

# DIPLOMARBEIT



## **VERMEIDUNG VON SICHTBETONMÄNGEL - ERSTELLUNG EINES MAßNAHMENKATALOGES FÜR DIE IN DER BAUAUSFÜHRUNG BETEILIGTEN UND ANALYSE DER RELEVANTEN REGELWERKE ZUR VERMEIDUNG VON SICHTBETONMÄNGEL BEI IN ORTBETON ERSTELLTEN BAUTEILEN**

Vorgelegt von  
Mario Mühleder

Vorgelegt am  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Projektentwicklung und Projektmanagement

Institut für Hochbau und Bauphysik

Betreuer  
Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Christian Hofstadler  
UA Arch. Dipl.-Ing. Dr. Michael Grobbauer

Graz am 17. März 2011

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

## STATUARY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, .....

.....

date

(signature)

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Diplomarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn UA Arch. Dipl.-Ing. Dr. Michael Grobbauer und Herrn Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Christian Hofstadler.

Besonderer Dank gebührt meiner Familie, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützte.

(Ort), am (Datum)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift des Studenten)

## Kurzfassung

Der Baustoff Sichtbeton spielt in der modernen Architektur nach wie vor eine bedeutende Rolle. Doch trotz der jahrelangen Verwendung von Sichtbeton bei Bauvorhaben, werden vorwiegend aufgrund Unwissenheit Fehler gemacht, die qualitativ minderwertige Oberflächen verursachen. Um eine bessere Qualität von Sichtbeton gewährleisten und Mängel vermeiden zu können, wird in der vorliegenden Arbeit ein Maßnahmenkatalog erstellt. Dieser soll denen am Bau Beteiligten einen Überblick über jene Maßnahmen verschaffen, deren Einhaltung zu einer besseren Sichtbetonqualität führen soll.

Die einzelnen möglicherweise auftretenden Mängel werden in der Arbeit in Mängelkategorien eingeteilt und detailliert beschrieben. Dabei wird zunächst auf die Entstehung der Mängel eingegangen und sodann erläutert, wie diese vermieden werden können. Ebenso werden die für Österreich relevanten deutschsprachigen Regelwerke untersucht und miteinander verglichen.

## Abstract

Exposed concrete as a building material has always played an essential role in modern architecture. Yet, ignorance of its correct usage leads to mistakes and inferior surfaces. In order to provide for a better quality of exposed concrete and to prevent shortcomings a measure catalogue has been compiled giving an overview of the compliance with necessary measurements to the persons involved on the construction site.

Within that measure catalogue each possibly occurring shortcoming is classified and described in greater detail. The catalogue does not only respond to the formation of shortcomings but also explains how those can be successfully avoided. By the same token, Austria relevant regulators are examined and accordingly compared with each other.

## Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
0.1	Aufgabenstellung .....	2
0.2	Aufbau der Arbeit.....	2
<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
1.1	Begriffsdefinitionen .....	3
1.1.1	Sichtbeton .....	3
1.1.2	Mangel .....	6
1.2	Die geschichtliche Entwicklung des Sichtbetons .....	8
<b>2</b>	<b>Mängelarten</b>	<b>11</b>
2.1	Allgemeines .....	11
2.2	Betrachtungsabstand.....	11
<b>3</b>	<b>Farbabweichungen</b>	<b>13</b>
3.1	Kalkausblühungen .....	14
3.2	Grautonunterschiede .....	23
3.3	Rostverfärbungen .....	33
<b>4</b>	<b>Texturunregelmäßigkeiten</b>	<b>39</b>
4.1	Kiesnester .....	39
4.2	Versandungen .....	45
4.3	Vermehrungen der Betonoberfläche.....	46
4.4	Poren und Lunker .....	49
4.5	Risse .....	55
4.6	Abplatzungen aufgrund von Bewehrungskorrosion .....	60
<b>5</b>	<b>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</b>	<b>65</b>
5.1	Versätze und Versprünge .....	65
5.2	Betonwarzen.....	70
5.3	Betongradbildung .....	73
5.4	Ausbrüche von scharfen Kanten .....	76
5.5	Wellen in der Oberfläche .....	80
<b>6</b>	<b>Fazit der Betrachtung der Regelwerke</b>	<b>84</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>86</b>
<b>8</b>	<b>Fallbeispiele</b>	<b>88</b>
8.1	Objekt 1 - Fabrikgebäude .....	88
8.2	Objekt 2 - Feuerwehrhaus .....	91
8.3	Objekt 3 – Lagergebäude für Energiegewinnung .....	94
8.4	Objekt 4 – Museumsbau .....	97
8.5	Objekt 5 – Bildungsgebäude .....	99
8.6	Objekt 6 – Veranstaltungshalle .....	101
8.7	Objekt 7 – Bildungsgebäude.....	103
<b>9</b>	<b>Maßnahmenkatalog</b>	<b>105</b>
9.1	Planung – Architektur .....	105
9.2	Planung – Ausschreibung .....	109

9.3	Planung – Tragwerksplaner .....	109
9.4	Ausführung - Schalungsverarbeiter .....	111
9.5	Ausführung – Bewehrungseinbau .....	116
9.6	Ausführung - Betoneinbau .....	118
9.7	Ausführung - Nachbehandlung .....	121
9.8	Schutzmaßnahmen für das Langzeitverhalten .....	123

<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>CXXIV</b>
-----------------------------	--------------

<b>Linkverzeichnis</b>	<b>CXXVII</b>
------------------------	---------------

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Kalkausblüfung .....	14
Abbildung 2 Grautonunterschiede.....	23
Abbildung 3 Rostspuren.....	33
Abbildung 4 Kiesnest .....	39
Abbildung 5 Arbeitsfugenausbildung.....	42
Abbildung 6 Blüten des Betons .....	45
Abbildung 7 Poren und Lunker.....	50
Abbildung 8 Betonrisse .....	56
Abbildung 9 Rostabplatzungen .....	61
Abbildung 10 Betonrisse .....	61
Abbildung 11 Versatz mit Zementleimablauf.....	65
Abbildung 12 Bilineare Druckverteilung nach DIN 18218 .....	67
Abbildung 13 Abdruck der Schalungbefestigung.....	70
Abbildung 14 Ausbrüche scharfen Ecke .....	77
Abbildung 15 Fassadenfläche an Westseite .....	88
Abbildung 16 Arbeitsfuge in Bodennähe.....	91
Abbildung 17 Kiesnest über Tür.....	92
Abbildung 18 Arbeitsfuge bei Attika.....	94
Abbildung 19 Ansatz einer Quermauer .....	96
Abbildung 20 Sichtbetonfassade ohne Attikaverkleidung .....	97
Abbildung 21 Stirnmauerbereich.....	98
Abbildung 22 Geneigte Sichtbetondecke .....	99
Abbildung 23 Sichtbetonwand mit Grautonunterschied .....	101
Abbildung 24 Sichtbetonwand ohne Attikaverkleidung .....	103

## Abkürzungsverzeichnis

<b>a.a.O.</b>	am angegebenen Ort
<b>ABGB</b>	Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch Österreichs
<b>Abs.</b>	Absatz
<b>BDZ</b>	Bundesverband der Deutschen Zementindustrie
<b>BGB</b>	Bürgerliches Gesetzbuch Deutschlands
<b>bzw.</b>	Beziehungsweise
<b>d.h.</b>	das heißt
<b>DBV</b>	Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.
<b>et al.</b>	et alii (und andere)
<b>ggf.</b>	gegebenenfalls
<b>HRSG</b>	Herausgeber
<b>lt.</b>	laut
<b>max.</b>	maximal
<b>o.V.</b>	ohne Verfasser
<b>ON</b>	Österreichisches Normungsinstitut
<b>ÖISS</b>	Österreichischen Institut für Schul- und Sportstättenbau
<b>ÖVBB</b>	Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik
<b>Pkt.</b>	Punkt
<b>PU</b>	Polyurethan
<b>SCC</b>	Selbstverdichtender Beton
<b>u.a.</b>	und andere
<b>u.ä.</b>	und ähnliche
<b>usw.</b>	und so weiter
<b>UV</b>	Ultraviolett
<b>vgl.</b>	vergleiche
<b>W/B-Wert</b>	Wasser-Bindemittel-Wert
<b>z.B.</b>	zum Beispiel

## 0 Einleitung

Der Baustoff Beton ist aus dem heutigen Baugeschehen nicht mehr wegzudenken. Vor allem tragende Massivbauteile werden immer häufiger aus Stahlbeton gefertigt. Wird diese Betonoberfläche aufgrund der hohen Kosten oder der gewünschten architektonischen Wirkung nicht mehr verkleidet, spricht man von einer Sichtbetonoberfläche.

Die Anforderungen, die an diese Bauteile gestellt werden, sind auf der einen Seite die technisch-bauphysikalischen, wie z.B. Standsicherheit, Schlagregendichtheit oder Frostbeständigkeit und auf der anderen Seite die optischen. Diese umfassen ein einheitliches Aussehen, eine gleichmäßige Farbgebung, eine weitestgehende Rissfreiheit, eine porenarme Oberfläche und keine Verschmutzungsgefahr.<sup>1</sup>

Viele Architekten - von Le Corbusier über Tadao Ando bis hin zu Zaha Hadid - nutzten bzw. nutzen den Baustoff und seine Ausstrahlung nicht nur im Außen- sondern auch im Innenbereich von Gebäuden. Der Wunsch nach makellosen, glatten Sichtbetonflächen ist heutzutage groß und somit ist die Bauausführung oft mit der schweren Aufgabe konfrontiert, dass Betonoberflächen nur geringe Abweichungen von der verlangten Qualität aufweisen dürfen. Die Schwierigkeiten die sich im Umgang mit den hohen Anforderungen an die Oberflächenqualität ergeben liegen unter anderem in:<sup>2</sup>

- der Beschreibung des Gewünschten
- der Definition der Mangelfreiheit
- der handwerklichen Machbarkeit

Da die Definition der gewünschten Oberflächenqualität schwierig ist, hat sich bereits die ÖVBB Richtlinie Geschalte Betonflächen („Sichtbeton“) von 2002 damit beschäftigt, unterschiedliche Anforderungsklassen für verschiedene Oberflächeneigenschaften festzulegen. Weiters wurden in diesem Regelwerk Angaben zur richtigen Verarbeitung der Schalung, des Trennmittels und des Betons gemacht. Im Merkblatt Sichtbeton der DBBV und der BDZ von 2004 wurden die Klassen erweitert, wodurch es einfacher wurde Sichtbetoneigenschaften zu beschreiben. Durch die neueste Ausgabe der Richtlinie Sichtbeton-Geschalte Betonflächen der ÖVBB von 2009 wird die Kommunikation zwischen Planung, Herstellung und Nachbehandlung durch noch detailliertere Angaben vereinfacht. Es soll jeder am Bau Beteiligte verstehen, was von einer Sichtbetonoberfläche gefordert ist und wie man vorzugehen hat um diese in einer hochwertigen Qualität zu errichten. Um dies dem Einzelnen noch deutlicher zu machen wird in dieser Arbeit ein Maßnahmenkatalog erarbeitet, der wichtige Angaben zur Vermeidung von Sichtbetonmängeln enthält.

<sup>1</sup> Vgl.: PUCHE, M.: Mängel an Gebäude- und Bauteiloberflächen; S. 179.

<sup>2</sup> Vgl.: PUCHE, M.: Mängel an Gebäude- und Bauteiloberflächen; S. 15.

An dieser Stelle muss die Tatsache festgehalten werden, dass trotz größter Sorgfalt aller am Bau Beteiligten die Möglichkeit besteht, dass eine Sichtbetonoberflächenqualität nicht den Erwartungen entspricht. Hierfür gibt es vielerlei Gründe. Beispielsweise sind Ortbetonbaustellen stets der unberechenbaren Witterung ausgesetzt. Oftmals werden aber auch Bauteile in Sichtbetonqualitäten gefordert, die z.B. aufgrund ihrer geringen Abmessungen, ihrer Neigung, oder durch zu große bzw. ungünstig angeordnete Einbauten nicht zielsicher herstellbar sind. In diesem Zusammenhang sind die Grenzen der Ausführbarkeit von Sichtbetonbauteilen besonders wichtig, denn nicht alle Abmessungen und Formen sind qualitativ hochwertig herstellbar.

## **0.1 Aufgabenstellung**

Beim Errichten von Sichtbetongebäuden passieren häufig Fehler. Diese haben meist ihren Ursprung im Arbeitsprozess der Planung bzw. der Bauteilerichtung. Aufgrund dieser Tatsache soll in dieser Diplomarbeit ein Maßnahmenkatalog zur Vermeidung von Sichtbetonmängeln erarbeitet werden. Weiters werden die in Österreich relevanten Regelwerke analysiert und untersucht inwieweit diese zur Vermeidung von Sichtbetonmängeln beitragen.

