Ein typisches Klima von 35 °C / 85% relative Feuchte wird auch ohne zusätzliche Heizung erreicht, wenn die Kammer isoliert und gegen Zugluft geschützt ist. Nach dem Verlassen der Nachbehandlungskammer müssen sie der Beanspruchung durch die Paletteneinheiten standhalten, die als ausreichend angesehen wird, wenn die Druckfestigkeit mehr als 10 MPa beträgt.

Druckfestigkeit und Spaltzugfestigkeit steigen im Allgemeinen mit der Betondichte (Porregehalt). Bei konstanten Verdichtungsbedingungen (Rüttelzeit und Verdichtungsdruck) führen höhere w/z -Werte zu einer besseren Verdichtung und damit zu höheren Festigkeiten. Wenn jedoch der optimale Wassergehalt überschritten wird, sinkt die Festigkeit trotz steigender Frischbetondichte. Dies liegt an den festigkeitsmindernden Kapillarrohräumen, die sich durch den Wasserüberschuss ($w/z > 0.40$) bilden und den positiven Effekt der Dichteerhöhung aufheben. Je mehr Zementersatzstoffe bei konstantem Bindemittel- und Wassergehalt verwendet werden, desto eher tritt dieser Effekt ein.

Als Faustregel gilt, dass die besten Festigkeiten erreicht werden, wenn der angestrebte w/z -Wert für die Basismischung 0.38 beträgt (typische w/z -Schwankungen ± 0.02 aufgrund der sich ändernden Feuchtigkeit der Gesteinskörnung), wodurch eine gute Zementhydratation ohne Kapillarporen und gleichzeitig eine gute Verdichtung erreicht wird. Es ist jedoch sehr wichtig, den besten Wassergehalt für die tatsächlich verwendeten Rohstoffe und die angewandte Rezeptur zu finden und beizubehalten.

Mit SikaPaver®-Verdichtungshilfen (C und HC Serie, typische Dosierung 0.3 M.-%) werden die Betonrohlichten bei unveränderten Verdichtungsbedingungen erhöht, was zu höheren Festigkeiten führt. Noch wichtiger ist die minimierte Schwankungsbreite der Festigkeit trotz unvermeidbarer Schwankungen in den Ausgangsmaterialien, z. B. im Wassergehalt. Die daraus resultierenden Betonmischungen sind robuster, ermöglichen einen Optimierungsprozess und ergeben weniger Produkte zweiter Wahl.

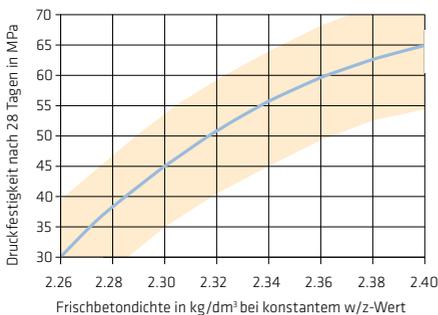


Abb. 6.12.1: Einfluss der Dichte auf die Druckfestigkeit

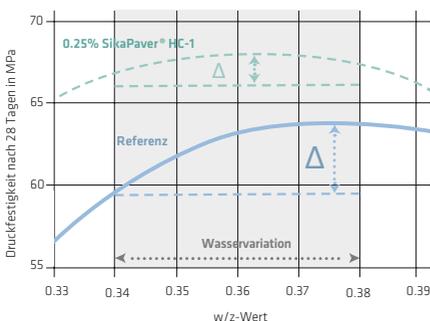


Abb. 6.12.2: Einfluss des w/z -Wertes auf die Druckfestigkeit

Ausblühungen und andere “Verfärbungen”

Das Problem der Ausblühungen ist allgemein als weisse “Salz”-Ablagerung bekannt. Dies kann vor allem das Aussehen von dunkel gefärbten Betonpflastersteinen beeinträchtigen. Die schlimmsten Fälle treten auf, wenn die Ausblühungen unterschiedlich stark sind. Dies gilt im Allgemeinen für die häufigste Art – sekundäre Ausblühungen, die in den Lücken zwischen den einzelnen Lagen der palettierten Einheiten während der Aussenlagerung in Stapeln entstehen. Aber auch primäre Ausblühungen, die die angestrebte brillante Farbe schon während der Lagerung in der Klimakammer anlaufen lassen, können zu Kundenreklamationen führen.

Ausblühungen entstehen im Allgemeinen auf der Betonoberfläche, wenn die folgenden drei Bedingungen gegeben sind:

- Freies Calciumhydroxid Ca(OH)_2 (das für alle Zementsorten, auch gemischte, ausreichend vorhanden ist)
- Wassergefüllte kapillare Hohlräume (bis zur Betonoberfläche)
- Geringe Verdunstungsraten aufgrund des Klimas (insbesondere im Herbst / Winter, wenn es kühler ist) und der blockierten Belüftung (enge Lagerung)



Das Calciumhydroxid wird aufgrund des Konzentrationsgefälles der Calcium-Ionen in der Feuchtigkeit an die Betonoberfläche transportiert. Durch die Reaktion von Calciumhydroxid mit dem Kohlendioxid (CO_2) der Luft entsteht das weisse Calciumkarbonat (Kalkstein). Wasser ist das wichtigste Transportmittel. Je grösser die Wasseraufnahme des Betons (Porengehalt) ist, desto länger ist die Trocknungszeit der Pflastersteine und desto stärker sind die sich daraus ergebenden Ausblühungen.



Es gibt keine kosteneffektive Möglichkeit, dies absolut zu verhindern. Die folgenden Vorkehrungen können jedoch getroffen werden, um die Ausblühungen auf ein Mindestmass zu verringern:

- Dichtes Betongefüge (Verdichtung, Bindemittel und Wassergehalt)
- Anwendung von hydrophoben Zusatzmitteln (wasserabweisende Ausblühverminderer) sowohl im Vorsatz- als auch im Unterbeton
- Geringe Verdunstungsrate während der Lagerung (keine Zugluft)
- Uneingeschränkte Luftzirkulation (Kohlendioxid) während der ersten Aushärtung
- Sicherstellung eines hohen Hydratationsgrades, wenn die Produkte die Klimakammer verlassen
- Der Lagerbestand ist vor Regen und Kondenswasser zu schützen, wobei die Luftzirkulation aufrechtzuerhalten ist, um eine schnelle Trocknung im Fall eines Wassereintruchs zu gewährleisten, z. B. durch eine einfache Dachkonstruktion.

Die Anwendung der SikaPaver®-Ausblühverminderertechnologie (AE-Serie) führt zu einer stark reduzierten kapillaren Wasseraufnahme der Pflastersteine und damit zu einem deutlich verringerten Ausblühungspotenzial. Dennoch ist ein gutes Betonkonzept mit geringem Porengehalt notwendig, um den geringsten Ausblühungsgrad zu gewährleisten. Dies gilt auch für die Verringerung von braunen oder gelben Verfärbungen sowie für die Begrenzung von Moos und Flechten.

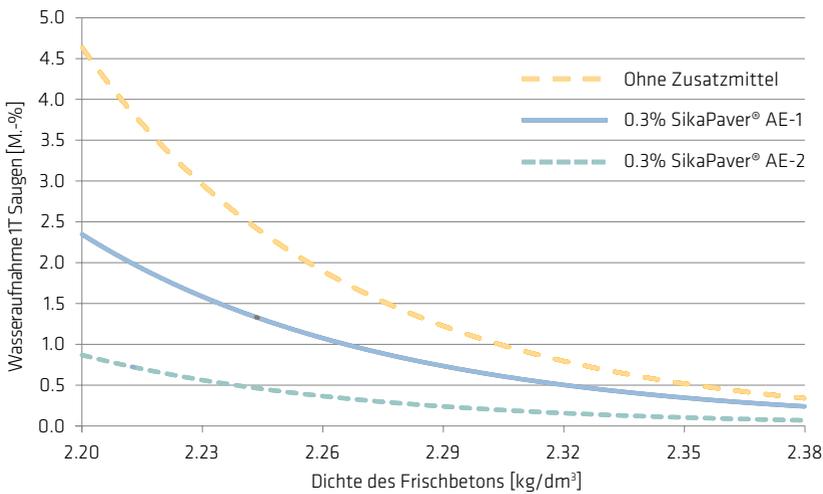


Abb. 6.12.3: Einfluss der SikaPaver® AE-Typen auf die Wasseraufnahme in Abhängigkeit von der Betondichte

Frost-Tausalz-Beständigkeit

Die Beständigkeit von erdfeuchtem Beton gegen wiederholte Frost-Tau-Zyklen bei Kontakt mit Tausalzen wird gemäss der europäischen Norm EN 1338 mit dem Plattenprüfverfahren geprüft. Viele Hersteller, vor allem diejenigen, die hochwertige Produkte herstellen wollen, verwenden jedoch die CDF-Prüfmethode, die in der Regel zu einer stärkeren Abblätterung (Materialverlust an der Pflastersteinoberfläche) führt.

Im Allgemeinen hat ein hochwertiger, erdfeuchter Beton mit frostsicheren Gesteinskörnungen aufgrund des niedrigen w/z -Wertes in Kombination mit einem niedrigen Porengehalt und einem hohen Zementhydratationsgrad beim Verlassen der Nachbehandlungskammer eine ausreichende Frost-Tausalz-Beständigkeit. Aufgrund der vielen Einflussfaktoren wie w/z -Wert (idealerweise zwischen 0.36 und 0.40), Verdichtungsporengehalt, Nachbehandlungsart / -dauer, Gesteinskörnung und Zement müssen Eignungsprüfungen mit der individuellen Betonauslegung auf Basis des örtlichen Materials durchgeführt werden.



Tabelle 6.12.1: SikaPaver® Produktpalette

	SikaPaver® C-1	SikaPaver® HC-1	SikaPaver® AE-1	SikaPaver® AE-2
Schnelles Füllen der Formen	■	■ ■	■	■
Verflüssigung / Dichte	■ ■	■ ■ ■	■ ■	■
Glatte Flanken mit Zementleim		■ ■ ■	■ ■	■
Antihafteffekt		■	■ ■	■ ■
Frühfestigkeit (24 Std.)	■	■ ■	■	■
Kontrollfestigkeit (28 Tage)	■ ■	■ ■ ■	■ ■	■
Intensive Farben			■ ■ ■	■ ■
Verringerung von Ausblühungen und Wasseraufnahme			■ ■	■ ■ ■
Wasserabweisender Effekt				■ ■ ■
	C = Verdichtung (Compaction)	HC = Hohe Verdichtung (High Compaction)	AE = Ausblühverminderung	

■ mässige Auswirkungen ■ ■ starke Auswirkungen ■ ■ ■ sehr starke Auswirkungen

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
SikaPaver® C-1	Verdichtungshilfe für erdfeuchte Betonprodukte	Herstellung von Standardprodukten mit verbesserter Verdichtbarkeit
SikaPaver® HC-1	Hochleistungs-Verdichtungshilfe für erdfeuchte Betonprodukte mit Schlierenbildung	Kosteneffiziente Herstellung von qualitativ hochwertigen erdfeuchten Betonprodukten mit glatten Flanken
SikaPaver® AE-1	Ausblühverminderer und Verdichtungshilfe für brillante Farben	Herstellung von farbigen Produkten mit erhöhter Festigkeit und Dauerhaftigkeit
SikaPaver® AE-2	Ausblühverminderer mit wasserabweisender Wirkung	Herstellung qualitativ hochwertiger Produkte mit langanhaltender Beständigkeit gegen Ausblühungen und Moosbildung

6.13 3D-BETONDRUCK

Materiallösungen für den 3D-Betondruck

In den letzten Jahren wurde in der Bauindustrie viel über additive Fertigung diskutiert. Die Möglichkeit, Bauverfahren zu automatisieren und der Mangel an gut ausgebildetem Personal sind Faktoren, die zu einer höheren Bedeutung dieser Diskussion führen. Darüber hinaus ergeben sich durch die additive Fertigung neue Möglichkeiten für die Gestaltung und den Bau von Gebäuden.

Der 3D-Druck von zementhaltigen Materialien ist in der Bauindustrie angekommen und es gibt mehrere Unternehmen auf dem Markt, die Systeme für den 3D-Betondruck anbieten. Hauptsächlich mit Roboterarmen oder mit Portaldruckern. Beide Arten von 3D-Betondruckern arbeiten mit der Extrusion von vorgemischtem Material und bringen das Material schichtweise auf.

Die Anforderungen an das gedruckte Material hängen von einer Reihe von Faktoren ab, zum Beispiel:

- Geometrie des gedruckten Elements
- Erforderliche Druckgeschwindigkeit
- Höhe des Drucks
- Chargen oder kontinuierliches Mischverfahren
- Festigkeitsentwicklung
- Endfestigkeit
- Anforderungen an die Dauerhaftigkeit
- Umgebungsbedingungen beim Drucken
- Nachbehandlungsbedingungen

Oberfläche und Aussehen

Einer der Vorteile des 3D-Drucks ist die Freiheit im Design. Architekten verfügen über völlig neue Möglichkeiten, Geometrien und Oberflächen mit einer kostengünstigen Methode zu gestalten. Architekturbetone, wie Sichtbeton oder Farbbeton, stellen hohe Anforderungen an die Betonoberfläche. Mit dem 3D-Druck können neue Formen, Texturen und Farben von Oberflächen schnell, einfach und kostengünstig erzeugt werden. Diese neuen Gestaltungsmöglichkeiten führen zu hohen Anforderungen an die Präzision, Reproduzierbarkeit und Konstanz des Druckmaterials.

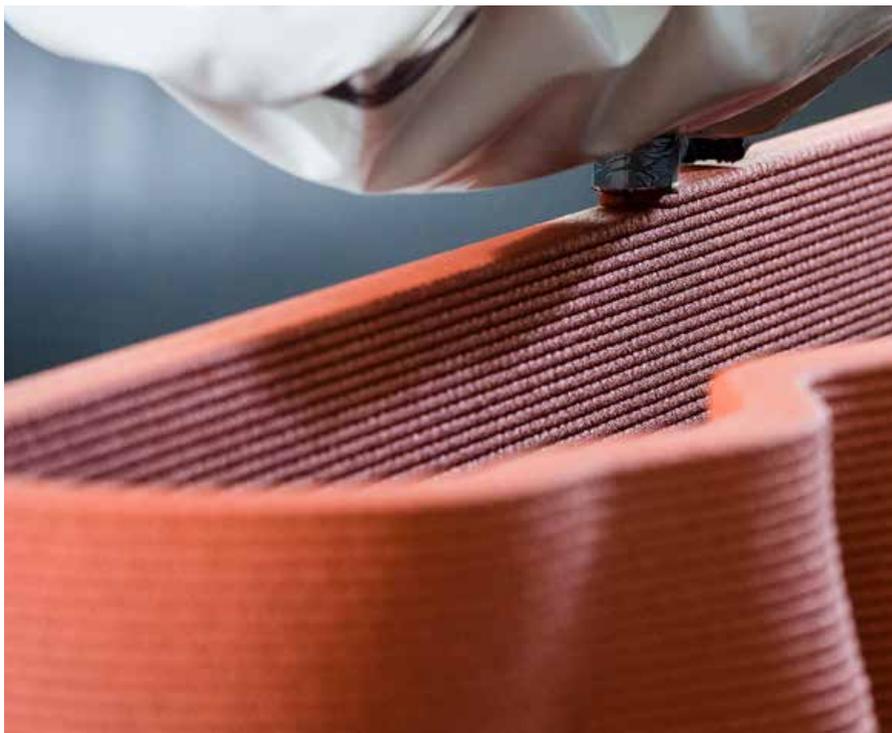


Mit der Erfahrung, die Sika in den letzten Jahren mit dem 3D-Druck von zementartigen und anderen Materialien gesammelt hat, ist das Unternehmen nun in der Lage, Materialien zu entwickeln, welche diese Anforderungen erfüllen und zu hervorragenden 3D-Drucken in Bezug auf Präzision und Oberflächenaussehen führen.

Material und Drucker

Das Ergebnis eines zementartigen 3D-Drucks hängt nicht nur von der Präzision des Drucksystems ab, die ein wichtiger Erfolgsfaktor ist, sondern auch vom Material, welches zum Drucker und zur Anwendung passen muss. Beispielsweise sind die Materialanforderungen für ein Element, das in Innenräumen unter konstanten Klimabedingungen gedruckt wird, anders als für ein Element, das im Freien gedruckt wird. Auch das Drucksystem muss definiert werden, bevor das richtige Material für den Druck ausgewählt wird. Ein Drucker, der einen Chargenmischer verwendet, hat beispielsweise andere Anforderungen an das Material als ein schneller kontinuierlicher Mischprozess mit grossem Materialdurchsatz.

Beim Drucken des Materials ist es wichtig, eine gute Verbindung zwischen den Schichten zu gewährleisten, damit die Struktur ein homogenes Material ist. Je nach Geometrie des gedruckten Elements können die Anforderungen an die Abbindezeit unterschiedlich sein. Eine zu langsame Aushärtung des Materials kann zu einem sehr langsamen Druckprozess führen, da mit zunehmenden Schichten der Druck auf die untere Schicht steigt.



Sika hat eine eigene Lösung entwickelt, die sehr flexibel ist, um den Kundenanforderungen gerecht zu werden. Der Schwerpunkt dieser Mehrkomponentenlösung liegt auf dem Precast-Druck mit hoher Druckgeschwindigkeit und hoher Präzision.



Lösungen

Sika hat ein Mehrkomponentensystem für den 3D-Betondruck entwickelt, das Materialversorgung, Mischtechnologie, Druckkopf, Portalsystem und Softwaresteuerung umfasst. Darüber hinaus entwickelt Sika Einkomponenten-Materialien für Kunden, die bereits ein 3D-Drucksystem verwenden. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Kunden und Sika, um das richtige Material für die Drucklösung zu liefern. Mit diesem Systemansatz kann ein Material entwickelt werden, das zu Drucken mit der höchstmöglichen Qualität führt.



Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sikacrete®-3D	Mikrobeton Systeme, dass exklusiv für die 3D-Drucker von Sika entwickelt wurde	Materiallösungen für den schnellen, präzisen und kostengünstigen Druck von Beton nach Ihren Projektanforderungen

7 EIGENSCHAFTEN VON FESTBETON UND TESTS

7.1 ANFORDERUNGEN AN PROBEKÖRPER UND SCHALUNGEN

EN 12390-1

Begriffe aus dieser Norm:

■ Nennmass

Die übliche Probenkörpergrösse

■ Benanntes Mass

Die Probenkörpergrösse in mm wird aus dem zulässigen Bereich der Nennmass in der Norm ausgewählt und als Grundlage für die Analyse verwendet.



Zulässige und verwendbare Nennmasse (in mm)

Würfel ¹	Kantenlänge	100		150	200	250	300
Zylinder ²	Durchmesser	100	113 ³	150	200	250	300
Prismen ^{1 4}	Kantenlänge der Stirnseite	100		150	200	250	300

¹ Die angegebenen Grössen dürfen nicht von den Nennmassen abweichen.

² Die angegebenen Grössen dürfen nicht mehr als 10% von der Nennmasse abweichen.

³ Dies ergibt eine Lastübertragungsfläche von 10 000 mm².

⁴ Die Länge der Prismen muss $\geq 3.5 d$ sein.

Zulässige Abweichungen bei Probekörpern

Zulässige Abweichungen	Würfel	Zylinder	Prismen
vom benannten Mass	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.5\%$
Der benannten Masse zwischen der oberen Fläche und der unteren (Grund)fläche	$\pm 1.0\%$		$\pm 1.0\%$
Der Ebenheit der Lasteintragungsflächen	$\pm 0.0006 d$ in mm	$\pm 0.0005 d$ in mm	
Von der Rechtwinkligkeit der Seiten zur Grundlinie	$\pm 0.5 \text{ mm}$	$\pm 0.5 \text{ mm}$	$\pm 0.5 \text{ mm}$
Von der Höhe		$\pm 5\%$	
Zulässige Geradheitsabweichung der Mantellinie von Zylindern, die für Spaltprüfungen verwendet werden		$\pm 0.2 \text{ mm}$	
Von der Geradheit der Fläche auf den Auflagern, für Biegeversuche			$\pm 0.2 \text{ mm}$
Von der Geradheit der Lasteintragungsfläche, für Spaltzugfestigkeitsprüfungen			$\pm 0.2 \text{ mm}$

Schalungen

Die Schalungen müssen wasserdicht und dürfen nicht saugfähig sein. Die Fugen können mit geeignetem Material abgedichtet werden.

Kalibrierte Schalungen

Diese müssen aus Stahl oder Hartguss wie das Referenzmaterial hergestellt sein. Wenn andere Materialien verwendet werden, muss ihre langfristige Vergleichbarkeit mit Stahl oder Hartguss nachgewiesen werden. Die zulässigen Massabweichungen für kalibrierte Schalungen sind kleiner als die vorstehend für Standardschalungen definierten.

HERSTELLUNG UND NACHBEHANDLUNG VON PROBEN*

***Hinweis:** Es wird empfohlen, diese Norm nicht nur auf die Festigkeitsprüfungen, sondern auch auf alle vergleichenden Betonprüfungen anzuwenden.

EN 12390-2

Hinweise zur Herstellung von Proben

Aufsatzrahmen

Das Füllen in die Schalungen kann durch einen Aufsatzrahmen erleichtert werden, dessen Verwendung jedoch optional ist.

Verdichtung (verschiedene Möglichkeiten)

- Innenrüttler mit einer Mindestfrequenz von 120 Hz (7 200 Schwingungen pro Minute). (Flaschendurchmesser $\leq \frac{1}{4}$ der kleinsten Abmessung der Probe.)
- Tischrüttler mit einer Mindestfrequenz von 40 Hz (2 400 Schwingungen pro Minute)
- Kreisförmiger Stahlstampfer $\times 16$ mm, Länge ca. 600 mm, mit abgerundeten Ecken
- Verdichtungsstab aus Stahl, quadratisch oder rund, ca. 25 \times 25 mm, Länge ca. 380 mm.

Trennmittel

Diese sollten verwendet werden, um zu verhindern, dass der Beton an der Schalung klebt.

Hinweise zur Verarbeitung

Die Probekörper müssen in mindestens 2 Lagen hergestellt und verdichtet werden, wobei die Lagen nicht dicker als 100 mm sein dürfen.

Hinweise zur Verdichtung

Bei der Verdichtung durch Vibration ist eine vollständige Verdichtung erreicht, wenn keine grossen Luftblasen mehr an die Oberfläche dringen und die Oberfläche ein glänzendes und recht glattes Aussehen hat. Vermeiden Sie übermässige Vibrationen (Freisetzung von Luftporen!). Manuelle Verdichtung mit einem Stab oder einem Stampfer: Die Anzahl der Stösse pro Schicht hängt von der Konsistenz ab, aber es müssen mindestens 25 Stösse pro Schicht sein.

Bezeichnung der Probekörper

Eine eindeutige und dauerhafte Kennzeichnung der ausgeschalteten Probekörper ist wichtig, insbesondere wenn sie anschliessend einige Zeit gelagert werden sollen.

Lagerung der Probekörper

Die Probekörper müssen bei einer Temperatur von $20 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ bzw. $25 (\pm 5) ^\circ\text{C}$ in Ländern mit heissem Klima mindestens 16 Stunden, aber nicht länger als 3 Tage in der Schalung verbleiben. Sie müssen vor physikalischen und klimatischen Einflüssen sowie vor Austrocknung geschützt werden. Nach dem Ausschalen müssen die Probekörper bis zum Beginn der Prüfung bei einer Temperatur von $20 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ entweder in Wasser oder in einer Feuchtekammer bei einer relativen Luftfeuchtigkeit $\geq 95\%$ aufbewahrt werden. (Im Zweifelsfall ist die Wasseraufbewahrung die Referenzmethode).

Anforderungen an die Prüfmaschine

EN 12390-4

Diese Norm besteht hauptsächlich aus mechanischen Daten: Druckplatten / Kraftmessung / Kraftregulierung / Krafteinleitung. Ausführliche Informationen finden Sie in der Norm.

Prinzip

Der Probekörper wird zwischen einer oberen beweglichen Druckplatte (kugelförmig) und einer unteren Druckplatte platziert und eine axiale Druckkraft wird bis zum Bruch ausgeübt.

Wichtige Hinweise

Die Probekörper müssen in Bezug auf die Belastungsebene korrekt ausgerichtet sein. Die untere Druckplatte muss daher z. B. mit Zentrierrillen versehen sein. Die Druckprüfmaschine muss nach der Erstmontage (oder nach Demontage und Wiedermontage), im Rahmen der Prüfmittelüberwachung (im Rahmen des Qualitätssicherungssystems) oder mindestens einmal jährlich kalibriert werden. Dies kann auch nach dem Austausch eines Maschinenteils erforderlich sein, das die Prüfmerkmale beeinflusst.

7.2 ROHDICHTE

Rohdichte von Festbeton

Prinzip

Die Norm beschreibt ein Verfahren zu der Bestimmung der Rohdichte von Festbeton. Die Rohdichte wird aus der Masse (Gewicht) und dem Volumen berechnet, die aus einem Festbetonprobekörper gewonnen wird.



Probekörper

Es sind Probekörper mit einem Mindestvolumen von 1 Liter erforderlich. Beträgt die Nenngrösse des Grösstkorns mehr als 25 mm, so muss das Mindestvolumen des Probekörpers mehr als $50 D^3$ betragen, wobei D das Grösstkorn ist. (Beispiel: Eine maximale Korngrösse von 32 mm erfordert ein Mindestvolumen von 1.64 Litern.)

Bestimmung der Masse

Die Norm legt drei Bedingungen fest, unter denen die Masse des Probekörpers bestimmt werden kann:

- Wie angeliefert
- Wassergesättigt
- Im Wärmeschrank getrocknet (bis zur konstanten Masse)

Bestimmung des Volumens

Die Norm legt drei Verfahren zur Bestimmung des Probenvolumens fest:

- Durch Wasserverdrängung (Referenzmethode)
- Durch Berechnung aus den tatsächlich gemessenen Massen
- Durch Berechnung aus geprüften angegebenen Massen (für Würfel)

Die Bestimmung des Volumens durch Wasserverdrängung ist die genaueste Methode und die einzige, die sich für Probekörper mit unregelmässiger Form eignet.

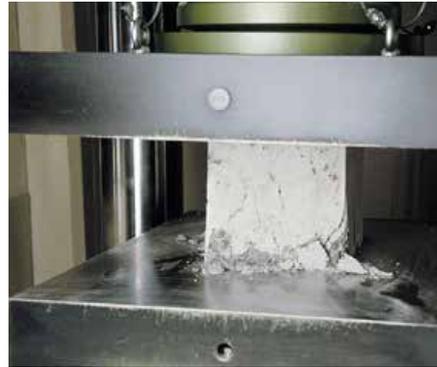
Prüfverfahren z. B. EN 12390-7

7.3 DRUCKFESTIGKEIT

Druckfestigkeitsklassen nach EN 206

Eine wichtige Eigenschaft von Festbeton ist die Druckfestigkeit. Sie wird durch einen Druckversuch an speziell angefertigten Probekörpern (Würfel oder Zylinder) oder Bohrkernen aus dem Bauwerk ermittelt.

Die wichtigsten Faktoren, welche die Druckfestigkeit beeinflussen, sind die Zementart, der w / z-Wert und der Hydratationsgrad, der vor allem durch die Nachbehandlungszeit und -methode beeinflusst wird.



Die Betonfestigkeit ergibt sich also aus der Festigkeit des Zementsteins, der Festigkeit der Gesteinskörnung, der Bindung zwischen den beiden Bestandteilen und der Nachbehandlung. Richtwerte für die Entwicklung der Druckfestigkeit sind in der nachstehenden Tabelle angegeben.

Tabelle 7.3.1: Festigkeitsentwicklung von Beton (Richtwerte¹)

Zementfestigkeitsklasse	Ständige Lagerung bei	3 Tage [%]	7 Tage [%]	28 Tage [%]	90 Tage [%]	180 Tage [%]
32.5 N	+20 °C	30 ... 40	50 ... 65	100	100 ... 125	115 ... 130
	+5 °C	15 ... 30	40 ... 60	90 ... 105		
32.5 R; 42.5 N	+20 °C	50 ... 60	65 ... 80	100	105 ... 115	110 ... 120
	+5 °C	20 ... 35	40 ... 60	75 ... 90		
42.5 R; 52.5 N	+20 °C	70 ... 80	80 ... 90	100	100 ... 105	105 ... 110
	+5 °C	20 ... 35	35 ... 50	60 ... 75		
52.5 R	+20 °C	80 ... 90	90 ... 95	100	100 ... 103	103 ... 105
	+5 °C	15 ... 25	25 ... 45	45 ... 60		

¹ Die 28-Tage-Druckfestigkeit bei ständiger Lagerung bei 20 °C entspricht 100%.

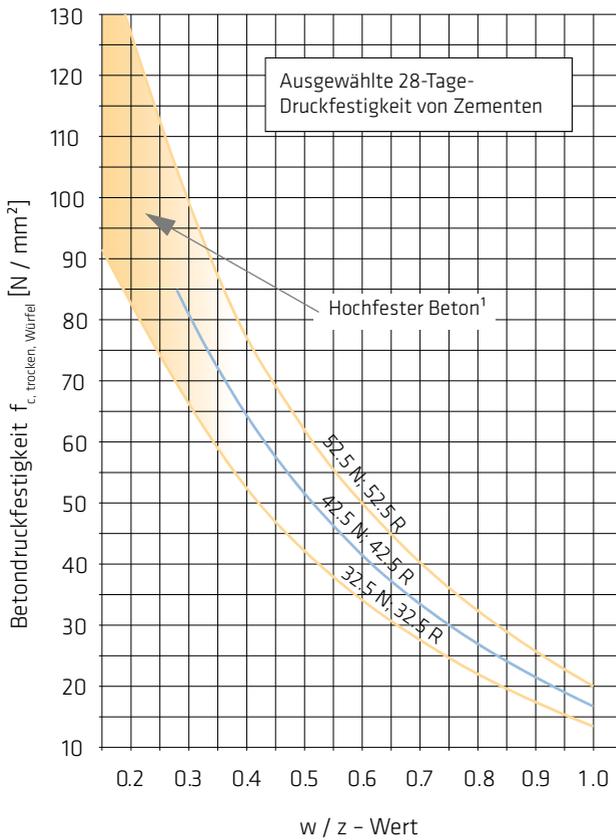


Abb. 7.3.1: Zusammenhang zwischen Betondruckfestigkeit, Normfestigkeit des Zements und w / z-Wert (nach dem "Cement Handbook 2000")

¹

- Bei hochfestem Beton wird der Einfluss der Druckfestigkeitsklasse des Zements weniger wichtig.

$f_{c, trocken, Würfel}$

- Durchschnittliche 28-Tage-Betondruckfestigkeit von 150 mm-Probewürfeln.
- Lagerung nach DIN 1048; 7 Tage in Wasser, 21 Tage an der Luft.

Hohe Frühfestigkeit

Die hohe Frühfestigkeit ist die erforderliche Druckfestigkeit nach einer bestimmten Zeitspanne. Die benötigte Zeit wird durch die Anwendung bestimmt. Im Normalfall ist dies innerhalb der ersten 24 Stunden nach der Produktion der Fall.

Parameter, die eine hohe Frühfestigkeit von Beton beeinflussen

Tabelle 7.3.2: Die Festigkeitsentwicklung hängt von den folgenden Parametern ab:

Parameter	Einflussfaktor
Zementart	+++
Zementgehalt	++
Zusatzstoffe (SF / Schlacke / FA)	+ / -
Wassergehalt	+
Verflüssiger / Fließmittel	+ / -
Beschleuniger	+++
Temperatur (Umgebung, Beton, Untergrund)	+++
Nachbehandlung	+ / -
Gesteinskörnungen	+

Endfestigkeit

Nach Definition erreicht ein Beton seine Endfestigkeit nach 28 Tagen, auch wenn die Druckfestigkeit mit der Zeit ansteigen kann (siehe Tabelle 7.3.1: Festigkeitsentwicklung von Beton).

Parameter, die die Endfestigkeit beeinflussen

Tabelle 7.3.3: Die Festigkeitsentwicklung hängt von den folgenden Parametern ab:

Parameter	Einflussfaktor
w / z-Wert	+++
Zementart	++
Zusatzstoffe (SF / Schlacke / FA)	++
Gesteinskörnungen	+

Der w / z-Wert ist der entscheidende Faktor zur Beeinflussung der Festigkeitsentwicklung / Endfestigkeit und Dichtheit / Dauerhaftigkeit eines Betons.

DRUCKFESTIGKEIT DER PROBEKÖRPER

EN 12390-3

Gerät zur Prüfung: Druckprüfmaschine nach EN 12390-4.

Anforderungen an die Probekörper

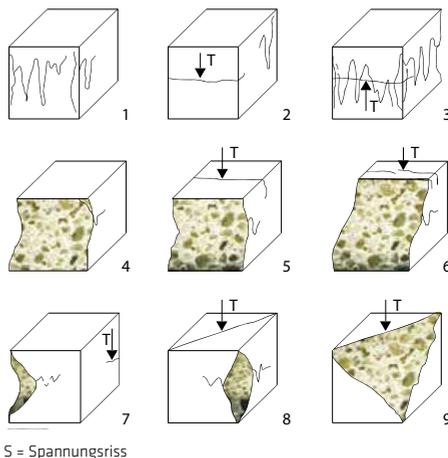
Die Probekörper müssen Würfel, Zylinder oder Prismen sein. Sie müssen die Anforderungen an die Masshaltigkeit gemäss EN 12390-1 erfüllen. Werden die Toleranzen überschritten, müssen die Proben gemäss Anhang B (normativ) ausgesondert, angepasst oder gescreent werden. In Anhang B wird erläutert, wie die geometrischen Abmessungen zu bestimmen sind. Für die Anpassung (Schneiden, Schleifen oder Aufbringen eines Füllmaterials) wird eines der in Anhang A (normativ) beschriebenen Verfahren verwendet.

Die Würfelproben müssen rechtwinklig zur Betonierichtung (bei der Herstellung der Würfel) geprüft werden. Am Ende der Prüfung muss die Art des Bruchs bewertet werden. Wenn er ungewöhnlich ist, muss er mit der Typennummer vermerkt werden.

