Forschungsauftrag Sichtbeton

Conzett, Bronzini, Gartmann AG, dipl. Ingenieure ETH / FH / SIA, Bahnhofstrasse 3, 7000 Chur T 081 2583000 cbg@cbg-ing.ch

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung **1**

1 Ausgangslage und Zielsetzung **2**

1.1 Zielsetzung der Projektausschreibungen **2**

1.2 Wozu Empfehlungen **2**

1.3 Wozu eine Mängelfibel **2**

2 Grundlagen **3**

2.1 Definitionen **3**

2.2 Sichtbetonklassen **4**

2.2.1 Klasseneinteilung gemäss cemsuisse Forschungsprojekt Sichtbeton **4**

2.3 Geschichte **5**

2.4 Wesentliche Normen für Sichtbeton **8**

3 Projekt SB1: Empfehlungen **9**

3.1 Vorabklärungen **11**

3.1.1 Gestaltung **11**

3.1.1.1 Eigenschaften, Struktur und Gestaltung der Schalhaut 11

3.1.1.2 Gestaltung Einlagen 13

3.1.1.3 Gestaltung durch Farbbeigabe (weisser oder eingefärbter Beton) 14

3.1.1.4 Gestaltung durch Bearbeitung (nachträgliche Bearbeitung der Oberfläche) 16

3.1.1.5 Mechanische Bearbeitung 16

3.1.1.6 Wahl des Betons 21

3.1.1.7 Entstehung von möglichen Mängeln 22

3.1.2 Kostenwahrheit aufzeigen **22**

3.1.3 Bauzeit und Terminverschiebungen aufzeigen **23**

3.1.4 Muster erstellen **23**

3.1.5 Grundlagen für die Beurteilung von Sichtbetonoberflächen **24**

3.2 Ausschreibung **26**

3.2.1 Allgemeine Bemerkungen und Hinweise **26**

3.2.1.1 Architektonische Beschreibung als Gesamtobjekt mit Bezug auf Sichtbeton 26

3.2.1.2 Hinweise auf Normen, Merkblätter, Empfehlungen 27

3.2.1.3 Präzisierung der Sichtbetonklassen 27

3.2.1.4 Hinweis auf Referenzbauten, Muster, Oberflächen 28

3.2.2 Beschrieb Schalung **29**

3.2.2.1 Präzisierung des Schalungstyps 29

3.2.2.2 Präzisierung der Schalungskonstruktion 30

3.2.2.3 Kanten, Eckausbildungen und Fugen 33

3.2.2.4 Oberflächen 33

3.2.2.5 Schalungsbild / Fugenbild 34

3.2.2.6 Abdichtung Schalung 34

3.2.2.7 Ausschalen und Schalungsfristen 34

3.2.2.8 Toleranzen 34

3.2.2.9 Beschrieb Trennmittel 35

3.2.3 Beschrieb Beton **35**

3.2.3.1 Präzisierung Betonrezeptur in Bezug auf Zement, Zuschlagsstoffen, Zusatzmittel, Betonzusätze, Farben, Wasser und Konsistenz 35

3.2.3.2 Beschrieb Betoniervorgang 40

3.2.3.3 Betontransport 40

3.2.3.4 Betonieretappen 40

3.2.3.5 Beton Nachbehandlung 41

3.2.3.6 Beton Bearbeitung 41
3.2.4 Beschrieb Bewehrung 42
3.2.4.1 Geeignete Abstandhalter 42
3.2.4.2 Farbliche Abstimmung Abstandhalter mit Betonrezeptur 42
3.2.4.3 Rostverfärbungen infolge Bewehrung 42
3.2.4.4 Sorgfältiger Einbau Bewehrung (ohne Verletzung der Schalhaut) 42
3.2.4.5 Einbringhilfen wie Trichter etc. 43
3.2.4.6 Einfüllen von Beton 43
3.2.4.7 Korrosionsschutz 43
3.2.5 Beschrieb PQM 43

3.3 Bauausführung 43
3.3.1 Allgemeine Bemerkungen und Hinweise 43
3.3.1.1 Alle am Bau Beteiligten motivieren und instruieren 44
3.3.1.2 Psychologische Aspekte der Ausführenden beachten 44
3.3.1.3 Technische Aspekte 45
3.3.2 Schalarbeiten 45
3.3.2.1 Schalungen geschützt lagern 45
3.3.2.2 Zeitspanne zwischen Erstellen der Schalung und dem Betoniervorgang 45
3.3.2.3 Dichte Schalung 46
3.3.2.4 Saubere und unbeschädigte Schalung 46
3.3.2.5 Frischbetondruck 46
3.3.2.6 Inspektion vor dem Betonieren 47
3.3.2.7 Reinigen der Schalung 47
3.3.2.8 Nachfolgende Betonieretappen 47
3.3.2.9 Wiederverwendung der Schalung 47
3.3.3 Bewehrungen 48
3.3.3.1 Sinnvoll und richtig konstruktiv Bemessen 48
3.3.3.2 Druckstellen durch Abstandhalter vermeiden 48
3.3.3.3 Rostverfärbungen 48
3.3.3.4 Unverrückbare Bewehrung 49
3.3.3.5 Platz für Einbringhilfen und Vibrator 49
3.3.3.6 Faserbewehrungen 49
3.3.3.7 Koordination mit Haustechnik und anderen Arbeitsgattungen 50
3.3.3.8 Schutz von Spezialbewehrungen 50
3.3.4 Trennmittel 50
3.3.4.1 Einfluss Trennmittel 50
3.3.5 Betonarbeiten 51
3.3.5.1 Herstellen und Einbringen des Betons 51
3.3.5.2 Freie Fallhöhen und Schüttlagenhöhe 52
3.3.5.3 Verdichten 52
3.3.5.4 Witterungseinflüsse 53
3.3.6 Ausschalen und Nachbehandeln 53
3.3.6.1 Ausschalfristen 53
3.3.6.2 Nachbehandlung Betonoberflächen 54
3.3.6.3 Schutzmassnahmen für Sichtbetonoberflächen 55
3.3.7 PQM Sichtbeton und Baukontrollen 55
3.3.7.1 PQM-Sichtbeton-Prüfplan 56
3.3.7.2 Diverse Abnahmen als Checkliste 56

3.4 Mängel 56
3.4.1 Allgemeine Bemerkungen und Hinweise 56
3.4.1.1 Entstehung von Mängel 57
3.4.1.2 Jedes Bauteil ist ein Unikat 57
3.4.2 Beurteilung von Sichtbetonoberflächen 57
3.4.2.1 Gesamteindruck des Bauwerks 57
3.4.2.2 Gesamteindruck des Bauteils 58
3.4.2.3 Einzelkriterien bauteilbezogen beurteilen 58
3.4.3 Beseitigen von Mängel 59
3.4.3.1 Beseitigte Mängel bleiben immer erkennbar 59
3.4.3.2 Technik zur Mängelbeseitigung festlegen 59
3.4.3.3 Herstellung und Beurteilung von Erprobungsflächen 59

3.4.3.4 Arbeitsanweisung erstellen 59
3.4.4 Mögliche Mängel 60

3.5 Wissenstransfer 66
3.5.1 Allgemeine Bemerkungen 66
3.5.1.1 Dokumentation erstellen 66
3.5.1.2 Erfahrungen sammeln und auswerten 66
3.5.2 Erfahrungen Architekt und Bauleitung 67
3.5.2.1 Dokumentation erstellen 67
3.5.2.2 Fragebogen ausfüllen 67
3.5.3 Erfahrungen Bauingenieur 67
3.5.3.1 Dokumentation erstellen 67
3.5.3.2 Fragebogen ausfüllen 67
3.5.4 Erfahrungen Baumeister 67
3.5.4.1 Dokumentation erstellen 67
3.5.4.2 Fragebogen ausfüllen 67
3.5.5 Erfahrungen Betonwerke, Kies- und Zementlieferanten, 67
3.5.5.1 Dokumentation erstellen 67
3.5.5.2 Fragebogen ausfüllen 68
3.5.6 Erfahrungen Bauherr bei Entscheidungsfindung 68
3.5.6.1 Dokumentation erstellen 68
3.5.6.2 Fragebogen ausfüllen 68

4 Projekt SB2: Mängelfibel 69

4.1 Beurteilung von Sichtbetonoberflächen 69
4.1.1 Grundlagen 69
4.1.2 Abnahme 70
4.1.3 Beurteilung 70
4.1.3.1 Allgemein 70
4.1.3.2 Gesamteindruck 70
4.1.3.3 Betrachtungsabstand 70
4.1.3.4 Lichtverhältnisse 72
4.1.4 Anmerkungen 72

4.2 Mögliche Mängel an geschalten Sichtbetonoberflächen 72
4.2.1 Oberfläche 72
4.2.1.1 Unebenheiten 72
4.2.1.2 Korrosion 75
4.2.1.3 Bluten (Wasserabsondern) 81
4.2.1.4 Kiesnester 85
4.2.1.5 Lunker 90
4.2.1.6 Risse 94
4.2.2 Farbe 101
4.2.2.1 Kalkausblühungen, Kalkaussinterungen 101
4.2.2.2 Grautonunterschiede 105
4.2.2.3 Verfärbungen (Blau-, Grün-, Gelb-, Braunverfärbungen) 105
4.2.3 Flächengliederung 106
4.2.3.1 Kanten 106
4.2.3.2 Schalhautstösse 111
4.2.3.3 Betonierfugen 111

4.3 Mögliche Mängel an ungeschalten Sichtbetonoberflächen 111
4.3.1 Horizontale oder leicht geneigte Oberflächen 111

5 Bedeutung für die Praxis 116

6 Empfehlungen für die weitere Umsetzung 117

7 Quellen/Literatur/Links 118

8 Dokumentation (elektronisch) 119

Zusammenfassung

Beton ist der meistverwendete Baustoff der Welt. Sichtbeton ist seit Jahren ein gestalterisches Element und gewinnt in der architektonischen Umsetzung von Bauten zunehmend an Bedeutung. Unter Sichtbeton versteht man im allgemeinen Betonoberflächen mit Anforderungen an das Aussehen. Wir nehmen normalerweise das, was ein schöner Sichtbeton ausmacht, als selbstverständlich hin. Dabei übersehen wir viel zu oft, was bei guten Sichtbetonbauten wirklich alles zu beachten ist. In der Schweiz existieren bis heute keine Empfehlungen für Sichtbetonbauten, die die Planung, die Ausschreibung und die Ausführung von Sichtbetonbauteilen bzw. -bauwerken unterstützen. Die cemsuisse bietet mit den vier verschiedenen Forschungsprojekten zum Themenbereich Sichtbeton

SB1: Empfehlungen für Sichtbeton
SB2: Mängelfibel
SB3: Wechselwirkung zwischen Beton, Trennmittel, Schalung und Verarbeitung
SB4: Sedimentation und Bluten von Beton

praxis- und umsetzungsorientierte Hilfen für die Realisierung von sichtbar bleibenden Ansichtsflächen in Beton.

Mit der Vernetzung der vier Forschungsthemen zu Sichtbeton wird ein Leitfaden zur Erstellung von Sichtbetonbauten zusammengestellt. Schritt für Schritt – von der Idee bis zum fertig erstellten Bau – werden Kriterien und Entscheide aufgezeigt, die chronologisch pro Phase berücksichtigt bzw. gefällt werden müssen, um die im Vertrag vereinbarten Ziele zu erreichen.

Die aus dem Forschungsprojekt Sichtbeton gewonnenen Erkenntnisse entsprechen dem aktuellen Stand des Wissens und stehen Bauherren, Planern und Ausführenden zur praxisgerechten Anwendung zur Verfügung.

Die Herstellung eines Bauwerks oder Bauteiles in Sichtbetonqualität ist keine theoretische Angelegenheit, sondern eine praktische Aufgabe in Zusammenarbeit von Planern, Bauherren und Ausführenden.

1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Zielsetzung der Projektausschreibungen

Um die Qualität und das Image des Sichtbetons nachhaltig zu verbessern, wurden im Rahmen des Forschungsauftrages Sichtbeton die „Empfehlungen für Sichtbeton“ und die „Mängelfibel“ erarbeitet. Die Erkenntnisse aus den Forschungsaufträgen „Wechselwirkung zwischen Beton, Trennmittel, Schalung und Verarbeitung“ [6] und „Sedimentation und Bluten von Beton“ [7] sind dabei integriert.

Das vorhandene Wissen aus der Forschung und die Erfahrungen aus der Praxis in Zusammenhang mit der Herstellung von Sichtbeton fliessen in die Dokumentation und stehen den Bauherren, Planern und Ausführenden bei der Realisierung von Sichtbetonbauten zur Verfügung. Mit Planungshilfen zur Optimierung des Qualitätsmanagements soll die Sichtbetonbauweise resp. das Bauen mit sichtbar bleibendem Beton unterstützt und gefördert werden.

1.2 Wozu Empfehlungen

In der Schweiz existieren bis heute keine verbindlichen Regeln bzw. Regelwerke zu Sichtbeton. Die Praxis zeigt uns, dass bei Planern und Ausführenden ein Bedürfnis nach planungs- und ausführungstechnischen Grundlagen besteht.

Wie die Erfahrung bestätigt, entstehen hochwertige Sichtbetonbauten nur bei einer erfolgreichen Zusammenarbeit aller Beteiligten, vom Bauherrn über die Planer bis zu den Ausführenden. Nur ein hoch motiviertes „Sichtbetonteam“ ist qualitativ in der Lage, hervorragende Sichtbetonbauten zu erstellen. Die Planenden müssen von Anfang an alle Einzelheiten, die es für die Erstellung eines Sichtbetonbaus oder –bauteils braucht, berücksichtigen und diese in die Gesamtplanung einbeziehen. Sie müssen sich sehr detailliert mit der architektonischen Idee und den gestalterischen Anforderungen auseinandersetzen. Auch die psychologischen Aspekte der Ausführenden auf der Baustelle dürfen dabei nicht vernachlässigt werden. Jeder im Team hat Verantwortung zu tragen, sowohl die Planenden als auch die Ausführenden.

Die Informationen in den „Empfehlungen für Sichtbeton“ dienen den Bauherrn, den Planern und den Ausführenden als frühe praktische Entscheidungsgrundlage für die Planung, die Ausschreibung, die Bauausführung und die Beurteilung von Sichtbetonbauten.

1.3 Wozu eine Mängelfibel

Die Mängelfibel ist eine praxisorientierte Dokumentation der häufigsten Oberflächenerscheinungen bei (Sicht)Betonbauten. Sie soll Bauherren, Planern und Ausführenden einen vertieften Einblick in die Thematik „Sichtbetonmängel“ erlauben und dabei helfen die Bedeutung von Vorbeugungsmassnahmen besser zu verstehen.

Die Sammlung besteht aus Einzelthemen. Oberflächenerscheinungen an Sichtbeton wie zum Beispiel Risse, Grautonunterschiede oder Lunkern werden dabei beschrieben, die entsprechenden Mechanismen zur Entstehung aufgezeigt und Möglichkeiten zu deren Verhinderung erläutert. Dabei werden sämtliche Bereiche, die einen Einfluss auf die Sichtbetonqualität haben, wie Planung, Betonrezeptur, Schalung, Trennmittel, Bewehrung, Betontransport und –Verarbeitung bis zur Nachbehandlung und Schutz des vor Ort hergestellten Bauwerkes einbezogen.

Die Frage der Sichtbetonbeurteilung wird ebenfalls thematisiert. Es werden allgemeine Empfehlungen für die Abnahme von Sichtbetonoberflächen gegeben sowie themenweise Beurteilungshilfen vorgeschlagen.

2 Grundlagen

2.1 Definitionen

„Was ist Sichtbeton?“ Auf die Frage gibt es von Bauherren, Architekten, Bauingenieuren und Bauunternehmer immer unterschiedliche Antworten. In der Literatur gibt es zahlreiche Hinweise, jedoch keine verbindlichen Normen, Vorschriften und Richtlinien dazu, die in der Schweiz allgemein anerkannt werden. Wird im Web in Wikipedia, der freien Enzyklopädie, nach dem Stichwort „Sichtbeton“ gesucht, findet man folgenden Eintrag: „Sichtbeton ist Beton, der nicht verputzt oder verblendet wird und dessen Ansichtsflächen meist gestalterische Funktionen erfüllen und ein bestimmtes Aussehen haben sollten.“

Beton	
Gemäss Duden ist Beton eine Mischung aus Zement, Wasser und Gesteinskörnung, die im trockenen Zustand sehr hart und fest ist.	

Sichtbeton	
Sichtbeton soll, im Gegensatz zu konventionellen Betonoberflächen, durch seine materialisierte Erscheinung und optische Wirkung das ästhetische Empfinden des Betrachters positiv ansprechen. Bei der Bezeichnung Sichtbeton handelt es sich um nichts anderes als um Betonoberflächen mit hohen Anforderungen an das Aussehen. Die Ansichtsfläche ist nach der Fertigstellung der sichtbare Teil des Betons, der die Gestaltung und Herstellung erkennen lässt. Die architektonische Wirkung des Bauteils wird durch Form, Textur, Farbe, Schalhaut und Fugenbild bestimmt. Die Ansichtsflächen sind das Spiegelbild der Schalhaut oder das Resultat nachträglicher Behandlung und Bearbeitung der Betonoberfläche.	

Bei Kellerwänden wird nach der neuen SIA-Norm 262 [2] zum Beispiel von einem Beton C25/30, XC2, D_{max} 32, Cl 0.10, C2 gesprochen, wobei die Beschreibung den Beton bezeichnet, für dessen geforderte Eigenschaften die Herstellenden verantwortlich sind. Je nach gewünschten Anforderungen ändert sich die Bezeichnung: C30/37, XC4, XF1, D_{max} 32, Cl 0.10, C3, Beton mit hohem Wassereindringungswiderstand; dies beschreibt klar die grundlegenden Anforderungen wie Druckfestigkeit, Expositionsklasse sowie die Anforderung an den Wassereindringungswiderstand.

Stünde im Leistungsverzeichnis C25/30, XC4, D_{max} 32, Cl 0.10, C3 „Sichtbeton“, wäre das für die Planenden und Ausführenden relativ einfach. Aber die SIA-Normen beschreiben keinen Sichtbeton. Normen sind technische Richtlinien, welche die zu erzielenden Eigenschaften der Baustoffe entsprechend den Anforderungen an die Dauerhaftigkeit beschreiben. Ästhetische Gesichtspunkte stehen nicht im Vordergrund, resp. es wird erwartet, dass durch die handwerklich korrekte Ausführung der (Beton-) Arbeiten ein optisch ansprechendes Ziel erreicht werden kann. Empfehlenswert ist der Beton nach Eigenschaften auszuschreiben und zu verwenden. Voraussetzung gemäss Norm SN EN 206-1: Druckfestigkeitsklasse, Expositionsklasse, Grösstkorn, Chloridgehaltsklasse, Konsistenzklasse. Zusätzliche Anforderungen wie Zement (SN EN 197-2) und Gesteinskörnung (SN EN 12620) sowie Pigmente (Farbe) und Oberflächenbeschaffenheit verändern die Qualität für einen Beton nach Eigenschaften nicht. Von diesem Grundsatz abweichende Anforderungen verändern die Qualität und sind als Beton nach Zusammensetzung auszuschreiben. Den Herstellenden werden die Zusammensetzung und die Ausgangsstoffe

vorgegeben. Dies kann beim Beschreiben der gewünschten Leistungen Unklarheiten ergeben. Der Grund liegt darin, dass die SIA-Normen nur die „technischen Anforderungen“ beschreiben, aber nie auf die „gestalterischen Anforderungen“ eingehen. Der Begriff „Sichtbeton“ wird nicht erwähnt.

2.2 Sichtbetonklassen

In dieser Empfehlung wird nicht nur auf die betontechnologischen Aspekte eingegangen. Der Fokus richtet sich auf die sichtbar bleibenden Ansichtsflächen und den dazu notwendigen Planungsschritten, von der Idee bis zur Ausführung.

Alle Normen und Vertragsgrundlagen sollen auf einer strikten Trennung von „Ziel“ und „Weg“ basieren:

Der Planer beschreibt das „Ziel“ eindeutig!

Der Ausführende findet den „Weg“ zum „Ziel“.

In der Schweiz existieren bis heute keine verbindlichen Empfehlungen zum Sichtbeton. Die Praxis zeigt aber, dass bei Planern und Ausführenden ein dringender Bedarf nach Regelung besteht.

Im Gegensatz dazu ist in Deutschland ein Merkblatt „Sichtbeton“, Ausgabe 2004 [12], ausgearbeitet worden, bei dem im wesentlichen die Aspekte der Planung, Ausführung und Bewertung von Sichtbeton behandelt werden. In diesem Merkblatt werden zudem Hinweise gegeben, wie die angestrebte Sichtbetonqualität erreicht werden kann.

2.2.1 Klasseneinteilung gemäss cemsuisse Forschungsprojekt Sichtbeton

Die Einteilung in Sichtbetonklassen ist auch für die Schweiz sinnvoll. Die gewünschten Anforderungen lassen sich genauer beschreiben und bewerten. Es lässt sich zum Beispiel mit dem Schalungstyp 3 Sichtbetonflächen mit Bretterstruktur gemäss SIA 118/262 „Allgemeine Bedingungen für Betonbau“ [1] sowohl die Sichtbetonklasse SBK 3 wie auch die Sichtbetonklasse SBK 4 erstellen. Für die Planer ist klar, was sie vom Ausführenden erwarten dürfen. Die Ausführenden können ihre Preise genauer kalkulieren.

Ansprüche	Sichtbetonklasse	Beispiel (informativ)
Gering	**SBK 1**	Kellerwände oder Bereiche gewerblicher Nutzung
Mittel	**SBK 2**	Treppenhausräume; Stützwände
Hoch	**SBK 3**	Fassaden im Hochbau
Sehr hoch	**SBK 4**	Repräsentative Bauteile im Hochbau

Tabelle A: Klassifizierung
Klasseneinteilung gemäss cemsuisse Forschungsprojekt Sichtbeton

Die folgende Tabelle soll als Hilfe bei der Entscheidungsfindung dienen. Sie ermöglicht einen Vergleich der verschiedenen Anforderungen an die Sichtbetonklassen, die Musterflächen und die Kosten. Die Anforderungen nach CH-Empfehlung sollen jeder Sichtbetonausschreibung beigelegt werden. Sie kann auch für eine Beurteilung der sichtbar bleibenden Betonoberflächen und Sichtbetonoberflächen beigezogen werden.

Diese Tabelle kann durch den Bauherrn und Architekten vor der Ausschreibung den Ansprüchen entsprechend gewichtet werden. Das heisst, die Matrix lässt sich anpassen.

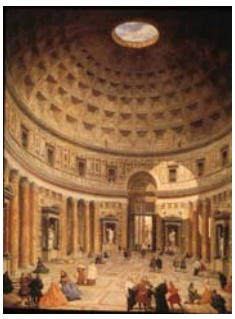
	Oberfläche					Schal-ungstyp	Muster-fläche	Kosten
	Textur	Lunkern/ Poren s/ns	Farbton s/ns	Eben-heit	Fugen			
SBK1	-	-/-	-/-	--	-	-	frei	gering
SBK2	o	o/-	o/o	--	-	o	empf.	mittel
SBK3	o	+/o	o/o	-	o	o	dringend empf.	hoch
SBK4	+	++/+	o/+	o	o	+	erforderl.	sehr hoch

Tabelle B: Präzisierung
Ansprüche für sichtbaren Beton gemäss cemsuisse Forschungsprojekt Sichtbeton

s	= saugende Schalung	-	keine Ansprüche	o	normale Ansprüche
n/s	= nichtsaugende Schalung	+	hohe Ansprüche	++	sehr hohe Ansprüche

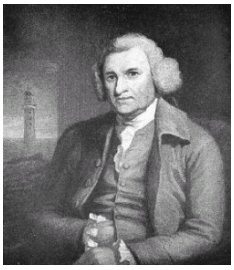
2.3 Geschichte

Altertum	
Spuren von frühgeschichtlichen Bindemitteln, eine Mischung aus Kalk, Ziegelmehl oder Puzzolanerde sind über 14'000 Jahre alt und finden sich bereits an Bauwerken in der Türkei. (Puzzolane sind natürliche Gesteine, vorwiegend vulkanische Aschen). In den Hochkulturen Mesopotamiens (> 2000 v. Chr.) und Ägyptens verwendeten die Baumeister gebrannten Kalk. Die Ägypter setzten ihn als Bindemittel beim Bau der Pyramiden ein (> 2600 v. Chr.). Von den Phöniziern (> 1000 v. Chr.) ist bekannt, dass sie ihre Mörtel mit gemahlenem vulkanischem Gestein oder Ziegelmehl mischten und damit auch unter Wasser härtende Bindemittel herstellten.	

Römerzeit	
Über die Griechen (> 300 v. Chr.) gelangte das Wissen nach Italien, dem damaligen Römischen Reich. Die Römer waren die ersten, die mit Beton arbeiteten und damit Fundamente, Gebäudeteile, Wasserleitungen und Hafenmauern erstellten. Ihr Opus Caementitium war von so hoher Qualität, dass die damit erstellten Bauwerke die Zeit bis heute überdauerten. Ein berühmtes Beispiel römischer Beton-Baukunst ist das Pantheon in Rom. Seine betonierte Kuppel mit einem Durchmesser von 43 Metern übertrafen erst die Bauwerke mit Stahlbewehrung zu Beginn des 20. Jahrhunderts.	

Der römische Beton besteht aus gebranntem Kalk, Wasser, Sand und Bruchsteinen. Die römischen Baumeister mischten auch Puzzolan und gemahlene Ziegel in ihren Beton und erhielten damit einen Baustoff, der auch unter Wasser erhärtete und fest blieb. Kalkbrenner, die Magister Calcariarum, brannten den Kalk bei etwa 1000° C.	

Mittelalter	
Mit dem Untergang des Römischen Reichs ging das Wissen um das Opus Caementitium verloren. Für den Bau von Steinhäusern verwendeten die Bauleute meist einen an der Luft härtenden Kalkmörtel (Lehm-Kalk-Sand-Mörtel, Lehm-Kalk-Mörtel). Diese Mörtel sind nicht wasserbeständig und nicht besonders dauerhaft.	

18. Jahrhundert	
Der Engländer J. Smeaton (1724-1792) fand bei einem Experiment heraus, dass ein aus Ton und Kalkstein gebrannter Kalk hydraulische Eigenschaften hatte. Er härtete nach der Beigabe von Wasser sowohl an der Luft wie auch im Wasser und blieb an der Luft und im Wasser beständig bzw. fest. Das aus mergeligem Kalk gebrannte Bindemittel erhielt den Namen „Romancement“.	

19. Jahrhundert	
1824 brannte der Engländer Joseph Aspdin eine Mischung aus Kalk und Ton. Mit seinem Bindemittel stellte er künstliche Steine her, die in der Farbe dem damals oft verwendeten Kalkstein von der englischen Halbinsel Portland an der Kanalküste entsprachen. Er nannte sein Produkt deshalb „Portlandcement“, obwohl auch dieses Bindemittel noch kein Zement im heutigen Sinne war: Die Brenntemperatur erreichte noch nicht den Sinterungspunkt von ca. 1450° C. Erst der Engländer Charles Johnson erkannte 1844 die Bedeutung des Brandes bei hohen Temperaturen und erfand den heute noch gebräuchlichen Portlandzement. 1862 entdeckte E. Langen in Deutschland, dass der Zusatz von Hochofenschlacke, die rasch abgekühlt wurde und weitgehend glasig erstarrte, die Festigkeit des Zements und dessen Widerstand gegen Sulfate positiv beeinflussen.	

Der französische Gärtner Joseph Monier (vgl. Foto) stabilisierte 1849 Blumenkübel, indem er Beton mit einem Stahlgeflecht (Moniereisen) verband. Robert Vigier gründete in Luterbach 1871 die erste Portlandzementfabrik. 1882 Jura-Cement-Fabriken: Friedrich Zurlinden. Der deutsche Ingenieur C.F.W. Döhring liess sich 1890 die Erfindung des Spannbetons patentieren.	

20. Jahrhundert	
Im Jahre 1902 wurde das erste Eisenbetonhochhaus in den USA erbaut. Die Entstehung von Normen begann um 1909 mit der Normung von Eisenportlandzement. 1912 wurde die aargauische Portlandzementfabrik mit Sitz in Holderbank gegründet. Seit 2001 trägt der Konzern den Namen Holcim Ltd. 1926 entwickelte Deniau den ersten Innenrüttler, der eine Verdichtung und dadurch eine höhere Festigkeit des Betons ermöglichte. Zur Zeit der Moderne der Zwanziger- und Dreissigerjahre experimentierte die Avantgarde der Architekten mit Sichtbeton (Le Corbusier, Mies van der Rohe, etc.) und zeigten den Beton unverkleidet ohne dekorative Natursteinfassaden. Erst nach den Kriegen in den Sechzigerjahren setzten die Architekten den Beton nicht mehr nur als Konstruktionsmaterial ein, sondern entdeckten ihn auch wieder als Gestaltungsmittel. Dank des Wirtschaftswunders wuchsen in der Schweiz Vororte explosionsartig zu Agglomerationen an, um den Arbeitskräften vom Land und aus dem Ausland Wohnraum zu bieten. So entstanden diverse spektakuläre Bauten und Quartiere, mit sichtbar bleibenden Oberflächen in Beton. Obwohl der Platz für Neubauten in den Städten beschränkt war, ersetzten präzise räumliche Betonskulpturen alte Bauwerke, oft sogar in historischen Altstädten. Der Beton konnte auch in ländlichen Gebieten und im Berggebiet seine volle Kraft entfalten. Die diversen Kraftwerksbauten und Staumauern aus Beton faszinieren noch heute. Oder wer kennt nicht die verschiedenen Kirchenbauten von Walter Förderer, die bekannteste in Hérémence, einem Seitental bei Sion. Das Äussere der Betonskulptur geht nahtlos in den Innenraum über, mit faszinierender Lichtführung, die eine mystische Stimmung erzeugt. Zu dieser Zeit entstand auch die Autobahn A2, mit grosszügigen Betonbrücken und plastisch geformten Tunnelportalen in Sichtbeton von Rino Tami oder den beiden Betonschalen von Heinz Isler bei der Raststätte Deitingen Süd an der A1. Die Erdölkrise von 1973 stoppte den Höhenflug des Sichtbetons. An den für die Ewigkeit gebauten Betonbauten entstanden Schäden, die nur ungenügend überdeckten Bewehrungseisen fingen an zu rosten und der Beton platzte ab. Der Beton wurde zum Sündenbock, die Verbetonierung der Landschaft zum Schlagwort.	

Erst in den letzten fünfzehn bis zwanzig Jahren gelang es verschiedenen Architekten den Beton, und somit den Sichtbeton, wieder einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Durch Wettbewerbe, Publikationen und Preisverleihungen für gute und gelungene Betonbauwerke unterstützte die Beton- und Zementindustrie diese Entwicklung.	

21. Jahrhundert	
Die Herstellung von Zementen mit verschiedenen Eigenschaften sowie selbstverdichtender Beton bieten neue Möglichkeiten für die Gestaltung von Sichtbetonbauten. Die Schalungstechnik entwickelt sich dank den neuen technischen Hilfsmitteln wie CAAD (Computer Aided Architectural Design) und CNC rasant. Heute können massgeschneiderte Schalungen für organische Formen hergestellt werden. Weltweit arbeiten immer mehr Architekten mit dem Material Sichtbeton. Jede erdenkliche Form, Farbe und Gestaltung von Sichtbeton ist mit den neuen Rezepturen und neuen Schalungstechniken möglich. Die Zukunft bauen wir heute.	

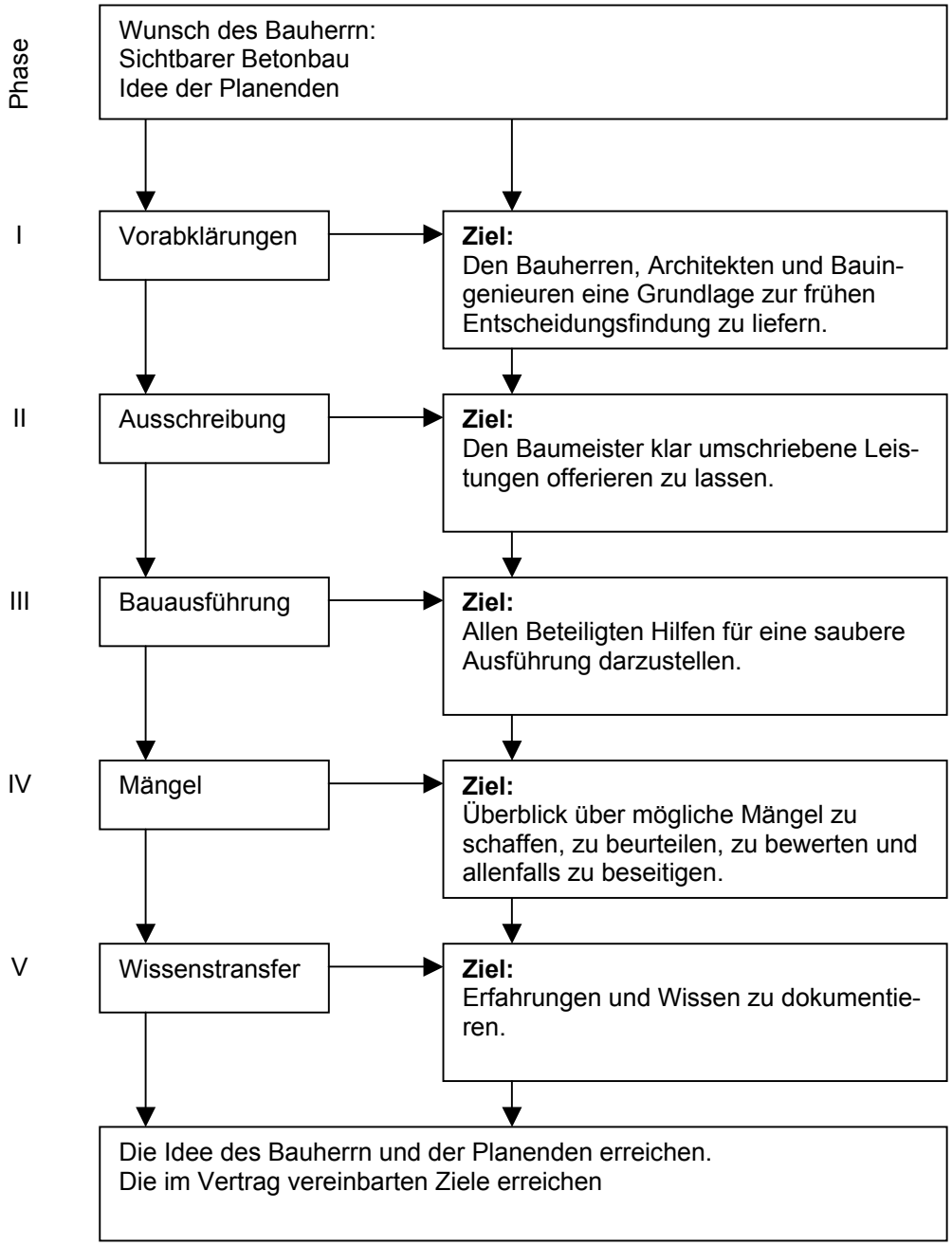
2.4 Wesentliche Normen für Sichtbeton

SIA Norm 118/262 „Allgemeine Bedingungen für Betonbau“ 2004 SIA Norm 262 „Betonbau“ 2003 SIA Norm 262/1 „Betonbau – Ergänzende Festlegungen“ SIA 414 „Masstoleranzen im Bauwesen“ 1980 SIA Empfehlung V414/10 „Masstoleranzen im Hochbau“ 1987 SN EN 206-1:2000, Beton-Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität	

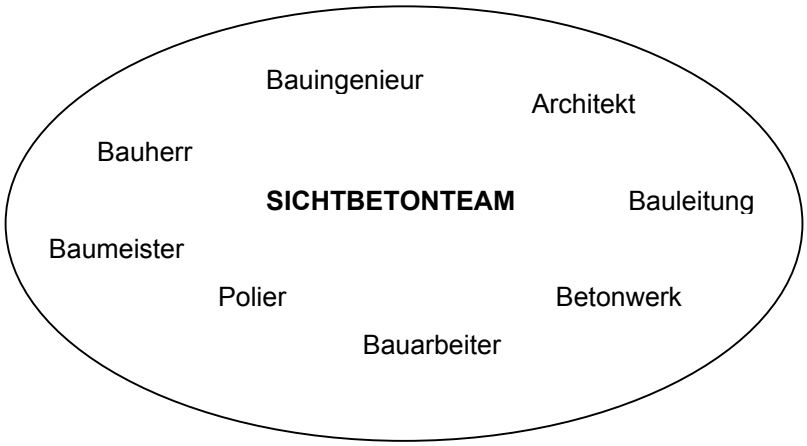
3 Projekt SB1: Empfehlungen

Das enorme Wissen über Sichtbeton wird bis heute in der Schweiz oft nur als Einzelthema behandelt. Bei den unterschiedlichen Einflussfaktoren für Sichtbeton-Qualität werden normalerweise nur die technischen Aspekte betrachtet.

Das Projekt SB1: Empfehlungen geht nicht nur auf die betontechnologischen Aspekte ein, sondern strebt eine Gesamtbetrachtung mit allen Aspekten, wie der Gestaltung, der Psychologie des Menschen und eines geordneten, chronologischen Ablaufes, an.
Die Empfehlungen sind in fünf Kapitel (Module) unterteilt, von der Idee des Bauherrn und Architekten bis zum fertig erstellten Bauwerk, das die im Vertrag vereinbarten Ziele erreicht.



Mit einem motivierten Sichtbeton-Bauteam lassen sich die vorgegebenen Ziele erfüllen:



Die Empfehlungen sind leicht verständlich und praxisgerecht aufgebaut. Sie dienen allen Beteiligten des Sichtbetonteams sowie interessierten Laien, Investoren und Schulen.

3.1 Vorabklärungen

Dieses Modul dient dazu, den Bauherren, Architekten und Bauingenieuren eine Grundlage zur frühen Entscheidungsfindung zu liefern.

Oft stimmt bei Sichtbeton-Planungen der Ablauf nicht. Verärgerte Bauherren, entnervte Planer (Architekten, Ingenieure) und ziellose Baumeister streiten sich immer wegen den gleichen Problemen: zu hohe Kosten, Terminverzögerungen oder wegen der Beurteilung des fertig gestellten Bauwerks.

3.1.1 Gestaltung

Die Gestaltung der sichtbar bleibenden Betonoberfläche ist durch die Planer gemeinsam mit dem Bauherrn festzulegen. Beton zeigt nach dem Ausschalen an seiner Ansichtsfläche eine aus Zementstein und dem Feinstsandanteil der Gesteinskörnung gebildete Mörtelschicht, die das Abbild der verwendeten Schalung ist.

Sinnvoll sind Besichtigungen von ausgeführten Objekten und Beton-Mustern. Ein Literaturstudium mit Bildern von gebauten Beispielen kann für die Ideenfindung hilfreich sein. Nachfolgend eine nicht abschliessende Aufzählung von Möglichkeiten, die sich untereinander kombinieren lassen:

3.1.1.1 Eigenschaften, Struktur und Gestaltung der Schalhaut

Eine Betonoberfläche wird jeweils in einer bestimmten Weise durch die verwendete Schalung modelliert. Unterschiedliche Schalungsarten und -materialien führen zu unterschiedlichen Strukturbildern. Hierbei fallen neben den Flächen hauptsächlich die Stösse der einzelnen Schalungselemente auf. Sie können durchgehend oder versetzt angeordnet werden. Die Anordnung von Schalungsfugen bei Bauetappen, mit oder ohne Profilierung, bleibt erkennbar.

Grosse Stahl-, Holz- und Kunststofftafeln erzeugen naturgemäss völlig andere Rasterstrukturen als Schalungen, die aus kleinteiligen Elementen oder Einzelbrettern zusammengefügt sind. Beim Holz spielt auch die Bearbeitungsart, zum Beispiel sägerauh oder gehobelt, eine wesentliche Rolle für die Gestaltung der Schalhaut.