## **0.2 Aufbau der Arbeit**

Zu Beginn wird aufgezeigt, welche Mängel an Sichtbetonbauteilen überhaupt auftreten können. Es werden alle im Maßnahmenkatalog angeführten und bearbeiteten Mängel detailliert betrachtet. Diese Ausführungen sollen jedem am Bau Beteiligten zusätzliche, ausführliche Informationen über möglicherweise auftretende Mängel geben.

Im Einzelnen werden in diesem allgemeinen Teil zuerst die Mängel beschrieben. Es werden im jeweils zweiten Punkt die Fragen: Wie kommt der Mangel zu Stande? Warum kommt er zu Stande? Welche Ausmaße kann er annehmen? usw. geklärt. Anschließend wird darauf eingegangen, wie diese Sichtbetonmängel vermieden werden können. An dieser Stelle soll die Vermeidung des jeweiligen Mangels nur allgemein beschrieben werden. Die genaue Zuordnung der einzelnen Mängelvermeidungsmaßnahmen zu den Beteiligten erfolgt erst im Maßnahmenkatalog.

In einem weiteren Punkt bei der detaillierten Darstellung der Mängel wird aufgezeigt, wie die in Österreich relevanten Regelwerke auf den jeweiligen Mangel eingehen. Es sollen dadurch eventuell auftretende Missverständnisse offen gelegt werden. Speziell die neue ÖVBB Richtlinie, die 2009 erneuert wurde, wird auf ihre Verbesserungen im Hinblick auf die Vermeidung von Mängel untersucht.

Der Maßnahmenkatalog behandelt in tabellarischer Form folgende Punkte. Es werden für jede Gruppe - Planer, Ausschreibender, Tragwerksplaner, Schalungstechniker, Bewehrungsbauer, Betoneinbringer und der für die Nachbehandlung Zuständigen - die einzelnen Mängel, die in seinem Aufgabenbereich verursacht werden können, angeführt. Weiters wird auf die Mangelauslösung kurz eingegangen. Zum Schluss werden dann die Maßnahmen zur Vermeidung des Mangels erläutert. Berufsgruppen wie z.B. die örtliche Bauaufsicht, die die Maßnahmen der oben angeführten Verarbeiter überwachen, sind nicht explizit angeführt, da für diese Personen die Kenntnis aller Maßnahmen relevant ist.

# 1 Grundlagen

## 1.1 Begriffsdefinitionen

### 1.1.1 Sichtbeton

Was man unter dem Begriff „Sichtbeton“ versteht, wird an Hand von Definitionen der verschiedenen Regelwerke und mit Hilfe einiger Aussagen von Autoren in Büchern und Zeitschriften zu erklären versucht.

In der **ÖNORM B 2211** findet man unter dem Punkt 5.3.4.2 Angaben zum Begriff Sichtbeton. Die Überschrift lautet dort: *„Sichtbeton oder geschalte Betonflächen, an die besondere Anforderungen gestellt werden“*<sup>3</sup>. Welche „besonderen Anforderungen“ dies sind, wird in weiterer Folge mit Hilfe von verschiedenen, klassenbildenden Eigenschaften angegeben. Die Struktur der Betonoberfläche soll zudem mindestens folgende Eigenschaften aufweisen um als Sichtbetonoberfläche bezeichnet werden zu können: *„geschlossene, weitgehend einheitliche Betonoberfläche mit geschlossener Zementleim- oder Mörteloberfläche; keine Grobkornansammlungen; in den Elementstößen austretender Zementleim/Feinmörtel bis max. 20 mm Breite und 10 mm Tiefe“*<sup>4</sup>. Die niedrigste Farbgleichheitsklasse sagt Folgendes über die Anforderung für die Qualifikation als Sichtbeton aus: *„Flächige Verfärbungen, verursacht durch Rost, unterschiedliche Art und unsachgemäße Vorbereitung der Schalhaut, unsachgemäße Nachbehandlung des Betons, Zuschläge verschiedener Herkunft sowie linienförmige Verfärbungen (...) sind unzulässig.“*<sup>5</sup> Als letzte Anforderung gibt die ÖNORM B 2211 einen maximalen *„Versatz der Flächen zweier Betonierabschnitte  $\leq 10$  mm“*<sup>6</sup> an. Werden all diese Mindestanforderungen eingehalten spricht, man laut ÖNORM B 2211 von Sichtbeton.

In der **ÖVBB - Richtlinie „Geschalte Betonflächen („Sichtbeton“)** 2002 findet man folgende Definition: *„Diese Richtlinie (...) regelt die Herstellung von geschalten Betonflächen mit bestimmten Anforderungen, die sich aus der architektonischen Gestaltung und/oder aus technischen Kriterien ergeben“*<sup>7</sup>. Es wird hier weiters klar gelegt, dass es sich neben den architektonisch gestalteten Flächen mit besonderer Bedeutung und sehr hohen

<sup>3</sup> ON: ÖNORM B 2211, Ausgabe 2009-06-01; S. 11.

<sup>4</sup> ON: ÖNORM B 2211, a.a.O.; S. 12.

<sup>5</sup> ON: ÖNORM B 2211, a.a.O.; S. 13.

<sup>6</sup> ON: ÖNORM B 2211, a.a.O.; S. 13.

<sup>7</sup> ÖVBB: Richtlinie Geschalte Betonflächen ("Sichtbeton"), Ausgabe Juni 2002; S. 1.

Anforderungen auch bei Betonflächen ohne besonderer architektonischer Gestaltung und mit geringen Anforderungen um Sichtbeton handelt.

In der **ÖVBB – Richtlinie „Sichtbeton – Geschalte Betonflächen“ 2009** findet man eine ähnliche Beschreibung des Begriffes Sichtbeton wie in der Ausgabe von 2002. *„Diese Richtlinie (...) regelt die Herstellung von geschalten Betonflächen mit bestimmten Anforderungen, die sich aus der architektonischen Gestaltung (Sichtbeton) und/oder aus technischen Kriterien ergeben“*<sup>8</sup>. Man unterscheidet hier die einzelnen Sichtbetonklassen anhand des Umfanges der Sichtbetonoberflächenerstellung. Weiters findet man verschiedene klassenbildende Eigenschaften für überwiegend technische Anforderungen, für einfache Fassaden sowie für repräsentative Oberflächen.

Das **Merkblatt Sichtbeton der DBV/BDZ** bezieht sich auf die DIN 18217 und beschreibt den Begriff Sichtbeton folgendermaßen: *„Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen (...) - kurz: Ansichtsflächen – werden allgemein als „Sichtbeton“ bezeichnet. Die Ansichtsfläche ist der nach Fertigstellung sichtbare Teil des Betons, der die Merkmale der Gestaltung und der Herstellung erkennen lässt (Form, Textur, Farbe, Schalhaut, Fugen u.a.) und der die architektonische Wirkung eines Bauteils oder Bauwerks maßgebend bestimmt. (...) Als Sammelbegriff oder als Ersatz für eine eindeutige Beschreibung der Ansichtsfläche reicht die alleinige Forderung nach „Sichtbeton“ nicht aus.“*<sup>9</sup> Die DIN 18217 unterscheidet lediglich zwischen Betonflächen ohne besondere Anforderungen und Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen, also Sichtbeton.

Auf der Homepage [www.beton.org](http://www.beton.org) findet man folgende Definition von Sichtbeton: *„Unter Sichtbeton versteht man definitionsgemäß Beton, dessen Ansichtsflächen gestalterische Funktionen übernehmen und ein durch die Schalungshaut bestimmtes Aussehen haben.“*<sup>10</sup>

Eine weitere Internetseite, und zwar [wikipedia.org](http://wikipedia.org), fügt bei der Definition von Sichtbeton folgende Aussage hinzu: *„Normalerweise ist hiermit eine Art zu betonieren gemeint, die betont die ausgewählte Struktur einer Schalung zu Gesicht bringt.“*<sup>11</sup> Es wird hier also nicht nur von einer speziellen Oberflächenqualität sondern von der speziellen Vorgehensweise, wie man eine Sichtbetonoberfläche erstellen kann, gesprochen. Nicht nur die in den jeweiligen Regelwerken genannten Eigenschaften des fertigen Sichtbetonbauteils werden als wichtige Elemente betrachtet, sondern auch der Weg zu dieser hochqualitativen Betonoberfläche.

<sup>8</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 2.

<sup>9</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 7.

<sup>10</sup> o.V.: Sichtbeton, <http://www.beton.org/fachinformationen/betonbautechnik/sichtbeton.html>, am 01.03.2010 um 15:31.

<sup>11</sup> o.V.: Sichtbeton, <http://de.wikipedia.org/wiki/Sichtbeton>, am 20.04.2010 um 09:57.

Joachim Schulz schreibt im Sichtbetonatlas: *„Sichtbeton ist „Rohbeton“, d.h. er wird nach dem Entschalungsvorgang nicht weiter verkleidet (...).“*<sup>12</sup>

Einen anderen Ansatz bei der Beschreibung von Sichtbeton veröffentlichte Michael Grobbaauer bei dem „Expertenforum Beton 2007“ in Wien: Er formulierte folgendermaßen: *„Einer Herausforderung in der Definition von Sichtbeton bin auch ich (...) ausgewichen, (...). Dies deshalb, weil ich meine, Sichtbeton wird am besten durch die konkreten Bauwerke definiert, in denen der Charakter des Baustoffes zum Ausdruck kommt: (...).“*<sup>13</sup>

Durch diese Aussagen wird deutlich, wie schwer die Definition des Begriffes Sichtbeton ist. Man kann sich anhand einzelner Begriffsbeschreibungen einen Überblick über diese Thematik verschaffen. Eine allgemein gültige Definition des Begriffes ist an dieser Stelle nicht möglich. Die gelungenste Definition des Begriffes Sichtbeton findet man, meiner Meinung nach, im Sichtbetonatlas. *„Als Sichtbeton werden gemein Flächen bezeichnet, die an einem Bauwerk sichtbar sind und somit die statische (tragende) Funktion, falls vorhanden, als Bewertungskriterium gegenüber der architektonischen (gestalterischen Funktion), falls vorhanden, in den Hintergrund rückt.“*<sup>14</sup>

---

<sup>12</sup> SCHULZ, J.: Sichtbeton Atlas; S. 3.

<sup>13</sup> GROBBAUER, M.: Definition von Sichtbeton - eine Herausforderung, in: Sichtbeton – Architektur pur; S. 8.

<sup>14</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton Atlas; S. 3.

## 1.1.2 Mangel

„Von einem „Mangel“ spricht man, wenn die ausgeführte Bauleistung (der Ist-Zustand) vom vertraglichen vereinbarten Zustand (Soll-Zustand) abweicht.“<sup>15</sup>

Der Begriff „Mangel“ wird an Hand der relevanten Gesetze und Regelwerke erläutert. Laut Welscher unterscheidet man zwei Arten von Mängeln, die Sach- und die Rechtsmängel<sup>16</sup>. Diese Unterteilung des Mangelbegriffes findet man auch in den §§ 434 und 435 des deutschen Bürgerlichen Gesetzbuchs. In Österreich definiert man den Rechts- und den Sachmängel folgendermaßen.

„Ein Rechtsmangel liegt vor, wenn der Veräußerer dem Erwerber nicht die rechtliche Position verschafft, die er ihm nach dem Vertrag verschaffen muß.“<sup>17</sup> Ein Rechtsmangel liegt beispielsweise dann vor, „wenn jemand eine fremde Sache als die seinige veräußert und der Erwerber deshalb nicht Eigentümer wird.“<sup>18</sup>

Unter Sachmangel versteht man „jede Abweichung der Leistung vom geschuldeten“<sup>19</sup> Soll. Weiters findet man in derselben Quelle folgende Festlegung: „Sachmängel haften einer Sache körperlich an.“<sup>20</sup>

Laut den obigen Definitionen können Sichtbetonoberflächenmängel als Sachmängel eingestuft werden. Aufgrund dessen wird in Folge auf die Definition von Sachmängeln genauer eingegangen.