Abb. 7.3.2: Normale Bruchmuster (Abbildungen aus der Norm)



Abb. 7.3.3: Ungewöhnliche Bruchmuster auf Würfeln (Abbildungen aus der Norm)



EN 12504-2 Prüfung von Beton in Bauwerken – Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung – Bestimmung der Rückprallzahl (Betonprüfhammer)

Dieses Prüfverfahren umfasst die Bestimmung des Rückprallwerts von Festbeton mit einem federgespannten Stahlhammer. Es eignet sich zur Beurteilung der Gleichmässigkeit des Betons an Ort und Stelle, zur Abgrenzung von Bereichen mit minderwertigem oder beschädigtem Beton in einem Bauwerk und zur Schätzung der Festigkeit an Ort und Stelle. Ein vom Gerätehersteller angegebenes Verhältnis zwischen dem Rückprallwert und der Betonfestigkeit sollte nur verwendet werden, um Hinweise auf die relative Betonfestigkeit an verschiedenen Stellen eines Bauwerks zu erhalten. Um mit dieser Prüfmethode die Festigkeit abschätzen zu können, muss eine Kalibration zwischen Festigkeit und Rückprallwert für eine bestimmte Betonmischung und ein bestimmtes Gerät erstellt werden. Diese Kalibration kann vorgenommen werden, indem Sie die am Bauwerk gemessenen Rückprallwerte mit den Festigkeiten der an den entsprechenden Stellen entnommenen Bohrkerne korrelieren. Nicht weniger als zwei Bohrkerne sind an mindestens sechs Stellen mit unterschiedlichen Rückprallwerten zu entnehmen. Die Prüfstellen sind so zu wählen, dass ein breiter Bereich von Rückprallwerten in der Struktur erreicht wird.

Bei einer bestimmten Betonmischung wird der Rückprallwert von Faktoren wie dem Feuchtigkeitsgehalt der Prüfoberfläche, der zur Herstellung der Prüfoberfläche verwendeten Methode (Art des Schalungsmaterials oder der Art der Oberflächenbearbeitung), dem vertikalen Abstand von der Unterseite des Betons und der Tiefe der Karbonatisierung beeinflusst. Diese Faktoren müssen bei der Interpretation der Rückprallwerte berücksichtigt werden. Verschiedene Hämmer der gleichen Ausführung können Rückprallwerte ergeben, die um 1 bis 3 Einheiten differieren.

Daher sollten die Tests mit demselben Hammer durchgeführt werden, um die Ergebnisse vergleichen zu können. Wenn mehr als ein Hammer verwendet werden soll, sind Prüfungen an einer Reihe typischer Betonoberflächen durchzuführen, um das Ausmass der zu erwartenden Unterschiede zu bestimmen.

7.4 BIEGEZUGFESTIGKEIT

Beton wird grundsätzlich unter Druckspannung verwendet und die Zugkräfte werden durch Bewehrungsstäbe aufgenommen. Beton selbst hat eine gewisse Zug- und Biegezugfestigkeit, die stark von der Mischung abhängt.

Der kritische Faktor ist die Bindung zwischen Gesteinskörnung und Zementstein. Beton hat eine Biegezugfestigkeit von etwa 2 N/mm^2 bis 7 N/mm^2 .



Einflüsse auf die Biegezugfestigkeit

Biegezugfestigkeit nimmt zu

- Mit steigender Zementdruckfestigkeitsklasse (CEM 32.5; CEM 42.5; CEM 52.5)
- Mit abnehmenden w/z -Wert
- Durch die Verwendung von kantiger und zerkleinerter Gesteinskörnung
- Durch den Einsatz der Sika Silicafume-Technologie → SikaFume®
- Durch den Einsatz von Fasern

Typische Anwendungen

- Faserbeton
- Beton für Start- / Landebahnen / Strassen



Prüfverfahren, z. B. EN 12390-5

EN 12390-5 Verwendung eines einfachen Balkens mit 3-Punkt-Lastangriff

Prinzip

Auf die Prismenprobekörper wird durch Lasteintragung über obere und untere Rollen ein Biegemoment ausgeübt.

- Abmessungen der Prismen:
Breite = Höhe = d / Länge $\geq 3.5 d$

Es werden zwei Testmethoden angewandt:

- 2-Punkt-Lastangriff (4-Punkt-Biegezug-Prüfung)
Lastangriff oben durch 2 Rollen im Abstand d (jeweils $1/2 d$ von der Mitte des Prismas).
Die Referenzmethode ist der 2-Punkt-Lastangriff.
- 1-Punkt-Lastangriff (mittig) (3-Punkt-Biegezug-Prüfung)
Lastangriff oben durch 1 Rolle, in der Mitte des Prismas.

Bei beiden Methoden befinden sich die unteren Rollen in einem Abstand von $3 d$ (jeweils $1/2 d$ vom Mittelpunkt des Prismas).

Die Analysen haben gezeigt, dass die Ergebnisse des 1-Punkt-Lastangriffs etwa 13% über denen des 2-Punkt-Lastangriffs liegen.

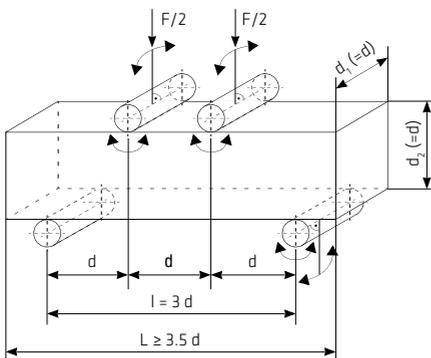


Abb. 7.4.1: 2-Punkt-Lastangriff (4-Punkt-Biegezug)

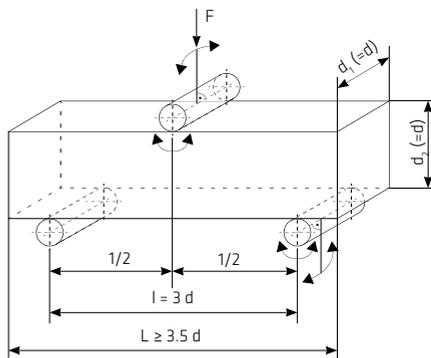


Abb. 7.4.2: Mittiger Lastangriff (3-Punkt-Biegezug)

7.5 ZUGFESTIGKEIT

Spaltzugfestigkeit der Probekörper

Prinzip

Ein zylindrischer Probekörper wird einer Druckkraft ausgesetzt, die unmittelbar entlang seiner Längsachse aufgebracht wird. Die resultierende Zugkraft führt dazu, dass der Probekörper unter Zugspannung bricht.



Probekörper

Zylinder nach EN 12390-1, wobei ein Verhältnis von Durchmesser zu Länge von 1 zulässig ist. Werden die Prüfungen an Würfel- oder Prismenprobekörper durchgeführt, können gewölbte Zwischenstücke aus Stahl für die Lastaufbringung verwendet werden (anstelle der herkömmlichen flachen Platten).

Der gebrochene Probekörper muss untersucht und das konkrete Aussehen und die Art des Bruchs aufgezeichnet werden, wenn sie ungewöhnlich sind.



Prüfverfahren z. B. EN 12390-6

7.6 ELASTIZITÄTSMODUL (E-MODUL)

Der E-Modul beschreibt das Verhalten des Festbetons hinsichtlich seines elastischen Verformungswiderstands. Er ist das Verhältnis zwischen einer einwirkenden Spannung und der entsprechenden elastischen Verformung (Spannungs-Dehnungs-Beziehung). Es kann zwischen dem statischen und dem dynamischen Elastizitätsmodul unterschieden werden.



Der statische E-Modul charakterisiert den Verformungswiderstand von Beton gegen eine gleichmässig ansteigende Belastung oder eine Stossbelastung. Der dynamische E-Modul eignet sich zur Untersuchung des Reifegrades von Beton, z. B. des Aushärtungsprozesses oder zur Messung der Witterungseinflüsse bzw. möglicher schädigender Einflüsse (Labor- oder Feldprüfkörper).

Statischer Elastizitätsmodul nach DIN 1048-5

Nach DIN 1048-5 wird der statische E-Modul zwischen einer unteren Spannungsgrenze von $\sigma_u \approx 0.5 \text{ N/mm}^2$ und einer oberen Spannungsgrenze von $\sigma_o \approx 1/3 \beta_0$, nach zweimaliger Be- und Entlastung bewertet. Bei einem dritten Belastungszyklus wird der statische E-Modul wie folgt bewertet:

$$E_b = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\epsilon_o - \epsilon_u} \quad [\text{N/mm}^2]$$

σ_u = untere Spannungsgrenze vor der dritten Belastung ($\sigma_u \approx 0.5 \text{ N/mm}^2$)

σ_o = obere Spannungsgrenze bei der dritten Belastung

β_0 = erwartete Druckfestigkeit

(vorgängig geprüfte Druckfestigkeit (Durchschnitt von 3 Proben))

ϵ_u = Dehnung bei der entsprechenden Spannung σ_u

ϵ_o = Dehnung bei der entsprechenden Spannung σ_o

Dynamischer Elastizitätsmodul

Der dynamische E-Modul kann durch Messung der Ultraschallausbreitungszeit mit folgendem Ansatz ermittelt werden:

$$E_{\text{dyn}} = C * \rho * c^2$$

C = dimensionslose Konstante

c = Ausbreitungsgeschwindigkeit innerhalb des Materials

ρ = Betondichte

7.7 SCHWINDEN

Unter dem Begriff "Schwinden" versteht man das Schrumpfen oder die Volumenverringering des Betons.

Der zeitliche Ablauf und die Höhe der Schwindverformung werden vor allem durch den Beginn der Trocknung, die Umgebungsbedingungen und die Betonzusammensetzung beeinflusst.



Es werden verschiedene Arten von Schwinden unterschieden. Diese treten zeitlich getrennt und aufeinander folgend auf:

- Das chemische Schwinden des jungen Betons ist nur auf den Volumenunterschied zwischen den Reaktionsprodukten von hydratisiertem Zement und nicht hydratisiertem Zement zurückzuführen. Das Schwinden betrifft nur die Zementmatrix, nicht die Gesteinskörnung.
- Das plastische Schwinden des jungen Betons tritt in der Anfangsphase des Erstarrens und Erhärtens auf. Nach dem Erstarrungsbeginn wird dem Beton durch Verdunstung Wasser entzogen, was zu einer Verringerung des Volumens und eines Zusammenziehen des Betons in allen Richtungen führt. Die Verformung hört normalerweise auf, wenn der Beton eine Druckfestigkeit von 1 N/mm^2 erreicht.
- Trocknungsschwinden → Schwinden durch langsames Austrocknen des Festbetons, d. h. je schneller die freie Wassermenge im Bauwerk abnimmt, desto mehr schwindet der Beton.

Einflüsse auf den Grad des Schwindens:

- Planung und detaillierte Festlegung von Arbeitsfugen und Betonierabschnitten
- Optimierte Betonrezeptur
- Geringstmöglicher Gesamtwassergehalt → Verwendung von **Sika® ViscoCrete® / SikaPlast® / Sikament® / Sika® ViscoFlow®**
- Schwindreduzierendes Zusatzmittel **SikaControl® SRA** → Verringerung des Schwindens nach Beginn der Hydratation
- Vermeidung von Wasserentzug durch Vorbefeuchtung von Schalung und Untergrund
- Gründliche Nachbehandlung: durch Abdecken mit Kunststofffolien oder Thermomatten, wasserspeichernden Abdeckungen (Jute, Geotextilmatten) oder Besprühen mit einem flüssigen Nachbehandlungsmittel **Sika® Antisol®**
- Bewehrung

Prüfverfahren z. B. SIA 262 / 1

Mit dieser Prüfmethode kann die Längenänderung im Laufe der Zeit, die durch den Trocknungsprozess einer Betonprobe verursacht wird, gemessen werden. Die Größe des Prismas beträgt 120 × 120 × 360 mm. Für einen Test müssen mindestens zwei Prismen gemessen werden. Nach 24 Stunden (± 1 Stunde) der Betonherstellung muss die Länge jeder Abmessung der Betonprobe gemessen werden und dient als Referenzwert.

Weitere Messungen müssen nach 3, 7, 14, 28, 91, 182 und 364 Tagen nach der Betonherstellung durchgeführt werden. Das Ergebnis wird in ‰ Schwinden ausgedrückt.

Phase I	Phase II	Phase III
Chemisches Schwinden	Plastisches Schwinden	Trocknungsschwinden
Nachverdichten	Vor Wasserverlust schützen	Nachbehandlung / Schwindreduktion
etwa 4 – 6 Stunden	ca. 1 N / mm ²	

Tabelle 7.71: Art des Schwindens während der Hydratation von Beton

7.8 WASSERDICHTIGKEIT

Die Wasserdichtigkeit bezeichnet die Widerstandsfähigkeit des Betongefüges gegen das Durchdringen von Wasser. Die Wasserdichtigkeit von Beton wird durch die Kapillarporosität des Zementsteins bestimmt.



Definition von Wasserdichtigkeit:

- Die maximale Wassereindringtiefe (EN 12390-8) muss von den beteiligten Parteien vereinbart werden (Sika Empfehlung < 30 mm)
- Anforderung: Gute Betonqualität und richtige Lösung für Fugengestaltung!

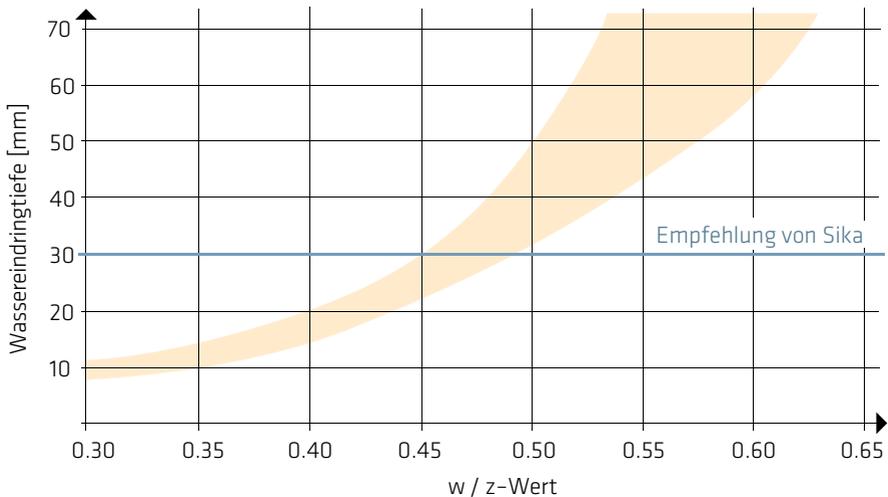


Abb. 7.8.1: Wassereindringtiefe nach EN 12390-8

Definition der Wasserdichtigkeit

- Wasserleitfähigkeit $q_w <$ verdampfbares Wasservolumen q_d

→ Je grösser die Wandstärke d ist, desto besser ist die Wasserdichtigkeit

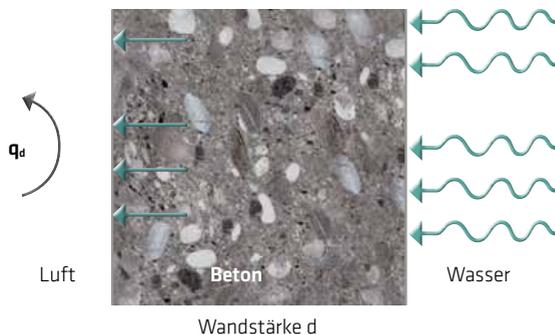


Abb. 7.8.2: Das Prinzip der Wasserleitfähigkeit

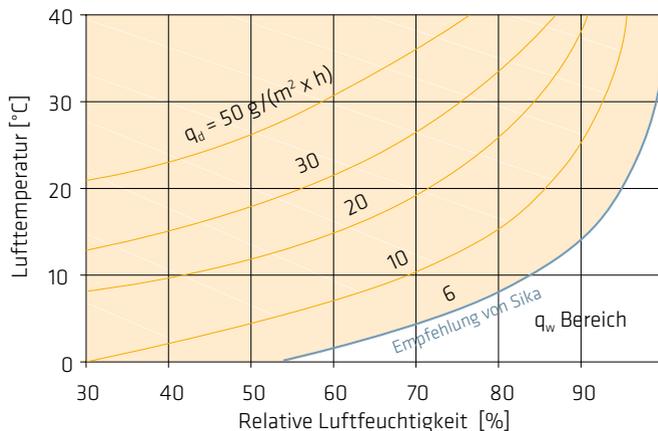


Abb. 7.8.3: Wasserleitfähigkeit nach SIA 262/1 Anhang A

- Empfohlener Bereich für wasserundurchlässige Konstruktionen: $q_w \leq 6 \text{ g}/(\text{m}^2 \times \text{h})$

■ Belastung

Unterschiedliche Sättigung durch dauernden Wasserkontakt

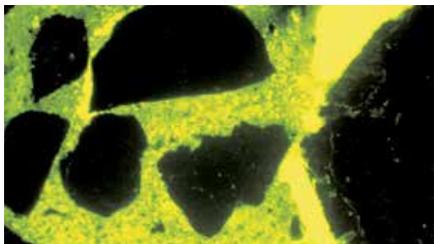
■ Test

Messung der Wasserleitfähigkeit q_w

Reduktion von Kapillarporen und Hohlräumen durch Wasserreduktion

Hoher w/z -Wert > 0.60

Grosse Poren aufgrund des Fehlens von Feinsand und Feinanteile



Niedriger w/z -Wert < 0.40

Sehr dichte Zementmatrix

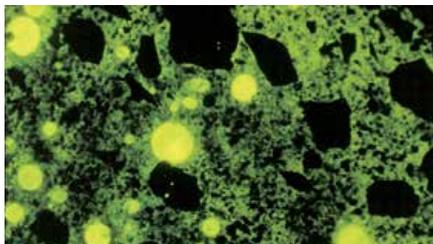


Abb. 7.8.4: Porosität von Beton bei verschiedenen w/z -Werten

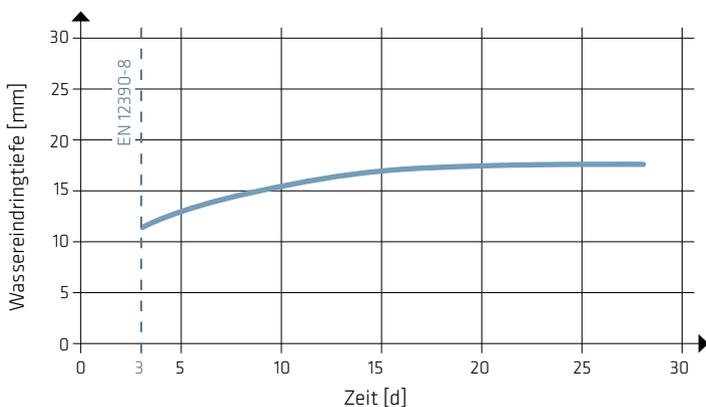


Abb. 7.8.5: Wassereindringtiefe unter 5 bar Druck im Zeitverlauf (spezielle Rezeptur für wasserdichten Beton)

Eine ordnungsgemässe Hydratation ist für wasserdichten Beton von grösster Bedeutung. Daher ist eine korrekte Nachbehandlung des Betons unerlässlich.

Prüfverfahren z. B. EN 12390-8 SIA 262-1

Prinzip

Wasser wirkt unter Druck auf die Oberfläche von Festbeton ein. Am Ende der Prüfzeit wird der Probekörper gespalten und die maximale Wassereindringtiefe gemessen.

Probekörper

Die Probekörper sind Würfel, Zylinder oder Prismen mit einer Kantenlänge oder einem Durchmesser von mindestens 150 mm. Die Prüffläche auf dem Probekörper ist ein Kreis mit einem Durchmesser von 75 mm (der Wasserdruck kann von oben oder unten aufgebracht werden).

Bedingungen während der Prüfung

- Der Wasserdruck darf nicht auf eine geglättete / bearbeitete Oberfläche des Probekörpers aufgebracht werden (vorzugsweise ist eine geschalte Seitenfläche für die Prüfung zu verwenden). Der Bericht muss die Richtung des Wasserdrucks in Bezug auf die Einfüllrichtung bei der Herstellung der Probekörper angeben (rechtwinklig oder parallel).
- Die dem Wasserdruck ausgesetzte Betonoberfläche muss mit einer Drahtbürste aufgeraut werden (vorzugsweise unmittelbar nach dem Ausschalen des Probekörpers)
- Die Probekörper müssen zum Zeitpunkt der Prüfung mindestens 28 Tage alt sein

Test

Während 72 Stunden muss ein konstanter Wasserdruck von 500 (\pm 50) kPa (5 bar) herrschen. Die Probekörper müssen regelmässig auf feuchte Stellen und messbaren Wasserverlust untersucht werden. Nach der Prüfung müssen die Probekörper sofort entnommen und in Druckrichtung gespalten werden. Beim Spalten muss die dem Wasserdruck ausgesetzte Fläche unten liegen. Wenn die Spaltflächen angetrocknet sind, sollte die Richtung, in die das Wasser eingedrungen ist, auf dem Probekörper markiert werden.

Die maximale Eindringtiefe unter der Prüffläche ist zu messen und auf 1 mm genau anzugeben.

7.9 FROST- UND FROST-TAUSALZ-BESTÄNDIGKEIT

Frostbelastung

Frostschäden an Betonbauteilen sind in der Regel dann zu erwarten, wenn diese von Feuchtigkeit durchdrungen sind und in diesem Zustand häufigen Frost-Tau-Zyklen ausgesetzt sind. Die Schäden am Beton entstehen durch das zyklische Gefrieren und Auftauen des Wassers, das durch kapillares Saugen aufgenommen wurde. Die Zerstörung erfolgt durch die Volumenvergrößerung vom flüssigen zum gefrorenen Wassers (Eis) in den äusseren Betonschichten.



Voraussetzungen für eine hohe Frostbeständigkeit:

- Frostbeständige Gesteinskörnungen
- Dichtes Betongefüge und / oder
- Mit Mikroluftporen ($\leq 300 \mu\text{m}$) angereicherter Beton
- Intensive und sorgfältige Nachbehandlung
- Möglichst hoher Hydratationsgrad des Betons (d. h. es ist nicht sinnvoll, unmittelbar vor Frostperioden zu betonieren)

Frost-Tausalz-Beständigkeit

Durch den umfangreichen Einsatz von Tausalzen (in der Regel Natriumchlorid NaCl , das den Gefrierpunkt des Wassers auf den Strassen senken und die Eisbildung verhindern soll) kühlt die Betonoberfläche durch den Wärmeentzug schlagartig ab. Diese Wechselwirkungen zwischen gefrorenen und nicht gefrorenen Schichten führen zu starken Gefügestörungen im Beton.

Bedingungen für Frost-Tausalz-Beständigkeit:

- Frostbeständige Gesteinskörnungen
- Beton mit einem dichten, mit Mikroporen angereicherten, Gefüge
- Intensive und sorgfältige Nachbehandlung
- Zu starke Feinmörtelablagerungen auf der Oberfläche vermeiden
- Betonieren so lange wie möglich vor der ersten Frost-Tausalz-Beanspruchung, damit der Beton austrocknen kann

Prüfverfahren:

- SIA 262-1 (Anhang C)
- SN 640 461 (Frostbeständigkeit diagnostisch [BEIF], Frostbeständigkeit)
- DIN CEN / TS 12390-9:2017-05 Prüfung von Festbeton – Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz Widerstand – Abwitterung

Die Norm beschreibt, wie die Frostbeständigkeit von Beton mit Wasser und die Frost-Tausalz-Beständigkeit mit NaCl-Lösung (Salzwasser) geprüft wird. Gemessen wird die Menge des Betons, die sich nach einer bestimmten Anzahl und Häufigkeit von Frost-Tau-Zyklen von der Oberfläche gelöst hat.

Prinzip

Die Probekörper werden wiederholt auf Temperaturen von teilweise unter -20 °C abgekühlt und wieder auf $+20\text{ °C}$ oder darüber erwärmt (in Wasser oder einer Kochsalzlösung). Die sich daraus ergebende Materialablösung gibt Hinweise auf die vorhandene Frost- bzw. Frost-Tausalz-Beständigkeit des Betons.

Es werden drei Verfahren beschrieben:

1. Verfahren zur Prüfung von Platten
 2. Verfahren zur Prüfung von Würfeln
 3. CD / CDF-Prüfverfahren
- Das Plattenprüfverfahren ist die Referenzmethode.

Begriffe aus der Vornorm

- **Frostbeständigkeit**
Beständigkeit gegen wiederholte Frost-Tau-Zyklen bei Kontakt mit Wasser
- **Frost-Tausalz-Beständigkeit**
Beständigkeit gegen wiederholte Frost-Tau-Zyklen bei Kontakt mit Enteisungsmitteln
- **Abwitterung**
Materialverluste an der Betonoberfläche durch die Einwirkung von Frost-Tau-Zyklen
- **Zusammenbruch des inneren Gefüges**
Risse im Beton, die an der Oberfläche nicht sichtbar sind, aber eine Veränderung der Betoneigenschaften bewirken, wie z. B. eine Verringerung des dynamischen E-Moduls

7.10 ABRIEBWIDERSTAND (ABRASIONSBESTÄNDIGKEIT)

Betonoberflächen sind Rollbeanspruchungen (Räder / Verkehr), Schleifbeanspruchungen (Kufen / Reifen) und / oder Stossbeanspruchungen (Schüttgüter / Flüssigkeiten) ausgesetzt. Die Zementsteinmatrix, die Gesteinskörnung und ihre Bindung werden gleichermaßen beansprucht. Dieser Angriff ist also in erster Linie mechanisch.



Bedingungen für einen besseren Abriebwiderstand

Die Abriebbeständigkeit des Zementsteins ist geringer als die der Gesteinskörnung, insbesondere bei einer porösen Zementmatrix (hoher Wassergehalt). Mit abnehmendem w/z -Wert nimmt jedoch auch die Porosität des Zementsteins ab und die Bindung an die Gesteinskörnung verbessert sich:

- Ideal: w/z -Wert ≤ 0.45
- Verbesserung der Dichtigkeit der Zementsteinmatrix und des Verbunds der Gesteinskörnung und des Zementsteins (**SikaFume**®)
- Auswahl einer geeigneten Siebkurve und intensive Nachbehandlung
- Um die Abriebbeständigkeit noch weiter zu erhöhen, sollten auch spezielle Zuschläge verwendet werden

Bei einer Schichtdicke von mehr als 50 mm muss in der Regel ein leichtes Bewehrungsnetz eingebaut werden (mindestens $100 \times 100 \times 4 \times 4$ mm).

Haftung auf dem Untergrund und Endbearbeitung

- Vor dem Einbau wird eine "Haftschicht" auf den leicht feuchten (vorgenässten!) Untergrund aufgebürstet

Nachbehandlung

Die Nachbehandlung muss so früh wie möglich beginnen und sollte über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhalten werden, indem **Sika® Antisol®** aufgesprüht wird (Achtung! Eventuelle Nachbeschichtungen sind zu berücksichtigen!) oder durch Abdecken mit Folien.

Prüfverfahren z. B. DIN 52108

DIN 52108 Prüfung anorganischer nichtmetallischer Werkstoffe – Verschleissprüfung mit der Schleifscheibe nach Böhme – Schleifscheiben-Verfahren

Bei diesem Prüfverfahren werden die Abriebbedingungen mit einer Schleifscheibe simuliert. Würfel oder Platten werden unter Normbedingungen nach dem in DIN 52108 beschriebenen Verfahren geprüft. Das Ergebnis ist entweder ein Dicken- oder ein Volumenverlust des Probekörpers.

7.11 CHEMISCHE BESTÄNDIGKEIT

Beton kann durch Schadstoffe in Wasser, Boden oder Gasen (z. B. Luft) angegriffen werden. Gefahren treten auch im Betrieb auf (z. B. in Tanks, Industrieböden, Kläranlagen usw.).



Weitere Möglichkeiten:

- Oberflächen- und Grundwasser, schädliche Bodenverunreinigungen, Luftschadstoffe, pflanzliche und tierische Stoffe können den Beton chemisch angreifen
- Chemische Angriffe können in zwei Arten unterteilt werden:
 - Lösender Angriff: hervorgerufen durch die Einwirkung von weichem Wasser, Säuren, Salzen, Basen, Ölen und Fetten usw.
 - Treibender Angriff: hervorgerufen vor allem durch die Einwirkung von wasserlöslichen Sulfaten (Sulfattreiben)

Massnahmen:

- Möglichst dichte Betonmatrix, d. h. geringe Porosität → Verwendung der Sika Silicafume-Technologie → **SikaFume®**
- Niedriger w/z -Wert, angestrebt wird ein Wert von ≤ 0.45
→ **Sika® ViscoCrete® / SikaPlast® / Sikament® / Sika® ViscoFlow®**
- Erhöhung der Betonüberdeckung um mindestens 10 m

Beton ist nur gegen sehr schwache Säuren ausreichend beständig. Mittelstarke Säuren zersetzen den Beton. Daher muss bei mässig bis stark aggressiven Säureangriffen immer ein zusätzlicher Schutz des Betons durch eine Beschichtung vorgesehen werden.

Prüfverfahren z. B. Es gibt keine Norm, die alle Arten von chemischen Angriffen abdeckt. EN 13529



7.12 SULFATBESTÄNDIGKEIT

Sulfathaltiges Wasser kommt manchmal im Boden vor oder ist im Grundwasser gelöst und kann den Festbeton angreifen.

Wirkungsweise des Sulfatangriffs

Sulfathaltiges Wasser reagiert mit dem Tricalciumaluminat (C_3A) im Zement. Infolgedessen bildet sich Ettringit (unter bestimmten Bedingungen auch Thaumasit), was zu einer Volumenvergrößerung und folglich zu einem starkem inneren Druck im Betongefüge führt. Dieser innere Druck führt somit zu Rissen und Abplatzungen.



Massnahmen:

- Möglichst dichtes Betongefüge d. h. geringe Porosität → Verwendung der Sika Silicafume-Technologie → **SikaFume®**
- Niedriger w/z -Wert, angestrebt wird ein Wert von ≤ 0.45
→ **Sika® ViscoCrete® / SikaPlast® / Sikament®**
- Verwendung von Zement mit einem geringen Gehalt an Tricalciumaluminat (C_3A) (Sulfatbeständiger Zement)
- Objektbezogene Nachbehandlung

Hinweis: Die Klärung der spezifischen Anforderungen ist für jedes Projekt unerlässlich. Grenzwerte für die Expositionsklassen des chemischen Angriffs aus natürlichem Erdreich und Grundwasser sind auf Seite 242 angegeben.

Prüfverfahren z. B. SIA 262 / 1

SIA 262 / 1 Betonbau - zusätzliche Anforderungen

Mit diesem Prüfverfahren kann die Sulfatbeständigkeit einer Betonprobe beurteilt werden. Die Betonproben müssen gemäss EN 206 erstellt werden. Für vier Zyklen müssen die Proben getrocknet und in einer sulfathaltigen Lösung (5% Natriumsulfatlösung) gegeben werden. Das Sulfat kann mit Teilen der Proben reagieren und eine Volumenänderung der Probe bewirken.

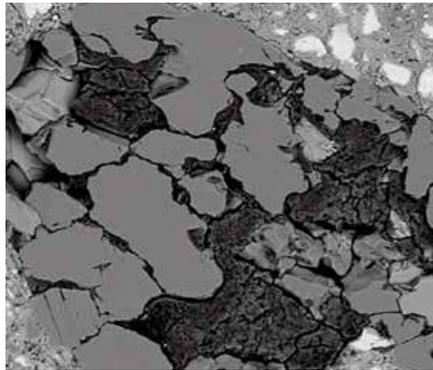


7

7.13 AAR-BESTÄNDIGKEIT

Unter Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR versteht man Reaktionen der Porenlösung des Betons mit den Gesteinskörnungen. Sie bilden ein Kieselgel, das durch die Wasseraufnahme aufquillt und Risse oder Abplatzungen im Beton verursacht.

Die Form und die Geschwindigkeit der Reaktion variieren je nach Art der Gesteinskörnung.



Alkali-Aggregate Reaktion

Bei der Verwendung alkaliempfindlicher Gesteinskörnungen besteht die Gefahr einer solchen Reaktion. Das Problem kann dadurch gelöst werden, dass man diese Gesteinskörnungen nicht verwendet - was aber aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen oft nicht praktikabel ist. Durch die Verwendung geeigneter Zemente und hochwertiger Betontechnologie kann diese Reaktion verhindert oder zumindest reduziert werden.

Die genauen Mechanismen, die dabei eine Rolle spielen, werden weiterhin intensiv und detailliert analysiert. Grob gesagt, dringen die Alkaliionen durch Wasseraufnahme in die Gesteinskörnung ein und bewirken eine Ausdehnung der Gesteinskörnungen. Dies führt zu Rissen und Abplatzungen in der Zementmatrix und damit zur Zerstörung des Betons. Dies lässt sich vereinfacht als Druck- oder Ausdehnungseffekt beschreiben. Ihre Dauer und Intensität hängen von der Reaktivität des Zements, der Art und Porosität der Gesteinskörnung, der Porosität des Betons und den getroffenen Massnahmen ab.

Massnahmen:

- Teilweiser Ersatz des Portlandzements durch Schlacke oder andere Zusatzstoffe (Silikastaub / Flugasche) mit niedrigem Na_2O -Äquivalent
- Untersuchung der Reaktivität der Gesteinskörnung und deren Einstufung (petrografische Analysen / Microbar-Test / Leistungsprüfung usw.)
- Ersatz oder teilweiser Ersatz der Gesteinskörnung (Mischung der verfügbaren Gesteinskörnungen)
- Feuchtigkeitseintritt zum Beton gering halten bzw. verhindern (Abdichten / Umleiten)
- Bewehrungsplanung für eine gute Rissverteilung im Beton (d. h. nur sehr feine Risse)
- Dichte Betonkonstruktion zur Minimierung des Eindringens von Feuchtigkeit

Prüfverfahren z. B. SIA Merkblatt 2042

SN 670 115

SN 670 116

7.14 FEUERBESTÄNDIGKEIT

Die Gefahr eines Brandes ist immer und überall gegeben. Die unmittelbare Gefahr hängt von der tatsächlichen Exposition ab und unterscheidet sich natürlich, ob es sich bei dem bedrohten Bauwerk um eine Fussgängerunterführung, einen Strassentunnel oder eine Tiefgarage in einem Hochhaus handelt.



Beton ist das lasttragende Material in fast allen Bauwerken und daher besonders gefährdet, da das gesamte Bauwerk bei einem Versagen des Materials zusammenbrechen würde. Beton muss daher, unabhängig vom Gefahrenszenario, richtig formuliert oder durch äusserliche Massnahmen geschützt werden, um ein Versagen bei hohen Temperaturen im Brandfall zu verhindern.

Massnahmen:

- Karbonathaltige Zuschlagstoffe – Kalkstein, Dolomit – verhalten sich im Brandfall tendenziell besser, da sie kalzinieren. Kieselsäurehaltige Typen weisen ein ungünstigeres Verhalten auf
- Polymer-Monofilament-Mikrofasern (z. B. Polypropylen) reduzieren die explosive Abplatzwirkung von Beton unter Brandlast erheblich (übliche Dosierung 2 – 3 kg / m³)
- Aufgesprühte Leichtmörtel wie Sikacrete[®]-F wirken als passiver Schutz des Betons

Prüfverfahren z. B. DIN 4102 DIN 1991-1-2 Temperatur-Zeit-Kurven

Prüfung per brandtechnischer Bemessung (Temperatur-Zeit-Kurven)

Diese Brandlastkurven simulieren alle das Temperaturprofil eines Tunnelbrandes. Das Beispiel der niederländischen RWS-Kurve definiert die maximale Exposition, die im Schlimmsten Fall erwartet werden kann: Darunter versteht man den Brand eines zu 90% mit flüssigem Kohlenwasserstoff-Kraftstoff (Benzin) gefüllten Strassentankwagens mit einer Ladekapazität von 50 m³. Nach 120 Minuten darf die Temperatur an der Bewehrung des Betons +250 °C nicht überschreiten, um das Prüfverfahren zu bestehen.