Schalungstypen nach SIA 118/262 „Allgemeine Bedingungen für Betonbau“ [1]	
Typ 1 **Normale Betonoberfläche** Oberflächen ohne besondere Anforderungen: – mit beliebiger Oberflächenstruktur – ohne Nachbearbeitung von Graten und Überzähnen Erhöhte Anforderungen sind wie folgt anzugeben: 1. Fugen abgedichtet.	
Typ 2 **Betonoberfläche mit einheitlicher Struktur** Oberflächen mit folgenden Anforderungen: – einheitliche Oberflächenstruktur – Brett- bzw. Tafelgrösse nicht vorgeschrieben – mit Nachbearbeitung von Graten und Überzähnen. Erhöhte Anforderungen sind wie folgt anzugeben: 1. Fugen abgedichtet	 Grossflächen Tafeln
Typ 3 **Sichtbetonfläche mit Bretterstruktur** Sichtbar bleibende Oberflächen mit folgenden Anforderungen: – einheitliche Oberflächenstruktur ohne Überzähne, Graten und poröse Stellen – durch Lufteinschlüsse verursachte Hohlräume (Lunker) in mässiger Anzahl sind zulässig – möglichst gleichmässige Farbtönung – Brettbreite konstant; Brettstösse nicht vorgeschrieben – Brettrichtung einheitlich und parallel zur grösseren Abmessung der Schalungsfläche – glatte Schalbretter Erhöhte Anforderungen sind wie folgt anzugeben: 1. Fugen abgedichtet 2. Stösse versetzt 3. Brettrichtung einheitlich und senkrecht zur grösseren Abmessung der Schalungsfläche Strukturbild gemäss Detailplan der geschalten Oberfläche Verwendung von sägerohen Brettern (Beispiel: Betonoberfläche Typ 3-12: Sichtbetonoberfläche mit Brettstruktur, abgedichteten Fugen und versetzten Brettstössen).	 sägerohe Bretter, vertikal, Beton eingefärbt mit Farbpigmenten und Steinmehl
Typ 4 **Sichtbetonoberfläche mit Tafelstruktur** Sichtbar bleibende Oberflächen mit folgenden Anforderungen: – einheitliche Oberflächenstruktur ohne Überzähne, Graten und poröse Stellen – durch Lufteinschlüsse verursachte Hohlräume (Lunker) in mässiger Anzahl sind zulässig – möglichst gleichmässige Farbtönung – Tafelgrösse konstant; Tafelstösse nicht vorgeschrieben – Tafelrichtung einheitlich und parallel zur grösseren Abmessung der Schalungsfläche.	 Tafelstruktur

Erhöhte Anforderungen sind wie folgt anzugeben: 1. Fugen abgedichtet 2. Stösse versetzt 3. Tafelrichtung einheitlich und senkrecht zur grösseren Abmessung der Schalungsfläche Strukturbild gemäss Detailplan der geschalten Fläche (Beispiel: Betonoberfläche Typ 4-4: Sichtbetonoberfläche mit Tafelstruktur, Strukturbild gemäss Detailplan der geschalten Oberfläche).	
Typ 5 **Sichtbeton mit präzisem Beschrieb durch den Planenden** Beispiel: – glatte, geschlossene und weitgehend einheitliche Oberfläche, ausgetretener Zementleim/Feinmörtel bis 3 mm Breite zulässig, Grate bis 3 mm zulässig – geringe Hell-/Dunkelverfärbungen zulässig (z.B. leichte Wolkenbildung) – Ebenheit flächenfertiger Wände und Unterseiten von Decken – Versatz zw. Betonierabschnitte bis 5 mm zulässig – Bohrlöcher, Betonreste, Aufquellen der Schalhaut, Reparaturstellen und Beschädigung durch Innenrüttler nicht zulässig – Nagel- und Schraublöcher, Kratzer, Zementschleier und Reparaturstellen nicht zulässig. – Nagel- und Schraublöcher, Kratzer, Zementschleier und Reparaturstellen nur in Abstimmung mit dem Auftraggeber zulässig	 Bakelisierte Sperrholzplatten, Stärke 19mm

3.1.1.2 Gestaltung Einlagen

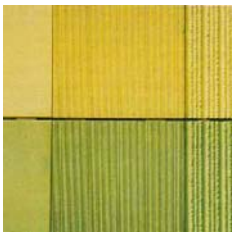
Um dem Beton optisch die „Schwere“ zu nehmen, können die Betonoberflächen mit diversen Einlagen verfremdet werden.

Einlagen	
Matten/Reliefs (formgebende Matritzen) Die Einlage von Matten mit Reliefs oder von Strukturmatrizen als „Vorsatzschalung“ dient der Gestaltung der Betonoberfläche. Es empfiehlt sich, die Matten vollflächig auf eine tragfähige Unterkonstruktion einzukleben. Unterschiedliche Formgebungen und Strukturen können mit Strukturmatrizen aus elastischen Kunststoffen realisiert werden.	
Ornamente/Schnitzereien Anstelle von Einlagen auf der Schalung kann die Oberfläche der Schalung mit Schnitzereien verziert werden. Die Schalhaut kann mit CNC-Fräsen oder von Hand bearbeitet werden. Verschiedene Ornamente, wie im Bild nebenan von einer Bündner Truhe, sind möglich.	

Industrieschalung als Einlage Die Anzahl Ausschreibungen von Industrieschalungen in der Praxis steigt. Sie werden häufig in der Vorfabrikation erfolgreich eingesetzt. Es besteht die Möglichkeit, eigene Entwürfe nach Zeichnungen oder sonstigen Vorgaben anfertigen zu lassen. Z.B. Industrieschalung mit Steinstruktur, weisser Zement.	
Gemischte Anwendungen Der Fantasie sind keine Grenzen gesetzt. So können sägerohe Brettstrukturen und Industrieschalungen miteinander kombiniert, „Schwartenbretter“ auf Rahmenschalungen befestigt oder Blätter von Laubbäumen auf die Schalhaut geklebt werden.	

3.1.1.3 Gestaltung durch Farbbeigabe (weisser oder eingefärbter Beton)

Farbbeigabe	
Einsatz von Farbpigmenten (in Pulverform oder flüssig) Durch die Verwendung von Farbpigmenten nach SN EN 12878 lässt sich ein Beton auf sehr einfache Weise durchfärben. Hierbei werden der Betonmischung vor allem für Rot-, Gelb-, Braun- und Schwarztöne vornehmlich Eisenoxid-Pigmente zugesetzt, für Grünfärbungen Chromoxid- und Chromoxidhydrat-Pigmente und für Blaueinfärbungen Pigmente auf Mischkristallbasis, wie zum Beispiel Kobalt-, Aluminium- oder Chromoxid-Pigmente. Die Einfärbung des Betons ist dauerhaft und witterungsbeständig. Bei Verwendung von grauem Zement wirken die Farbtöne gedeckter und dunkler, bei weissem Zement dagegen heller und reiner. Leichte Oberflächenprofilierung lässt die Intensität der Farbe besser zur Geltung kommen. Die Industrie ist in der Lage, eine Fülle von Farbtönen auch als Nuancen anzubieten. Vielerorts verfügen die Firmen über Farbdosieranlagen, wo mit Hilfe der vier Basisfarben schwarz, gelb, rot und weiss (mit Ausnahme von blau und grün) nahezu jeder Zwischenfarbton reproduzierbar hergestellt werden kann. Grundsätzlich gibt es die Lieferform als Pulver, als Flüssigfarbe und zunehmend auch als Granulat. Die für jeden Betrieb "richtige" Pigmentart richtet sich nach Kriterien wie Gesamtfarbbedarf, Maschinenausstattung, Farbpalette sowie Lieferprogramm. So ist beispielsweise bei sehr geringem Farbbedarf von der Verwendung von Flüssigfarben abzuraten, da diese nach langer Standzeit oder auch bei ungünstigen Klimaverhältnissen (Sommer/Winter) eindicken und hierdurch Farbunterschiede erzeugt werden. Hier ermöglicht der Einsatz von Farbgranulaten eine saubere und vor allem genaue Anwendung, denn im Gegensatz zu der bedingten Fliessfähigkeit von Flüssigfarbe lassen sich dabei auch Kleinstmengen exakt von Hand dosieren. Bewährt hat sich in der Praxis die Pigmente der Gesteinskörnung zuzugeben, nach einer Mischzeit von etwa 20 Sekunden den Zement in den Mischer zu bringen und dann nach etwa 30 Sekunden das Wasser hinzuzugeben. So wird sichergestellt, dass die Mischung eine optimale Farbausbeute des Pigmentes erreicht. Die praxisgängige Pigmentdosierung liegt im Bereich von 2 bis 4 % des Bindemittelgehalts. Für jedes Pigment gibt es einen Farbsätti-	 Pigmentfarbtöne

gungspunkt, sodass jede weitere Zugabe nur noch eine unbedeutende Steigerung der Farbintensität ergibt. In Versuchen wurde festgestellt, dass die Grenze des Farbsättigungspunktes etwa bei 8 % des Bindemittelgehalts liegt (z.B. Mischung 2/3 rot mit 1/3 schwarz und Grauzement). Es ist insbesondere darauf zu achten, dass die Alkalibeständigkeit (Zement) sowie Lichtechtheit der Pigmente gewährleistet ist.	
Farbige Gesteinskörnungen Die Gesteinskörnungen für Beton werden als gerundetes Material aus Flüssen oder Kiesgruben gewonnen. In Steinbrüchen werden zerkleinerte, gebrochene Gesteinskörnungen mit unregelmässiger Form abgebaut. Beide Arten fallen als Sand, Kies oder als Splitt an. Feinstoffe und die gröberen Kornfraktionen werden in ihrer Eigenfarbe, abhängig von der Oberflächenausbildung des Betons, wirksam. Bei unbearbeiteten Flächen beeinflussen nur die Feinstbestandteile das Aussehen des Betons, denn hier liegt vor dem eigentlichen Betongefüge eine dünne Deckschicht aus Zement und Feinstanteilen des Zuschlags. Bei bearbeiteten Betonoberflächen kommen die Eigenfarben der groben und feinen Bestandteile der Gesteinskörnung zusammen zur Wirkung. In der Schweiz können viele Gesteinskörnungen der unterschiedlichsten Farben aus heimischen Natursteinvorkommen gewonnen werden, unter anderem Kalkstein, Granit, Quarz und Porphyr, andere wie z.B. Carraramarmor, werden importiert. Eine petrographische Untersuchung zur Eignungsbestimmung ist nötig.	 Verschiedenartige Zuschläge für Beton
Farbiges Steinmehl Farbiges Steinmehl unterstützt die Farbintensität des Festbetons und kann die Verwendung von Farbpigmenten bei gleichem Resultat erheblich reduzieren. Es ist wichtig, die Verträglichkeit mit der Rezeptur zu bestimmen, eine möglichst konstante Korngrössenverteilung anzustreben und den Mehlkornanteil zu überprüfen. Farbiges Steinmehl soll wegen der möglichen Verklumpungsgefahr im Silo gelagert werden.	 Verschiedene Steinmehle
Einfluss unterschiedlicher Zemente Die Eigenfarbe des Zementsteins wird vor allem durch die Farbe des Zements beeinflusst und ist auch für das Aussehen des fertigen Betons verantwortlich. Sie ist durch die verwendeten Rohstoffe, die Zementart, die Mahlfeinheit und das Herstellungsverfahren bedingt. Gewisse Farbschwankungen sind auch bei Zementen gleicher Festigkeitsklasse eines Lieferwerks möglich. Farbtonabweichungen des Festbetons unterliegen wesentlich stärkeren Einflüssen durch die verwendete Betonrezeptur und der Verarbeitung, die möglichst vermieden werden sollen, wie zum Beispiel Schwankungen des Wasserzementwerts, unterschiedliche Kornzusammensetzung der Gesteinskörnung, verschieden langen Einschalzeiten, verschiedene saugfähige Schalungen, den verwendeten Trennmitteln und unterschiedlich intensivem Verdichten des Frischbetons.	 Verschiedene Zemente

Diverse Kombinationen Es sind sämtliche erdenklichen Kombinationen von Farbpigmenten, farbigen Gesteinskörnungen und Steinmehl sowie unterschiedlichen Zementen möglich. Folgendes Vorgehen ist sinnvoll: In Zusammenarbeit mit einem Labor oder Betonwerk sind Probewürfel für die Auswahl der gewünschten Rezeptur zu erstellen. Handelt es sich um einen Beton nach Zusammensetzung, sind die Untersuchungen analog Beton nach Eigenschaften durchzuführen. Vor der Ausführung sind Musterflächen herzustellen, um die Erwartungen an die Oberflächenbeschaffenheit und Farbigkeit der im Leistungsverzeichnis beschriebenen Ansichtsflächen zu verdeutlichen. Musterflächen sollten die entsprechende Mindestgrösse besitzen und unter gleichen Lage- und Herstellungsbedingungen wie die entsprechenden Bauteile betoniert werden.	

3.1.1.4 Gestaltung durch Bearbeitung (nachträgliche Bearbeitung der Oberfläche)

Um die baulichen und gestalterischen Vorstellungen des Bauherren realisieren zu können, sind die gewünschten Anforderungen an die Bearbeitung eindeutig zu beschreiben. Die Umsetzung und Realisierbarkeit muss vor der Ausschreibung genau geplant werden. Die Verantwortlichkeiten aller Beteiligten, die Schnittstellen sowie die Qualitätssicherungsmassnahmen sind festzulegen.

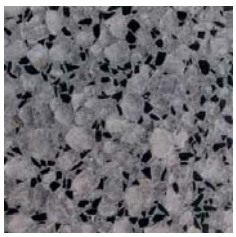
Die Betonindustrie soll beratend mitwirken, um vor der Bauausführung die Machbarkeit sicherzustellen.

3.1.1.5 Mechanische Bearbeitung

Mechanische Möglichkeiten zur Bearbeitung der Betonoberfläche finden hauptsächlich Anwendung bei der Herstellung von Fertigteilen. Zum einen handelt es sich um herstellungsbedingte Strukturen (Sägen und Spalten), zum anderen um reine Oberflächenbearbeitungen (Schleifen, Feinschleifen und Polieren), bei denen wiederum die oberste Zementschicht abgetragen wird, um die Gesteinskörnung als Gestaltungselement besser zur Geltung kommen zu lassen. Der so hergestellte Betonwerkstein ist vielfältig verwendbar, zum Beispiel für Fensterbänke aber auch für die Verkleidung von Stützen sowie Wand- und Widerlagerflächen.

Bei mechanischer Bearbeitung mit Oberflächenabtrag der obersten Zementschicht müssen diese Masse beim Überdeckungsbeton zusätzlich berücksichtigt werden. Empfehlenswert ist, den Überdeckungsbeton bei Oberflächenabtrag um 5 bis 15 mm zu vergrössern.

Bearbeitung	
Gesägt Gesägt ist die Benennung für eine sägerohe Betonoberfläche ohne weitere Bearbeitung.	 gesägte Betonoberfläche, helle Gesteinskörnung, weisser Zement

Gespalten Gespalten ist die Benennung für eine mechanisch gespaltete Betonoberfläche ohne weitere Bearbeitung.	 gespaltene Betonoberfläche, helle Gesteinskörnung, weisser Zement
Geschliffen Die Betonoberfläche wird beim Schleifen mit Diamanten oder Karborundum gefräst oder geschliffen. Dabei kann man sowohl nur die oberste Zementhaut entfernen als auch die Gesteinskörnung in seinem grössten Durchmesser freilegen. In aufeinanderfolgenden Schleifgängen werden immer glattere Oberflächen erarbeitet.	 geschliffene Oberfläche, helle und dunkle Gesteinskörnung, weisser und grauer Zement
Poliert Beim Polieren wird die geschliffene Betonoberfläche zu immer glatteren bis hochglänzenden Oberflächen bearbeitet.	 polierte Oberfläche, helle und dunkle Gesteinskörnung, weisser Zement

Waschen der Betonfläche

Die wohl am häufigsten angewandte Technik der Oberflächenbearbeitung ist das Auswaschen der obersten Zementhaut. Unterschiedliche gestalterische Wirkungen lassen sich hierbei durch die Verschiedenartigkeit der Gesteinskörnung erreichen.
Ob eckig oder rund, hell oder dunkel, einfarbig oder gemischt, immer ist das Erscheinungsbild des Waschbetons ein anderes. Durch die Verwendung eines geeigneten Abbindeverzögerers, der auf die Schalung aufgebracht wird, ist das Auswaschen von nur rund einem Millimeter der Oberfläche möglich. Der Beton erhält dadurch, je nach Gesteinskörnung, ein sehr interessantes, sandsteinartiges Aussehen, das durch entsprechende Steinmehle und Farbpigmente farblich verändert werden kann.

Gewaschen Beim Waschen wird mit Hilfe von speziellen Abbindeverzögerern eine bis mehrere Millimeter dicke Mörtelschicht von der Betonoberfläche entfernt. Es sind wasserlösliche und lösungsmittelhaltige Abbindeverzögerer erhältlich. Das geeignete Produkt ist vorgängig an Erprobungsflächen zu bestimmen. Die farbige Gesteinskörnung (eher Kies) kommt so stärker zum Ausdruck. Es entsteht, je nach Gesteinskörnung, eine grobe, rauhe Oberfläche.	 ausgewaschene Betonoberfläche, Gesteinskörnung mit eckigem Korn
Feingewaschen Beim Feinwaschen wird mit Hilfe von speziellen Abbindeverzögerern eine höchstens zwei Millimeter dicke Feinmörtelschicht von der Betonoberfläche entfernt. Die farbigen Gesteinskörnungen (vor allem Sand) kommen so stärker zur Wirkung. Insgesamt entsteht eine sandsteinähnliche, leicht rauhe Oberfläche.	 feingewaschene Betonoberfläche, Rheinsand, Porphyr 0 – 16 mm, weisser Zement
Gesäuert Beim Säuern wird die oberste Zementhaut der Betonoberfläche durch Behandlung mit einer geeigneten Säure entfernt. Hierdurch wird die Oberfläche aufgerauht. Ein sandsteinartiger Effekt entsteht.	 abgesäuerte Betonoberfläche, helle Gesteinskörnung, weisser Zement

Handwerkliche Bearbeitung

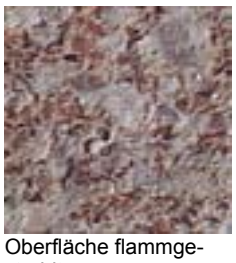
Durch die handwerkliche, steinmetzmässige Bearbeitungsweise von Betonoberflächen wird die oberste Zementhaut vom Beton abgetragen. Es entsteht eine raue aufgehellte Oberfläche, auf der die teilweise gebrochene Gesteinskörnung sichtbar wird. Die Verwendung von weissem Zement, farbiger Gesteinskörnung und/oder Farbpigmenten führt dabei zu besonderen Effekten, die durch die Wirkung von Licht und Schatten ergänzt werden.

Bossiert Bossieren ist die Bezeichnung für eine steinmetzartige Oberflächenbearbeitung, die entweder manuell mit Bossierhammer und Setzeisen oder maschinell mit Bohr- oder Meisselhammer unter Verwendung von Spezialwerkzeugen ausgeführt wird.	 bossierte Oberfläche, Kalkstein, grauer Zement

Gespitzt Spitzen ist wie das Bossieren eine steinmetzartige Oberflächenbearbeitung, die handwerklich mit Spitzeisen oder maschinell mit Spitzhammer ausgeführt wird.	 gespitzte Oberfläche, Rheinkies, grauer Zement
Gestockt Durch Bearbeiten mit einem speziellen Stockhammer erhält die Oberfläche ihr charakteristisches "rustikales" Aussehen. Es entsteht ein dem Strahlen vergleichbarer Effekt, allerdings mit mehr Tiefenwirkung.	 gestockte Oberfläche, farbige Gesteinskörnung, grauer Zement
Scharriert Der Effekt des Scharrierens wird durch die Bearbeitung der Betonoberfläche mit Hilfe eines Scharriereisens erreicht. Es entsteht eine linienartige Strukturierung, die der Oberfläche Tiefe und Profil gibt, ohne dem Zementstein oder der Gesteinskörnung etwas von ihrer farblichen Wirkung zu nehmen.	 vertikal scharrierte Oberfläche

Spezielle Bearbeitung

Durch die spezielle Bearbeitungsweise wird die oberste Zementhaut vom Beton abgetragen. Gleich wie bei der handwerklichen Bearbeitungsweise entstehen feine, aufgerauhte Oberflächen, die sichtbar werden. Die Verwendung von weissem Zement, farbiger Gesteinskörnung und/oder Farbpigmenten führt dabei zu besonderen Effekten.

Strahlen Sande aus Quarz, Korund, Glas oder Basalt werden unter hohem Druck auf die Betonoberfläche aufgestrahlt. So erfolgt ein Aufrauhen der obersten Zementhaut und der Kappen der Gesteinskörnung. Die Farben des Zementsteins und der Gesteinskörnung kommen stärker zur Geltung. Ebenfalls stärker zur Geltung kommen Entmischungen, Kiesnester und Lunkern. Dieses Verfahren hat aufhellende Wirkung.	 Oberfläche gestrahlt
Flammstrahlen Die oberste Zementhaut der mit einer Flamme von 3200° C bestrahlten Betonoberfläche versintert, und die obersten Kappen der für dieses Verfahren geeigneten Gesteinskörnung werden abgesprengt. So kommen die Eigenfarbe des Mörtels und das innere Farbspiel der Gesteinskörnung zur Wirkung.	 Oberfläche flammgestrahlt

Wasserhöchstdruckabtrag (HDW) Die oberste Zementhaut wird mit Wasserhöchstdruck abgetragen. Für dieses Verfahren sind Bemusterungen für die Düsenwahl und den idealen Hochdruck nötig. Diese Betonoberfläche wurde mit ca. 2400 bar abgetragen. So kommen die Eigenfarbe des Mörtels und das innere Farbspiel der Gesteinskörnung zur Wirkung.	 Oberflächenabtrag mit Wasserhochdruck
Fototechnik Fotobeton wird aus Folien, die über ein Siebdruckverfahren beschichtet werden, hergestellt. Durch unterschiedlich aufgetragene Abbindeverzögerer führt die daraus resultierende Abbindgeschwindigkeit des Randbetons zu einem Rauhe-/Glättespektrum auf der Oberfläche und zu Hell-/ Dunkelverläufen.	 fertiges Motiv nach den Betonieren

Nicht geschalte Oberflächen

Die ungeschalten Betonoberflächen können auf verschiedene Weise bearbeitet werden, um einen optisch entsprechenden Abschluss zu erreichen. Es handelt sich um Monobeton, wenn nach der Bearbeitung eine direkt benutzbare Oberfläche entsteht (Einschichtkonstruktion). Neben den optischen Anforderungen sind auch die technischen Anforderungen wie Rissefreiheit, Ebenheit, Abriebfestigkeit und Dichtigkeit zu beachten.

Oberfläche mit Latte abgezogen Die Oberfläche des Frischbetons wird mit Hilfe einer Abziehlatte geebnet. Die Abziehlatte ist ein Gerät oder eine Vorrichtung mit der man die Frischbeton-Oberfläche glättet. Es gibt Einfach- oder Doppellatten, die den Frischbeton durch Pendelbewegungen oder Vibration ebnen.	 Oberfläche abgezogen
Oberfläche mit Besen oder Rechen aufgerauht Die Oberfläche des Frischbetons wird mit Rechen oder Besen bearbeitet. Die aufgerauhte Oberfläche kann verschiedenartig genutzt werden.	
Abtaloschiert ohne Mörtelbeigabe Die Oberfläche des Frischbetons wird ohne Mörtelbeigabe abtaloschiert.	 Abtaloschiert
Abtaloschiert mit Mörtelbeigabe Die Oberfläche des Frischbetons wird mit Mörtelbeigabe abtaloschiert. Die Oberfläche wird fester, feiner und kompakter.	 Mörtelbeigabe

Abgeglättet: glatte, ebene, geschlossene Oberfläche Das Glätten eines Betonbodens erfolgt maschinell mit Glättmaschinen kurze Zeit nach der Betoneinbringung. Es entsteht eine glatte Oberfläche aus einem monolithischen Guss. Die Verkürzung der Bauzeit wirkt sich positiv auf die Baukosten aus. Nach dem Abziehen wird die ungeschalte Betonoberfläche mit der Glättkelle oder dem Flügelglätter bearbeitet, im Fachjargon "Glätten" genannt.	 Geglättet
Gerillt Die Griffigkeit von Betonböden und Treppenstufen kann mit Rillen in der Betonoberfläche verbessert werden.	 Gerillt
Besenstrich Der sogenannte "Besenstrich" wird bei der Oberflächengestaltung von Beton angewendet. Er ergibt eine gerichtete Struktur, die in der Rauhigkeit bzw. Grobheit variabel gewählt werden kann. Der Besenstrich wird vor allem zur Verbesserung der Griffigkeit ausgeführt, ganz gleich, ob dies nun eine Betonfahrbahn oder eine Treppenstufe aus Beton ist. Je nach gewünschter Struktur wird dazu ein Besen verwendet, der die Rillen in die Oberfläche kratzt.	 Besenstrich
Vakuumiert Unter Vakuumbeton versteht man ein Betonierverfahren, bei dem im Inneren des Betons ein Unterdruck erzeugt wird, während gleichzeitig der atmosphärische Druck auf die Betonoberfläche einwirkt. Dadurch wird dem Frischbeton ein Teil des nicht zur Hydratation benötigten Wassers entzogen. Durch die besondere Behandlung des Frischbetons wird z.B. die Schwindrissbildung vermindert. Es entstehen dichte und verschleissfeste Betonoberflächen. Ausserdem erreicht man durch dieses Verfahren schon sehr früh hohe Festigkeiten, wodurch sich die Ausschalfristen verkürzen, eine frühzeitige Nutzung der Oberfläche möglich ist und der Beton eine hohe Frostbeständigkeit erhält.	 Vakuumfläche

3.1.1.6 Wahl des Betons

Der Beton ist nach SN EN 206-1 [5] festzulegen. Dabei wird zwischen „Beton nach Eigenschaften“ und „Beton nach Zusammensetzung“ unterschieden. Beim „Beton nach Eigenschaften“ ist der Herstellende für dessen gewünschte Eigenschaften und Anforderungen verantwortlich. In der Regel – und dies ist empfehlenswert – ist Beton als „Beton nach Eigenschaften“ zu verwenden, in besonderen Fällen als „Beton nach Zusammensetzung“.

Wünscht sich der Bauherr und Architekt etwas Spezielles, so sind zusätzliche Anforderungen wie Zementgehalt, Zementart, Gesteinskörnung, etc. genau nach SIA 262:2003 Kap. 3.1.1.2, „Beton nach Zusammensetzung“ [2] zu definieren.

Betonmischung	
Der Beschrieb des Betons und die Präzisierung der Betonrezeptur in Bezug auf Zement, Gesteinskörnung, Zusatzmittel, Betonzusätze, Farben, Wasser und Konsistenz ist im Kapitel Ausschreibung beschrieben.	→ 3.2.3.1 Präzisierung Betonrezeptur

3.1.1.7 Entstehung von möglichen Mängeln

Den Bauherren, Planenden und Ausführenden soll ermöglicht werden, den Baustoff Beton zu begreifen. Das Wissen über die Entstehung von möglichen Mängeln bei Sichtbetonbauten hilft, die Vor- und Nachteile des Baustoffes Beton als „ungeschminkte“ Wahrheit zu akzeptieren. Die Planenden sind verpflichtet, die Bauherren möglichst früh darüber zu informieren. Dieses Wissen hilft, Entscheidungen zu treffen und allenfalls auftretende Mängel fachmännisch zu beurteilen.

Mögliche Mängel	
Mögliche Mängel sind im Kapitel Erscheinungsbild (Mängel) und in der Mängelfibel beschrieben.	→ 3.4 Erscheinungsbild → SB 2 Mängelfibel

ZIEL: Definition von Aussehen, Gestaltung und Rezeptur

3.1.2 Kostenwahrheit aufzeigen

Es ist wichtig, den Bauherrn möglichst früh über die Kostenfolgen für die Erstellung eines hochwertigen Sichtbetons zu orientieren, um zu vermeiden, dass erst nach der Ausschreibung, bzw. Submission über zu hohe Kosten diskutiert wird. Oft wird aufgrund der Auflistung der Kosten aus einem Sichtbetonbau ein normaler Betonbau, die Materialisierung wird geändert oder das Projekt lässt sich nicht realisieren.

Die Planenden haben bis zu diesem Zeitpunkt in der Regel ein Drittel der Leistungen erbracht.

Der Bauherr soll gegenüber Normalbeton über folgende „Mehr“-Kosten orientiert werden.	
Kosten für Gestaltung der Oberflächen / Verwendung der Schalhaut	
Kosten für die Betonrezeptur mit zusätzlichen Anforderungen (gemäss SN EN 206-1 [5])	
Kosten für die längere Bauzeit (Terminverzögerungen)	
Kosten für die saubere Ausführung und die konstruktive Ausbildung	
Kosten für die Nachbehandlung	
Kosten für den zusätzlichen Schutz von Kanten und Oberflächen	
Kosten für Spezialbewehrung (z.B. beschichtet)	
Kosten für den Oberflächenschutz (Hydrophobierung)	

Der Bauherr soll die Konsequenzen für die Kosten bei seiner Entscheidung zur Wahl der Sichtbetonklasse bzw. Oberflächenbeschaffenheit berücksichtigen und vertraglich vereinbaren.

ZIEL: Der Bauherr bewilligt die Kosten oder Kostenfolgen für Sichtbeton

3.1.3 Bauzeit und Terminverschiebungen aufzeigen

Die Bauzeit wird immer zentraler und wichtiger, da die Finanzierungsplan direkt davon abhängen. Die Bauherrschaft gibt oft Bauzeitbeschränkungen vor (Betriebszeiten, Öffnungszeiten, Schulbeginn, Mietbeginn, Lärmbelästigung, angrenzende Projekte, etc.) und erzeugt dadurch einen enormen Termindruck. Um die Qualität von Sichtbetonbauten zu erreichen, ist die Bauherrschaft über Folgendes rechtzeitig zu orientieren:

Bauzeit und Terminverschiebung	
Durch die präzise Schalungsarbeit, das sorgfältige Betonieren und Schützen des Betons wird die Bauzeit verlängert.	
Durch die längere Bauzeit entstehen höhere Finanzierungskosten.	
Der Einfluss auf das Terminprogramm und den Bezugstermin kann erheblich sein.	
Sowohl der Bauherr wie auch die Bauleitung ist möglichst früh darüber zu informieren.	

ZIEL: Bauherr und Bauleitung akzeptieren Terminverschiebungen

3.1.4 Muster erstellen

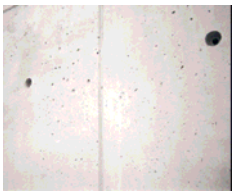
Das Erstellen von Mustern ist für die Sichtbetonklassen SBK4 erforderlich und wird für die Sichtbetonklasse SBK3 dringend empfohlen (vgl. Kapitel 2).

Die Planenden sollen gemeinsam mit dem Bauherrn entscheiden, ob für die Sichtbetonklasse SBK2 ein Bedarf nach Mustern besteht. Für die Sichtbetonklasse SBK1 sind keine Muster notwendig.

Für erste Versuche eignen sich Handmuster (Betonprismen) zur Bestimmung der gewünschten Rezeptur und Farbgebung des Sichtbetons. Die Betoneigenschaften sind mit Hilfe von Labormustern (z.B. Betonwürfel) vor den Feldversuchen zu prüfen.

Das Erstellen von Musterflächen und Erprobungsflächen unter Baustellenbedingungen auf dem Feld bringt folgenden Nutzen:

Musterflächen erstellen	
Die Musterflächen mit sämtlichen gewünschten Details sind mit dem Ausführenden vorzubesprechen und im Massstab 1:1 zu erstellen.	
Der Ausführende kann üben, um möglichst nahe an die vereinbarten Vorgaben heranzukommen und um das technische Vorgehen zu optimieren. Die geeignete Betonrezeptur lässt sich in der Anwendung überprüfen.	

Es kann geprüft werden, ob der Ausführende fähig und interessiert ist, die Vorgaben an Sichtbetonflächen zu erfüllen. Offene Fragen zur Machbarkeit können direkt mit den Ausführenden geklärt werden.	
Die Planenden und der Bauherr können im Beisein des Ausführenden die verschiedenen Betonoberflächen beurteilen, mit Referenz vergleichen und eventuell noch ändern.	
Es besteht vor der Ausführung die Möglichkeit, Referenzflächen für eine spätere Beurteilung der Betonoberflächen zu bestimmen.	
Die ausgewählte Referenzfläche kann Bestandteil des Werkvertrags zwischen Bauherr und Ausführenden sein.	
Es ist nicht sinnvoll, bestehende Bauwerke als vertraglich verbindliche Referenzflächen festzulegen, da die Ausgangsbedingungen wie Form, Abmessung, Betonzusammensetzung, Alterung, klimatische Verhältnisse und Exposition stets unterschiedlich sind.	
Die Machbarkeit, Gestaltung und Betonrezeptur sowie die Kosten und der Zeitaufwand lassen sich prüfen.	

ZIEL: Das Muster dient als Referenz für die Ausschreibung und die Ausführung, sowie für die Beurteilungen von Sichtbetonoberflächen.

3.1.5 Grundlagen für die Beurteilung von Sichtbetonoberflächen

Für die Beurteilung von Sichtbetonoberflächen und die Festlegung der Rahmenbedingungen ist es enorm wichtig, den Bauherrn vor der Ausschreibung in den Beurteilungsprozess miteinzubinden und allfällige Referenzflächen zu vereinbaren. Auch die Bedürfnisse der späteren Nutzer (Mieter) der Gebäude sind bei der Planung mit Sichtbeton zu berücksichtigen.

Die Toleranzen in der Oberflächenbeschaffenheit, die Beurteilungsgrundlagen für den Gesamteindruck und die Einzelheiten sind mit dem Bauherrn schriftlich festzulegen.

Zudem ist das Vorgehen bei Abweichung der Anforderungen miteinander zu bestimmen. Eine allfällige Mängelbeseitigung ist mit allen Vor- und Nachteilen zu diskutieren.

Beurteilung von Sichtbetonoberflächen	Siehe auch:
Toleranzen in der Oberflächenbeschaffenheit festlegen	→ 3.2.1.3 → SB2
Referenzflächen vereinbaren	→ 3.2.1.4 → SB2
Beurteilungsgrundlagen für Gesamteindruck festlegen	→3. 4.2.2 → SB2
Beurteilungsgrundlagen für Einzelkriterien	→ 3.4.2.3 → SB2
Technik zur Mängelbeseitigung festlegen	→ 3.4.3.2 → SB2

ZIEL: Der Bauherr ist über mögliche Mängel und die allfälligen Möglichkeiten zur Beseitigung an Betonoberflächen zu informieren.

Schlussfolgerung Modul Vorabklärungen:

Nach dem Modul Vorabklärungen sind sämtliche Grundlagen für die Ausschreibung / Ausführung bekannt. Der Bauherr ist über Aussehen und mögliche Mängel der Sichtbetonoberfläche sowie Kosten- und Terminfolgen orientiert. Die Machbarkeit ist gewährleistet.

3.2 Ausschreibung

Dieses Modul dient dazu, den Baumeister klar umschriebene Leistungen offerieren zu lassen. Allfällige Muster für eine Weiterentwicklung von Schalung und Beton sind ebenfalls offerieren zu lassen.

Die Ausschreibung ist mit Leistungsverzeichnissen nach Normpositionenkatalog NPK 241 „Ortbetonbau“ zu erstellen. Die Anforderungen an die Ansichtsflächen sind im Leistungsverzeichnis ausreichend zu beschreiben.

3.2.1 Allgemeine Bemerkungen und Hinweise

Die Ausschreibung bildet für den Baumeister die Grundlage für das Offerieren seiner Leistungen. Das Leistungsverzeichnis beinhaltet klare und eindeutige Leistungsbeschriebe, die zum vornherein Auffassungsunterschiede zwischen den Vertragspartnern vermeiden.

Vergleiche mit ausgeführten Bauten können hilfreich sein, sind aber nur bei gleichen Ausgangsbedingungen wie Schalhaut, Betonzusammensetzung, Verarbeitung, Nachbehandlung und klimatischen Bedingungen relevant.

Alle Normen und Vertragsgrundlagen basieren auf einer strikten Trennung von „Ziel“ und „Weg“!

Der Planer beschreibt das „Ziel“ eindeutig!

Der Ausführende findet den „Weg“ zum „Ziel“, das heisst:

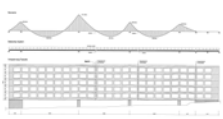
- er muss das „Ziel“ genau kennen (Leistungsbeschrieb des Planers im Leistungsverzeichnis mit allgemeinen und besonderen Bedingungen, zusätzlichen Anforderungen und Beilagen)
- er wählt den „Weg“ durch möglichst uneingeschränkten Einsatz seiner fachlichen Qualifikation und Innovation

Die Planenden müssen von Anfang an alle Einzelheiten berücksichtigen und diese in die Gesamtplanung einbeziehen. Sie müssen sich sehr detailliert mit der architektonischen Idee und den gestalterischen Anforderungen auseinandersetzen und diese eindeutig definieren, da sie den Preis entscheidend mitbestimmen.

Die folgenden Kapitel sollen als Hilfe und Ergänzung dienen, um das Leistungsverzeichnis, die allgemeinen und die besonderen Bedingungen festzulegen.

3.2.1.1 Architektonische Beschreibung als Gesamtobjekt mit Bezug auf Sichtbeton

Beschreibung der architektonischen und städtebaulichen Idee Die Architekten sollen die architektonische und städtebauliche Idee beschreiben und dem Leistungsverzeichnis beilegen. Wenn z.B. die Ansichtsfläche des Betons als Nagelfluh beschrieben wird, ist allen klar, wie es aussehen soll.	

Darstellen der architektonischen Idee und der konstruktiven Umsetzung. Die architektonische Idee wird durch den Bauingenieur konstruktiv umgesetzt und ist ebenfalls kurz zu beschreiben.	
Beschreiben von architektonischen und konstruktiven Vorstellungen. z.B. die Ecke ist stützenfrei auszuführen. Die Tragsicherheit des gesamten Gebäudes ist erst sichergestellt, wenn die oberste Decke tragfähig ist. Deshalb muss das gesamte Gebäude während der Rohbauzeit gespriesst werden..	
Beschreiben von komplizierten Detaillösungen z.B. auch mit Fotos von ähnlichen Referenzen. Hinweis auf technische Details.	

3.2.1.2 Hinweise auf Normen, Merkblätter, Empfehlungen

In der Schweiz gibt es keine verbindliche Norm, bzw. ein verbindliches Regelwerk für Sichtbeton. Es empfiehlt sich, die vertraglichen Rahmenbedingungen für Werkverträge, zwischen Bauherr und Unternehmer, nach SIA 118/262 „Allgemeine Bedingungen für Betonbau“ 2004 [1] abzustimmen.

Projektierung und Ausführung erfolgen auf Grundlage der neuen Tragwerksnormen des SIA(2003).	
SIA-Norm 118/262 Allgemeine Bedingungen für Betonbau [1]	
SIA-Norm 262 Betonbau [2]	
SIA-Norm 262/1 Betonbau – Ergänzende Festlegungen	
Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004 [12] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie E.V.	

Alle verwendeten Materialien haben den anerkannten Normen zu entsprechen.

Die einschlägigen Gesetze, Vorschriften, Verordnungen, Erlasse und Weisungen von Bund und Kanton sind einzuhalten. Arbeitsvorgehen und Gerätewahl sind dem Unternehmer innerhalb der gegebenen Vorschriften und Randbedingungen freigestellt.

3.2.1.3 Präzisierung der Sichtbetonklassen

In der Schweiz existieren bis heute keine verbindlichen Empfehlungen zum Sichtbeton. Bei Planern und Ausführenden besteht ein dringender Bedarf nach Regelung.

Im Gegensatz dazu ist in Deutschland ein Merkblatt „Sichtbeton“, Ausgabe 2004 [12], ausgearbeitet worden, in welchem im wesentlichen die Aspekte der Planung, Ausführung und Bewertung von Sichtbeton behandelt werden. In diesem Merkblatt werden zudem Hinweise gegeben, wie die angestrebte Sichtbetonqualität erreicht werden kann.

Ansprüche	Sichtbetonklasse	Beispiel (informativ)
Gering	**SBK 1**	Kellerwände oder Bereiche gewerblicher Nutzung
Mittel	**SBK 2**	Treppenhausräume; Stützwände
Hoch	**SBK 3**	Fassaden im Hochbau
Sehr hoch	**SBK 4**	Repräsentative Bauteile im Hochbau

Tabelle A: Klassifizierung
Klasseneinteilung gemäss cemsuisse Forschungsprojekt Sichtbeton

	Oberfläche					Schal-ungstyp	Muster-fläche	Kosten
	Textur	Lunkern/ Poren s/ns	Farbton s/ns	Eben-heit	Fugen			
SBK1	-	-/-	-/-	--	-	-	frei	gering
SBK2	o	o/-	o/o	--	-	o	empf.	mittel
SBK3	o	+/o	o/o	-	o	o	dringend empf.	hoch
SBK4	+	++/+	o/+	o	o	+	erforderl.	sehr hoch

Tabelle B: Präzisierung
Ansprüche für sichtbaren Beton gemäss cemsuisse Forschungsprojekt Sichtbeton
s = saugende Schalung - keine Ansprüche o normale Ansprüche
n/s = nichtsaugende Schalung + hohe Ansprüche ++ sehr hohe Ansprüche

3.2.1.4 Hinweis auf Referenzbauten, Muster, Oberflächen

Referenzbauten / Vergleichsbauwerke Referenzbauten dienen dazu, eine Idee zu verbildlichen. Sie sind jedoch nicht für die Beurteilung und Abnahme geeignet, da neu zu erstellende Ansichtsflächen in der Regel nicht reproduzierbar sind. (Witterung, Grösse, Alter, usw.)	
Muster Das Erstellen von Mustern unter Baustellenbedingungen bringt grossen Nutzen und ist im Kap. 3.1.4 „Muster erstellen“ bereits beschrieben. Im Leistungsverzeichnis ist diese Position aufzuführen.	

Oberflächen Wir differenzieren zwischen Erprobungsflächen, an denen der Herstellende die Optimierung des technischen Vorgehens üben kann, und Referenzflächen (Ansichtsflächen) die das geforderte Aussehen als verbindliche Referenz definieren und später für die Beurteilung der erbrachten Leistung herangezogen werden.	