Gemäß § 922 Abs. 1 ABGB leistet jeder der „einem anderen eine Sache gegen Entgelt überlässt“ Gewähr, dass sie die vertraglichen Abmachungen erfüllt.<sup>21</sup> Weiters findet man in § 922 auch die folgende Anmerkung: „Er haftet also dafür, dass die Sache die bedungenen oder gewöhnlich vorausgesetzten Eigenschaften hat, dass sie seiner Beschreibung, einer Probe oder einem Muster entspricht (...).“<sup>22</sup> Als gewöhnlich vorausgesetzte Eigenschaft kann man bei Sichtbetonbauteilen eine gute Oberflächenqualität sehen. Es werden in diesem Paragraphen aber auch die für die Beurteilung der Betonoberfläche relevanten Vergleichsmöglichkeiten angeführt. Abhängig von dem vertraglich Vereinbarten kann die erzeugte Oberflächenqualität mit dem in der Ausschreibung beschrieben Soll verglichen werden. Weitere Möglichkeiten liegen bei dem Vergleich der Oberfläche mit einer zuvor erstellten Musterfläche oder einem anderen Sichtbetonbauwerk. Liegt eine Abweichung von diesem Soll vor, spricht man von einem Mangel.

<sup>15</sup> OSWALD, R.; ABEL, A.: Hinzunehmende Unregelmäßigkeiten bei Gebäuden; 3. Auflage; S. 12.

<sup>16</sup> Vgl. WELSER, R.: Bürgerliches Recht, Band II; 13. Auflage; S. 67ff.

<sup>17</sup> OGH in SZ67/231, zitiert bei WELSER, R.: Bürgerliches Recht, Band II; 13. Auflage; S. 70.

<sup>18</sup> WELSER, R.: Bürgerliches Recht, Band II; 13. Auflage; S. 70.

<sup>19</sup> WELSER, R.: Bürgerliches Recht, Band II; 13. Auflage; S. 67.

<sup>20</sup> WELSER, R.: Bürgerliches Recht, Band II; 13. Auflage; S. 67.

<sup>21</sup> Vgl. §922 Abs.1 ABGB.

<sup>22</sup> §922 Abs.1 ABGB.

Wie aufgrund der Gewährleistung mit einem vorhanden Mangel umgegangen werden soll, hängt von einigen Faktoren ab. Der Unternehmer kann laut § 932 Abs. 1 ABGB „wegen eines Mangels die Verbesserung (...), den Austausch der Sache, eine angemessene Minderung des Entgelts (...) oder die Aufhebung des Vertrages (...) fordern.“<sup>23</sup> Grundsätzlich stehen diese Gewährleistungsbehelfe unabhängig von der Art und der Schwere des Mangels zur Verfügung. Aufgrund der „Natur der Sache“ ergeben sich jedoch Einschränkungen. Es kann zwischen behebbaren und unbehebaren Mängeln unterschieden werden. Ist ein Mangel unbehebbar, was bei Sichtbetonoberflächenfehlern häufig vorkommen kann, so ist die Verbesserung unmöglich. Weiters wird gesetzlich normiert, dass eine Aufhebung des Vertrages bei geringfügigen Mängeln ausgeschlossen ist.<sup>24</sup>

Gemäß § 932 Abs. 2 und 4 ABGB kann zunächst „der Unternehmer nur die Verbesserung oder den Austausch der Sache verlangen, es sei denn, dass eine Verbesserung oder der Austausch unmöglich ist oder (...) mit einem unverhältnismäßige hohen Aufwand verbunden wäre.“<sup>25</sup> Dies bedeutet, dass eine Preisminderung erst nach Ausschluss der beiden in Abs. 2 angeführten Gründe verlangt werden kann. Dieselben Aussagen wie im § 932 findet man auch in der ÖNORM B 2110:2009 unter dem Pkt. 12.2.4.

Anhand des Entstehungszeitpunktes der Unregelmäßigkeit kann man auch ursprüngliche und nachträgliche Mängel unterscheiden. Ursprüngliche Mängel liegen bereits bei Abschluss des Vertrages vor. Das bedeutet, auf das hier bearbeitete Themengebiet angewandt, dass nur Planungsfehler als ursprüngliche Mängel in Betracht kommen. Nachträgliche Mängel sind all jene, die zwischen dem Vertragsabschluss und der Ablieferung der Leistung eingetreten sind.<sup>26</sup>

Es wird auch eine Unterteilung in Qualitäts- und Quantitätsmängel getroffen. Ein Qualitätsmangel betrifft die Eigenschaft, ein Quantitätsmangel die Menge. Da Oberflächenmängel Abweichungen der Qualität darstellen, werden in dieser Arbeit ausschließlich Qualitätsmängel behandelt.

Weiters differenziert man optische und technische Mängel. Technische Mängel beeinflussen die Standfestigkeit und die Dauerhaftigkeit. Das bedeutet, dass im Falle des Vorliegens eines technischen Mangels, dieser Bauteil bzw. dieses Bauwerk nicht sicher nutzbar ist. Die Sichtbetonmängel die in dieser Diplomarbeit betrachtet werden, sind rein optische Mängel, d.h. sie beeinträchtigen nur das Erscheinungsbild.

---

<sup>23</sup> §932 Abs.1 ABGB.

<sup>24</sup> Vgl. WELSER, R.: Bürgerliches Recht, Band II; 13. Auflage; S. 71.

<sup>25</sup> §932 Abs. 2 ABGB.

<sup>26</sup> Vgl. WELSER, R.: Bürgerliches Recht, Band II; 13. Auflage; S. 65.

## 1.2 Die geschichtliche Entwicklung des Sichtbetons

Als Einstieg in die Thematik Sichtbeton wird auf die wichtigsten Eckpfeiler der Geschichte des Betons im Allgemeinen eingegangen. Erst durch diese im Folgenden beschriebenen wichtigen Entwicklungsschritte wurde die Anwendung dieses Baustoffes, wie wir ihn heutzutage kennen und auch für Sichtbeton verwenden, möglich.

Mörtel konnte bereits an bis zu 14 000 Jahre alten Bauwerken im Osten der heutigen Türkei nachgewiesen werden. Dieser bestand aus einer Mischung aus Kalk, Ziegelmehl oder Puzzolanerde und wurde für die Verbindung von Ziegelsteinen verwendet. Vor 3000 Jahren vermischten die Phönizier den Mörtel mit vulkanischem Gestein. Durch diese Mischung konnte der Beton bedingt unter Wasser aushärten. Nach Italien gelangten die Erkenntnisse und Techniken in etwa 300 vor Christus. Dort wurde der Baustoff Beton und die Verarbeitungsart weiterentwickelt, bis schließlich ungefähr 100 nach Christus der „Opus Caementitium“ entwickelt wurde.<sup>27</sup> Damals wurde gebrannter Kalk, Wasser und Sand bzw. gebranntes Ziegelmaterial vermengt und als Baustoff eingesetzt. Es wurden schon seinerzeit hohe Druckfestigkeiten erreicht, wodurch das Bauen unzähliger Aquädukte, Amphitheater, Zisternen und der Kuppel des Pantheons in Rom ermöglicht wurde. Durch das Ziegelmaterial bildeten sich auch bei großen Temperaturdifferenzen kaum Risse.<sup>28</sup> Um eine gute Qualität des Römischen Betons zu erhalten wurde der Beton damals schon durch Stampfen mit großen Klöppeln verdichtet. Im Mittelalter geriet der Baustoff Beton in Vergessenheit und wurde erst um 1700 wiederentdeckt.<sup>29</sup>

John Smeaton forschte ab 1755 an der Zusammensetzung von Mörtelarten und fand heraus, dass bei einer Mischung aus gebranntem Kalk und Ton ein wasserbeständiger Mörtel herstellbar ist. Es dauerte 70 Jahre bis der Engländer J. Aspdin 1824 den Portlandzement entwickelte.<sup>30</sup>

Der aber wichtigste Entwicklungssprung in Richtung Betonbau, wie wir in heutzutage kennen, war die Erfindung des bewehrten Betons. Der Gärtner Joseph Monier war es leid, dass seine Pflanzkübel, die aus einem Art Beton bestanden, beim Befüllen immer zerbrachen. Er nahm sich die Natur zum Vorbild, wo die zähen Fasern des Stängels der Pflanze Halt geben und verstärkte seine Kübel mit Drähten. Diese übernahmen die Zugkräfte und machten die Pflanzgefäße gegenüber dem Innendruck durch die Erde widerstandsfähiger.

G. Prüssnig vermengte 1882 das erste Mal Portlandzement mit granulierter Hochofenschlacke. Dieser Eisenportlandzement besaß einen Anteil von 30 % an Schlacke. Durch die Zugabe dieses latent hydraulischen Materials konnte man unter anderem die Ressourcen schonen, was die Herstellung kostengünstigerer Zemente ermöglichte.

<sup>27</sup> Vgl. o.V.: Geschichte des Betons, <http://www.beton.org/bauherreninformationen/was-ist-beton/geschichte-des-betons.html>, am 08.03.2010 um 11:25.

<sup>28</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton Atlas; S. 4.

<sup>29</sup> Vgl. o.V.: Geschichte des Betons, <http://www.beton.org/bauherreninformationen/was-ist-beton/geschichte-des-betons.html>, am 08.03.2010 um 11:33.

<sup>30</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton Atlas; S. 4.

1890 ließ sich der deutsche Ingenieur Döhring die Erfindung des Spannbetons patentieren. Es wurden die Stahlseile vorgespannt um die Tragfähigkeit zu erhöhen und Risse im Beton zu verhindern.

In weiterer Folge ließ sich 1903 Jürgen Hinrich Magens das Verfahren Transportbeton herzustellen patentieren. Er kühlte den fertig gemischten Frischbeton stark ab und konnte ihn somit über längere Zeit aufbewahren.<sup>31</sup> Nur so wurde es möglich Beton zentral unter konstanten Bedingungen zu mischen und ihn anschließend zur Einbaustelle zu liefern.

Erst durch die Entwicklung des Innenrüttlers im Jahre 1926 von Deniau konnte sowohl eine höhere Festigkeit als auch eine qualitativ hochwertige Betonoberfläche erzeugt werden.<sup>32</sup> Dadurch wurde der Baustoff Beton auch als Sichtbeton für den Hochbau interessant.

Erst die Weiterentwicklung der Transportfahrzeuge in den Nachkriegsjahren zu den heute bekannten Fahrmischern ermöglichte den Siegeszug des Transportbetons. Nur dadurch kam Beton zu seiner Popularität und wird so heute als Baustoff des 20. Jahrhunderts bezeichnet.

Schalungstechnisch wurden bis zu den 1970er Jahren für Betongebäude meist saugende, sägerauhe oder ungehobelte Bretter verwendet. Das Holz wurde möglichst billig zu einer Schalung gezimmert und wurde danach einige Zeit der Witterung ausgesetzt. In weiterer Folge konnte die Schalung ihrer angestammten Aufgabe natürlich nicht mehr ausreichend nachkommen. *„Diese Ausuferung damaliger Betonier- und Schalkunst sind glücklicherweise überstanden, aber ihre Ergebnisse noch heute zu „bestaunen“.*<sup>33</sup> Das Motiv zu dieser Zeit Sichtbeton auch im Hochbau einzusetzen, hatte keinen gestalterischen Grund, sondern lag rein in der Kostenersparnis, die sich durch eine nicht benötigte Verkleidung wie z.B. Verputze oder Fliesen ergab. Auf die bauphysikalischen Eigenschaften der Sichtbetonoberfläche wurde dabei aber keine Rücksicht genommen, worauf eine Vielzahl an Mängel zurückzuführen ist. Durch die häufige Anwendung der Sichtbetonbauweise konstruierte man „Betonwüsten“ und stimmte die Bevölkerung negativ. Als dann noch die unvermeidlichen Mängel durch das „billige“ Bauen auftraten, führte dies in der Gesellschaft zu einer strikten Ablehnung des Baustoffes. Beton wurde sogar als Umweltzerstörung angesehen.

Seit den 1960er Jahren haben sich - aufgrund wirtschaftlicher und baubetrieblicher Überlegungen - großflächige Schalungen sowie die in der Größe standardisierten Schalelemente, welche eine hohe Einsatzhäufigkeit aufweisen, durchgesetzt. Da sich bei Betonflächen, die mit solchen effizienten Schalungen erzeugt worden sind, glatte Oberflächen automatisch einstellen, hat sich ab diesem Zeitpunkt eine Tendenz weg von der rauhen hin zur ebenen Sichtbetonoberfläche ergeben.<sup>34</sup> Das Ganze geht so weit, dass

<sup>31</sup> Vgl. o.V.: Geschichte des Betons, <http://www.beton.org/bauherreninformationen/was-ist-beton/geschichte-des-betons.html>, am 08.03.2010 um 11:33.

<sup>32</sup> Vgl. o.V.: Geschichte des Betons, <http://www.beton.org/bauherreninformationen/was-ist-beton/geschichte-des-betons.html>, am 08.03.2010 um 11:33.

<sup>33</sup> SCHULZ, J.: Sichtbeton Atlas; S. 5.