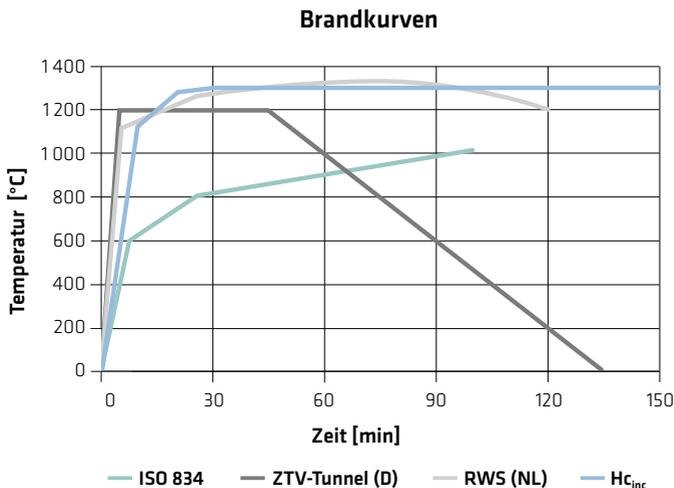


Abb. 7.14.1: Temperatur-Zeit-Kurven verschiedener brandtechnischer Bemessungen, basierend auf verschiedenen Verordnungen.

7.15 CHLORID-MIGRATION

Ein Aspekt der Dauerhaftigkeit von Beton und der Lebensdauer einer Betonkonstruktion hängt vom Schutz der Bewehrung vor Chlorideinwirkung ab. Chloridionen wandern hauptsächlich durch Diffusion durch den Beton, interagieren mit der Passivierungsschicht des Stahls und führen anschliessend zur Korrosion der Stahlbewehrung. Andere Transportwege der Chloridionen sind die Kapillarabsorption sowie der hydrostatische Druck.

Massnahmen:

- Die Verringerung des w/z -Wertes hat Auswirkungen auf die Chloridmigration
→ Verringerung des Wasser-Zement-Wertes durch Zugabe von Fließmitteln wie **Sika® ViscoCrete® / SikaPlast®**
- Positiver Einfluss von puzzolanischen Materialien (z. B. Mikrokieselsäure (**SikaFume®**) und Flugasche)
→ die Verwendung von Puzzolanen verringert die Chloridmigration
- Positiver Einfluss von latent hydraulischen Stoffen
→ der Einsatz von latent hydraulischen Stoffen reduziert die Chloridmigration erheblich

Wichtiger Hinweis:

- Nur die Qualität des Bindemittels hat einen Einfluss auf die Chloridmigration
- Um die Ergebnisse vergleichen zu können, ist es wichtig, das Prüfverfahren zu definieren (Prüfzeit, Grenzwerte, Spannung usw.)

Empfehlung von Sika:

- Bindemittel-Konzeption: Zement ergänzen durch 20 – 25 kg / m³ **SikaFume®**
- w/z -Wert < 0.38
- Synthetische Fasern für eine weitere Minimierung der Rissbildung

Prüfverfahren z. B. SIA 262 / 1 Anhang B

SIA 262 / 1 Betonbau – zusätzliche Anforderungen

Chloridionen werden durch einen elektrischen Strom in eine wassergesättigte Probe eingebracht. Gemessen wird die Eindringtiefe des Chloridions. Aus der Eindringtiefe, der Spannung und weiteren Parametern wird ein Chloridmigrationskoeffizient berechnet.



8 BETONARTEN

8.1 WASSERDICHTER BETON

Die Rezeptur und die Zusammensetzung eines wasserdichten Betons ist ein Systemansatz. Die Wasserdichtigkeit von Bauteilen wird durch die Erfüllung der massgeblichen Anforderungen in Bezug auf Dichtigkeit des Betons, der Fugen, der Einbauteile sowie der Risse bestimmt.

Langlebige, dauerhaft wasserdichte Bauten werden durch die Anwendung eines genau definierten, technischen Systems erreicht. Alle beteiligten Parteien müssen eng zusammenarbeiten, um das Fehlerrisiko zu minimieren.



Abb. 8.1.1: Die Wasseraufnahme von Beton unter Druck misst die maximale Wassereindringtiefe in mm nach einer bestimmten Zeit mit einem bestimmten Druck. (72 Stunden bei 5 bar gemäss EN12390-8)

Wasserdichter Beton ist normalerweise ein dichter Beton. Zum Erhalt eines dichten Betons muss eine geeignete Siebkurve erstellt und die Kapillarporosität reduziert werden.

Die Massnahmen zur Verringerung der Kapillarporosität sind wie folgt:

- Senkung des w/z -Werts
- Dichtungsmittel zur weiteren Verringerung des Wassertransports
- Schwindreduzierung (trocken und plastisch) zur Minimierung der Rissbildung
- Zusätzliches Verschlussen der Poren mit puzzolanisch reagierendem Material
- Die Nachbehandlung des Betons ist der entscheidende Parameter, der die Wasserdichtigkeit beeinflusst

ZUSAMMENSETZUNG DES BETONS

Gesteinskörnung

- Gut abgestufte Siebkurve
- Feinanteilgehalt der Gesteinskörnung niedrig gehalten (geeigneter Bereich)
- Eine Anpassung des Bindemittelgehalts ist in der Regel erforderlich, um einen zufriedenstellenden Feinanteil zu erzielen

Zement

- Übereinstimmung mit dem Mindestzementgehalt nach EN 206
- Leimvolumen nach der empfohlenen Anwendung minimieren

Zusatzstoffe

- Verwendung von puzzolanischen oder latent hydraulischen Zusatzstoffen

Wassergehalt (w / z-Wert)

- Niedriger w / z-Wert zur Verringerung der Kapillarporosität

Einbau

- Ein plastischer bis weicher Beton wird empfohlen, um wasserdichten Beton herzustellen
- Eine sorgfältige und korrekte Verdichtung des Betons ist wichtig

Nachbehandlung

- Unverzögliche und intensive Nachbehandlung ist unerlässlich

Die Wasserdichtigkeit von Beton wird durch die Dichtigkeit der Bindemittelmatrix, d. h. die Kapillarporosität, bestimmt. Entscheidende Faktoren für die Kapillarporosität sind der w / z-Wert sowie der Gehalt und die Art der puzzolanischen oder latent hydraulischen Materialien. Zur Senkung des w / z-Werts wird ein starkes Fließmittel verwendet. Dies wiederum verringert das Volumen der Kapillarporen in der Betonmatrix, während die hohe Verarbeitbarkeit erhalten bleibt. Diese Poren sind die potenziellen Einzugswege von Wasser durch den Beton.

Bei der Verwendung von Dichtungsmitteln bildet das Kalzium im Zementleim eine wasserabweisende Schicht innerhalb der Kapillarporen. Dadurch werden die Poren verschlossen und ein wirksamer Schutz selbst bei 10 bar (100 Meter Wassersäule) gewährleistet. Der Beton muss in Übereinstimmung mit der bewährten Betonierverfahren eingebaut, verdichtet und nachbehandelt werden. Das richtige Fugensystem (Bewegungsfugen, Arbeitsfugen) ist der Schlüssel zum Erreichen einer wasserdichten Konstruktion.





Abb. 8.1.2: Sika Fugenbänder sind elastische, vorgeformte PVC-Bänder für die Abdichtung von Bewegungs- und Arbeitsfugen, die niedrigem und hohem Wasserdruck ausgesetzt sein können.

Die Reihenfolge des Betonierens und die Grösse der Felder müssen berücksichtigt werden, um das Risiko von Schwindrissen zu verringern. Als Richtwert wird ein Seitenverhältnis von nicht mehr als 3:1 empfohlen, insbesondere beim Betonieren von Wänden. Einerseits ist die korrekte Gestaltung jeder Verbindung von entscheidender Bedeutung. Andererseits ist der richtige und sorgfältige Einbau des Fugensystems entscheidend für das Erreichen der Wasserdichtigkeit von Konstruktionen. Wenn wasserdichter Beton und undicht ist, dann liegt das meist an einer schlechten Fugenkonstruktion. Darüber hinaus müssen weitere Details, wie z. B. Ankerlöcher und Zugänge, berücksichtigt werden.

Je nach Dichtigkeitsklasse, d. h. Wasserdruck von aussen sowie der vorgesehenen Nutzung der Konstruktion, stehen unterschiedliche Fugensysteme zur Verfügung. Arbeitsfugen werden in der Regel mit Quellband abgedichtet, das es in verschiedenen Formen und Grössen gibt und das bei Kontakt mit Wasser aufquillt. Wenn ein Bauwerk ein höheres Schutzniveau erfordert, sind modernere Fugensysteme erhältlich, die eine Kombination aus hydrophilen Elementen in einem harzinjizierten Schlauch bieten können. Dies bietet einen optimalen zusätzlichen Schutz. Wo Bewegungsfugen erforderlich sind, können diese mit einem Sikadur-Combiflex®-Band abgedichtet werden, das innen oder aussen mit Sikadur®-Epoxidklebstoffen oder mit herkömmlichen Sika®-Fugenbändern befestigt wird.

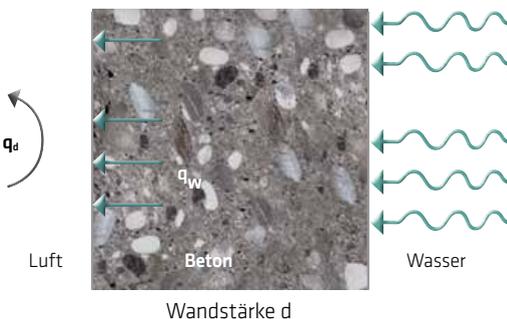


Abb. 8.1.3: Die Wasserdurchlässigkeitsgrenze für die Wasserdichtigkeit ist definiert als $10 \text{ g} / (\text{m}^2 \times \text{Stunden})$ (nach SIA 262 / 1), wobei die Wasserdurchlässigkeit kleiner ist als das verdampfbare Volumen von Wasser ohne Druck über einen bestimmten Zeitraum.

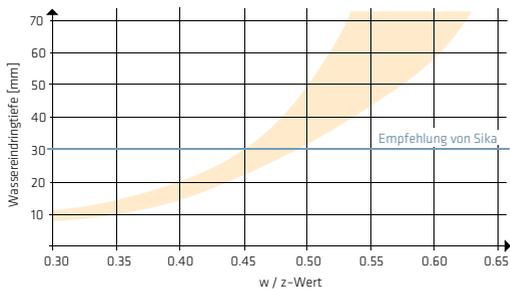


Abb. 8.14: Wassereindringung unter hydrostatischem Druck. Die Wasserdurchlässigkeitsgrenze für die Wasserdichtigkeit ist definiert als maximale Wassereindringung im Beton bei einem bestimmten Druck über einen bestimmten Zeitraum.

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteinskörnungen	Alle hochwertigen Gesteinskörnungen möglich	Alle Gesteinskörnungsgrössen möglich
Zement	Jeder Zement, der den örtlichen Normen entspricht	350 kg / m ³
Pulverförmige Zusatzstoffe	Flugasche oder Hüttensandmehl	Ausreichender Feingehalt durch Anpassung des Bindemittelgehaltes
Wassergehalt	Frischwasser und Recyclingwasser mit Anforderungen an den Feinanteilgehalt	< 0.48 w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse
Betonzusatzmittel	Fliessmittel Typ abhängig von Einbau und Verarbeitungszeit Dichtungsmittel	Sika® ViscoCrete®, SikaPlast® oder Sikament® SikaControl® WT
Einbau und Nachbehandlung	Nachbehandlungsmittel Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden.	Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (Kompaktheit) der Oberflächen Sika® Antisol®
Fugenabdichtung	Abdichtung von Bewegungsfugen, Arbeitsfugen, Durchdringungen und Rissen	Sika® Waterbars Sikadur® Combiflex® Sika® Fuko System SikaSwell®
Abdichtungssysteme	Flexible Membransysteme zur Abdichtung, bei Bedarf mit Einzel- oder Doppelkammer	Sikaplan® SikaProof®

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Erhöhte Festigkeit und Dichtigkeit Erhebliche Wasserreduktion Verringerung der Kapillarporosität
SikaControl® WT	Dichtungsmittel	Verringerte Wasserleitfähigkeit und verbesserte Wasserdichtigkeit
	Wasserabweisendes und kristallin wasserabdichtendes Betonzusatzmittel	Verringerte Wasserleitfähigkeit und verbesserte Wasserdichtigkeit. Verbessert die Selbstheilungseigenschaften des Betons.
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung

8.2 KORROSIONSBESTÄNDIGER BETON

Beton zeichnet sich durch seine hohe Druckfestigkeit aus, in Kombination mit Bewehrungsstahl ist der Beton in der Lage, hohen Druck- als auch Zugbelastungen zu widerstehen. Die Kombination von Stahl und Beton hat den Vorteil, dass der hohe pH-Wert des Betons unter normalen Bedingungen eine passivierende Schicht aus Eisenhydroxiden auf der Stahloberfläche bildet, die sie vor Korrosion schützt. Insbesondere Stahl kann jedoch durch Feuchtigkeit und Salz in seiner Dauerhaftigkeit beeinträchtigt werden.



Abb. 8.2.1: Beschädigung der Betonstruktur durch unzureichende Betonüberdeckung und schlechte Betonqualität

FUNKTIONSWEISE VON Sika® FerroGard® KORROSIONSSCHUTZMITTEL

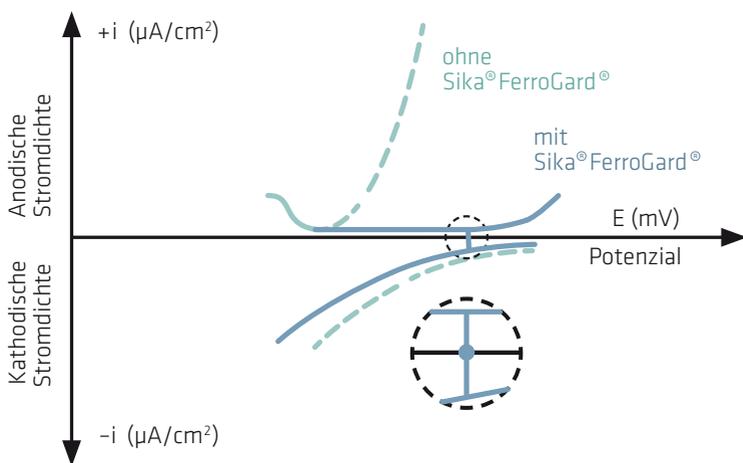


Abb. 8.2.2: Stahl im chloridhaltigen Beton; mit und ohne Sika® FerroGard®

Chloride werden durch **Sika® FerroGard®** an der Stahloberfläche verdrängt. Es bildet sich ein Schutzfilm, der das Korrosionspotenzial verschiebt und die Stromdichten auf ein sehr niedriges Niveau reduziert.

Die üblichen Baupraktiken sorgen dafür, dass die Korrosion der Stahlbewehrung begrenzt wird. Zu diesen Praktiken gehört die Einhaltung der Mindestbetonqualität (w/z-Wert, Zementgehalt, Mindestfestigkeit) und der Mindestbetonüberdeckung der Bewehrungsstäbe. In vielen Fällen, insbesondere in Umgebungen mit hohem Chloridgehalt (Tausalze, Meerwasser oder sogar verunreinigte Betonmischungen), erweisen sich diese grundlegenden Schutzmassnahmen jedoch als unzureichend.

Um Korrosion zu verhindern oder ihren Beginn zu verzögern und damit die Lebensdauer eines Bauwerks zu verlängern, können vier zusätzliche Massnahmen zum Schutz des Stahls vor Korrosion ergriffen werden: Verbesserung der Betonqualität, Erhöhung der Betonüberdeckung, Einsatz von Korrosionsschutzmitteln und Aufbringen von Schutzbeschichtungen. Die Erhöhung der Betonqualität bedeutet eine Verringerung der Anzahl und Grösse der Kapillarporen.

Dadurch wird die Dichte der Betonmatrix erhöht und der Transport von Chloriden oder CO_2 in den Beton behindert. Die Verringerung des w/z -Werts durch den Einsatz von effektiven Fließmitteln oder die Verwendung von Zusatzstoffen wie Flugasche, Silikastaub oder natürliche Puzzolane stellen Möglichkeiten in der Betontechnologie dar, um die Betonrezeptur noch weiter zu verbessern.

Bei der Wahl einer verbesserten Betonqualität zum Schutz vor Korrosion muss besonders auf den richtigen Einbau, die Nachbehandlung des Betons und das Schwindpotenzial der Betonmischung geachtet werden, da kleine Risse unabhängig von der Dichte der Betonmischung das Eindringen von Chloriden oder CO_2 in den Bewehrungsstahl ermöglichen können. Korrosionsschutzmittel werden der Betonmischung während des Mischvorgangs zugesetzt. Schutzmittel haben keinen wesentlichen Einfluss auf die Dichte des Betons oder auf das Eindringen von Chloriden oder CO_2 , sondern wirken direkt auf den Korrosionsprozess. Korrosionsschutzmittel werden unterschiedlich definiert.

Zum einen als Zusatzmittel, das die Zeit bis zum Beginn der Korrosion verlängert und zum anderen als Zusatzmittel, das die Korrosionsgeschwindigkeit des eingebetteten Stahls in chloridhaltigem Beton verringert. Daher muss ein Korrosionsschutzmittel die Korrosionsgeschwindigkeit und die korrodierte Fläche von Bewehrungsstäben in chloridhaltigem Beton verringern.

Die wichtigsten Produkte, die heute als Korrosionsschutzmittel verwendet werden, sind entweder Produkte auf Kalziumnitritbasis oder organische Aminoester-Korrosionsschutzmittel. Schutzbeschichtungen werden verwendet, um das Eindringen von Chloriden oder Kohlendioxid zu verringern. Schutzbeschichtungen können nach zwei grundsätzlichen Optionen aufgetragen werden, entweder auf die Oberfläche des Betons oder auf die Bewehrungsstäbe selbst, bevor sie in den Beton eingebettet werden.



Langfristige Feldversuchsergebnisse

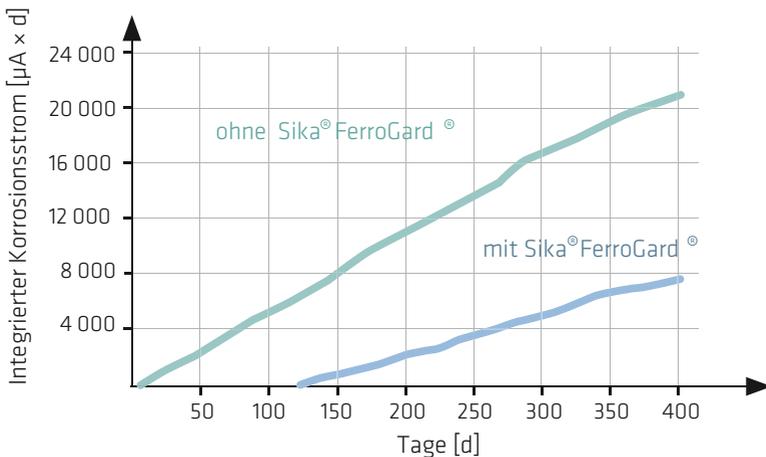


Abb. 8.2.3: Die Sika Forschungsabteilung in Zürich hat die Korrosionsschutzwirkung von Sika® FerroGard® an gerissenen Betonträgern geprüft. Die Probekörper wurden gemäss ASTM G 109 hergestellt und zyklisch mit Streusalz behandelt. Regelmässige Messungen des Korrosionsstroms bestätigen die Schutzwirkung von Sika® FerroGard®.

Drei Stahlbetonelemente wurden neben einer stark befahrenen Autobahn in der Schweiz aufgestellt. Die Wände sind seit mehr als 22 Jahren realen Bedingungen ausgesetzt, darunter auch tausalzhaltigem Spritzwasser im Winter. Eines der Betonelemente enthält Sika® FerroGard®-901 als korrosionshemmendes Betonzusatzmittel mit einer Dosierung von $12 \text{ kg} / \text{m}^3$, eines ist mit Silikastaub und ein weiteres Element ohne. Die wichtigsten Schlussfolgerungen aus dieser Langzeituntersuchung sind:

- Die Korrosion des Referenzbetonstahls begann nach etwa 8 – 9 Jahren
- Das von Sika beigemischte organische Korrosionsschutzmittel verzögerte die chloridinduzierte Korrosion um etwa 22 Jahre
- Unter diesen Bedingungen verlängerte das Korrosionsschutzmittel die Zeit bis zum Beginn der Korrosion um einen Faktor von etwa 3



Abb. 8.2.4: Potenzialmessung an einer Stützmauer entlang einer stark befahrenen Strasse mit hohem Einsatz von Streusalz nach weniger als 10 Jahren Exposition. Je dunkler die Färbung, desto höher ist das Korrosionspotenzial.

OBERFLÄCHENKORROSIONSSCHUTZMITTEL FÜR STAHLBETON

Sika® FerroGard® kann auch auf die Oberfläche aufgetragen werden und ist für den Einsatz als Imprägnierung auf erhärtetem Stahlbeton vorgesehen.

Sika® FerroGard®-903 Plus

- ist ein multifunktionales Schutzmittel, das die kathodischen und anodischen Reaktionen kontrolliert. Diese doppelte Wirkung verzögert sowohl den Beginn als auch die Geschwindigkeit der Korrosion erheblich und verlängert die Zeit bis zur nächsten Wartung.
- wird normalerweise als Teil einer Korrosionsmanagementstrategie eingesetzt. Es ist Bestandteil aller Sika-Betoninstandsetzungs- und -Schutzsysteme.



Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteins-körnungen	Alle hochwertigen Gesteinskörnungen möglich	Alle Gesteinskörnungsgrössen möglich
Zement	Jeder Zement, der den örtlichen Normen entspricht	Zielvolumen des Zementleims so gering wie möglich für das jeweilige Einbauverfahren halten
Pulverförmige Zusatzstoffe	Flugasche, Hüttensandmehl, Silikastaub, natürliche Puzzolane	
Wassergehalt	Frischwasser und Recyclingwasser mit Anforderungen an den Feinanteilgehalt	< 0.48 w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse
Betonzusatzmittel	Fließmittel Typ abhängig von dem Einbau und den Anforderungen an die Frühfestigkeit Korrosionsschutzmittel	Sika® ViscoCrete®, SikaPlast® oder Sikament® Sika® FerroGard®-901 S, Sika® CNI
Einbau-anforderungen und Nachbehandlung	Nachbehandlungsmittel Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrecht-erhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden	Sorgfältiger Einbau und Verdichtung. Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (Kompaktheit) der Oberflächen Sika® Antisol®
Schutzsystem	Oberflächenschutz gegen das Eindringen von Chloriden und Kohlendioxid	Sika bietet eine breite Palette von starren und flexiblen Lösungen an, um das Eindringen von Wasser zu verhindern. Die Sika-Lösung: Sikagard®

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fließmittel	Wasserreduzierung, erhöhte Festigkeit und Dichtigkeit mit garantierter Konsistenz (Verarbeitbarkeit) und Pumpbarkeit
Sika® Ferrogard®	Korrosionsschutzmittel	Schützt die Oberfläche der Stahlbewehrung und reduziert die Korrosionsschwindigkeit
SikaFume®	Silikastaub	Hohe Festigkeit, erhöhte Dichtigkeit und verbesserte Sulfatbeständigkeit
SikaControl® AER	Luftporenbildner	Luftführung Unterbrechung der Kapillarrohräume Verringerung der Wasseraufnahme
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung

8.3 FROST- UND FROST-TAUSALZBESTÄNDIGER BETON

Tausalz greift Betonoberflächen an – eine der schädlichsten Belastungen für Betonbauwerke. Diese wurde in der Vergangenheit allerdings unterschätzt, was man anhand der zeitweisen extremen Mengen an Tausalz erkennen kann. Durch eine geeignete Bonteknik und die Beachtung grundlegender betontechnologischer Massnahmen kann das Baumaterial einen dauerhaft hohen Widerstand gegen

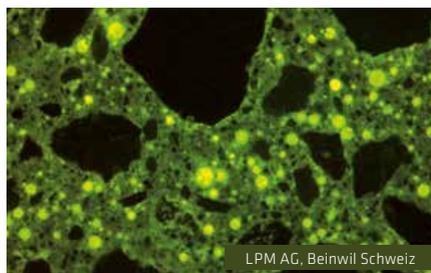


Abb. 8.3.1: Künstlich eingebrachte Luftporen, die durch einen Luftporenbildner verursacht werden, schaffen Raum für die Ausdehnung der Betonstruktur, um die etwa 10%ige Volumenzunahme zu ermöglichen, wenn Wasser zu Eis gefriert.

Frost- und Frost-Tausalz-Belastungen aufweisen. Frost und frost-tausalzbeständiger Beton muss immer dann verwendet werden, wenn die Betonflächen der Witterung (Nässe) ausgesetzt sind und die Oberflächentemperatur unter den Gefrierpunkt fallen kann.

Durch die Zugabe von Luftporenbildnern werden während des Mischvorgangs kleine kugelförmige Luftporen im Zementleim (Zement, Wasser) des Betons erzeugt. Damit soll sichergestellt werden, dass der ausgehärtete Beton frost- und Frost-Tausalz-beständig ist (indem Raum für die Ausdehnung von Wasser bei Frost geschaffen wird).

Bemessung von Luftporenbeton

Es müssen detaillierte Angaben zur Festigkeit, zum Lufteintrag und zu den Prüfverfahren gemacht werden. Bei Grossprojekten sollten Vorversuche unter realen Bedingungen durchgeführt werden. Überprüfen Sie während der Betonierarbeiten den Lufteintrag im Betonwerk und vor dem Einbau.

Merkmale von wirksamem Mikroluftporen	Form: kugelförmig Grösse: 0.02 – 0.30 mm Abstandsfaktoren: ≤ 0.20 mm frostbeständig ≤ 0.15 mm frost- / tausalzbeständig
Positive Nebenwirkungen	Form: kugelförmig Grösse: 0.02 – 0.30 mm Abstandsfaktoren: ≤ 0.20 mm frostbeständig ≤ 0.15 mm frost- / tausalzbeständig
Negative Auswirkungen	Verbesserung der Verarbeitbarkeit Unterbrechung der Kapillarporen (wasserdicht) Besserer Kohäsion des Frischbetons

Diese Faktoren beeinflussen die Luftporenbildung:

■ Korngrößenverteilung

Die Luftporen bilden sich hauptsächlich um die Sandfraktion 0.25 – 0.50 mm. Größere Partikel haben keinen Einfluss auf die Luftporenbildung. Ultrafeinanteile aus den Sandbestandteilen oder dem Zement und einigen Zusatzmitteln können die Luftporenbildung hemmen.

■ Konsistenz

Eine optimale Luftporenbildung wird im plastischem bis weich-plastischem Bereich erreicht. Ein Beton, der durch die Zugabe von zusätzlichem Wasser weicher gemacht wurde, behält die Luftporen möglicherweise nicht so gut oder so lange bei wie der ursprüngliche Beton.

■ Temperatur

Das Luftporenbildungsvermögen nimmt mit steigender Frischbetontemperatur ab und umgekehrt.

■ Anlieferung

Während der Lieferung ist mit einer Veränderung des Luftgehalts zu rechnen. Abhängig von der Liefermethode und den Vibrationen während der Fahrt finden im Beton Misch- oder Entmischungsprozesse statt. Luftporenbeton muss vor dem Einbau erneut gemischt werden und erst dann ist der Lufteintrag zu messen.

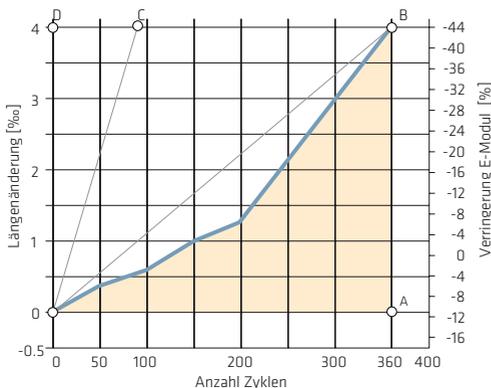
■ Verdichtung von Luftporenbeton

Das Verdichten entfernt vor allem die beim Einbau "eingeschlossene" Luft, einschliesslich der Grobporen im Beton. Starke Übervibrationen können die absichtlich "eingetragene" Luft um 10 bis 30% reduzieren. Beton, der zur Entmischung neigt, kann dann fast alle Luftporen verlieren oder an der Oberfläche aufschäumen.

■ Ersatz von Feinanteilen

1% Luftporen können etwa 10 kg Feingehalt (< 0.125 mm) pro m³ Beton ersetzen. Luftporen können die Verarbeitbarkeit von groben Mischungen mit geringem Feinanteil verbessern.





Widerstandsbereich AOB = hoch (WF-L > 80%)
 BOC = mittel (WF-L = 80 – 25%)
 COD = niedrig (WF-L < 25%)

— Klassifizierung Hoch WF-L = 94%

Abb. 8.3.2: Bei der Prüfung BE II nach D-R 400 werden die Prüfprismen einer Wechselbelastung zwischen +20 °C und -20 °C ausgesetzt, die Längenänderung wird gemessen und zwischen drei Dauerhaftigkeitsbereichen (niedrig / mittel / hoch) beurteilt.

Art, Grösse und Verteilung der Luftporen

Die in einem Normalbeton enthaltenen Luftporen sind im Allgemeinen zu gross (> 0.3 mm), um die Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit zu erhöhen. Wirksame Luftporen (0.02 mm – 0.3 mm) werden durch spezielle Luftporenbildner eingeführt. Die Luftporen entstehen physikalisch während des Mischvorgangs. Damit sie ihre volle Wirkung entfalten können, dürfen sie nicht zu weit voneinander entfernt sein. Der "wirksame Abstand" wird durch den sogenannten Abstandsfaktor (**spacing factor, SF**) definiert.

Produktion / Mischzeiten

Zur Gewährleistung einer hohen Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit muss die Nassmischzeit länger sein als bei einem Normalbeton und nach der Zugabe des Luftporenbildners fortgesetzt werden. Die Erhöhung der Mischzeit von 60 auf 90 Sekunden verbessert den Gehalt an Qualitätsluftporen um bis zu 100%.

Benötigte Luftporenqualität

Zum Erhalt einer hohen Frostbeständigkeit muss die Zementmatrix etwa 15% und für eine hohe Frost- / Tausalzbeständigkeit etwa 20% wirksame Luftporen enthalten. Die langjährige Erfahrung bestätigt, dass genügend wirksame Luftporen in einem Beton vorhanden sind, wenn das Ergebnis der Prüfung (Lufttopf) folgenden Lufteintrag aufweist:

- Beton mit einer maximalen Korngrösse von 32 mm: 3% bis 5%
- Beton mit einer maximalen Korngrösse von 16 mm: 4% bis 6%

Frischbeton mit einem Luftporengehalt von 7% oder mehr, sollte nur nach genauer Untersuchung und Prüfung eingebaut werden.



Abb. 8.3.3: Ausgestreutes Taumittel verstärkt die Reaktion beim Gefrieren von Wasser erheblich und führt in oberflächennahen Bereichen des Betons zu wesentlich grösseren Schäden.

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteinskörnungen	Verwendete Gesteinskörnungen müssen frostbeständig sein	Alle Gesteinskörnungsgrössen möglich
Zement	Jeder Zement, der den örtlichen Normen für reinen Portlandzement entspricht, sorgt für höchste Beständigkeit	Zielvolumen des Zementleims so gering wie möglich für das jeweilige Einbauverfahren halten
Pulverförmige Zusatzstoffe	Für erhöhte Dichte	SikaFume® bis zu max. 4%
Wassergehalt	Sauberes Anmachwasser, frei von Feinanteilen	< 0.48 w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse
Beton-zusatzmittel	Fliessmittel Dosierung rezepturabhängig; Fliessmittel und Luftporenbildner müssen aufeinander abgestimmt sein Luftporenbildner (Mischzeit min. 90 Sek.) Die erforderliche Menge an Luftporenbildnern hängt stark vom Zement und dem Feinanteil im Sand ab.	Sika® ViscoCrete® oder SikaPlast® oder Sikament® SikaControl® AER / Sika® Fro-V Dosierung: Luftporengehalt mit - Grösstkorn 32 mm ca. 3 – 5% - Grösstkorn 16 mm ca. 4 – 6%
Einbau-anforderungen und Nach-behandlung	Nachbehandlungsmittel Frostbeständiger Beton darf nur in Betonmischfahrzeugen transportiert werden und muss vor dem Entladen nochmals gründlich gemischt werden (ca. 30 s / m ³). Eine Standard-Luftporenmessung sollte folgen.	Sorgfältiger Einbau und Verdichtung. Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (Kompaktheit) der Oberflächen Sika® Antisol® .

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Verringerung des w / z-Werts zur Reduzierung der Kapillarporosität
SikaControl® AER Sika® Fro-V	Luftporenbildner	Luftporenbildung zur Sicherstellung der Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit
SikaFume®	Silikastaub	Zur weiteren Verdichtung des Zementleims und zur Verbesserung der Bindung zwischen Gesteinskörnung und Zementleim
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung
SikaControl® AER-200 P	Luftporenbildner	Chemisch wirkende Luftporenbildung zur Gewährleistung der Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit.

8.4 SULFATBESTÄNDIGER BETON

Besonders im Tiefbau sind Betonbauwerke neben der Belastung und Abnutzung durch permanente Beanspruchung auch Angriffen von aggressivem Wasser ausgesetzt. Beton zeichnet sich jedoch durch seine hervorragende Dauerhaftigkeit aus. Sulfathaltige Lösungen, wie sie in natürlichem oder verschmutztem Grundwasser vorkommen, stellen eine erhebliche Belastung für Beton dar. Dies kann zu Festigkeitsverlust, Ausdehnung, Abplatzen der Oberflächenschichten und schliesslich zum Zerfall führen.



Abb. 8.4.1: Probekörper vor und nach einem Sulfatangriff. Die Belastung führte zu einer Längenzunahme des Probekörpers was schliesslich zu Rissen und Abplatzungen führen kann.

Die vorgesehene Lebensdauer eines Betonbauwerks wird durch eine geeignete Betonrezeptur gewährleistet, die auf der zu erwartenden Exposition und den verschiedenen Einwirkungen basiert. Das im Wasser enthaltene Sulfat reagiert mit den Hydraten des Tricalciumaluminats (hauptsächlich C_3A) im Zement zu Ettringit (unter bestimmten Bedingungen auch Thaumasil), was zu einer Volumenvergrösserung führt. Diese Volumenzunahme führt zu einem hohen Innendruck in der Betonstruktur, was zu Rissen und Abplatzungen führt. Ein solcher Angriff gehört zu den Arten von chemischen Angriffen, bei denen Normalbeton ohne spezielle Massnahmen erhebliche Schäden erleiden kann. Die Erfahrung in der Praxis zeigt, dass der Verlust von Haftung und Festigkeit in der Regel schwerwiegender ist als Betonschäden, die durch Ausdehnung und Rissbildung entstehen.