3.2.2 Beschrieb Schalung

3.2.2.1 Präzisierung des Schalungstyps

Aus handwerklichen und wirtschaftlichen Gründen sollten bei der Planung möglichst marktgängige Schalungsraster berücksichtigt werden. Neben konventionell hergestellten Schalungen werden heute hauptsächlich Systemschalungen (Rahmen- oder Trägerschalungen) eingesetzt. Systemschalungen werden von unterschiedlichen Schalungsherstellern angeboten. Deshalb muss eine genaue Masskoordination erfolgen. Die Schalhaut muss in Abhängigkeit von der Schalhautklasse die vereinbarten Anforderungen erfüllen. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, bereits in der Planungsphase die Gestaltungsidee und die herstellungstechnischen Möglichkeiten aufeinander abzustimmen, wie z.B. das Schalungssystem (Rahmen- oder Trägerschalung, Systemmasse u.a.).

Es ist aber möglich, jede aus gestalterischen Gründen gewünschte Schalhaut auf die verschiedenen Systemschalungen zu montieren.

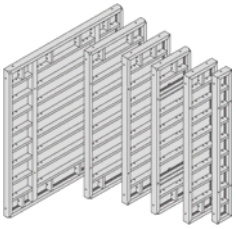
In der Ausschreibung ist der gewünschte Schalungstyp nach SIA 118/262 „ Allgemeine Bedingungen für Betonbau“ [1] für Typ 1 bis 5 sowie die Sichtbetonklasse SBK 1 bis SBK 4 genau zu definieren.

Schalungstypen nach SIA 118/262 „Allgemeine Bedingungen für Betonbau“ [1]	
Konventionelle Schalung Mit Schalhaut, Verteilhölzer, Longarinen, Bindstäbe	
Rahmenschalung	 Rahmenschalung
Trägerschalung	 Trägerschalung

Rundschalung Für gekrümmte Schalungen und Sonderausführungen sind gesonderte Regelungen zu vereinbaren.	 Rundschalung

3.2.2.2 Präzisierung der Schalungskonstruktion

Hier werden die hauptsächlich verwendeten Schalungskonstruktionen beschrieben. Auf die Vielfalt der unterschiedlichen Systeme und Anbieter wird hier nicht eingegangen. Die beschriebenen Beispiele sollen die Abhängigkeiten und die Komplexität innerhalb des gewählten Systems aufzeigen.

Rahmenschalung Allgemeines Rahmenschalungen bestehen aus ausgesteiften Metallrahmen in vorgegebener Elementgrösse, eingelegter Standardschalhaut (i. d. R. Mehrschichtplatten) und vorgegebenen Ankerstellen. Für Eckausbildungen werden Eckelemente verwendet. Abmessungen (Produktabhängig) Gängige Schalungsraster (bei Wandschalungen) sind: Höhen: 2.5 m bis 3.3 m Breiten: 1.2 / 1.25 / 1.35 m bis 2.4 / 2.5 / 2.7 m Eckelemente: 0.25 / 0.30 m Je nach Hersteller kann bei Breiten über 1.5 m ein Plattenstoss innerhalb eines Elementes vorhanden sein, der sich in der Betonoberfläche abzeichnet. Oberflächenqualität an Schalungsstössen Die Oberflächenqualität an Schalungsstössen hängt – wie bei allen mehrfach eingesetzten Schalungen – von Qualität und Zustand des verwendeten Materials sowie der fachgerechten Anwendung und Reinigung der Elemente ab. Bewertung Vorteile einer Rahmenschalung sind: – hohe Einsatzhäufigkeit – kurze Schalzeiten – im Allgemeinen kurzfristige Verfügbarkeit Systembedingte Merkmale: – Rahmen zeichnen sich auf der Ansichtsfläche erkennbar ab und sind Gestaltungsmerkmal – Einsatzhäufigkeit und Zustand der einzelnen Elemente wirken sich auf die Ansichtsfläche aus – Fertigungstoleranzen beeinflussen die Ansichtsflächen an den Elementstössen	 Rahmenschalung für Muster  Abmessungen Grossflächen-Schalung Ausgeschaltes Muster

- Ankerstellen und Fugenraster sind aufgrund der Elementkonstruktion vorgegeben
- das Alter der Schalhaut beeinflusst aufgrund unterschiedlichen Lagerungsbedingungen und Einsatzzahlen die Farbtongleichmässigkeit (z.B. Grauton) des Betons
- allfällig notwendige Passstücke bleiben sichtbar

Trägerschalung

Allgemeines

Trägerschalungen bestehen aus Holz- oder Metallträgern und Stahlgurtungen. Es können objektbezogen „Schalungselemente“ in unterschiedlichsten Abmessungen gefertigt werden, jedoch ist die Kostenfolge zu beachten. Die Art der Schalhaut ist hierbei frei wählbar.

Abmessungen und Standardplattengrössen (Produktabhängig)
- filmbeschichtete Sperrholzplatten: 2.5 m x 1.25 / 1.5 m; 3.5 m x 1.25 / 1.5 / 2.0 m; weitere Plattengrössen sind bis maximal 6.6 m x 2.65 m erhältlich.
- Dreischichtplatten: 2.0 / 2.5 m x 0.5 / 1.0 m bis maximal 6.0 m x 2.65 m

Die Wahl der Plattengrösse ist abhängig vom Angebot der Hersteller, von den Transportmöglichkeiten sowie von der Handhabung auf der Baustelle. Das Tragverhalten der Platten in Längs- und Querrichtung ist in der Regel unterschiedlich. Dies ist bei der Bemessung der Tragkonstruktion und Anordnung der Platten zur Trägerlage zu berücksichtigen.

Üblich ist, die Träger vertikal anzuordnen. Die Schalhaut wird dabei von der Betonseite direkt auf die Trägerlage aufgeschraubt bzw. genagelt. Auf der Ansichtsfläche zeichnen sich die Befestigungsmittel (z. B. Nägel- oder Schraubenköpfe) ab.

Eine auf der Betonoberfläche nicht sichtbare Befestigung der Schalhaut erfordert eine Sparschalung zur Befestigung der Schalhaut von der Rückseite. Dieser Aufwand ist gesondert zu vereinbaren.

Eine Versiegelung der Schnittkanten von Schalhautplatten verhindert das Quellen von Kanten und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Ansichtsflächen.

Oberflächenqualität an Schalungsstössen

Die Oberflächenqualität an Schalungsstössen hängt – wie bei allen mehrfach eingesetzten Schalungen – von Qualität und Zustand des verwendeten Materials sowie der fachgerechten Anwendung und Reinigung der Elemente ab.
Wichtig für die Qualität der Stösse ist die Abstellbasis für die Schalung, die immer horizontal, im „Blei“ sein muss.

Bewertung

Vorteile einer Trägerschalung sind:
- Ankerstellen sind nach gestalterischen Gesichtspunkten und konstruktiven Kriterien planbar
- Elementanordnung ist planbar
- bei Einsatz einer Sparschalung ist eine rückseitige Befestigung

Trägerschalung

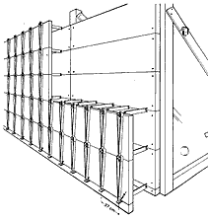
Holzträger

Filmbeschichtete Sperrholzplatte

Schalungsstösse

Abbildung 1

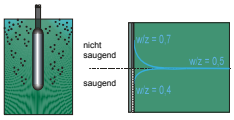
Schalhaut wählbar

möglich – Art (Aufbau und Oberfläche) der Schalungshaut ist frei wählbar – Elementstösse müssen bei besonderen Anforderungen und können im Normalfall abgedichtet werden Systembedingte Merkmale: – Elementstösse zeichnen sich auf der Ansichtsfläche ab – Kanten der Schalungshaut sind empfindlicher, wenn kein Kantenschutz vorhanden ist – Elementstösse zeichnen sich stärker ab als Plattenstösse, Versätze ergeben sich herstellungsbedingt.	 Träger vertikal
Schnellspannsysteme einfaches, schnelles und sparsames Schalungssystem mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten Material: Schalungsbinder Lieferlängen: 25 cm, 50 cm, 100 cm Abstandhalter für Normalbeton, Sichtbeton oder Sperrbeton: von 10 cm bis 100 cm, in allen Mauerstärken produzierbar Abschlusskeile Stirnschalungsschraube BS 20 Abdrehkurbel Verbindungsstück für Doppelwand Ausreissapparate für Sichtbeton-Abstandhalter Diese Schalung erlaubt: – das Ausgleichen von Seitenwänden ohne Zersägen von Schaltafeln – rund zu schalen – Stützmauern zu erstellen, Arbeitsaufwand wie normale Mauer – bei Doppelmauern Distanzhalter miteinander zu verbinden (Isolierung) – Stirnschalungen auf einfache Weise zu befestigen	 
Säulenschalungen „Rund“ Schalrohre rund in spiraler Ausführung. Einfaches Ausschalen durch integrierte Reissleine. Glatte Sichtbeton-Oberfläche durch spezielle Innenrohr-Einlage mit integrierter Reissleine. Liefergrössen: Durchmesser in cm: 20, 25, 30, 35, 40, 50 Lagernde Längen: 3 m und 4 m (andere Längen auf Anfrage). "Quadrat" Schalrohre für quadratische oder rechteckige Säulen. Einfaches Ausschalen durch integrierte Reissleine. Liefergrössen: Quadratische Form in cm (Innenmass): 20 x 20, 25 x 25, 30 x 30, 35 x 35, 40 x 40, 50 x 50 Längen nach Bestellung	

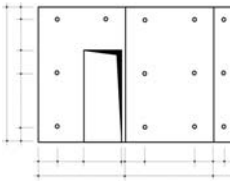
3.2.2.3 Kanten, Eckausbildungen und Fugen

Der Kanten- und Eckausbildung ist die grösste Aufmerksamkeit zu schenken, da Fehler in der Ausführung, bzw. spätere mechanische Beschädigungen jeder Art viel stärker wahrgenommen werden als an der Betonoberfläche. Die Fugen sind immer mit komprimierbaren, nicht saugenden Fugeneinlagen oder Silikon zu dichten. Die Abdichtungen mit geeigneten Fugendichtungsmassen oder Silikon sind sauber auszuführen, überschüssiges Silikon ist mit einem Cutter sorgfältig nachzuschneiden.	

3.2.2.4 Oberflächen

Oberflächentextur Der Einfluss der Oberflächentextur der Schalung auf die Betonfläche wirkt sich auf Farbton, Lunkerbildung und Dichtigkeit aus. Farbton und Lunkerbildung hängen neben Schalhaut und Trennmittel auch von der Betonzusammensetzung, -verarbeitung und -nachbehandlung sowie den Umgebungsbedingungen ab.	
Mehrfache Verwendung der Schalung Bei saugenden Schalungen nimmt die Saugfähigkeit mit steigender Einsatzzahl ab. Dies ergibt tendenziell heller werdende Betonoberflächen. Farbton und Porenbildung hängen neben Schalhaut und Trennmittel auch von der Betonzusammensetzung, -verarbeitung und -nachbehandlung sowie den Umgebungsbedingungen ab.	
Schalung alt/neu Die Häufigkeit des Einsatzes verändert das Verhalten der Schalhautoberfläche. Es ist deshalb vor jedem Einsatz zu prüfen, ob die Schalhaut den Anforderungen der jeweiligen Klasse genügt, ob sie ggf. repariert werden kann oder ausgemustert werden muss. Gut ersichtlich ist der Farbunterschied zwischen neuer und alter Bretterschalung.	
Einfluss Schalhaut auf hell/dunkel Bei saugenden Schalungen ist die Betonoberfläche tendenziell dunkler und weist weniger Lunker auf als bei nicht saugender Schalhaut. Je ausgeprägter die Textur ist, desto weniger fallen Lunker und Farbunterschiede optisch auf. Bei nicht saugenden Schalhäuten zeichnen sich Farbtonunterschiede, Marmorierungen und Wolkenbildungen stärker ab.	

3.2.2.5 Schalungsbild / Fugenbild

Mit jedem Leistungsverzeichnis ist ein Schalungsmusterplan mit Beschrieb des Schalungstyps, der Schalungskonstruktion, dem Fugenbild, den Arbeitsfugen, den Bindstellen und konstruktiven Details als Beilage abzugeben.	

3.2.2.6 Abdichtung Schalung

Mit Abdichtungen kann die Dichtigkeit der Schalhaut- und der Schalungsstösse enorm verbessert werden. Geeignet dazu sind komprimierbare nicht saugende Fugeneinlagen, oder die Abdichtung mit geeigneten Fugendichtungsmassen wie zum Beispiel Silikon. Nach dem Abdichten mit Silikon wird vor dem Betonieren das Nacharbeiten bzw. Nachschneiden des Silikons an der Schalhaut empfohlen, um überschüssiges Silikon zu entfernen. Lokale Undichtigkeiten können eine Veränderung des Wasser/Zementwerts und damit eine ungleichmässige Dunkelverfärbung der Oberfläche zur Folge haben	

3.2.2.7 Ausschalen und Schalungsfristen

Das Ausschalen und die Schalungsfristen sind durch die Bauleitung für jedes Bauteil genau zu definieren und zu beschreiben. Die Ausschalfristen hängen eindeutig von den jahreszeitlichen und witterungsbedingten Einflüssen ab. Wenn ein PQM für Sichtbeton besteht, ist im Leistungsverzeichnis darauf hinzuweisen. Die SIA-Normen sind einzuhalten.	 → SB3, SB4

3.2.2.8 Toleranzen

Die Bautoleranzen für den Rohbau sind für jedes Bauteil genau zu definieren und zu beschreiben. Wenn ein PQM für Sichtbeton besteht, ist im Leistungsverzeichnis darauf hinzuweisen. Die SIA-Normen sind einzuhalten.	

3.2.2.9 Beschrieb Trennmittel

Die richtige Auswahl und Anwendung des Trennmittels ist von grosser Bedeutung, da die Grenzflächenreaktionen zwischen Schalhaut und Betonoberfläche hiervon massgeblich beeinflusst werden. Trennmittel sind grundsätzlich nach den Angaben des Herstellers zu verwenden. Der Trennmittelfilm sollte möglichst gleichmässig und dünn sein. Das Trennmittel sollte schnell trocknen, damit wenig Schmutz auf der Schalhaut kleben bleibt. Überdosierungen oder ungeeignete Trennmittel fördern die Lunkernbildung und führen zu Oberflächenverfärbungen und Absandungen.	 → SB3, SB4

3.2.3 Beschrieb Beton

3.2.3.1 Präzisierung Betonrezeptur in Bezug auf Zement, Zuschlagsstoffen, Zusatzmittel, Betonzusätze, Farben, Wasser und Konsistenz

Beton besteht aus Zement, Wasser, Gesteinskörnungen (Sand, Kies) sowie häufig Betonzusatzmitteln und/oder Betonzusatzstoffen. Ein moderner hochwertiger Beton kann somit aus fünf verschiedenen Stoffen zusammengesetzt sein. Der Betonhersteller versucht, mit diesen verschiedenen Bestandteilen eine ideale Rezeptur festzulegen. Es geht ihm dabei um folgende Optimierungen des Betons:

Verarbeitbarkeit, Dauerhaftigkeit, Festigkeit, Herstellungskosten

Nach Norm SN EN 206-1: 2000 [5]	
Beton nach Eigenschaften Beton, für den die geforderten Eigenschaften vom Besteller (Planer) festgelegt werden. Der Betonhersteller ist verantwortlich für die Bereitstellung eines Betons mit den geforderten Eigenschaften.	 Brücke Glätti
Beton nach Zusammensetzung Beton, für den die zu verwendenden Ausgangsstoffe und die Zusammensetzung (Rezeptur) dem Hersteller vom Besteller (Planer) vorgegeben werden. Der Hersteller ist nur verantwortlich für die korrekte Zusammensetzung.	
Nach Eigenschaften des Festbetons Normalbeton Beton mit einer Rohdichte (ofentrocken) von >2000 bis ≤2600 kg/m^3. Leichtbeton Beton mit einer Rohdichte von >800 bis ≤2000 kg/m^3. Schwerbeton Beton mit einer Rohdichte von >2600 kg/m^3. Hochfester Beton Beton mit einer Festigkeitsklasse von >C50/60 bzw. LC50/55. Faserbeton Beton mit Stahlfasern oder Kunststofffasern hergestellt.	

Weitere Betonarten Sickerbeton (nicht normiert nach Norm SN EN 206-1) Beton ohne Sand hergestellt. Durch das Fehlen des Mörtelanteils entstehen grosse, durchgehende Poren im Beton, durch die Wasser ablaufen kann. Magerbeton (nicht normiert nach Norm SN EN 206-1) Beton, der nicht nach Festigkeit klassifiziert wird und einen reduzierten Zementgehalt aufweist. Für Fundationen und untergeordnete Betonarbeiten, meist Beton ohne Bewehrung.	

Gesteinskörnung Bisher wurden Bezeichnungen wie Zuschläge, Zuschlagstoffe oder Mineralstoffe verwendet. Nach der neuen Norm werden Sand und Kies als Gesteinskörnungen bezeichnet. Betonhersteller verwenden in der Regel ein Gemisch aus den folgenden Körnungen: – Rundsand 0/4 mm und Brechsand 0/4 mm, Kies 4/8 mm und 8/16 mm (Feinkies), 16/32 mm und 32/45 mm (Grobkies). Dieses Gemisch aus unterschiedlichen Korngrössen («Sieblinie») bildet das Gerüst des Betons und sollte möglichst mit hoher Packungsdichte aufgebaut sein. Die Gesteinskörnung beeinflusst die meisten Frisch- und Festbetoneigenschaften. Eine normale Sieblinie enthält als Faustregel ca. 1/3 Sand, 1/3 feiner Kies und 1/3 grober Kies. Pumpbetone und Fliessbetone haben einen erhöhten Sandanteil zur Verbesserung der Pump- und Fliesseigenschaften. Wichtig ist auch der Feinanteil (<0,125 mm) in der Sandfraktion. Zusammen mit dem Zement und eventuellen Zusatzstoffen wird dieser Anteil als Mehlkorn bezeichnet. Er sorgt für ein gutes Wasserrückhaltevermögen im Beton und reduziert die Entmischungsgefahr. Der Mehlkorngehalt sollte bei einem Beton mit Grösstkorn 32 mm mindestens 350 kg/m^3 betragen.	
Zement Der Zement ist das Bindemittel des Betons. Er hydratisiert, d.h. er reagiert mit dem Wasser («Zementleim») und verbindet dadurch die einzelnen Körner des Gerüstes aus Sand und Kies. Der erhärtete Zementleim ist verantwortlich für die meisten Betoneigenschaften wie Festigkeit, Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit. Zement ist ein hydraulisches Bindemittel: Er braucht Wasser zur Erhärtung, erhärtet an der Luft wie auch unter Wasser und ist in festem Zustand absolut wasserbeständig, d.h. unlöslich. Zemente werden klassifiziert und gekennzeichnet entsprechend ihrer Zusammensetzung und Festigkeitsentwicklung. Wir kennen in der Schweiz verschiedene Zementarten Die für Sichtbeton gebräuchlichsten Zemente sind: Portlandkalksteinzement Portlandzement Portlandhüttenzement Hochofenzement Die Betonnorm SN EN 206-1: 2000 [5] regelt im Anhang NA3, welche Zemente in der Schweiz in Abhängigkeit der Expositionsklasse grundsätzlich eingesetzt werden dürfen.	

Wasser (Zugabewasser)

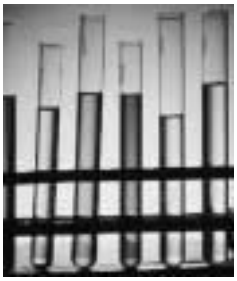
Damit der Beton verarbeitet werden kann und der Zement erhärtet, braucht er Wasser. Ist der Beton zu trocken, kann er nicht richtig und genügend verdichtet werden. Wenn zu viel Wasser vorhanden ist, wird der Beton porös, d.h. wasserdurchlässig. Festigkeit und Dauerhaftigkeit sind stark reduziert. Der Wassergehalt eines guten Betons liegt zwischen 40 und 60 M-% des Zementgehalts (Wasser/Zement-Wert 0,4 bis 0,6). Bei einem wasserundurchlässigen Beton liegt der Wasser/Zement-Wert (w/z) unter 0,5. Für die Betonherstellung wird Frischwasser (Trink- oder Leitungswasser) oder geprüftes Restwasser verwendet.

Zusatzmittel

Zusatzmittel sind Chemikalien, die dem Beton in kleinsten Mengen (ca. 0,2 bis 2 % der Zementmasse) beigemischt werden und durch ihre chemische und/oder physikalische Wirkung die Eigenschaften des frischen oder festen Betons verändern. Dies betrifft speziell die Verarbeitbarkeit («Verflüssigung»), das Abbinden und das Erhärten des Betons, den Frostwiderstand usw.

Die wichtigsten Zusatzmittelgruppen in der Schweiz sind:

- Verflüssiger und Fliessmittel BV, FM
- Luftporenmittel LP
- (Abbinde-)Verzögerer VZ
- (Erstarrungs-)Beschleuniger SBE
- (Erhärtungs-)Beschleuniger HBE



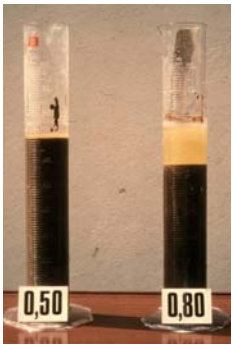
Zusatzstoffe

Betonzusatzstoffe sind feinkörnige, mineralische Stoffe, die bestimmte Eigenschaften des Betons verbessern können: die Verarbeitbarkeit, die Festigkeit und die Dichtigkeit des Betons. Zusatzstoffe können chemisch inert oder reaktiv sein. Letztere bilden unter bestimmten Voraussetzungen zementhydratähnliche Stoffe und erhöhen dadurch Festigkeit und Dichtigkeit des Betons.

Wichtigste Zusatzstoffe in der Schweiz sind:

- Gesteinsmehle, Füller: Kalksteinmehl, Quarzmehl
- Steinkohlenflugasche puzzolanisch
  reaktiver Stoff gemeinsam mit Zement
- Silikastaub
  reaktiver Stoff gemeinsam mit Zement
- Hüttensand latent hydraulisch
  reaktiver Stoff gemeinsam mit Zement, beigemahlen
- Faser inert
  Kunststoff- oder Stahlfasern, zur Reduktion von Frühschwindrissen oder Einsparung der Stabbewehrung
- Farbpigmente inert
  Zum Einfärben von Beton, je nach gewünschter Farbintensität auch in Kombination mit Weisszement

Der Einsatz von Zusatzstoffen bedingt grosses Wissen und viel Erfahrung des Betonherstellers, damit der erwünschte Effekt erreicht werden kann. Betone mit reaktiven Zusatzstoffen bedürfen einer guten, konsequent durchgeführten und langen Nachbehandlung, damit die Stoffe reagieren können.

Beton nach Zusammensetzung Wird im Normalfall nicht empfohlen, da der Besteller (Planer) für die Zusammensetzung (Rezeptur) verantwortlich ist. Wird ein Beton nach Zusammensetzung gewünscht, sind vorgängig Versuche mit Hilfe eines Betonwerks oder Labors durchzuführen. Eine Erstprüfung muss nach SN EN 206-1 „Anforderungen an eine Erstprüfung für Beton“ durchgeführt werden. Im Leistungsverzeichnis sind die grundlegenden Anforderungen und die Kosten für die Erstprüfung nach SIA Norm 262 [2] zu beschreiben.	
Wasser/Zement-Wert Der Wasserzementwert gibt einen Anhaltspunkt für die Gleichmässigkeit der Zusammensetzung des Betons. Der Wassergehalt bzw. der Wasser/Zement-Wert (w/z) beeinflusst die Betonqualität und -dauerhaftigkeit sowie die Verarbeitbarkeit massgeblich. Beim Sichtbeton liegt der ideale Wasser/Zement-Wert unter 0.50. Ist der Wasser/Zement-Wert zu tief, wird die Hydratation gestört, ist er zu hoch, entstehen Kapillarporen mit Wasser. Dieses Restwasser verdunstet mit der Zeit (Abschwinden) und zurück bleiben kleine Hohlräume, die an der Betonoberfläche als Lunker erkennbar bleiben. Der Wasser/Zement-Wert ist bei jeder Mischung genau einzuhalten, da eine Abweichung von +/- 0.02 schon erkennbare Farbunterschiede bei glatten Sichtbetonoberflächen bewirkt. Der Gesamtwassergehalt sollte so niedrig wie möglich gehalten werden.	
Konsistenz Die Betonnorm SN EN 206-1 [5] lässt in der Schweiz die Wahl zwischen den folgenden drei Prüfverfahren für die Konsistenzmessung: Ausbreitmass, Verdichtungsmass (Walz) und Setzmass (Slump). Wir beschreiben die beiden in der Deutschschweiz gebräuchlichsten Verfahren. Ausbreitmass (AM) Prinzip Das Ausbreitmass erlaubt die Ermittlung der Konsistenz von weichen Frischbetonen. Beim Ausbreitversuch wird eine in vorgeschriebener Art und Weise eingefüllte und verdichtete, kegelstumpfförmige Betonmenge durch Formveränderungsarbeit zu einem Kuchen verformt. Der plastische bis flüssige Beton breitet sich dabei kreisförmig aus. Der mittlere Durchmesser des Kuchens in Millimetern gilt als Mass für die Konsistenz (Verarbeitbarkeit, Verformbarkeit, Beweglichkeit, Verdichtungswilligkeit). Auswertung und Beurteilung Das Ausbreitmass (AM) wird nach der Formel AM = d = (d1 + d2) / 2 berechnet und ist auf 10 mm gerundet anzugeben. Der Beton ist auf Grund des Messresultates in eine Konsistenzklasse nach SN EN 206-1 [5] einzuteilen.	

Ausbreitmassklassen

Klasse	Ausbreitmass in mm	
F11	<340	steif
F2	350 bis 410	plastisch
F3	420 bis 480	weich
F4	490 bis 550	sehr weich
F5	560 bis 620	fliessfähig
F61	>630	sehr fliessfähig

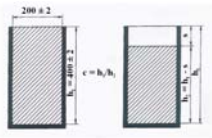
[1] **Verfahren für diese Betonkonsistenz nicht empfohlen (Dünn)**

Die richtige, der Bewehrungsdichte und dem Bauteil angepasste Konsistenz, ist bei der Herstellung von Sichtbeton eine wichtige Voraussetzung.

Verdichtungsmass (VM)

Prinzip

Das Verdichtungsmass nach Walz erlaubt die Ermittlung der Konsistenz von steifem (erdfeuchtem) bis weichem Frischbeton.
Beton wird in vorgeschriebener Art und Weise lose in einen normierten Behälter eingefüllt, abgezogen und anschliessend mittels Vibrator möglichst vollständig verdichtet.
Die Einfüllhöhe (Behälterhöhe) dividiert durch die Höhe des verdichteten Betons wird als Verdichtungsmass bezeichnet.



Auswertung und Beurteilung

Das Verdichtungsmass c wird nach der Formel c=h1/(h1-s) berechnet und auf 2 Dezimalstellen gerundet angegeben. Der Beton ist auf Grund des Messresultates in eine Konsistenzklasse nach SN EN 206-1 [5] einzuteilen.

Verdichtungsmassklassen

Klasse	Verdichtungsmass	
C0[1]	>1,46	sehr steif
C1	1,45 bis 1,26	steif
C2	1,25 bis 1,11	plastisch
C3	1,10 bis 1,04	weich

[1] Verfahren für diese Betonkonsistenz nicht empfohlen

Eine gleichmässige Konsistenz ist massgebend für die Erzielung hochwertiger Sichtbetone.

3.2.3.2 Beschrieb Betoniervorgang

Das richtige Einbringen des Betons in die Schalung ist eine wichtige Voraussetzung für das Erreichen einer hohen Sichtbetonqualität und ist im Kapitel 3.3.5 Betonarbeiten beschrieben.	

3.2.3.3 Betontransport

Der Besteller (Beton) stimmt mit dem Hersteller (Betonwerk) die Lieferabstände, die Förderart und die Zufahrtsmöglichkeiten ab. Es sind Betonwerke mit einer kurzen Anfahrt zu wählen, um Qualitätseinbussen zu vermeiden, denn der Transport bringt die Gefahr einer gewissen Entmischung. Für Sichtbeton sind immer Fahrmischer einzusetzen, um den Beton während des Transports vor Regen, Sonneneinstrahlung, Fahrtwind, Frost usw. zu schützen. Transportbeton ist möglichst sofort nach der Anlieferung zu verarbeiten. Der Beton ist nach Ankunft auf der Baustelle unmittelbar vor dem Entladen 1 bis 2 Minuten durchzumischen. Bei der Übergabe des Betons muss die vereinbarte Konsistenz vorhanden sein. Eine nachträgliche Wasserbeigabe ist zu unterlassen. Die Sauberkeit, vor allem bei hellem Beton von Werk, Fahrmischer, Krankübel, Werkzeug darf nicht vernachlässigt werden. Das Vorgehen bei Ausfall vom Betonwerk ist vorgängig zu vereinbaren (Ersatzlieferwerk). Diese Position und der Einsatz eines Fahrmischers ist speziell im Leistungsverzeichnis zu erwähnen.	

3.2.3.4 Betonieretappen

Die Betonieretappen für den Rohbau sind für jedes Bauteil genau zu definieren und zu beschreiben. Wenn ein PQM (Projekt-Qualitäts-Management) für Sichtbeton besteht, ist im Leistungsverzeichnis darauf hinzuweisen. Die SIA-Normen sind einzuhalten.	

3.2.3.5 Beton Nachbehandlung

Feuchthalten Das beste Mittel die Betonoberfläche feuchtzuhalten ist ein längeres Vorhalten der Schalung. Ist dies nicht möglich, kann die Oberfläche mit Folien abgedeckt werden. Es ist darauf zu achten, dass die Folien, Bretter usw. in der Regel nicht direkt auf oder an der Betonoberfläche liegen, da dies zu Farbunterschieden führen kann. Je nach Witterung und Jahreszeit können Folien, die direkt den Beton berühren, auch zu keinen Farbunterschieden der Oberfläche führen. Das Feuchthalten bei vertikalen Flächen ist sehr gefährlich. Es darf kein Wasser zum Feuchthalten eingesetzt werden, da Ausblühungen, Verfärbungen und Auswaschen der Betonoberfläche entstehen können. Zugluft ist zu vermeiden.	
Kantenschutz (mechanischer Schutz z.B. scharfer Kanten) Sichtbetonbauten werden oft scharfkantig ausgeführt. Nach dem sorgfältigen Ausschalen sind alle Kanten sofort zu schützen, da die Gefahr von mechanischen Beschädigungen gross ist. Das Schützen kann mit Holz oder Gipserwinkeln erfolgen. Diese Position ist speziell im Leistungsverzeichnis zu erwähnen.	
Abdecken Das Abdecken der Anschlussbewehrungen mit Folien und Brettern schützt einerseits vor Rostfahnen und anderseits vor Verschmutzung der ausgeschalten Betonoberfläche. Das Abdecken von Anschlussbewehrungen und Betonoberflächen ist im Leistungsverzeichnis speziell zu erwähnen.	 Folien hochgerollt für Besichtigung

3.2.3.6 Beton Bearbeitung

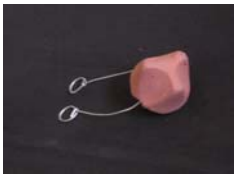
Nachträgliche Bearbeitung der Betonoberfläche Im Leistungsverzeichnis sind die gewünschten Anforderungen des Bauherrn an die Bearbeitung des Betons eindeutig zu beschreiben. Die Umsetzung und Realisierbarkeit muss vor der Ausschreibung genau geplant und abgeklärt werden. Die Verantwortlichkeiten aller Beteiligten, die Schnittstellen sowie die Qualitätssicherungsmassnahmen sind im Leistungsverzeichnis klar festzulegen.	

3.2.4 Beschrieb Bewehrung

3.2.4.1 Geeignete Abstandhalter

Die Wahl der geeigneten Abstandhalter hängt von der Stärke der Bewehrung, der Anzahl Bewehrungslagen, der Schalhaut und der Anordnung ab. Zu wenig Abstandhalter führen zu Eindrücken (Dellen) oder Verfärbungen in der Schalhaut und bleiben nach dem Ausschalen erkennbar. Die Erfahrung zeigt, dass punktuelle Abstandhalter zu weniger Rissen führen als lineare Abstandhalter.	

3.2.4.2 Farbliche Abstimmung Abstandhalter mit Betonrezeptur

Die Auflagepunkte der Abstandhalter sind im Allgemeinen an der Betonoberfläche erkennbar. Die farbliche Abstimmung der Abstandhalter mit der Betonrezeptur ist im Leistungsverzeichnis zu beschreiben.	

3.2.4.3 Rostverfärbungen infolge Bewehrung

Bei hellen Sichtbetonbauteilen ist das spezielle Abdecken und schützen gegen Rostverfärbungen infolge der Bewehrung im Leistungsverzeichnis zu erwähnen. Der Herstellende soll die Massnahmen zur Vermeidung von Rostverfärbungen kurz beschreiben.	 → SB2

3.2.4.4 Sorgfältiger Einbau Bewehrung (ohne Verletzung der Schalhaut)

Der sorgfältige Einbau der Bewehrung ohne Verletzung der Schalhaut, ist bei anspruchsvollen Sichtbetonbauten (vgl. mit Tabellen Seite 4) dem Herstellenden zu vergüten und im Leistungsverzeichnis auszuweisen.	

3.2.4.5 Einbringhilfen wie Trichter etc.

Bei schlanken, hohen Bauteilen sind Einbringhilfen wie Trichter, Schüttrohre oder Schläuche sinnvoll und hilfreich, um Entmischungen des Betons zu vermeiden. Im Leistungsverzeichnis ist diese Position mit einer Prinzipskizze auszuweisen.	→ SB2

3.2.4.6 Einfüllen von Beton

Die Bewehrung ist so zu konstruieren, dass Platz für Einbringhilfen wie Trichter und Schüttrohre sowie für die Vibriernadel vorhanden ist.	

3.2.4.7 Korrosionsschutz

Bei Verwendung von Weisszement und hellen Zuschlagsstoffen ist ein Korrosionsschutz der Bewehrung (Beschichtung oder rostfrei) nötig, um Rostspuren zu verhindern. Diese Massnahmen sind im Leistungsverzeichnis zu beschreiben.	

3.2.5 Beschrieb PQM

Das PQM-Sichtbeton regelt diverse Abnahmen und diverse Kontrollen zwischen allen am Bau Beteiligten, sowie die einzelnen Zuständigkeiten. Das PQM-Sichtbeton ist im Kapitel 3.3.7 PQM Sichtbeton beschrieben. Es ist dem Leistungsverzeichnis beizulegen und soll vertraglich eingebunden werden.

ZIEL: Der Baumeister offeriert klar umschriebene Leistungen

3.3 Bauausführung

Dieses Modul dient dazu, dem Baumeister und allen weiteren Beteiligten Hilfen für eine saubere Ausführung in Form von Empfehlungen und Checklisten zur Verfügung zu stellen:

3.3.1 Allgemeine Bemerkungen und Hinweise

In diesem Kapitel wird auf die psychologischen und technischen Fragen eingegangen, die sich bei der Ausführung von Sichtbetonbauten stellen können. Der Planende muss alles unternehmen, um den Herstellenden und alle weiteren am Bau Beteiligten zu unter-

stützen. Regelmässige Besprechungen auf der Baustelle, Kontrollen und die gemeinsame Korrektur sind für eine saubere Ausführung unerlässlich.

3.3.1.1 Alle am Bau Beteiligten motivieren und instruieren

Vor Baubeginn sind die am Bau Beteiligten zu motivieren und zu instruieren, um bei der Ausführung eine befriedigende Qualität zu erhalten. Es ist sinnvoll, kurz das Projekt und die architektonische Idee darzustellen und die gestalterischen Anforderungen an die Betonoberfläche klar zu kommunizieren. Oft sind die Bauarbeiter nicht oder ungenügend orientiert, dass ein Projekt in Sichtbeton auszuführen ist. Das Instruieren des Poliers durch die Planenden und das Vorbesprechen der Arbeiten bis ins Detail fördert das Verständnis für die Anforderungen. Es ist wichtig, die Erfahrungen des Ausführenden ins Projekt einfliessen zu lassen sowie den Wissenstransfer von anderen Baustellen und Unternehmern zu fördern.	

3.3.1.2 Psychologische Aspekte der Ausführenden beachten

Die psychologischen Aspekte in Bezug auf die Bauarbeiter und den Polier dürfen nicht vernachlässigt werden, denn sie sind es, die die Ideen der Planenden umsetzen. Es ist nahe liegend, dass motivierte Bauteams bessere und präzisere Arbeit liefern und so ihren Berufsstolz wiederentdecken. Es ist zum Beispiel besser, den Polier mit Gesprächen selbst dazu zu bringen, eine schlecht ausgeführte Sichtbetonwand abzubrechen, als dass er vom Planenden dazu gezwungen wird. Die besten Bauteamerfahrungen werden mit folgendem Vorgehen erreicht: – jeder Ausführende hat seine Funktion und übernimmt dafür die Verantwortung: z.B. immer der Gleiche vibriert die Wände, denn jeder trägt seine „eigene Handschrift“. – immer der gleiche Ausführende übernimmt die Verantwortung für den Kantenschutz und die Abdeckarbeiten auf der ganzen Baustelle und dies während der ganzen Bauzeit. – ein Anderer prüft vor jedem Einsatz die Schalung und die Schalhaut auf Verformungen und Beschädigungen und übernimmt die Verantwortung, dass das Schalmaterial fachgerecht gelagert und geschützt wird. – der Polier koordiniert und trägt die Gesamtverantwortung, und ist für die Sauberkeit auf der Baustelle zuständig. – Qualitätsprüfung Beton: Eingangskontrolle, Konsistenzmessung etc. wird immer durch Polier überwacht. – die Planenden sollen kritisieren, aber auch loben, wenn Bauteile sauber ausgeführt werden. – die Wertschätzung von Bauherrn und Planenden den Ausführenden gegenüber soll gezeigt werden.	

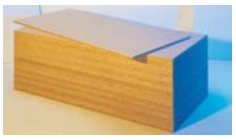
3.3.1.3 Technische Aspekte

Für die weitsichtige Projektierung von Sichtbetonbauten hilft nicht nur die Erfahrung, sondern auch ein eingespieltes Sichtbetonteam. Zwei bis drei Wochen vor Beginn der Sichtbetonarbeiten muss für die Qualitätssicherung ein PQM-Sichtbeton erstellt werden, das die Koordination des Bauablaufs sowie die Kommunikation zwischen allen Beteiligten regelt. Um die Anforderungen an die Bauausführung zu erreichen, können die nachfolgenden Kapitel als eine Art Check-Liste verstanden werden. Sichtbetonteam – das Sichtbetonteam besteht aus Bauherr, Architekt, Bauingenieur, Bauarbeiter, Baumeister, Polier und Betonwerk. – innerhalb des Sichtbetonteams ist es wichtig, professionell mit Kritik umzugehen und Probleme gemeinsam zu lösen. – vor Baubeginn sollen die Anforderungen an die Sichtbetonoberflächen und die Materialkomponenten festgelegt sein. – vor Baubeginn sollen die finanziellen Belange geregelt sein. – das Sichtbetonteam akzeptiert vor Baubeginn das PQM-Sichtbeton.	

ZIEL: Ein motiviertes Sichtbeton-Bauteam,
dass die vorgegebenen Rand- und Rahmenbedingungen erfüllt

3.3.2 Schalarbeiten

3.3.2.1 Schalungen geschützt lagern

Sämtliche Schalungen sind vor Verformungen, Verschmutzung und UV-Licht zu schützen und gleichartig zu lagern. Durch Witterungseinflüsse können Holzinhaltstoffe, wie z.B. Holzzucker, Phenole und Gerbsäure, aus dem verwendeten Schalungsholz heraustreten und verzögernd auf die Hydratation des Zementes in der Kontaktfläche Schalhaut/Beton einwirken. Die Auswirkungen auf die Betonoberfläche zeigen sich durch Abmehlen und unterschiedliche Farbtönungen der betreffenden Bereiche.	

3.3.2.2 Zeitspanne zwischen Erstellen der Schalung und dem Betoniervorgang

Wichtig ist eine möglichst kurze Zeitspanne zwischen dem Fertigstellen der Schalungsarbeiten und dem Beginn der Betonierarbeiten anzustreben, um eine Verkürzung der Schalungsstandzeit zu erreichen.	

3.3.2.3 Dichte Schalung

Die Schalung, die Schalhaut, die Schalungsstösse und die Schalungsetappen sind mit geeigneten Massnahmen zu dichten. Sämtliche Anschlüsse wie Boden/Wand, Decke/Wand, etc. sind ebenfalls mit geeigneten Massnahmen zu dichten. Scharfe Werkzeuge, dünne Fräse → Präzision!	