<sup>34</sup> Vgl. PECK, M.: Was ist Sichtbeton?, in: Sichtbeton Handbuch 2008; S. 71.

heute der Begriff Sichtbeton schon ein Synonym für eine glatte Betonoberfläche ist, die man nur mit nicht bzw. schwach saugenden Schalungen erzeugen kann.<sup>35</sup>

Ein weiterer Meilenstein in der Entwicklung von sichtbetontauglichem Beton war die Entwicklung von Betonverflüssigern und Fließmitteln in den 1960er und 1970er Jahren. Sie ermöglichen es bei gleichbleibender Festigkeit eine ausreichende Fließfähigkeit sicherzustellen, welche eine für die Sichtbetonqualität sehr wichtige Eigenschaft darstellt. Ohne diese Zusatzmittel wären höhere WB-Werte bzw. höherwertigere Zemente notwendig, wodurch kürzere Verarbeitungszeiten und höhere Hydratationswärmereentwicklungen entstehen würden.<sup>36</sup>

Durch die Entwicklung des selbstverdichtenden Betons Ende der 80er Jahre in Japan konnte man Bauteile mit anspruchsvoller Geometrie in guter Oberflächenqualität herstellen. Dieser Beton entlüftet selbstständig und wird dort angewendet, wo ein herkömmliches Verdichten nicht möglich ist.

Durch all diese Entwicklungen im Betonchemismus, der Verarbeitung und der Planung erlebte der Sichtbeton in den 90er Jahren eine Renaissance. Heutzutage ist diese Bauweise nicht mehr wegzudenken und wird als Gestaltungsmerkmal immer häufiger eingesetzt.

---

<sup>35</sup> Vgl. PECK, M.; BOSE, T.; BOSOLD, D.: Technik des Sichtbetons; S. 7.

<sup>36</sup> Vgl. FIALA, H.; et al.: Wegweiser Sichtbeton; S. 10.

## 2 Mängelarten

### 2.1 Allgemeines

Es gibt eine Vielzahl an Auslösern von Sichtbetonmängeln. In dieser Arbeit werden nur jene Mängel betrachtet, die beim Planungs- und Arbeitsprozess von Sichtbetonbauteilen im Hochbau entstehen können. Das bedeutet im Detail, dass der Mangel in der Planung oder in der Bauabwicklung ausgelöst wurde. Unbeachtet bleiben Schäden, die sich aus dem Betonchemismus ergeben. Ein Beispiel dafür sind Verfärbungen durch Inhaltsstoffe von nicht geeignetem Schalungsmaterial. Weiters nicht angeführt werden die möglichen Ausbesserungsmöglichkeiten der entstandenen Mängel.

Auf Folgefehler von Nachfolgegewerken - wie z.B. die Verletzung oder Beschriftung der Sichtbetonoberfläche, das Abschlagen von Kanten nach dem Entfernen des Kantenschutzes oder das Aufstemmen für Leitungsführungen - wird in dieser Arbeit nicht explizit eingegangen. Ebenso wird die Prüf- und Warnpflicht von Nachunternehmern nicht behandelt. Es wird nur die primäre Schadensverursachung betrachtet und beschrieben.

In den folgenden Kapiteln wird eine Einteilung in Mängelarten, diese sind **Farbabweichungen**, **Texturabweichungen** und **Ebenheitsabweichungen**, getroffen. Die einzelnen Mängel werden einer der drei Mängelarten zugeordnet. Für die Einteilung der Schäden in die einzelnen Kategorien ist primär der Einzeleindruck ausschlaggebend.

An dieser Stelle sei nochmals auf die Verknüpfung - bei der Beschreibung der einzelnen Mängel in den folgenden Kapiteln - mit den Informationen im Maßnahmenkatalog hingewiesen. Dort werden die Mängel den möglichen Verursachern zugewiesen. Weiters werden in dieser tabellarischen Aufzählung für jeden am Bau Beteiligten getrennt Maßnahmen zur Vermeidung angeführt.

### 2.2 Betrachtungsabstand

Unter dem „Betrachtungsabstand“ versteht man die Distanz zwischen dem Betrachter und einer zu bewertenden Oberfläche.

Der wichtigste Punkt bei optischen Beeinträchtigungen ist ihre Auswirkung auf den Betrachter. Das optische Erscheinungsbild einer Oberfläche ist wesentlich vom Abstand der zu betrachtenden Fläche und von den Umgebungsbedingungen abhängig. Ein Grundsatz besagt, dass eine Beurteilung unter den „gebrauchsüblichen Bedingungen“ stattzufinden hat.<sup>37</sup> Welcher der „gebrauchsübliche Betrachtungsabstand“ in der späteren

<sup>37</sup> Vgl. OSWALD, R.; ABEL, A.: Hinzunehmende Unregelmäßigkeiten bei Gebäuden; 3. Auflage; S. 17.

Nutzung ist, muss vor der Beurteilung der Oberflächenqualität - wenn möglich vertraglich - festgelegt werden.

Zum angemessenen Betrachtungsabstand führt das Merkblatt Sichtbeton der DBBV und des BDZ folgende zwei Punkte an:

- beim Bauwerk: *„Die angemessene Entfernung entspricht dem Abstand, der erlaubt, das Bauwerk in seinen wesentlichen Teilen optisch zu erfassen. Dabei müssen die maßgebenden Gestaltungsmerkmale erkennbar sein.“*<sup>38</sup>
- beim Bauteil: *„Der angemessene Betrachtungsabstand ist derjenige, der bei üblicher Nutzung vom Betrachter eingenommen wird.“*<sup>39</sup>

In der ÖVBB Richtlinie Sichtbeton - Geschalte Betonflächen und im Merkblatt Sichtbeton der DBV/DBZ wird festgehalten, dass bei der Beurteilung einer Sichtbetonfläche der Gesamteindruck einer Oberfläche vor dem Einzeleindruck zu werten ist.

Wie bereits in der Einleitung erklärt, ist für die Einteilung der Mängel in einzelne Mängelkategorien hingegen der Einzeleindruck maßgebend. Das bedeutet im Fall dieser Arbeit eine Betrachtung der Sichtbetonoberfläche aus einem geringen Abstand. Ist für die Erfassung eines Mangels ein größerer Abstand erforderlich, wie z.B. bei der Beurteilung des Gesamteindruckes, wird darauf im Einzelnen detailliert hingewiesen.

Somit ergibt sich für jeden Mangel einen für ihn relevanten Betrachtungsabstand. Porenunregelmäßigkeiten rufen z.B. bei der Betrachtung aus einer größeren Entfernung einen Grautonunterschied auf der gesamten Fassade hervor. Eingeteilt werden Poren aber aufgrund des Einzeleindrucks in die Kategorie Texturabweichungen.

---

<sup>38</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 29.

<sup>39</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 29.

### 3 Farbabweichungen

Die Oberflächenfarbe von Sichtbeton wird von einigen Faktoren beeinflusst. Welche Farbe der junge Beton aufweist, hängt sowohl von der Farbe des Zementsteins als auch von der Farbe des Zuschlagkornes ab. Der Zement verleiht dem Zementstein an sich seine Farbe. So wird z.B. durch die Verwendung von Weißzement und sehr hellen Zuschlägen ein fast weißer Beton erzielt.<sup>40</sup> Durch die Zugabe von Pigmenten kann die Farbe des Betons ebenfalls verändert werden. Hier wird beim Vermengen der einzelnen Betonbestandteile das Pigment in Form von Pulver, Flüssigfarbe oder Granulat zugegeben und so die gesamte Mischung eingefärbt. Sind Unregelmäßigkeiten eines der oben angeführten farbbeeinflussenden Eigenschaften vorhanden, spricht man von Oberflächenverfärbungen.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der die Oberflächenfarbe eines Betonbauteils bestimmt, ist der W/B-Wert. Je höher er ist, desto heller wird der Beton. Haben z.B. zwei angrenzende Schüttaglagen einen unterschiedlichen W/B-Wert ist dies an der fertigen Sichtbetonoberfläche eindeutig erkennbar.

Weitere wichtige farbbeeinflussende Faktoren werden in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

Es gibt Oberflächenverfärbungen die nur kurzzeitig auftreten und von selbst wieder verschwinden. Diese Mängel werden hier nicht betrachtet, sondern nur jene, die durch eine Behandlung entfernt werden müssen bzw. durch eine vorherige Maßnahme verhindert werden können. Als Beispiel für einen kurzzeitigen, selbstheilenden Mangel sei hier die Farbveränderung bei Benetzung durch Regen angeführt. Eine Sichtbetonoberfläche kann kurz nach einem Regenschauer dunkle Verfärbungen aufweisen, die aber nach dem Trocknen wieder verschwinden.

---

<sup>40</sup> Vgl. KLOPFER, H.: Schäden an Sichtbetonflächen, in: Schadenfreies Bauen; S.14ff.

### 3.1 Kalkausblühungen

#### 3.1.1 Mangelbeschreibung

Kalkausblühungen sind Aufhellungen der Betonoberfläche, die partiell in kleinen Bereichen oder großflächig auf gesamten Fassadenflächen auftreten können.<sup>41</sup> Anhand der verschiedenen Ausmaße und der Art der Entstehung unterscheidet man Primärausblühungen, Kalkschleierausblühungen und Sekundärausblühungen.

Allen drei Kalkausblühungsarten liegt ein chemischer Prozess zugrunde. Das im Beton befindliche Kalziumhydroxid gelangt beim Austrocknen mit Hilfe von Wasser an die Oberfläche.<sup>42</sup> Dort verdunstet das Wasser und das Kalziumhydroxid bleibt auf der Sichtbetonoberfläche zurück. Bei diesem Vorgang, der Karbonatisierung genannt wird, reagiert das Kalziumhydroxid mit dem Kohlenstoffdioxid der Luft und es entsteht Kalziumkarbonat. Es ist schwer löslich und bildet weiße Kristalle. Chemisch wird dieser Prozess folgendermaßen ausgedrückt:

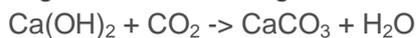


Abbildung 1 Kalkausblühung  
(Foto: M. Mühleder)

#### 3.1.2 Mangelursache

##### Primärausblühungen

Speziell der junge Beton neigt zu partiellen Kalkausblühungen, da bei der Hydratation das Kalkhydrat durch Austrocknung nach außen wandert. In diesem Fall nennt man diese kristalline Ablagerung Primärausblühung. Hier zeigt sich meist eine kleinflächige, schleierartige, weiße Verfärbung der Betonoberfläche.

<sup>41</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 7ff.

<sup>42</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 130.

Folgende Umstände können Kalkausblühungen begünstigen:

- Durch die Witterungsbedingungen ist im Frühjahr und Herbst mehr Feuchtigkeit vorhanden, die in den frischen Beton eindringen kann und es so in weiterer Folge zum Auswaschen des Kalziumhydroxids kommt. Speziell zu diesen Jahreszeiten besteht neben der hohen Regenhäufigkeit die Möglichkeit, dass sich durch die großen Temperaturschwankungen im Tagesverlauf Kondenswasser an der Betonoberfläche bildet.<sup>43</sup>
- Durch niedrige Temperaturen bei der Betonerstarrung wird die Betonerhärtung verzögert und somit kann länger Kalziumhydroxid an die Oberfläche transportiert werden.
- Durch einen hohen W/B-Wert ist viel kalkgesättigtes Überschusswasser im Beton vorhanden, das bei der Austrocknung zur Oberfläche wandert, wodurch an der Luft viel Ausgangsmaterial für die Karbonatisierung vorhanden ist.<sup>44</sup>
- Durch eine hohe Porigkeit des Betons wird der Transport des Wassers erleichtert. Es kann sowohl Feuchtigkeit leichter in den Beton eindringen als auch mehr Kalziumhydroxid gesättigtes Wasser bei der Austrocknung vom Inneren zur Oberfläche gelangen.<sup>45</sup>
- Durch eine übermäßige Verwendung von Verzögerern wird die Erstarrung lange hinausgezögert, wodurch der Beton vermehrt zu Kalkausblühungen neigt.<sup>46</sup>
- Wird die Schalung zu lange am Bauteil belassen kann sich im Spalt zwischen Beton und Schalungsmaterial Feuchtigkeit ansammeln wodurch mehr Kalziumhydroxid zur Oberfläche transportiert werden kann.