Die Sulfatbeständigkeit von Beton wird durch die Sulfatbeständigkeit der Zementmatrix und ihre Fähigkeit bestimmt, der Diffusion von Sulfationen durch die Matrix zu verhindern. Beton, der sulfatbeständig sein soll, muss sich daher durch eine hohe Dichtigkeit und eine hohe Druckfestigkeit auszeichnen. Zudem sollten Zemente mit niedrigem C_3A und Al_2O_3 -Gehalt verwendet werden. Auf diese Weise wird das Potenzial für verschlechternde Reaktionen verringert. Darüber hinaus ist die Zugabe von Silikastaub vorteilhaft, da dieser zu einer höheren Dichte der Zementmatrix in Kombination mit einer verbesserten Bindung zwischen der Zementmatrix und den Gesteinskörnungen beiträgt und somit zu einer höheren Druckfestigkeit führt.

Sulfatangriff wird gemäss EN 206 als Expositionsklasse "chemischer Angriff" bezeichnet. Daher wird die Expositionsklasse durch den erwarteten Sulfatgehalt im Wasser, das mit dem Beton in Berührung kommt, bestimmt. Je nach Expositionsklasse ist ein Mindestzementgehalt in Kombination mit einem maximalen w/z-Wert sowie die Verwendung von Zement mit hoher Sulfatbeständigkeit vorgeschrieben.

Im Tunnelbau ist die Dauerhaftigkeit von entscheidender Bedeutung. Der Sulfatangriff ist ein ständig auftretendes und herausforderndes Phänomen. Dies gilt insbesondere für die Herstellung von vorgefertigten Tübbing für Tunnelbohrmaschinen (TBM) und die Felsicherung mit Spritzbeton. Bei Baugruben, in denen ein starker Sulfatangriff zu erwarten ist, ist es schwierig, alle technischen Anforderungen zu erfüllen, wenn nicht auch entsprechende Massnahmen hinsichtlich der Betonrezeptur getroffen werden.



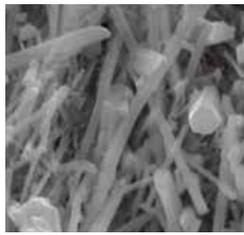
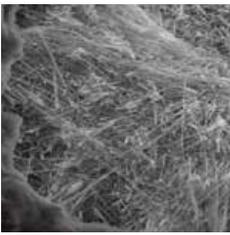


Abb. 8.4.2: Klassische Form des Sulfatangriffs im Zusammenhang mit der Bildung von Ettringit oder Gips. Aufkommen von Ettringitstäbchen, die in reifen Zementleimen wachsen, die externen Sulfatlösungen ausgesetzt sind.

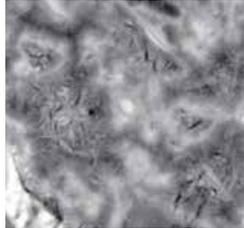
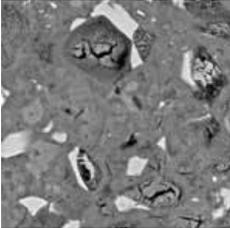


Abb. 8.4.3: Ettringitkerne, die sich in gealterten Zementleimen bilden. Das rechte Bild zeigt einen 2 Jahre alten Zementleim, der einem Sulfatangriff ausgesetzt war. Man sieht deutlich die Ettringitkerne, die sich innerhalb des C-S-H bilden.

Für Spritzbeton ist die Verwendung von alkalifreien Beschleunigern zwingend erforderlich, um eine ausreichende Sulfatbeständigkeit zu erreichen. Die industrialisierte, schnelle Herstellung von Tübbingern erfordert Produktionszyklen von nur wenigen Stunden, bei einer maximalen Temperaturentwicklung von 60 °C im Beton. Dies ist bei herkömmlichen sulfatbeständigen Zementen sehr schwierig, da diese Zemente eine langsame Festigkeitsentwicklung aufweisen. Eine Betonmischung, die Silikastaub und ein Fließmittel enthält, erfüllt beide Kriterien – Produktivität und Sulfatbeständigkeit –, aber dieses System ist wegen der Rissbildung sehr empfindlich gegenüber einer ordnungsgemässen Nachbehandlung. Durch das Auftragen einer Epoxidharzemulsion auf Wasserbasis unmittelbar nach dem Entschalen der Tübbinge kann ein mikrorissfreier Beton hergestellt werden.



Abb. 8.4.4: Unmittelbar nach der Nachbehandlung in einem Dampfkanal wird die Betonoberfläche der Tübbinge mit einer Epoxidharzemulsion auf Wasserbasis beschichtet, die bis in die kleinsten Poren einzieht und so eine geschlossene Schutzschicht bildet.

Hinweise für die Betonrezeptur und empfohlene Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteinskörnungen	Alle hochwertigen Gesteinskörnungen möglich	Alle Gesteinskörnungsgrössen möglich
Zement	Übereinstimmung mit EN 206 mit mässiger bis hoher Sulfatbeständigkeit	Zielvolumen des Zementleims so gering wie möglich für das jeweilige Einbauverfahren halten
Zusatzstoffe	Flugasche, Hüttensandmehl, Silikastaub, natürliche Puzzolane	SikaFume®
Wassergehalt	Einhaltung der EN 206, in Abhängigkeit der Expositionsklasse	Expositionsklasse w / z-Wert
Betonzusatzmittel	Fliessmittel Typ abhängig von dem Einbau und den Anforderungen an die Frühfestigkeit	Sika® ViscoCrete® / SikaPlast® oder Sikament®
Einbauanforderungen und Nachbehandlung	Nachbehandlungsmittel Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden.	Sorgfältiger Einbau und Verdichtung. Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (Kompaktheit) der Oberflächen Sika® Antisol® .
Schutzsystem / Spezielles Nachbehandlungssystem	Die Chemikalienbeständigkeit von Beton ist sehr begrenzt. Geeignete Beschichtungen können die Betonoberfläche dauerhaft vor Sulfatbelastung schützen.	Spezielle Nachbehandlung von vorgefertigten Tübbingungen unmittelbar nach dem Entschalen mit Sikagard®

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Erhebliche Wassereinsparung Verbesserung des Einbaus (Verarbeitbarkeit und Verdichtung)
SikaFume®	Silikastaub	Verbesserte Dichtigkeit
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung

8.5 FEUERBESTÄNDIGER BETON

Die Gefahr eines Brandes ist immer und überall gegeben. Die unmittelbare Gefahr hängt von der tatsächlichen Exposition ab und unterscheidet sich, ob es sich bei dem bedrohten Bauwerk um eine Fussgängerunterführung, einen Strassentunnel oder eine Tiefgarage in einem Hochhaus handelt. In fast allen Bauwerken ist der Beton das lasttragende Material und daher besonders gefährdet, da das gesamte Bauwerk bei einem Versagen des Materials zusammenbrechen würde.



Abb. 8.5.1: In speziellen Brennkammern können Brandverläufe nachgestellt, Platten geprüft und anschliessend bewertet werden. Die Temperaturentwicklung wird in verschiedenen Tiefen gemessen und aufgezeichnet.

Beton muss daher, unabhängig von der Gefahrensituation, richtig hergestellt oder durch äussere Massnahmen geschützt werden, um ein Versagen bei hohen Temperaturen im Brandfall zu verhindern.

Beton mit hoher Feuerbeständigkeit wird verwendet für:

- Notbereiche in geschlossenen Gebäuden (Tunnel-Notausgänge)
- Allgemein verbesserte Feuerbeständigkeit für Infrastrukturen
- Feuerbeständige Verkleidungen für tragende Bauelemente

Herstellung von Beton mit hoher Feuerbeständigkeit:

- Die Betonproduktion unterscheidet sich nicht von Normalbeton
- Durch die üblicherweise eingesetzten Fasern muss der Mischprozess überwacht werden
- Es ist für die zukünftige Feuerbeständigkeit des Betons von Vorteil, wenn er so lange wie möglich austrocknen kann

Bestandteile für die Herstellung von Beton mit hoher Feuerbeständigkeit:

- Das Erreichen der maximalen Feuerbeständigkeit hängt von der Zusammensetzung der verwendeten Gesteinskörnungen ab
- Die Beständigkeit kann durch die Verwendung spezieller Gesteinskörnungen stark erhöht werden
- Die Verwendung von speziellen Kunststofffasern (PP-Mikrofasern) erhöht die Beständigkeit erheblich
- Die Verwendung ausgewählter Sande verbessert die Widerstandsfähigkeit der Zementmatrix

Verhalten von Beton unter Brandbelastung

Kapillares Wasser und Porenwasser beginnen bei Temperaturen um den Siedepunkt von Wasser (100 °C) zu verdampfen. Dampf braucht mehr Platz und übt daher einen Ausdehnungsdruck auf die Betonstruktur aus. Die Zementmatrix beginnt sich bei Temperaturen von etwa 700 °C zu verändern. Die Wirkung der Gesteinskörnungen ist hauptsächlich von ihrer Herkunft abhängig und beginnt bei etwa 600 °C.

Die Feuerbeständigkeit ist definiert als die Fähigkeit eines Bauwerks, seine geforderten Funktionen (tragende und / oder trennende Funktion) für eine bestimmte Brandeinwirkung und einen bestimmten Zeitraum zu erfüllen (Unversehrtheit).

Die Feuerbeständigkeit bezieht sich auf Bauteile und nicht auf das Material selbst, aber die Eigenschaften des Materials beeinflussen die Leistung des Bauteils, zu dem es gehört. In den meisten Fällen steigt die Brandtemperatur innerhalb weniger Minuten rapide an und führt zu explosionsartigen Abplatzungen, da sich die im Beton enthaltene Feuchtigkeit in Dampf umwandelt und ausdehnt. Das schwerste modellierte Brandszenario ist die RWS-Brandkurve aus den Niederlanden und geht von einem sehr grossen Kohlenwasserstoffbrand in einem Tunnel aus (siehe Kapitel 7.14).

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Feuerbeständigkeit von Beton zu verbessern. Die meisten Betone enthalten entweder Portlandzement oder Portland-Mischzement, die sich ab 300 °C in wichtigen Eigenschaften verschlechtern und ab 600 °C ihre Strukturfestigkeit verlieren.

Natürlich kann die Tiefe der geschwächten Betonzone von einigen Millimetern bis zu mehreren Zentimetern reichen, je nach Dauer des Brandes und den auftretenden Spitzentemperaturen. Tonerdezement zum Schutz von feuerfesten Auskleidungen, die Temperaturen von 1600 °C erreichen, hat die bestmögliche Leistung im Brandfall und bietet eine ausgezeichnete Leistung über 1000 °C.



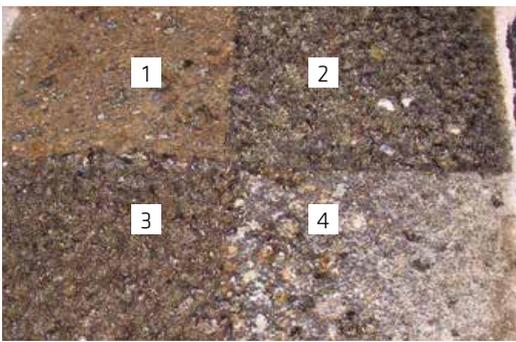


Abb. 8.5.2: Brandbeanspruchungstest für Beton mit verschiedenen Gesteinskörnungen. So können Oberflächenabplatzungen und Sinterungen sowie eine Reihe von Temperaturentwicklungen in unterschiedlichen Tiefen verglichen werden:

1. Keine Abplatzungen, verschmolzene Oberfläche
2. Kalkstein – Abplatzungen 17 mm, Zersetzung nach Abkühlung + Feuchtigkeitsaufnahme
3. Kalkstein – Abplatzungen 14 mm, Zersetzung nach Abkühlung + Feuchtigkeitsaufnahme
4. Granit – Abplatzungen 25 mm, verschmolzene Oberfläche

Die Wahl der Gesteinskörnung hat einen grossen Einfluss auf die thermischen Spannungen, die bei der Erwärmung eines Betonbauteils entstehen. Karbonathaltige Gesteinskörnungen wie Kalkstein oder Dolomit eignen sich besser für einen Brand, da sie beim Erhitzen kalzinieren und CO_2 freisetzen.

Dieser Prozess erfordert Wärme, so dass die Reaktion einen Teil der exothermen Energie des Feuers absorbiert. Kieselsäurehaltige Gesteinskörnungen neigen dazu, sich im Brandfall weniger gut zu verhalten. Da das Wärmeverhalten mit der Wärmeleitfähigkeit des Betons zusammenhängt, kann die Verwendung von Leichtzuschlägen unter bestimmten Bedingungen das Brandverhalten des Betons verbessern.

Mikrofasern (z. B. Polypropylen) können erheblich zur Verringerung von explosiven Abplatzungen beitragen und somit die Feuerbeständigkeit des Betons verbessern. Im Brandfall schmelzen diese Fasern bei etwa $160\text{ }^\circ\text{C}$ und bilden Kanäle, durch die der entstehende Wasserdampf entweichen kann, wodurch der Porendruck und die Gefahr von Abplatzungen minimiert werden.

Unter Bedingungen, bei denen das Risiko eines Einsturzes der Struktur nicht akzeptabel ist, prüfen die Planer andere Möglichkeiten, den Beton vor den Auswirkungen des Feuers zu schützen. Die Alternativen reichen von der lokalen Verdickung des Betons, der Verkleidung mit Hitzeschilden, die mit Dämmschichtbildner beschichtet sind, über die Verwendung von Schutzplattensystemen bis hin zum Aufsprühen von Leichtmörteln. Der Zweck dieser passiven Brandschutzsysteme hängt sowohl von der Art des Tunnels als auch von der Form des Schutzes ab.

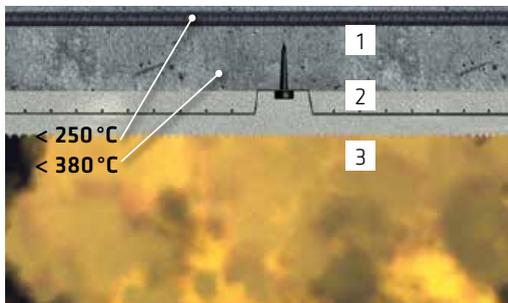


Abb. 6.5.3: Passive Brandschutzsysteme müssen die folgenden Anforderungen erfüllen: Die Betontemperatur darf während der Brandeinwirkung $380\text{ }^\circ\text{C}$ nicht überschreiten und die Temperatur der Stahlbewehrung muss während der Brandeinwirkung unter $250\text{ }^\circ\text{C}$ bleiben.

1. Stahlbeton
2. Brandschutzmörtel
3. Brandlast

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteinskörnungen	Karbonathaltige Zuschlagstoffe – Kalkstein, Dolomit - verhalten sich im Feuer tendenziell besser, da sie kalzinieren. Kieselsäurehaltige Typen weisen ein ungünstigeres Verhalten auf.	Alle Gesteinskörnungsgrössen möglich
Zement	Jeder Zement, der den örtlichen Normen entspricht.	Zielvolumen des Zementleims so gering wie möglich für das jeweilige Einbauverfahren halten
Wassergehalt	Frischwasser und Recyclingwasser mit Anforderungen an den Feinanteilgehalt	< 0.48 w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse
Betonzusatzmittel	Fliessmittel Typ abhängig von dem Einbau und den Anforderungen an die Frühfestigkeit Mikrofasern aus Polymer (z.B. Polypropylen)	Sika® ViscoCrete®, SikaPlast® oder Sikament® SikaFiber® (PP)
Einbauanforderungen und Nachbehandlung	Nachbehandlungsmittel Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden.	Sorgfältiger Einbau und Verdichtung. Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (Kompaktheit) der Oberflächen Sika® Antisol® .
Schutzsystem / Spezielles Nachbehandlungssystem	Leichtmörtel im Spritzverfahren	Sikacrete® F

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Aufgrund der erheblichen Wasserreduzierung ist weniger überschüssiges Wasser im Beton vorhanden
SikaFiber®	Polypropylen-Fasern	Starke Erhöhung der Feuerbeständigkeit von zementgebundenem Material

8.6 GEGEN ALKALI-AGGREGAT-REAKTION BESTÄNDIGER BETON

Zuschläge stellen einen Hauptbestandteil des Betons dar. Ihr Einfluss auf Frisch- und Festbeton ist beträchtlich. Die Quellen für hochwertige Gesteinskörnungen gehen allmählich zur Neige, so dass die Bauindustrie und die Bauherren grosser Infrastrukturprojekte nach Lösungen für die Verwendung von Gesteinskörnungen mit geringerer Qualität suchen.



Abb. 8.6.1: Amorphe Kieselsäure in der Gesteinskörnung hat, durch die Reaktion mit Alkaliionen, ein Gel gebildet. Dieses hat sich durch Wasseraufnahme ausgedehnt (schwarz, gerissene Stellen). Dadurch wird im Betongefüge Druck aufgebaut, der zu Rissen führt.

Die Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR), die bei Gesteinskörnungen auftreten kann, stellt eine besondere Herausforderung dar und kann die Dauerhaftigkeit von Beton beeinträchtigen.

Grosse Infrastrukturprojekte wie Dämme, Strassen, Brücken oder Start- und Landebahnen für Flughäfen erfordern enorme Mengen an Gesteinskörnungen, die in unmittelbarer Nähe der Baustellen bezogen werden. Einige Gesteinskörnungen können ein erhöhtes oder hohes Risiko einer AAR aufweisen. Die Alkali-Aggregat-Reaktion ist eine chemische Reaktion, die zwischen der amorphen Kieselsäure in der Gesteinskörnung und der Porenlösung (Alkalien) der Zementmatrix stattfindet. Die Reaktion führt zu einer Vergrösserung des Betonvolumens und verursacht Risse und Abplatzungen, wenn die erzeugten Kräfte die Zugfestigkeit des Betons übersteigen. Wesentliche Voraussetzungen für das Auftreten von AAR sind Feuchtigkeit im Beton, ein hoher Alkaligehalt in der Porenlösung und reaktive Gesteinskörnungen. Die Auswahl der richtigen Betonrezeptur ist entscheidend für die Vermeidung von AAR. Die Wahl der richtigen Lösungen kann Schäden durch AAR verhindern, selbst wenn hochreaktive Gesteinskörnungen verwendet werden.

Zementklinker hat den grössten Anteil an alkalischem Material. Je höher der Zementgehalt ist, desto alkalischer ist die Mischung. Gemischte Zemente weisen einen geringeren Alkaligehalt auf. Ein niedriger w/z -Wert gilt als zentraler Faktor für das Erreichen von dichtem Beton. Dichter Beton verlangsamt die Diffusion von freien Alkalien und die Migration von Wasser zu den Gesteinskörnungen. Für das Auftreten von AAR sind besonders alkaliempfindliche Gesteinskörnungen erforderlich, wie z. B. Kieselkalk, Kalksandstein, Kalkstein, Gneise und stark verformter Quarzit. Poröse, rissige, verwitterte oder gebrochene Gesteinskörnungen sind reaktiver als solche mit dichter Struktur und runden Oberflächen.

Puzzolanische Zusatzstoffe wie Flugasche, granuliert Hochfenschlacke oder Silikastaub reagieren während der Hydratation mit Hydroxid-Ionen und verbrauchen diese. Diese Reaktion senkt den pH-Wert der Porenlösung, wodurch das Auftreten von AAR unterdrückt wird. Puzzolanische Zusatzstoffe unterscheiden sich je nach Quelle in Form und Reaktivität, aber im Allgemeinen ist ihre Wirkung homogener, wenn sie dem Zementmahlprozess und nicht der Betonmischung zugesetzt werden. Es besteht jedoch weiterhin Uneinigkeit über die Wirksamkeit von Zusatzstoffen zur Verringerung der Geschwindigkeit der AAR.

Zusatzmittel wie herkömmliche Beschleuniger für Spritzbeton können erhebliche Mengen an Alkaliionen einbringen und die Reaktivität der Porenlösung stark erhöhen. Bei Gesteinskörnungen, die als empfindlich gelten, sollte ein alkalifreier Beschleuniger verwendet werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Zugabe spezieller Zusatzmittel die AAR-Reaktion hemmen und damit eine Ausdehnung verhindern kann. Eine weitere mögliche Lösung ist die Zugabe eines Luftporenbildners, um einen künstlichen Expansionsraum (Luftporen) für die Reaktionsprodukte zu schaffen. Wenn das mögliche Auftreten von AAR ein grosses Problem darstellt, werden Reaktionsversuche vorgeschlagen, um das AKR-Potenzial zu bestimmen.





Abb. 8.6.2: Die Volumenzunahme durch die AAR verursachten Dehnung wird durch die Messung der Längenänderung der Prüfkörper bestimmbar. In der Regel werden die Prüfkörper unter verschärften Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, Belastung) gelagert, um die Reaktion zu beschleunigen.



Abb. 8.6.3: An der trocknenden Betonoberfläche dieses Brückenpylons lässt sich das Erscheinungsbild der AAR-Schäden sehr gut beurteilen. Die Schäden können innerhalb von Jahren oder erst nach Jahrzehnten auftreten.

Die Massnahmen sind:

- Teilweiser Ersatz des Portlandzements durch Schlacke oder andere Zusätze (Silikastaub / Flugasche) mit niedrigem Na_2O -Äquivalent
- Analyse des AAR-Potenzials der Gesteinskörnung und deren Klassifizierung (petrographische Analysen / Mikrobar-Test / Leistungsprüfungen usw.)
- Ersatz oder teilweiser Ersatz der kritischen Gesteinskörnungen (Mischung der verfügbaren Gesteinskörnungen)
- Feuchtigkeit Zutritt zum Beton gering halten bzw. verhindern (abdichten / umleiten)
- Bewehrungsplanung für eine gute Rissverteilung im Beton (d. h. nur sehr feine Risse)
- Dichte Betonkonstruktion zur Minimierung des Eindringens von Feuchtigkeit



Abb. 8.6.4: Die Schäden werden oft erst nach Jahrzehnten sichtbar. Eine genaue Risikoabklärung ist daher notwendig, um das Schadenspotenzial von Gesteinskörnungen für die AAR zuverlässig abschätzen zu können.

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteinskörnungen	Das AAR-Potenzial von Gesteinskörnungen sollte vorher bestimmt werden	Alle Gesteinskörnungsgrössen möglich
Zement	Vorzugsweise Zemente mit Hüttensandmehl oder Flugascheanteil	Zielvolumen des Zementleims so gering wie möglich für das jeweilige Einbauverfahren halten
Zusatzstoffe	Silikastaub, Flugasche oder Hüttensandmehl	SikaFume®
Wassergehalt	Sauberes Anmachwasser, frei von Feinanteilen	< 0.48 w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse
Betonzusatzmittel	Fliessmittel Typ abhängig von dem Einbau und den Anforderungen an die Frühfestigkeit Spezielle Zusatzmittel zur Begrenzung der AAR	Sika® ViscoCrete®, SikaPlast® oder Sikament® SikaControl® ASR
Einbauanforderungen und Nachbehandlung	Nachbehandlungsmittel Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden.	Sorgfältiger Einbau und Verdichtung, Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (Kompaktheit) der Oberflächen Sika® Antisol®
Schutzsystem / Spezielles Nachbehandlungssystem	Neben freien Alkalien und reaktiven Gesteinskörnungen muss der Beton auch Feuchtigkeit enthalten, damit die AAR auftreten kann. Wenn ein Bauwerk dem Wasser ausgesetzt ist, muss die Betonoberfläche geschützt werden.	Sika bietet eine breite Palette von starren und flexiblen Lösungen an, um das Eindringen von Wasser zu verhindern. Die Sika-Lösung: Sikagard® und SikaPlan®

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Erhebliche Wassereinsparung Verbesserung des Einbaus (Verarbeitbarkeit und Verdichtung)
SikaFume®	Silikastaub	Verbesserung der Dichtigkeit
SikaControl® ASR	Zusatzmittel zur Kontrolle der Alkali-Aggregat-Reaktion in Beton	Minimiert schädliche Ausdehnungen im Beton aufgrund von AAR
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung

8.7 ABRIEBBESTÄNDIGER BETON

Atemberaubende Schluchten und Täler sind ein Zeugnis der Natur für die unbestreitbare Kraft des Wassers. Dies stellt im technischen Wasserbau eine grosse Herausforderung dar, aber auch in Verkehrsflächen oder Industrieböden, mit harten Rollkörpern, sind Betonoberflächen beträchtlichen und manchmal extremen Belastungen ausgesetzt. Die Mechanismen der Schädigung hängen dabei hauptsächlich von der Art des Abriebs ab.



Abb. 8.71: Gerade im Wildwasser sind Betonoberflächen massiven Zusatzbelastungen durch Geröll, scharfe Kanten und Abrieb sowie möglichen Temperaturbelastungen durch Frosteinwirkung ausgesetzt.

Je nachdem, ob die Oberfläche rollenden, reibenden oder schlagenden Einflüssen ausgesetzt ist, unterscheiden sich die möglichen Schadensbilder sowie die vorbeugenden Massnahmen.

Im Laufe der Jahrzehnte und sogar Jahrhunderte kann die Belastung durch Abrieb die unterschiedlichsten Schadensbildern hervorbringen. Vor allem der Unterschied zwischen rollender Belastung im Strassenverkehr, Schwerlastverkehr mit Stahlrädern oder Wassereinwirkung, mit oder ohne zusätzlichen Sedimenttransport, muss berücksichtigt werden.

In Verkehrszonen sind die Intensität, das Gewicht und die Art der Räder entscheidend für die Gesamtbelastung. Bei der Abrasion durch Wasser sind die Fließgeschwindigkeit, die Menge und die Art des Sediments ausschlaggebend.

Um die Abriebfestigkeit von Beton zu erhöhen, ist es in den meisten Fällen am besten, für harte Oberflächen zu sorgen. Handelt es sich bei der Exposition jedoch um eine Vibration oder einen dynamischen Stoss, dann spielt zusätzlich die Absorptionsfähigkeit der Oberfläche eine Rolle, was im Widerspruch zur Oberflächenhärte stehen kann.

Ein entscheidender Aspekt des Konzepts ist der fachgerechte Einbau des Betons (Verhinderung eines Aufsteigens der Feinanteile an die Oberfläche durch zu starkes vibrieren) sowie eine hervorragende Nachbehandlung. So können die gewünschten Betoneigenschaften vor allem in oberflächennahen Bereichen eingestellt werden. Zudem sollte die Oberfläche einen möglichst geringen Widerstand gegen abrasive Einflüsse aufweisen. Dafür sollte eine möglichst ebene Oberfläche vorliegen um das Angriffspotenzial möglichst gering zu halten.

Die Feststellung von Schadensmustern ist relativ einfach und erfolgt durch Beurteilung des Abriebs der Oberfläche, des Zustands der Zementhaut und der oberflächennahen Gesteinskörnungen.

Beton mit erhöhtem oder hohem Abriebwiderstand muss eine Zieldruckfestigkeit von etwa 50 MPa aufweisen. Die Dauerhaftigkeit der Oberfläche gegen Abrieb kann durch die Verwendung von Mikrosilika und / oder Einstreustoffe, erheblich verbessert werden.

Zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen Schlag- und Stosseinwirkungen müssen die Zähigkeit und die Biegezugfestigkeit des Betons verbessert werden. Dies kann durch die Verwendung von Fasern in der Mischung erreicht werden. Die allgemeine Verarbeitbarkeit von Beton kann durch die Beimischung synthetischer Polymere verbessert werden, die den Zementleim verstärken und die Haftung mit den Gesteinskörnungen verbessern. Schliesslich muss noch zwischen Transportwegen und Flächen, die der Ableitung von Energie dienen, unterschieden werden. In diesen Bereichen wird die Verwendung von hochfestem Stahlfaserbeton mit einer Festigkeit von über 80 MPa und entsprechender Biegezugfestigkeit empfohlen.

Bei der Planung und beim Bau muss der Gestaltung der Kanten besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Ob es sich um Dehnungsfugen in Fahrbahnbelägen oder um Abrisskanten im Wasserbau handelt, diese müssen in der Regel speziell behandelt werden. Ein reiner Betonbau ist meist nicht ausreichend. Es müssen spezielle Fugenprofile eingebaut werden, die häufig aus Stahl bestehen.





Abb. 8.7.2: Fahrbahnen aus Beton und andere öffentlich zugängliche Flächen, insbesondere solche mit hohem Verkehrsaufkommen oder konzentrierter Belastung, sind hohen mechanischen Belastungen und starkem Abrieb ausgesetzt, was oft zu einer glatten, rutschigen Oberfläche führt.



Abb. 8.7.3: Auch Industrieböden sind durch die ständig rollenden und dynamischen Belastungen an denselben Stellen einem starken Abrieb ausgesetzt. Harte Betonbeschichtungen und spezielle Einstreustoffe können die Griffigkeit verbessern und den Verschleiss minimieren.

Bedingungen für eine bessere Abriebbeständigkeit

Die Abriebbeständigkeit des Zementsteins ist geringer als die der Gesteinskörnung, insbesondere bei einer porösen Zementmatrix (hoher Wassergehalt). Mit abnehmendem w/z -Wert nimmt die Porosität des Zementsteins ab und die Bindung an die Gesteinskörnung verbessert sich.

Nachbehandlung

Mit Sika® Antisol® (anschliessend mechanisch entfernen, z. B. durch Drahtbürsten oder Strahlen, wenn eine Beschichtung folgt) abdecken und aushärten lassen, vorzugsweise über mehrere Tage.



Abb. 8.7.4: Durch die ständige Einwirkung wird die Zementhaut in einem ersten Schritt abgetragen und anschliessend können die Gesteinskörnungen aus dem Zementleim herausgerieben, herausgeschlagen oder herausgewaschen werden.

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteinskörnungen	Die verwendeten Gesteinskörnungen müssen so hart wie möglich sein	Alle Gesteinskörnungsgrössen möglich
Zement	Jeder Zement, der den örtlichen Normen entspricht	Zielvolumen des Zementleims so gering wie möglich für das jeweilige Einbauverfahren halten
Zusatzstoffe	Silikastaub für verbesserte Verdichtung	SikaFume® bis zu max. 8 %
Wassergehalt	Sauberes Anmachwasser, frei von Feinanteilen	w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse
Betonzusatzmittel	Fließmittel Typ abhängig von dem Einbau und den Anforderungen an die Frühfestigkeit PP Fasern (Mikro) PP Fasern (Makro) Stahlfasern	Sika® ViscoCrete®, SikaPlast® oder Sikament® SikaFiber® Mikro PP Makro PP Stahl
Einbauanforderungen und Nachbehandlung	Nachbehandlungsmittel Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden.	Sorgfältiger Einbau und Verdichtung, Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (vollständige Verdichtung) der Oberflächen Sika® Antisol® .
Oberflächenbeschichtung	Streumaterial zur Oberflächenhärtung Schutzbeschichtung	Sikalfloor®

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fließmittel	Starke Wasserreduktion Verbesserung des Einbaus (Verarbeitbarkeit und Verdichtung)
SikaFume®	Silikastaub	Verbesserte Dichtigkeit
SikaFiber®	Stahlfasern PP-Fasern (Mikro- und Makrofasern)	Erhöhte Schlag- und Abriebfestigkeit, Verringertes Schrumpfverhalten
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung

8.8 CHEMIKALIENBESTÄNDIGER BETON

Wasser ist die Quelle allen Lebens und gleichzeitig ein knappes Gut. Sauberes Trinkwasser muss daher vor Verunreinigungen geschützt werden, während Abwässer vor der Einleitung in ein Abwassersystem behandelt werden müssen. Sowohl das Abwasser selbst als auch die durchgeführten Behandlungsmassnahmen stellen eine Chemikalienbelastung für Betonoberflächen dar.



Abb. 8.8.1: Starke Auslaugungen und Schäden an der Betonstruktur werden insbesondere in der Spritzwasserzone von biologischen Behandlungsbecken beobachtet.

Durch eine vernünftige Planung und geeignete Betonbaukonzepte können die Oberflächen dauerhaft gestaltet werden. Die Beständigkeit von Beton gegenüber chemischen Angriffen ist jedoch begrenzt, weshalb bei starker Belastung Oberflächenschutzsysteme in Betracht gezogen werden müssen.

Chemische Beständigkeit bedeutet in diesem Fall die Beständigkeit gegen Korrosion und Erosion von Beton. Neben den bekannten Abplatzungsarten wie Frost (mit und ohne Taumittel), AAR (Alkali-Kieselsäure-Reaktion), Sulfatbelastung und mechanischem Oberflächenabrieb sind insbesondere in Kläranlagen auch chemische und lösungsmittelhaltige Angriffe weit verbreitet. Das in solchen Anlagen behandelte Wasser variiert jedoch zu stark, um den Angriff auf Betonoberflächen als einheitlich zu bezeichnen. Entscheidend ist neben der allgemeinen Qualität des Wassers auch seine Härte ($^{\circ}\text{fh}$ oder $^{\circ}\text{dH}$).

Zum einen wird die Oberfläche des Betons durch einen Chemikaliencocktail angegriffen, zum anderen kommt es auch zu einer mechanischen Beanspruchung (z. B. Hochdruckreinigung) an der Oberfläche. Dabei werden Feinanteile ausgewaschen, die bereits gelöst wurden, aber im Betongefüge haften geblieben sind. Dieser gesamte Prozess wird durch enthärtetes Wasser (Härte $< 15^{\circ}\text{fh}$ oder 8.4°dH) und die Absenkung des pH-Wertes an der Betonoberfläche (z. B. im Biofilm) zusätzlich beschleunigt. Die Betonrezeptur, die Nachbehandlung und vor allem die Reinigung der Oberfläche müssen auf die jeweilige Belastung abgestimmt sein. Während für die Beständigkeit gegenüber mechanischer Reinigung eine harte und kompakte Betonoberfläche als optimal gilt, verträgt Beton mit hohem Kalziumgehalt die chemische Reinigung am besten. Die Chemikalienbeständigkeit von Beton ist begrenzt. Bei Überschreitung der Expositionsgrenzwerte können Betonoberflächen nur mit geeigneten Beschichtungen dauerhaft geschützt werden.



Abb. 8.8.2: Da die Beständigkeit von Beton gegen chemische Angriffe begrenzt ist, werden häufig Schutzbeschichtungen für den Aussenschutz verwendet.

Schutzbeschichtungen auf Epoxidharzbasis werden nach der Reprofilierung der Betonoberfläche mit sulfatbeständigem, kunststoffvergütetem Reparaturmörtel vollflächig aufgetragen.