3.3.2.4 Saubere und unbeschädigte Schalung

Es dürfen nur saubere und unbeschädigte Schalungen verwendet werden. Vor jedem Einsatz sind die Schalungen und die Schalhaut auf Verformungen und Beschädigungen zu prüfen.	
Bereits erstellte Schalungen und das bereits aufgetragene Trennmittel sind vor Verschmutzung (Blütenstaub, Baustaub, Erde, Sägemehl) und vor Feuchte (Regen) zu schützen.	

3.3.2.5 Frischbetondruck

Um die Schalungskonstruktionen richtig bemessen zu können, ist neben der Beachtung der verschiedenen Anforderungen an die Schalung vor allem der beim Einbringen des Frischbeton von ihm auf die Schalung ausgeübte „hydraulische“ Druck zu berücksichtigen. Der Frischbetondruck ist u.a. abhängig von: – der Einbaugeschwindigkeit – der Konsistenz – der Frischbetonrohdichte – der Erstarrungszeit – der Art der Verdichtung und – der Vibriertiefe und -dauer Die Zusammenhänge zwischen dem Frischbetondruck auf die Schalung, der Steiggeschwindigkeit beim Einbringen und der Konsistenz der Betonmischung sind zu beachten, um Verformungen der Schalungskonstruktion zu vermeiden.	 → SB2

3.3.2.6 Inspektion vor dem Betonieren

Vor dem Betonieren ist die Schalung für sichtbar bleibende Betonoberflächen und Sichtbetonoberflächen durch den Unternehmer und den Bauleiter abzunehmen. Folgende Anforderungen sind zu prüfen: – Massgenauigkeit – Dichtigkeit – Steifigkeit, keine Deformationen – Bindstellen (Typ, Lage, Anzahl) – Sauberkeit – Oberflächenstruktur – Kombination verschiedener Systeme vermeiden	

3.3.2.7 Reinigen der Schalung

Das sorgfältige Reinigen der Schalung soll bei Sichtbetonbauten immer mit einer visuellen Kontrolle der Schalhaut auf Beschädigungen und Verformungen abgeschlossen werden. Die gereinigten Schalungen sind gleichartig zu lagern und gegen Witterungseinflüsse und Verschmutzung zu schützen.	

3.3.2.8 Nachfolgende Betonieretappen

Bei nachfolgenden Betonieretappen können auf der bereits erstellten Betonieretappe Verschmutzungen durch das Auslaufen von Zementleim und -mörtel entstehen. Im frischen Zustand können diese Verschmutzungen mit Wasser und Schwamm problemlos entfernt werden.	

3.3.2.9 Wiederverwendung der Schalung

Die Wiederverwendung von Schalungen ist sinnvoll, wenn folgendes beachtet wird: Bereits verwendete Schalungen sind auf Verformungen und Beschädigungen zu prüfen. Die Kombination von bereits verwendeten Schalungen mit neuen Schalungen soll vermieden werden, denn neue Schalungen die der Witterung ausgesetzt sind, schädigen die Betonoberfläche im Normalfall mehr, als schon einmal oder mehrmals verwendete Schalungen. Durch künstliches Altern, bei dem die Schalflächen mit Zementleim (w/z = 0,8 - 1,0) bestrichen werden, schliessen sich die Poren des Holzes teilweise, so dass eine gleichmässigere Betonsichtfläche entstehen kann. Kurz nach dem Zementleimauftrag ist dieser jedoch mit Wasser oder mechanisch durch Abbürsten, wieder zu entfernen, damit diese Schicht später nicht an der Betonoberfläche haftet. Die Schalhaut muss anschließend, mit einem Trennmittel behandelt werden. Die Erfahrung zeigt,	

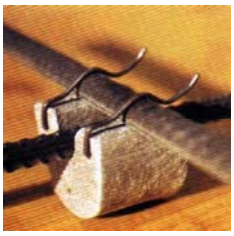
dass auch ohne Trennmittel gute Betonsichtflächen entstehen. Es empfiehlt sich, Vorversuche durchzuführen.	

3.3.3 Bewehrungen

3.3.3.1 Sinnvoll und richtig konstruktiv Bemessen

Bewehrungen für Sichtbetonbauteile sind nach der gültigen SIA-Norm 262 „Betonbau“ [2] zu bemessen und nach den Regeln der Baukunde zu konstruieren. Die Betonstähle sind vor dem Verlegen und Betonieren von Schmutz, Erde, Fett, Farbanstrichen und Mörtelresten zu reinigen. Die in den Plänen vorgeschriebene Lage bzw. Überdeckung der Bewehrung inklusive der Bindedrähte ist beim Betonieren unter Berücksichtigung der Ausführungstoleranzen durch eine genügende Anzahl geeigneter Abstandhalter sicherzustellen.	

3.3.3.2 Druckstellen durch Abstandhalter vermeiden

Bleibende Druckstellen durch Abstandhalter in der weichen Schalhaut sind zu vermeiden. Die Art und Anzahl der Abstandhalter sind von der Bewehrung und der geometrischen Form abhängig. Die Farbe der Abstandhalter ist mit der Betonrezeptur abzustimmen. Als Distanzhalter für sichtbar bleibende Betonoberflächen ist der Typ ohne Kunststoff-Fuss für Decken besonders geeignet (Lage zwischen unterer und oberer Bewehrungslage).	 → SB2

3.3.3.3 Rostverfärbungen

Rostverfärbungen durch lange Baustillstandzeiten (Wochenende, Feiertage) oder starke Niederschläge auf Deckenschalungen sind vor dem Betonieren zu säubern. Die Anschlusseisen sind immer abzudecken, um Rostverfärbungen zu verhindern. Die Binddrähte sind immer nach innen abzubiegen und sie dürfen die Schalhaut nie berühren (Einhaltung der geforderten Bewehrungsüberdeckung, je nach Exposition). Bei jeder Bewehrungsabnahme ist dies zu kontrollieren, um punktuelle Rostflecken, die auch erst nach Jahren auftreten können, zu vermeiden.	 → SB2

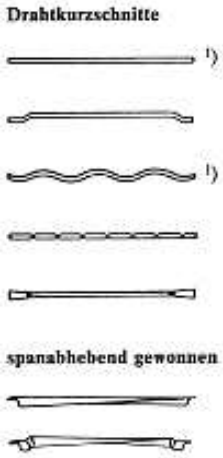
3.3.3.4 Unverrückbare Bewehrung

Die Bewehrung und Einbauteile sind unverrückbar zu befestigen. Die beim Betonieren auftretenden Kräfte müssen aufgenommen werden können. Bei vertikalen Bauteilen sind genügend Binddrähte und Distanzeisen zu verwenden um eine genügende Robustheit der Bewehrung zu erreichen und um die je nach Exposition geforderte Bewehrungsüberdeckung einzuhalten..	
Beim Vorfertigen sind Körbe für Stützen und dergleichen zu robusten Bewehrungen zu binden, damit sie Krantransporte zur Einbaustelle unbeschadet überstehen.	

3.3.3.5 Platz für Einbringhilfen und Vibrator

Bei engen Platzverhältnissen sind Zeichnungen im Massstab 1:1 hilfreich, um die Machbarkeit zu überprüfen.	

3.3.3.6 Faserbewehrungen

Es gibt verschiedene Arten von Faserbewehrungen: Stahlfasern, Kunststofffasern und Glasfasern. Bei der Witterung ausgesetzter (Aussenbereich) Sichtbetonbauteile und bei Feuchträumen ist auf die Verwendung von Stahlfasern zu verzichten, da an der Betonoberfläche Rostflecken auftreten können. Bei Kunststoff- und Glasfasern ist wichtig zu wissen, dass die Fasern zum Teil erkennbar bleiben.	

3.3.3.7 Koordination mit Haustechnik und anderen Arbeitsgattungen

Die Haustechniker und sämtliche Dritthandwerker sind möglichst frühzeitig zu informieren, dass es sich um einen Sichtbetonbau handelt und die Schalhaut sorgfältig zu behandeln ist. Die Bedürfnisse der Haustechnik sind rechtzeitig zu erfassen und einzuplanen. Einlagen und Aussparungen, Einlagen von Dritten und spezielle Detaillösungen sind mit den zuständigen Planern vor Baubeginn zu erfassen und einzubringen. Durch zu grosse und/oder zuviele Rohreinlagen (abhängig von der Bauteildicke) können Risse in den Decken und Wänden entstehen. Sämtliche Einlageteile und Detaillösungen sind sorgfältig zwischen den Planenden und Ausführenden rechtzeitig zu besprechen.	

3.3.3.8 Schutz von Spezialbewehrungen

Spezialbewehrungen, Stützenkopfverstärkungen etc. sind sorgfältig gegen das Kippen zu sichern. Um die Schalung gegen Rostverfärbungen zu schützen, sind geeignete Massnahmen (Abdecken, Absaugen von Rostwasser, Reinigen von Hand) mit dem Ausführenden zu vereinbaren.	
Rollbewehrungen können mit speziellen Bewehrungsprogrammen der Lieferanten geplant werden. Beim Verlegen von ganzen Rollen ist darauf zu achten, dass die Schalhaut nicht verletzt wird.	

3.3.4 Trennmittel

3.3.4.1 Einfluss Trennmittel

Die Aufgabe der Trennmittel ist es, das einwandfreie Lösen der Schalung von der Betonoberfläche sicherzustellen. Durch diese Mittel können Schäden, die oft beim Ausschalen gerade von anspruchsvoll gestalteten Sichtbetonflächen vor allem an den Kanten und Ecken entstehen, weitgehend vermieden werden. Das Aussehen der Betonflächen wird verbessert und unschöne Nachbesserungen entfallen. Die Trennmittel dienen ausserdem als Schutz für die Schalung selbst und das verwendete Schalungsmaterial. Bei mehrfachem Schalungseinsatz ist dies besonders wichtig. Fleckenbildungen sowie unterschiedliche Grautönungen auf Sichtbetonflächen sind häufig auf unsachgemässes Auftragen der Trennmittel zurückzuführen. So kann das Auftragen von Hand bei Wachsen und Pasten, die wegen der flüchtigen Lösungsmittel nachträglich erhärten, zu einer Abzeichnung von Wischspuren auf der Betonflä-	 Auftragen von Trennmittel → SB3, SB4

che führen. Daher ist es in diesem Fall vorteilhafter, mechanische Hilfen, wie z.B. Bohnergeräte oder Polierscheiben, zu verwenden. Bei flüssigen Trennmitteln werden i.d.R. Sprühgeräte vorteilhaft eingesetzt. Die Angaben der jeweiligen Schalungshersteller über geeignete Trennmittel und ihre Anwendung sind grundsätzlich zu beachten. Die Hinweise der Trennmittelhersteller zur Verarbeitung ihrer Produkte müssen auf der Baustelle bekannt sein und eingehalten werden. Das geeignete Trennmittel kann anhand von Proben an der Musterfläche unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren gemäss Forschungsarbeit cemsuisse SB3 [6] und SB4 [7] ermittelt werden.	

3.3.5 Betonarbeiten

Bei speziellen Betonarbeiten ist es unerlässlich, Vorgespräche mit dem Transport-/ Ortsbetonwerk wie über den benötigten Zeitbedarf, die Werkskapazitäten, die Transportkapazitäten und die möglichen Betonrezepturen zu führen.

Das richtige Einbringen des Betons in die Schalung ist eine wichtige Voraussetzung für das Erreichen einer hohen Sichtbetonqualität. Dabei sind folgende Aspekte zu beachten:

3.3.5.1 Herstellen und Einbringen des Betons

Es ist zu beachten, dass bei jeder Mischung ungeachtet der Schwankung der Eigenfeuchte der Gesteinskörnung der gleiche Wasserzementwert eingehalten wird. Deshalb sollen die Mischzeiten für Sichtbeton möglichst gleichmässig sein (mindestens 60 Sekunden).	
Die Frischbetontemperaturen für Sichtbeton sollen möglichst gleichmässig sein, da eine unterschiedliche Reaktionszeit eine unterschiedliche Farbtönung verursachen kann.	 Betonthermometer
Der Beton soll in vertikalen Bauteilen nicht gegen die Schalung sondern immer mittig zwischen die Bewehrungslagen eingebracht werden. Das Einbringen kann mit Pumpe, Krankübel oder Trichter (Schüttrohr) erfolgen. Selbstverdichtender Beton (SVB) kann sowohl von unten, wie auch von oben eingebracht werden.	

3.3.5.2 Freie Fallhöhen und Schüttlagenhöhe

Der Beton ist gleichmässig in gleich hohen Lagen einzubringen und zu verdichten. Eine Schüttlage soll im Normalfall nicht mehr als 50 cm betragen. Bei dichten Bewehrungen und engen Bauteilen soll die Schüttlage kleiner als 30 cm sein. Die freie Fallhöhe des Frischbetons soll nicht mehr als 1.0 m betragen. Bei vertikalen Bauteilen hängt die freie Fallhöhe des Betons von der Bauteilstärke ab. Auf der Baustelle kann die freie Fallhöhe auch 1.5 bis 2.0 m betragen. Bei grösseren Fallhöhen sind Trichter und Schüttrohre zu verwenden. Die Schüttrohre müssen zwischen die Bewehrungslagen passen.	

3.3.5.3 Verdichten

Vibrierter Beton Gutes Verdichten ist die Voraussetzung für einen dauerhaften Beton. Beton wird in der Regel durch vibrieren verdichtet. Das Vibrieren erfolgt am häufigsten mit Vibriernadeln oder mit Aussenrüttlern (Schalungsvibratoren, Oberflächenfertiger mit Flächenvibratoren). Durch das Vibrieren des Betons wird die beim Mischen und Einbringen eingefangene Luft nach oben getrieben. Die Vibriernadel ist so einzutauchen, dass sich die Wirkungskreise immer überschneiden. Wird Beton in mehreren Schichten „frisch in frisch“ eingebracht, ist ein schnelles Eintauchen von 10 bis 15 cm in die letzte Lage und ein langsames Hochziehen der Vibriernadel wichtig. Das Vibrieren und Verdichten hat möglichst gleichmässig und in kleinen Lagen zu erfolgen. Der Beton soll nicht mit der Vibriernadel verteilt werden (Verletzung der Schalhaut). Zudem ist das Rütteln beim Vibrieren an der Bewehrung zu unterlassen. Das Vibrieren ist zu beenden, sobald sich an der Oberfläche eine dünne Feinmörtelschicht gebildet hat und grössere Luftblasen nur noch vereinzelt austreten. Ein Nachverdichten der obersten Lagen bei vertikalen Bauteilen kann sich positiv auf die Lunkerbildung auswirken. Als Faustregel entspricht der Abstand der Eintauchstelle dem 8 bis 10-fachen Durchmesser der Vibriernadel (z.B. bei Vibriernadel mit 50 mm beträgt der Abstand ca. 400 mm). Selbstverdichtender Beton (SVB) Im Gegensatz zum vibrierten Beton entfällt bei selbstverdichtendem Beton der Einsatz von Vibriernadeln.	 → SB2

3.3.5.4 Witterungseinflüsse

Die Witterungseinflüsse können das Resultat des Betonierens für Sichtbeton stark beeinflussen. Regenwetter erhöht bei Extremfällen den Wassergehalt und verschlechtert somit Gefüge und Struktur des Betons. Grundsätzlich ist Niederschlagswasser immer zu entfernen (mittels Absaugen) oder von Anfang an fernzuhalten. Betonieren im Winter bei tiefen Temperaturen birgt verschiedene Gefahren, wie das Absinken der Frischbetontemperatur unter den Gefrierpunkt, Kalkausblühungen, stärkere Grautonunterschiede, grosser Wärmeverlust, Luftzug und übermässiges Bluten des Betons. Bei Temperaturen kleiner als 5° C soll auf die Herstellung von Sichtbetonbauteilen verzichtet werden. Starker Wind wirkt sich ebenfalls auf die Verdunstung des Wassers im Frischbeton aus. Luftzug und Wind können durch Abdecken oder Curing (flüssiges Nachbehandlungsmittel zum Aufsprühen) ferngehalten werden. Betonieren im Sommer bei hohen Temperaturen und/oder Wind birgt die Gefahr des zu schnellen Abbindens und Austrocknens des Betons.	 → SB2, SB4

3.3.6 Ausschalen und Nachbehandeln

Das Ausschalen und Nachbehandeln von Sichtbetonbauten richtet sich hauptsächlich nach den herrschenden Witterungsbedingungen. Bei Wärme dehnt sich der Beton aus, bei Kälte zieht er sich zusammen. Dies führt zu Spannungen, wenn der Beton bei der Verformung behindert wird oder wenn sich extreme Temperaturunterschiede innerhalb des Betonkörpers einstellen können. Deshalb ist mit einer Nachbehandlung zu verhindern, dass zwischen der Betonoberfläche und dem Betonkern grössere Temperaturunterschiede als 20° C entstehen und der noch nicht ausreichend erhärtete Beton schroffen Temperaturwechseln ausgesetzt wird.

Bei Wind und Luftzug entsteht ein vorzeitiges Austrocknen des jungen Betons, was die Rissbildung fördert. Sichtbetonbauteile sind sorgfältig auszuschalen, um mechanische Beanspruchungen zu vermeiden.

3.3.6.1 Ausschalfristen

Kein Bauteil darf ausgeschalt werden, bevor der Beton ausreichend erhärtet ist. Dies ist dann der Fall, wenn die Festigkeit des Bauteiles so weit angestiegen ist, dass alle zur Zeit des Ausschalens auftretenden und angreifenden Kräfte mit Sicherheit aufgenommen werden können. Die Anordnung für das Ausschalen gibt die Bauleitung, nachdem sie sich – eventuell nach Rücksprache mit dem Bauingenieur – von der ausreichenden Betonfestigkeit überzeugt hat. Tritt während des Erhärtens Frost auf, so sind die Ausschalfristen mindestens um die Frostdauer zu verlängern. Beim Ausschalen des Sichtbetons ist darauf zu achten, dass alle Bauteile gleich lang eingeschalt waren (Vertikale Bauteile jeweils 2	

bis 5 Tage). Im Weitern ist jedes Bauteil ohne Unterbruch auszuschalen und die einmal ausgeschalten Flächen müssen freigehalten werden, um die Hydratation nicht zu beeinflussen. Sichtbetonwände sollen nicht vor oder bei stärkeren Niederschlägen ausgeschalt und nicht unmittelbar nach dem Ausschalen mit Wasser besprüht werden. Um besonders bei frühzeitigem Ausschalen von Decken und Balken Schäden durch zu grosse Durchbiegung, Risse oder sogar den möglichen Einsturz zu vermeiden, müssen nach dem Ausschalen Hilfsstützen unter den betreffenden Bauteilen belassen oder aufgestellt werden. Sie sollten in den einzelnen Stockwerken übereinanderstehen und möglichst lange beim weiteren Baufortschritt ungehindert stehenbleiben können. Die Stützen sind sorgfältig zu setzen und der Stützenkopf soll mit derselben Schalungshaut versehen werden, um mechanische Verletzungen der Sichtbetonuntersicht sowie Verfärbungen zu vermeiden. Der Abstand von Hilfsstützen sollte 4 m nicht überschreiten. Bei Stützweiten bis etwa 8 m genügt daher eine Hilfsstütze in Feldmitte und bei größeren Stützweiten sind mehrere Hilfsstützen erforderlich. Bei Platten mit weniger als 3 m Spannweite kann darauf verzichtet werden, wenn diese Felder nicht zusätzlich belastet werden. Nach dem Ausschalen muss eine gleichmässige und gleichartige Nachbehandlung sichergestellt werden.	

3.3.6.2 Nachbehandlung Betonoberflächen

Zweck der Nachbehandlung Bis zur ausreichenden Erhärtung ist der frisch verarbeitete und junge Beton zu schützen gegen: – vorzeitiges Austrocknen – extreme Temperaturen und schroffe Temperaturänderungen – mechanische Beanspruchungen – chemische Angriffe – schädliche Erschütterungen Arten der Nachbehandlung Schutzmassnahmen gegen vorzeitiges Austrocknen sind: – Belassen der Schalung – Abdecken mit Folien – Aufbringen wasserspeichernder Abdeckungen – Aufbringen flüssiger Nachbehandlungsmittel (Curing) – eine Kombination dieser Verfahren Dauer der Nachbehandlung Die Mindestdauer der Nachbehandlung richtet sich nach den Witterungsbedingungen, der Festigkeitsentwicklung des Betons, dem verwendeten Zement sowie der Geometrie der Bauteile. Die Nachbehandlungsdauer muss so gewählt werden, dass auch die oberflächennahen Zonen die Festigkeit und Dichtheit des Betongefüges erreichen, die für die Dauerhaftigkeit der Betonoberfläche und damit auch für die Betonüberdeckung und den Schutz der Bewehrung notwendig sind.	

Der Beton muss mindestens bis zum Erreichen von 50 % seiner charakteristischen Festigkeit im oberflächennahen Bereich nachbehandelt werden. Für Sichtbetonoberflächen ist die Nachbehandlungsdauer den jeweiligen Bedingungen (Witterung, Ort, Klima, Temperatur) anzupassen, zum Beispiel: – bei Temperaturen zwischen 15° bis 25° ca. 5 Tage – bei Temperaturen zwischen 10° bis 15° ca. 7 Tage – bei Temperaturen zwischen 5° bis 10° ca. 10 Tage – bei Temperatur der Betonoberfläche < 5° C: Verlängerung um die Zeitspanne mit Temperaturen unter 5° C Zur Nachbehandlung gehören das ständige Feuchthalten von Betonoberflächen, das Abdecken mit Folien oder Matten, das Curing, das Schützen vor Niederschlag, Austrocknen und Abkühlen. Bei der Nachbehandlung durch Abdecken mit Folien oder Matten dürfen sich keine Hilfsmittel wie Kanthölzer, Distanzklötzchen usw. auf den Flächen abzeichnen. Im Raum zwischen Abdeckung und Betonoberfläche darf hauptsächlich bei Wänden keine Zugluft entstehen.	

3.3.6.3 Schutzmassnahmen für Sichtbetonoberflächen

Sichtbetonkanten und Ecken sind durch mechanische Einwirkungen stärker gefährdet, als die Betonoberflächen. Sämtliche Kanten und Ecken sind mit Hölzern, bzw. Gipserleisten zu schützen. Die Sichtbetonoberflächen können abgedeckt oder mit dem Hinweis „Achtung Sichtbeton“ versehen werden. Die dazu nötigen Klebbänder sind vorgängig zu prüfen, dass keine Kleberückstände oder Verfärbungen zurückbleiben. Die Bauleitung hat alle Dritthandwerker zu informieren, was an der Sichtbetonoberflächen toleriert wird (anzeichnen nur mit Bleistift). Bei hellen Sichtbetonoberflächen ist das Schützen gegen Rostwasser von Anschlussbewehrungen oder weiteren Bauetappen bis zum Bauende nötig. Bei der Sichtbetonklasse SBK 4 ist das Schützen auch bei grauem Beton zu empfehlen. Die Schutzmassnahmen sind nach dem Ausschalen zu befestigen und bleiben bis zur endgültigen Bauabnahme am Bauteil.	

3.3.7 PQM Sichtbeton und Baukontrollen

Das PQM-Sichtbeton regelt Zuständigkeiten, Kontrollen und Abnahmen zwischen allen am Bau Beteiligten. Das PQM-Sichtbeton soll als Bestandteil in das PQM des Gesamtbauwerks übernommen werden.

Die Idee des PQM-Sichtbeton zielt darauf ab, bereits vorhandene Dokumente, Beschriebe, Besondere Bedingungen und Kontrollpläne gemeinsam mit allen am Bau Beteiligten in einer Sitzung durchzugehen und zu protokollieren. Der Bauleiter ist für die „PQM-Sichtbeton-Sitzung“ verantwortlich und koordiniert auch die verschiedenen Dokumente und Anforderungen aller Planer. Die Beteiligten werden nochmals für die Aufgabe sensibilisiert und darüber informiert.

3.3.7.1 PQM-Sichtbeton-Prüfplan

Es ist sinnvoll, den PQM-Sichtbeton-Prüfplan in folgende Kapitel zu gliedern:	
Kontrollplan für Betonarbeiten und Betonqualität	
Kontrollplan für Schalung	
Kontrollplan für Bewehrung	
Kontrollplan für Bautoleranzen	
Kontrollplan für provisorische, temporäre Spriessungen	
Kontrollplan für Haustechniker	
Kontrollplan für Vorfabrikation (ev. noch unterteilbar)	

3.3.7.2 Diverse Abnahmen als Checkliste

Folgende Punkte sind zu kontrollieren und zu prüfen:	
Prüfen, ob die Betonüberdeckung nach Plan ausgeführt ist.	
Prüfen der Schalung auf Dichtigkeit. (Arbeitsfugen, Arbeitsetappen, Schalhaut, Anschluss Boden/Wand, Stützen/Deckenuntersicht, spezielle Details, Treppenuntersichten, Anschluss Deckenuntersichten/Wand).	
Prüfen der Standfestigkeit der Schalung.	
Prüfen der Sauberkeit der Schalhaut direkt vor dem Betonieren.	
Prüfen der Ausführung von Einlagen und Aussparungen.	
Sämtliche Prüf- und Materialatteste verlangen.	
Werkzeuge auf Baustelle (Schreinerwerkzeuge, Fräse)	

3.4 Mängel

Dieses Modul dient dazu die Auseinandersetzung mit doch entstandenen Mängel an Sichtbetonoberflächen fachlich zu führen sowie Sichtbetonoberflächen zu beurteilen, entstandene Mängel zu bewerten und allenfalls zu beseitigen. In SB2 Mängelfibel wird der aktuelle Stand des Wissens dargestellt.

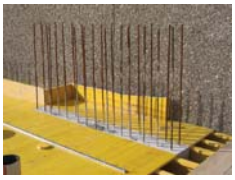
3.4.1 Allgemeine Bemerkungen und Hinweise

Für die Beurteilung der Sichtbetonoberfläche ist es enorm wichtig, den Bauherrn vor der Ausschreibung in den Beurteilungsprozess miteinzubinden und allfällige Referenzflächen zu vereinbaren. Die Toleranzen in der Oberflächenbeschaffenheit, die Beurteilungsgrundlagen für den Gesamteindruck und die Einzelheiten sind mit dem Bauherrn schriftlich festzulegen. Zudem ist das Vorgehen bei Abweichung der Anforderungen miteinander zu bestimmen. Eine allfällige Mängelbeseitigung ist mit allen Vor- und Nachteilen zu diskutieren.

3.4.1.1 Entstehung von Mängel

Als Mangel wird eine negative Abweichung von einem vereinbarten Soll definiert.	
Die Entstehung von Mängeln ist in der Mängelfibel, einer praxisorientierten Dokumentation der häufigen Oberflächenerscheinungen beim Sichtbeton, beschrieben. Sie soll Bauherren, Planern und Ausführenden einen vertieften Einblick in diese Thematik erlauben und helfen, die Bedeutung von Vorbeugungsmassnahmen besser zu verstehen. Die Sammlung, bestehend aus Einzelthemen, beschäftigt sich mit den möglichen Mängeln die aus Planung, Betonherstellung, Transport, Verarbeitung, Schalung, Trennmittel, Bewehrung und Konstruktion entstehen können. Die möglichen Mängel an Sichtbetonflächen werden beschrieben, die entsprechenden Mechanismen zur Entstehung aufgezeigt und klare Möglichkeiten zu deren Verhinderung erläutert.	 → SB2

3.4.1.2 Jedes Bauteil ist ein Unikat

Beim Sichtbeton ist zu beachten, dass jedes Bauteil als Unikat hergestellt wird und auch so zu beurteilen ist. Geringe Unterschiede und Unregelmässigkeiten der Textur und des Farbtons lassen sich kaum vermeiden (Witterung, Personalwechsel, Verzögerung beim Einbringen usw.).	
Die Referenzflächen sollen jeweils bei der Beurteilung einbezogen werden.	

3.4.2 Beurteilung von Sichtbetonoberflächen

Die Beurteilung von Sichtbetonoberflächen wird in der Mängelfibel ebenfalls thematisiert. Dabei werden wo möglich Einzelkriterien definiert, wobei der Gesamteindruck, von einem angemessenen Abstand und unter üblichen Lichtverhältnissen betrachtet, für die Beurteilung schlussendlich massgebend ist.

3.4.2.1 Gesamteindruck des Bauwerks

Bei Sichtbetonbauteilen ist in erster Linie der Gesamteindruck aus dem Betrachtungsabstand des üblichen Nutzers für die Beurteilung massgebend.	
Die Beurteilungsvoraussetzungen für den Gesamteindruck sind: – angemessene Entfernung des Nutzers vom Bauwerk (z.B ein Weg der am Bauwerk aussen vorbeiführt). – wesentliche Bauwerksmerkmale sind erfassbar. – die Gestaltungsmerkmale sind erkennbar. – angemessene Entfernung des Nutzers vom Bauteil (aussen und innen). – üblicher Betrachtungsabstand des Nutzers, wenn er sich im	 → SB2

Bauwerk z. B. im Korridor bewegt. – „normale“ Tageslichtverhältnisse	

3.4.2.2 Gesamteindruck des Bauteils

Die Beurteilungsvoraussetzungen für das Bauteil sind: – angemessene Entfernung vom Bauteil (aussen und innen) – wesentliche Bauteilmerkmale sind erfassbar. – die Gestaltungsmerkmale sind erkennbar. – angemessene Entfernung vom Bauteil (aussen und innen). – üblicher Betrachtungsabstand des Nutzers. – „normale“ Tageslichtverhältnisse	 → SB2

3.4.2.3 Einzelkriterien bauteilbezogen beurteilen

Die Beurteilung von Einzelkriterien soll bauteilbezogen erfolgen. Direkt nach dem Ausschalen bringt eine Beurteilung nichts, da der Beton im Allgemeinen durch Feuchteverlust heller wird. Die Einzelkriterien lassen sich unterteilen in: Vermeidbare Kriterien – Kiesnester – Verdichtungsfehler – Mörtelreste – Willkürliche Anordnung von Ankern – Rostspuren an vertikalen Flächen Eingeschränkt vermeidbare Kriterien – leichte Farbunterschiede zwischen Schüttlagen – Bildung von Lunkern im oberen Teil von Wänden – Wolkenbildung und Marmorierungen – Rostspuren an Untersichten – übermässiges Bluten Nicht oder nicht zielsicher herstellbare Kriterien – gleichmässiger Farbton aller Ansichtsflächen – gleichmässige Porenstruktur (Lunkern) – Lunkernfreie Ansichtsflächen – Ausblühungsfreie Ortsbetonbauteile	

3.4.3 Beseitigen von Mängel

3.4.3.1 Beseitigte Mängel bleiben immer erkennbar

Trotz grösster Sorgfalt können Mängel an der Betonoberfläche entstehen, die den Gesamteindruck beeinträchtigen oder verschiedene Einzelkriterien nicht erfüllen. Die Ursachen sind oft schwierig nachvollziehbar, da die Witterung, unsorgfältiges Arbeiten oder Einlagen von Dritthandwerkern ihren Teil dazu beitragen. Die Beurteilung von Sichtbetonoberflächen soll von Fachleuten vorgenommen werden, die Erfahrungen im Massivbau und im Vertragsrecht besitzen. Das Beseitigen von Mängel erfordert grösste Sorgfalt. Trotz grossem Aufwand und handwerklichem Geschick bleiben diese im Normalfall erkennbar.	 → SB2

3.4.3.2 Technik zur Mängelbeseitigung festlegen

Beim Vorhandensein von Mängeln ist gemeinsam mit dem Bauherrn, dem Baumeister, dem Bauingenieur und dem Architekten festzulegen, was ausgebessert werden soll und ob der Aufwand zu deren Beseitigung gerechtfertigt ist.	 → SB2

3.4.3.3 Herstellung und Beurteilung von Erprobungsflächen

Nach der Festlegung von Referenzflächen ist für den Baumeister eine Ausführungsbeschreibung zu erstellen, mit der alle Beteiligten, wie Bauherr, Architekt, Bauingenieur, Bauleiter und Baumeister einverstanden sein müssen. Die Ausführung ist mit baubegleitenden Kontrollen durch die Verantwortlichen und einer gemeinsamen Abnahme abzuschliessen.	 → SB2

3.4.3.4 Arbeitsanweisung erstellen

Es ist sinnvoll, eine Arbeitsanweisung zu erstellen. Ein systematisches Vorgehen zur Durchführung der Mängelbeseitigung und Ausbesserung an Sichtbetonoberflächen ist nur mit allen Beteiligten möglich.	→ SB2

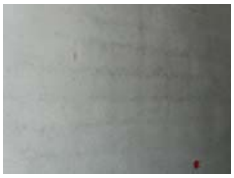
3.4.4 Mögliche Mängel

Kriterien	
Unebenheit Als Folge von übermässigen Durchbiegungen der Schalung können Abweichungen in der Ebenheit von Sichtbetonoberflächen entstehen. Diese zeigen sich als beulenartige Ausbuchtungen oder als Versätze, Absätze oder Vorsprünge in den Bereichen von Schalungsstössen oder Arbeitsfugen. Die Ursachen für die Unebenheiten der Sichtbetonflächen stehen hauptsächlich in Zusammenhang mit der Bemessung, der Montage und der Befestigung der Schalung. Geringe Unebenheiten der Sichtbetonoberflächen beeinträchtigen in der Regel weder die Sichtbetonqualität noch die Tragsicherheit oder Dauerhaftigkeit eines Bauteils oder Bauwerks. Für die Beurteilung der Ebenheit gelten generell die SIA Norm 414 Masstoleranzen im Bauwesen [3] sowie die SIA Empfehlung V414/10 Masstoleranzen im Hochbau [4]. Vorbeugende Massnahmen – Wahl eines geeigneten Schalungssystems – Dimensionieren der Schalung auf der Grundlage von realistischen Belastungsannahmen – Dimensionieren der Schalung im unteren Wandbereich unter Beachtung des dort erhöhten Schalungsdrucks – Vermeiden von Kombinationen von ungleichen Schalungssystemen – Einsetzen von Schalmaterial mit gleicher Beschaffenheit und Eigenfeuchte – Säubern von Stell- und Anschlussflächen für eine dichte, versatzlose Ausführung – Kraftschlüssige und gleichmässige Fixierung der Schalungskonstruktion – Abnahme der Schalung während des Aufbaus und unmittelbar vor dem Betonieren; Kontrolle während des Betonierens	 → SB2
Korrosion Für die Bewehrungskorrosion sind elektrochemische Reaktionen in Form einer Karbonatisierung der äussersten Betonschicht oder einer Chlorideindringung im Verbund mit Sauerstoff und Wasser die Hauptursachen. Schäden durch Karbonatisierung treten meist in Form von Rostflecken oder Rissen mit Rostverfärbungen sichtbar in Erscheinung, hingegen verursacht die chloridinduzierte Korrosion in der Regel keine sichtbaren Schäden. Korrosionsprozesse beeinträchtigen nicht nur die optische Wahrnehmung von Sichtbetonflächen, sondern können die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit eines Bauteils bzw. einer Gesamtstruktur vermindern. In der Regel treten Korrosionsschäden erst einige Jahre nach Bauvollendung auf; bei Vorhandensein von Feuchtigkeit oder Wasser nimmt die Korrosionsgeschwindigkeit im Laufe der Zeit jedoch zu. Wichtigste Beurteilungskriterien für die Zustandserfassung der Bewehrungskorrosion sind die Bewehrungsüberdeckung, die Betonqualität, die Karbonatisierungstiefe sowie der Chlorid- und Feuchtigkeitsgehalt. Vorbeugende Massnahmen – Dimensionierung der Bewehrungsüberdeckung in Abhängigkeit der Exposition nach SIA Norm 262(2003) [2] – Überprüfung von Bauteilen, Scheinfugen und Nuten auf Unter-	 → SB2

schreitung der vorgegebenen Bewehrungsüberdeckung; Erhöhung der Bewehrungsüberdeckung bei nachträglicher Bearbeitung der Oberfläche – Minimierung der Porosität des Zementsteins durch Anwendung der Betonnorm SN EN 206-1 [5] und durch eine vollständige Verdichtung – Einsatz einer rostfreien Bewehrung für exponierte Bauteile, einer verzinkten Bewehrung zur Vermeidung von Rostspuren während des Bauprozesses und ausreichender Einsatz von Distanzhaltern – Abnahme der Bewehrung durch den zuständigen Bauingenieur – Schutz gegen zu rasches Austrocknen durch längere Ausschalfristen oder durch luftdichtes Einpacken mit PVC-Folien – Hydrophobierung oder Versiegelung für extrem belastete Bauteile	
Bluten (Wasserabsondern) Der Begriff Bluten bezeichnet das Wasserabsondern, das bei jedem frisch eingebrachten Beton als Folgeerscheinung der Zusammensetzung aus Materialien mit verschiedenen Rohdichten auftritt. Die dabei im Beton entstehenden Schleppwassereffekte können bei ungünstigen Bedingungen auch die geschalten Betonoberflächen beeinträchtigen. Das Problem Bluten hängt als ein Sonderfall der Sedimentation eng mit dem Problem der Entmischung zusammen. Als Folge von übermässigem Bluten treten unregelmässige, abgesandete oder poröse Stellen in Erscheinung, die von Verfärbungen und kraterartigen Vertiefungen von einigen Millimetern begleitet werden können. Im Allgemeinen blutet ein Beton auf seiner gesamten Oberfläche, im Innern zurückgehaltenes Blutungswasser kann gleichzeitig zu lokalen Bereichen mit verminderter Haftung zwischen Zementstein, Gesteinskörnern und Bewehrung führen. Die Dauerhaftigkeit und die Tragsicherheit des Bauteils bzw. Bauwerks werden durch solche lokale Erscheinungen in der Regel unwesentlich beeinflusst. Vorbeugende Massnahmen – Anwenden eines Betons mit einem Ausbreitmass im Bereich von 400 – 500 mm; entspricht ca. Konsistenzklasse F3 – Verwenden von saugfähigen Schalungen – Festlegen der Grenzwerte für das Ausbreitmass und den Wassergehalt für die Beurteilung und Überprüfen des Frischbetons unmittelbar vor dem Einbringen – Einbringen des Betons unter gleich bleibender Geschwindigkeit und in möglichst horizontal gleichmässigen Schichten – Vermeiden von tiefen Temperaturen während des Einbringens – Rasches, gleichmässiges und fachkompetentes Verdichten des frisch eingebrachten Betons – Wahl einer geeigneten Betonmischung (Beton nach Eigenschaften) mit gut abgestimmter Kornzusammensetzung, Mehlkorn-, Zement- und Wassergehalt)	 → SB2, SB4
Kiesnester Kiesnester werden als offene Stellen oder als stark poröse Bereiche an der Sichtbetonoberfläche nach dem Ausschalen ersichtlich. Kiesnester sind die Folge einer Entmischung des Frischbetons, bei der sich grobe Gesteinskörner mit wenig Feinanteilen und Zement innerhalb des Betonquerschnittes anreichern. Sie kommen meist im unteren Bereich von aufgehenden Bauteilen wie Wänden und Stüt-	 → SB2

zen vor. Damit einhergehende Verfärbungen beeinträchtigen die optische Qualität der Sichtbetonfläche und durch die offene, poröse Betonstruktur an diesen Stellen kann es infolge Verminderung des Korrosionsschutzes der Bewehrung zu einer Herabsetzung der Dauerhaftigkeit kommen. Gleichzeitig kann durch den infolge Kiesnester verringerten Querschnitt die Tragsicherheit negativ beeinflusst werden. Abhängig von der Grösse und der Lage dieser Schwachstellen müssen diese deshalb von einem Bauingenieur beurteilt werden. Vorbeugende Massnahmen – Dimensionierung der Bauteilabmessungen, so dass das Einbringen und Verdichten des Betons einwandfrei möglich ist – Dimensionierung der Bewehrungseindeckung in Abhängigkeit der Exposition – Betonmischung unter Beachtung einer gut abgestimmten Kornzusammensetzung und der Einbringart angepasster Konsistenz – Dichte und stabile Schalung zur Vermeidung von Wasser- und Zementleimausfluss – Verminderung der Entmischungsneigung durch Vermeidung grosser Transportdistanzen und Nachmischen vor dem Entladen – Einbringen des Betons unter gleich bleibender Geschwindigkeit und in möglichst horizontal gleichmässigen Schichten – Regelmässige Verdichtung, oft durch Vibrieren (Rütteln) in möglichst gleichen Abständen – Minimierung der Fallhöhe	
Lunker Der Begriff ‚Lunker' umschreibt kleinere Hohlräume (Luft- oder Wassereinschlüsse), die beim Einbringen des Betons entstehen und oft an der Betonoberfläche von aufgehenden Bauteilen wie Wänden, Stützen, Brüstungen etc. in Erscheinung treten. Die Lunkerbildung in kleinem Ausmass kann auch bei optimaler Verarbeitung nicht ausgeschlossen werden. Solange diese die normalen Abmessungen von wenigen Millimetern nicht überschreiten, stellen sie keine technische Beeinträchtigung dar, können aber für den optischen Gesamteindruck der Oberfläche prägend werden. Da für das Ausmass der Lunker keine verbindlichen Normen oder Richtlinien vorliegen, empfiehlt es sich, die erwartete Eigenschaften der Betonoberflächen mittels Referenzobjekt oder -muster als Vereinbarung in die Ausschreibung zu integrieren. Der Entscheid zu einer allfälligen Ausbesserung der Lunker sollte erst nach einer Gesamtbeurteilung von Bauteil und Bauwerk gemeinsam mit der Bauherrschaft getroffen werden. Vorbeugende Massnahmen: – Vorgängige Abstimmung von Schalung und Trennmittel – Vorgängige Erstellung von Muster- bzw. Erprobungsflächen (für die Betonrezeptur, nicht für die Ausführung, da optimale Bedingungen nie konstant angetroffen werden) – Schichtweises Einbringen (max. 50 cm) des Frischbetons, bei Fallhöhen von > 2 m – Einbringen mit Trichter und Schüttrohr – Sorgfältiges Verdichten der einzelnen Schichten und Nachverdichten der oberen Schichten – Einsatz von saugfähigen Schalungen, bzw. Schalungseinlagen	 → SB2