### Kalkschleierausblühungen

Von Kalkschleierausblühungen spricht man, wenn am Beton abwärts laufende, fahnenartige, weiße Spuren zu sehen sind. Diese Kalkaussinterungen, oder auch Kalkfahnen genannt, folgen immer dem Wasserweg und können massive weiße Verkrustungen hervorrufen.<sup>47</sup> Kalkschleierausblühungen treten hauptsächlich an Rissen auf, da hier das Auswaschen des Kalziumhydroxids erleichtert wird. Weitere produktionsbedingte Schwachstellen sind z.B. Ankerlöcher, Arbeitsfugen oder Kiesnester. Fremdwasser, wie z.B. Niederschlag kann dort leichter eindringen und somit mehr

<sup>43</sup> Vgl. o.V.: Ausblühungen, [http://www.holcim.de/holcimweb/gc/DE/uploads/HolcimDeutschland\\_Ausbluehungen\\_2005.pdf](http://www.holcim.de/holcimweb/gc/DE/uploads/HolcimDeutschland_Ausbluehungen_2005.pdf), am 17.05.2010 um 17:09; S. 6.

<sup>44</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 130.

<sup>45</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 130.

<sup>46</sup> Vgl. BRAND, B.; GLATZ, G.: Schäden an Tragwerken aus Stahlbeton in Schadenfreies Bauen; S. 41.

<sup>47</sup> Vgl. o.V.: Ausblühungen, [http://www.holcim.de/holcimweb/gc/DE/uploads/HolcimDeutschland\\_Ausbluehungen\\_2005.pdf](http://www.holcim.de/holcimweb/gc/DE/uploads/HolcimDeutschland_Ausbluehungen_2005.pdf), am 17.05.2010 um 17:09; S. 5.

Kalziumhydroxids aufnehmen und an die Oberfläche fördern. Verdunstet das Wasser dort, findet die oben beschriebene Reaktion statt und zurück bleibt eine örtlich stark sichtbare Aufhellung.

Anzufinden sind Kalkfahnen auch bei schlecht geplanten Tropfnasen oder bei unzureichender Regenwasserführung. Die periodisch tropfende Belastung verursacht eine örtliche, sehr starke Benetzung des Betons und somit deutliche Ablaufspuren. Besonders intensiv erscheint dieser Mangel an dunkel eingefärbten Sichtbetonflächen. Hier ist der Kontrast des dunklen Betons gegenüber den weißen Kalkausblühungen dementsprechend groß.

### **Sekundärausblühungen**

Großflächig auftretende Kalkausblühungen werden Sekundärausblühungen genannt. Sie können auch bei älterem Beton auftreten. Auf Sichtbetonflächen die der Witterung ausgesetzt sind wird ganzflächig das Kalziumhydroxid durch die Benetzung und anschließende Austrocknung abgeschieden. Es bildet sich eine durchgehende Kalziumkarbonatschicht und somit eine Aufhellung der gesamten Fläche. Umso stärker und länger der Wasserangriff ist, desto heller wird die Betonoberfläche.<sup>48</sup>

Sichtbar wird diese Veränderung der Farbe, wenn zwei unterschiedlich bewitterte Sichtbetonflächen nebeneinander liegen. Wird der Beton z.B. durch ein Vordach geschützt, also bleibt er in einem Bereich trocken, behält er dort seine ursprüngliche Farbe. Bei trockenen Oberflächen ist kein Wasser vorhanden um das Kalziumhydroxid aus dem Betoninneren zur Oberfläche zu befördern. Das Kohlendioxid dringt in die Betonporen ein, wo durch die Karbonatisierung das Kalziumkarbonat im Inneren des Betonbauteils gebildet wird.<sup>49</sup> Das im Inneren gebildete Kalziumkarbonat verringert das Porenvolumen und kann nicht mehr durch Wasser an die Oberfläche befördert werden. Es findet zwar die Karbonatisierung des Betons und in weiterer Folge das Sinken des PH-Wertes - was der Auslöser von anderen Sichtbetonmängeln sein kann - statt, aber Aufhellungen an der Oberfläche sind nicht erkennbar.

### **3.1.3 Vermeidung des Mangels**

#### **Primärausblühungen**

Um Kalkausblühungen im jungen Beton zu vermeiden, ist es wichtig eine ausgeglichene Hydratation sicherzustellen. Das bedeutet, dass für den jungen Beton der eigene Bedarf an

---

<sup>48</sup> Vgl. KLOPFER, H.: Schäden an Sichtbetonflächen, in: Schadenfreies Bauen; S. 16.

<sup>49</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 12.

Wasser, das er zum Abbinden benötigt, gesichert sein soll.<sup>50</sup> In erster Linie bedeutet dies einen auf den Einsatzbereich gut abgestimmter W/B-Wert des Frischbetons. Weiters muss die Schalung vor dem Betonieren eine ausreichende Feuchtigkeit aufweisen um dem Beton nicht zu viel Wasser zu entziehen. Durch Nachbehandlungsmaßnahmen werden die ständigen Feuchteschwankungen im Beton verhindert, indem große Temperatur- und Luftfeuchteunterschiede der Umgebung abgepuffert werden. Eine Möglichkeit der Nachbehandlung ist das längere Belassen der Schalung am Bauteil. Nach dem Lösen der Schalungsanker ist aber der Schutz des Spaltes zwischen Schalung und Beton wichtig, da hier Niederschlagswasser eindringen kann.<sup>51</sup> Diese Nachbehandlungsmaßnahme ist nicht bedenkenlos einsetzbar, da sich z.B. zwischen der Schalung und dem Beton Kondenswasser ansammeln kann. Dadurch können wiederum Kalkausblühungen hervorgerufen werden. Unterschiedliche Ausmaße können diese Aufhellungen annehmen, wenn sich in einem Bereich des Bauteils die Schalung ablöst und in dem Nachbarbereich der Kontakt voll bewahrt bleibt.<sup>52</sup> Eine eindeutig bessere Möglichkeit der Nachbehandlung ist es den jungen Beton mit einer Folie, einer Plane oder Ähnlichem zu schützen.<sup>53</sup> Hier ist ebenfalls darauf zu achten, dass sich unter der Abdeckung kein Kondenswasser bildet. Optimal ist hierfür das Anbringung der Folie mit einem ausreichenden Abstand zur Sichtbetonoberfläche. Dabei muss aber darauf Achtgegeben werden, dass keine Holzleisten der Rahmenkonstruktion der Abdeckung im direkten Kontakt mit der Betonoberfläche stehen, da der Holzzucker und die unterschiedlichen Austrocknungsbedingungen die Oberflächenfarbe beeinflussen können.

Eine, sowohl im Fall der Primärausblühung wie auch bei der Sekundärausblühung, hilfreiche Maßnahme ist eine ehest mögliche Aufbringung eines Nachbehandlungsmittels oder einer Hydrophobierung nach dem Ausschalen. Sie schützt den jungen Beton vor der Witterung und vor dem zu schnellen Austrocknen. Durch diese Maßnahme wird dem Beton das Wasser, das er für die chemische Reaktion bei der Erhärtung benötigt, zugesichert. Es entsteht erstens ein dichteres Betongefüge und zweitens wird weniger mit Kalziumhydroxid gesättigtes Wasser durch die Austrocknung an die Oberfläche gesaugt, wodurch weniger Ausgangsmaterial für die sichtbare Karbonatisierung vorhanden ist.

Das Ausschalen nicht unmittelbar vor oder während eines Regengusses ist mit der Bauzeitplanung oft nicht vereinbar, wäre aber eine gute Maßnahme Ausblühungen zu verhindern. Vor allem durch die wechselnden Witterungsbedingungen im Frühjahr und Herbst sind Pufferzeiten in der Bauzeit einzuplanen. Wie man hier erkennen kann, fördert Feuchtigkeit auf der Betonoberfläche Kalkausblühungen. Somit kann man auch daraus

---

<sup>50</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 10.

<sup>51</sup> Vgl. o.V.: Ausblühungen, [http://www.holcim.de/holcimweb/gc/DE/uploads/HolcimDeutschland\\_Ausbluehungen\\_2005.pdf](http://www.holcim.de/holcimweb/gc/DE/uploads/HolcimDeutschland_Ausbluehungen_2005.pdf), am 17.05.2010 um 17:09; S. 5.

<sup>52</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 58.

<sup>53</sup> Vgl. o.V.: Ausblühungen, [http://www.holcim.de/holcimweb/gc/DE/uploads/HolcimDeutschland\\_Ausbluehungen\\_2005.pdf](http://www.holcim.de/holcimweb/gc/DE/uploads/HolcimDeutschland_Ausbluehungen_2005.pdf), am 18.05.2010 um 08:48; S. 7.

ableiten, dass das Absprühen des Betons mit Wasser eindeutig die falsche Variante der Nachbehandlung ist.

Es soll außerdem versucht werden ein dichtes Gefüge zu erzeugen. Denn dadurch sind weniger Poren vorhanden in denen sich das Wasser mit dem Kalziumhydroxid anreichern kann. Weiters bedeuten weniger Poren auch, dass das gesättigte Wasser schwerer an die Oberfläche gelangen kann. Somit kann die Karbonatisierung im Inneren des Betons unsichtbar vonstattengehen.

Erreicht wird ein porenarmer Beton und somit ein dichtes Betongefüge durch:

- eine gute Verdichtung
  - bei der Verwendung von Innenrüttlern muss auf folgende Punkte geachtet werden:
    - durch ein zügiges Einführen der Rüttelflasche wird zuerst der untere Bereich verdichtet und die Luftblasen können durch den noch nicht verdichteten oberen Bereich austreten
    - Einhaltung der vom Wirkdurchmesser des Rüttlers abhängigen maximalen Eintauchabstände
    - Lagenweises Betonieren und Verdichten; lt. ÖVBB Richtlinie Sichtbeton-Geschalte Betonflächen 2009 ist eine maximale Schüttlagenhöhe von 50 cm einzuhalten<sup>54</sup>
    - Abstimmung der Verdichtungsdauer auf die Konsistenz des Betons, die Schalungsoberfläche und auf die Angaben des Rüttlerherstellers
  - bei der Verwendung von Außenrüttlern werden die Luftporen in das Innere des Betonbauteils gedrückt wodurch eine höhere Oberflächenqualität möglich ist; es sind die Herstellerempfehlungen im Bezug auf die Rüttelzeiten und die Rüttleranordnungen sowie die Amplitude und die Frequenz einzuhalten
- einen niedrigen W/B-Wert (<0,5), da wenig Überschusswasser und somit wenig Poren nach dem Austrocknen im Beton vorhanden sind; eine gewünschte hohe Viskosität des Betons soll mit Hilfe von Betonverflüssigern und Fließmittel erreicht werden, nicht mit einem hohen W/B-Wert
- eine saugende Schalungshaut, die eine ausgeglichene Holzfeuchte aufweist; sie nimmt überschüssiges Wasser auf und entfernt dieses somit von der Sichtbetonoberfläche; erreicht wird dies durch eine angemessene Lagerung und eine gute Vorbehandlung der Schalung
- ein auf das Schalungsmaterial abgestimmtes Trennmittel, das gleichmäßig und dünn - vorzugsweise mit einem auf die Viskosität eingestellten Hochdruckspritzgeräts - auf die gereinigte Schalung aufgetragen; somit wird das Aufsteigen der Luftblasen beim Entlüften des Betons erleichtert

<sup>54</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 40.

- ein dichtes Schalungsbauwerk; es verhindert das Austreten des Zementleims in diversen Fugen und somit einen möglichen Feinteilmangel

### **Kalkschleierausblühungen**

Wie bereits oben erwähnt sind diese Kalkfahnen an Rissen, Arbeitsfugen oder Ankerlöcher zu finden. Auf die Vermeidung von Rissen bzw. die Begrenzung der Rissbreiten wird im Kapitel 4.5 näher eingegangen. Alle dort angeführten Maßnahmen verhindern auch Kalkschleiersausblühungen.

Um Ausblühungen an Arbeitsfugen zu vermeiden, sind die Planer gefordert diese dort anzuordnen, wo wenig Fremdwasser die Fuge durchnässen kann. Eine gut durchdachte konstruktive Ausführung der Fuge z.B. im oberen Bereich einer Schattenfuge oder in einem von der Witterung geschützten Bereich der Fassade, wird in diesem Fall eindeutig das Zielführendste sein. Aber es besteht auch die Möglichkeit einer nachträglichen Abdichtung um diese weißen Kalkaussinterungen zu unterbinden. Hier ist besondere Vorsicht geboten, dass z.B. durch Verpressen der Fuge mit Polyurethan oder Zementmilch kein Injektionsmaterial die Sichtbetonoberfläche verschmutzt.

Kiesnester sind weitere Schwachstellen, bei denen Kalkschleierausblühungen auftreten können. Die Maßnahmen diese Texturunregelmäßigkeiten zu verhindern, werden im Kapitel 4.1 behandelt.