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteinskörnungen	Verwendete Gesteinskörnungen müssen von hoher Qualität und frostbeständig sein.	Alle Gesteinskörnungsgrößen möglich
Zement	Sulfatbeständige Zemente Zemente mit hohem Kalziumkarbonatanteil; Zemente, die Silikastaub enthalten	Zielvolumen des Zementleims so gering wie möglich für das jeweilige Einbauverfahren halten.
Zusatzstoffe	Silikastaub, Flugasche oder Hütten-sandmehl	SikaFume®
Wassergehalt	Sauberes Anmachwasser, frei von Feinanteilen	< 0.45 w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse.
Betonzusatzmittel	Fliessmittel Typ abhängig von dem Einbau und den Anforderungen an die Frühfestigkeit	Sika® ViscoCrete®, SikaPlast® oder Sikament®
Einbauanforderungen und Nachbehandlung	Nachbehandlungsmittel Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden.	Sorgfältiger Einbau und Verdichtung. Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (Verdichtung) der Oberflächen Sika® Antisol® .
Schutzsystem	Die chemische Beständigkeit von Beton ist sehr begrenzt. Bei Überschreitung der Expositionsgrenzwerte können die Betonoberflächen durch Beschichtungen dauerhaft geschützt werden.	Sika bietet eine breite Palette von Lösungen an, um das Eindringen von Chemikalien zu verhindern. Die Sika-Lösung: Sikagard®, Sikafloor® und Sikalastic®

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament® Plastiment®	Fliessmittel	Verbessert die Konsistenz
SikaFume®	Silikastaub	Erhöhte Dichtigkeit
Sika® Separol®	Schalungstrennmittel	Leichteres Ausschalen und Reinigen
SikaControl® PerFin	Oberflächenverbesserer für Beton	Verbesserte fertige Betonoberflächen durch die Verringerung von Poren und Lunkern
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung

8.9 HOCHFESTER BETON

Hochfester Beton und Hochleistungs-beton sind nicht nur Spitztechnologien für die wissenschaftliche Forschung, sondern finden auch in der Praxis immer wieder neue Anwendungen. Ob im Umgang mit der Schlankheit von Bauteilen (z. B. Design) oder der Dimensionsinstabilität unter extremen Bedingungen (z. B. Erdbebenbelastungen), hohe und höchste Materialeigenschaften (Druck- und Biegezugfestigkeit, Elastizität und Duktilität) halten Einzug in die Betontechnologie. Dauerhaftigkeit und hohe Festigkeit von Beton sind dabei voneinander abhängig.



Abb. 8.9.1: Hochfester Beton und vor allem Hochleistungsbeton (ultra high performance concrete, UHPC) ist in der Regel faserverstärkt. Je nach Anforderung werden dabei synthetische Fasern und/oder Stahlfasern in grosser Menge eingesetzt.

Hochfester Beton (High Strength Concrete, HSC)

Betone mit hoher Druckfestigkeit (> 60 MPa) gehören nach 28 Tagen zur Gruppe der Hochleistungsbetone und werden aufgrund ihrer vielseitigen technischen Eigenschaften in vielen verschiedenen Bauwerken eingesetzt. Sie werden häufig für den Bau von hochbelastbaren Säulen und für viele Produkte in Betonfertigteilwerken verwendet. Hochfester Beton eignet sich für den Einsatz in Hochhäusern, insbesondere in Erdbebengebieten. Darüber hinaus erfordern vorgespannte Brückenkonstruktionen eine hohe Druckfestigkeit, was zu grösseren Spannweiten und schlankeren Brückenabmessungen führt. Zudem werden die hervorragenden mechanischen Eigenschaften von hochfestem Beton in Bauwerken genutzt, die hohen mechanischen und chemischen Belastungen ausgesetzt sind, wie z. B. Industrieböden, Verkehrsflächen, Offshore-Bauwerke, Kläranlagen und Ingenieurbauwerke wie Wasserkraftwerke oder Kühltürme.

Hochfester Beton wird wie folgt charakterisiert:

- Druckfestigkeit nach 28 Tagen zwischen 60 und 120 MPa
- Erhöhte Zug- und Biegezugfestigkeit
- Hohe Dichtigkeit der Bindemittelmatrix führt zu hoher Dauerhaftigkeit
- Geringere Kriechneigung und verbesserte Beständigkeit gegen Schadstoffe

Ein höherer Gesamtbindemittelgehalt führt nicht zwangsläufig zu einer höheren Betonfestigkeit, da der w/z -Wert der entscheidende Faktor für die Endfestigkeit ist. Die Verarbeitbarkeit des Frischbetons bestimmt den Mindestzementgehalt und die optimale Bindemittelkombination.



Abb. 8.9.2: Die Unterschiede in der Qualität der Gesteinskörnung und des w/z -Werts bestimmen, ob am Punkt der maximalen Belastung Risse in der Gesteinskörnung oder im Zementleim auftreten. Das Bild zeigt eine Verringerung des w/z -Werts von 0.32 (links) auf 0.28 (rechts).

Darüber hinaus ist auf die Auswahl der Gesteinskörnungen hinzuweisen. Hochwertige Gesteinskörnungen, die sauber und frei von inneren Rissen sind, sind zwingend erforderlich. Darüber hinaus kann die Siebkurve der Gesteinskörnung im Hinblick auf hochfesten Beton mit den folgenden Massnahmen gestaltet werden:

- Reduzierter Gesamtsandgehalt
- Reduzierte Menge der Fraktion 2 bis 4 mm
- Reduzierter Feinanteil von Gesteinskörnungen – kleiner als 0.125 mm
- Erhöhte Menge der Fraktion 0.25 bis 1 mm

Besonders zu beachten:

- Hochfester Beton ist immer höchst undurchlässig
- Die Nachbehandlung von hochfestem Beton ist noch wichtiger als sonst (begrenzte Feuchtigkeitszufuhr aus dem Inneren des Betons)
- Hochfester Beton ist aufgrund seiner Festigkeit und erhöhten Steifigkeit auch spröde (Auswirkungen auf die Schereigenschaften)
- Neben Portlandzement werden bei hochfestem Beton grosse Mengen an latent hydraulischen und puzzolanschen Stoffen verwendet, die hervorragende Eigenschaften für die langfristige Festigkeitsentwicklung haben



Beispiel Betonrezepturen und Einfluss des Zement- und Bindemittelgehalts

Die nachstehende Tabelle zeigt drei verschiedene Betonrezepturen, die alle für hochfesten Beton stehen. Es lässt sich ableiten, dass der Gesamtbindemittelgehalt keinen Einfluss auf die Enddruckfestigkeit hat. Der entscheidende Faktor ist der w/z-Wert. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass Mischungen mit einem Wassergehalt von weniger als 120 l/m³ Wasser extreme Probleme bei der Verarbeitbarkeit aufweisen. Daher ist ein minimaler Bindemittelgehalt erforderlich, um einen minimalen Wassergehalt im Beton zu gewährleisten. Ein wichtiges mechanisches Merkmal, der E-Modul, kann durch die Verringerung des Bindemittelgehalts auf ein Minimum erhöht werden.

Bindemittel insgesamt	600 kg/m ³	500 kg/m ³	400 kg/m ³
CEM I 42.5 N	570 kg/m ³	475 kg/m ³	380 kg/m ³
Silikastaub	30 kg/m ³	25 kg/m ³	20 kg/m ³
Gesteinskörnungen (runder Kieselkalk 0 – 16 mm)	1 696 kg/m ³	1 849 kg/m ³	2 001 kg/m ³
w/z-Wert	0.25	0.25	0.25
Wasser	150 kg/m ³	125 kg/m ³	100 kg/m ³
Festigkeit nach 7 Tagen	87 MPa	85 MPa	88 MPa
Festigkeit nach 28 Tagen	93 MPa	98 MPa	96 MPa
E-Modul	43 800 MPa	47 200 MPa	48 800 MPa



Abb. 8.9.4: Hoch beanspruchte Bauteile wie Stützen und Träger werden aus hochfestem Beton hergestellt. Die hohe Widerstandsfähigkeit gegen äussere Einflüsse macht hochfesten Beton auch zu einer idealen Schutzbeschichtung für exponierte Bauelemente.

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteinskörnungen	Mit hochfesten, gebrochenen Gesteinskörnungen kann eine aussergewöhnliche Betonfestigkeit erreicht werden	Gut verteilte Siebkurve mit geringem Feinanteil
Zement	Verwendung eines höheren Zementgehalts und hoher Qualitäten	Zielvolumen des Zementleims so gering wie möglich für das jeweilige Einbauverfahren halten
Zusatzstoffe	Erhöhte Bindung zwischen Zuschlagstoffen und Zementmatrix Silikastaub	SikaFume®
Wassergehalt	Sauberes Anmachwasser, frei von Feinanteilen	< 0.38 w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse
Betonzusatzmittel	Fliessmittel Typ je nach angestrebter Fließfähigkeit und Verarbeitungszeit Stahlfasern	Sika® ViscoCrete® SikaFiber®
Einbauanforderungen und Nachbehandlung	Nachbehandlungsmittel Gründliche Nachbehandlung, die so früh wie möglich beginnt und auf zwei Tage für Innenelemente bzw. drei Tage für Aussen-elemente ausgedehnt wird, insbesondere wenn Silikastaub verwendet wird	Sorgfältiger Einbau und Verdichtung. Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (vollständige Verdichtung) der Oberflächen Sika® Antisol®

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete®	Fliessmittel	Zur maximalen Verringerung des Wassergehalts und damit zur Verfestigung des Zementleims.
SikaFume®	Silikastaub	Zur weiteren Verdichtung und Verfestigung des Zementleims und zur Verbesserung der Bindung zwischen Gesteinskörnung und Zementleim.
SikaFiber®	Stahlfasern	Erhöhte Schlag- und Abriebfestigkeit
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung

8.10 SCHWINDARMER BETON

Das Vermeiden von Rissen trägt zur Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken bei, da Risse das Eindringen von Wasser und Schadstoffen fördern. In den geltenden Bauvorschriften sind Grenzwerte für die Breite von Rissen festgelegt, die von den Umgebungsbedingungen, unter denen ein Bauwerk errichtet wird und der vorgesehenen Nutzungsdauer abhängen.

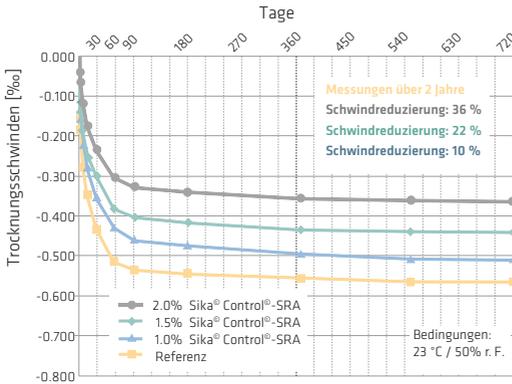


Abb. 8.10.1: Schwindverhalten von Beton mit schwindreduzierenden Zusatzmitteln, gemessen über 2 Jahre.

Schwindarten von Beton

Die wichtigsten Arten mit den stärksten Auswirkungen sind das chemische Schwinden, das plastische Schwinden, das Trocknungsschwinden, das autogene Schwinden und das Karbonatisierungsschwinden. Beim **chemischen Schwinden** nehmen die während des Hydratationsprozesses gebildeten Hydratationsprodukte ein geringeres Volumen ein als das Gesamtvolumen der einzelnen Rohstoffe. Dies führt zu einer Verringerung der Gesamtabmessungen der Betonelemente, solange der Beton noch weich ist. Das **plastische Schwinden** äussert sich in einer Volumenverringerng, die durch die Verdunstung von Wasser verursacht wird und zu einer Kontraktion des Betons in alle Richtungen führt. Der grösste Teil des Schwindens im frühen Alter findet in der horizontalen Ebene statt, hauptsächlich dort, wo die Oberfläche mit Luft in Berührung kommt.

Beim **plastischen Schwinden** handelt es sich um die Art vom Schwinden mit dem grössten Anteil am gesamten Schwinden. Insbesondere bei fehlender oder unzureichender Nachbehandlung kann diese Art vom Schwinden eine übergeordnete Rolle spielen. Einflussfaktoren sind die relative Luftfeuchtigkeit, die Temperatur und der Umgebungswind. Strengere Trocknungsbedingungen erhöhen das Schwindmass.

Autogenes Schwinden ist eine Volumenänderung, die nach dem anfänglichen Abbinden des Betons aufgrund der Hydratation auftritt, da dieser Prozess Wasser benötigt und daher das innere freie Wasser reduziert.

Das Trocknungsschwinden im Festbeton wird in der Regel durch die Verdunstung von Wasser durch vorhandene Kapillarporen im Zementleim verursacht. Der Wasserverlust ist ein fortschreitender Prozess, der sich mit der Zeit stabilisiert, abhängig von den Abmessungen des Bauteils.

Mögliche Massnahmen sind eine Verringerung der Zementleimmenge und die Verwendung von schwindreduzierendem Zusatzmittel.



Abb. 8.10.2: Die sofortige Abdeckung oder Nachbehandlung von Betonoberflächen, die der Witterung ausgesetzt sind, ist der wichtigste Schritt zum Schutz solcher Oberflächen und zur Reduzierung vom plastischem Schwinden.

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteinskörnungen	Ein grosses Volumen an Gesteinskörnungen kann das Trocknungsschwinden verringern	Gut verteilte Siebkurve mit geringem Feinanteil
Zement	Das Trocknungsschwinden kann durch die Verringerung der Zementleimmenge und / oder die Verwendung von Zusatzstoffen verringert werden	Zielvolumen des Zementleims so gering wie möglich für das jeweilige Einbauverfahren halten
Wassergehalt	Ein niedriger Wassergehalt ist günstig, um das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden zu verringern. Bei einem w / z-Wert von weniger als 0.4 kann es zu einem autogenen Schwinden kommen	w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse
Betonzusatzmittel	<p>Fliessmittel Typ abhängig von dem Einbau und den Anforderungen an die Frühfestigkeit</p> <p>Schwindreduzierendes Mittel</p> <p>Kurze Polypropylenfasern können die Auswirkungen des plastischen Schwindens verringern</p> <p>Strukturelle Fasern für eine gleichmässige Verteilung der Risse</p>	<p>Sika® ViscoCrete®, SikaPlast® oder Sikament®</p> <p>SikaControl® SRA</p> <p>SikaFiber®</p> <p>SikaFiber® Stahl Makro PP</p>
Einbauanforderungen und Nachbehandlung	Nachbehandlungsmittel Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden	Sorgfältiger Einbau und Verdichtung. Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (Verdichtung) der Oberflächen Sika® Antisol®

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Erhebliche Wasserreduzierung Verbesserung des Einbaus (Verarbeitbarkeit und Verdichtung)
SikaControl® SRA	Schwindreduzierendes Zusatzmittel	Verringerung des Schwindens
SikaFiber®	Polypropylenfasern Stahlfasern	Verringerung der Auswirkungen des plastischen Schwindens Gleichmässige Verteilung der Risse
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung

8.11 FASERBETON

Die Zugfestigkeit und Duktilität von Beton kann durch die Zugabe von Fasern aus verschiedenen Materialien und mit unterschiedlichen Geometrien erhöht werden. Mit der Absicht, die Bewehrung gleichmässig im Beton zu verteilen, wurde Faserbeton entwickelt, indem die Bewehrung direkt während des Mischvorgangs hinzugefügt wurden. Neben den bekannten Stahlfasern können heutzutage auch Kunststofffasern und Hybridfasern (eine Mischung aus verschiedenen Fasern) für zusätzliche Anwendungen eingesetzt werden.



Abb. 8.11.1: Fasern für die Verwendung in Beton werden aus verschiedenen Materialien und Qualitäten hergestellt und können je nach den Anforderungen an den Frisch- oder Festbeton unterschiedliche geometrische Abmessungen und Formen haben.

Die Wahl des Fasertyps und der Fasergeometrie hängt hauptsächlich vom Anwendungsbereich ab. Daher werden die Geometrie, die Qualität und die physikalischen Eigenschaften der Fasern auf die jeweilige Anwendung abgestimmt. Viele verschiedene Eigenschaften des Frisch- und Festbetons können durch die Zugabe von Fasern effektiv beeinflusst werden. Es gibt unzählige verschiedene Arten von Fasern mit unterschiedlichen Materialeigenschaften und Formen. Die richtige Auswahl für die verschiedenen Verwendungszwecke ist wichtig. Neben dem eigentlichen Material ist auch die Form der Fasern ein entscheidender Faktor.

Die Verbesserung des Brandschutzes ist eine Anwendung, bei der Mikro-Polypropylen (PP)-Fasern erfolgreich eingesetzt werden. Ein weiteres Beispiel für den Einsatz von Mikro-PP-Fasern ist die Verbesserung der Widerstandsfähigkeit von Rissen in Beton im Frühstadium, während Makro- und Stahlfasern hauptsächlich zur Verbesserung der Festigkeit, Widerstandsfähigkeit und Energieabsorption des Festbetons verwendet werden. Makrofasern können Teile der normalen Stahlbewehrung ersetzen.

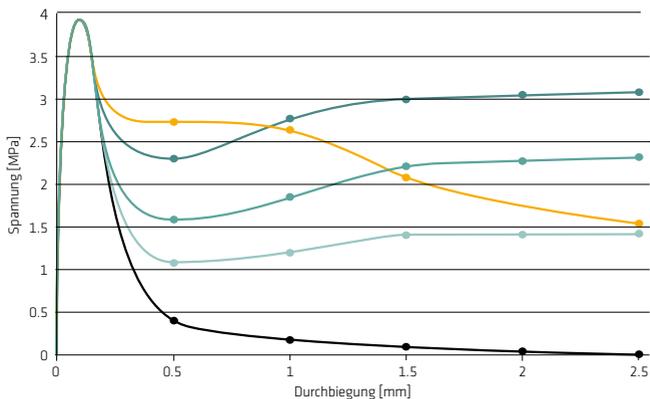
Faserbeton wird verwendet für:

- Industrieböden
- Spritzbeton
- Schlanke Strukturen (normalerweise in Fertigteilwerken)
- Feuerbeständige Bauten
- Mörtelanwendungen (Sanierung)

Tabelle 8.11.1: Wichtigste globale Marken

Markenname	Produkttyp
SikaFiber®	Für Makro-, Mikro-Polypropylen- und Stahlfasern

EN 14651 Prüfung der Biegezugfestigkeit



— Referenz (ohne Fasern)
 — 3 kg / m³ SikaFiber Force Fasern
 — 6 kg / m³ SikaFiber Force
 — 8 kg / m³ SikaFiber Force
 — 25 kg / m³ Stahlfasern

Abb. 8.11.2: Das Spannungs-Durchbiegungs-Diagramm eines Biegeversuchs zeigt den Einfluss verschiedener Fasertypen auf die Eigenschaften des Betons, wie z. B. eine verbesserte Zugfestigkeit und ein gut kontrolliertes Nachrissverhalten.

Betonherstellung

Bei der Herstellung von faserverstärktem Beton müssen die Anweisungen des Faserherstellers befolgt werden. Die Zugabe der Fasern zum falschen Zeitpunkt oder falsches Mischen kann grosse Probleme verursachen und die Fasern sogar unwirksam machen.

- Beachten Sie die vom Hersteller angegebene Zugabezeit und -methode (d. h. im Betonwerk oder im Fahrmischer)
- Beachten Sie die Mischzeiten (Klumpenbildung / Verteilung der Fasern)
- Der maximal empfohlene Fasergehalt darf nicht überschritten werden (erhebliche Beeinträchtigung der Verarbeitbarkeit)
- Fasern erhöhen in der Regel den Wasserbedarf der Mischung (mit Fließmittel ausgleichen)

Tabelle 8.11.2: In welchem Stadium der Betonhärtung wirken welche Fasern am besten?

Frischbeton / -mörtel	Die Homogenität, insbesondere bei Mörteln, wird durch den Zusatz von Mikrofasern verbessert.
Bis etwa 10 Stunden	Frühe Schwindrisse, die durch plastisches Schwinden entstehen, können mit Mikrofasern verringert werden.
1 – 2 Tage	Risse, die durch Zwangsspannungen oder Temperaturspannungen entstehen, können durch den Einsatz von Mikro- und Makrofasern reduziert werden.
Nach 28 Tagen	Kräfte, die von äusseren Belastungen ausgehen, können auf Makro- und Stahlfasern übertragen werden und die Abplatzfestigkeit bei hohen Temperaturen kann durch Mikro-PP-Fasern mit einem Schmelzpunkt von 160 °C verbessert werden.

Tabelle 8.11.3: Parameter der verschiedenen Fasertypen

Fasertyp	Eigenschaften	Bemerkungen
Stahlfasern	Dichte: ~7800 kg / m ³ Zugfestigkeit: 400 - 1500 N / mm ² E-Modul: ~200000 N / mm ²	Stahl ist die bei weitem am häufigsten verwendete Faserart. Dies liegt an seiner Verfügbarkeit, seinen guten mechanischen Eigenschaften und seiner Haltbarkeit.
Polypropylenfasern	Dichte: ~900 kg / m ³ Zugfestigkeit: 600 - 700 N / mm ² E-Modul: 5000 - 15000 N / mm ²	Polypropylen bietet eine sehr gute Alkalibeständigkeit und eine kontinuierliche Verbesserung des E-Moduls über ein breites Spektrum von Anwendungen.
Polyvinylalkoholfasern	Dichte: ~900 kg / m ³ Zugfestigkeit: 600 - 700 N / mm ² E-Modul: 10000 - 64000 N / mm ²	Spezielle Herstellungsverfahren ermöglichen die Produktion von hochmoduligen PVA-Fasern.
Pflanzliche Fasern	Dichte: ~1500 kg / m ³ Zugfestigkeit: 0 - 1000 N / mm ² E-Modul: 5000 - 40000 N / mm ²	Riesige natürliche Ressourcen, aber grosse Unterschiede in den Produktmerkmalen, was Schwierigkeiten bei der Rezeptur mit sich bringt.
Glasfasern	Dichte: ~2700 kg / m ³ Zugfestigkeit: 2500 N / mm ² E-Modul: ~80000 N / mm ²	Durch die kontinuierliche Verbesserung der Alkalibeständigkeit (Dauerhaftigkeit) erweitern sich die Einsatzmöglichkeiten von Glasfasern ständig.
Kohlenstofffasern	Dichte: ~1700 kg / m ³ Zugfestigkeit: 450 - 4000 N / mm ² E-Modul: bis 300000 N / mm ²	Einerseits sehr gute mechanische Eigenschaften und hohe Haltbarkeit, andererseits hohe Kosten.
Polyesterfasern	Dichte: ~900 kg / m ³ Zugfestigkeit: 600 - 700 N / mm ² E-Modul: 5000 - 10000 N / mm ²	Sie wurden für die Textilindustrie entwickelt, sind aber auch in der Baustoffindustrie zu finden.
Keramikfasern	Dichte: ~2500 - 3000 kg / m ³ Zugfestigkeit: 1700 - 3400 N / mm ² E-Modul: 150000 - 400000 N / mm ²	Sie werden für Wärmedämmstoffe und Ummantelungen, aber auch für faserverstärkte Keramiken verwendet.

Wirkung von faserverstärktem Betonen:

- Verbesserte Dauerhaftigkeit des Bauteils
- Erhöhte Zug- und Biegezugfestigkeit
- Höhere Widerstandsfähigkeit gegen spätere Rissbildung
- Verbesserte Rissverteilung
- Verringerung des Frühschwindens
- Erhöhte Feuerbeständigkeit von Beton
- Negativer Einfluss auf die Verarbeitbarkeit
- Verbesserte Homogenität des Frischbetons

Tabelle 8.11.4: Verschiedene Fasertypen können für unterschiedliche Anwendungen verwendet werden. Die folgende Tabelle zeigt, wo Stahl, Makro-PP, Mikro-PP und Glasfasern typischerweise eingesetzt werden können. ■ = vorhanden

Anwendung / Fasertyp	Stahlfaser klein	Stahlfaser gross	Makro-faser 50 mm	Makro-faser 60 mm	Mikro-faser-Mono-filament	Mikro-faser-fibrilliert	Glasfaser
Spritzbeton	■			■			
Fundamentplatten		■	■			■	
Strassen			■				
Frühschwinden					■		
Brandschutz					■		
Estriche						■	■
Mörtel					■		■



Abb. 8.11.3: Spezielle Prüfungen für Spritzbeton: Prüfung der Energieaufnahme von faserverstärktem Spritzbeton nach EN 14488-5.

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteinskörnungen	Alle hochwertigen Gesteinskörnungen möglich	Alle Gesteinskörnungsgrößen möglich
Zement	Jeder Zement, der den örtlichen Normen entspricht	Soll-Zementleimenge gemäss den Empfehlungen für Pumpbeton
Zusatzstoffe	Kalkstein, Flugasche, Silikastaub oder Hüttensandmehl	Ausreichender Feingehalt durch Anpassung einschl. Zement des Bindemittelgehaltes Feinanteile > 375 kg / m ³
Wassergehalt	Frischwasser und Recyclingwasser ohne Anforderungen an den Feinanteilgehalt	w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse < 0.48
Betonzusatzmittel	Fliessmittel Typ abhängig von dem Einbau und den Anforderungen an die Frühfestigkeit Stahlfasern Strukturelle Makrofasern Mikrofasern aus Polypropylen	Sika® ViscoCrete® 0.80 - 1.60% oder SikaPlast® oder Sikament® SikaFiber® Stahl 20 - 60 kg / m ³ Makro PP 4 - 8 kg / m ³ Mikro-PP 0.6 - 1.0 kg / m ³
Einbauanforderungen und Nachbehandlung	Nachbehandlungsmittel Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden	Sorgfältiger Einbau und Verdichtung. Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (Kompaktheit) der Oberflächen Sika® Antisol® .

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Aufgrund der erheblichen Wasserreduzierung ist weniger überschüssiges Wasser im Beton vorhanden
SikaFiber®	Mikro-Polypropylen-Fasern	Starke Erhöhung der Feuerbeständigkeit von zementgebundenem Material
	Strukturelle Makrofasern	Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Beton durch Erhöhung der Schlagfestigkeit und Biegezugfestigkeit
	Stahlfasern	Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Beton durch Erhöhung der Schlagfestigkeit und Biegezugfestigkeit
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung

8.12 SICHTBETON

Moderne Architektur ist ohne Sichtbeton nicht mehr denkbar. Jahrzehntlang standen die einzigartigen Trageigenschaften und das unübertroffene Preis-Leistungs-Verhältnis als Baumaterial im Vordergrund. Erst in den letzten Jahren sind auch die unglaubliche Designvielfalt und die Schaffung vieler verschiedener Oberflächen in den Vordergrund getreten.



Abb. 8.12.1: Dank der Entwicklung von SCC (selbstverdichtendem Beton) sind die Möglichkeiten für Planung und Bau nahezu unbegrenzt und mit spezieller Schalungstechnik und / oder speziellen Betonzusatzmitteln lassen sich selbst in den schwierigsten Bereichen hochwertige Oberflächen erzielen.

Beton mit hohen ästhetischen Anforderungen

In der modernen Architektur wird Beton in zunehmendem Masse sowohl als Gestaltungselement als auch wegen seiner mechanischen Eigenschaften verwendet. Dies bedeutet, dass höhere Anforderungen an die Oberfläche gestellt werden (Sichtfläche). Es gibt viele Möglichkeiten, auf diesen exponierten Flächen besondere Effekte zu erzielen:

- Wählen Sie eine geeignete Betonmischung aus
- Bestimmen Sie das Schalungsmaterial und den Schalungstyp (die Schalung muss absolut dicht sein!)
- Verwenden Sie die richtige Menge eines geeigneten Schalungstrennmittels
- Wählen Sie eine geeignete Einbaumethode
- Verwenden Sie gegebenenfalls Schalungseinlagen
- Verwenden Sie Farbpigmente
- Korrekter Einbau (Verdichtung, Einbringung usw.)
- Intensive Nachbehandlung

Zusätzlich zu all diesen Faktoren sind die folgenden für die Betonmischung wichtig:

Gesteinskörnung / Zement / Wasser

- Verwendung eines Mindestfeinkornanteils und einer ausgewogenen Siebkurve, wie sie für Pumpbeton verwendet wird
- Zement im Allgemeinen $> 300 \text{ kg} / \text{m}^3$
- Berücksichtigen Sie den Einfluss des Zements auf die Farbe der exponierten Oberfläche
- Der Wassergehalt in einem Sichtbeton erfordert grosse Sorgfalt (Schwankungen vermeiden), Bluten verhindern.
- Das Erscheinungsbild der Oberfläche verbessern, indem die Migration von Verunreinigungen (die in Flugasche und Fertigsanden enthalten sind) und die Anreicherung auf der Oberfläche verhindert werden und um eine gleichmässige Verteilung und Stabilität der Farbpigmente in der Betonmatrix zu gewährleisten, wird SikaControl® SI verwendet.



Abb. 8.12.2: Mit einer grossen Auswahl an Schalungen und Bearbeitungen kann fast jede Betonoberfläche hergestellt werden, einschliesslich spiegelglatt, schlichtes Holzmuster oder anderer Muster, z. B. gestockter Beton oder freiliegende Gesteinskörnungen usw.

Einbau und Nachbehandlung

- Bringen Sie den Beton in gleichmässigen Schichten von 300 bis 500 mm ein.
- Jede Schicht sollte mit der darunter liegenden Schicht zusammenvibriert werden (Markierung am Vibrator anbringen) Verwenden Sie einen Vibrator in geeigneter Grösse (Beispiel: Wandstärke bis zu 20 cm → Innenrüttler $\varnothing \leq 40$ mm)
- Der Beton muss eine plastische bis weiche Einbaukonsistenz haben.
- Eine gründliche Nachbehandlung ist unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen vorzusehen

Vorsichtsmassnahmen

- Bei neuen, unbehandelten Holzschalungen kann es durch den Holzzucker auf der Oberfläche zu erheblichen Verzögerungen kommen, die zu Verfärbungen und Absanden führen
- Wenn der Beton beim Einbringen zu "nass" ist, können Wasserporen mit dünner oder nicht vorhandener Zementhaut entstehen (Lunker)
- Unzureichendes Vibrieren des Betons kann zu Verdichtungsporen mit einer harten, dicken Haut der Zementschlämme führen (Wabenbildung)
- Übermässiger Auftrag von Schalungstrennmittel verhindert das Entweichen der (durch Vibration entstandenen) Luftblasen

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Erhöhte Festigkeit und Dichtigkeit Erhebliche Wassereinsparung Verringerung der Kapillarporosität
Sika® Separol®	Schalungstrennmittel	Leichteres Ausschalen und Reinigen
Sika® Rugasol®	Oberflächenverzögerer	Herstellung von Waschbetonoberflächen
SikaControl® PerFin	Oberflächenverbesserer für Beton	Verbesserte fertige Betonoberflächen durch die Verringerung von Poren und Luftlöchern
SikaColor®	Betonfarbe (flüssig oder pulverförmig)	Schafft gleichmässigen und intensiv gefärbten Beton
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung
SikaControl® SI	Oberflächenverbesserer	Verbessert das Aussehen der Oberfläche, indem es verhindert, dass sich Verunreinigungen (verbrannter Kohlenstoff) auf der Oberfläche ansammeln

8.13 FARBBETON

Die Herstellung und Verarbeitung von ein-gefärbtem Beton ist nicht nur ein Trend, sondern auch eine nachhaltige und attraktive Möglichkeit, Betonkonstruktionen oder -bauteile zu gestalten. Neben der Form und der Oberflächenstruktur ist die Farbe ein zentrales Gestaltungselement des Baustoffes Beton. Die Wirkung muss daher die Wünsche des Bauherrn und des Architekten widerspiegeln und sich möglichst gleichmässig über das gesamte Bauteil erstrecken.



Abb. 8.13.1: Beton, traditionell ein solides, zuverlässiges und dauerhaftes Baumaterial, kann auf ein neues Niveau der architektonischen Ausführung gehoben werden.

Farbbeton wird durch Zugabe von Metalloxidpigmenten (hauptsächlich Eisenoxid) hergestellt. Die Pigmente liegen in Form von Pulver, feinen, staubarmen Granulaten oder flüssigen Suspensionen vor. Die Dosierung beträgt normalerweise 0.5 – 5.0% des Zementgewichts. Höhere Dosierungen verbessern die Farbintensität nicht, können aber die Betonqualität beeinträchtigen.

Typische Primärfarben sind:

- Eisenoxid gelb und rot
- Eisenoxid schwarz (Hinweis: Russ kann die Bildung von Luftporen beeinträchtigen)
- Weiss (Titandioxid; allgemeiner Aufheller)

Aus den wichtigsten Grundfarben lässt sich eine breite Palette von Betonfarben erzeugen und der Kreativität sind kaum Grenzen gesetzt.

Darüber hinaus sind Sonderfarben erhältlich. Die Färbung kann verstärkt oder strukturiert sein:

- Durch die Verwendung von hellen Zuschlagstoffen und / oder von Weisszement
- Durch die Verwendung von bestimmten Schalungsarten

Zu den wichtigsten Faktoren für den Erfolg von farbigen Betonkonstruktionen und -ausführungen gehören:

- Vorversuche und vereinbarte Oberflächenbeschaffenheiten, wobei die Ergebnisse für alle Beteiligten sichtbar sind
- Ein konstanter Arbeitsablauf während der gesamten Betonierarbeiten, von der Betonrezeptur über Versuche, Produktion, Transport, Schalung, Einbau, bis hin zur Nachbehandlung und dem Schutz der Betonoberflächen. Die Parameter müssen in Übereinstimmung mit den Vorversuchen beibehalten werden
- Ein gleichmässiger Wassergehalt in der Betonmischung ist eine der wichtigsten Faktoren



Abb. 8.13.2: Farbbeton erfordert weit mehr als nur die Zugabe der Pigmente. Von der Planung bis zum Einbau müssen wesentliche Entscheidungen für den Erfolg der Anwendung getroffen und die unterschiedlichsten Produktionsschritte geprüft und fachgerecht ausgeführt werden. Das Bild zeigt einen Sika Scofield Granular Color Dispenser in einem Betonwerk.

Die Bedeutung des Einflusses der Schalung auf die Ästhetik des eingefärbten Sichtbetons muss mit dem Bauherrn vor dem Anbringen der Testplatten besprochen werden:

- Material der Schalung (Stahl, Holz, Kunststoff usw.)
- Struktur der Oberfläche (glatt oder rau)
- Dichtheit und Sauberkeit der Schalung (insbesondere an den Fugen, neue oder gebrauchte Schalungen)
- Robustheit der Schalungskonstruktion
- Schalungstrennmittel (Typ, Auftragsstärke und Konsistenz)
- Einbringen und Verdichten des Betons in die Schalung
- Nachbehandlung

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Erhöhte Festigkeit und Dichtigkeit Erhebliche Wassereinsparung Verringerung der Kapillarporosität
SikaColor®	Flüssig- / Pulver- / Granulatfarben	Pigmente zur integralen Einfärbung von Mörtel und Beton

8.14 UNTERWASSERBETON

Wie der Name schon sagt, wird Unterwasserbeton unterhalb des Wasserspiegels eingebaut, z. B. für:

- Häfen und Hafenanlagen
- Brückenpfeiler in Flüssen
- Bauwerke der Wasserversorgung
- U-Bahnen
- Tiefe Schächte in instabilem Boden



Abb. 8.14.1: Bei der Verwendung von Unterwasserbeton sind die Einbau- und Arbeitsbedingungen sehr oft komplex, weshalb diese Betone oft auch eine längere Verarbeitungszeit benötigen.