Risse Risse an Sichtbetonoberflächen lassen sich nicht generell vermeiden und treten entweder spinnennetzartig oder linienförmig in Erscheinung. Generell wird zwischen Trenn- und Oberflächenrissen unterschieden, wobei Trennrisse senkrecht zur Kontaktfläche quer durch die ganze Konstruktion hindurch laufen. Bei beiden Rissarten handelt es sich um Spannungsrisse, die mit Schwindvorgängen und dem Erhärtungsprozess während der Erstellung sowie mit äusseren Temperatureinwirkungen in Abhängigkeit vom Tragverhalten während der ganzen Lebensdauer des Bauwerks zusammenhängen. Der Einfluss von Rissen auf die Dauerhaftigkeit von Betonbauten ist insbesondere in Zusammenhang zwischen Rissbreite und Korrosion ein kontrovers diskutiertes Thema. Eine ausgeprägte Zunahme der Korrosionsgefahr kann aber erst bei Rissbreiten über 0.2 mm – 0.4 mm festgestellt werden. Insofern sind Risse nicht von vornherein als Mangel zu beurteilen und stellen vor allem ein ästhetisches Problem dar. Vorbeugende Massnahmen – Berücksichtigung von Zwängungen aus Temperatur und Schwinden bei der Bemessung und konstruktiven Ausbildung – Verbesserung der Rissverteilung und Minimierung der Rissbreiten durch Anordnung einer entsprechenden Minimalbewehrung – Vorspannung bei besonderen Anforderungen – Optimale Etappierung mit besonderer Beachtung der Arbeitsfugen – Temporär begrenzte Trennung einzelner Bauabschnitte durch „Schwindgassen“ – Gezielter Einsatz von Dilatationsfugen – Wahl der geeigneten Betonrezeptur, Verwenden von saugfähigen Schalungen und Vermeidung zu hoher Temperaturen und Wind beim Betoniervorgang – Schutz gegen zu rasches Austrocknen durch längere Ausschalfristen oder durch luftdichtes Einpacken mit PVC-Folien	 → SB2
Kalkausblühungen/Aussinterungen Kalkausblühungen (Kalkausscheidungen) zeigen sich als helle, schleierartige, fleckige Verfärbungen der Betonoberfläche. Kalkausblühungen werden durch Salze, wie z. Bsp. Chloride verursacht. Sie sind baustoffbedingt und stellen keinen Mangel im technischen Sinne dar. Sie treten meist in jungem Beton auf und können nicht immer vermieden werden, klingen häufig aber spontan ab. In der Regel fallen geringe Ausblühungen bei hellen Sichtbetonoberflächen nicht auf; bei mit Pigmenten gefärbten Flächen können sie jedoch sehr augenfällig werden. Kalkaussinterungen (Kalkfahnen) treten als konzentrierte weisse, bzw. gelbliche Kalkansammlungen und –verkrustungen in Erscheinung. Kalkaussinterungen und –auswaschungen entstehen durch Fremdwasser im Zusammenhang mit Fehlstellen wie z. Bsp. wasserführenden Rissen oder unzureichend geplanter Wasserhaltung (Entwässerung, Abdichtung). Die krustenartigen Kalkablagerungen treten im Laufe der Zeit eher zunehmend in Erscheinung. Vorbeugende Massnahmen – Konstruktive Vorkehrungen unter besonderer Beachtung der Wasserführung (Entwässerung, Abdichtung, Abdeckung, Kondenswasserbildung an Blechen) insbesondere zur Verhinderung von nachträglichem Eintrag von Wasser	 → SB2

– Verwendung von hellen, gegenüber Ausblühungen optisch unempfindlicheren Sichtbetonoberflächen – Verwendung von Betonmischungen mit einem tiefem Wassergehalt – Sachgemässe Verdichtung des Frischbetons und konsequente Nachbehandlung der ausgeschalten Bauteile – Vermeidung von Betonieren und Ausschalen bei tiefen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit – Vermeidung von Abspritzen der frisch entschalten Oberfläche mit Wasser und grundsätzlich von wasserführenden Nachbehandlungsmassnahmen – Schützen der Bauteile vor Witterungseinflüssen und Fremdwasser unmittelbar nach dem Ausschalen mittels Plastikfolien oder Wärmematten – Prävention von Ausblühungen durch Auftrag einer Hydrophobierung am jungen Beton – Ausblühungen können mit stark verdünnter Säure (handelsübliche saure Reiniger wie z.B. Ameisen-, Phosphor-, Zitronen- oder Essigsäure in 5 bis 10 %iger Konzentration) entfernt werden. Die Wirksamkeit von chemischen und mechanischen Verfahren ist an Musterflächen zu erproben.	
Grautonunterschiede	 → SB2
Verfärbungen (Blau-, Grün-, Gelb-, Braunverfärbungen)	 → SB2
Kanten Sichtbetonkanten können aufgrund von Abweichungen der Geradlinigkeit, aufgrund von Aussandung infolge Feinanteil- und Zementleimaustritt oder durch Betonabplatzungen unregelmässig in Erscheinung treten. Bei der häufig gewünschten Scharfkantigkeit treten diese Mängel öfters auf und werden gleichzeitig stärker wahrgenommen. Ungenaue Kanten beeinträchtigen in der Regel hauptsächlich die optische Wahrnehmung. Bruchstellen, Abplatzungen und Kiesnester bei Ecken und Kanten können sich aber auch negativ auf die Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit des Bauteils oder Bauwerks auswirken. Steht die Präzision von Betonkanten in direktem Zusammenhang zum Einbau von Türen, Fenster etc. können Ungenauigkeiten ebenfalls problematisch werden. Höhere Anforderungen an Kanten sollten deshalb in der Nutzungsvereinbarung, der Ausschreibung und im Werkvertrag zwischen den verschiedenen Parteien vorgängig festgehalten werden. Vorbeugende Massnahmen – Bewusstsein über die Grenzen von scharfen Kantenausbildungen – Hinreichende Bewehrungsüberdeckung	 → SB2

– Dimensionieren der Bauteilabmessungen zur Ermöglichung eines einwandfreien, ausreichenden Verdichten – Abstimmen der Kornzusammensetzung und Anpassen der Betonkonsistenz auf Bauteil und Einbringart – Wahl eines steifen und den Anforderungen entsprechend bemessenen Schalsystems – Verwenden von Fugenbändern oder Silikonabdichtungen zur Abdichtung der Schalhaut im Bereich der Bauteilkanten, Ecken und Stösse – Sorgfältiges Verdichten – Zeitlich gestaffelte Ausschalung der zwei Schalungsseiten einer Kante – Schützen gegen zu schnelles Austrocknen der Kanten durch Einpacken mit Folien – Bei tiefen Temperaturen Schützen der Kanten gegen Gefrieren z. Bsp. mit Wärmedämmmatten – Während der gesamten Rohbauzeit Schützen der ausgeschalten Kanten mittels Gipserwinkel oder Holzlatten – Nach Rohbauvollendung leichtes Brechen der scharfen Kanten mit Korundstein – Permanenter Kantenschutz durch Stahlwinkel für scharf ausgebildete Kanten, die mechanischen Einwirkungen ausgesetzt sind	
Schalhautstösse	 → SB2
Betonierfugen	 → SB2
Horizontale Oberflächen Ungeschalte, horizontale oder leicht geneigte Sichtbetonflächen kommen bei Oberseiten von flächigen Bauteilen wie Decken und Platten, sowie bei Mauer- und Brüstungskronen vor. Geneigte Oberflächen mit einer ein- oder mehrseitigen Neigung grösser als ca. 30 % müssen in der Regel mit einer Konterschalung ausgeführt werden; die maximale Neigung für ungeschalte Oberflächen hängt von der Steifigkeit der Betonmischung ab. Neben gestalterischen und statischen Anforderungen erfordert die Oberflächenbeschaffenheit zwecks Begehbarkeit oft eine hohe Gebrauchstauglichkeit wie z. Bsp. Griffigkeit. Bei den möglichen Ursachen und den Unregelmässigkeiten, die auftauchen können handelt es sich bei ungeschalten Sichtbetonflächen grundsätzlich um ähnliche, wie sie an geschalten Oberflächen vorkommen. Die Gefahr der Rissbildung infolge fehlenden Schutzes einer Schalhaut, die Gefahr von Bewehrungskorrosion infolge Karbonatisierung des Betons, das Auftauchen von Frostschäden und von Oberflächenabplatzungen sind bei ungeschalten Oberflächen erhöht. Vorbeugende Massnahmen – Höhenkontrolle der Bewehrungseindeckung der oberen Bewehrungslage durch Bauingenieur	 → SB2

– Vermeiden des Betonierens bei Temperaturen über 30 Grad und starkem Wind – Vermeiden der vorzeitigen Belastung durch Betreten oder Befahren der Oberfläche und Verwenden der entsprechenden Hilfsmittel wie Schuhtaloschen und Arbeitsstege – Nachbehandlungsmassnahmen gegen zu schnelles Austrocknen durch Abdeckfolien, Matten oder flüssige Nachbehandlungsmittel (Curing) – Schützen vor Verschmutzungen während der Rohbauzeit – Hydrophobierung oder Versiegelung zur Vermeidung der Wasseraufnahmefähigkeit	

ZIEL: Emotionsloser, fachlicher Umgang mit Mängel und deren allfällige fachmännische Beseitigung.

3.5 Wissenstransfer

Dieses Modul dient dazu, Erfahrungen und Wissen zu dokumentieren und allen zugänglich zu machen. Die zu jedem Thema zu erstellende Dokumentation kann in regelmässigen Abständen mit den eintreffenden Erfahrungen ergänzt werden.

Wir stellen uns vor, dass Erfahrungen und Wissen z.B. in einem Internet-Forum gesammelt und jährlich zu gewissen Themen ein Sichtbetontag durchgeführt wird. Dieser Sichtbetontag kann aus Vorträgen und einem organisierten, thematischen Erfahrungsaustausch bestehen.

Wichtig sind auch Meldungen von Ausführenden, die Erfahrungen per Email weitergeben möchten. Ein Schaler stellt z.B. fest, dass mit neuen, scharfen Werkzeugen dichtere Schalungen erstellt werden können, ein Planer entdeckt eine neue Möglichkeit zum Schliessen von Bindlöchern etc.

Diese Erfahrungen können jährlich gesichtet, sortiert und überarbeitet werden. Die neuen Erkenntnisse können regelmässig auf der Webseite nachgeführt und aktualisiert werden.

3.5.1 Allgemeine Bemerkungen

3.5.1.1 Dokumentation erstellen

Kriterien	

3.5.1.2 Erfahrungen sammeln und auswerten

Kriterien	

3.5.2 Erfahrungen Architekt und Bauleitung

3.5.2.1 Dokumentation erstellen

Kriterien	

3.5.2.2 Fragebogen ausfüllen

Kriterien	

3.5.3 Erfahrungen Bauingenieur

3.5.3.1 Dokumentation erstellen

Kriterien	

3.5.3.2 Fragebogen ausfüllen

Kriterien	

3.5.4 Erfahrungen Baumeister

3.5.4.1 Dokumentation erstellen

Kriterien	

3.5.4.2 Fragebogen ausfüllen

Kriterien	

3.5.5 Erfahrungen Betonwerke, Kies- und Zementlieferanten,

3.5.5.1 Dokumentation erstellen

Kriterien	

3.5.5.2 Fragebogen ausfüllen

Kriterien	

3.5.6 Erfahrungen Bauherr bei Entscheidungsfindung

3.5.6.1 Dokumentation erstellen

Kriterien	

3.5.6.2 Fragebogen ausfüllen

Kriterien	

ZIEL: Wissen zu sammeln, dokumentieren und weitervermitteln → Wissenstransfer

4 Projekt SB2: Mängelfibel

Die Mängelfibel ist eine praxisorientierte Dokumentation der häufigsten Oberflächenerscheinungen bei (Sicht)Betonbauten. Sie ist als Ergänzung zu den Empfehlungen für Sichtbeton zu verstehen und soll Bauherren, Planern und Ausführenden einen vertieften Einblick in die Thematik „Sichtbetonmängel“ erlauben und dabei helfen die Bedeutung von Vorbeugungsmassnahmen besser zu verstehen. Die Erkenntnisse aus den Forschungsaufträgen SB3: Wechselwirkung zwischen Beton, Trennmittel, Schalung, Verarbeitung und Umgebungsbedingungen und SB4: Sedimentation und Bluten von Beton sind dabei integriert.

Die Sammlung besteht aus Einzelthemen. Es werden häufige Erscheinungen an Sichtbetonoberflächen wie zum Beispiel Risse, Grautonunterschiede oder Lunker beschrieben, die entsprechenden Mechanismen zur Entstehung aufgezeigt und Möglichkeiten zu deren Verhinderung erläutert. Dabei werden sämtliche Bereiche, die einen Einfluss auf die Sichtbetonqualität haben, wie Planung, Betonrezeptur, Schalung, Trennmittel, Bewehrung, Betontransport und –Verarbeitung bis zur Nachbehandlung und Schutz des vor Ort hergestellten Bauwerkes einbezogen.

Fragen der Beurteilung von Sichtbetonoberflächen und Sichtbetonqualitäten werden ebenfalls thematisiert, Empfehlungen für die Abnahme und Beurteilung werden gegeben sowie themenweise Beurteilungshilfen vorgeschlagen.

4.1 Beurteilung von Sichtbetonoberflächen

4.1.1 Grundlagen

Jedes Sichtbetonbauteil oder -bauwerk ist aufgrund der natürlichen Ausgangsstoffe und der unvermeidlichen Toleranzen in der Herstellung ein Unikat und wird durch eine Vielzahl von Einflussgrössen aus Gestaltung, Herstellungsprozess, Ausführung und Nutzungsbestimmungen beeinflusst. Die Voraussetzungen für die Beurteilung einer Sichtbetonoberfläche sind deshalb bereits vor Baubeginn zu schaffen. Planende und Bauherren, die Sichtbeton als gestalterisches Element einsetzen wollen, müssen Möglichkeiten, Grenzen, Bauablauf-, Termin- und Kostenfolgen aber auch Besonderheiten und Eigenheiten dieser Bauweise kennen. Die Gestaltungsvielfalt des Betons betreffend Form, Farbe und Oberfläche und die Schwankungen im Aussehen führen zu einer Lebendigkeit und zu einem individuellen Erscheinen, die für Sichtbetonoberflächen charakteristisch sind. Überall auf der Welt wird guter Sichtbeton hergestellt, was die vielen Beispiele hervorragend realisierter Sichtbetonarchitektur eindrücklich beweisen. Trotzdem bleibt das Ausgiessen von geschalten Formen mit Beton auf der Baustelle eine sehr anspruchsvolle Arbeit. Unzählige Faktoren beeinflussen die Sichtbetonqualität, wie zum Beispiel Schwankungen der natürlichen Ausgangsstoffe, Auswirkungen von Schalhaut, Einsatz von Trennmittel, Witterungseinflüsse, Qualifikation der Ausführenden, Personalwechsel sowie Herstellung, Transport, Einbau und Verarbeitung des Betons. Auch die Nachbehandlung und der Schutz der fertigen Flächen spielen dabei eine wesentliche Rolle.

Die von Planenden und Bauherren gewünschten Anforderungen an die Sichtbetonoberflächen müssen in der Ausschreibung und im Werkvertrag festgehalten werden. Dabei ist zusätzlich zu den normierten Schalungstypen 1 bis 4 gemäss SIA 118/262 [1] die Sichtbetonklasse der einzelnen Bauteile (SBK 1 – SBK 4 gemäss SB1 Empfehlungen für Sichtbeton) zu bestimmen. Je nach gewünschter Ausführung sind auch Einzelkriterien der zu erstellenden Sichtbetonoberflächen (Abdichtung der Fugen, Ebenheitstoleranzen, spezielle Anordnung der Schalungsbindestellen, Schalungsbild usw.) präzis zu beschreiben. An vorgängig hergestellten Erprobungsflächen bzw. besichtigten Objekten können Referenzflächen ausgewählt und ebenfalls in der Ausschreibung und im Werkvertrag verbindlich eingebunden werden. Die Herstellungsbedingungen für die Erprobungsflächen müssen mit den effektiven Baustellenverhältnissen übereinstimmen. Kleine Würfel und Platten sowie im Labor hergestellte Flächen sind dafür nicht geeignet. Referenzflä-

chen an bestehenden Bauwerken sind infolge unterschiedlichem Gesamteindruck bzw. Einfluss der Alterung oft problematisch.

4.1.2 Abnahme

Die Abnahme erfolgt in der Regel durch die örtliche Bauleitung im Beisein von Bauherr, Architekt, Bauingenieur und Baumeister. Dabei sind speziell bei Sichtbetonoberflächen Zeitpunkt, Lichtverhältnisse und gewählter Betrachtungsabstand schriftlich in einem Protokoll festzuhalten. Unregelmässigkeiten sind genau aufzunehmen (Rissbild, Rissweite usw.) sowie fotografisch zu dokumentieren.

4.1.3 Beurteilung

4.1.3.1 Allgemein

Die Schlussbeurteilung einer Sichtbetonoberfläche erfolgt im Rahmen der Bauabnahme nach Vollendung und Reinigung des Rohbaus mit Hilfe der im Werkvertrag vereinbarten Eigenschaften der einzelnen Bauteile und der festgelegten Referenzflächen (Erprobungsflächen und/oder Objekt). Die Sichtbetonqualität sollte aber laufend kontrolliert werden. Je nach Grösse und Bedeutung eines Objektes sind oft auch Zwischenabnahmen sinnvoll. Im Rahmen des projektbezogenen Qualitätsmanagements sind Kontrollen und Zwischenabnahmen festzuhalten. Die vertragliche Vereinbarung bildet die Basis für alle Betrachtungen. Dabei muss zwischen subjektiven und objektiven Anforderungen an die Sichtbetonoberfläche unterschieden werden. Je nach Vereinbarung kann auch bereits ein Schalungstyp zwei oder sogar eins als Sichtbeton gelten. Zu beachten ist dabei die Tatsache, dass die Oberflächenbeschaffenheit von Bauetappe zu Bauetappe aber auch innerhalb einer Betonieretappe infolge der unter Kap. 4.1.1 erwähnten Faktoren nicht toleranzfrei reproduzierbar ist. Es muss zwischen theoretisch erfüllbaren Forderungen wie zum Beispiel gleichbleibender Betonzusammensetzung, geschlossenes Gefüge mit mässiger Anzahl Lunkern, sachgemässe Fugen- und Kantenausbildung, sachgemässe Nachbehandlung und nur bedingt erfüllbaren Forderungen (infolge schwankenden Materialeigenschaften, Witterung usw.) wie zum Beispiel Vermeidung von Ausblühungen, Ansichtsflächen frei von schwächeren Flecken und Verunreinigung oder gleichmässiger Grauton aller Ansichtsflächen im Bauwerk unterschieden werden.

Eine Beurteilung soll nicht zu einer Pflicht zur Beseitigung von nicht vereinbarten Unregelmässigkeiten führen, wenn der Gesamteindruck des betreffenden Sichtbetonbauteils oder -bauwerks in seiner positiven Gestaltungswirkung nicht gestört ist.

4.1.3.2 Gesamteindruck

Das grundlegende Beurteilungskriterium einer Sichtbetonfläche ist der Gesamteindruck, der vom Betrachter aus einem angemessenen Abstand und bei üblichen Lichtverhältnissen wahrgenommen wird. Einzelkriterien werden nur geprüft, wenn der Gesamteindruck der Ansichtsflächen nicht den vertraglich, zwischen Bauherr und Bauunternehmer, vereinbarten Anforderungen an die Qualität der Sichtbetonoberfläche entspricht. Die Beurteilung der Einzelkriterien wie zum Beispiel Kiesnester, Rissbildung, Verfärbungen, soll bauteilbezogen erfolgen. Beurteilungshilfen sind themenweise in den Kapiteln 4.2 und 4.3 beschrieben.

4.1.3.3 Betrachtungsabstand

Die Prüfung von Sichtflächen ist in einem Abstand durchzuführen, welcher der „üblichen Nutzung“ entspricht. Die visuelle Betrachtung, ohne Zuhilfenahme spezieller Hilfsmittel wie z.B. Feldstecher, soll möglichst im rechten Winkel auf die Oberfläche durchgeführt werden. Wenn z.B. eine nicht begehbare Fläche zwischen dem Objekt und dem am nächsten gelegenen Betrachtungsstandort vorhanden ist, ist der Betrachtungsabstand entsprechend anzupassen.

In der Praxis haben sich folgende Betrachtungsabstände bewährt:

Bauwerk
Die angemessene Entfernung entspricht dem Abstand, der es erlaubt, die wesentlichen Bauwerksmerkmale optisch zu erfassen. Demzufolge wird eine Fassade z.B. nicht vom Gerüst, sondern von einem Abstand der ungefähr ihrer Höhe entspricht, betrachtet.

Gewählter Betrachtungsabstand (von der begehbaren Fläche aus) für die Beurteilung dieser Sichtbetonfassade. (Bild: cbg)

Bauteil
Der angemessene Betrachtungsabstand ist derjenige, der bei üblicher Nutzung vom Betrachter eingenommen wird. Wenn möglich, soll ein Abstand von 1 m bei der Bewertung nicht unterschritten werden.

4.1.3.4 Lichtverhältnisse

Die Beurteilung einer Sichtbetonoberfläche im Aussenbereich aber auch im Innenbereich soll unter „normalen“ Tageslichtverhältnissen erfolgen. Unregelmässigkeiten, die durch seitlichen Einfall von natürlichem oder künstlichem Licht zeitlich begrenzt sichtbar werden, sind in der Regel hinzunehmen. Künstliches Streifenlicht kann die Bewertung verfälschen und soll vermieden werden. Bei der Sichtbetonplanung muss eine allfällige künstliche Beleuchtung mit ungünstigen Lichteinfallswinkeln (z.B. für die Wahrnehmung von Oberflächenunregelmässigkeiten) besonders berücksichtigt werden.

4.1.4 Anmerkungen

Erfahrungsgemäss lassen sich viele Streitfälle bei der Beurteilung von Sichtbetonoberflächen durch seriöse Vorabklärungen und präzise vertragliche Vereinbarungen der erwarteten Eigenschaften minimieren. Dabei muss zuerst von Bauherr und Architekt eine realistische Einschätzung der erwarteten Oberflächenqualität erfolgen. Diese Erwartungen an die Sichtbetonoberfläche müssen zwischen Auftraggeber und Bauunternehmer im Werkvertrag festgehalten werden. Motiviertes und entsprechend ausgebildetes Personal (Planer und Ausführende) und eine systematische Qualitätskontrolle der Betonherstellung und der Ausführung sind ebenfalls Grundvoraussetzungen für das Gelingen eines Sichtbetonbauwerks. Ein Vergleich zwischen vereinbarter und ausgeführter Sichtbetonqualität lässt sich naturgemäss nicht mit hundertprozentiger Genauigkeit nachvollziehen. In den meisten Fällen lassen sich aber Unstimmigkeiten in Zusammenhang mit festgestellten Unregelmässigkeiten einer Sichtbetonoberfläche mit gesundem Menschenverstand einvernehmlich lösen.

4.2 Mögliche Mängel an geschalten Sichtbetonoberflächen

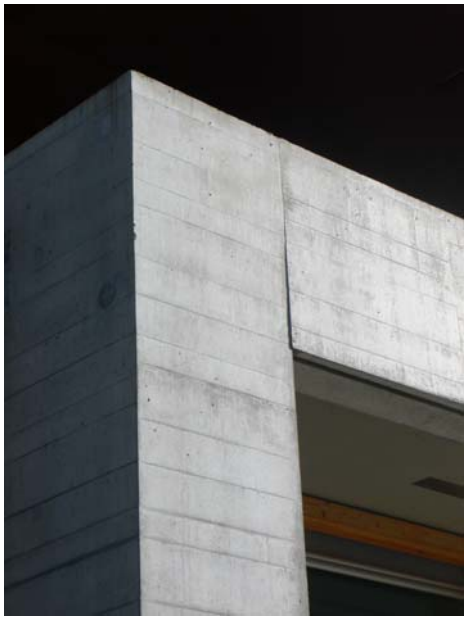
4.2.1 Oberfläche

4.2.1.1 Unebenheiten

Beschrieb
Abweichungen der Ebenflächigkeit von Sichtbetonoberflächen in Form von beulenartigen Ein- bzw. Ausbuchtungen können als Folge von übermässigen Durchbiegungen der Schalung entstehen. Ähnliche Erscheinungen sind auch bei der Verwendung von Schalmaterial zu erwarten, welches bereits vor dem Einsatz infolge unsachgemässem Transport oder unsachgemässer Lagerung Verformungen aufweist.

Unebenheiten sind auch als Folge ungenauer Montage bzw. unsorgfältiger Befestigung der Schalung oder unterschiedlichem Schwinden bzw. Quellen der einzelnen Schalungsteile anzutreffen. Diese Unregelmässigkeiten an der Sichtbetonoberfläche zeigen sich als Versätze im Bereich der Schalungsstösse bzw. Arbeitsfugen.

Versatz (ca. 5 mm) beim Schalungselementstoss. Ursache: vermutlich Ungenauigkeit bei der Montage der Schalung. (Bild: cbg)



Versatz (ca. 8 mm) bei Etappierungsfuge zwischen Wand und Sturz. Ursache: ungenügende Fixierung der Schalung. (Bild: cbg)

Ursache
Abweichungen der Ebenflächigkeit sowie Absätze bzw. Vorsprünge auf der Betonoberfläche haben ihre Ursache hauptsächlich in Zusammenhang mit der Bemessung, Montage und Befestigung der Schalung.

Die falsche Bemessung der Schalkonstruktion und der Bindstellen führt oft zu unzulässigen Durchbiegungen der Schalung, die sich dann auf der Betonoberfläche abzeichnen. Die Verwendung von Beton mit weicher Konsistenz wie zum Beispiel Pumpbeton oder selbstverdichtender Beton (SVB) erhöht die Druckbelastung auf die Schalkonstruktion zusätzlich und verschärft diese Problematik. Auch eine hohe Betoniergeschwindigkeit lässt den Schalungsdruck steigen.

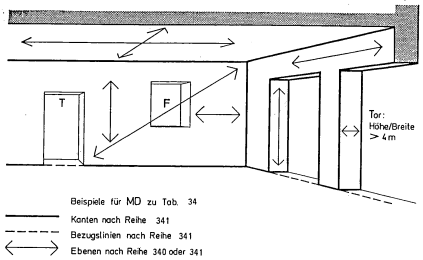
Die Wahl von Schalmaterial mit unterschiedlichem Alter und Feuchtigkeitsgehalt führt zu einem differenziellen Verhalten der einzelnen Schalhautflächen bezüglich Schwinden und Quellen und kann zu Versätzen im Bereich der Stösse führen. In diesem Zusammenhang sind auch Zementhautablösungen und Grautonunterschiede an der Sichtbetonoberfläche nicht auszuschliessen. Der Einsatz von altem und defektem Schalmaterial kann ebenfalls Unregelmässigkeiten an der Betonoberfläche erzeugen.

Die ungenaue Montage der Schalungselemente bzw. der Schalhaut sowie unsaubere und unpräzise Stellflächen (Arbeitsfuge Boden/Wand) und Anschlussflächen (Arbeitsfuge Wand/ Wand) zeichnen sich ebenfalls direkt an der Betonoberfläche ab.

Die ungenügende Befestigung der Schalung, im Speziellen im unteren Bereich von Wänden, wo der Schalungsdruck hoch ist, lässt Verschiebungen der Schalkonstruktion während des Betonierens zu, welche die Qualität der Sichtbetonoberfläche negativ beeinflussen.

Beurteilung
Geringe Unebenheiten der Sichtbetonoberflächen beeinträchtigen in der Regel die Sichtbetonqualität nicht. Für die Beurteilung der Ebenheit von Sichtbetonoberflächen gelten generell die SIA Norm 414 Masstoleranzen im Bauwesen [3] und die SIA Empfehlung V414/10 Masstoleranzen im Hochbau [4]. Die zulässigen Abweichungen sind in der Tabelle 34 unten, in Abhängigkeit der Sichtbetonklasse und der massgebenden Messdistanz, angegeben. Die Messdistanzen (MD) können dabei frei gewählt werden. Länge und Lage (Anfangspunkt, Endpunkt) sind nur durch die augenfällige Bedingung eingeschränkt, dass Anfangs- und Endpunkt auf der zu prüfenden Ebene liegen müssen. Für

die Sichtbetonklassen (SBK) 1 und 2 kann bezüglich Ebenheit die zulässige Abweichung Δ_{340} als Beurteilungsgrösse angenommen werden. Für SBK 3 und SBK 4 gilt Δ_{341} als Richtwert. Die erwähnten Sichtbetonklassen sind im Forschungsauftrag SB1 „Empfehlungen für Sichtbeton“ beschrieben.



Δ_{340} - Ebenen (Oberflächen), insbesondere bei normalen Wänden aus Beton und MN, bei normalen Deckenuntersichten

Δ_{341} - Geraden (Kanten, Achsen, Bezugslinien, Fluchten)

- Ebenen (Oberflächen) mit erhöhten Anforderungen, insbesondere bei Wänden aus MH, Sicht-M, unverputztem M (Isolation), M für Dünnschichtputz und Sichtbeton, bei Deckenuntersichten für Dünnschichtputz und aus Sichtbeton

MD (frei)		0,4	1	2	4	10	20	40	[m]
$\Delta_{adm\pm}$	Δ_{340}	8	10	12	16	20	30	--	[mm]
	Δ_{341}	4	6	8	12	16	20	25	[mm]

Tabelle 34, Geradlinigkeit, Ebenheit aus SIA Empfehlung V414/10 [4]

Die in der Tabelle 34 angegebenen Toleranzen erfüllen die normalen Genauigkeitsanforderungen gemäss SIA Norm 414 [3]. Werden erhöhte Anforderungen, wie es oft bei glatten Sichtbetonoberflächen der Fall ist, verlangt, so sind diese in den Ausschreibungsunterlagen, Verträgen und Bauzeichnungen zusätzlich aufzuführen.

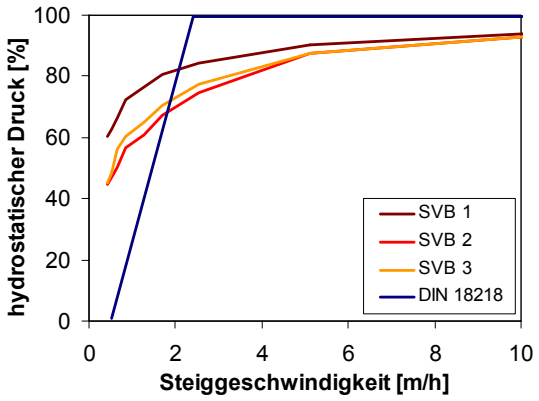
Absätze im Bereich von Schalungs- bzw. Elementstössen sowie Arbeitsfugen sind in der SIA Empfehlung V414/10 [4] nicht speziell beschrieben und können grundsätzlich gleich behandelt werden.

Unebenheiten der Sichtbetonoberfläche beeinträchtigen in der Regel nicht die Tragsicherheit und Dauerhaftigkeit eines Bauteils oder Bauwerks. Da der Ausgleich von Unebenheiten bei Sichtbetonoberflächen, zum Beispiel durch Schleifen oder durch Spachteln, die Oberflächenbeschaffenheit des Sichtbetons verändert, muss die Notwendigkeit solcher Korrekturen zwischen Bauherr und Architekt immer kritisch hinterfragt werden.

Vorbeugung
Die Ebenheit von Sichtbetonoberflächen kann hauptsächlich durch die Wahl des Schalungssystems, die korrekte Bemessung, die genaue Herstellung und die kraftschlüssige Fixierung der Schalung positiv beeinflusst werden.

Folgende Punkte sind bei Planung und Ausführung der Schalarbeiten sowie während des Betonierens zu berücksichtigen:

- Die Wahl des geeigneten Schalungssystems muss zwischen Unternehmer und Architekt vor Arbeitsbeginn besprochen werden, da diese einen Einfluss auf die Betonoberfläche hat. Ist ein spezielles Schalungssystem gewünscht, muss dieses in der Ausschreibung und im Werkvertrag festgelegt werden.
- Die Belastungsannahmen (Schalungsdrücke) sind durch den Bauunternehmer realistisch einzuschätzen. Die Verantwortung für die Schalung, inkl. Standsicherheit, liegt beim Bauunternehmer. Wenn der Ausführende keine Erfahrung besitzt, soll er unbedingt die Beratung beim Schalungslieferanten einholen. Speziell zu beachten ist diesbezüglich die Verwendung von Pumpbeton bzw. selbstverdichtendem Beton (SVB). Der Betonierdruck auf die Schalung ist in diesem Fall höher und muss berücksichtigt werden.



Druck von drei verschiedenen SVB am Schalungsfuss einer 5 m hohen Wand in Funktion der Steiggeschwindigkeit. (Grafik aus SIA Dokumentation D 0223, Vortrag A. Leemann EMPA)

- Die Schalung ist im unteren Wandbereich speziell auf die grösseren auftretenden Schalungsdrücke zu dimensionieren. Dies kann mit zusätzlichen Zwischenabstützungen oder Bindstellen erfolgen.
- Die Kombination von ungleichen Schalungssystemen, insbesondere verschiedener Fabrikate mit unterschiedlichen Steifigkeiten, ist zu vermeiden. Dies gilt besonders bei der Anwendung einer konventionellen Schalung beim gleichzeitigen Einsatz zum Beispiel von Schaltafeln und Brettern.
- Der Einsatz von Schalmaterial gleicher Beschaffenheit und gleicher Eigenfeuchte (idealerweise mittlere Feuchte) ist anzustreben, damit materialbedingte Schalungsverformungen infolge Schwinden bzw. Quellen möglichst ausgeglichen werden.
- Die Stellflächen (Arbeitsfugen Boden/Wand) und die Anschlussflächen (Arbeitsfugen Wand/Wand) müssen sauber sein, damit die Übergänge dicht und ohne Versätze ausgeführt werden können. Die Stösse der Schalelemente bzw. der Schalhaut sind bündig auszubilden.
- Die Schalungskonstruktion muss kraftschlüssig und gleichmässig fixiert werden.
- Die Abnahme der Schalung erfolgt in der Regel durch den Polier (allenfalls zusammen mit der Bauleitung, je nach Regelung der Zuständigkeiten im PQM) während des Aufbaus der Schalung und unmittelbar vor dem Betonieren. Bei der Abnahme sind speziell die Übereinstimmung mit den planmässigen Vorgaben (Lage, Koten, Fluchten, Abmessungen, Schalungsbild und Ebenheit) sowie Fixierung und Dichtigkeit zu überprüfen. Während des Betonierens ist die Schalung regelmässig zu kontrollieren. So können allfällige Bewegungen bzw. Undichtigkeiten korrigiert werden.
- Der Beton ist in gleichmässigen Schichten über die ganze Bauabschnittlänge einzubringen und zu verdichten. Die Steiggeschwindigkeit beim Betonieren darf nicht höher sein als bei der Schalungsbemessung angenommen wurde.

4.2.1.2 Korrosion

Beschrieb

Bei der Bewehrungskorrosion im Beton spielen elektrochemische Reaktionen die hauptsächlichste Rolle. Die Karbonatisierung der äussersten Betonschicht und die Chlorideindringung im Beton bilden dabei zusammen mit dem Vorhandensein von Sauerstoff und Wasser die Hauptursachen. Eine genügend dicke und dichte Bewehrungsüberdeckung gemäss SIA Norm 262 [2] schützt in der Regel die Stahleinlagen dauerhaft. Frühere Bauten wurden oft mit zu dünnen Bewehrungsüberdeckungen ausgeführt und weisen jetzt entsprechende Korrosionsschäden auf.

Schäden infolge Korrosion der einbetonierten Stahleinlagen durch Karbonatisierung des Randbetons (Reaktion zwischen CO_2 und Beton) treten normalerweise in Form von Rostflecken oder Rissen mit Rostverfärbungen an der Oberfläche von Sichtbetonbauteilen

auf. Infolge Volumenzunahme der korrodierenden Bewehrungsstäbe werden sie im Laufe der Zeit auch von Abplatzungen des Betons begleitet.

Chloridinduzierte Korrosion, die durch kraterförmige, tiefgehende Abrostung der Stahleinlagen gekennzeichnet ist, verursacht in der Regel keine Schäden an der Betonoberfläche. Chloride stammen vorwiegend aus den bei der Schneeräumung hauptsächlich verwendeten Tausalzen (Calcium- oder Natriumchlorid).

Rostflecken und beginnende Abplatzungen mit Rissbildung an einer Brüstung infolge Korrosion der Bewehrung. Ursache: zu geringe Bewehrungsüberdeckung, karbonatisierter Randbeton bis zur Bewehrung und erhöhter Chloridgehalt. (Bild: cbg)

Abplatzungen an einer Stütze infolge Korrosion der Bewehrung. Ursache: zu geringe Bewehrungsüberdeckung und karbonatisierter Randbeton bis zur Bewehrung. (Bild: Cementbulletin TFB Nr. 7/8 August 1998)

Die Betonkorrosion ist eine von der Oberfläche oder von Innen ausgehende Zerstörung des Werkstoffs Beton.

Die Beschädigung von Aussen wird hauptsächlich durch Frost und Frosttausalz, Abrasion, Erosion, Verschleiss, Abrieb, Bakterien, Algen, Pilze und Flechten verursacht. Die Beeinträchtigung der Betonoberfläche ist in der Regel durch Materialabtrag und Aufrauhung der Betonoberfläche gekennzeichnet.

Die Schädigung von innen erfolgt meistens durch Sulfattreiben, Alkali-Aggregat-Reaktion, Kalk-, Magnesium- und Gipstreiben und Aus- und Umkristallisation von Salzen. Die Auswirkungen zeichnen sich durch spinnennetzartige Rissbildung an der Betonoberfläche ab.

Spinnennetzartige Risse an der Betonoberfläche einer Stützmauer infolge Alkali-Aggregat-Reaktion. (Bild: cbg)

Materialabtrag an einer Mauerkrone im Strassenbereich infolge Frosttausalzeinwirkung. (Bild: cbg)

In den folgenden Abschnitten wird nur auf die Problematik im Zusammenhang mit der häufiger bei Sichtbetonbauten anzutreffenden Bewehrungskorrosion eingegangen. Erläuterungen zur Betonkorrosion sind zum Beispiel in der Dokumentation „Instandsetzung von Betonbauwerken“ TFB Wildegg [9] oder weiterer einschlägiger Literatur zu finden.

Ursache
Das Vorhandensein von Wasser und Sauerstoff kann unter gewissen Umständen zur Korrosion der Stahleinlagen im Beton führen. Da Sichtbetonbauten oft ungeschützt der Witterung ausgesetzt sind, müssen sie entsprechend sorgfältig geplant und ausgeführt werden. Die Wahl einer ungenügend dicken Bewehrungsüberdeckung führt häufig zu Korrosionsschäden an Sichtbetonbauten. Dies kann zum Beispiel in Zusammenhang mit nachträglich ausgeführten Oberflächenbearbeitungen wie Stocken oder Sandstrahlen der Fall sein. Auch die Ausführung sehr schlanker Bauteilabmessungen, aus gestalterischen Gesichtspunkten gewählt, kann zu einer Unterschreitung der Mindestüberdeckung der Stahleinlagen führen. Die einzuhaltenden Mindeststärken sind in der SIA Norm 262 [2] in Abhängigkeit der Exposition (Einwirkung aus Umgebung) beschrieben.

Die fehlerhafte Ausführung von Distanzhaltern (ungenügende Anzahl oder schlechte Fixierung) kann während des Betonierens zu Verschiebungen der Bewehrung führen. Die reduzierte Bewehrungsüberdeckung erhöht an diesen Stellen das Korrosionsrisiko. Bindedrähte werden zum Beispiel bei Wänden und Stützen oft ungenügend sorgfältig zurückgebogen und liegen somit sehr nahe der Betonoberfläche. Auch auf der Schalung liegengelassene Bindedrähte zeichnen sich an bewitterten Flächen rasch als Rostflecken ab.

Eine schlechte Qualität (hohe Porösität) des Randbetons, Risse und Kiesnester können das Eindringen von Schadstoffen und Wasser begünstigen und die Korrosionsprozesse beschleunigen.