Das Regenwasser soll bei seiner Ableitung niemals tropfend die Sichtbetonfassade belasten. Erreicht wird dies durch einen sorgfältig geplanten Wasserabfluss über die gesamte Fassadenfläche mit Regenrinnen, erforderlichem Entwässerungsgefälle von horizontalen Flächen, Abdeckungen der Attika und richtig eingesetzten Tropfnasen bzw. Tropfkanten. Eine gute Planung eines Sichtbetonbauwerkes erkennt man unter anderem daran, dass bereits in der Entwurfsphase die oben genannten Punkte mit einbezogen werden.

Um Kalkfahnen bei Ankerlöchern zu vermeiden sind diese mit entsprechenden Stöpseln oder Konen gut zu verschließen oder bestenfalls zusätzlich abzudichten.

### **Sekundärausblühungen**

Betrachtet man die großflächigen Oberflächenverfärbungen so sind die Planer gefordert - wenn möglich - bei allen Sichtbetonflächen die gleichen Feuchteverhältnisse zu schaffen. Nur so könnte man sicherstellen, dass alle Betonoberflächen im gleichen Ausmaße durch die Kalkausblühungen verfärbt werden. Jedes Vordach, jede Kante bzw. jeder noch so kleiner Vorsprung ruft aufgrund ungleicher Benetzung Farbunterschiede hervor. Der Planer hat sich auch Gedanken über eine ausreichend geplante Wasserführung zu machen. Denn je gleichmäßiger die gesamte Sichtbetonfassade vom Niederschlag benetzt wird, desto geringer sind die Farbunterschiede. Durch diese Maßnahmen wird diese unvermeidbare Verfärbung aber nicht verhindert, sondern es wird lediglich versucht eine gleichmäßige Aufhellung am gesamten Gebäude zu erhalten.

Eine Möglichkeit um Sekundärausblühungen komplett zu vermeiden besteht darin, die Sichtbetonoberfläche ehest möglich mit einer Hydrophobierung zu versehen. Durch diese

wasserabweisende Beschichtung ist die Betonoberfläche vor dem Eindringen des Fremdwassers geschützt.<sup>55</sup> Die Karbonatisierung findet im Inneren des Betonbauteiles statt und somit ist von außen keine Aufhellung sichtbar. Da die Hydrophobierung im Laufe der Zeit ihre Wirkung verliert, ist es wichtig diese Beschichtung in dem vom Hersteller empfohlenen Zeitintervall zu erneuern. Länger wirksame Tiefenhydrophobierungen, die durch ihre pastöse Konsistenz tiefer in den Beton eindringen können, ermöglichen es die Häufigkeit der Wartung zu verringern und sind somit den wässrigen Hydrophobierungen, die nur eine dünne oberflächige Schutzschicht bilden, vorzuziehen.

Durch ein dichtes Betongefüge kann ebenfalls das Eindringen des Niederschlagwassers in den Beton zumindest erschwert werden. Erreicht wird ein dichtes Gefüge durch die weiter oben in diesem Kapitel beschriebenen Maßnahmen.

### 3.1.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema

Die **ÖNORM B 2211** differenziert unter Punkt 5.3.4.2.3 beim Themengebiet Farbgleichheit zwei Klassen. In der Klasse F1 steht: *„Flächige Verfärbungen, verursacht durch (...) unsachgemäße Nachbehandlung des Betons (...) sind unzulässig. Weitergehende Anforderungen an die Gleichmäßigkeit der Farbe werden nicht gestellt.“*<sup>56</sup> Da Sekundärausblühungen flächige Verfärbungen sind und durch unsachgemäße Nachbehandlung hervorgerufen werden, sind sie sogar in der niedrigen Klasse unzulässig. Da aber der Begriff „flächig“ schwer zu interpretieren ist, kann hier keine genaue Aussage zu Primärausblühungen gemacht werden. Kalkschleierausblühungen sind definitiv keine flächigen Verfärbungen, also in dieser Klasse zulässig, da keine Anforderungen an die Farbgleichmäßigkeit gestellt werden. In der Farbgleichheitsklasse F2 ist der Zusatz *„Bei Einhaltung der Verarbeitung nach dem Stand der Technik sind unvermeidbar entstehende Unterschiede des Farbtones zulässig.“*<sup>57</sup> angeführt. Werden alle unter Punkt 3.1.3 angeführten Maßnahmen eingehalten sind Kalkausblühungen in all ihren Erscheinungsformen vermeidbar und somit in der Klasse F2 nicht zulässig.

Die **Richtlinie Sichtbeton-Geschalte Betonflächen 2009** geht in mehreren Punkten auf die Problematik der Verfärbungen durch Kalkausblühungen ein. Bei den Definitionen der Farbtongleichmäßigkeitsklassen findet man im Hinblick auf Kalkausblühungen wichtige Informationen. Ist der Sichtbeton nach der Klasse FT1 ausgeschrieben, sind Hell- und Dunkelverfärbungen von vier benachbarten Farbtonstufen laut Farbtonekala zulässig. Dies würde bedeuten, dass Verfärbungen durch Kalkausblühungen, egal welcher Art, in einem gewissen Ausmaß nicht als Mängel zu werten sind. Betrachtet man aber weiße

<sup>55</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 10ff.

<sup>56</sup> ON: ÖNORM B 2211, Ausgabe 2009-06-01; S. 13.

<sup>57</sup> ON: ÖNORM B 2211, Ausgabe 2009-06-01; S. 13.

Kalkausblühungen an einem dunkel eingefärbten Beton, ist diese Anforderung von vier benachbarten Farbtonstufen sehr schwer zu erfüllen.

In der Klasse FT2 ist eine Einschränkung der Farbtonstufen auf drei benachbarte Farben gemacht worden. Es werden hier nur die Anforderungen verschärft. Der Zusatz, dass nur gleichmäßige, großflächige Hell- und Dunkelverfärbungen zugelassen sind, lässt keine Kalkschleierausblühungen mehr zu.

In der klassenbildenden Anforderung an die Betonoberfläche FT3 lässt man eine Verfärbung von zwei benachbarten Farben zu. Erst hier wird auf die Problematik der Witterungseinflüsse auf einer Ortbetonbaustelle hingewiesen: *„Bauzeitplanung muss witterungsbedingte Einschränkungen/Verzögerungen berücksichtigen. Kein Betonieren bei starken Regenfällen oder kalter Witterung.“*<sup>58</sup> Im Hinblick auf qualitativ hochwertige Sichtbetonoberflächen müsste dieser Hinweis über allem stehen, weil sehr viele Mängel durch gerade diese Witterungseinflüsse ausgelöst werden.

Im Anhang der Richtlinie findet man bei der Beschreibung der Prüfung der Farbtonunterschiede mittels Farbtonekala den Hinweis, dass auf eine gleichmäßige Belichtung der Prüffläche zu achten ist. Bei Sekundärausblühungen ist eine gleichmäßige Belichtung selten möglich, da Farbunterschiede z.B. bei Dachvorsprüngen auftreten und in weiterer Folge durch diese Verschattung keine gleichmäßige Belichtung gegeben ist. Das bedeutet in diesem Fall ist die Prüfung mit der Farbtonekala ohne zusätzlicher, künstlicher Beleuchtung nicht zielführend.

Bei den Grenzen der Ausführbarkeit und den Hinweisen für die Planer findet man folgende Aussage. *„Die Einflüsse der Witterung und Temperatur bei der Herstellung und Nachbehandlung (...) und die Art, Lage und Abmessung der Bauteile selbst haben einen signifikanten Einfluss auf die Beschaffenheit des fertigen Bauteils, die klimatischen Bedingungen bei der Nutzung im Inneren und die Witterungseinflüsse auf die Bauteile im Freien beeinflussen Erosion, Alterung und Farbveränderung der Bauteile.“*<sup>59</sup> Es wird klargestellt, dass die schon oben erwähnte Fugenplanung, die Anordnung von Vordächern oder die Planung der Wasserführung wichtige Punkte im Hinblick auf die Vermeidung von Kalkausblühungen sind.

Ausblühungsfreie Ansichtsflächen von Ortbetonbauteilen sind laut ÖVBB Richtlinie nicht bzw. nicht zielsicher herzustellen. Weiters werden einzelne Kalk- und Rostfahnen an vertikalen Bauteilen als nur eingeschränkt vermeidbar eingestuft.

Bei den Ausführungen betont die Richtlinie immer wieder die Wichtigkeit der Nachbehandlung. *„Sie dient vorwiegend zum Schutz gegen vorzeitiges Austrocknen der Oberfläche und sichert dem Beton die ausreichende Feuchtigkeit im Nachhärtungsprozess.“*<sup>60</sup>

<sup>58</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 10.

<sup>59</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 25.

<sup>60</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 38.

Dies ist - wie weiter oben ersichtlich - auch für die Vermeidung von Kalkausblühungen wichtig. Für die Betonstandards BSBQ, die allen Sichtbetonklassen zugeordnet sind, schreibt die ÖVBB Richtlinie eine sofort nach dem Ausschalen wirksame Nachbehandlung der Sichtbetonfläche mittels Nachbehandlungsmittel oder Abdeckung vor. Diese Maßnahmen können die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Kalkausblühungen in allen Fällen senken.

In dem **Merkblatt Sichtbeton der DBV und der BDZ** erfolgt für die Regelung der Farbtongleichmäßigkeit ebenfalls eine Einteilung in drei Klassen. Bei den ersten beiden Anforderungsklassen werden prinzipiell Hell- und Dunkelverfärbungen zugelassen. Bei der dritten Klasse wird der Hinweis *„Farbtonunterschiede und Verfärbungen sind auch bei größter handwerklicher Sorgfalt und bei Einhaltung der Vorgaben (...) nicht gänzlich auszuschließen“*<sup>61</sup> gegeben.

Ausblühungsfreie Ansichtsflächen von Ortbetonbauteilen sind laut Merkblatt technisch nicht oder nicht zielsicher herstellbar. Im Gegensatz dazu werden einzelne Kalk- und Rostfahnen als nur eingeschränkt vermeidbar eingestuft.

Bei den Anforderungen an die Bauausführung findet man folgende zwei Anmerkung: *„Eine gleichartige und gleichmäßige Nachbehandlung (...) muss sichergestellt sein.“*<sup>62</sup> und *„Ein Schutz vor Witterungseinflüssen (Niederschlag) kann bei jungen Ansichtsflächen der Sichtbetonklassen SB 3 und SB 4 erforderlich sein.“*<sup>63</sup> In diesen zwei Aussagen besteht ein Widerspruch da der Witterungsschutz einer der wichtigsten Nachbehandlungsmaßnahmen für alle Betonklassen darstellt. Wie in der zweiten Aussage erkennbar, wird aber der Schutz des jungen Betons lediglich auf die zwei höchsten Sichtbetonklassen begrenzt.

Im Anhang E beschäftigt sich das Merkblatt ausschließlich mit Verfärbungen der Betonoberfläche. Unter „Allgemeines“ findet man folgenden Absatz: *„Der Farbton der Ansichtsfläche nach dem Ausschalen wird durch (...) die Witterungsbedingungen bestimmt. (...) In dieser Phase können temporäre und bleibende Veränderungen an der Betonoberfläche auftreten.“*<sup>64</sup> Dieser Absatz ist im Hinblick auf Kalkausblühungen besonders wichtig, da er auf alle Punkte, die Kalkausblühungen hervorrufen, eingeht. Es wird festgehalten, dass die Primärausblühungen durch die Witterung beeinflusst werden und dass bleibende Veränderungen - wie Sekundärausblühungen - auftreten können.

Weiters wird in dem DBV-Merkblatt eindeutig darauf hingewiesen, dass bei bewitterten Ansichtsflächen eine kontrollierte Ableitung des Regenwassers geplant werden muss.<sup>65</sup>

<sup>61</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 11.

<sup>62</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 28.

<sup>63</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 28.

<sup>64</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 50.

<sup>65</sup> Vgl.: DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 16.