Zusammensetzung (Beispiel 0 – 32 mm):

Zuschläge

- Verwenden Sie geeignete Zuschläge für gepumpte Mischungen
- Feinanteile einschliesslich Zement $> 400 \text{ kg} / \text{m}^3$

Zement und Zusatzstoffe

- Mindestzementgehalt $350 \text{ kg} / \text{m}^3$
- Kalkstein kann dem Feinanteil im Mischgut zugesetzt werden

Zusatzmittel

- Fliessmittel zur Verringerung des freien Wassers im Mischgut
- Viskositätsmodifizierer zur Minimierung des Auswaschungseffekts von Feinanteilen und Zement (insbesondere bei fliessendem Wasser)

Besondere Anforderungen

Die Standardmethode ist das Pumpen einer entsprechend modifizierten Mischung durch eine Normalbetonpumpe. Das Ende des Förderrohrs muss tief genug im Frischbeton liegen. Eine weitere Methode, Unterwasserbeton mit minimalen Verlusten einzubringen, ist das Tremie-Verfahren (Kontraktorverfahren). Der Beton wird direkt durch ein Rohr mit einem Durchmesser von 20 bis 40 cm in und durch den bereits installierten Beton eingebracht. Das Rohr wird kontinuierlich angehoben, aber das untere Ende muss immer ausreichend in den Beton eingetaucht bleiben, um zu verhindern, dass das Wasser in das Rohr zurückfließt. Weitere wichtige Punkte, die zu berücksichtigen sind:

- Je höher der Wasserdurchfluss, desto mehr Auslaugung kann auftreten. Es ist möglich, den Beton so zu gestalten, dass die Auswaschung bei verschiedenen Wasserdurchflussraten minimiert wird
- Vermeiden Sie Druckunterschiede in der Leitung (z. B. durch Wasserstandsunterschiede in Schächten)

Spezial-Unterwasserbeton

Bereits installierte grobe Gesteinsgerüste bzw. "Gabionen" können nachträglich mit modifizierter Zementsuspension verfüllt werden (Prepakt-Verfahren).

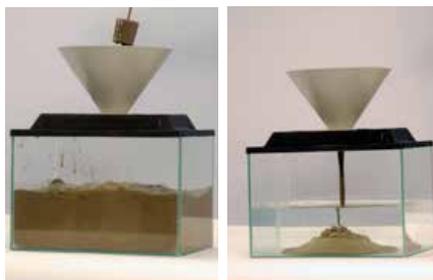


Abb. 8.14.2: Unter Wasser gegossener Beton ohne (links) und mit Sika® Stabilizer UW Compound (rechts).

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteinskörnungen	Alle hochwertigen Gesteinskörnungen möglich	Alle Gesteinskörnungsgrössen möglich
Zement	Jeder Zement, der den örtlichen Normen entspricht	> 350 kg / m ³ Soll-Zementleimmenge gemäss Pumpbetonempfehlungen
Zusatzstoffe	Kalkstein, Flugasche oder Hüttensandmehl	Ausreichender Feingehalt an Feingut einschliesslich Anpassung des Bindemittelzementgehalts
Wassergehalt	Frischwasser und Recyclingwasser ohne Anforderungen an den Feinanteilgehalt	< 0.48 w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse
Betonzusatzmittel	Fliessmittel Typ abhängig von dem Einbau und den Anforderungen an die Frühfestigkeit Stabilisieren für stehendes Wasser Stabilisieren für fliessendes Wasser	Sika® ViscoCrete®, SikaPlast® oder Sikament® Sika® Stabilizer Sika® Stabilizer UW Compound
Einbauanforderungen und Nachbehandlung	Nachbehandlungsmittel Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden	Sorgfältiger Einbau und Verdichtung. Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (Kompaktheit) der Oberflächen

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Erhöhte Festigkeit und Dichtigkeit Erhebliche Wassereinsparung Verringerung der Kapillarporosität
Sika® Stabilizer	Viskositätsmodifizierer	Verbesserte Kohäsion des Betons
Sika® Stabilizer UW Compound	Kohäsionsverbesserer	Starke Verbesserung der Kohäsion für Unterwasserbeton
Sika® Stabilizer Pump	Pumphilfe	Verbessert die Pumpbarkeit und die Kohäsion
SikaTard® Sika® Retarder	Abbindeverzögerer	Erweiterte Verarbeitbarkeit durch Verzögerung des Erstarrungspunktes
SikaFume®	Silikastaub	Erhöhte Dichtigkeit und höhere Dichte

8.15 LEICHTBETON

Leichtbeton bedeutet Beton und Mörtel mit einer geringen Dichte. Um das Gewicht zu verringern, werden in den Beton entweder Gesteinskörnungen mit geringerer Dichte oder künstliche Hohlräume eingebaut. Welches Verfahren eingesetzt wird, hängt hauptsächlich von den verfügbaren Leichtbaumaterialien, der Anwendung und den gewünschten Betoneigenschaften ab.



Abb. 8.15.1: Die erzielbaren Druckfestigkeiten sind immer mit der Dichte der Materialien verknüpft. Das Ausmass dieses Zusammenhangs kann durch die Qualität der Gesteinskörnungen verändert werden. Wie erwartet, führen Hohlräume zu einer sehr geringen Festigkeit. Sogenannte Blähtone können auch bei niedrigen Dichten von etwa 1500 kg/m^3 eine sehr gute Festigkeitsentwicklung aufweisen.

Leichtbeton wird verwendet für:

- Leichtbau (Decken, Wände, Fahrbahntafeln, Platten)
- Ausgleichsbeton
- Verfüllung
- Wärmedämmung

Eigenschaften von Leichtbetonen:

- Verringerung der Frisch- und Festbetondichte
- Wenn Leichtbeton als Füllbeton mit geringen Tragfähigkeitsanforderungen verwendet wird, d. h. für die Formstabilität werden in der Regel hochporöse Betone und Mörtel hergestellt (Porenleichtbeton)
- Wenn Leichtbeton mit guten mechanischen Eigenschaften (d. h. Druckfestigkeit) erforderlich ist, werden spezielle Gesteinskörnungen verwendet (natürlich sehr porös, aber auch formstabil)

Produktion von Leichtbeton:

- Poröse Leichtbaustoffe wie Blähton müssen vorge säst werden, um zu verhindern, dass dem Beton beim Mischen zu viel Wasser entzogen wird
- Wegen der Gefahr der Entmischung keine zu flüssige Konsistenz verwenden
- Die richtige Handhabung der Vibratoren ist besonders wichtig (schnelles Eintauchen, langsames Anheben), um Lufteinschlüsse zu vermeiden
- Sofort und gründlich nachbehandeln
- Schaumbetone schwinden oft stark und haben eine geringe Dimensionsstabilität



Abb. 8.15.2: Mit einem Schaumgenerator und Sika® Stabilizer erzeugter Schaum zur Herstellung von Poren- / Schaumbeton.

Inhaltsstoffe für die Herstellung von Leichtbetonen:

- Gesinterte, pulverisierter Brennstoffasche als Zuschlagstoff
- Blähton
- Kugeln aus expandiertem Polystyrol, Holzspäne, Sägemehl
- Spezielle hohlraumbildende Zusatzmittel zur Erzeugung grosser Mengen von definierten stabilen Luftporen
- Schaumbildner

Rohdichte

Basierend auf der Rezeptur und den verwendeten Bestandteilen können die folgenden Dichteklassen und Eigenschaften erzielt werden:

Komponenten	Dichte	Mechanische Eigenschaften
Gesteinskörnung	über 1 800 kg / m ³	Hohe mechanische Eigenschaften
Blähton	über 1 500 kg / m ³	Begrenzte mechanische Eigenschaften
Porenbildner	über 1 500 kg / m ³	Poröser Leichtbeton mit geringen mechanischen Eigenschaften
	über 1 200 kg / m ³	Keine mechanischen Eigenschaften (leicht herstellbarer poröser Leichtbeton)
Expandiertes Polystyrol	über 800 kg / m ³	Geringe mechanische Eigenschaften
Schaumbildner	über 800 kg / m ³	Keine mechanischen Eigenschaften wie Füllmörtel

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fliessmittel	Verringerung der Durchlässigkeit und Verbesserung der Verarbeitbarkeit von Leichtbeton
Sika® Stabilizer Lightcrete	Schaumbildendes Zusatzmittel	Zur Herstellung von Beton mit geringer Dichte
Sika® Stabilizer Pump	Pumphilfe	Verbesserung der Pumpbarkeit und der Kohäsion von Leichtbeton

8.16 SCHWERBETON

Die Hauptanwendung für Schwerbeton ist die Strahlenabschirmung (medizinisch oder nuklear) und der Offshore-Bereich. Schwerbeton wird aber auch zur Ballastierung von Pipelines verwendet.



Abb. 8.16.1: Der Boden, die Wände und die Decke dieses Krankenhauses wurden aus Schwerbeton mit Hämatit-Metallzuschlägen hergestellt, um einen vollständigen und sicheren Strahlenschutz zu gewährleisten.

Für Schwerbeton werden schwere natürliche Zuschlagstoffe wie Baryt, Magnetit oder industriell gefertigte Gesteinskörnungen wie Eisenerz und / oder Bleischrot verwendet. Die Dichte hängt von der Art des verwendeten Zuschlagstoffs ab und kann zwischen $3\,000\text{ kg/m}^3$ und fast $6\,000\text{ kg/m}^3$ betragen. Wie bereits erwähnt, wird Schwerbeton hauptsächlich für den Strahlenschutz verwendet.

Die entscheidenden Eigenschaften eines Schwerbetons sind:

- Homogene Dichte und Verdichtung des Betons
- Frei von Rissen und Kiesnestern
- Die Druckfestigkeit ist aufgrund der Grösse des Bauwerks oft nur ein zweitrangiges Kriterium
- Möglichst frei von Luftporen
- Geringe Hydratationswärme
- Geringes Schwinden

Zusammensetzung:

- Zuschlagstoffe – Verwendung von Baryt, Eisenerz, Schwermetallschlacken, Ferrosilizium, Stahlgranulat oder Schrot
- Zement – Berücksichtigung der Hydratationswärmeentwicklung bei der Auswahl von Zementart und -gehalt
- Wassergehalt – Möglichst niedriger w/z -Wert

Verarbeitbarkeit

Um eine dichte Betonmatrix zu gewährleisten, muss der Einbau (Verdichtung) und die Verarbeitung des Betons grosse Beachtung geschenkt werden.

Nachbehandlung

Bei der Nachbehandlungsmethode muss die hohe Wärmeentwicklung aufgrund der grossen Masse des Bauwerks berücksichtigt werden.

Tabelle 8.16.1: Überblick über Betonarten und -dichten

Typ	Dichte des Betons	Dichte des Zuschlagstoffes
Schwerbeton	Höher als 2 800 kg / m ³	Schwere Zuschlagstoffe > 3 200 kg / m ³
Normaler Beton	Im Bereich von 2 000 bis 2 800 kg / m ³	Normale Zuschlagstoffe
Leichtbeton	Bis zu 2 000 kg / m ³	Leichte Zuschlagstoffe < 2 200 kg / m ³

Bei der Verwendung von Baryt liegt die Dichte im Bereich von 3 500 kg / m³, während die Dichte bei Magnetit 3 900 kg / m³ beträgt. Sehr schwere Betone können mit Eisenzuschlägen hergestellt werden, die Dichte liegt dann über 6 000 kg / m³.

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Zuschlagstoffe	Verwendung von schwergewichtigen Zuschlagstoffen	Baryt ~ 3 500 kg / m ³ Magnetite ~ 3 900 kg / m ³ Eisenzuschläge ~ 7 000 kg / m ³
Zement	Jeder Zement, der den örtlichen Normen entspricht	Zielvolumen des Zementleims so gering wie möglich für das jeweilige Einbauverfahren halten
Zusatzstoffe	Hüttensandmehl	Ausreichender Feingehalt durch Anpassung des Bindemittelgehaltes
Wassergehalt	Frischwasser und Recyclingwasser ohne Anforderungen an den Feinanteilgehalt	< 0.48 w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse
Betonzusatzmittel	Fließmittel Typ abhängig von dem Einbau und den Anforderungen an die Frühfestigkeit	Sika® ViscoCrete® , SikaPlast® oder Sikament®
Einbauanforderungen und Nachbehandlung	Nachbehandlungsmittel Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden	Sorgfältiger Einbau und Verdichtung, Anschliessende Nachbehandlung zur Gewährleistung einer hohen Qualität (Kompaktheit) der Oberflächen Sika® Antisol® .

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete® SikaPlast® Sikament®	Fließmittel	Erhebliche Wassereinsparung Verbesserung des Einbaus (Verarbeitbarkeit und Verdichtung)
SikaFume®	Silikastaub	Verbesserte Dichtigkeit
Sika® Antisol®	Nachbehandlungsmittel	Schutz gegen vorzeitige Austrocknung

8.17 SCHLEUDERBETON

Spannbetonpfähle können in grossem Umfang als Fundamentpfähle für Kraftwerksprojekte, Stahlwerke, Hochhäuser, Brücken, Seebauwerke, Häfen usw. verwendet werden.

Schleuderbetonpfähle werden durch Zentrifugalverdichtung hergestellt.



Typische Betoneigenschaften:

- Setzmass: 20 – 40 mm
- Festigkeitsklasse: 80 MPa
- Die Druckfestigkeit zum Zeitpunkt der Einbringung der Vorspannung muss 40 MPa (Zylinder) oder mehr betragen

Zusammensetzung:

Gesteinskörnung

- Grobe Zuschläge Grösse (4 – 22 mm): 1200 – 1300 kg / m³

Zement

- Dosierung 440 – 480 kg / m³, in der Regel Portlandzement

Zusatzstoffe

- Silikastaub für hohe Festigkeit oder in Meeresumgebung

w / z-Wert

- 0.20 – 0.25

Betonzusatzmittel

- Um die Frischbetoneigenschaften und die hohe Frühfestigkeit nach 4 – 5 Stunden Dampfnachbehandlung des Schleuderbetonpfahls zu gewährleisten, ist der Einsatz eines Fließmittels auf Basis von Polycarboxylatether (PCE), wie die Sika® ViscoCrete®-Technologie, zwingend erforderlich.

Typische Rezeptur für C80-Schleuderbeton

Mischungsverhältnis für 1 m ³				
Zement [kg]	Sand (0 – 4 mm) [kg]	Grobe Gesteinskörnungen (4 – 22 mm)	Sika® ViscoCrete® [kg]	Wasser [l]
460	730	1260	4.6	110

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteinskörnungen	Alle hochwertigen Gesteinskörnungen möglich	Alle Gesteinskorngrössen sind möglich. Empfohlen bis zu 22 mm
Zement	Jeder Zement, der den örtlichen Normen entspricht	Zielvolumen des Zementleims so gering wie möglich für das jeweilige Einbauverfahren halten
Wassergehalt	Sauberes Anmachwasser, frei von Feinanteilen	w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse 0.20 – 0.25
Betonzusatzmittel	Fließmittel Typ abhängig von dem Einbau und den Anforderungen an die Frühfestigkeit	Sika® ViscoCrete®
Einbauanforderungen und Nachbehandlung	Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden	Sika® Antisol®

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete®	Leistungsstarker Wasserreduzierer	Wasserreduktion Gute Frühfestigkeitsentwicklung
SikaFume®	Silikastaub	Hohe Festigkeit, erhöhte Dichtigkeit
SikaRapid®-1	Erhärtungsbeschleuniger	Erhöhte Frühfestigkeit
Sika® Separol®	Schalungstrennmittel	Trägt zu einer optisch einheitlichen und dauerhaften Betonoberfläche bei

8.18 SICKERBETON

Sickerbeton, manchmal auch als “Dränbeton” bezeichnet, ist eine Mischung aus hydraulischem Zement, groben Gesteinskörnungen kleinerer Grösse, Zusatzmitteln und Wasser. Sickerbeton ermöglicht es dem Wasser, durch den Beton in den Unterbau zu versickern und den Grundwasserspiegel wieder aufzufüllen. Sickerbeton enthält in der Regel keinen Sand und sein Luftporengehalt schwankt zwischen 15 und 30%. Eine kleine Menge Sand kann zur Verbesserung der Druckfestigkeit verwendet werden, jedoch sollte der Luftporengehalt nicht reduziert werden, da dies zu einer verringerten Durchlässigkeit führt.

Es ist wichtig, das richtige Volumen des Leims / Mörtels in der Mischungszusammensetzung beizubehalten, damit die Gesteinskörnung gleichmässig beschichtet wird, aber der Überschuss an Leim / Mörtel nicht den Hohlraum innerhalb der groben Gesteinskörnung ausfüllt. Die Hohlräume im Sickerbeton sollten so miteinander verbunden sein, dass sie Kanäle bilden, durch die das Wasser frei fließen kann.

Sickerbeton kann in folgenden Bereichen eingesetzt werden:

- Parkplätze im Freien
- Zufahrten und Gassen
- Gehwege
- Wandbauanwendungen, bei denen ein geringes Gewicht, eine bessere Wärmedämmung oder beides erforderlich ist
- Durchlässige Seitenstreifen und Randentwässerung
- Entwässerungsschichten
- Böden frei von stehendem Wasser (Gewächshaus, Tennisplätze, Schwimmbaddecks)
- Brückendämme



Einbau und Verdichtung

Sickerbeton kann direkt vom Transportfahrzeug, über Förderbänder oder manuell eingebracht werden. Sickerbeton kann aufgrund seiner plastischen Eigenschaften nicht gepumpt werden (dichter Strom). Vor Ort wird der Belag manuell oder lasergesteuert abgezogen und die Verdichtung kann beginnen. Manchmal kann das Abziehen mit dem Verdichten in einem Schritt kombiniert werden. Für den Einbau von wasserdurchlässigem Beton gibt es heute verschiedene Techniken:

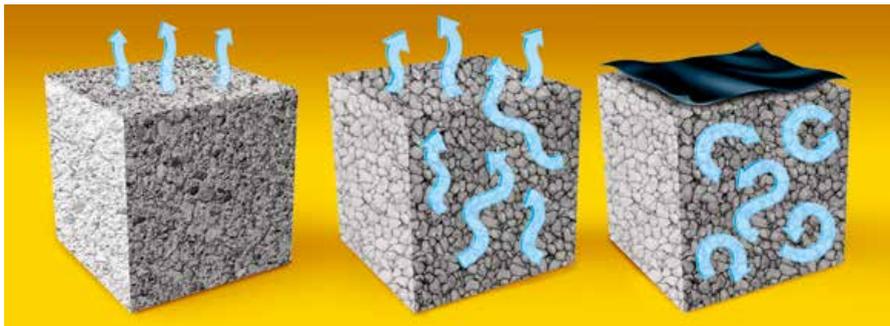
- Manuelle Stahlwalzen
- Manuelle Verdichter
- Manuelle Vibrationsbalken
- Automatisierte Schleuderrohre (mechanische Eigenschaften verbieten die Verwendung von Sickerbeton in bestimmten Anwendungen)
- Modifizierte Strassenfertigungsmaschine

Bereiche, die nur schwer zu erreichen sind, wie z. B. Kanten oder Ecken, sollten von Hand festgestampft werden, um die richtige Dichte zu gewährleisten und Auftrennen zu verringern.

Nachbehandlung

Der wichtigste Schritt zur Herstellung von starkem und dauerhaftem Beton ist die richtige Nachbehandlung. Ohne ordnungsgemäße Nachbehandlung verdunstet das Wasser schnell über die vergrößerte Oberfläche des Produkts. Eine schnelle Abdeckung ist ein absolutes Muss, wenn maximale Festigkeit gefordert ist.

Der herkömmliche Beton lässt das Wasser nur von der Oberfläche verdunsten, während der Sickerbeton mit seiner Porosität das Wasser von einer viel größeren Fläche verdunsten lässt. Sickerbeton sollte so bald wie möglich mit einer Kunststoffolie abgedeckt werden, damit die Feuchtigkeit im Inneren bleibt und der Beton ordnungsgemäss hydratisieren kann.



Grundwasserspiegel

Wenn das Wasser wieder in den Boden eindringen kann, verbessert dies unser Lebensumfeld in mehrfacher Hinsicht:

- Geringeres Risiko von Überschwemmungen
- Reduzierter Abfluss verringert die Verschmutzung von Wasserquellen
- Verbessert die Qualität der Landschaftsgestaltung und verringert den Bedarf an Bewässerung (Blumenbeete und angrenzende Bäume)
- Füllt den Grundwasserspiegel auf
- Verringert den Umfang und manchmal auch die Notwendigkeit von Regenwasserabflüssen

Städtische Wärme

Sickerbeton helfen, städtische Hitzeinseln zu bekämpfen, indem sie die Oberflächentemperatur und die Hitze auf natürliche Weise reduzieren. Im Rahmen des Programms "Cool Communities" wurde festgestellt, dass die Temperaturen in Städten um 5 bis 10 °C höher sind als in ländlichen Gebieten. Dadurch erhöht sich der Energiebedarf für die Kühlung erheblich. Aufgrund der helleren Farbe und der offenporigen Struktur des durchlässigen Betons ist die Wärmeabsorption im Vergleich zu herkömmlichen Asphaltoberflächen wesentlich geringer:

- Bildet aufgrund seiner hellen Farbe keine Wärmeinseln
- Natürliche Kühlwirkung durch Verdunstung des absorbierten Wassers

Wasserverschmutzung

Die Abwässer von Parkplätzen gelten als die grösste Wasserverschmutzung in den Städten. Sickerbeton reduziert die Anzahl der Abflüsse erheblich und ermöglicht die natürliche Filterung des Wassers durch das Bodenbett:

- Ermöglicht die natürliche Behandlung von verschmutztem Wasser durch Bodenfiltration
- Verringert das Risiko von Überschwemmungen und Abschwemmungen des Bodens

Gesundheit und Sicherheit

Das Eindringen von Wasser in den Boden wird verbessert und die besondere Struktur des Sickerbetons führt zu:

- Verringerung des verkehrsbedingten Lärmpegels (≥ 5 dB(A))
- Hohe Schallabsorption (bis zu 98% im kritischen Frequenzbereich)
- Verhindert Blendung – die Sickerbetonoberfläche blendet nicht, besonders nachts, wenn die Strasse nass ist, ist das ein grosser Vorteil
- Reduziert Aquaplaning durch Verringerung der überfluteten Stellen
- Verringerung / Beseitigung von Spritzwasser
- Verbesserung der Griffigkeit (Reifen / Strasse)

Herausforderungen

Wie jedes andere Baumaterial hat auch Sickerbeton seine Grenzen, die man kennen muss. Sickerbeton kann nur so gut sein, wie er geplant und eingebaut wird. Da Sickerbeton ein System aus mehreren Komponenten ist, muss jeder Abschnitt ordnungsgemäss eingebaut werden, um sicherzustellen, dass das System funktioniert.

Grundlegende Kriterien für wasserdurchlässigen Beton sind:

- Sickerbeton darf nur auf ebenen oder leicht geneigten Flächen verwendet werden
- Die Vorbereitung des Untergrunds ist im Vergleich zu herkömmlichem Beton anspruchsvoller
- Mechanische Eigenschaften verbieten die Verwendung von wasserdurchlässigem Beton in bestimmten Anwendungen
- Instandhaltung kann erforderlich sein, um die Versickerungseigenschaften zu erhalten
- Höhere Anschaffungskosten als Asphalt

Technologie

Die Qualität von wasserdurchlässigem Beton hängt von mehreren Kriterien ab. Aus der Sicht des Bauherrn sind Durchlässigkeit, Druck- und Biegezugfestigkeit wichtig, aus der Sicht des Bauunternehmers spielt der einfache Einbau eine grosse Rolle.

Wirtschaftlichkeit

Einsparungen und andere Vorteile, die sich aus der Verwendung von Sickerbeton ergeben, sind vor allem auf die folgenden Faktoren zurückzuführen:

- Reduziert oder eliminiert den Bedarf an Regenwasserkanälen oder Rückhaltebecken
- Vergrösserung der Parkfläche durch Verringerung der Wasserrückhalteflächen
- Erhöht die durchlässige Fläche und kann für eine Anrechnung als durchlässige Fläche in Frage kommen
- Anerkannt von Leadership in Energy and Environmental Development (LEED)
- Erfordert weniger kostspielige Reparaturen als Asphaltdecken
- Längere Lebensdauer und niedrigere Lebenszykluskosten als Asphalt

Hinweis für die Betonrezeptur und die zu ergreifenden Massnahmen:

Komponenten	Beschreibung	Beispielrezeptur
Gesteins-körnungen	Alle hochwertigen Gesteins-körnungen möglich	Grobzuschläge je nach vorgesehener Durchlässigkeit (z. B. 5 - 11 mm)
Zement	Jeder Zement, der den örtlichen Normen entspricht	Zementleimmenge so gering wie möglich für das jeweilige Einbauverfahren und so viel wie nötig, um die Oberfläche der verwendeten Gesteins-körnungen zu bedecken
Wassergehalt	Sauberes Anmachwasser, frei von Feinanteilen	w / z-Wert nach Norm in Bezug auf die Expositionsklasse 0.26 - 0.45
Betonzusatzmittel	<p>Fliessmittel Typ abhängig von dem Einbau und den Anforderungen an die Frühfestigkeit</p> <p>Monofilament Fasern aus Polymer oder Polypropylen</p> <p>Spezielle Zusatzmittel Sie können als Bindemittel zwischen Zementleim und Gesteins-körnungen wirken und ermöglichen eine stärkere Verbindung zwischen Zementleim / Mörtel und Gesteins-körnungen.</p>	<p>Sika® ViscoCrete®, SikaPlast® oder Sikament®</p> <p>SikaMix 10 – 25%</p>
Einbau-anforderungen und Nach-behandlung	Eine möglichst früh einsetzende und über einen ausreichenden Zeitraum aufrechterhaltene Nachbehandlung hat einen wesentlichen Einfluss auf das plastische Schwinden und das Trocknungsschwinden.	Abdeckplanen

Verwendung von Sika Produkten

Produktname	Produkttyp	Produkteinsatz
Sika® ViscoCrete®, SikaPlast® oder Sikament®	Fliessmittel	Verringerung des w / z-Werts zur Reduzierung der Kapillarporosität
SikaMix	Zusatzmittel auf Latexbasis	Verbessert die Verarbeitbarkeit Verringerung des Verdichtungsaufwands Verbesserung der Druck- und Biegezugfestigkeit

9 WEISSE WANNE

Betonkonstruktionen wie z. B. Keller müssen normalerweise wasserdicht sein, um Schäden durch Feuchtigkeit oder eindringendes Wasser zu verhindern. Dies kann durch ein externes Abdichtungssystem in Form von Beschichtungen, Membranen oder anderen oberflächlich aufgetragenen Systemen oder durch ein integriertes Abdichtungssystem erreicht werden, das den Konstruktionsbeton wasserdicht macht.



Es ist bekannt, dass Beton durch eine sorgfältige Rezeptur und die Verwendung von Zusatzmitteln so gestaltet werden kann, dass er undurchlässig für drückendes Wasser ist. Um ein Betonbauwerk vollständig wasserdicht zu halten, muss mehr als nur die Betonrezeptur berücksichtigt werden. Weltweit gibt es viele Ausdrücke, die einen "wasserdichten Beton" beschreiben. Im Allgemeinen kann man zwischen "wasserdichtem Beton", "wasserdichten Betonsystemen" und der "Weissen Wanne" unterscheiden.

Wasserdichter Beton (siehe Kapitel 8.1)

Wasserdichter Beton beschreibt die wasserundurchlässige Betonmischung und konzentriert sich auf die Qualität des Betons, der mit Betonzusatzmitteln wie Fließmittel und Dichtmittel modifiziert wurde. Da dies nur die Betonrezeptur betrifft, werden die Fugen und die Konstruktion eines Kellers nicht berücksichtigt. Wasserdichter Beton ist daher kein Hinweis auf die Wasserdichtigkeit einer bestimmten Betonkonstruktion.

Wasserdichte Betonsysteme

Dieser Begriff steht für ein System, das aus wasserdichtem Beton und Fugenabdichtungslösungen besteht, um einfache Konstruktionen von wasserdichten Kellern zu bauen. Der Bau eines unterirdischen Betonkellers umfasst verschiedene Arbeitsschritte, die sowohl Konstruktions- und Bewegungsfugen als auch Durchbrüche beinhalten. Um sicherzustellen, dass ein angemessenes Mass an Wasserdichtigkeit erreicht werden kann, sind allgemeine Leitlinien für die Betonrezeptur, die Konstruktion und die Betonierung zu erstellen.

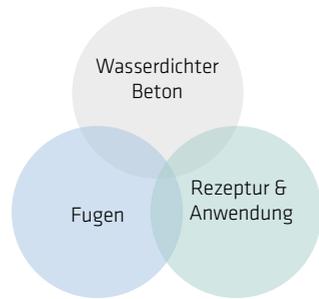
Wasserdichter
Beton

Wasserdichter
Beton

Fugen

Weisse Wanne

Die nächste Stufe einer wasserdichten Struktur ist die Weisse Wanne, das sich vor allem in Mitteleuropa seit vielen Jahrzehnten durchgesetzt hat. Neben dem wasserdichten Beton umfasst die Weisse Wanne auch die Planung, den Entwurf und alle Arbeiten, die während der Bauarbeiten vor Ort durchgeführt werden müssen, um einen wasserdichten Keller zu erhalten. Die wichtigste Lösung, um dieses Ziel zu erreichen, ist die Herstellung von hochwertigem Beton mit Schwerpunkt auf der Kontrolle der Rissbildung. Damit dies erreicht wird, müssen alle Risse im Beton sehr fein und gut verteilt sein, ohne dass sich Trennrisse durch die gesamte Struktur ziehen, die eine Wasserdurchlässigkeit ermöglichen würden. Verschiedene Normen für die Weisse Wanne fordern eine maximale Einzelrissbreite ≤ 0.2 mm.



Wichtige Elemente, die die Rissbildung beeinflussen, sind:

- **Betonrezeptur:** Eine optimierte Sieblinie und ein optimierter w/z -Wert, die Auswahl eines geeigneten Zementtyps, eine verbesserte Rheologie und die Verwendung verschiedener Zusatzmittel wie Schwindreduzierer, Dichtungsmittel, Fließmittel usw. führen zu einer begrenzten Rissbildung im Beton.
- **Betonstärke:** Ein homogenes Volumen des Betons ohne Stärkenänderungen reduziert lokale Spannungspunkte. Eine Mindestbetonstärke von ≥ 250 mm für Wände und Bodenplatten hat sich bewährt.
- **Qualität der Stahlbewehrung:** Dies ist das wichtigste Konstruktionselement zur Begrenzung der Rissbildung. Die Menge der Stahlbewehrung ist in der Regel wesentlich höher als die, die nur für die strukturelle Integrität erforderlich ist. Die Berechnung der mindestens erforderlichen Stahlsorte und der Verteilung sollte von einem Bauingenieur durchgeführt werden, der mit der örtlichen Norm vertraut ist.
- **Form und Layout:** Zur Verringerung von Spannungen innerhalb der Struktur muss der Grundriss eines "Weisse Wanne"-Kellers auf einer Ebene und in einfacher rechteckiger Form angelegt sein. Versätze oder Innenecken müssen vermieden werden.

Geeignete und ungeeignete Bauteilkonfigurationen werden in der folgenden Abbildung 9.1 gegenübergestellt:

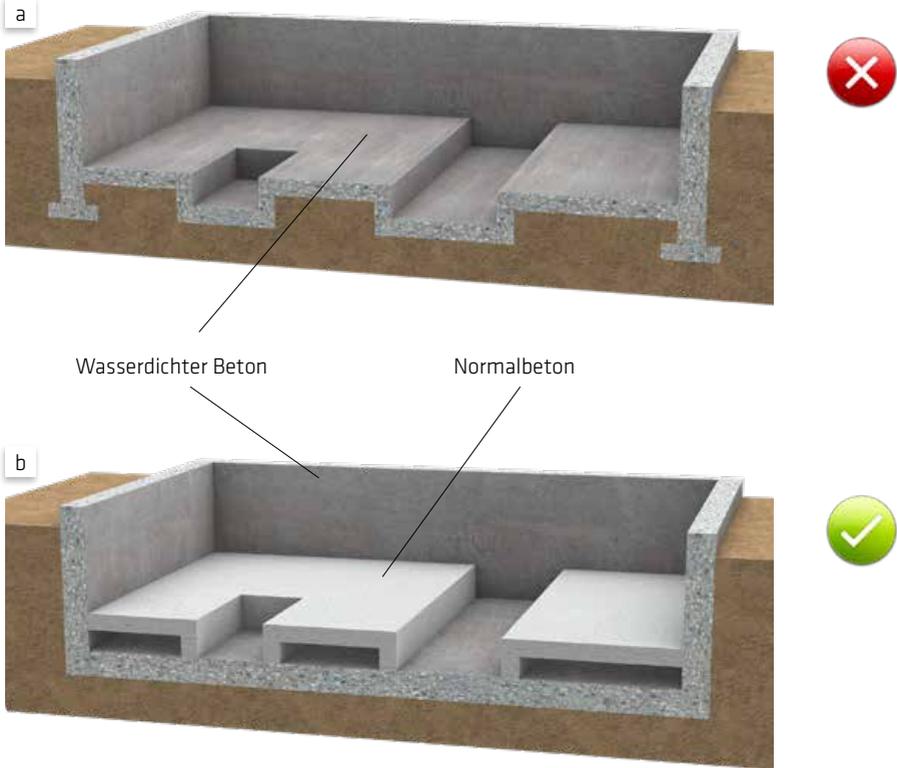


Abb. 9.1: Beispiele für ungeeignete (a) und geeignete (b) Kellerkonstruktionen für die Auswahl eines Sika wasserdichten Betonsystems

■ **Gestaltung der Fugen:** Die Auswahl und Festlegung von Arbeits- und Dilatationsfugen muss entsprechend dem Schwindverhalten von Beton und den Betonieretappen erfolgen. Die Fugen sollten so angeordnet werden, dass die Bodenplatte in regelmäßige quadratische Flächen unterteilt wird, um Spannungen zu verringern. Standortbedingungen wie Wasserdruck, Untergrund und klimatische Bedingungen müssen berücksichtigt werden. Die Entwurfsanforderungen sind je nach Methode und Verwendungszweck unterschiedlich. Zur Fugenabdichtung werden vor allem PVC-Fugenbänder (für Arbeits- und Dilatationsfugen), Quellprofile oder Injektionsschlauchsysteme (beide nur für Arbeitsfugen) eingesetzt.