Als Karbonatisierung wird die chemische Reaktion des Kohlendioxids [CO_2] der Luft mit dem Kalziumhydroxid [$Ca(OH)_2$] des Betons bezeichnet. Es findet eine Umwandlung von Kalkhydrat und Kohlensäure zu Kalkstein und Wasser statt. Die Karbonatisierung ist ein Vorgang, der an der Oberfläche des Betons beginnt und ins Innere fortschreitet. Diese Reaktion kann nur bei Anwesenheit von genügend Wasser ablaufen. Den Beton selber beeinflusst sie positiv, weil sie ihn dichter macht und seine Festigkeit erhöht. Die Geschwindigkeit, mit der sich die Karbonatisierungsfront ins Betoninnere bewegt, ist umso höher, je poröser der Beton ist. Hohe Wassermengen im Beton und niedrige Zementgehalte begünstigen den Vorgang. Die Tiefe der Eindringung kann zwischen wenigen Millimetern und einigen Zentimetern betragen. Sie nimmt mit der Zeit allmählich ab und ist in der Regel nach ca. 15 bis 30 Jahren weitgehend abgeklungen. Die Bewehrung ist durch die hohe Alkalität des Betons (pH > 12) generell vor Korrosion geschützt. Durch die Karbonatisierung wird die Alkalität auf einen für die Korrosion ungünstigen pH-Wert < 9 reduziert. Erreicht die Depassivierung die Tiefe der Stahleinlagen, können diese unter Einwirkung von Feuchtigkeit/Wasser durch Korrosion geschädigt werden.

Grossflächige Abplatzung infolge Volumenzunahme der korrodierenden Bewehrung. Ursache: zu geringe Bewehrungsüberdeckung, karbonatisierter Randbeton bis zur Bewehrung und erhöhter Chloridgehalt. (Bild: R. Rageth, Baugeologie Chur)

Die Chlorideindringung in Betonbauteile wie zum Beispiel Fassaden, Brüstungen und Brückenpfeiler erfolgt oft in unmittelbarer Nähe von Strassen oder Plätzen, die im Winter mit Hilfe von Tausalz (Calcium- oder Natriumchlorid) schnee- und eisfrei gehalten werden müssen. Die Tiefe der Chlorideindringung kann je nach Porösität des Betons, Chloridmenge und klimatischen Bedingungen mehrere Zentimeter betragen. Überschreitet der Gesamtchloridgehalt im Bereich der Bewehrung Konzentrationen von ca. 0.4 % bezogen auf den Zement [Massen-%], muss erfahrungsgemäss auch bei nicht karbonatisiertem Beton mit gravierenden Korrosionsschäden an der Bewehrung gerechnet werden. Für vorgespannte Bauteile liegt der Grenzwert des Chloridgehalts tiefer. Anders als bei der Korrosion infolge Karbonatisierung werden die Stahleinlagen punktuell durch örtlichen Lochfrass angegriffen und geschwächt. Dies kann auch ohne Anzeichen an der Betonoberfläche erfolgen.

Lochfrasskorrosion infolge Chlorideinwirkung. (Bild: cbg)

Beurteilung
Korrosionserscheinungen an Sichtbetonoberflächen beeinträchtigen nicht nur die optische Wahrnehmung, sondern auch die Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit eines Bauteils bzw. einer Gesamtstruktur.
In der Regel treten Korrosionsschäden erst einige Jahre nach Bauvollendung auf, weil die Korrosionsprozesse auch bei mangelhafter Ausführung langsam beginnen. Beim Vorhandensein von Feuchtigkeit bzw. Wasser nimmt aber die Korrosionsgeschwindigkeit im Laufe der Zeit zu.

Kleine, punktuell in Erscheinung tretende Rostflecken sind bezüglich Dauerhaftigkeit nicht problematisch. Optisch betrachtet müssen sie aber bei allen Sichtbetonklassen (SBK1 - SBK4) vermieden werden.

Treten Korrosionserscheinungen grossflächig auf oder werden sie vermutet, müssen Ursache und Zustand durch einen Bauingenieur untersucht und beurteilt werden. Wichtige Kriterien für die Zustandsbeurteilung bezüglich Korrosion der Bewehrung sind dabei die Bewehrungsüberdeckung, die Betonqualität, die Karbonatisierungstiefe, der Chloridgehalt und der Feuchtigkeitsgehalt.

Bei der Zustandsuntersuchung sind nach dem Studium der vorhandenen Plangrundlagen zuerst alle visuelle Schäden der Betonoberfläche aufzunehmen und planerisch sowie fotografisch festzuhalten. Die Betonqualität, die Karbonatisierungstiefe und der Chloridgehalt werden mit Hilfe von am Bauteil entnommenen Bohrkernen im Labor geprüft. Das punktuelle Freilegen der Bewehrung gibt Auskunft über den Korrosionsfortschritt an den kritischen Stellen. Die Bewehrungsüberdeckung kann zerstörungsfrei mit einem Bewehrungssuchgerät direkt am Bauteil gemessen werden. Ergänzend kann grossflächig der Zustand der Bewehrung, ebenfalls ohne Eingriff in die bestehende Bausubstanz, mit Hilfe von Potentialfeldmessungen (durch spezialisiertes Ingenieurbüro) untersucht werden.

Die im Labor am Bohrkern gemessene Karbonatisierungstiefe steht in direktem Zusammenhang mit der Betonqualität und ist eine wichtige Grösse für die Zustandsbeurteilung. Erreicht dessen Tiefe die äussersten Bewehrungslagen, kann die Korrosionswahrscheinlichkeit im Vorhandensein von Wasser als hoch beurteilt werden. Der Chloridgehalt des Randbetons wird im Labor gemessen. Erreicht seine Konzentration im Bereich der Stahleinlagen ca. 0.40 M-% bezogen auf den Zementgehalt, muss von einer Korrosionsgefährdung ausgegangen werden. Dieser Grenzwert gilt als Erfahrungswert und hängt von der Betonfeuchtigkeit sowie von konstruktiven, ausführungstechnischen und betontechnologischen Parametern ab. Eine grossflächige Einschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung von Chloridgehalt, Karbonatisierungstiefe und Feuchtigkeitsgehalt kann mit der Auswertung der Potentialfeldmessungen erreicht werden.

Anhand der visuellen Zustandsaufnahme und der Untersuchungsresultate kann eine Beurteilung des Bewehrungszustandes und der Korrosionswahrscheinlichkeit erfolgen. Für die Beurteilung der Tragsicherheit muss die Tragstruktur ergänzend unter Berücksichtigung eines allfälligen Querschnittsverlustes der Bewehrung statisch nachgerechnet werden.

Oft liegt die Hauptursache der Bewehrungskorrosion bei der Witterung ausgesetzten Sichtbetonbauten in der zu geringen Bewehrungsüberdeckung. Reichen in diesem Fall die Karbonatisierungstiefe und/oder die Chlorideindringung bis zur Bewehrung, sind Instandsetzungsmassnahmen zwingend erforderlich. Da solche Instandsetzungen in der Regel mit einem Ersatz des Randbetons vollzogen werden und dabei die optische Wahrnehmung einer Sichtbetonoberfläche beeinträchtigt wird, sind die Massnahmen entsprechend gründlich durch den beteiligten Planer und Bauherr zu prüfen und schriftlich festzuhalten.

Vorbeugung
Der heutige Wissensstand bezüglich Korrosionsgefährdung von Stahlbeton erlaubt unter Beachtung bestimmter konstruktiver und materialtechnologischer Grundsätze eine dauerhafte und unterhaltsarme Erstellung von Sichtbetonbauten.

Folgende Vorbeugungsmassnahmen können die Dauerhaftigkeit verbessern:

- Die Bauteilabmessungen sind so zu wählen, dass die Bewehrung ohne Reduktion der minimalen Bewehrungsüberdeckung verlegt werden kann.
- Die Bewehrungsüberdeckung ist in Abhängigkeit der Exposition (Einwirkung aus der Umgebung) des betroffenen Bauteils zu bestimmen. Die minimal einzuhaltenden Stärken sind in der SIA Norm 262 (2003) [2] enthalten und betragen je nach Expositionsklasse 20 bis 65 mm.

Bewehrungsüberdeckung c_{nom} [mm]	Expositionsklasse gemäss Tabelle 1						
	2) Bewehrungskorrosion in karbonatisiertem Beton				3) Bewehrungs-korrosion induziert durch Chloride		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
Betonstahl	20	35		40	40	55	
Spannstahl bzw. Spannglied	30	45		50	50	65	

Grundwerte für die Bewehrungsüberdeckung Tabelle 17 SIA-Norm 262 [2], Expositionsklassen gemäss Tabelle 1 siehe [2]

- Besondere Beachtung erfordern Scheinfugen und Nuten sowie Bereiche mit Bewehrungszulagen, wo die Gefahr einer Unterschreitung der vorgegebenen Bewehrungsüberdeckung nicht ausgeschlossen werden kann.
- Die Wahl einer Überdeckung, die grösser als die vorgegebenen Grundwerte gemäss oben dargestellter Tabelle ist, kann beim Vorliegen besonderer Umstände, zum Beispiel wenn die Oberfläche nachträglich bearbeitet wird, sinnvoll sein.
- Je nach Expositionsklasse sind die Zementdosierung und der Wasserzementwert gemäss Betonnorm SN EN 206-1 [5] einzuhalten, um einen Zementstein von möglichst geringer Porösität zu erzielen. Bauteile, die im Einsatzbereich von Tausalzen gebaut werden, sind mit Frosttausalzbeständigem Beton gemäss SN EN 206-1 [5] herzustellen.
- Bei exponierten Bauteilen, wie zum Beispiel Brückenpfeilern oder dünnwandigen Konstruktionen mit Gefahr für zu geringer Betonüberdeckung, ist der Einsatz einer rostfreien Bewehrung in Betracht zu ziehen (z.B. korrosionsbeständiger, gerippter Betonstahl, Werkstoff Nr. 1.4571). Die Bindedrähte sind ebenfalls korrosionsbeständig zu wählen.
- Die Wahl einer beschichteten Bewehrung kann zum Beispiel bei der Herstellung von repräsentativen Sichtbetonkonstruktionen wie Weissbetonfassaden in Zusammenhang mit der Vermeidung von Rostspuren, die während des Baus entstehen können, sinnvoll sein. Die beschichtete Bewehrung weist in gerissenen Bauteilen aber keine bedeutende Vorteile bezüglich Dauerhaftigkeit gegenüber einer konventionellen Bewehrung auf (Dokumentation TFB Wildegg [10]).
- Die Distanzhalter sind in genügender Anzahl einzusetzen (in der Regel min. 1 St/m^2) und müssen gut befestigt sein. Bindedrähte sind so abzubiegen, dass sie gegen den Betonkern gerichtet sind. Die Wahl der Distanzhalter muss zudem den gestellten Sichtbetonanforderungen angepasst sein (SB1 Empfehlungen für Sichtbeton), damit keine Beeinträchtigung der Sichtbetonoberfläche erfolgen kann. Bei der Reinigung der Schalung, unmittelbar vor dem Betonieren, dürfen keine Bindedrähte auf der Schalung vergessen werden.
- Die Bewehrungsabnahme muss durch den zuständigen Bauingenieur erfolgen, wenn die Bewehrung vollständig verlegt ist. Dabei muss auch die Bewehrungsüberdeckung und die Sauberkeit der Schalung kontrolliert werden. Vorteilhaft ist unserer Erfahrung nach die zusätzliche Protokollierung aller Betonieretappen mit Bestätigung durch den Polier, dass die Bewehrungsüberdeckung unmittelbar vor und während des Betonierens immer noch planmässig war.
- Es ist eine nahezu vollständige Verdichtung, d.h. Minimierung des Anteils an Verdichtungsporen anzustreben.
- Schutz gegen zu rasches Austrocknen möglichst schnell nach dem Betonieren aufbringen und je nach Anforderungen und Umweltbedingungen mehrere Tage belassen (vgl. Kap. 4.2.1.6 Risse).
- Bei erhöhten Anforderungen, zum Beispiel Bauten im Strassenbereich, ist eine Hydrophobierung oder Versiegelung der Betonoberfläche als zusätzlicher Schutz empfehlenswert.

4.2.1.3 Bluten (Wasserabsondern)

Beschrieb

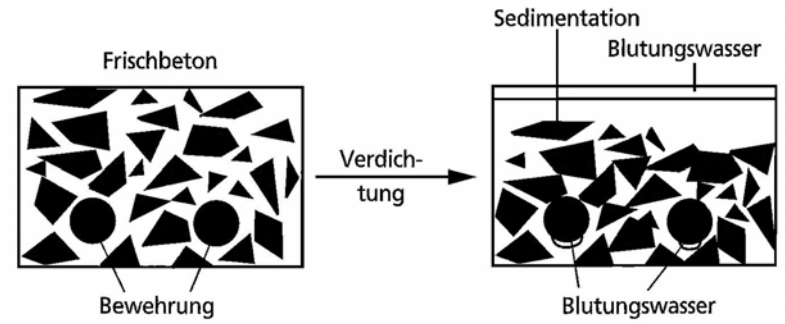
Bei jedem frisch eingebrachten Beton findet ein Wasserabsondern, sogenanntes „Bluten“, statt. Diese Erscheinung ist eine Folge der Zusammensetzung des Betons aus Materialien mit unterschiedlichen Rohdichten: Gesteinskörnung 2.7 kg/dm^3, Zement 3.1 kg/dm^3 und Wasser 1.0 kg/dm^3. Durch das physikalisch bedingte Absinken der dichteren Gesteinskörner wird das Wasser in der Betonmischung nach oben verdrängt. Durch diesen Vorgang können auch Feinanteile aus der Betonmischung transportiert werden. Diese Vorgänge werden durch eine ungeeignete Betonzusammensetzung mit schlecht abgestufter Gesteinskörnung, tiefem Zement- und Mehlkorngehalt und hohem Wassergehalt gefördert. Solche Schleppwassereffekte können bei ungünstigen Bedingungen auch geschalte Betonoberflächen beeinträchtigen. Die Oberfläche ist an diesen Stellen unregelmässig, abgesandet und porös sowie von hellen und dunklen Verfärbungen begleitet. Zudem entstehen infolge des Aufsteigens des überschüssigen Wassers und Mitschleppens von Feinanteilen aus der Betonmischung zwischen Schalhaut und Beton auch kleinere Krater an der Betonoberfläche. Im Betonkern sowie an der Betonoberfläche von ungeschalten (horizontalen oder leicht geneigten) Bauteilen können bei überschüssigem Bluten zusätzliche erhebliche Qualitätsprobleme auftreten.

Stark verfärbte und leicht poröse Betonoberfläche. Ursache: Aufsteigen von überschüssigem Wasser zwischen glatter, nichtsaugender Schalhaut und Betonoberfläche. (Bild: cbg)

Unregelmässige und poröse Betonoberfläche mit kraterartigen Vertiefungen. Ursache: Aufsteigen von überschüssigem Wasser und Mitschleppen von Feinbestandteilen aus der Betonmischung entlang der Schalhaut. (Bild: Betonpraxis Holcim [11])

Ursache

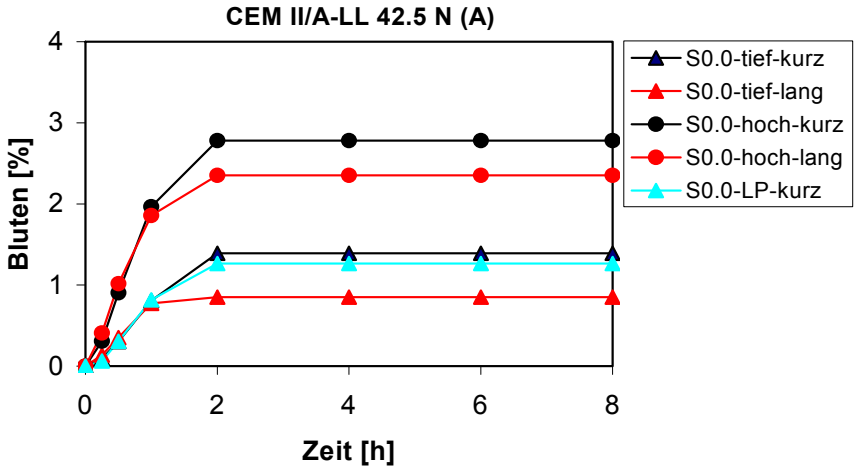
Das Problem Bluten hängt eng mit dem Problem „Entmischung“ zusammen. Es handelt sich um einen Sonderfall der Sedimentation. Je mehr schwere Bestandteile der Frischbetonmischung sich nach unten bewegen, desto stärker ist die Anreicherung der leichteren Teile (Wasser, Feinstoffe) im oberen Bereich.



Nicht alles Blutungswasser gelangt an die Bauteiloberfläche. (Grafik aus Cementbulltin 02/99, TFB Wildegg)

Durch das Bluten bzw. die damit zusammenhängende Entmischung entsteht im oberen Bereich eines Betonbauteils eine Zone mit höherem Wasser/Zement-Wert, grösserer Porösität und niedriger Festigkeit. Im Allgemeinen blutet ein Beton auf seiner gesamten Oberfläche. In gewissen Fällen (meistens bei starkem Bluten) fliesst das Wasser auch in kleinen Kanälen nach aussen und reisst dabei Zement- und feine Gesteinskörner mit. Im Inneren bleiben wurmförmige Kanäle, auf der Oberfläche entstehen kleine Krater. Die Betonoberfläche ist zudem an diesen Stellen durch Sandstreifen und dunkel/hell Verfärbungen kennzeichnet.
Nicht alles Blutungswasser gelangt an die Oberfläche. Vielmehr kann sich ein Teil davon auch unter gröberen plattigen Gesteinskörnern oder unter horizontalen Bewehrungsstäben ansammeln. Es entstehen somit Bereiche mit einer verminderten Haftung zwischen Zementstein und einem Teil der gröberen Gesteinskörner bzw. der Bewehrung.

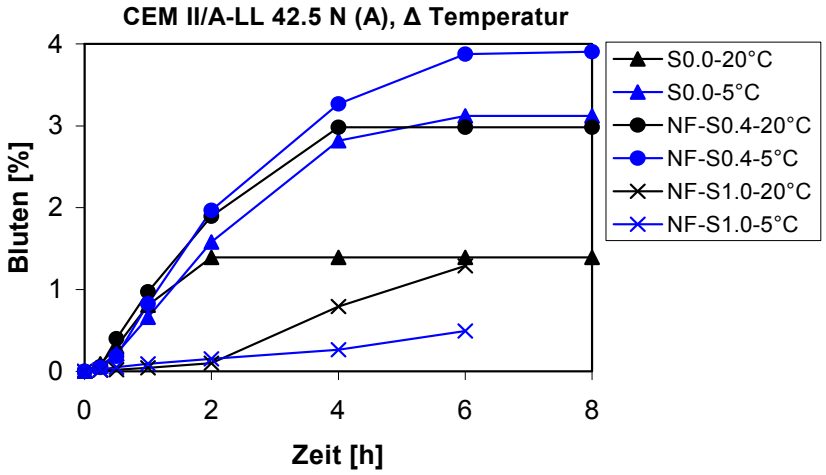
Die Wahl einer ungeeigneten Betonmischung mit schlecht abgestimmter Kornzusammensetzung, zu geringem Zement- bzw. Mehlkorngehalt sowie zu hohem Wassergehalt begünstigt das Bluten.
Der negative Einfluss eines hohen Wasser/Zement-Werts wurde auch im Rahmen des Forschungsauftrags SB4 „Sedimentation und Bluten von Beton“ [7] klar festgestellt. Luftporenmittel und Verdichtungsdauer spielten bei den Versuchsresultaten dagegen nur eine unwesentliche Rolle.



Einfluss der Verdichtungsdauer („kurz“, „lang“), des Wasser/Zement-Wertes („tief“, „hoch“) sowie eines Luftporenmittels auf das Bluten von Beton. (Grafik aus SB4 „Sedimentation und Bluten von Beton“ [7])

Glatte und nichtsaugende Schalungen, wie zum Beispiel porendichte (befilmte) Stahlschalungen oder Sperrholzplatten, begünstigen das Aufsteigen von überschüssigem Wasser zwischen dieser und der Betonoberfläche. Auch eine ungenügende Befestigung der Schalkonstruktion, die Bewegungen der Schalung während bzw. unmittelbar nach dem Einbringen des Betons zulässt, kann die Folgen von Bluten verstärken.

Das Betonieren bei tiefen Temperaturen verstärkt das Wasserabsondern und erhöht somit die Gefahr einer Beeinträchtigung der Sichtbetonoberfläche. Dies wurde im Rahmen des Forschungsauftrags SB4 „Sedimentation und Bluten von Beton“ [7] eindeutig festgestellt.



Einfluss der Temperatur auf das Bluten von Betonmischungen mit unterschiedlicher Fliessmitteldosierung. (Grafik aus SB4 „Sedimentation und Bluten von Beton“ [7])

Erfahrungen aus der Praxis zeigen die Tendenz zu einem verstärkten Bluten bei übermässigem Verdichten. Im Rahmen des Forschungsauftrags SB4 „Sedimentation und Bluten von Beton“ [7] konnte dies jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Beurteilung
Die Folgen von übermässigem Bluten, die als ungleichmässige, poröse Oberfläche mit stellenweise auch kraterartigen Vertiefungen von einigen Millimeter Tiefe in Erscheinung treten, beeinträchtigen die optische Wahrnehmung eines Bauteils bzw. Bauwerks. Die Dauerhaftigkeit und die Tragsicherheit des Bauteils bzw. Bauwerks werden durch solche lokalen Erscheinungen in der Regel nur unwesentlich beeinflusst. Sind grössere Flächen bzw. ganze Bauteile betroffen, müssen allfällige Qualitätseinbussen des Betons zusätzlich von einem Bauingenieur beurteilt werden.

Für die Beurteilung solcher Unregelmässigkeiten der Sichtbetonoberfläche existieren keine normierten Grössen. Massgebend für die Bewertung ist der Gesamteindruck, den der Betrachter bei üblichen Lichtverhältnissen und von einem angemessenen Betrachtugsabstand aus wahrnimmt (vgl. Kap. 4.1 Beurteilung). Bei den Sichtbetonklassen (SBK) 1 und 2 werden in der Regel kleine Unregelmässigkeiten akzeptiert. Sind Sichtbetonklassen 3 und 4 vertraglich vereinbart, müssen solche, hauptsächlich durch die Wahl der Betonmischung verursachten, Oberflächenbeeinträchtigungen unbedingt vermieden werden. Im Rahmen der Vorversuche an Musterelementen und/oder an Erprobungsflächen auf der Baustelle ist die Betonzusammensetzung speziell bezüglich Wasserabsondern zu optimieren.

Da die Reparatur solcher poröser, unregelmässiger Stellen die Qualität der Sichtflächen ebenfalls beeinträchtigt, ist abzuwägen, ob bei kleineren Fehlstellen auf eine Instandsetzung verzichtet werden kann. Das Vorgehen und die Massnahmen für eine allfällige Reparatur sind vorgängig mit allen Beteiligten (Bauherr, Architekt, Bauingenieur, Unternehmer und evtl. Mörtelspezialist) zu besprechen und schriftlich festzuhalten. Die Wahl des geeigneten Mörtels und seiner Farbe ist für das technische und optische Gelingen der Instandsetzung entscheidend. Das vorgängige Erstellen von Musterflächen, um die Tauglichkeit der gewählten Produkte zu prüfen, führt in der Regel zu besseren Resultaten.

Die Sichtbetonoberfläche der mittleren Betonieretappe ist durch übermässiges Bluten stark beeinträchtigt. (Bild: cbg)

Vorbeugung
Das Bluten des Frischbetons wird massgebend durch seine Konsistenz respektiv Verarbeitbarkeit und Temperatur beeinflusst. Diese Zusammenhänge wurden auch im Rahmen des Forschungsauftrags SB4 „Sedimentation und Bluten von Beton“ [7] deutlich festgestellt. Für die Herstellung und Ausführung von Sichtbetonbauten sind in diesem Zusammenhang folgende Punkte speziell zu beachten.

- Aus betontechnologischer Sicht besteht gemäss Laborversuchen die grösste Wahrscheinlichkeit für gleichmässige Sichtbetonflächen, wenn mit einem Beton gearbeitet wird, der ein Ausbreitmass im Bereich von 500 – 600 mm (entspricht ca. Konsistenzklasse F4) aufweist. In der Praxis werden Ausbreitmasse von 400 – 500 mm (entspricht ca. Konsistenzklasse F3) mit Erfolg eingesetzt. Der Wassergehalt muss dabei limitiert und der Bindemittelgehalt anforderungsgerecht gewählt werden. Die Verwendung von CEM II scheint im Vergleich zu einem CEM I vorteilhaft zu sein. Die Verwendung von Fliessmitteln hat sich im Rahmen der Untersuchungen nicht als nachteilig ausgewirkt. Auch die untersuchten Fliessmitteltypen haben keine bedeutenden Unterschiede bezüglich Bluten gezeigt.

Messung des Ausbreitmasses (Konsistenz) eines Frischbetons. (Bild cbg)

- Die Verwendung von saugfähigen Schalungen (z.B. Bretterschalung) reduziert die Gefahr einer Beeinträchtigung der Sichtbetonoberfläche infolge übermässigen „Blutens“.
- Der Frischbeton ist unmittelbar vor dem Einbringen auf der Baustelle zu prüfen. Besonders wichtig sind das Ausbreitmass (Prüfung gemäss SN EN 12350-5:2000) und der Wassergehalt (Prüfung gemäss SIA 262/1:2003 [2]). Die Grenzwerte für die Beurteilung der Frischbetonprüfungen müssen vor Baubeginn zwischen Bauingenieur, Betonwerk und Bauunternehmung vereinbart werden. Die Häufigkeit der Frischbetonkontrollen ist vor Ausführungsbeginn durch Bauingenieur und Architekt, je nach Bedeutung des Bauteils bzw. –werks, in einem Kontrollplan schriftlich festzuhalten. Die komplette Frischbetonprüfung sollte durch ein akkreditiertes Labor ausgeführt werden. Die Annahmeprüfung der Konsistenz wird oft durch den Bauunternehmer selber durchgeführt.
- Das Einbringen des Betons soll mit gleichbleibender Geschwindigkeit und in möglichst gleichmässigen horizontalen Schichten von 50 – 70 cm Stärke erfolgen. Dies um das Entmischen und gleichzeitig das übermässige Bluten zu minimieren (vgl. Kap. 4.2.1.4 Kiesnester).
- Tiefe Temperaturen während des Einbringens des Betons beeinflussen die Sichtbetonqualität negativ und sind möglichst zu vermeiden. Die Forschungsresultate aus SB4 [7] zeigen bereits eine grössere Zunahme des „Blutens“ bei einer Temperaturreduktion von 20°C auf 5°C. Mit zusätzlichen Massnahmen wie Erhöhung der Frischbetontemperatur, Heizen und/oder Abdecken der Bauteile usw. ist das Betonieren von Sichtbetonbauteile auch bei tiefen Temperaturen bedingt möglich.
- Die Verdichtung des frisch eingebrachten Betons soll rasch, gleichmässig und durch entsprechend ausgebildetes Personal erfolgen (vgl. Kap. 4.2.1.4 Kiesnester).

4.2.1.4 Kiesnester

Beschrieb

Kiesnester treten als offene Stellen oder als stark poröse Bereiche an Sichtbetonoberflächen nach dem Ausschalen in Erscheinung und sind oft durch Verfärbungen (hell/dunkel, Wolkenbildung) begleitet. Die Kiesnester sind in ihrer ausgeprägtesten Form unmittelbar im Kontakt mit der Schalungsfläche. Sie kommen meistens im unteren Bereich von aufgehenden Betonbauteilen wie Wänden und Stützen vor. Prädestinierte Stellen für Kies-

nester sind zudem Bereiche mit dichter Bewehrung und/oder ungenügender Bewehrungsüberdeckung. Bauteile mit zu kleinen Abmessungen sowie Aussparungen und Einlagen begünstigen die Entstehung von Kiesnestern. Verfüllen sich die während des Einbaus des Frischbetons entstandenen Kiesnester durch das Vibrieren mit Feinanteilen und Wasser, bleiben sie oft als unregelmässige Grautonverfärbung an der Oberfläche erkennbar.

Offene Stelle an der Betonoberfläche einer Wand. Ursache: eng verlegte Bewehrung und zu geringe Bewehrungsüberdeckung. (Bild: cbg)

Poröse und dunkle Betonoberfläche im unteren Bereich einer Brüstung. Ursache: ungenügende Verdichtung des Frischbetons. (Bild: cbg)

Typisches Kiesnest am Wandfuss. Ursache: Entmischung des Betons und undichter Schalungsabschluss. (Bild: cbg)

Ursache
Kiesnester sind die Folge einer Entmischung des Frischbetons, bei der sich grobe Gesteinskörner mit wenig Feinanteilen und Zement innerhalb des Betonquerschnittes anreichern.

Wird der maximale Durchmesser der Gesteinskörnung für die gewählten Bauteilabmessungen zu gross gewählt, kann kein optimales Einbringen und Verdichten stattfinden. Die Folgen sind Entmischungen des Frischbetons mit Beeinträchtigung der Sichtbetonoberfläche.

Bei zu geringer Bewehrungsüberdeckung oder zu eng geplanter bzw. verlegter Bewehrung und ungeeigneter Kornabstufung der Betonmischung, können die Grobkörner nicht ungehindert fliessen. An diesen Stellen werden die Hohlräume im Betongefüge nicht vollständig verfüllt (Siebwirkung), was zu Kiesnestern an der Sichtbetonfläche wie auch zu nicht ersichtlichen, offenen Stellen im Betonkern führt.

Die Wahl einer ungeeigneten Betonmischung mit schlecht abgestimmter Kornzusammensetzung und zu geringer Zementdosierung begünstigt die Entstehung von Kiesnestern. Ähnliche Folgen können aber auch bei einer zu kurzen Mischzeit (min. 60 Sekunden) bei der Betonherstellung, trotz optimal gewählter Betonzusammensetzung, auftreten. Eine Mischung mit zu hohem Wassergehalt kann Entmischungen und Auswaschung der Feinanteile verursachen, die dann an der Sichtbetonoberfläche sichtbar werden.

Wird die Schalung undicht oder unstabil zusammengebaut (für eine Sichtbetonfläche entscheidend!), kommt es an den so entstandenen undichten Stellen zu Wasser- und Zementleimaustritten. Kiesnester und dunkle Verfärbungen an der Sichtbetonoberfläche sind die Folgen davon. Diese Mängel treten oft im unteren Bereich von Wänden und Stützen aber auch bei Arbeitsfugen, Schalungsstössen, Kanten sowie Einlagen auf.

Beim unsachgemässen Einbau des Betons von aufgehenden Bauteilen wie Wänden und Stützen kann es zu einer Entmischung des Frischbetons mit Ansammlung von groben Zuschlägen im unteren Bauteilbereich kommen. Dies wird vom zu starken Aufprallen des Frischbetons bei Fallhöhen grösser als 1.5 m, von zu grossen Abständen zwischen den einzelnen Einbringstellen und vom Vorhandensein einer dicht verlegten Bewehrung begünstigt. Oft ist auch der schlechte Verbund mit anstehenden Bauteilen bzw. bereits eingebrachtem Beton Grund für die Entstehung von Kiesnestern. Auch der Einsatz von unqualifiziertem Personal bzw. schlechte Ausführungsqualität führt zu unbefriedigenden Resultaten der Sichtbetonqualität.

Das Risiko für die Bildung von Kiesnestern ist bei zu kurzer aber auch bei zu langer Verdichtung des Frischbetons gross. Bei unzureichender Verdichtung verhindern die im Beton enthaltenen Luftblasen eine gleichmässige Verteilung der feineren und gröberen Materialanteile. Ein zu langes Verdichten führt zu Ansammlungen von Fein- und Grobanteilen (Entmischung), die an der Oberfläche sichtbar werden.

Beurteilung
Kiesnester mit den daraus entstandenen Verfärbungen der Betonoberfläche beeinträchtigen die optische Wahrnehmung einer Sichtbetonfläche. Zudem ist an diesen Stellen die Dauerhaftigkeit durch die offene, poröse Betonstruktur, infolge Verminderung des Korrosionsschutzes der Bewehrung, herabgesetzt. Der durch die Kiesnester verringerte Betonquerschnitt beeinflusst die Tragsicherheit negativ. Wenn Grösse und/oder Lage dieser Schwachstellen für die Tragsicherheit oder Dauerhaftigkeit der Tragstruktur von Bedeutung sind, muss die Beurteilung unbedingt durch einen Bauingenieur erfolgen.

Eine Instandsetzung von Kiesnestern ist sorgfältig zu planen. Das Vorgehen und die Massnahmen für diesen Schritt sind vorgängig mit allen Beteiligten (Bauherr, Architekt, Bauingenieur, Unternehmer und evtl. Instandsetzungsspezialist) zu besprechen, schriftlich festzuhalten sowie an Musterflächen zu erproben.

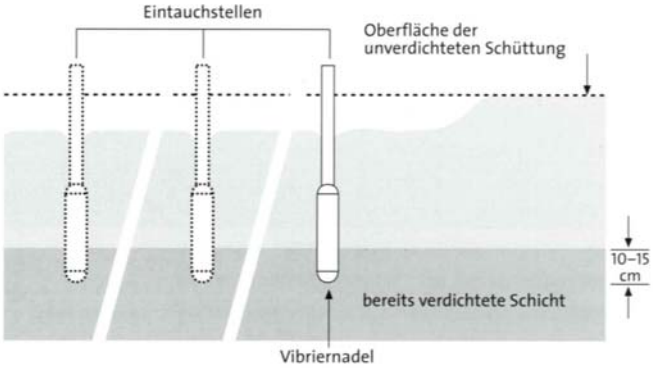
Die Reparatur von Kiesnestern beeinträchtigt die Sichtbetonqualität. Es ist deshalb abzuwägen, ob bei kleineren und bezüglich Dauerhaftigkeit und Tragsicherheit nicht problematischen Stellen auf eine Instandsetzung verzichtet werden kann.

Vorbeugung
Die Entstehung von Kiesnestern an der Betonoberfläche kann durch folgende Massnahmen reduziert werden:

- Bei der Planung von Sichtbetonbauten müssen die Bauteilabmessungen in Abhängigkeit der Bewehrungsmenge und –führung sowie der Betoneigenschaften so gewählt werden, dass das Einbringen und Verdichten des Betons einwandfrei möglich ist. In der SIA Norm 262 [2], Kap. 5.5.4 werden die Minimalabmessungen für Druckglieder und Wände angegeben. Je nach Feuerwiderstandsklasse sind in der gleichen Norm unter Kap. 4.3.10 ergänzende Angaben diesbezüglich zu finden. Bei schlanken Bauteilen mit komplizierten Formen ist die Anwendung von selbstverdichtendem (SVB-Beton) oder leicht verarbeitbarem Beton zu prüfen.
- Die Bewehrungsüberdeckung ist gemäss SIA Norm 262 [2] in Abhängigkeit der Exposition der Sichtbetonflächen einzuhalten (siehe diesbezüglich auch Kap. 4.2.1.2 Korrosion). Der gegenseitige Abstand von Bewehrungsstäben zueinander soll grösser als der maximale Durchmesser der Gesteinskörnung und der Durchmesser benachbarter Stäbe (mindestens aber 20 mm) sein. Die Anordnung von Stabbündeln (max. 3 sich berührende Stäbe in der gleichen Richtung) ist gemäss SIA Norm 262 [2] Kap. 5.2.3 möglich. Speziell zu beachten sind Bereiche mit Bewehrungsstössen, -verankerungen und -abbiegungen im Fall von hohen Bewehrungsgehalten.
- Eine Betonmischung mit gut abgestimmter Kornzusammensetzung und dem Bauteil und der Einbringart angepasster Konsistenz je nach Fördermittel (Kübel, Betonpumpe, Kübel mit Fallrohr, usw.) wählen. Dem Zementleim- / Feinmörtelgehalt sowie dem Wasser/Zement-Wert ist die nötige Aufmerksamkeit zu schenken, um die Entmischungsneigung unter Kontrolle zu halten. Der maximale Durchmesser der Gesteinskörnung muss generell kleiner als ein Drittel der minimalen Bauteilstärke betragen. Bei schlanken Bauteilen ist oft die Reduktion des Grösstkorns von 32 mm auf 16 mm empfehlenswert.
- Die Schalung muss dicht und stabil zusammengesetzt werden, damit wenig Wasser und kein Zementleim ausfliessen kann. Speziell zu beachten ist die Fixierung und Abdichtung im Bereich der Betonierfugen, Schalungsstösse, Ecken, Kanten und Einlagen.
- Der Frischbetontransport erfolgt mit dem Fahrmischer. Lange Transportdistanzen und/oder ungünstige Strassenverhältnisse bergen die Gefahr einer gewissen Entmischung. Der Beton soll unmittelbar vor dem Entladen 1 bis 2 Minuten nachgemischt werden.
- Das Einbringen des Betons soll mit gleichbleibender Geschwindigkeit und in möglichst gleichmässig dicken horizontalen Schichten erfolgen. Um das Entmischen zu vermeiden, soll die Schutthöhe höchstens 50 cm betragen. Bei Fallhöhen von über 1.5 bis 2.0 m muss der Beton mit Hilfe eines Fallrohrs oder Verteilschlauchs (der zwischen der Bewehrung heruntergelassen wird) eingebracht werden. Durch das vorgängige Einbringen eines Vorlagebetons (Schichtstärke ca. 10 cm) mit höherem Zementgehalt und kleinerem Grösstkorn bei Wänden, lässt sich eine mögliche Entmischung des Frischbetons am Wandfuss korrigieren. Besonders zu beachten bei dieser Massnahme ist ein möglicher Farbunterschied im Bereich des Vorlagebetons.

Betonieren mit Verteilschlauch um Entmischungen bei Sichtbetonwänden zu vermeiden (Bild: C. Rutzer, Kies und Beton AG Tardis, Maienfeld)

- Die Verdichtung soll ein in sich geschlossenes Betongefüge und eine nestfreie Oberfläche zum Ziel haben. Bei Verwendung gebräuchlicher Konsistenzen wird in der Regel durch Vibrieren (Rütteln) verdichtet. Die Vibriernadel ist rasch in möglichst gleichen Abständen (Abstand ca. 8 bis 10-facher Durchmesser der Vibriernadel) in den Beton einzuführen und nach kurzem Verharren im Tiefstpunkt langsam herauszuziehen. Das Vibrieren ist zu beenden, sobald sich an der Oberfläche eine dünne Feinmörtelschicht gebildet hat und grössere Luftblasen nur noch vereinzelt austreten. Wird der Beton in mehreren Schichten „frisch in frisch“ eingebracht, muss die Vibriernadel durch die zu verdichtende Schicht hindurch noch etwa 10 bis 15 cm tief in den sich darunter befindenden Beton eintauchen, damit eine Verbindung der beiden Schichten gewährleistet ist.



Schichtweises Verdichten des Frischbetons. (Bild: Betonpraxis, Holcim [11])

4.2.1.5 Lunker

Beschrieb
Lunker ist die umgangssprachliche Bezeichnung für kleinere Hohlräume, die oft an der Betonoberfläche von aufgehenden Bauteilen wie Wänden, Stützen und Brüstungen in Erscheinung treten. Sie weisen im Normalfall eine unregelmässige Form auf und erreichen eine Grösse bzw. Tiefe von wenigen Millimetern. Die an der Betonoberfläche sichtbaren Lunker sind oft nur kleine Öffnungen vor grösseren dahinter liegenden Hohlräumen. Dies wird deutlich, wenn die Oberfläche bearbeitet wird, z.B. durch Sandstrahlen. Lunker fallen besonders auf, wenn sie gross sind und in erhöhter Anzahl vorkommen.

Wohnhaus mit Sichtbetonfassade. (Bild: cbg)

Detailausschnitt Sichtbetonwand mit wenigen, kleinen Lunker. (Bild: cbg)

Detailausschnitt Deckenrand Eingangsbereich mit erhöhter Anzahl Lunker. (Bild: cbg)

Ursache
Beim Mischen und Einbringen des Frischbetons bilden sich natürliche Luft- und Wassereinschlüsse, die auch bei einer optimalen Verarbeitung des Betons klein und punktuell an der Betonoberfläche von aufgehenden Bauteilen wie Wände und Stützen in Erscheinung treten.

Betonmischungen mit eher tiefem Zement- und Feinsandanteil oder mit steifer Konsistenz zeigen oft eine stärkere Lunkerbildung. Auch Betonrezepturen mit künstlich zugefügten Luftporen (z.B. bei frostbeständigem Beton) sind besonders anfällig, da sie einen erhöhten Luftporengehalt aufweisen.

Bei glatten und nichtsaugenden Schalungen, also porendichten (z.B. befilmten) Stahlschalungen bzw. Sperrholzplatten können die Lufteinschlüsse und das überschüssige Wasser durch die Schalung nicht entweichen, was zu einer vermehrten Lunkerbildung führt.

Die falsche Wahl und ein überschüssiger Auftrag des Trennmittels begünstigen erfahrungsgemäss die Entstehung von Lunkern. Diese Aussage konnte im Rahmen des Forschungsauftrages SB3 „Wechselwirkung zwischen Beton, Trennmittel, Schalung, Verarbeitung und Umgebungsbedingungen“ [6] nicht bestätigt werden. Es wurde aber festgestellt, dass durch ein Trennmittelauftrag im Vergleich zu Schalungen ohne Trennmittel, Oberflächen mit geringerer Porigkeit entstehen, unabhängig von Schalung, Trennmittelart und Trennmittelfilmdichte. Dies gilt allerdings nur bei genügend intensiver, homogener Verdichtung und geringer Schüttlagenhöhe.