## 3.2 Grautonunterschiede

### 3.2.1 Mangelbeschreibung

„Grautöne sind dann Betonflächenmängel, wenn sie im gleichen Bereich gegensätzlich zueinander stehen und damit den gestalterischen Objekteindruck mindern.“<sup>66</sup> Grautonunterschiede können durch Differenzen in der Zusammensetzung des Betons oder unerwünschten Wechselwirkungen des Betons mit der Schalhaut und dem Trennmittel sowie durch ungeeignete Witterungsbedingungen vor Ort hervorgerufen werden.<sup>67</sup> Prinzipiell kann man davon ausgehen, dass sogar bei sorgfältigster Ausführung geringe Farbabweichungen auftreten können. Dieser Umstand ist unumgänglich, da es sich bei den Bestandteilen von Beton um natürliche Ausgangsstoffe handelt und eine Ortbetonbaustelle immer der Witterung ausgesetzt ist.<sup>68</sup> Die ÖVBB Richtlinie hält z.B. fest, dass leichte Farbunterschiede zwischen aufeinander folgende Schüttlagen nur eingeschränkt vermieden werden können. Weiters wird auch festgelegt, dass ein gleichmäßiger Farbton nicht zielsicher herstellbar ist.<sup>69</sup>

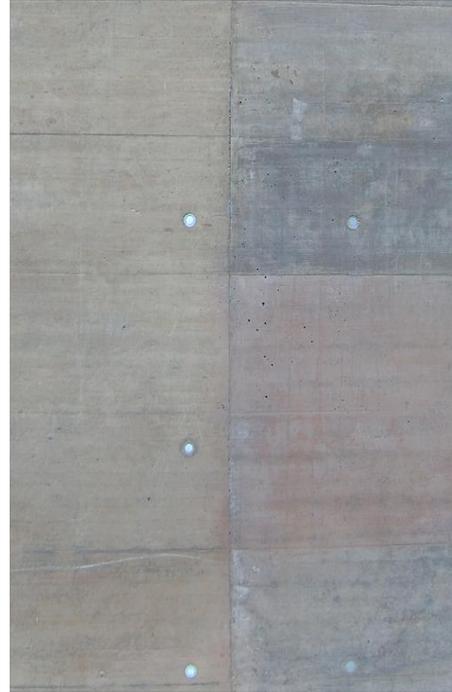


Abbildung 2 Grautonunterschiede  
(Foto: M. Mühleder)

Diese Tatsache muss man sich bei der Behandlung dieses Themengebietes immer vor Augen halten. Es wird in dieser Arbeit eine Einteilung der Grautonunterschiede in drei Gruppen vorgenommen um die Erläuterung zu vereinfachen. Es wird zwischen partiellen Grautondifferenzen, Grautonwolken und Grautonstreifen unterschieden.

<sup>66</sup> SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 36.

<sup>67</sup> TRAVNICEK, R.: Sichtbetonoberflächen und Gewährleistung, in: Sichtbeton – Architektur pur; S. 53.

<sup>68</sup> Vgl. OSWALD, R.; ABEL, A.: Hinzunehmende Unregelmäßigkeiten bei Gebäuden; 3. Auflage; S. 53.

<sup>69</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 25.

### 3.2.2 Mangelursache

#### Partielle Grautondifferenzen

Unter partiellen Grautondifferenzen versteht man meist regelmäßige, klar abgegrenzte Hell- bzw. Dunkelverfärbungen der Betonoberfläche. Sie treten vorwiegend bei saugenden Schalungshäuten auf. Eine Ursache für die Grautonunterschiede ist die Verwendung von Schalungen mit unterschiedlicher Einsatzzahl in einem Bauabschnitt bzw. bei benachbarten Abschnitten. Die Saugfähigkeit einer Schalung nimmt mit der Häufigkeit ihres Einsatzes ab. Das bedeutet, dass bei hoher Einsatzzahl der Feuchtebedarf der Schalung niedriger wird und dem jungen Beton weniger Nässe entzogen wird. Es ist somit mehr Wasser für die chemische Reaktion im Beton vorhanden, d.h. der Beton besitzt einen höheren W/B-Wert an der Oberfläche und dadurch eine hellere Farbe. Verwendet man nun Schalungen mit unterschiedlicher Einsatzzahl direkt nebeneinander weist die fertige Sichtbetonoberfläche fleckige Grautonunterschiede auf.

Dieses Prinzip ist auch bei einer unterschiedlichen Austrocknung der einzelnen Bretter oder Schaltafeln bei der Lagerung zu beobachten. Betrachtet man z.B. einen Holzstapel so ist die oberste Lage durch die Sonneneinstrahlung die trockenste bzw. durch Regen die feuchteste. Wird dieses bewitterte Holz ohne Vorbehandlung mit im Inneren des Stapels geschütztem Holz in der Schalung nebeneinander verbaut, ergeben sich unterschiedliche Grautöne da das ungleiche Schalungsmaterial dem Beton unterschiedlich viel Feuchtigkeit entzieht. Dieser Effekt kann bei allen saugenden Schalhäuten auftreten.

Wird frisches Brettschalungsholz verwendet, das am Tageslicht vergilbt ist, wird der Erhärtungsprozess des Zements durch den Holzzucker im Oberflächenbereich chemisch beeinflusst und Grautonabstufungen hervorrufen.<sup>70</sup>

Grautondifferenzen können aber auch bei unterschiedlich beharzten Schalelementen auftreten. Verwendet man Schalelemente mit zu wenig Harz neben Schalelementen mit übermäßiger Beharzung wird dem Beton unterschiedlich viel Feuchtigkeit entzogen. Ist zu viel Harz auf der Schalung vorhanden, reagiert diese wie eine nicht saugende Schalung und es entsteht ein hellerer Grauton als bei Schalelementen mit weniger Harz.

Sehr dünne Grautonstreifen können sich ergeben, wenn zur Fugendichtung zwischen zwei Rahmenschalelementen ein Schaumstoffband angebracht wird. Dies ist notwendig um das Auslaufen des Zementleims zu verhindern. Trotz starker Komprimierung des Dichtungsstreifens weist dieser ein anderes Saugverhalten als die Schalung auf und somit können starke, rasterförmige Farbunterschiede auf dem gesamten Bauteil auftreten. Da man dies nicht bzw. nicht zielsicher verhindern kann, spricht man in diesem Fall von einem nicht vermeidbaren Mangel.

Partielle Grautondifferenzen können aber auch nach dem Ausschalen ausgelöst werden. Liegt beispielsweise ein Schutz für scharfe Kanten oder ein Rahmen des

<sup>70</sup> Vgl.: SCHMIDT-MORSBACH, J.: Sichtbeton-Oberflächen für Planung und Ausführung; S. 31.

Nachbehandlungsbauwerks direkt am Beton auf, zeichnet sich dieser Bereich nach dem Entfernen der Schutzmaßnahme ab. Der Grund dafür liegt in dem verzögerten Abbinden des Betons unter dem Holz. Dies gilt natürlich nicht nur für Holz, da jeder Kontakt mit einem anderen Material die Luftzufuhr zur Betonoberfläche und somit die Austrocknungsgeschwindigkeit verändert. Weiters kann dieser Effekt durch Holzinhaltsstoffe, wie z.B. Holzzucker, verstärkt werden.

### Grautonwolken

Fleckige, nicht klar abgegrenzte Grautongegensätze an Sichtbetonoberflächen werden auch Wolken genannt. Eine ungewünschte Wolkenbildung entsteht unter anderem wenn sich Überschusswasser an der vertikalen Schalung ansammelt und dort durch eine Änderung des W/B-Wertes eine Grautondifferenz hervorgerufen wird. Dieser Effekt tritt häufig bei Frischbeton auf der zum Bluten neigt, da hier viel Wasser abgesondert wird.<sup>71</sup> Diese Wasseransammlung tritt hauptsächlich bei der Verwendung von nicht saugender Schalung auf, da hier das überschüssige Wasser zwischen dem Beton und der Schalung verbleibt.

Weiters können unregelmäßige Grautonwolken durch einen unterschiedlichen Trennmittelauftrag entstehen. Bei zu geringem Auftrag kann das Trennmittel bei Niederschlag abgespült werden. Das bedeutet, dass diese dunklen Flecken vorwiegend bei Baumaßnahmen in den Herbst- und Wintermonaten auftreten.<sup>72</sup> Bei einem partiellen übermäßigen Trennmittelauftrag kommt es aufgrund der Hydratationsstörung ebenfalls zu einer hellen Wolkenbildung.

Zudem kann es zu Grautonwolken kommen, wenn Bereiche zu intensiv verdichtet werden. Das Mehlkorn wandert zur Oberfläche wodurch es zur Ansammlungen von Zementbestandteile und in weiterer Folge - aufgrund des Wassermangels - zu einer unzureichenden Hydratation kommen. In diesen Gebieten von zu geringem W/B-Wert ergeben sich dunkle glasige, kleinflächige Verfärbungen.<sup>73</sup>

Wird ein Sichtbetonbauteil z.B. mit einer Folie zur Nachbehandlung abgedeckt und befindet sich zwischen der Folie und der Betonoberfläche kein Abstand, so haftet diese Folie aufgrund der Adhäsion punktuell auf der Betonoberfläche. In diesen Bereichen sammelt sich Kondenswasser an, das durch Störung des Abbindevorgangs eine punktuelle, unregelmäßige Farbänderung hervorrufen kann.<sup>74</sup>

Aber auch durch wechselnde Witterungsbedingungen während dem Betoneinbau kann sich der W/B-Wert und somit der Grauton der fertigen Sichtbetonoberfläche verändern.

<sup>71</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton Atlas; S. 69

<sup>72</sup> Vgl. SCHIESSL, P.; STREHLEIN, D.: Untersuchungen zu Farberscheinungen an Sichtbetonflächen, in: Sichtbeton-Planen, Herstellen, Beurteilen; S.26ff.

<sup>73</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 36.

<sup>74</sup> Vgl. PECK, M.; BOSE, T.; BOSOLD, D.: Technik des Sichtbetons; S. 84.

Wie bereits weiter oben erwähnt, handelt es sich bei den Bestandteilen von Beton um natürliche Ausgangsstoffe. Ändert sich die Farbe der Zuschlagkörnung ändert sich natürlich auch das Erscheinungsbild der fertigen Betonoberfläche. Besonders bei der Belieferung einer Baustelle durch zwei abwechselnde Transportbetonunternehmen - die unterschiedliche Kiesgruben zur Schottergewinnung bzw. unterschiedliche Zementlieferanten nutzen - können große Grautonunterschiede auftreten. Aber auch durch einen unterschiedlichen W/B-Wert des Frischbetons von zwei aufeinander folgenden Betonlieferungen treten unterschiedliche Verfärbungen der fertigen Sichtbetonoberfläche auf. Der gleiche Effekt ist auch bei unterschiedlichen Betonmischungen ersichtlich, denen z.B. nicht die gleiche Menge an Verzögerern beigemischt wurde. Der Grund für die Verfärbung liegt in der unterschiedlichen Abbindegeschwindigkeit der verschiedenen Bereiche.

### **Grautonstreifen**

Von Grautonstreifen spricht man, wenn meist horizontale, streifenförmige, nicht genau abgegrenzte Verfärbungen auftreten. Ist der W/B-Wert oder ein Bestandteil des Betons von zwei aufeinander folgenden Schüttilagen unterschiedlich, ist klar, dass dort unterschiedliche Grautöne auftreten. Weiters kann aufgrund der lagenweisen Einbringung und der anschließenden Verdichtung das Zugabeüberschusswasser an die Oberfläche hochgetrieben werden. Dort sedimentiert der Beton und es ergibt sich eine Erhöhung des W/B-Werts, wodurch ein heller Streifen auf der fertigen Sichtbetonoberfläche sichtbar wird.<sup>75</sup> Dies ist vor allem bei Betonen der Fall, die keine optimale Sieblinie und einen hohen Wassergehalt aufweisen. Diese Mängel treten vor allem bei glatten, nicht saugenden Schalungen auf, wenn zu intensiv verdichtet wird. Sind größere Betonierpausen zwischen den einzelnen Schüttilagen vorhanden beginnt die untere Lage bereits zu erstarren und eine erneute Verdichtung, das so genannte „Vernähen“, ist nicht mehr einwandfrei möglich. Somit rufen die Feinteilansammlungen an der Oberseite der unteren Schüttilage in weiterer Folge Grautonunterschiede hervor da sich der Beton nicht mehr vermischen lässt.

Ein weiterer Grund für Grautonstreifen im Bereich der Betonlagenabschnitte kann eine zu intensive Doppelverdichtung des oberen Bereiches der unteren Schüttilage sein. Dabei werden die Kapillarporen geschlossen und die Oberfläche erscheint anschließend in diesem Bereich „glasig“.

Hellere Grautonstreifen können durch das Mitschwingen der Schalung bei den verschiedenen Verdichtungsintervallen hervorgerufen werden. Hierbei wird durch die verdichtungsbedingten Eigenschwingungen das Mehlkorn zur Schalung gesaugt, wodurch ein höherer W/B-Wert entsteht. Es tritt dies sowohl bei Außenrüttlern als auch bei

---

<sup>75</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 127.

Innenrüttlern durch eine Schwingungsübertragung über die Bewehrung und die Abstandhalter auf.<sup>76</sup>

Weiters können Ansammlungen von Feinteilen durch Entmischungserscheinungen bei dem Betoneinbau auftauchen. Handelt es sich um hohe Baukörper, können solche Sedimentationen durch eine große Fallhöhe des Betons entstehen. In diesem Fall sammeln sich die größeren Zuschlagskörner im unteren Bereich der Schüttlage und die Feinteile „schwimmen auf“. Genau anders verläuft die Entmischung, wenn der Bewehrungsgrad in einem Bauteil zu hoch ist. Hier fungiert die Armierung wie ein Sieb, dass die groben Bestandteile der Betonmischung zurückhält und nur die Feinteile nach unten dringen können.