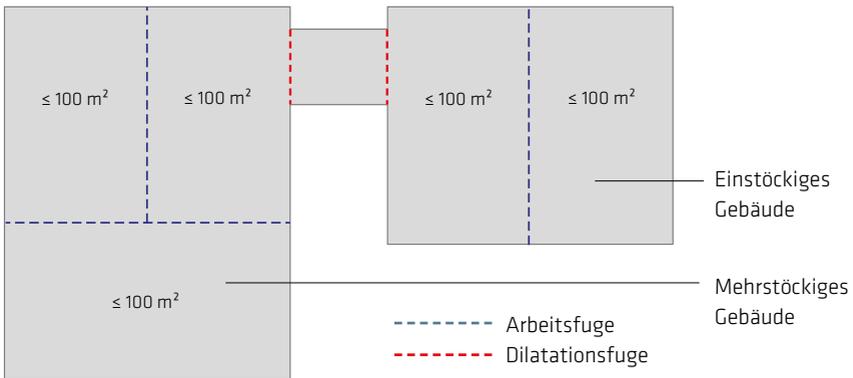
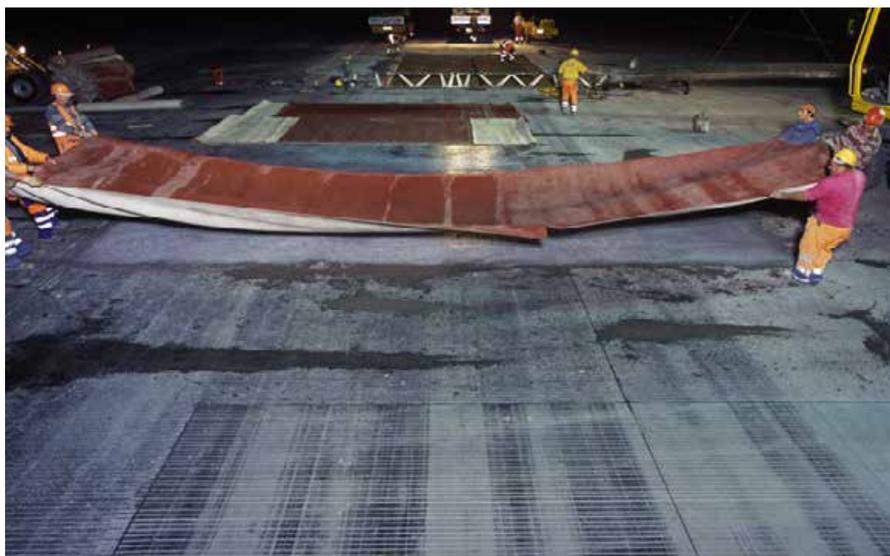


Abb 9.2: Beispiel für die typische Anordnung von Betonkonstruktionen mit Arbeits- und Dilatationsfugen.

- **Vorbereitung vor Ort:** Um die Reibung zwischen der Betonplatte und dem Boden zu verringern, ist eine doppelte Lage von Kunststoffplanen erforderlich.
- **Einbringen von Beton:** Die Struktur, das Schalungssystem und die Bewehrung müssen eine gute und einfache Betonierung ermöglichen. Ein ordnungsgemässer Betoneinbau ist erforderlich, um Spannungen und Undichtheiten sowie unverdichteten oder entmischten Beton zu vermeiden. Dies kann erreicht werden, indem jeder Abschnitt (von Fuge zu Fuge) kontinuierlich in einem Schritt ohne Unterbrechung gegossen wird. Durch eine Begrenzung der Fallhöhe auf ≤ 1.0 m und eine sorgfältige Verdichtung des Frischbetons können Kiesnester vermieden werden.
- **Nachbehandlung:** Eine ausreichende Nachbehandlung von mindestens drei Tagen unter Verwendung von einer Kunststofffolie oder Nachbehandlungsmitteln ist erforderlich, um Risse aufgrund von Trocknungsschwinden zu vermeiden.



Neben diesen detaillierten Punkten zur Rissreduzierung gibt es noch weitere Punkte, die sich auf die Wasserdichtigkeit der Weissen Wanne auswirken:

- Mindestbetonüberdeckung (≥ 30 mm)
- Verwendung von zementhaltigen Abstandhaltern für die Bewehrung
- Korrekte Positionierung und Abdichtung aller Durchdringungen

Vorteile der Weissen Wanne

Im Vergleich zu herkömmlichen Abdichtungssystemen, die von aussen aufgebracht werden, bietet die Weisse Wanne die folgenden Vorteile:

- Gleichzeitige statische und abdichtende Funktion
- Vereinfachte statische und konstruktive Gestaltungsprinzipien
- Einfache und schnelle Verarbeitung, kein zusätzlicher Auftrag einer Abdichtungsschicht erforderlich (weniger Arbeitsschritte)
- Dauerhaftes und integriertes Abdichtungssystem
- Keine Drainage oder doppelte Wände erforderlich
- Einfacher Aushub und weniger Untergrundvorbereitung
- Relative Unabhängigkeit von den Wetterbedingungen
- Undichte Stellen können leichter lokalisiert und repariert werden
- Weniger anfällig für externe Schäden

All diese Vorteile führen zu einer kosteneffizienten Lösung und verringern zudem die Komplexität der Baustellenlogistik.



10 EMPFOHLENE MASSNAHMEN

10.1 VORBEREITUNG DER SCHALUNG

Die Qualität von Beton wird von vielen Faktoren beeinflusst, wobei die Vorbereitung der Schalung eine wichtige Rolle für das endgültige Aussehen der Betonoberfläche spielt. Die Herausforderung besteht darin, das Anhaften des ausgehärteten Betons an der Schalung zu verhindern und eine einfache Reinigung zu gewährleisten.



Dies kann durch die richtige Anwendung eines geeigneten Schalungstrennmittels erreicht werden, was zusätzlich zu glatten und dichten Betonoberflächen führt, die sowohl die Dauerhaftigkeit als auch das ästhetische Erscheinungsbild der Betonoberfläche verbessern. Die folgenden Anforderungen gelten für die Wirkung von Schalungstrennmitteln, sowohl beim Einbringen von Ortbeton als auch für Betonfertigteilanwendungen:

- Leichtes und sauberes Lösen des Betons von der Schalung (keine Betonanhaftungen, keine Beschädigung der Schalung)
- Optisch einwandfreie Betonoberflächen (dichte Oberflächenhaut, einheitliche Farbe, Unterdrückung der Poren- und Lunkernbildung)
- Keine Beeinträchtigung der Betonqualität an der Oberfläche (keine übermäßige Störung des Abbindens, keine Probleme beim späteren Auftragen von Beschichtungen oder Anstrichen – oder Erfordernis von klaren Anweisungen für zusätzliche Vorbereitungen)
- Schutz der Schalung vor Korrosion und vorzeitiger Alterung
- Einfache Applikation
- Geringste Auswirkungen auf die Umwelt
- Hohes Niveau im Hinblick auf Ökologie, Gesundheit und Sicherheit auf der Baustelle und im Fertigteilwerk

Eine weitere wichtige Anforderung speziell für Fertigteilwerke ist eine hohe Temperaturbeständigkeit, wenn beheizte Schalungen oder Warmbeton verwendet werden. Auch eine unangenehme Geruchsentwicklung ist unerwünscht, insbesondere in einem Fertigteilwerk. Für den Einsatz auf der Baustelle sind eine ausreichende Regen- oder UV-Beständigkeit und eine mögliche Zugänglichkeit nach dem Auftragen des Schalungstrennmittels eine wichtige Voraussetzung.

■ **Struktur von Schalungstrennmitteln**

Schalungstrennmittel können aus bis zu drei verschiedenen Materialgruppen formuliert werden.

■ **Trennfilmbildner**

Dabei handelt es sich um die Grundstoffe, die hauptsächlich für die Trennwirkung verantwortlich sind, z. B. werden verschiedene natürliche und synthetische Öle und auch Paraffine verwendet.

■ **Zusatzstoffe**

Mit diesen Materialien werden zusätzliche oder verstärkte Effekte erzielt. Dazu gehören Trennmittelverstärker, Benetzungsmittel, Korrosionsschutzadditive, Konservierungsmittel und Emulgatoren, die für Emulsionen auf Wasserbasis erforderlich sind. Die meisten der aktuell verwendeten Schalungstrennmittel enthalten auch andere Zusatzstoffe, die zum Teil chemisch mit dem Beton reagieren und so das Abbinden gezielt stören. Der Beton lässt sich dann viel leichter aus der Schalung lösen und das Ergebnis ist ein vielseitigeres Produkt.

■ **Verdünnungsmittel**

Diese Produkte wirken als Viskositätsreduzierer für die Trennfilmbildner und Zusatzstoffe. Sie dienen dazu, die Verarbeitbarkeit, die Schichtdicke, die Trocknungszeit usw. einzustellen. Verdünnungsmittel sind grundsätzlich organische Lösungsmittel oder Wasser für Emulsionen.

Folglich gibt es drei verschiedene allgemeine Technologien, auf denen Schalungstrennmittel beruhen. Das sind:

- Vollöle
- Lösemittelbasiert
- Wasserbasierte Emulsionen



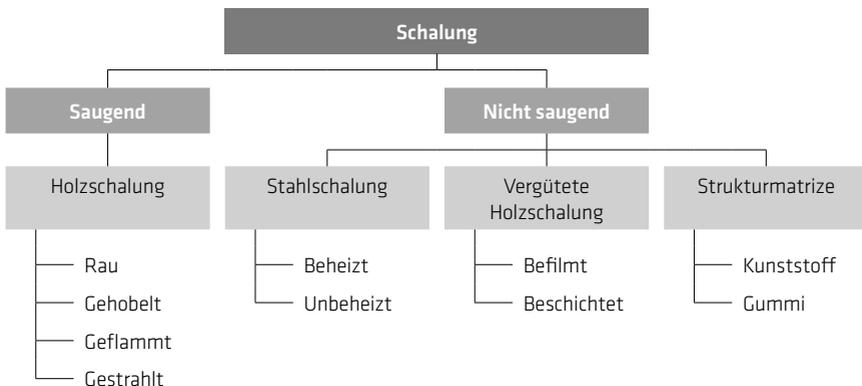
Je dünner der Trennmittelfilm ist, desto besser sieht die spätere Betonoberfläche aus. Es wurden lösungsmittelbasierte Schalungstrennmittel und wasserbasierte Emulsionen entwickelt, da diese Technologien eine schnelle und einfache Anwendung dünnster Trennmittelfilme ermöglichen.

Schalungstrennmittel für saugende Schalungen

Bei unbenutzten neuen Holzschalungen ist die Saugfähigkeit des Holzes sehr hoch. Wenn die Schalung nicht richtig vorbereitet ist, wird das Wasser aus dem Zementleim und somit aus der Betonoberfläche gezogen. Die Folgen sind ein Anhaften des Betons an der Schalung und ein zukünftiges Absanden der Oberfläche des Festbetons aufgrund einer fehlenden Zementhydratation. Die oberflächennahe Betonschicht kann auch durch Bestandteile der Schalung (z. B. Holzzucker) geschädigt werden. Dies äussert sich in Form von Absanden, verminderter Festigkeit oder Verfärbung und tritt vor allem dann auf, wenn Holzschalungen ungeschützt im Freien gelagert wurden und direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind. Die beschriebenen Auswirkungen können beim ersten Einsatz der Schalung sehr ausgeprägt sein, nehmen aber mit jedem weiteren Einsatz ab.

Es wurde eine einfache Methode entwickelt, um diesen Problemen mit einer neuen Schalung entgegenzuwirken, die sich in der Praxis bewährt hat. Vor der ersten Verwendung wird die Holzschalung mit einem Schalungstrennmittel behandelt und anschliessend mit einem Zementleim oder einem dicken Schlamm überzogen. Der ausgehärtete Zementleim wird dann abgebürstet. Nach dieser künstlichen Alterung sollte zunächst für einige Betonvorgänge ein Schalungstrennmittel mit einer gewissen Abdichtungseffekt aufgetragen werden. Hierfür sollte in der Regel ein lösungsmittelarmes oder lösungsmittelfreies, chemisch schwach reaktives Trennöl verwendet werden.

Wenn Holzschalungen einige Male verwendet wurden, nimmt ihre Saugfähigkeit aufgrund der zunehmenden Oberflächenversiegelung allmählich ab, da sich die Hohlräume und Zwischenräume der Oberfläche mit Zementleim und Trennmittelresten füllen. Daher benötigen ältere Holzschalungen nur einen dünnen Anstrich mit Trennmittel. Bei dieser älteren Schalung können auch lösemittelhaltige Trennmittel oder Trennmitemulsionen verwendet werden.



Schalungstrennmittel für nicht saugende Schalungen

Schalungen aus kunstharzmodifiziertem Holz, Kunststoff oder Stahl sind nicht saugend und können daher kein Trennmittel, Wasser oder Zementleim aufnehmen. Bei all diesen Materialien ist es äusserst wichtig, das Trennmittel sparsam, gleichmässig und dünn aufzutragen. "Pfützen" müssen vermieden werden. Sie führen nicht nur zu einer verstärkten Poren- und Lunkernbildung, sondern können auch zu einer Verfärbung und / oder einem Absanden der Betonoberfläche führen.

Zum Erhalt eines dünnen und gleichmässigen Trennmittelfilms auf der Schalungsoberfläche werden in der Regel dünnflüssige Öle mit Trennmittelzusätzen verwendet. Bei Sichtbeton oft auch mit Lösungsmitteln. Die Trennmittelzusätze sorgen für eine verbesserte Freisetzung (z. B. durch Fettsäuren oder spezifische "Benetzungsmittel") und auch für eine bessere Haftung des Trennfilms an glatten, vertikalen Schalungsoberflächen. Dies ist besonders wichtig bei hohen Schalungswänden, grossen Betonierhöhen, die zu mechanischem Abrieb der Schalungsoberfläche führen, oder bei Witterungseinflüssen und langen Wartezeiten zwischen Trennmittelauftrag und Betoneinbau.

Eine besondere Anwendung stellen beheizte Stahlschalungen dar. Der auf der Schalung gebildete Trennfilm darf durch die Hitze nicht verdampfen und das Trennmittel muss so formuliert sein, dass es bei der Wärmebehandlung nicht zu einer stärkeren chemischen Reaktion (Kalkseifenbildung bzw. Verseifung) zwischen dem Beton und den Trennmittelbestandteilen kommen kann.

Strukturierte Schalungen aus Spezialgummi oder Silikonkautschuk benötigen zumindest im Neuzustand nicht immer ein Trennmittel, da der Beton nicht an der glatten, hydrophoben Schalungsoberfläche haftet. Besteht aufgrund der Schalungsstruktur oder des zunehmenden Alters ein Trennmittelbedarf, müssen je nach Strukturprofil lösungsmittelhaltige Produkte oder spezielle Emulsionen verwendet werden. Eine dünne Schicht ist notwendig, um zu verhindern, dass sich überschüssiges Trennmittel in tiefer liegenden Teilen der Schalung ansammelt. Es muss eine Eignungsprüfung durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die verwendeten Trennmittel nicht zum Aufquellen oder teilweisen Auflösen der Schalung führen.

Die günstigsten Schalungstrennmittel für nicht saugende Schalungen sind Emulsionen auf Wasserbasis, insbesondere in der Betonfertigteilproduktion. Mit dieser Technologie können dünnste Schalungstrennmittelfilme erzielt werden, wobei die schnelle und einfache Anwendung durch das weiss gepunktete Erscheinungsbild bei korrekter Anwendung unterstützt wird. Zudem zeichnen sich wasserbasierte Emulsionen durch ein hohes Mass an Effizienz und Umweltschutz aus. Der Materialverbrauch wird verringert und das Arbeitsumfeld in Betonfertigteilwerken verbessert.

Gebrauchsanweisung

Zusätzlich zu den spezifischen Informationen zum Trennmittelprodukt gibt es noch einige allgemeine Hinweise zur Verwendung.

Auftragen des Trennmittels

Die wichtigste Regel ist, die absolute Mindestmenge so gleichmässig wie möglich aufzutragen. Der theoretische Wert, um eine optimale Trennleistung zu erreichen, wäre im Allgemeinen eine Schalungstrennmitteldicke von 1/1000 mm. Die Art der Anwendung eines Trennmittels hängt hauptsächlich von der Konsistenz des Produkts ab. Niederviskose (flüssige) Produkte sollten vorzugsweise mit einer Hochdruckspritzpistole mit einem Betriebsdruck von 3 bis 6 bar aufgetragen werden. Verwenden Sie eine flache Sprühdüse, eventuell in Kombination mit einem Regelventil oder Filter, um einen übermässigen Auftrag mit Auslaufen und Tropfen zu verhindern.

Anwendung einer Emulsion auf Wasserbasis

Trennmittel auf Basis einer wässrigen Emulsion sollten in dünnen Schichten mit einem feinen, weiss gepunkteten Aussehen aufgetragen werden, die die gesamte Oberfläche bedecken. Nach dem Auftrag ist eine Wasserverdunstungszeit von etwa 10 bis 20 Minuten einzuplanen, je nach Umgebungstemperatur. Während dieser Verdunstungszeit bildet sich ein dünner, gleichmässiger Ölfilm.

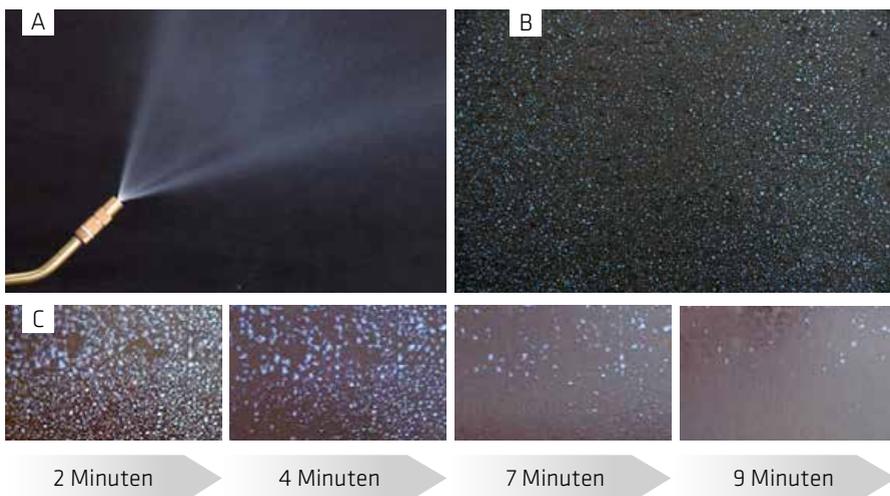


Abb. 10.1.1: Aufspritzen einer Emulsion auf Wasserbasis (A), korrekte Menge der Emulsion auf der Schalungsoberfläche (B) und Entwicklung der Verdunstungsrate über die Zeit (C).

Bei glatten Schalungen kann die richtige, gleichmässige Trennmitteldicke durch die "Fingerprobe" überprüft werden. Es sollten sich keine sichtbaren Fingerabdrücke oder Trennmittelansammlungen bilden. Überschüssiges Trennmittel muss mit einem Gummi- oder Schaumstoffraker von der horizontalen Schalung entfernt und die Oberfläche nachgerieben werden. Wird bei vertikalen oder schrägen Schalungen zu viel Material aufgetragen, sind Rinnen auf der Oberfläche oder Trennmittelansammlungen am Schalungsfuss sichtbar. Sie müssen mit einem Tuch oder Schwamm entfernt werden.

Sehr hochviskose Trennmittel (z. B. Wachspasten) werden mit einem Tuch, Schwamm, Gummiraker, Pinsel usw. aufgetragen. Auch hier gilt: nur das absolute Minimum und so gleichmässig wie möglich auftragen.



Abb. 10.1.2: Applikationsfehler: Schlecht gereinigte Schalung und überschüssiges Schalöl.

Die Witterungsbedingungen spielen bei der Verwendung von Trennmitteln eine wichtige Rolle. Es ist nicht sinnvoll, ein Trennmittel bei Regen aufzutragen, da die Haftung unzureichend sein könnte und Wasser auf die Schalung gelangt. Saugende Schalungen können bei starker Sonneneinstrahlung und Trockenheit einen höheren Trennmittelbedarf haben. Trennmittlemulsionen sind bei Frost gefährdet, da die Emulsion zerstört wird, sobald sie gefroren ist.

Wartezeit vor dem Betonieren

Eine bestimmte Mindestwartezeit zwischen dem Auftragen des Trennmittels und dem Betonieren kann nicht generell angegeben werden, da sie von vielen Faktoren wie Schalungsart, Temperatur, Wetter und Trennmitteltyp abhängt. Bei lösemittelhaltigen Produkten und wässrigen Emulsionen muss immer die richtige Trocknungszeit eingehalten werden, da sonst die gewünschte Trennwirkung nicht erreicht wird. Auch die Qualität der Betonoberfläche kann darunter leiden, da eingeschlossene Lösungsmittelrückstände zu einer verstärkten Poren- und Lunkernbildung führen können.

Die Wartezeiten für jedes Produkt sind den Produktdatenblättern zu entnehmen.

Belastung oder Beanspruchung (Begehen, Witterung usw.) des Trennmittelfilms und eine zu lange Zeitspanne zwischen dem Auftragen und dem Betonieren können die Trennwirkung unter Umständen verringern. Bei einer saugenden Schalung kann dies bereits nach wenigen Tagen der Fall sein. Nicht saugende Schalungen sind weniger kritisch und die Wirkung des Trennmittels bleibt im Allgemeinen einige Wochen lang erhalten, in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen.

Zusammenfassung

Die Betonindustrie kommt ohne Trennmittel nicht aus. Richtig ausgewählt und mit der richtigen Schalung und Betonqualität eingesetzt, tragen sie zu optisch einheitlichen und dauerhaften Betonoberflächen bei. Ungeeignete oder falsch gewählte Trennmittel können ebenso wie ungeeignete Betonausgangsstoffe und -zusammensetzungen zu Mängeln und Fehlern in und an der Betonoberfläche führen.

Das Sika® Separol®-Sortiment bietet ideale Lösungen für die meisten Trennmittelanforderungen.

10.2 BETONEINBAU

Dauerhafte Betonkonstruktionen können nur bei korrektem Einbau von Frischbeton errichtet werden. In der gesamten Produktionskette sind der Einbau und das verdichten von Beton kritische Schritte. Der korrekte Einbau von Frischbeton führt zu:

- Langlebigen Konstruktionen
- Verbesserter Gesamtqualität
- Gesicherter Festbetonleistung
- Funktionalität der Schalungstrennmittel
- Verbessertes Aussehen der Oberfläche



Einbringen

Beim Einbau von Frischbeton sind mehrere Massnahmen zu beachten. Zunächst ist es wichtig zu prüfen, ob alle Betoneigenschaften vor Ort so vorhanden sind, wie sie nach den jeweiligen Normen und Zusatzanforderungen vorgeschrieben sind. Insbesondere muss die Verarbeitbarkeit des Betons ausreichend sein, um einen einfachen und sicheren Einbau sowie das anschliessende Vibrieren und Nacharbeiten zu gewährleisten.

Bei dem verwendeten Schalungstrennmittel ist darauf zu achten, dass es so wenig wie möglich mechanisch belastet wird. Wenn möglich, sollte der Beton nicht schräg gegen eine vertikale Schalung geschüttet werden, um einen lokalen Abrieb des Trennfilms zu vermeiden. Der fliessende Beton muss so weit wie möglich von der Schalung ferngehalten werden, indem Schüttröhre verwendet werden.

Vermeiden Sie insbesondere bei Sichtbeton und selbstverdichtendem Beton grosse Fallhöhen, um Entmischungen zu vermeiden und ein einheitliches Erscheinungsbild der Betonoberfläche zu erreichen.

Wenn nach dem Aushärten des vorherigen Bauteils ein weiteres eingebaut werden soll, muss die Fuge zwischen den beiden Betonteilen eine ausreichende Rauheit aufweisen, um den Verbund zwischen dem Fest- und dem Frischbeton zu gewährleisten. Dies kann durch eine Oberflächenverzögerung des ersten Bauteils erreicht werden, die zu einer freiliegenden Gesteinskörnungsoberfläche in der Fuge führt. Beim Betonieren des anschliessenden Frischbetons gegen eine solche raue Fuge wird der erforderliche Verbund sichergestellt. Eine Oberflächenverzögerung kann mit **Sika® Rugasol®** erreicht werden.

Vibriieren

Die korrekte Verdichtung des Betons ist ein entscheidender Schritt bei der Betonherstellung, denn nur bei korrekter Ausführung ist es möglich, den angestrebten Luftporengehalt und damit die geforderten Festbetoneigenschaften, wie die Druckfestigkeit, zu erreichen.

Das Verdichten mit einem Innenrüttler muss so durchgeführt werden, dass der Innenrüttler schnell bis zum Boden der Betonschicht eingetaucht wird und dann in einem Zug langsam über die gesamte Betonschicht zurückgeführt wird. Übermäßiges Vibrieren kann sich negativ auf die Homogenität des Frischbetons auswirken. Insbesondere beim Einbau von frost- und frost-tausalzbeständigem Beton sollten die künstlich eingebrachten Mikroluftporen nicht zerstört werden.

Achten Sie darauf, dass die Innenrüttler nicht zu nahe an die Schalhaut herankommen oder diese berühren. Wenn dies der Fall ist, üben sie eine hohe mechanische Belastung auf die Schalungsoberfläche aus, was zu einem Abrieb des Trennmittels und später zu einer lokalen Anhaftung (Nichtablösung) des Betons führen kann.

Glätten

Je nach Bauteil können die Oberflächeneigenschaften des Betons eine wichtige Rolle spielen. Die Oberflächenbeschaffenheit des Frischbetons können bei der Betonrezeptur durch den Feinkorngehalt, die verwendeten Gesteinskörnungen, den w/z -Wert sowie die verwendeten Zusatzmittel im Allgemeinen und die Fließmitteltechnologie im Besonderen beeinflusst werden.

Insbesondere der Einsatz geeigneter Fließmittel auf Basis von Polycarboxylat-Ether (PCE) kann die Oberflächenbeschaffenheit und Glättbarkeit von Frischbeton erheblich beeinflussen.

Darüber hinaus können Veredelungshilfen in Anspruch genommen werden. Das Timing ist ein entscheidender Faktor bei der Endbearbeitung. Besonders bei der Endbearbeitung von Industrieböden mit Flügelglättern ist es wichtig, den richtigen Zeitpunkt für die Endbearbeitung zu bestimmen.



10.3 NACHBEHANDLUNG

Die Qualität und Dauerhaftigkeit des Betons wird durch die Dichte der Bindemittelmatrix bestimmt. Dauerhafter Beton sollte sich daher nicht nur durch eine hohe Druckfestigkeit auszeichnen.

Noch wichtiger ist seine Dichtigkeit, insbesondere in den oberflächennahen Bereichen. Je geringer die Porosität und je dichter der Zementleim in der Nähe der Oberfläche ist, desto höher ist der Widerstand gegen äussere Einflüsse, Spannungen und Angriffe.



Um dies im Festbeton zu erreichen, müssen mehrere Massnahmen ergriffen werden, um den Frischbeton zu schützen, insbesondere vor:

- Vorzeitiger Trocknung durch Wind, Sonne, niedrige Luftfeuchtigkeit usw.
- Extremen Temperaturen (Kälte, Hitze) und schädlichen, schnellen Temperaturwechseln
- Regen
- Thermischem und physischem Schock
- Chemischem Angriff
- Mechanischen Beanspruchungen

Der Schutz vor vorzeitiger Austrocknung ist notwendig, damit die Festigkeitsentwicklung des Betons nicht durch Wasserentzug beeinträchtigt wird. Die Folgen eines zu frühen Wasserverlustes sind:

- Geringe Festigkeit in den oberflächennahen Bereichen
- Neigung zum Absanden
- Geringere Dichtigkeit
- Reduzierte Witterungsbeständigkeit
- Geringe Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe
- Auftreten von Frühschwindungsrisse
- Erhöhtes Risiko für alle Formen von Schrumpfrisse

Das nachstehende Diagramm veranschaulicht die Menge der Wasserverdunstung pro m^2 Betonoberfläche unter verschiedenen Bedingungen. Wie aus der Abbildung (Pfeilmarkierung) ersichtlich ist, können bei einer Luft- und Betontemperatur von $20^\circ C$, einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50% und einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 20 km/h $0.6\text{ Liter Wasser pro Stunde}$ und pro 1 m^2 Betonoberfläche verdunsten. Bei Betontemperaturen, die höher als die Lufttemperatur sind und mit zunehmenden Temperaturunterschieden steigt die Wasserverdunstungsrate deutlich an. Unter gleichen Bedingungen würde eine Betontemperatur von $25^\circ C$ zu einer um 50% höheren Verdunstung führen, d. h. zu $0.9\text{ Litern pro m}^2$ und Stunde.

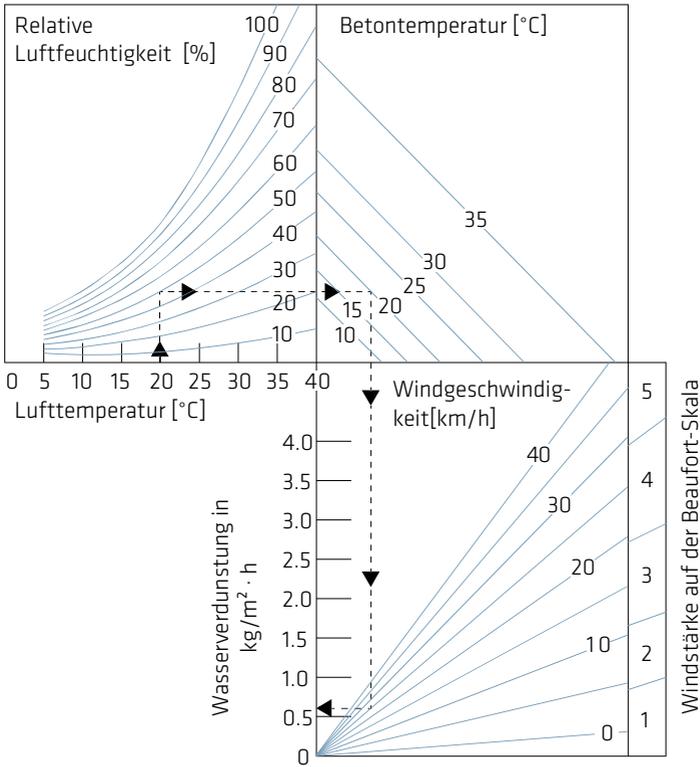


Abb. 10.3.1: Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit, der Luft- und Betontemperatur sowie der Windgeschwindigkeit auf die Verdunstung (nach VDZ - Verein Deutscher Zementhersteller)

Ein Beispiel zur Veranschaulichung dieser Zahlen:

Frischbeton mit einem Wassergehalt von 180 Litern pro m^3 enthält 1.8 Liter Wasser pro m^2 in einer 1 cm dicken Schicht. Die Verdunstungsrate von 0.6 Litern pro m^2 und Stunde bedeutet, dass der Beton innerhalb von 3 Stunden eine Wassermenge verliert, die dem Gesamtwassergehalt von 1 cm dicken Betonschichten entspricht und nach 9 Stunden eine Wassermenge von einer 3 cm dicken Betonschicht. Diese Dicke übersteigt die nach DIN 1045 geforderte Mindestbetonüberdeckung für Aussenbauteile. Eine "Nachspeisung" des verdunsteten Wassers aus den tieferen Bereichen des Betons erfolgt nur in begrenztem Umfang. Die negativen Auswirkungen auf die Festigkeit, Verschleissfestigkeit und Dichtigkeit der oberflächennahen Schichten sind erheblich.

Extreme Temperatureinwirkungen führen zu Verformungen des Betons, der sich bei Hitze ausdehnt und bei Kälte zusammenzieht. Diese Verformung verursacht Spannungen, die zu Rissen führen können, wie beim Schwinden. Daher ist es wichtig, grosse Temperaturunterschiede ($> 15 K$) zwischen dem Kern und der Oberfläche in frischem oder jungem Beton sowie abrupte Temperaturänderungen in teilgehärtetem Beton zu vermeiden.

Mechanische Beanspruchungen wie heftige Schwingungen und starke Stösse während des Erstarrens und in der ersten Erhärtungsphase können den Beton schädigen, wenn seine Struktur gelockert wird. Regenwasser und fliessendes Wasser verursachen oft dauerhafte Schäden an frischem oder jungem Beton. Beschädigungen bei späteren Arbeiten sollten durch Kantenschutz und Schutzabdeckungen für "ungeschaltete" Betonflächen und durch längeres Verweilen des Betons in der Schalung vor dem Ausschalen verhindert werden.

Chemische Angriffe durch Substanzen im Grundwasser, Erdreich oder in der Luft können den Beton schädigen oder sogar unbrauchbar machen, selbst bei geeigneter Rezeptur und korrektem Einbau, wenn diese Belastung zu früh auftritt. Diese Stoffe müssen so lange wie möglich vom Beton ferngehalten werden, z. B. durch Abschirmung, Drainage oder Abdeckung.

Nachbehandlungsmethoden

Schutzmassnahmen gegen vorzeitiges Austrocknen sind:

- Auftragen von flüssigen Nachbehandlungsmitteln (z. B. **Sika® Antisol®**)
- In der Schalung belassen
- Abdecken mit Folien
- Verlegung von wasserrückhaltenden Abdeckungen
- Ständiges Besprühen oder "Benebeln" mit Wasser, den Beton effektiv unter Wasser getaucht lassen
- Eine Kombination aus all diesen Methoden

Flüssige Nachbehandlungsmittel wie **Sika® Antisol® E-20** können mit einfachen Werkzeugen (z. B. Niederdrucksprüheräte wie Gartenschläuche) auf die Betonoberfläche aufgesprüht werden. Sie müssen so früh wie möglich flächendeckend aufgetragen werden: auf Sichtbetonflächen, sobald die anfänglich "glänzende" Oberfläche des Frischbetons "matt" wird und auf geschaltem Flächen unmittelbar nach dem Ausschalen. Es ist immer wichtig, einen dichten Film zu bilden und die richtige Menge (in g / m²) aufzutragen, wie angegeben und in Übereinstimmung mit der Gebrauchsanweisung. Bei vertikalen Betonflächen können mehrere Anwendungen erforderlich sein.

Sika® Antisol® E-20 hat im frischen Zustand eine milchig-weiße Farbe, so dass Verarbeitungsfehler oder Unregelmässigkeiten leicht zu erkennen sind. Wenn es trocknet, bildet es einen transparenten Schutzfilm.

Das Belassen in der Schalung bedeutet, dass saugende Holzschalungen feucht gehalten werden müssen und Stahlschalungen vor Erwärmung (z. B. durch direkte Sonneneinstrahlung) und vor zu schneller oder zu starker Abkühlung bei niedrigen Temperaturen geschützt werden müssen.