Wird der Beton in einem Guss bzw. in zu hohen Schichten eingebracht, können die eingeschlossenen Luftporen bzw. Wasserporen schlecht nach oben entweichen, d.h. es entstehen vermehrt Lunker an der Betonoberfläche. Bei einer zu kurzen Verdichtungszeit sind ähnliche Folgen zu erwarten. Eine zu lange Verdichtungszeit, speziell bei Betonmischungen mit künstlich eingeführten Luftporen, begünstigt die Entmischung des Frischbetons und die Ansammlung von Lunker an der Betonoberfläche. Oft wird eine Zunahme der Lunker an der Oberfläche von aufgehenden Bauteilen wie Wände und Stützen in Betonier- bzw. Auffüllrichtung festgestellt. Hier spielt das reduzierte bzw. fehlende Betongewicht der oberen Schichten sowie das fehlende Nachverdichten (Eintauchen der Vibriernadel in die untere bereits eingebrachte Schicht) eine wesentliche Rolle. Diese Tatsache kann auch bei niedrigen Bauteilen wie Brüstungen und Randabschlüssen beobachtet werden.

Beurteilung
Lunker sind ein typisches Merkmal von Sichtbetonoberflächen und stellen keine technische Beeinträchtigung dar. Sie sind vor allem im Zusammenhang mit nicht saugenden Schalungen kaum ganz zu vermeiden. Weisen die Lunker normale Abmessungen (Grösse/Tiefe) von wenigen Millimetern auf, beeinträchtigen sie die chemische Beständigkeit sowie die Frostbeständigkeit der Betonoberfläche nicht. Die Festigkeit und Dauerhaftigkeit des Betons werden durch diese „natürliche“ Erscheinungen nicht in Frage gestellt. Auch die Korrosionsgefahr für die Bewehrung ist demzufolge gering.

Massgebend für die ästhetische Beurteilung einer Sichtbetonoberfläche ist der Gesamteindruck, den der Betrachter bei üblichen Lichtverhältnissen und von einem angemessenen Betrachtungsabstand aus wahrnimmt (vgl. Kapitel 4.1 Beurteilung von Sichtbetonoberflächen). Da für Anzahl und Grösse der Lunker keine verbindlichen Normen/Richtlinien vorliegen, müssen die erwarteten Eigenschaften bezüglich Lunkeranzahl und -grösse anhand der durch Planende und Bauherr gewählten Referenzflächen (Objekt und/oder Muster) vereinbart werden. Die gemeinsam definierte Sichtbetonqualität bezüglich Lunkeranzahl und -grösse muss dann Bestandteil der Nutzungsvereinbarung und des Werkvertrags sein. Am Anfang der Realisierungsphase besteht dann die Möglichkeit, je nach Anforderungen an das Bauwerk bzw. der Planenden und des Bauherrn an das Bauwerk, die ausgeschriebenen Eigenschaften der Sichtbetonoberfläche an Erprobungsflächen 1:1 zu testen. Bei der Realisierung der Erprobungsflächen lassen sich die Betonrezeptur, die Schalung, das Trennmittel und die Verarbeitung optimieren. Die vorgängig vertraglich vereinbarten Referenzflächen (Objekt und/oder Muster) dienen als Grundlage für die Beurteilung des Sichtbetons. Hierbei ist zu beachten, dass die Oberflächenbeschaffenheit von Ansichtsflächen nicht toleranzfrei reproduzierbar ist. Aufgrund der natürlichen Ausgangsstoffe und der unvermeidlichen Toleranzen in der Herstellung, lässt dies keine vollkommen gleichmässige Sichtbetonoberflächen zu.

Der allfällige Entscheid ob Lunker geschlossen werden müssen, soll so spät wie möglich erfolgen, damit eine Gesamtbeurteilung der Sichtbetonflächen (Bauteil und Bauwerk) möglich ist. Trotz sorgfältiger Reparatur bleiben die Flickstellen, von der Nähe betrachtet, meistens doch noch ersichtlich.

Leichtbetonfassade mit erhöhter Porigkeit. Schwach ersichtlich die Flickstellen der nachträglich ausgebesserten Lunker. (Bild: cbg)

Vorbeugung
Die Anzahl und Grösse der Lunker an geschalten Sichtbetonoberflächen kann mit gezielten Massnahmen reduziert werden

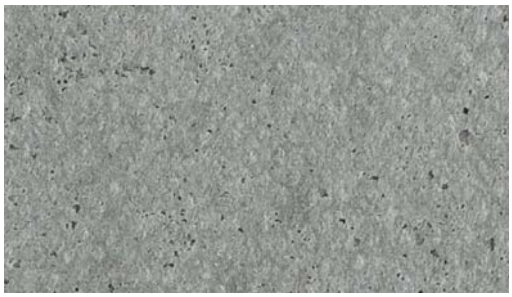
- Um sich von unliebsamen Überraschungen zu schützen, empfiehlt es sich, vorgängig Erprobungsflächen anzuordnen. Diese sind neben dem vorgesehenen Bauwerk als einzelnes Bauteil zu erstellen oder können ins Bauwerk integriert werden (z.B. Kellerinnen- und/oder -aussenwände). Dabei können die Sichtbetoneigenschaften auf die ausgeschriebenen Anforderungen bezüglich Lunkeranzahl und -grösse geprüft und optimiert werden. Die Notwendigkeit solcher Erprobungsflächen ist abhängig vom Auftragsvolumen, der Erfahrung des Projektteams bzw. des Bauunternehmers sowie den Anforderungen des Bauherrn und der Planenden.
- Die Verwendung von „weichem“ Beton mit plastischer Konsistenz gemäss SN EN 206-1 [5] und eher hohem Zement- und Feinsandanteil ist vorteilhaft.
- Saugende, strukturierte Schalungen führen in der Regel zu einer Reduktion der Luft- und Wassereinschlüsse an der Betonoberfläche. Mit der Anwendung von saugfähigen Einlagen können ähnliche Resultate erzielt werden. Zu beachten bei diesen Massnahmen ist aber die oft nachteilige Verdunkelung der Betonoberfläche.
- Mit dem Auftrag eines auf den Schalungstyp abgestimmen Trennmittels in richtiger Dosierung, lässt sich eine geringere Porigkeit der Betonoberfläche erreichen.
- Die klimatischen Bedingungen (z.B. tiefe Temperaturen, hohe Luftfeuchtigkeit) sowie der Einfluss der Umgebungsbedingungen auf die verwendeten Materialien (Trennmittel, Schalung, Bewehrung, Betonkomponenten) sind zu beachten.

- Die Kontrolle und Begleitung der Herstellung, des Einbaus und der Verarbeitung des Betons sind wichtige Voraussetzungen für das Gelingen eines Sichtbetonbaus.
- Der Beton ist in Schichten von maximal 50 cm Stärke einzubringen.
- Bei Fallhöhen grösser als 1.5 bis 2.0 m muss der Beton mit Rohr/Trichter/Schlauch eingebracht werden, um Entmischungen und Bildung zusätzlicher Lufteinschlüsse zu vermeiden.
- Die einzelnen Schichten sind sorgfältig und genügend lang zu Verdichten, wobei speziell bei Betonrezepturen mit künstlich eingefügten Luftporen (z.B. frostbeständiger Beton) ein zu langes Verdichten die Entmischung und vermehrte Lufteinschlüsse an der Sichtbetonoberfläche zur Folge hat.
- Niedrig ausgebildete Brüstungen und Randabschlüsse sowie der obere Wandabschnitt sind speziell anfällig und sollten entsprechend vorsichtig verdichtet werden. Ein Nachvibrieren mit einem kleinem Vibrator kann zu einer Minimierung der Lunkerbildung beitragen.

Musterelemente mit drei Erprobungsflächen. (Bild: cbg)

Musterelement aus Leichtbeton mit und ohne saugfähiger Einlage. (Bild: cbg)

Detailausschnitt links mit, rechts ohne Einlage. (Bild: cbg)



Detailausschnitt Oberfläche mit saugfähiger Einlage. Die Lunker sind klein (ø ≤ 1 mm) und unproblematisch. (Bild: cbg)

4.2.1.6 Risse

Beschrieb

Risse an Sichtbetonoberflächen lassen sich nicht generell vermeiden und treten je nach Ursache und Zeitpunkt der Entstehung (Frischbeton, junger Beton, Festbeton) spinnennetzartig oder eher linienförmig in Erscheinung. Ihre Breite beträgt im Normalfall wenige Zehntelmillimeter. In feuchter oder nasser Umgebung sind sie meistens von Verfärbungen oder Kalkaussinterungen begleitet und fallen deshalb stärker auf. An bewitterten Bauteilen werden feine Risse zum Teil erst nach Regen, wenn die Oberfläche bereits trocken ist, deutlich sichtbar.

Generell wird zwischen Trenn- und Oberflächenrissen unterschieden. Trennrisse verlaufen meist senkrecht zur Kontaktfläche quer durch die gesamte Konstruktion hindurch. Oberflächenrisse treten an der Oberfläche von flächigen Bauteilen auf. Sie können der Bewehrung folgen, aber auch „wild“ verlaufen. Die Risstiefe ist meistens gering.
Risse können sowohl an vertikalen Bauteilen wie Wänden und Brüstungen als auch an horizontalen Bauteilen wie Decken und Bodenplatten auftreten.

Spinnennetzartige feuchte Oberflächenrisse (w < 0.1 mm) infolge plastischen Schwindens, vgl. folgen Seiten. (Bild: cbg)

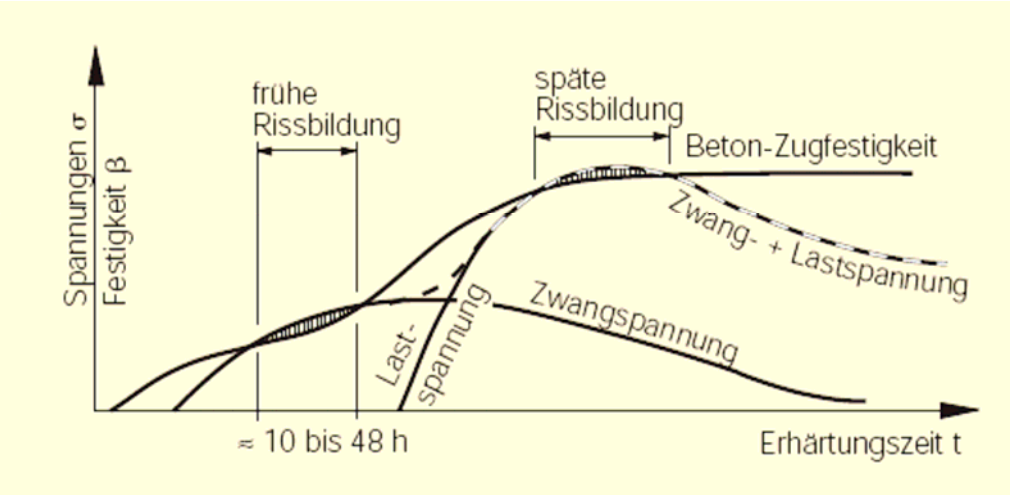
Trennriss (w ~ 1.0 mm) in einer unbewehrten Fassade infolge Trocknungsschwinden. (Bild: cbg)

Trennriss (w < 0.4 mm) im Bereich einer Fassadenöffnung infolge Trocknungsschwinden. (Bild: cbg)

Feine Trennrisse (w < 0.2 mm), die nach dem Regen auch von weitem deutlich sichtbar sind. (Bild: cbg)

Ursache
Risse im Frischbeton entstehen in den meisten Fällen durch rasche Volumenverminderung der oberflächennahen Betonschicht infolge Wasserentzug. Dieses Austrocknen wird durch saugfähige Schalungen, geringe Luftfeuchte, Wind und Sonneneinstrahlung begünstigt.

Risse im jungen und erhärteten Beton entstehen, wenn durch Eigenspannungen, Zwang und äussere Belastung hervorgerufene Zugspannungen die bis zu diesem Zeitpunkt vorhandene Zugfestigkeit des Betons erreicht wird.



Entwicklung der Betonzugfestigkeit sowie Entstehen von Zwang- und Lastspannungen in Bauteilen aus jungem Beton. (Grafik aus Zementmerkblatt Betontechnik „Risse im Beton“ [13])

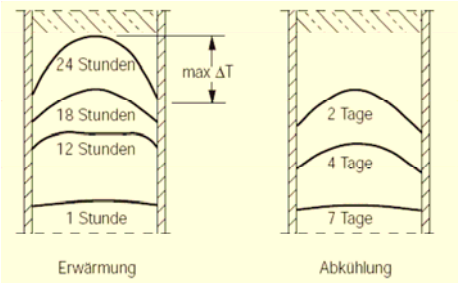
Der Bau von monolithischen Strukturen in Beton ist meistens räumlich so verknüpft, dass Zwängungen hauptsächlich infolge Schwinden des Betons unumgänglich sind. Die so entstandenen Zugspannungen führen oft zu Rissen im Beton, die sichtbar sind und oft Fragen aufwerfen.

Sichtbetonbau Truppenunterkunftsgebäude St. Luzisteig. (Bild: cbg)

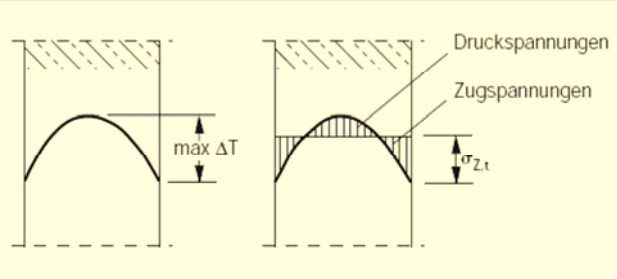
Die Hauptursachen, die Merkmale des Rissbildes sowie die Angaben über den Zeitpunkt des Entstehens von Rissen, die für Sichtbetonbauten speziell von Bedeutung sind, werden im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.
Risse infolge Frosteinwirkung, Korrosion sowie chemischer Ursachen, wie Alkalireaktion oder Sulfattreiben sind nicht speziell berücksichtigt. (Korrosion gemäss SB2 Kap. 4.2.1.2, restliche Themen siehe einschlägige Literatur).

Die Risse infolge plastischen Schwindens entstehen an der Betonoberfläche durch raschen Anmachwasserverlust unmittelbar nach dem Einbringen des Betons (solange der Beton plastisch verformbar ist). Der Verlust kann die Folge übermässiger Wasserverdunstung, aber auch übermässiger Wasserabsorption der Schalung sein. Die durch das unterschiedliche Schwinden der äussersten Betonschicht entstandenen Zugspannungen führen oft zu netzartigen feinen Oberflächenrissen mit Breiten unter Umständen von mehr als 1 mm. Die Risstiefen sind normalerweise gering.

Die bei der Betonerhärtung durch die Hydratation des Zementes entstehende Wärme fliesst besonders bei massigen Bauteilen nur langsam an die Luft oder die angrenzenden Bauteile ab, so dass der Kern der Bauteile erheblich stärker erwärmt wird als die Schale. Der Temperaturanstieg beginnt wenige Stunden nach dem Einbringen des Betons und erreicht sein Maximum nach ca. einem Tag. Anschliessend setzt die Abkühlung ein, die je nach äusserer Temperatur mehrere Tage dauert.
Die Temperaturunterschiede führen innerhalb des Querschnitts im Kern zu Druck- und in den Randzonen zu Zugspannungen, die zur Rissbildung führen können.
Die oberflächig entstandenen Risse weisen unter Umständen Breiten von mehr als 1 mm auf.



Temperaturverlauf bei Erwärmung und Abkühlung eines Bauteils



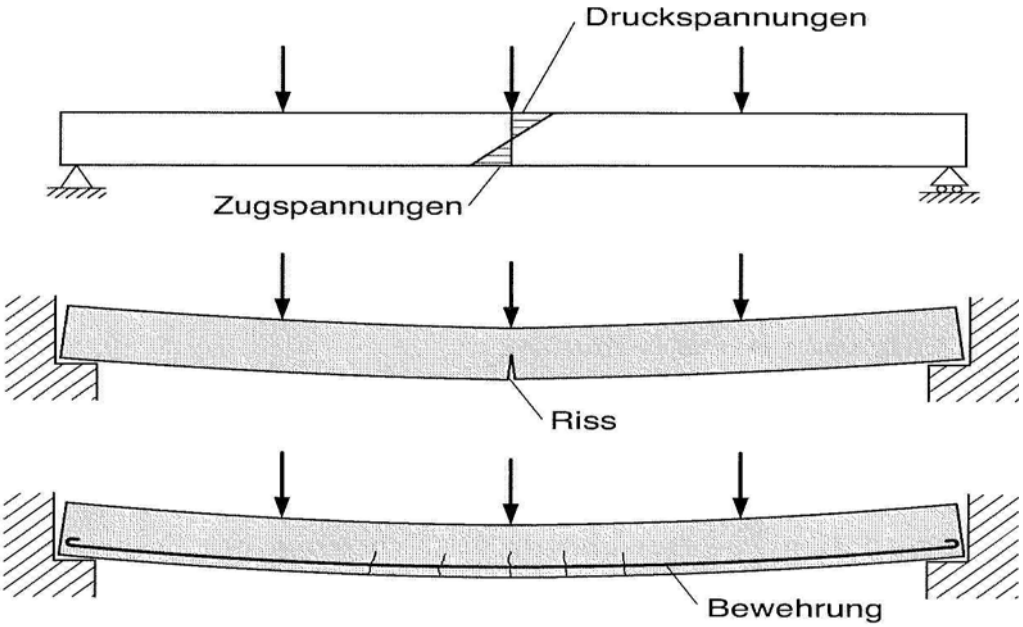
Temperaturverlauf und Eigenspannungen am Beispiel ΔT

(Grafiken aus Zementmerkblatt Betontechnik "Risse im Beton" [13])

Das Schwinden von Festbeton wird zu einem grossen Teil vom langsamen Austrocknen des Betons verursacht (Trocknungsschwinden). Dieser Vorgang klingt im Normalfall nach einigen Jahren ab, kann aber je nach Umgebungsbedingungen (Temperaturschwankungen, -änderungen, Feuchtigkeitsänderungen) während der gesamten Lebensdauer des Bauteils bzw. Bauwerks stattfinden. Je schneller die Menge des freien Wassers im Gefüge abnimmt, desto stärker schwindet der Beton. Das Schwinden ist umso grösser, je geringer die relative Feuchte der umgebenden Luft ist. Das Endschwindmass beträgt im Allgemeinen zwischen 0.3 und 0.8 mm/m (Betonpraxis Holcim 2003, Abb. 3.2.10 [11]) und hängt massgeblich von der Wassermenge des Frischbetons ab. Die Risse sind meistens durchgehend (Trennrisse) und können unter Umständen Breiten von mehr als 1 mm aufweisen.

Temperaturdifferenzen zwischen Aussen- und Innenklima bzw. zwischen Sommer und Winter führen bei Betonstrukturen zu Spannungen im Beton, die oft Trenn- oder Oberflächenrisse verursachen. Auch im Vergleich zu anderen Bauweisen sind die thermischen Eigenspannungen bei Betonbauwerken besonders ausgeprägt. Die Gründe für die relativ grossen thermischen Spannungen in Stahlbetonbauwerken sind einerseits der „monolithische" Charakter vieler dieser Bauwerke, also der kraftschlüssige Zusammenbau oft zahlreicher und grossflächiger Einzelteile zu komplexen, meist dreidimensionalen Strukturen. Anderseits hat die verbreitete Sichtbetonbauweise zur Folge, dass Betonstrukturen oft völlig ungeschützt den klimatischen Einwirkungen, wie Wind, Sonne, Temperaturschwankungen (Winter, Sommer) ausgesetzt sind. Die mittlere Verkürzung einer Betonwand beträgt bei einer Abkühlung von 20° C ca. 0.2 mm/m. Die oberflächig oder durchgehend entstandenen Risse können unter Umständen Breiten von mehr als 1 mm erreichen.

Das Tragverhalten von Stahlbeton basiert auf der Aufgabenteilung der zwei im Verbund gegossenen Baustoffe Beton und Stahl. Die Druckspannungen werden hauptsächlich durch den Beton und die Zugspannungen durch die Bewehrung aufgenommen. Übersteigen die Zugspannungen im Betonquerschnitt in Folge Eigenspannungszustände oder äussere direkte Lasten die Zugfestigkeit des Betons, entstehen dann Biege-, Trenn- oder Schubrisse. Die Zugkraft wird nach dem Reissen des Betons vollständig durch die Bewehrung aufgenommen. Diese Risse können jederzeit während der gesamten Lebensdauer des Baurteils bzw. Bauwerks auftreten und weisen im Normalfall, d.h. bei korrekter Dimensionierung, Breiten von wenigen Zehntelmillimetern auf.



Unbewehrter Betonbalken im ungerissenen Zustand (oben), im Bruchzustand (Mitte) sowie bewehrter Betonbalken im gerissenen Zustand (unten). (Grafik: Stahlbetonbau Prof. Dr. Otto Künzle)

Beurteilung
Risse sind bei monolithischen Sichtbetonkonstruktionen praktisch nicht zu vermeiden. Bei glatten Oberflächen fallen sie in der Regel stärker auf als bei strukturierten. Im Aussenbereich sind sie oft von Verschmutzungen, Verfärbungen und Aussinterungen begleitet.

Risse im Beton sind nicht von vornherein als Mangel zu betrachten. Wenn aber Risse breiter als vereinbart sind und die Eigenschaften der Konstruktion (Wasserdurchlässigkeit, Dauerhaftigkeit) beeinträchtigen, können sie mit geeigneten Verfahren so geschlossen werden, dass die Funktionstüchtigkeit und Lebensdauer wieder hergestellt bzw. aufrechterhalten bleibt.

Bezüglich Rissbildung wird in der SIA Norm 262 Betonbau [2] Art. 4.4.2 unterschieden zwischen normalen, erhöhten und hohen Anforderungen.
Normale Anforderungen genügen, wenn Risse toleriert und keine besonderen Ansprüche an die Dichtigkeit und das Aussehen gestellt werden.
Erhöhte Anforderungen werden gestellt, wenn besondere Ansprüche an die Funktionstüchtigkeit und das Aussehen bestehen und eine gute Rissverteilung angestrebt wird.
Hohe Anforderungen werden gestellt, wenn eine Begrenzung der Rissbreiten für die ständigen und häufigen Belastungen erwünscht ist.
Die entsprechenden Rissweiten werden in der Norm nicht festgehalten, da die Streuung von den Modellannahmen zu den effektiven Rissbreiten gross ist.
Für eine spätere Beurteilung von möglichen Rissen müssen vor der Ausschreibung die gewählten Anforderungen (normale, erhöhte oder hohe) unbedingt zwischen Planenden und Bauherr vereinbart und in der Nutzungsvereinbarung bzw. Projektbasis festgehalten werden. Falls spezielle Umweltbedingungen vorliegen sowie für wasserdichten Beton, sind zusätzlich die zulässigen Rissbreiten mit allfälligem Einbezug eines Spezialisten (Materialtechnologe) zu vereinbaren und ebenfalls festzuhalten.

Bei der Beurteilung von Rissen muss zuerst die Ursache durch einen Bauingenieur ermittelt werden. Falls keine statischen oder konstruktiven Mängel vorliegen bzw. keine Überbelastung des Bauteils erfolgt ist, muss die Auswirkung der Risse auf die Dauerhaftigkeit beurteilt werden. Der Einfluss von Rissen auf die Dauerhaftigkeit ist nach den neusten Forschungsergebnissen (Risse und ihre Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit von Betonbauten, Y. Schiegg 2007) [8] nach wie vor ein kontrovers diskutiertes Thema. Insbesondere bei der Frage des Zusammenhangs zwischen Rissbreiten und Korrosion sind

z.T. keine abschliessende Forschungsresultate vorhanden. Wie aber generell die Resultate der vorhandenen Untersuchungen zeigen, ist die Korrosion in Rissen infolge Karbonatisierung zumindest bis zu Rissbreiten von ca. 0.4 mm unbedeutend. Die Chlorideindringung im Riss kann aber schon bei Rissweiten kleiner als 0.2 mm zu einer erhöhten Korrosionsgefahr führen. Ausgeprägt ist die Zunahme der Korrosionsgefahr aber erst bei Rissbreiten über 0.2 bis 0.4 mm. Voraussetzung dabei ist eine nach SIA Norm 262 [2] ausgeführte Bewehrungsüberdeckung.
Nach dem heutigen Stand des Wissens werden in der Praxis zum Beispiel für Sichtbetonfassaden, falls keine Einwirkung durch Chloride vorliegt, Rissweiten von 0.2 bis 0.4 mm, als annehmbar betrachtet. Annehmbar bedeutet, dass keine wesentliche Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit zu erwarten ist. Für Bauteile in trockenen Innenräumen oder unbewehrte Bauteile könnten auch breitere Risse im Bezug auf die Dauerhaftigkeit akzeptiert werden.

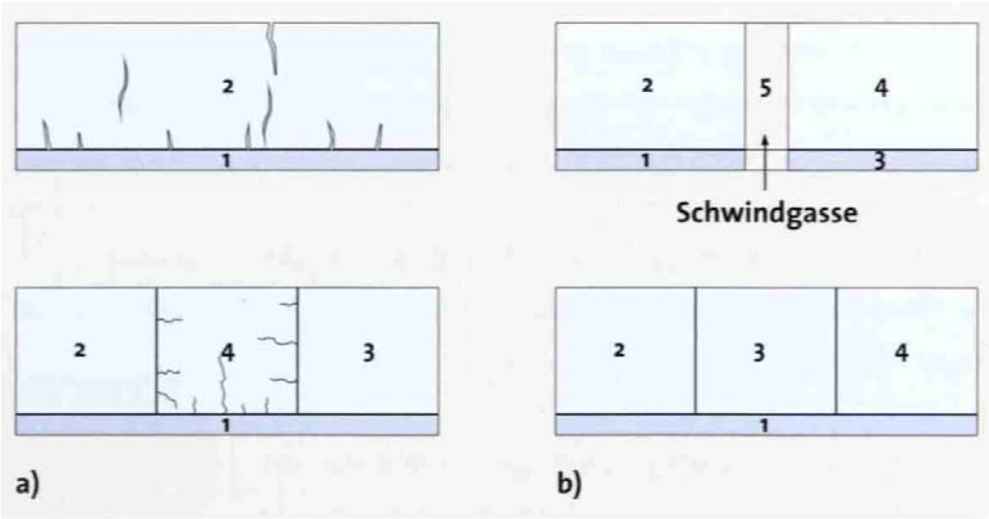
Ästhetisch betrachtet sind Risse meistens unerwünscht. Im Normalfall aber, falls sie nicht von Verschmutzungen, Verfärbungen und Kalkausblühungen begleitet sind, beeinträchtigen sie die optische Wahrnehmung einer Sichtbetonoberfläche nur unbedeutend. Werden Risse verfüllt, bleiben sie in der Regel auch bei sorgfältiger Ausführung sichtbar. Insofern ist eine vorlaufende Entscheidung zwischen Planenden und Bauherr zweckmässig, ob vorhandene Risse als störend oder schädigend anzusehen sind und im letzten Fall unbedingt beseitigt werden müssen.

Vorbeugung
In Zusammenhang mit Sichtbetonbauten ist es wichtig, dass sich Planer und Ausführende frühzeitig über den bestmöglichen Weg zur Vermeidung nicht tolerierbarer Risse verständigen. Im Rahmen eines projektbezogenen Qualitätsmanagements sind die vereinbarten Massnahmen zu dokumentieren und bei der Planung und Ausführung umzusetzen.

Durch Beachtung folgender Verhütungsmassnahmen kann die Rissbildung (Rissanzahl und -breiten) an Sichtbetonbauten minimiert werden:

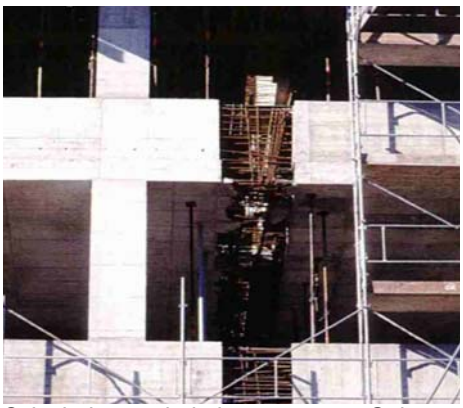
- Zwängungen aus Temperatur und Schwinden sind bei der Bemessung und bei der konstruktiven Ausbildung von Sichtbetonbauteilen zu berücksichtigen. Dabei sind die Bauteilabmessungen (Verhältnis Volumen/Oberfläche) zu beachten. Je kleiner dieses Verhältnis ist, desto grösser ist der Einfluss des Schwindens.
- Die Minimalbewehrung gemäss SIA Norm 262 [2] zur besseren Verteilung bzw. zur Breitenminimierung der Risse, ist den gewählten Anforderungen (normale, erhöhte oder hohe) entsprechend anzuordnen.
- Wo besondere Anforderungen bezüglich Rissrisiko (z.B. Dichtigkeit, Chlorideindringung usw.) gestellt werden, sollte der Einsatz einer Vorspannung in Betracht gezogen werden. Durch die Druckspannungen und Umlenkkräfte aus der Vorspannung, lassen sich Anzahl und Breite der Risse minimieren und generell die Gebrauchstauglichkeit von Stahlbetonbauteilen verbessern.
- Arbeitsfugen sind bei der Herstellung von langen und räumlich komplexen Betonbauten in der Regel unumgänglich. Die richtige Wahl der optimalen Etappierung durch Architekt, Bauingenieur und Baumeister trägt zur Rissminimierung bei. Die Arbeitsfugen sind als möglicher Schwachpunkt zu betrachten. An diesen Stellen sind deshalb Risse nicht auszuschliessen.
- Das temporäre offen lassen von sogenannten „Schwindgassen“ zwischen einzelnen Bauetappen kann in bestimmten Situationen für die Rissminderung vorteilhaft sein. Diese zeitlich begrenzte Trennung einzelner Bauabschnitte sollte möglichst lange offen bleiben (mehrere Monate) und alle zusammenhängende Bauteile erfassen, damit sie wirksam ist. Das nachträgliche Schliessen der Schwindgassen bleibt in der Regel optisch ersichtlich und kann bei Sichtbetonbauten problematisch sein. Zudem kann das offen lassen von temporären Bewegungsfugen den Bauablauf erschweren.
- Gezielt eingesetzte Dilatationsfugen können zu einer Minimierung der Rissbreiten beitragen. Sie bilden gleichzeitig aber auch Schwachstellen, die zu Undichtigkeiten, Moosbildung und Verschmutzungen mit optischer Beeinträchtigung führen können. Die Notwendigkeit von Bewegungsfugen muss sorgfältig vor der Ausschreibung durch Architekt und Bauingenieur unter Abwägung der Vor- und Nachteile getroffen

werden.



Wahl der Betonieretappen bei einer Stützmauer
a) Ungünstige Lösung erhöhtes Rissrisiko
b) Günstige Lösung: geringes Rissrisiko
(Grafik: Betonpraxis Holcim [11])

- Die Wahl der geeigneten Betonrezeptur und die stichprobenartige Kontrolle des Betons vor dem Einbringen sind für die Minimierung der Rissbreiten von grosser Bedeutung. Wichtig dabei sind folgende Punkte:
  - Beton nach Eigenschaften gemäss Betonnorm SN EN 206-1 [5] mit einem Wasser/Zement-Wert < 0.5 einsetzen
  - Wahl eines gut abgestuften Korngemischs mit geringem Wasseranspruch
  - Verwenden von Zementen mit niedriger Hydratationswärme und Festigkeitsklasse
  - Verwenden eines Abbindeverzögerers
- Der Wasserentzug aus dem frisch eingebrachten Beton durch saugfähige Schalungen und Untergrund ist durch deren Vornässen zu verhindern.
- Möglichst nicht bei Temperaturen über 30 Grad in Sommer und starkem Wind betonieren.
- Schutz gegen zu rasches Austrocknen möglichst schnell nach dem Betonieren aufbringen und je nach Anforderungen und Umweltbedingungen mehrere Tage belassen. Als Nachbehandlung werden meistens PVC-Folien, von Fall zu Fall mit wasserhaltenden Abdeckungen wie Geotextilmatten kombiniert, eingesetzt. Die Folien sind luftdicht zu verlegen. Bei Sichtbetonwänden sind sie optimalerweise nicht direkt auf der Oberfläche anzuordnen (Gefahr von Kondenswasserbildung und Ausblühungen). Die Anordnung von längeren Ausschalfristen durch den Bauingenieur (bis zu 3 Tage) ermöglicht einen perfekten Schutz während der kritischen ersten Tage nach dem Betonieren. Nicht immer kann aber diese Massnahme mit dem Bauablauf und den Terminen vereinbart werden.


Schwindgasse bei einem grossen Gebäude. (Bild: Betonpraxis Holcim [11])

Schutz gegen zu rasches Austrocknen mit PVC-Folie. (Bild: cbg)

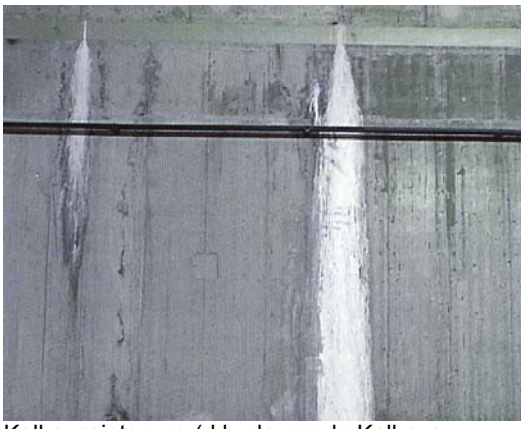
4.2.2 Farbe

4.2.2.1 Kalkausblühungen, Kalkaussinterungen

Beschrieb

Kalkausblühungen sind helle, schleierartige, fleckige Verfärbungen der Betonoberfläche, die beim Austrocknen des jungen Betons hauptsächlich bei kalter und nasser Witterung häufig vorkommen. In der Regel fallen geringe Ausblühungen bei hellen Sichtbetonoberflächen optisch nicht negativ auf. Bei dunklen, mit Pigmenten gefärbte Flächen können sie sehr auffällige Abweichungen darstellen. Kalkaussinterungen entstehen als Folge intensiven Kalziumhydroxid-Transports durch Risse oder Fehlstellen des Betons, so dass konzentrierte, weisse bzw. gelbliche Kalkansammlungen und -verkrustungen an der Betonoberfläche entstehen. An Deckenuntersichten bilden sich an diesen Stellen oft Stalaktiten. Häufig werden beide erwähnten Oberflächenerscheinungen auch als Kalkausscheidungen oder als Kalkfahnen bezeichnet. Ausblühungen können durch Kalk aber auch durch Salze wie z.B. Chloride verursacht werden. Nachfolgend werden nur die an Betonflächen überwiegend vorkommenden Kalkausscheidungen behandelt.

Kalkablagerungen an einer Betonwand, die nach dem Ausschalen dem Regen ausgesetzt wurde. (Bild: cbg)

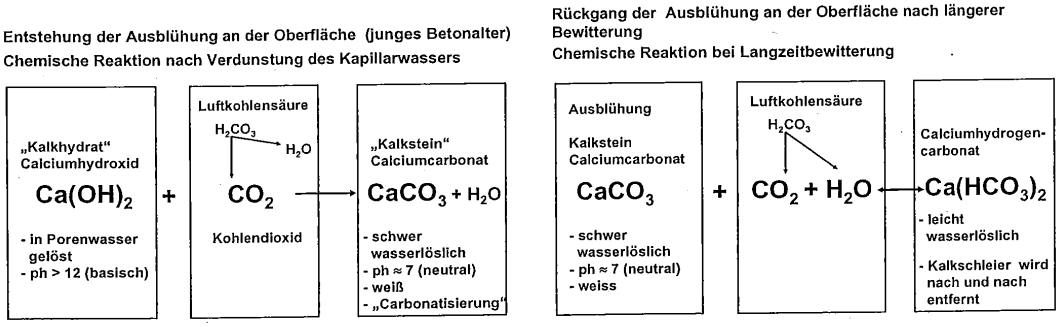

Kalkaussinterung (d.h. dauernde Kalkauswaschung) als Folge undichter Fugen und dauernden Wasserzuflusses. (Bild: Betonpraxis Holcim [11])

Kalkausblühungen an einer glatt geschalten Deckenuntersicht. (Bild: cbg)

Kalkaussinterungen entlang eines als Folge behinderten Schwindens entstandenen Risses (Bild: cbg)

Ursache

Ausblühungen entstehen überwiegend im jungen Betonalter, wenn die noch nicht karbonatisierte Randzone mit Fremdwasser in Berührung kommt. Dieses Fremdwasser transportiert durch kapillare Vorgänge das in der Porenlösung des Betons gelöste Kalziumhydroxid ($Ca(OH)_2$), welches bei der Zementhydratation freigesetzt wird, an die Betonoberfläche. Nach dem Verdunsten des Wassers auf der Betonoberfläche wird das zurückbleibende Kalziumhydroxid durch das Kohlendioxid (CO_2) der Luft rasch in wasserunlösliches Kalziumkarbonat ($CaCO_3$) umgewandelt. Wiederholt sich das Benetzen und Austrocknen des Betons einige Male, so wird die Kalziumkarbonatschicht an der Oberfläche so dick, dass sie als weisser Fleck sichtbar wird.



Chemische Reaktion bei Entstehung der Ausblühungen und bei anschliessender langfristiger Bewitterung (Grafik aus Unterlagen Fachveranstaltung 864341/42 TFB Wildegg [10]).

Wird der junge Beton nach dem Ausschalen eines Bauteils vom Fremdwasser geschützt und nachbehandelt, wird das durch den Hydratationsprozess entstandene Kalziumhydroxid nicht bis zur Betonoberfläche transportiert. Der Karbonatisierungsprozess erfolgt innerhalb des Randbetons und beeinträchtigt die optische Wahrnehmung der Sichtbetonoberfläche nicht. Manchmal lässt sich in den ersten Monaten nach dem Ausschalen eine gewisse gleichmässige Aufhellung der Betonoberfläche beobachten. Dies tritt in erster Linie als Folge der Betonaustrocknung auf, kann aber teilweise auch auf die Karbonatisierung des dünnen Kalziumhydroxidbelags auf der Betonfläche zurückgeführt werden.

Eine unzureichend geplante Wasserführung (Entwässerung, Abdichtung) welche ständige Feuchteschwankungen im Bauteil ermöglicht, kann zu vermehrten und optisch störenden Kalkausblühungen und Kalkablagerungen an der Sichtbetonoberfläche führen. Auch Fehlstellen im Beton in Form von Rissen, Kiesnestern, undichten Arbeits- bzw. Dilatationsfugen sowie Ankerlöchern lassen vorhandenes Wasser durchsickern, welche punktuelle, dem Wasserweg folgende Kalkaussinterungen verursachen. Durch das Eindringen

von Fremdwasser wird stetig Kalziumhydroxid an die Oberfläche geführt. Die Kalkablagerungen nehmen solange zu, bis der Wasserdurchtritt gestoppt wird.

Das verhalten von Betonmischungen mit hohem Wassergehalt ist infolge grösserer Menge überschüssigen Wassers als ungünstig bezüglich Kalkausscheidungen zu beurteilen. Hohe Wassergehalte erhöhen die Gesamtporosität des Betons und reduzieren dadurch die Dichtigkeit. Dies erleichtert das Eindringen von Wasser und damit den Transport von Schadstoffen in das Betoninnere und begünstigt gleichzeitig die Bewegung vom Kalziumhydroxid nach aussen an die Betonoberfläche.

Eine nachlässige Verdichtung sowie eine unzureichende Nachbehandlung verringern die Dichtigkeit des Randbetons ebenfalls und erhöhen somit die Gefahr von Kalkausblühungen.

Die Witterung, welcher der junge Beton ausgesetzt ist, spielt eine massgebende Rolle bei der Entstehung von sichtbaren Kalkausscheidungen an Betonoberflächen. Feuchtes und kaltes Wetter (Ende des Herbstes, Frühlingsbeginn) sowie Regen, Schnee, Nebel oder Kondenswasser begünstigen die Bildung von Ausblühungen stark. Speziell problematisch ist der Regen auf frisch ausgeschalten Flächen, sowie Kondenswasserbildung in Zusammenhang mit direkt an der Betonoberfläche angeordneten Nachbehandlungsfolien bzw. Wärmebehandlung.

Beurteilung
Kalkausblühungen sind baustoffbedingt und stellen kein Mangel in technischem Sinne dar. Ihre Entstehung kann nicht immer vermieden werden, da es eine Vielzahl von Einflussgrössen gibt, von denen situationsbedingt kaum alle gleichzeitig beherrscht werden können. Sie treten im Normalfall im jungen Beton auf und klingen häufig spontan ab. Langfristig schwächen sie sich durch Abwaschen in der Regel ab, wenn das Bauteil immer wieder dem Regen ausgesetzt ist (siehe Grafik unter Kapitel Ursache).

Kalkaussinterungen und –auswaschungen durch Fremdwasser entstehen in Zusammenhang mit Fehlstellen, wie zum Beispiel wasserführenden Rissen oder unzureichend geplanter Wasserhaltung (Entwässerung, Abdichtung). Die dabei entstehenden krustenartigen Kalkablagerungen treten oft im Laufe der Zeit zunehmend in Erscheinung.