Das sorgfältige Abdecken mit undurchlässiger Kunststoffolie ist die gängigste Methode für ungeschaltete Flächen und nach dem Ausschalen von Schalungsteilen. Die Folien müssen überlappend auf dem feuchten Beton verlegt und an ihren Stössen fixiert werden (z. B. durch Beschweren mit Brettern oder Steinen), um zu verhindern, dass Wasser aus dem Beton verdunstet. Die Verwendung von Kunststofffolien empfiehlt sich insbesondere bei Sichtbeton, da sie unerwünschte Ausblühungen weitgehend verhindern. Die Folien dürfen nicht direkt im frischen Beton liegen. Eine "Kaminwirkung" muss ebenfalls vermieden werden.

Bei der Umhüllung von Betonflächen mit wasserspeichernden Materialien wie z. B. Sackleinen, Strohmatte usw. ist die Abdeckung ständig feucht zu halten oder ggf. zusätzlich mit Kunststofffolien gegen schnellen Feuchtigkeitsverlust zu schützen.

Ein vorzeitiges Austrocknen kann verhindert werden, indem die Oberfläche durch Befeuchten der Betonflächen ständig feucht gehalten wird. Das abwechselnde Befeuchten und Trocknen kann zu Spannungen und damit zu Rissen im jungen Beton führen. Ein direktes Aufsprühen der Betonoberfläche mit einem Wasserstrahl ist zu vermeiden, da durch die Abkühlung der Betonoberfläche aufgrund der niedrigeren Wassertemperatur und der latenten Wärmeentwicklung des Betons, insbesondere bei Massenbetonbauwerken, Risse entstehen können. Geeignete Geräte sind Düsen oder perforierte Schläuche, wie sie für Rasensprenger im Garten verwendet werden. Waagerechte Flächen können, wenn möglich, unter Wasser aushärten.

Tabelle 10.3.1: Nachbehandlungsmassnahmen für Beton

Methode	Massnahmen	Aussentemperatur in °C				
		unter -3 °C	3 bis +5 °C	5 bis 1 0 °C	10 bis 25 °C	über 25 °C
Folie / Nach- behandlungsfilm	Bedecken und / oder Nachbehandlungs- film aufsprühen und benetzen. Holz- schalung befeuchten; Stahlschalung vor Sonneneinstrahlung schützen					■
	Abdecken und / oder Nachbehandlungs- film aufsprühen			■	■	
	Abdecken und / oder Nachbehandlungs- film aufsprühen und Wärmedämmung; ratsam ist die Verwendung einer wär- medämmenden Schalung – z. B. Holz		■*			
	Abdecken und Wärmedämmung; den Arbeitsbereich umschliessen (Zelt) oder beheizen (z. B. Heizstrahler); ausserdem die Betontemperatur mindestens 3 Tage lang auf +10 °C halten	■*	■*			
Wasser	Durch ununterbrochene Benetzung feucht halten				■	

* Die Nachbehandlungs- und Ausschalfrieten verlängern sich um die Anzahl der Frosttage; der Beton muss mindestens 7 Tage lang vor Niederschlägen geschützt werden.

Bei niedrigen Temperaturen reicht es nicht aus, nur den Wasserverlust an der Betonoberfläche zu verhindern. Zum Vermeiden einer übermässigen Auskühlung müssen zusätzliche Wärmeschutzmassnahmen vorbereitet und rechtzeitig angewendet werden. Diese hängen hauptsächlich von den Witterungsbedingungen, der Art der Bauteile, ihren Abmessungen und der Schalung ab.

Die Nachbehandlung mit Wasser ist bei Minusgraden nicht zulässig. Thermische Abdeckungen wie Bretter, trockene Stroh- und Schilfmatten, Leichtbauplatten und Kunststoffmatten sind ein geeigneter Schutz für kurze Frostperioden. Die Abdeckung sollte möglichst beidseitig mit Folien vor Feuchtigkeit geschützt werden. Folienkaschierte Kunststoffmatten sind am besten geeignet und leicht zu handhaben. Bei starkem Frost oder langen Frostperioden muss die Luft um den frischen Beton herum erwärmt werden und die Betonoberflächen müssen feucht gehalten werden. Eine gute Abdichtung ist wichtig (z. B. durch Schliessen von Fenster- und Türöffnungen und die Verwendung von geschlossenen Arbeitszelten).

Nachbehandlungsdauer

Die Nachbehandlungsdauer muss so bemessen sein, dass die oberflächennahen Bereiche die für die Dauerhaftigkeit des Betons und den Korrosionsschutz der Bewehrung erforderliche strukturelle Festigkeit und Undurchlässigkeit erreichen. Die Festigkeitsentwicklung steht in engem Zusammenhang mit der Betonzusammensetzung, der Frischbetontemperatur, den Umgebungsbedingungen und den Betonabmessungen und die erforderliche Nachbehandlungsdauer wird von denselben Faktoren beeinflusst.

Im Rahmen des europäischen Normungsprozesses werden einheitliche europäische Regeln für die Betonnachbehandlung erarbeitet.

Das Prinzip des europäischen Entwurfs ist in die DIN 1045-3 übernommen worden. Die Grundlage ist, dass die Nachbehandlung fortgesetzt werden muss, bis 50% der charakteristischen Festigkeit f_{ck} im Betonbauteil erreicht sind. Um die erforderliche Nachbehandlungsdauer zu bestimmen, muss der Betonhersteller Angaben zur Festigkeitsentwicklung des Betons machen. Die Angaben beruhen auf dem Verhältnis der durchschnittlichen Druckfestigkeit nach 2 bis 28 Tagen bei 20 °C und führen zu einer Einstufung in den Bereich der schnellen, mittleren, langsamen oder sehr langsamen Festigkeitsentwicklung. Die nach DIN 1045-3 vorgeschriebene Mindestnachbehandlungszeit orientiert sich an diesen Festigkeitsentwicklungsbereichen.

11 NORMEN

11.1 NORM EN 206

Die Europäische Betonnorm EN 206 wurde in Europa eingeführt. Im Jahr 2013 wurde die Europäische Norm überarbeitet und lautet nun EN 206.

Sie gilt für Ortbeton, Fertigteile und Bauwerke sowie Fertigteilkonstruktionen für Hoch- und Tiefbauten.



Sie gilt für:

- Normalbeton
- Schwerbeton
- Leichtbeton
- Spannbeton

Sie gilt nicht für:

- Porenbeton
- Schaumbeton
- Beton mit offener Struktur (Sickerbeton oder Dränbeton)
- Mörtel mit einem maximalen Korndurchmesser ≤ 4 mm
- Beton mit einer Dichte von weniger als 800 kg / m^3
- Feuerfestbeton

Beton wird entweder als **Beton nach Eigenschaften** (unter Berücksichtigung der Expositionsklassen und der Anforderungen) oder als **Beton nach Zusammensetzung** (durch Angabe der Betonzusammensetzung) angegeben.

11.1.1 DEFINITIONEN AUS DER NORM

Betoneigenschaften, Exposition

Beton nach Eigenschaften

Beton, für den die geforderten Eigenschaften und zusätzlichen Merkmale dem Hersteller vorgegeben werden, der dafür verantwortlich ist, einen Beton zu liefern, der den geforderten Eigenschaften und zusätzlichen Merkmalen entspricht.

Beton nach Zusammensetzung

Beton, bei dem die Zusammensetzung und die zu verwendenden Bestandteile dem Hersteller vorgegeben werden, der dafür verantwortlich ist, einen Beton mit der vorgegebenen Zusammensetzung zu liefern.

Umwelteinflüsse (→ Expositionsklassen)

Chemische und physikalische Einwirkungen, denen der Beton ausgesetzt ist und die zu Auswirkungen auf den Beton oder die Bewehrung oder das eingebettete Metall führen, die bei der Tragwerksplanung nicht als Lasten berücksichtigt werden.

Festlegung

Endgültige Zusammenstellung der dokumentierten technischen Anforderungen an den Hersteller in Bezug auf Leistung oder Zusammensetzung.

Standardbeton

Beton nach Zusammensetzung, für den die Zusammensetzung in einer am Ort der Verwendung des Betons gültigen Norm angegeben ist.

Verfasser der Festlegung

Person oder Stelle, die die Spezifikation für den Frisch- und Festbeton festlegt.

Hersteller

Person oder Stelle, die Frischbeton herstellt.

Verwender

Person oder Stelle, die bei der Ausführung eines Bauwerks oder eines Bauteils Frischbeton verwendet.

Wasserhaushalt des Betons

Gesamtwassergehalt

Summe aus dem Zugabewasser und dem Wasser, das bereits in den Gesteinskörnungen und auf deren Oberfläche enthalten ist und dem Wasser in den Zusatzmitteln und Zusatzstoffen, wenn diese in wässriger Form verwendet werden und dem Wasser, das aus eventuellen zugefügtem Eis oder einer Dampfbehandlung resultiert.

Wirksamer Wassergehalt

Differenz zwischen dem im Frischbeton vorhandenen Gesamtwasser und dem von den Zuschlagstoffen aufgenommenen Wasser.

w / z-Wert

Verhältnis des wirksamen Wassergehalts zum Zementgehalt in der Masse des Frischbetons.

Ladung, Transport, Einsatzort

Baustellenbeton

Beton, der auf der Baustelle vom Verwender des Betons für den Eigengebrauch hergestellt wird.

Transportbeton

Beton, der in frischem Zustand von einer Person oder Stelle geliefert wird, die nicht der Verwender ist. Transportbeton im Sinne dieser Norm ist auch:

- vom Verwender ausserhalb der Baustelle hergestellter Beton
- Beton, der auf der Baustelle hergestellt wird, aber nicht vom Verwender selbst

Ladung

In einem Fahrzeug transportierte Betonmenge, die aus einer oder mehreren Chargen besteht.

Charge

Menge an Frischbeton, die in einem Betriebszyklus eines Mischers produziert wird, oder die Menge, die innerhalb von 1 Minute aus einem Durchlaufmischer ausgetragen wird.

11.1.2 EXPOSITIONSKLASSEN IM ZUSAMMENHANG MIT UMGEBUNGSBEDINGUNGEN

Die Umwelteinwirkungen werden in Expositionsklassen eingeteilt. Die zu wählenden Expositionsklassen richten sich nach den am Ort der Verwendung des Betons geltenden Vorschriften. Diese Expositionsklassifizierung schliesst die Berücksichtigung besonderer Bedingungen am Ort der Verwendung des Betons oder die Anwendung von Schutzmassnahmen wie die Verwendung von Edelstahl oder anderen korrosionsbeständigen Metallen und die Verwendung von Schutzbeschichtungen für den Beton oder die Bewehrung nicht aus. Auf den Beton kann mehr als eine der beschriebenen Einwirkungen angewendet werden. Die Umgebungsbedingungen, denen er ausgesetzt ist, müssen daher möglicherweise als eine Kombination von Expositionsklassen ausgedrückt werden.

Tabelle 11.1.2.1: Expositionsklassen nach EN 206

Klassen	Beschreibung der Umgebung	Informative Beispiele, wo Expositionsklassen auftreten können
Keine Gefahr von Korrosion oder Angriffen		
X0	Für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall: alle Expositionen, ausser bei Frost / Tau, Abrieb oder chemischen Angriffen	Beton in Gebäuden mit niedriger Luftfeuchtigkeit
	Für Beton mit Bewehrung oder eingebettetem Metall: sehr trocken	
Korrosion durch Karbonatisierung		
XC1	Trocken oder dauerhaft nass	Beton in Gebäuden mit niedriger Luftfeuchtigkeit. Beton, der ständig unter Wasser ist
XC2	Nass, selten trocken	Betonflächen mit langfristigem Wasserkontakt; viele Fundamente
XC3	Mässige Feuchtigkeit	Beton im Inneren von Gebäuden mit mässiger oder hoher Luftfeuchtigkeit; vor Regen geschützter Beton im Freien
XC4	Wechselnd nass und trocken	Betonflächen mit Wasserkontakt, die nicht der Expositionsklasse XC2 angehören
Korrosion durch Chloride (ausser Meerwasser)		
XD1	Mässige Feuchtigkeit	Betonoberflächen, die über den Luftweg transportierten Chloriden ausgesetzt sind
XD2	Nass, selten trocken	Schwimmb Becken, Bauteile, die chloridhaltigen Industrierwässern ausgesetzt sind
XD3	Wechselnd nass und trocken	Teile von Brücken, die chloridhaltigem Spritzwasser ausgesetzt sind; Gehwege; Parkhausdecken
Korrosion durch Chloride aus Meerwasser		
XS1	Exposition gegenüber Salz in der Luft, aber ohne direkten Kontakt mit Meerwasser	Bauwerke in Küstennähe oder an der Küste
XS2	Ständig unter Wasser	Teile von Seebauwerken
XS3	Gezeiten-, Spritzwasser- und Sprühnebelbereiche	Teile von Seebauwerken

Tabelle 11.1.2.2: Expositionsklassen nach EN 206 (Fortsetzung Tabelle 11.1.2.1)

Klassen	Beschreibung der Umgebung	Informative Beispiele, wo Expositionsklassen auftreten können
Frostangriff mit oder ohne Taumittel		
XF1	Mässige Wassersättigung, ohne Taumittel	Vertikale Betonflächen, die Regen und Frost ausgesetzt sind
XF2	Mässige Wassersättigung, mit Taumittel	Vertikale Betonflächen von Strassenbauwerken, die Frost und der Einwirkung von taumittelhaltigem Sprühnebel ausgesetzt sind
XF3	Hohe Wassersättigung, ohne Taumittel	Horizontale Betonflächen, die Regen und Frost ausgesetzt sind
XF4	Hohe Wassersättigung, mit Taumittel	Strassendecken und Brückenplatten, die Taumitteln ausgesetzt sind; Betonoberflächen, die taumittelhaltigen Sprühnebeln und Frost ausgesetzt sind
Chemischer Angriff		
XA1	Schwach aggressive chemische Umgebung gemäss Tabelle 11.1.2.3	Beton in Wasseraufbereitungsanlagen; Güllebehälter
XA2	Mässig aggressive chemische Umgebung gemäss Tabelle 11.1.2.3	Betonteile, die mit Meerwasser in Berührung kommen; Bauteile in stark betonangreifenden Böden
XA3	Hoch aggressive chemische Umgebung gemäss Tabelle 11.1.2.3	Industrieabwasseranlagen mit betonangreifenden Abwässern, Gärfuttersilos, Betonbauten zur Rauchgasableitung

Table 11.1.2.3: Grenzwerte für Expositionsklassen bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser

Chemisches Merkmal		Referenz Prüfverfahren	XA1	XA2	XA3
Grundwasser					
SO ₄ ²⁻	mg / L	EN 196-2	≥ 200 und ≤ 600	> 600 und ≤ 3 000	> 3 000 und ≤ 6 000
pH-Wert	mg / L	ISO 4316	≤ 6.5 und ≥ 5.5	< 5.5 und ≥ 4.5	< 4.5 und 4.0
CO ₂ angreifend	mg / L	EN 13577	≥ 15 und ≤ 40	> 40 und ≤ 100	> 100 bis zur Sättigung
NH ₄ ⁺	mg / L	ISO 7150-1	≥ 15 und ≤ 30	≥ 30 und ≤ 60	> 60 und ≤ 100
Mg ²⁺	mg / L	ISO 7980	≥ 300 und ≤ 1 000	> 1 000 und ≤ 3 000	> 3 000 bis zur Sättigung
Boden					
SO ₄ ²⁻	mg / kg ^a total	EN 196-2 ^b	≥ 2 000 und ≤ 3 000 ^c	≥ 3 000 ^c und ≤ 12 000	> 12 000 und ≤ 24 000
Säuregrad	ml / kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann-Gully	in der Praxis nicht anzutreffen	

^a Lehmböden mit einer Durchlässigkeit unter 10⁻⁵ m / s können in eine niedrigere Klasse eingestuft werden.

^b Die Prüfmethode schreibt die Extraktion von SO₄²⁻ mit Salzsäure vor; alternativ kann die Extraktion mit Wasser verwendet werden, wenn am Ort der Verwendung des Betons Erfahrungen vorliegen.

^c Der Grenzwert von 3 000 mg / kg ist auf 2 000 mg / kg zu senken, wenn die Gefahr einer Anreicherung von Sulfationen im Beton aufgrund von Trocknungs- und Befeuchtungszyklen oder Kapillarsog besteht.

Eine Liste der Expositionsklassen und der zugehörigen Mindestzementgehalte findet sich am Ende des Auszugs aus EN 206:

11.1.3 KLASIFIZIERUNG NACH KONSISTENZ

Die Konsistenzklassen in den nachstehenden Tabellen stehen nicht direkt miteinander in Beziehung. Bei erdfeuchtem Beton (Beton mit geringem Wassergehalt) wird die Konsistenz nicht klassifiziert.

Table 11.1.3.1: Verdichtungsklassen

Verdichtungsklassen	
Klasse	Verdichtungsmass
C0 ^a	≥ 1.46
C1	1.45 bis 1.26
C2	1.25 bis 1.11
C3	1.10 bis 1.04
C4 ^b	< 1.04

^b C4 gilt nur für Leichtbeton

^a Für weitere Informationen siehe Anhang L, Zeile 11 (EN206)

Table 11.1.3.2: Ausbreitmassklassen

Ausbreitmassklassen	
Klasse	Ausbreitmass Ø in mm
F1 ^a	≤ 340
F2	350 bis 410
F3	420 bis 480
F4	490 bis 550
F5	560 bis 620
F6 ^a	≥ 630

^a Für weitere Informationen siehe Anhang L, Zeile 11 (EN206)

Table 11.1.3.4: Setzfließmassklassen

Setzfließmassklassen	
Klasse	Setzfließmass ^a in mm
SF1	550 bis 650
SF2	660 bis 750
SF3	760 bis 850

^a Die Klassifizierung gilt nicht für Beton mit einem D_{\max} von mehr als 40 mm

11.1.4 DRUCKFESTIGKEITSKLASSEN

Die charakteristische Druckfestigkeit von Zylindern mit einem Durchmesser von 150 mm mal 300 mm oder von Würfeln mit 150 mm Kantenlänge kann für die Klassifizierung verwendet werden.

Table 11.1.4.1: Druckfestigkeitsklassen für Normalbeton und Schwerbeton

Druckfestigkeits- klasse	Charakteristische Mindestdruck- festigkeit von Zylindern $f_{ck,cyl}$ N / mm ²	Charakteristische Mindestdruck- festigkeit von Würfeln $f_{ck,cube}$ N / mm ²
C 8 / 10	8	10
C 12 / 15	12	15
C 16 / 20	16	20
C 20 / 25	20	25
C 25 / 30	25	30
C 30 / 37	30	37
C 35 / 45	35	45
C 40 / 50	40	50
C 45 / 55	45	55
C 50 / 60	50	60
C 55 / 67	55	67
C 60 / 75	60	75
C 70 / 85	70	85
C 80 / 95	80	95
C 90 / 105	90	105
C 100 / 115	100	115

Table 11.1.4.2: Druckfestigkeitsklassen für Leichtbeton

Druckfestigkeits- klasse	Charakteristische Mindestdruck- festigkeit von Zylindern $f_{ck,cyl}$ N / mm ²	Charakteristische Mindestdruck- festigkeit von Würfeln $f_{ck,cube}$ N / mm ²
LC 8 / 9	8	9
LC 12 / 13	12	13
LC 16 / 18	16	18
LC 20 / 22	20	22
LC 25 / 28	25	28
LC 30 / 33	30	33
LC 35 / 38	35	38
LC 40 / 44	40	44
LC 45 / 50	45	50
LC 50 / 55	50	55
LC 55 / 60	55	60
LC 60 / 66	60	66
LC 70 / 77	70	77
LC 80 / 88	80	88

Table 11.1.4.3: Dichteklassen für Leichtbeton

Dichteklasse	D 1.0	D 1.2	D 1.4	D 1.6	D 1.8	D 2.0
Bereich der Dichte kg / m ³	≥ 800 und ≤ 1000	> 1000 und ≤ 1200	> 1200 und ≤ 1400	> 1400 und ≤ 1600	> 1600 und ≤ 1800	> 1800 und ≤ 2000

11.1.5 DER K-WERT (AUSZUG AUS EN 206)

Werden Typ-II-Zusatzstoffe verwendet (Flugasche und Silikastaub, siehe Kapitel 3.4, Seite 40), können die Typ-II-Zusatzstoffe beim k-Wert-Ansatz bei der Berechnung des Wassers im Frischbeton berücksichtigt werden. Das Konzept des k-Wertes kann sich von Land zu Land unterscheiden.

Verwendung von:

Zement	“Wasserzementwert”
Zement und Typ II-Zusatzstoffe	“Wasser / (Zement + $k \times$ Zusatzstoff) Wert”

Der tatsächliche Wert von k hängt von dem jeweiligen Zusatz ab.

11.1.6 CHLORIDGEHALT (AUSZUG AUS EN 206)

Der Chloridgehalt eines Betons, ausgedrückt als prozentualer Anteil der Chloridionen an der Masse des Zements, darf den in der nachstehenden Tabelle angegebenen Wert für die gewählte Klasse nicht überschreiten.

Tabelle 11.1.6.1: Maximaler Chloridgehalt des Betons

Verwendung des Betons	Chloridgehalt Klasse ^a	Maximaler Chloridgehalt in Massenanteilen des Zements ^b
Keine Stahlbewehrung oder andere eingebettete Metalle enthalten, mit Ausnahme von korrosionsbeständigen Anschlagvorrichtungen	CI 1.00	1.0%
	CI 0.20	0.20%
Mit Stahlbewehrung oder anderem eingebetteten Metall	CI 0.40 ^c	0.40%
	CI 0.10	0.10%
Mit Spannstahlbewehrung	CI 0.20	0.20%

^a Für eine bestimmte Verwendung von Beton hängt die anzuwendende Klasse von den Vorschriften ab, die am Ort der Verwendung des Betons gelten.

^b Bei Verwendung von Zusätzen des Typs II, die beim Zementgehalt berücksichtigt werden, wird der Chloridgehalt als prozentualer Anteil der Chloridionen an der Masse des Zements zuzüglich der Gesamtmasse der berücksichtigten Zusätze angegeben.

^c Für Beton, der CEM III Zemente enthält, können nach den am Ort der Verwendung geltenden Vorschriften unterschiedliche Chloridklassen zugelassen werden.

11.1.7 BEZEICHNUNG VON BETON

Tabelle 11.1.7.1: Beispiel: Pumpbeton für Kellerdecke im Grundwasserbereich

Bezeichnung nach EN 206 (Beton nach Eigenschaften)	
Beton nach EN 206 C 30 / 37 XC 4 CI 0.20	D _{max} 32 (max. Korndurchmesser) C3 (Grad der Verdichtbarkeit) Pumpbar

11.1.8 KONFORMITÄTSKONTROLLE

Es handelt sich dabei um die Kombination von Massnahmen und Entscheidungen, die gemäss den im Voraus festgelegten Konformitätsregeln zu treffen sind, um die Übereinstimmung des Betons mit der Spezifikation zu überprüfen.

Bei der Konformitätskontrolle wird Beton nach Eigenschaften und Beton nach Zusammensetzung unterschieden. Je nach Art des Betons sind auch andere variable Kontrollen erforderlich.

Tabelle 11.1.8.1: Mindestanzahl der Probenahmen für die Bewertung der Druckfestigkeit (gemäss EN 206)

Produktion	Mindestanzahl der Probenahmen		
	Die ersten 50 m ³ der Produktion	Im Anschluss an die ersten 50 m ³ der Produktion wird die höchste Anzahl gegeben durch:	
	Beton mit Zertifizierung der Produktionskontrolle	Beton ohne Zertifizierung der Produktionskontrolle	
Anfänglich (bis mindestens 35 Testergebnisse vorliegen)	3 Proben	1 pro 200 m ³ oder 1 pro 3 Produktionstage	1 pro 150 m ³ oder 1 pro Produktionstag ^e
Kontinuierlich (wenn mindestens 35 Testergebnisse verfügbar sind)		1 pro 400 m ³ oder 1 pro 5 Produktionstage ^d oder 1 pro Kalendermonat	

^a Die Probenahme ist über die gesamte Produktion zu verteilen und sollte nicht mehr als eine Probe pro 25 m³ umfassen.

^b Überschreitet die Standardabweichung der ersten 15 oder mehr Prüfergebnisse die oberen Grenzwerte für SN gemäss Tabelle 19, so ist der Stichprobenumfang für die nächsten 35 Prüfergebnisse auf den für die Erstproduktion erforderlichen Wert zu erhöhen.

^c Oder bei mehr als 5 Produktionstagen innerhalb von 7 aufeinanderfolgenden Kalendertagen, einmal pro Kalenderwoche.

^d Die Definition eines "Produktionstages" wird in den am Verwendungsort geltenden Vorschriften entnommen.

Konformitätskriterien für die Druckfestigkeit: siehe EN 206.

11.1.9 NACHWEIS ANDERER BETONEIGENSCHAFTEN

Konformitätsbescheinigungen nach EN 206 müssen neben der Druckfestigkeit auch für andere Frisch- und Festbetoneigenschaften vorgelegt werden.

Es werden Probenahme- und Prüfplan sowie Konformitätskriterien für die Spaltzugfestigkeit, die Konsistenz (Verarbeitbarkeit), die Dichte, den Zementgehalt, den Lufteintrag, den Chloridgehalt und den w/z -Wert festgelegt (siehe die entsprechenden Abschnitte in EN 206).

Einzelheiten zu den einzelnen Prüfverfahren finden Sie in Kapitel 5 und 7.

11.2 NORMEN EN 934-2

Die EN 934-2 legt die Definitionen und Anforderungen für Zusatzmittel zur Verwendung in Beton fest. Sie umfasst Zusatzmittel für Normal-, Stahl- und Spannbeton, die in Baustellen-, Transport- und Fertigteilbeton verwendet werden. Die Leistungsanforderungen in EN 934-2 gelten für Zusatzmittel, die in Beton mit normaler Konsistenz verwendet werden. Eine Beschreibung der verschiedenen Zusatzmitteltypen ist in Kapitel 3.3 zu finden.

Die Leistungsanforderungen gelten möglicherweise nicht für Zusatzmittel, die für andere Betonarten wie halbtrockene und erdfeuchte Mischungen bestimmt sind.



12 INDEX

3D-Betondruck 121

A

AAR-Beständigkeit 52, 154, 181
Abbinden 8, 69, 74, 97, 101, 195, 224
Abstandsfaktor SF 171
Abplatzungen 44, 154, 173, 178, 181
Abriebfestigkeit 53, 185, 194
Abriebbeständiger Beton 185
AKR 182
Alkalifreier Beschleuniger 105, 182
Alkali-Kieselsäure-Reaktion 189
Anmachwasser 33, 49, 74, 105
Ausbreitmassklassen 64, 245
Ausbreitmass 22, 34, 56, 61, 86, 102, 245
Auslauftrichterversuch 67

B

Beschleuniger 17, 98, 102, 103, 110, 112, 132, 182
Betondruck 121
Betoneinbau 94, 221, 226, 230
Beton für Verkehrsflächen 93
Beton für Vorfabrikation 107
Betonoberfläche 81, 145, 175, 223, 236
Betonpflastersteine 113, 115
Betonrezeptur 11, 21, 47, 53, 70, 83, 217, 218
Betonzusatzmittel 8, 15, 33, 91, 166
Biegezugfestigkeit 93, 135, 186, 191, 198, 215
Bindemittel 8, 25, 52, 116, 118
Bindemittelgehalt 114, 193
Bluten 32, 34, 80, 86, 201
Bodenplatten 218
Bruchmuster 133

C

Chloridgehalt 46, 163, 248, 250
Chloridmigration 157

D

Dampfnachbehandlung 108
Darrversuch 59
Dichtstromverfahren 105
Dichte von Frischbeton 49
Dichte von Festbeton 129
Dichtungsmittel 9, 39, 159, 162, 218
Dosierung der Zusatzmittel 33
Dränbeton 213, 239
Druckfestigkeit 22, 51, 79, 99, 111, 130, 191, 250
Druckfestigkeitsklassen 130, 246, 247

E

Eigenverdichtverhalten 89
Elastizitätsmodul 138
E-Modul 42, 138, 193, 199
Endbearbeitung 11, 97, 107, 149, 131
EN 206 33, 57, 85, 130, 160, 239
EN 934-2 33, 251
Entmischung 35, 68, 80, 85, 170, 207
Erdfechter Beton 113, 119
Erhärtungsbeschleuniger 9, 35, 94, 212
Erstarrungsbeschleuniger 34
Ettringit 152, 173, 175
Expositionsklassen 57, 83, 108, 152, 239, 240, 241

F

Farbbeton 106, 121, 203
Faserbeton 41, 135, 197
Fasertypen 44, 198

Fasern	41, 135, 157, 177, 197
Feinanteil	32, 47, 51, 85, 93, 102
Festbeton	8, 30, 125, 129, 181, 232, 240
Festigkeitsentwicklung	36, 76, 99, 130, 192, 232
Feuerbeständigkeit	110, 155, 177, 199
Feuerbeständiger Beton	177
Fliessfähigkeit	38, 83, 107
Fliessmittel	15, 19, 34, 39
Flugasche	19, 26, 27, 40, 248
Freiliegenden Gesteinskörnung	230
Frischbeton	8, 15, 41, 47, 57, 62, 232
Frost- und Frost-Tausalz-Beständigkeit	146
Fugen	95, 107, 126, 159, 204, 217, 220

G

Gebrochene Gesteinskörnung	47
Gefrierbeständigkeit	35, 74, 79
Gesteinskörnung	8, 18, 28, 47, 85, 90
Gesteinskörnungen für Beton	28
Glätten	60, 231
Gleitbeton	101
Grundwasser	15, 23, 46, 150, 173, 234, 244

H

Hochofenschlacke	40, 182
Hochfenzement	26
Hohe Frühfestigkeit	103, 132, 211
Holzzucker	73, 202, 225
Hydratation	9, 28, 69, 106, 116, 141, 144
Hydratationswärme	53, 96, 209

I

Inerte Stoffe	40
Industrieböden	97, 150, 185, 191, 231

J

K

Kalkfüller	40
Klassifizierung nach Konsistenz	245
Kohäsion	35, 60, 80, 115
Konformitätskontrolle	249
Konsistenz	9, 60, 86, 245, 251
Korngruppe	29
Korrosion	44, 157, 163, 189, 223, 242
Korrosionsbeständiger Beton	163
k-Wert	57, 248

L

Leichte Gesteinskörnung	28
Leichtbeton	8, 28, 207, 239, 245, 247
Leimvolumen	51, 160
L-Kasten	66
Lochweite	29
Luftporen	9, 34, 47, 77, 105, 169, 182
Luftporenbildner	9, 34, 39, 169

M

Massenbeton	95
Methode des absoluten Volumens	49
Mikrowellenprüfung	59
Mindestzementgehalt	98, 160, 191, 205
Mindesttemperatur	75
Minimaler Bindemittelgehalt	193
Mischzeit	60, 171
Monolithischer Beton	101

12 INDEX

N

Nachbehandlung	11, 69, 73, 97, 107, 127, 214, 232
Nachbehandlungsdauer	237
Nachbehandlungsmittel	39, 234
Nachbehandlungsmethoden	234
Nachhaltigkeit	17, 52
Nachtverzögerung	71
Nachverdichten	141

O

Oberflächenverzögerer	39, 94, 110, 202
-----------------------	------------------

P

Pflastersteine	117
Plastisches Schwinden	198
Polypropylenfasern	45, 196
Portlandzement	25
Prellhammer	76
Prismen	125
Probenahme	249
Probekörper	125
Prüfmaschine	128
Pumpbeton	8, 51, 85
Puzzolan	27, 40

R

Rückprall	103, 104
-----------	----------

S

Sand	28, 30, 48
SCC	47, 51, 89
Selbstverdichtender Beton	65, 89
Schalenrisse	95
Schalungen	125, 223

Schalung, saugend	225
Schalung, nicht saugend	225
Schalungsdruck	11, 92
Schalungstrennmittel	39, 223, 230
Schlacke	26, 53, 132
Schleuderbeton	211
Schmiermischung	87
Schutzbeschichtung	194
Schwere Gesteinskörnung	28
Schwerbeton	8, 209, 239, 246
Schwindarmer Beton	195
Schwinden	35, 41, 72, 95, 140, 195
Setzversuch	62
Setzfließmassklassen	245
Sichtbeton	121, 201
Siebdurchgang	48, 86
Siebkurve	29, 47
Siebversuch	68
Silikastaub	26, 39, 40
Sommerbeton	60, 79
Spritzbeton	39, 103, 175
Stabilisierer	32, 34, 39
Stahlfasern	44, 197
Sulfat	153, 173
Sulfatbeständiger Beton	173

T

t500	65
Temperatur	11, 60, 69, 74, 79
Temperatur des Betons	70, 76, 95, 109, 233
Transportbeton	12, 83, 241
Trennung	29, 80
Tübbingbeton	111

U

Umwelt	15, 18, 223
Unterwasserbeton	205

V

Verarbeitbarkeit	60, 86, 209
Verdichtbarkeit	99, 114, 249
Verdichtungsklassen	63, 245
Verdichtungsmass	61, 245
Verdunstung	76, 140, 195, 214, 233
Verkehrsfläche	93
Verzögerer	35, 39, 69, 71
Verzögerung	9, 60, 69
Vibrationssyndrom	89
Viskositätsmodifizierer	35, 39, 88, 205

W

Walzbeton	99
Wärmerückstauverfahren	111
Wärmeverlust	76
Wassergehalt	9, 47, 57, 60, 75, 91, 114
Wassereindringtiefe	142, 159
Wasserdichte Betonsysteme	217
Wasserdichtigkeit	142
Wasserleitfähigkeit	143, 162
Wasserreduzierendes Polymer	38
Wasserundurchlässiger Beton	143, 217
Weisse Wanne	217
Weisse Wanne-Konzept	217
Winterbeton	60, 74
Würfel	125, 129
w / z-Wert	57

Y

Z

Zementzusatzstoffe	40
Zugfestigkeit	42, 137, 197
Zusatzmittel	8, 9, 15, 18, 33, 39, 60, 255
Zusatzstoffe	40, 51, 54, 248
Zylinder	125

VOM FUNDAMENT BIS ZUM DACH



BETON- UND MÖRTELHERSTELLUNG | BAUWERKSABDICHTUNG | BAUWERKSSCHUTZ
UND -SANIERUNG | KLEBEN UND DICHTEN AM BAU | BODEN UND WAND | BETON-
BRANDSCHUTZ | GEBÄUDEHÜLLE | TUNNELBAU | DACHSYSTEME | INDUSTRIE

SIKA SEIT 1910

Die Sika AG ist ein global tätiges Unternehmen der Spezialitätenchemie. Sika ist führend in den Bereichen Prozessmaterialien für das Dichten, Kleben, Dämpfen, Verstärken und Schützen von Tragstrukturen am Bau und in der Industrie.

Vor Verwendung und Verarbeitung ist stets das aktuelle Produktdatenblatt der verwendeten Produkte zu konsultieren. Es gelten unsere jeweils aktuellen Allgemeinen Geschäftsbedingungen.



SIKA SCHWEIZ AG

Tüffenwies 16
CH-8048 Zürich
+41 58 436 40 40
www.sika.ch

BUILDING TRUST