Sind an der Betonoberfläche Kalkausblühungen aufgetreten, empfiehlt es sich für eine definitive Beurteilung möglichst lange zu warten, bis der Beton vollständig ausgetrocknet ist. Oft gleichen sich Farbunterschiede der Betonfläche nach einigen Wochen weitgehend aus.

Die Beurteilung einer von Kalkausscheidungen beeinträchtigten Sichtbetonoberfläche soll nach den Kriterien gemäss Kapitel 4.1 „Beurteilung von Sichtbeton“ erfolgen. Entscheidend ist auch in diesem Fall der Gesamteindruck eines Bauteils bzw. eines Bauwerks, der aus dem üblichen Betrachtungsabstand und bei normaler Belichtung wahrgenommen wird. Die SIA Norm 118/262 „Allgemeine Bedingungen für Betonbau“ [1] beschränkt sich für die Schalungstypen 3 und 4 auf folgende Aussage: „Die Sichtbetonoberfläche muss eine möglichst gleichmässige Farbtönung aufweisen“. Das lässt natürlich einen gewissen Spielraum bei der Beurteilung zu. Werden spezielle Anforderungen an eine Sichtbetonoberfläche gestellt, sind diese und auch die entsprechenden Einschränkungen (z.B. Witterung) bzw. Vorkehrungen (z.B. Hydrophobierung) im Werkvertrag festzuhalten.

Erfüllt das Aussehen die im Werkvertrag vereinbarten Qualitätsanforderungen an Sichtbetonoberflächen nicht, müssen sich Planer und Ausführende mit der Entfernung der optisch störenden Kalkausscheidungen auseinandersetzen. Die Ursache muss aber vorgängig durch den zuständigen Bauingenieur abgeklärt und beseitigt sein (z.B. Unterbinden von Fremdwasserzufluss).

Kalkablagerungen sind nahezu wasserunlöslich, lassen sich aber bis zu einem gewissen Mass mechanisch durch das Abreiben mit einem Stück Schaumglas oder durch Abbürsten mit Kunststoff-, Kupfer- und Stahlbürste entfernen. Mit Hilfe von hydromechanischen Verfahren oder Strahlverfahren (z.B. Staub- oder Sandstrahlen), die allerdings abrasiver

sind, kann die Oberfläche ebenfalls gereinigt werden. Häufig werden Ausblühungen durch eine Behandlung mit stark verdünnter Säure (handelsübliche saure Reiniger wie z.B. Ameisen-, Phosphor-, Zitronen- oder Essigsäure in 5 bis 10-%iger Konzentration) entfernt. Salzsäure sollte dabei nicht verwendet werden, da sich bei einer unsachgemässen Handhabung unter Umständen neue Salze an der Betonoberfläche bilden können.

Da jeder Eingriff an einer Sichtbetonfassade, ob mechanisch oder chemisch, eine Beeinträchtigung der Betonoberfläche mit sich bringt, ist die Verhältnissmässigkeit der Massnahmen durch Architekt und Bauherr kritisch zu überdenken. Die Wirksamkeit der gewählten Verfahren muss unbedingt an Musterflächen vorab untersucht werden.

Reinigung einer Sichtbetonwand mittels Staubstrahlverfahren. (Bild: cbg)

Vorbeugung
Kalkausblühungen und –aussinterungen lassen sich mit der Berücksichtigung folgender Massnahmen weitgehend einschränken:

- Bei der Planung von Sichtbetonbauteilen bzw. -bauwerken, die der Witterung ausgesetzt sind, muss der Wasserführung (Entwässerung, Abdichtung, Abdeckung z.B. von Mauer- und Brüstungskronen) immer besondere Beachtung geschenkt werden. Konstruktiv ist alles zu unternehmen, um den nachträglichen Eintrag von Wasser in die Betonkonstruktion zu vermeiden. Auch die mögliche Kondenswasserbildung zum Beispiel an Wasserleitungen und Blechen, und deren periodisches Abtropfen auf Sichtbetonoberflächen muss dabei berücksichtigt werden.
- Helle Sichtbetonoberflächen, die durch die Wahl von Zementart, Zusatzstoffe, Farbpigmente oder nicht saugender Schalhaut angestrebt werden können, sind optisch unempfindlicher gegenüber geringen Ausblühungen. Die im Beton verwendete Zementart hat aber nur einen geringen Einfluss auf die Ausblühneigung selber.
- Die Betonmischung soll einen möglichst tiefen Wassergehalt aufweisen. Dichtes Betongefüge reduziert die Gefahr von Kalkausscheidungen. Die Verwendung von Zusatzstoffen, wie zum Beispiel Silicastaub, kann sich als vorteilhaft erwiesen, entbindet aber nicht von einer optimierten Wahl der Betonrezeptur und einer tadellosen Nachbehandlung.
- Ein sachgemässes Verdichten des Frischbetons und die konsequente Nachbehandlung der ausgeschalten Bauteile erhöhen die Dichtigkeit des Randbetons und somit die Wahrscheinlichkeit einer einwandfreien Sichtbetonoberfläche.

- Das Betonieren und Ausschalen bei tiefen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit bei Regen, Nebel oder Schnee ist besonders kritisch bezüglich Kalkausblühungen und sollte vermieden werden. Dabei wirkt sich die langsamere Festigkeitsentwicklung des Betons nachteilig aus. Mit entsprechenden Schutzvorkehrungen, zum Beispiel Einhausung eines Bauteils, lässt sich bedingt auch bei solchen Witterungsverhältnissen Sichtbeton herstellen.
- Die Bauteile sind unmittelbar nach dem Ausschalen gut vor Witterungseinflüssen wie Regen, Schnee und Wind sowie vor Fremdwasser zu schützen. Dies kann in Zusammenhang mit der ohnehin erforderlichen Betonnachbehandlung zum Beispiel mit Hilfe von Plastikfolien oder Wärmematten erfolgen (vgl. Kap. 4.2.1.6 Risse). Zu beachten ist diesbezüglich, dass zwischen Sichtbetonoberfläche und Folie bzw. Matte kein Kondenswasser entstehen kann. Für Sichtbetonbauteilen sind das Abspritzen der frisch entschalten Oberfläche mit Wasser sowie die Verwendung wasserführende Nachbehandlungsmassnahmen grundsätzlich zu unterlassen. Auch in Zusammenhang mit einer Wärmebehandlung kann es durch Temperaturabfall im Winter zu Kondenswasserbildung kommen, die Kalkausblühungen an der Betonoberfläche begünstigen kann.
- Zur Prävention von Ausblühungen kann eine Hydrophobierung eingesetzt werden. Hydrophobierungen schränken den Feuchtigkeitstransport in der Betonrandzone ein und können Ausblühungen wirksam verhindern. Dieser Schutz sollte möglichst beim Beton im jungen Alter aufgetragen werden. Der günstige Zeitpunkt einer Hydrophobierung (1 bis 4 Wochen) stellt einen Kompromiss zwischen ausreichender Reife, Austrocknung und passenden Umgebungs- und Witterungsbedingungen dar.

4.2.2.2 Grautonunterschiede

Beschrieb

Ursache

Beurteilung

Vorbeugung

4.2.2.3 Verfärbungen (Blau-, Grün-, Gelb-, Braunverfärbungen)

Beschrieb

Ursache

Beurteilung

Vorbeugung

4.2.3 Flächengliederung

4.2.3.1 Kanten

Beschrieb
Unregelmässigkeiten an Sichtbetonkanten treten in den meisten Fällen als Abweichung der Gradlinigkeit, als Aussandung infolge Feinanteil- und Zementleimaustritten oder als Betonabplatzung auf.

Bei der Planung von Sichtbetonbauteilen werden häufig scharfe Kanten (ohne Dreikantleisten) gewünscht. Scharfe Kanten können bei entsprechender Sachkunde und Sorgfalt ausgeführt werden, Aussandungen und Beschädigungen treten jedoch dabei im Vergleich zu gefasten Kanten vermehrt auf und werden stärker wahrgenommen.

Mangelhafte Kante durch undichte Schalung. (Bild: Sichtbeton - Technologie und Gestalt) [17]

Beschädigte Betonkante. (Bild: cbg)

Starke Aussandungen, auch bei Ausbildung mit Dreikantleiste möglich. (Bild: cbg)

Präzise ausgebildete Bauwerkskanten, sowohl in vertikaler wie auch in horizontaler Richtung. (Bild: cbg)

Ursache
Verschiedene Ursachen führen zu mangelhaften, unsauberen und beschädigten Kanten.

Zementleimverluste sind infolge undicht ausgeführter bzw. durch den Frischbetondruck geringfügig aufgeklaffter Schalungsstösse und Abschalungen, ein Hauptgrund für beeinträchtigte Kanten. Diese Leimverluste haben Aussandungen, poröse Stellen und dunkle Verfärbungen zur Folge. Derartige Erscheinungen sind Schwachstellen im Beton und führen nicht selten zu weiteren Kantenbeschädigungen und Abplatzungen infolge mechanischer Einwirkung oder Bewehrungskorrosion.

Beim Einbringen des Betons in die Schalung besteht die Gefahr, dass die Kanten – besonders bei scharfkantiger Ausbildung – unvollständig ausgefüllt oder schlecht verdichtet werden. Es ist zu berücksichtigen, dass die Rüttelwirkung der Vibriernadel im Bereich der Kanten stark herabgesetzt ist. Dies rührt daher, dass Schwingungen, welche die äusserste Ecke erreichen, stark abgeschwächt sind. Ein allenfalls durch unsachgemässes Einbringen entstandenes Kiesnest wird bei der Verdichtung oft nicht vollständig ausgefüllt, ähnlich wie am Fuss von Betonieretappen bei Wänden.

Die empfindlichen Kanten werden teilweise schon unmittelbar nach dem Verdichten des Betons angerissen oder abgedrückt. Beim Nachsetzen des Betons oder bei kleineren Bewegungen der Schalung löst sich der Beton in den Schalungsecken leicht ab, weil er dort besser verankert ist als am Betonkörper selber. Bewegungen der Schalung in Bezug auf die Betonmasse ereignen sich auch durch Schüsseln der quellenden Schalung (Vorwiegend bei Schalungsträgern und -einlagen aus Holz).

Eine weitere Ursache für Kantenbeschädigungen ist das zu frühe Ausschalen der Bauteile. Bei Temperaturen unter 10° C muss der Zeitpunkt des Ausschalens besonders vorsichtig gewählt werden. Mit dem Entfernen der Schalung können die noch wenig verfestigten Betonkanten abgerissen werden.

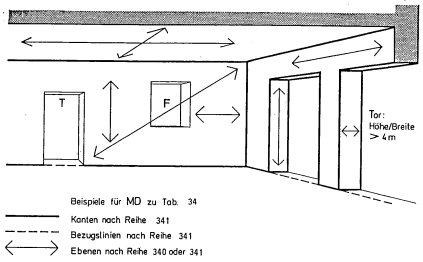
Bei kalter Witterung ist die Gefahr des Gefrierens zu beachten. Die Kantenbereiche sind dabei besonders gefährdet, weil sie der Kälte vermehrt ausgesetzt sind und der Beton in diesen Bereichen weniger Hydratationswärme entwickelt. Gefriert der junge Beton bevor er eine genügende Eigenfestigkeit entwickelt hat, wird er dauerhaft geschädigt.

Mechanische Einwirkungen wie Schläge oder Anprall von Gegenständen und Fahrzeugen führen bei scharf ausgebildeten Betonkanten zu sichtbaren Beschädigungen.

Beurteilung
Ungerade Sichtbetonkanten beeinträchtigen in der Regel hauptsächlich die optische Wahrnehmung und selten die Tragsicherheit oder Dauerhaftigkeit eines Bauteils bzw. Bauwerks. Falls der Einbau von Einrichtungen wie Türen, Fenster usw. von der Präzision von Betonkanten abhängig ist, können Ungenauigkeiten problematisch werden.

Für die Beurteilung der Gradlinigkeit von Sichtbetonkanten gelten generell, wie auch im Kap. 4.2.1.1 Unebenheiten beschrieben, die SIA Norm 414 Masstoleranzen im Bauwesen [3] und die SIA Empfehlung V414/10 Masstoleranzen im Hochbau [4]. Die zulässigen Abweichungen für normale Anforderungen sind in der Tabelle 34, in Abhängigkeit der massgebenden Messdistanz, angegeben. Die zulässige Abweichung beträgt z.B. für eine Kantenlänge zwischen 2 und 4 m 12 mm. Eine solche Abweichung wird vom Auge gut wahrgenommen. Es empfiehlt sich deshalb, für höhere Anforderungen an die Gradlinigkeit von Kanten, diese zwischen Bauherr und Planer schriftlich in der Nutzungsvereinbarung sowie zwischen Bauherr und Unternehmer im Werkvertrag festzuhalten. Die definierte maximale Abweichung von einer theoretischen Sollkante in alle Richtungen ist auch auf den Bauzeichnungen zu vermerken.

Eine Instandsetzung von unpräzisen, wellenförmig verlaufenden Kanten ist meist nicht ohne dauerhafte Beeinträchtigung der Ästetik möglich und führt im Extremfall zum Ersatz des ganzen Bauteils.



Δ_{340} - Ebenen (Oberflächen), insbesondere bei normalen Wänden aus Beton und MN, bei normalen Deckenuntersichten

Δ_{341} - Geraden (Kanten, Achsen, Bezugslinien, Fluchten)
- Ebenen (Oberflächen) mit erhöhten Anforderungen, insbesondere bei Wänden aus MH, Sicht-M, unverputztem M (Isolation), M für Dünnschichtputz und Sichtbeton, bei Deckenuntersichten für Dünnschichtputz und aus Sichtbeton

MD (frei)		0,4	1	2	4	10	20	40	[m]
$\Delta_{adm\pm}$	Δ_{340}	8	10	12	16	20	30	--	[mm]
	Δ_{341}	4	6	8	12	16	20	25	[mm]

Tabelle 34, Gradlinigkeit, Ebenheit aus SIA Empfehlung V414/10 [4]

Bruchstellen, Abplatzungen und Kiesnester bei Ecken und Kanten beeinträchtigen nicht nur das Erscheinungsbild, sondern können sich auch in Extremfällen negativ auf die Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit auswirken. Die Dauerhaftigkeit wird durch die beschädigte, poröse Betonstruktur, infolge Verminderung des Korrosionsschutzes der Bewehrung, herabgesetzt. Der durch die Bruchstellen und Abplatzungen reduzierte Querschnitt kann auch für die Tragsicherheit des Bauteils massgebend werden. Wenn Grösse und/oder Lage dieser Schwachstellen für die Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit von Bedeutung sind, muss die Beurteilung durch den zuständigen Bauingenieur erfolgen.

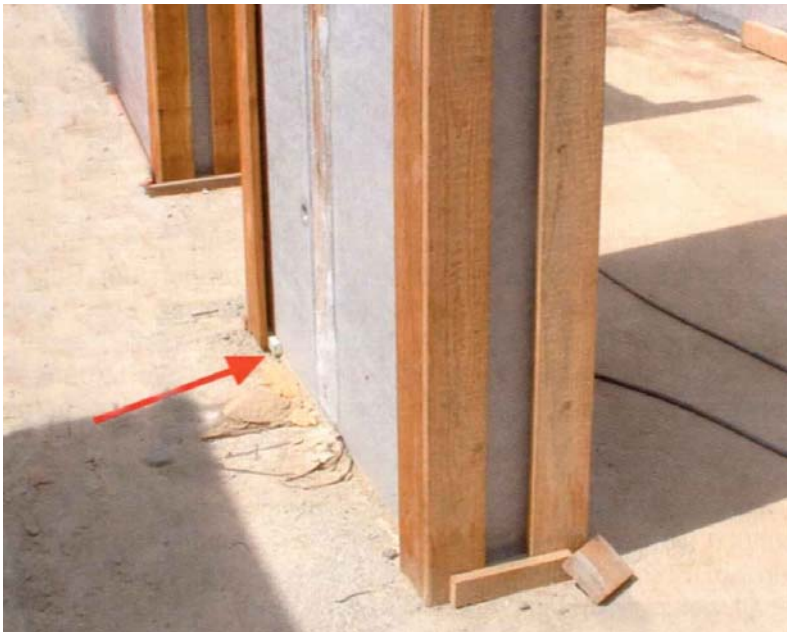
Eine Instandsetzung von ausgesandeten, abgebrochenen oder mechanisch verletzten Kanten und Ecken kann das Gesamterscheinungsbild eines Bauteils bzw. Bauwerks beeinträchtigen und muss deshalb sorgfältig geplant werden. Das Vorgehen und die Massnahmen sind vorgängig mit allen Beteiligten (Bauherr, Architekt, Bauingenieur, Bauunternehmer und evtl. Instandsetzungsspezialist) zu vereinbaren und an Musterkanten zu optimieren.

Reparaturarbeiten bei Kantenschäden erfordern viel handwerkliches Geschick. (Bild: cbg)

Vorbeugung
Kantenschäden an Betonbauteilen sind eine recht häufige Erscheinung. Ihre Reparatur ist jeweils umständlich und schwierig. Deshalb empfiehlt es sich, gewisse grundlegende Massnahmen zu ergreifen, um Kantenschäden zu minimieren oder zu vermeiden:

- Schon in der Planung sollten die ausführungstechnischen Möglichkeiten und besonders die Grenzen scharfer Kantenausbildungen dem Bauherrn und dem Architekten bekannt sein. Scharfe Kanten sind nicht besonders widerstandsfähig und können auch für Menschen und Tiere gefährlich sein.
- Damit es in den Kantenbereichen nicht zu einer Entmischung des Frischbetons und somit zu einer Anhäufung grober Gesteinskörnung kommt, muss die Bewehrungsüberdeckung gemäss SIA Norm 262 [2] grösser als das gewählte Grösstkorn der Gesteinskörnung sein (siehe dazu auch Kapitel 4.2.1.4 Kiesnester).
- Die Bauteilabmessungen bzw. die Verbügelung und die Längsbewehrung sollten so geplant werden, dass eine ausreichende Verdichtung des Betons möglich ist. Besonders zu beachten sind dabei schlanke Stützen und Bereiche mit Bewehrungsstössen.
- Die Betonmischung ist mit abgestimmter Kornzusammensetzung und dem Bauteil und der Einbringart angepasster Konsistenz zu wählen (siehe dazu auch Kapitel 4.2.1.4 Kiesnester).
- Das Schalsystem ist den Anforderungen entsprechend steif zu wählen, um Bewegungen und Undichtigkeiten der Eckbereiche zu vermeiden.
- Zur Abdichtung der Schalhaut im Bereich der Bauteilkanten, Ecken und Stösse können komprimierbare, geschlossenzellige Fugenbänder oder auch Silikonabdichtungen eingesetzt werden. Bei Silikonabdichtungen gilt zu beachten, dass es nicht zum Kontakt des frischen Betons mit dem Silikon kommt, da dies zu Verfärbungen der Betonoberfläche führt.
- Wegen der verminderten Rüttelwirkung der Vibriernadel im Bereich ausserhalb der Eckbewehrung ist eine besonders sorgfältige Verdichtungsarbeit erforderlich (siehe auch Kapitel 4.2.1.4 Kiesnester).
- Weil der Beton in den Schalungsecken besonders gut verankert ist, kommt es oft vor, dass Kanten beim Ausschalen abbrechen oder anreissen. Vorsichtiges Vorgehen ist unumgänglich. So dürfen niemals beide Schalungsseiten einer Kante gleichzeitig entfernt werden oder Schläge senkrecht zur Kantenrichtung ausgeführt werden.
- Kanten sind der Austrocknung stärker ausgesetzt als flächige Bereiche. Gegebenenfalls schwinden sie stärker als die angrenzenden Bauteile. Auf eine ausreichende Nachbehandlung, zum Beispiel durch Einpacken mit Folien, ist besonders zu achten (vgl. Kapitel 4.2.1.6 Risse).
- Bei kalten Temperaturen sind Bauteile, somit auch Kanten, gegen Gefrieren zum Beispiel mit Wärmedämmmatten zu schützen.
- Die ausgeschalten Sichtbetonkanten sind während der ganzen Rohbauzeit zu schützen. Dies kann mit „Gipserwinkel“ oder mit Holzlatten, die als Winkelkonstruktion zusammengesetzt sind, erfolgen. Die Holzlatten sollten aber nicht zu früh (erfahrungsgemäss erst 5 bis 10 Tage nach dem Ausschalen) und wenn möglich nicht direkt in Kontakt mit der Oberfläche angeordnet werden, da sonst Verfärbungen der Betonoberfläche zu erwarten sind. Der Kontakt von frischem, rohem Holz mit jungen Betonflächen sollte in jedem Fall vermieden werden.

Kantenschutz mit „Gipserwinkel“ ausgeführt. (Bild: cbg)



Kantenschutz aus Holzlatten mit Abstandhaltern aus Schaumstoff-resten im Bereich des späteren Unterlagsbodens (Bild: Technik des Sichtbetons)

- Die scharfen Kanten sollten nach Rohbauvollendung mit einem Korundstein leicht gebrochen werden, um allfällige Verletzungen an einzelnen hervorstehenden Brauen zu verhindern.
- Sind scharf ausgebildete Bauteilkanten mechanischen Einwirkungen ausgesetzt, empfiehlt es sich, Stahlwinkel als permanenten Kantenschutz vorzusehen.

4.2.3.2 Schalhautstösse

Beschrieb

Ursache

Beurteilung

Vorbeugung

4.2.3.3 Betonierfugen

Beschrieb

Ursache

Beurteilung

Vorbeugung

4.3 Mögliche Mängel an ungeschalten Sichtbetonoberflächen

4.3.1 Horizontale oder leicht geneigte Oberflächen

Einleitung
Ungeschalte, horizontale oder leicht geneigte Sichtbetonoberflächen kommen bei Oberseiten flächiger Bauteilen wie Decken und Platten sowie bei Mauer- und Brüstungskronen vor. Solche Oberflächen lassen sich, wie auch geschalte Sichtbetonoberflächen, als Gestaltungselement planen. In den meisten Fällen werden die ungeschalten Sichtbetonoberflächen kurz nach dem Einbringen des Frischbetons durch Abreiben, Taloschieren (mit Balken, Glätter, von Hand) oder Nachverdichten der Betonoberfläche bearbeitet. Nach dem Abbinden und Erhärten des Frischbetons können sie durch Auswaschen, Feinwaschen, Sandstrahlen, Flammstrahlen, Stocken usw. gestaltet werden. Für flächige Bauteile werden auch mechanische Bearbeitungen wie Schleifen und Polieren (Terrazzo) angewandt.

Geneigte Oberflächen mit einer ein- oder mehrseitigen Neigung grösser ca. 30 % müssen in der Regel mit einer Konterschalung ausgeführt werden. Die maximale Neigung für ungeschalte Oberflächen ist von der Steifigkeit der Betonmischung abhängig. Mit der Beimischung von Kunststofffasern lassen sich auch stärker geneigte Oberflächen ausführen.

Vorplatz Truppenunterkunft St. Luzisteig. Oberfläche unmittelbar nach dem Betonieren nachverdichtet, Monobetonverfahren. (Bild: cbg)

Fensterbrüstung mit nachträglich geschliffener Oberfläche. (Bild: cbg)

An ungeschalten, horizontalen oder leicht geneigten Sichtbetonoberflächen flächiger Bauteile werden neben den gestalterischen Anforderungen oft weitere vertraglich vereinbarte Anforderungen gestellt. Beispielsweise werden bei Industriefussböden und Rampen neben den statischen auch hohe Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit gestellt (Griffigkeit, Abrasionswiderstand). Deshalb werden die Betonoberflächen oft durch Einstreuen von Hartstoffen, (z.B. Quarzsand) verbessert. Eine Alternative zur Oberflächenvergütung mit Hartstoffen ist die Verdichtung der Betonoberfläche durch Absaugen von Wasser aus dem Frischbeton. Dieses Aufbringen eines Vakuums, mittels aufgelegter Saugplatten, wird als Vakuumverfahren und der so behandelte Beton als Vakuumbeton bezeichnet.

Oberflächenverdichtung nach dem Einbringen des Frischbetons, Monobetonverfahren. (Bild: cbg)

Beschrieb und Ursachen
Generell können Unregelmässigkeiten an ungeschalten Sichtbetonoberflächen, ähnlich wie bei geschalten Oberflächen, vorkommen. Zum Beispiel ungenügende Ebenheit, Bewehrungskorrosion, Risse, Ausblühungen, Farbunterschiede und Frostschäden (siehe detaillierte Angaben unter Kap. 4.2). Auch die Ursachen für diese Unregelmässigkeiten und Abweichungen sind grundsätzlich dieselben. Bei ungeschalten, horizontalen oder leicht geneigten, Sichtbetonoberflächen können aber einzelne dieser möglichen Mängel verstärkt auftreten.

Infolge fehlenden Schutzes durch die Schalhaut, während der ersten zwei bis drei Tage nach dem Betonieren, ist die Gefahr der Rissbildung bei ungeschalten, horizontalen oder leicht geneigten, Sichtbetonoberflächen eher grösser als bei geschalten Flächen. Die Betonoberfläche bleibt unmittelbar nach dem Einbringen und Verdichten des Betons einige Stunden der Witterung (Sonneneinstrahlung, Wind, Kälte, Wärme…) ausgesetzt, bis sie abgedeckt werden kann.

Nach dem Betonieren kann die ungeschalte, horizontale oder leicht geneigte, Sichtbetonoberfläche nicht sofort belastet werden. Durch zu frühes Betreten (Menschen, Tiere), Befahren (Geräte und Maschinen) oder Belasten mit Materialien aller Art (Schalungsbretter, Gerüstmaterial, Nachbehandlungsfolien usw.) können nichtreversible Abdrücke in der Betonoberfläche entstehen. Der frühestmögliche Zeitpunkt für die Belastbarkeit der Betonoberfläche ist von der Betonrezeptur und den Umgebungstemperaturen abhängig. Im Normalfall kann das Bauteil ca. 8 bis 10 Stunden nach dem Einbringen und Verdichten des Betons von Menschen, ohne Hinterlassung von Abdrücken, betreten werden. Neben den Oberflächenabdrücken treten bei nicht geschalten Betonoberflächen oft auch Verschmutzungen infolge unsachgemässer Lagerung/Ablagerung von Gegenständen wie Bindedrähte oder unsachgemässem Begehen und Befahren auf.

Verschmutzung der Betonoberfläche durch Rostspuren. (Bild: cbg)

Die Gefahr von Bewehrungskorrosion ist bei Oberseiten von horizontalen, flächigen Bauteilen im Allgemeinen grösser, weil das Oberflächen- und Meteorwasser nicht sofort wegfliessen und so tiefer in das Betongefüge eindringen kann. Zudem ist, insbesondere bei flächigen Bauteilen wie Decken und Platten, die Kontrolle und Überwachung der Bewehrungsüberdeckung schwieriger, da die Bewehrung in der Regel gegen Auftrieb nicht gesichert werden kann und allein über die Höhe der Distanzkörbe und die effektive Bauteilabmessung erfolgt (Toleranzen in der Herstellung).
Bei Vorplätzen zum Beispiel, wo oft Streusalz eingesetzt wird, kann auch Korrosion infolge Chlorideintrag vorkommen (vgl. Kap. 4.2.1.2).

Frostschäden und Oberflächenabplatzungen entstehen dadurch, dass sich das Porenwasser beim Gefrieren ausdehnt und damit das Gefügegerüst des Betons schwächt oder zerstört. Der Widerstand des Betons gegenüber Frosteinwirkungen ist somit von Porosität und vom Sättigungsgrad abhängig. Bei ungeschalten, horizontalen oder leicht geneigten Sichtbetonoberflächen treten infolge des grossen Feuchtegehaltes des Betons, insbesondere bei Bauteilen die der Witterung ausgesetzt sind, wie Vorplätze, Mauer- oder Brüstungskronen, Frostschäden und Oberflächenabplatzungen vermehrt und stärker auf als bei vertikalen Bauteilen. Allfällige Taumittel verstärken den Angriff.

Frostabplatzungen an einer Mauerkrone im Strassenbereich infolge Frosttausalzeinwirkung. (Bild: cbg)

Beurteilung und Anforderungen
Die Beurteilung und die Anforderungen an die Ausführung von ungeschalten Sichtbetonflächen sind für Mauer- und Brüstungskronen auf die Sichtbetonqualität des aufgehenden Bauteils abzustimmen.
Ungeschalte, horizontale oder leicht geneigte Bauteile werden oft durch eine mechanische Bearbeitung der Oberfläche optisch gestaltet. Die Beurteilung ist damit im Gegensatz zu geschalten Flächen stark von der Bearbeitungsart abhängig. Mögliche Mängel wie Unebenheiten (vgl. Kap. 4.2.1.1) lassen sich mit der Bearbeitung durch Abreiben oder Taloschieren bzw. durch nachträgliches Schleifen und Polieren teilweise ausgleichen. Allfällige Mängel wie Risse (vgl. Kap. 4.2.1.6) sind optisch je nach Bearbeitungsgrad unterschiedlich stark wahrnehmbar. Sie müssen je nach Breite und Exposition unterschiedlich beurteilt werden (vgl. Beurteilung von Rissen in Kapitel 4.2.1.6).
Andere Unregelmässigkeiten wie Kiesnester treten an der Oberseite von Bauteilen so gut wie nie auf und sind demzufolge für ungeschalte, horizontale oder leicht geneigte Sichtbetonteile nicht relevant. Dasselbe gilt für Lunker welche an ungeschalten Sichtbetonoberflächen für gewöhnlich nicht auftreten.

Vorbeugung
Die Vorbeugungsmassnahmen bei geschalten Oberflächen gegen Korrosion (vgl. Kap. 4.2.1.2), gegen Bluten (vgl. Kap. 4.2.1.3), gegen Rissbildung (vgl. Kap. 4.2.1.6) sowie gegen Kalkausblühungen/Aussinterungen (vgl. Kap. 4.2.2.1) sind auch für ungeschalte, horizontale oder leicht geneigte Sichtbetonoberflächen in konstruktiver wie auch beton-

technologischer Hinsicht sinngemäss anzuwenden.
Zusätzlich zu den unter Kapitel 4.2 aufgezeigten Vorbeugungsmassnahmen ist bei ungeschalten Sichtbetonoberflächen im Speziellen auf Folgendes zu achten:

- Die Bewehrungsüberdeckung ist durch Höhenkontrolle der oberen Bewehrungslage vor dem Betonieren durch den zuständigen Bauingenieur abzunehmen und zu protokollieren. Der Polier ist während des Betonierens für die Kontrolle der minimalen, auf dem Plan vorgegebenen, Bewehrungsüberdeckung verantwortlich.
- Flächige Bauteile bzw. Bauabschnitte, die einer starken Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, sollten nicht bei Temperaturen über 30°C und starkem Wind erstellt werden.
- Zur Vermeidung von Oberflächeneindrücken im frisch eingebrachten und verdichteten Beton darf die Oberfläche nicht zu früh betreten, befahren oder belastet werden. Für Arbeiten, die unmittelbar nach dem Einbringen und Verdichten ausgeführt werden müssen und eine Begehung der Oberfläche erfordern (Erstellen einer Monobetonoberfläche, Oberflächenvergütung durch Einstreuen von Hartstoffen, etc.), sind insbesondere bei flächigen Bauteilen wie Decken und Platten Hilfsmittel wie Schuhtaloschen oder Hilfskonstruktionen wie Arbeitsstege zu verwenden.

Hilfskonstruktion für das Bearbeiten der Betonoberfläche unmittelbar nach dem Einbringen des Betons. (Bild: cbg)

- Die Nachbehandlungsmassnahmen gegen zu schnelles Austrocknen und damit zur Begünstigung von Frühschwindrissen müssen frühzeitig (aber nicht zu früh → Eindrücke!) nach dem Einbringen und Verdichten des Betons durchgeführt und mehrere Tage belassen werden. Neben dem Einsatz von Abdeckfolien und Matten können hier auch flüssige Nachbehandlungsmittel (Curing) eingesetzt werden. Diese sind wegen der allfälligen Rückstände jedoch mit Vorsicht einzusetzten. Dasselbe gilt für das Besprühen mit Wasser, welches Ausblühungen verursachen kann. Während der gesamten Nachbehandlungszeit darf die Betonoberfläche niemals austrocknen.
- Die Betonoberfläche ist vor Verschmutzungen während der Rohbauzeit mit Folien, Brettern oder weichen Platten zu schützen (z. B. weiche Holzfaserplatten).
- Mit dem Auftrag einer Hydrophobierung oder Versiegelung kann die Wasseraufnahmefähigkeit stark vermindert werden (für Sichtbetonoberflächen nur bedingt anwendbar).

5 Bedeutung für die Praxis

Die Planung und die Herstellung von Sichtbeton können nicht ohne spezifisches Wissen erfolgen. Viele Planer, Bauunternehmer und Betonhersteller besitzen diesbezüglich eine sehr grosse Erfahrung, die sie erfolgreich einsetzen, welche aber ungenügend systematisch dokumentiert ist. Publikationen wie Betonpraxis (Holcim) oder frühere Forschungsberichte des TFB Wildegg (Cementbulletin) liefern in der Schweiz eine wertvolle Unterstützung für Einzelfragen in Zusammenhang mit dem Bau von (Sicht)beton, befassen sich aber nicht ganzheitlich mit dem Prozess „Planung, Herstellung und Beurteilung von sichtbaren Betonoberflächen“ und lassen einige Fragen offen, die wir mit dem vorliegenden Forschungsbericht zu schliessen versuchen. Die Datensammlung bezieht sich auf die langjährige Erfahrung der Autoren auf dem Gebiet des Sichtbetons und schliesst vorhandene Forschungsresultate und Wissen von Dritten ein. Der Praxisbezug wurde zusätzlich mit Hilfe der Begleitgruppe bestehend aus den Herren S. Bischof (Holicm (Schweiz) AG), E. Meyer (Jura-Cement) und K. Strahm (Vigier Cement AG) und der Arbeitsgruppe mit den Herren R. Rageth (Baugeologie, Chur), C. Rutzer (Kies und Beton AG Tardis, Maienfeld) und R. Wildhaber (Implenia AG, Chur) verstärkt.

In Deutschland existieren umfangreiche Unterlagen wie das Merkblatt Sichtbeton (Deutscher Betonverein, Deutsche Zementindustrie) und die Bücher Sichtbeton-Planung und -Mängel von Joachim Schulz, die ein ähnliches Ziel mit starkem Bezug zu den DIN-Normen verfolgen und vor allem für eine deutsche Gutachtertätigkeit wertvoll sind. Das Buch Technik des Sichtbetons (Peck, Bose, Bosold) ist im Herbst 2007 in Deutschland neu erschienen. Es liefert praktische Hinweise zur Planung und Ausführung glatter Sichtbetonoberflächen in bildlicher und praxisnaher Art.

Die im Rahmen des Forschungsauftrags „Sichtbeton“ ausgearbeitete Dokumentation soll Bauherren, Planer und Ausführende spezifisch bei Fragen im Zusammenhang mit der Herstellung von Sichtbetonbauten unterstützen. Die Erkenntnisse sind sowohl für Laien und Fachleute leicht verständlich und anwendbar. Die phasenweise aufgebaute Dokumentation – von der anfänglichen Idee oder Wunsch eines Sichtbetonobjektes bis zum fertigen Bauwerk – ermöglicht einen gezielten und raschen Einblick zu den wichtigsten Fragenstellungen. Sie zeigt chronologisch auf, wie bei einem Sichtbetonvorhaben vorgegangen werden muss, wann welche Entscheidungen getroffen werden müssen, welche Folgen zum Beispiel in Bezug auf Kosten oder Termine zu erwarten sind und worauf besonders zu achten ist. Sichtbetonbau wird als „Teamwork“ verstanden. Jeder Beteiligte muss wissen was er zu leisten hat, und wer die Verantwortung für was trägt. In diesem Zusammenhang ist die Notwendigkeit eines projektbezogenen Qualitätsmanagments, mit klar definierten Aufgaben und Zuständigkeiten, unerlässlich.
Die reizvolle Eigenart der Betonbauweise, die das Ausgiessen beliebiger Formen vor Ort ermöglicht, bleibt trotz optimaler Vorbereitung weiterhin eine grosse Herausforderung für alle Mitbeteiligten. Es gibt unzählige Faktoren, die auf die Eigenschaften einer Sichtbetonoberfläche Einfluss haben. Die häufig auftretenden Unregelmässigkeiten und deren Ursache bei Sichtbetonoberflächen sind themenweise beschrieben und aufgezeigt. Die vorgeschlagenen Vorbeugungsmassnahmen sind eine Synthese aus Praxis und Forschung und stehen als Hilfsinstrument zur Verfügung.
Für die Beurteilung von fertig hergestellten Sichtbetonbauteilen bzw. -bauwerke werden allgemeine Grundsätze vorgeschlagen. Für die Bewertung von Einzelkriterien wie z.B. Risse oder Unebenheiten, werden wo sinnvoll themenweise Hilfsgrössen angegeben.

Die vorliegenden Ergebnisse sind hauptsächlich für Ortbetonbauten wegweisend. Einige Kapitel lassen sich auch für Fertigteile, Leichtbetone und Brückenbauten verwenden. Themen wie Brandschutz, Schalldämmung, Recycelbarkeit, Beständigkeit gegen chemische oder mikrobiologische Einwirkungen, Oberflächenschutz und Instandsetzung wurde darin nicht speziell beschrieben.
Bei der Mängelfibel fehlen noch folgende drei Kapitel: Grautonunterschiede, Verfärbungen und Schalungsstösse/Fugen, die noch bis Ende Februar 2008 ergänzt werden. Die entsprechenden Zusammenfassungen unter Kapitel 3 Empfehlungen für Sichtbeton werden ebenfalls bis zu diesem Zeitpunkt vervollständigt.

6 Empfehlungen für die weitere Umsetzung

Wir empfehlen, die vorliegende Arbeit folgenden Adressaten zugänglich zu machen:

- den Bauherren, Bauherrenvertretern und Investoren
- den Planern wie Architekten, Bauingenieure und Bauleitern
- den Ausführenden wie Baumeistern, Bauführern und Poliere
- der Industrie wie Zementwerken und Elementbauern
- den Lieferanten wie Beton-, Kies- und Bauchemielieferanten
- den Schulen und Forschern
- den Verbänden

		Adressaten										
		Bauherr	Investor	Architekt	Bauleiter	Bauingenieur	Baumeister	Polier/Bauarbeiter	Industrie	Lieferanten	Schulen	Verbände
Phase I	Vorabklärungen											
Phase II	Ausschreibung											
Phase III	Bauausführung											
Phase IV	Mängel											
Phase V	Wissenstransfer											

sehr informativ für diese Adressaten

informativ für diese Adressaten

Die vorliegende Arbeit dient als Grundlage und lässt sich mit Hilfe aller Adressaten immer wieder präzisieren und erweitern. Wir hoffen, dass ein reger Austausch und Wissenstransfer stattfindet.

Die vorliegende Arbeit eignet sich besonders dazu, in Buchform und als Web-Site umgesetzt zu werden. Die Web-Lösung kann adressatenbezogen aufgebaut werden und lässt sich ideal verlinken.

Als weitere Produkte wären Flyer mit Checklisten, Taschenbücher nach Forschungsthemen und CD-ROM für Schulungen möglich. Die vorliegende Arbeit müsste aber für die jeweilige Nutzung überarbeitet und angepasst werden.

7 Quellen/Literatur/Links

[1] SIA Norm 118/262 „Allgemeine Bedingungen für Betonbau“ 2004

[2] SIA Norm 262 „Betonbau“ 2003

[3] SIA 414 „Masstoleranzen im Bauwesen“ 1980

[4] SIA Empfehlung V414/10 „Masstoleranzen im Hochbau“ 1987

[5] SN EN 206-1:2000 Beton – Teil 1

[6] SB3 Wechselwirkung zwischen Beton, Trennmittel, Schalung, Verarbeitung und Umgebungsbedingungen, cemsuisse 2007

[7] SB4 Sedimentation und Bluten von Beton, cemsuisse 2007

[8] Dokumentation zur Fachveranstaltung „Gerissene Betonbauten“ TFB Wildegg 2007

[9] Dokumentation Kurzlehrgang „Instandsetzung von Betonbauwerken“ TFB Wildegg 2007

[10] Dokumentation zur Fachveranstaltung „Sichtbetonmängel-Minimierung mit gezieltem Qualitätsmanagement“ TFB Wildegg 2007

[11] Betonpraxis, Publikation der Holcim (Schweiz) AG 2003

[12] Merkblatt Sichtbeton, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. / Bundesverband der Deutschen Zementindustrie E.V. 2004

[13] Zementmerkblatt Betontechnik „Risse im Beton“ 2003

[14] Joachim Schulz, Sichtbeton-Planung, vieweg Verlag 2006

[15] Joachim Schulz, Sichtbeton-Mängel, vieweg Verlag 2004

[16] Heinz Klopfer, Schäden an Sichtbetonflächen, IRB Verlag 1993

[17] Pfeifer Günter, Liebers Antje M., Brauneck Per, Sichtbeton Technologie und Gestalt, 2004

[18] Holcim (Schweiz) AG, Kleine Zementgeschichte, 2004

Bildnachweis
Für alle hier nicht nachgewiesenen Bilder liegen die Rechte bei den Architekten oder beim Autor.

Einige Bilder stammen aus dem Internet.

8 Dokumentation (elektronisch)