### 3.2.3 Vermeidung des Mangels

#### Partielle Grautondifferenzen

Um partielle Grautondifferenzen zu vermeiden, ist stets darauf zu achten, dass die verwendete Schalung über die gesamte Fläche denselben Zustand und dieselben Eigenschaften aufweist. Es sollen niemals Schaltafeln bzw. Schalungsbretter mit unterschiedlicher Einsatzhäufigkeit nebeneinander eingesetzt werden. Gleiches gilt für Schalelemente, die eine unterschiedlich dicke oder verschiedenartige Beharzung aufweisen. Um eine gute Sichtbetonoberfläche zu erhalten, sollen deshalb bei einem Bauvorhaben nur gleiche Fabrikate mit gleicher Einsatzhäufigkeit verwendet werden.

Da auch eine unterschiedliche Holzfeuchte die Farbgebung des Betons beeinflusst, ist vor dem Einbau auf eine ausgeglichene Eigenfeuchte zu achten. Diese wird durch eine einheitliche Lagerung der Schalelemente auf der Baustelle erreicht. Wird z.B. ein Element liegend und ein weiteres stehend im Freien gelagert liegt es auf der Hand, dass beide nach einer gewissen Zeit nicht die gleiche Eigenfeuchte aufweisen können. Die unterschiedliche Holzfeuchte kann in einem gewissen Ausmaß durch Besprühen der Schalungsoberfläche mit Wasser ausgeglichen werden. Dabei ist aber mit Fingerspitzengefühl vorzugehen um die Schalung nicht mit zu viel Wasser zu tränken. Ein optimaler Feuchtigkeitsgrad von saugenden Schalungen liegt abhängig von der Schalhautart zwischen 16 und 20 %.<sup>77</sup> Es ist auch zu beachten, dass die Stellschalung während dem Bewehrungseinbau ebenfalls noch der Witterung ausgesetzt ist. Es soll deshalb auf eine gleiche Standzeit der Stellschalung von benachbarten Betonierabschnitten Acht gegeben werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass die erforderliche Alkaliresistenz von frischen Brettschalungen sichergestellt wird. Das effektivste Verfahren dies zu erreichen, ist das

<sup>76</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 82.

<sup>77</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 18.

ein- oder mehrmalige Einschlämmen der Bretter mit Zement- oder Kalkmilch. Nach dem Abbinden des Bindemittels ist das Brett mechanisch abzubürsten.<sup>78</sup>

Um Grautondifferenzen nach dem Ausschalen durch unterschiedliche Abbindezeiten zu vermeiden, dürfen weder Holz noch andere Materialien über längere Zeit im direkten Kontakt mit der Betonoberfläche stehen.

### Grautonwolken

Um die Absonderung des überschüssigen Anmachwassers zu verhindern, muss unter anderem ein Beton mit geringem W/B-Wert und einer optimierten Sieblinie verwendet werden.<sup>79</sup> Wichtig sind darüber hinaus auch eine optimale Verdichtung des Betons (näheres siehe Kap. 3.1.3) und die Einhaltung der empfohlenen Schüttlagenhöhe. Letztere soll bei Sichtbetonbauteilen maximal 50 cm betragen.<sup>80</sup> Zur Vermeidung der dunkel-glasigen Wolken ist ein Zuviel an Verdichtungsarbeit nicht dienlich, da die Feinteile immer mehr nach außen zur Schalung abwandern. Verhindern kann man diese Grautonwolken unter anderem indem man sich beim Verdichten an die anerkannten technischen Regeln hält. Es sollen z.B. konstante Abstände der Eintauchstellen eingehalten werden. Die Verdichtungszeit ist von der verwendeten Schalung, der Betonkonsistenz und dem Rüttlerfabrikat abhängig. Die Rüttlerflasche soll schnell in den Beton eingetaucht werden und anschließend langsam und kontinuierlich wieder gezogen werden.<sup>81</sup>

Ein ebenfalls wichtiger Punkt bei der Vermeidung von Grautonwolken ist das gleichmäßige, dünne Auftragen des Trennmittels. Bezüglich der Auftragsmenge des jeweiligen Trennmittels für die unterschiedlichen Schalungsoberflächen sollte man sich an die Herstellerangaben halten. Bei einer Erprobungsfläche an einem untergeordneten Bauteil kann das Schalöl auf die jeweilige Schalhaut abgestimmt werden. Optimalerweise wird das Trennmittel mit einem Hochdruckspritzgerät aufgetragen, bei dem die Auftragsdüse und der Druck im Sprühgerät auf die Viskosität angepasst wird.<sup>82</sup> Sofern es möglich ist, soll die Schalungsoberfläche nach dem Trennmittelauftrag mit einer Gummilippe abgezogen werden. Dadurch werden eine örtliche Über- bzw. Unterdimensionierung des Trennmittels und somit Grautonwolken verhindert. Werden großflächige Schalelemente liegend in einem mit Schalöl versehen und anschließend abgezogen, müssen die Schuhe des Verarbeiters beim Begehen der Schalung mit einem Schutz versehen werden. Diese Maßnahme ist wichtig, da anderenfalls Schmutzrückstände auf den Schuhen die Schalungsoberfläche verschmutzen und sogar verletzen können.

<sup>78</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 52.

<sup>79</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton Atlas; S. 67.

<sup>80</sup> Vgl. ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 40.

<sup>81</sup> Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten; S. 227.

<sup>82</sup> Vgl. ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 32.

Wird der Bauteil mit einer Folie zur Nachbehandlung abgedeckt, muss eine Berührung der Folie mit der Betonoberfläche unterbunden werden. Bei Unterkonstruktionen, die den Abstand sicherstellen sollen, ist ebenfalls darauf zu achten, dass kein Rahmenmaterial im direkten Kontakt zum Beton steht. Man kann dies z.B. durch Befestigungsstrukturen bei den Ankerstellen erreichen. Man kann auch zwischen dem Holz und der Oberfläche Abstandhalter anbringen, die einen Luftzutritt zum Beton ermöglichen. Vermutlich die einfachste Variante diese Verfärbungen an der Sichtbetonoberfläche zu vermeiden besteht allerdings darin die Rahmenkonstruktionen in Bereichen abzustützen, die nach dem Vollausbau nicht mehr sichtbar sind. Dies ist z.B. bei Wänden der untere Bereich wo anschließend ein Estrich oder Bodenbelag die Verfärbungen verdeckt. Die kostenintensivste aber auch eindeutig beste Variante den frischen Sichtbeton zu schützen ist die Herstellung eines komplett getrennten, temporären Einhausungsbauwerkes, das in keinem Kontakt zum Beton steht. Der Abstand der Folie soll aber so gering wie Möglich gehalten werden um eine ungleichmäßige Trocknung, z.B. durch das Auftreten einer Zirkulation, zu vermeiden.

### **Grautonstreifen**

Auf die Zusammensetzung des Betons und seine Eigenschaften wird grundsätzlich in dieser Arbeit nicht eingegangen, da der heutzutage schon sehr komplexe Betonchemismus den Rahmen sprengen würde. An dieser Stelle wird jedoch trotzdem auf den ausschließlichen Einsatz von Beton mit den gleichen Frischbetoneigenschaften hingewiesen. Durch die ständige Kontrolle des W/B-Wertes, der Konsistenz und der Ausgangsstoffe vor dem Einbau können Grautonunterschiede, die bei aufeinanderfolgenden Schüttilagen auftreten können, verhindert werden.<sup>83</sup>

Um die Sedimentationen im Beton im Bereich der Schüttilagen zu verhindern, muss eine auf die Schalungsoberflächeneigenschaften angepasste Betonkonsistenz gewählt werden. Bei saugender Schalung ist ein plastischer Beton zu bevorzugen. Im Gegensatz dazu soll bei nicht saugenden Schalungsoberflächen ein eher steifer Beton verwendet werden. Ausschlaggebend für die Auswahl ist der Rauigkeitskoeffizient der Schalung der das Aufsteigen der Feinteile und des Wassers beeinflusst. Bei der Kombination einer glatten, oberflächenvergüteten Schalung mit einem plastischen Beton können die vielen Feinteile dieser Mischung beim Verdichten ungehindert nach oben aufsteigen und dort aufgrund des höheren W/B-Wertes einen helleren Grautonstreifen hinterlassen. Verstärkt wird dieser Effekt durch eine übermäßige Verdichtung, da mehr Feinteile zur Oberfläche gefördert werden.

Um eine homogene Betonoberfläche zu erhalten, müssen die einzelnen Schüttilagen miteinander „vernäht“ werden. Dies geschieht durch wiederholtes, zehn Zentimeter tiefes Eintauchen in den schon verdichteten Beton der unteren Lage. Dies ist natürlich nur möglich, wenn die untere Lage noch eine weiche Konsistenz aufweist. Erreicht wird dies

<sup>83</sup> Vgl. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten; S. 227.

nur, wenn zwischen dem Einbringen der aufeinander folgenden Lagen wenig Zeit vergeht. Ist es nicht möglich die kurzen Intervalle einzuhalten, wie z.B. bei großen Dimensionen des Bauteils, sollen Abbindeverzögerer zugegeben werden.<sup>84</sup> Um eine eventuelle Wartezeit aufgrund eines defekten Rüttlers zu vermeiden ist bei Sichtbetonbauvorhaben immer ein Ersatzrüttler auf der Baustelle vorzuhalten. Eine „Vernähung“ darf aber nicht zu intensiv ausgeführt werden, da durch die Doppelverdichtung in diesem Bereich die Kapillarporen geschlossen werden können.

Um Mehlkornansammlungen zu verhindern, soll das Schalungsbauwerk kraftschlüssig untereinander und zur Unterkonstruktion ausgeführt werden. Durch eine mitschwingende Schalung werden Feinteile zur Oberfläche gepumpt und führen dort zu einer Erhöhung des W/B-Wertes.

Um Sedimentationen durch Entmischen zu verhindern, ist es wichtig die Fallhöhe von maximal 50 cm einzuhalten<sup>85</sup>. Kann die maximale Fallhöhe nicht eingehalten werden, wie dies beispielsweise bei höheren Baukörpern der Fall ist, ist der Beton mittels Schlauch einzufüllen.<sup>86</sup> Dies ist nur möglich, wenn ein maximaler Bewehrungsgrad eingehalten wird um die Entmischungerscheinungen nicht zu begünstigen. Ist dies nicht möglich, sind Einbring- und Rüttelöffnungen im Schalungsbauwerk in, auf den Wirkdurchmesser des Rüttlers, abgestimmten Abständen vorzusehen.

### 3.2.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema

Wie bereits im vorigen Kapitel angeführt, geht die **ÖNORM B 2211** im Punkt 5.3.4.2.3 auf die Thematik Farbgleichheit ein. Für Grautongegensätze gelten prinzipiell dieselben Ausführungen wie für Kalkausblühungen. Laut Klasse F1 sind flächige Verfärbungen durch „*unsachgemäße Vorbehandlung der Schalhaut*“<sup>87</sup> wie diese z.B. bei unterschiedlichem Trennmittelauftrag auftreten, unzulässig. Aber auch eine „*unsachgemäße Nachbehandlung des Betons*“<sup>88</sup> ist nicht erlaubt, weswegen laut Norm ein Abstand zwischen Beton und Folie beim Schutz des Bauteils gefordert wird.

Die ÖNORM verbietet auch die Verwendung von Zuschlägen unterschiedlicher Herkunft. Somit wird hier auf die Wichtigkeit der konstanten Zusammensetzung des Frischbetons hingewiesen, wodurch Grautonunterschiede von verschiedenen Betonierlagen verhindert werden. Noch genauere Regelungen finden sich in der Klasse F2. Hier werden zusätzlich

<sup>84</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 79.

<sup>85</sup> Vgl. ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 39.

<sup>86</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 128.

<sup>87</sup> ON: ÖNORM B 2211, Ausgabe 2009-06-01; S. 13.

<sup>88</sup> ON: ÖNORM B 2211, Ausgabe 2009-06-01; S. 13.

auch Verfärbungen als unzulässig angesehen, „*die auf Zemente unterschiedlicher Art oder Herkunft oder auf unterschiedliche Betonzusätze zurückzuführen sind*“<sup>89</sup>.

Im Kapitel 5.3.4.2 der Norm wird fixiert, dass die Beurteilung der Farbgleichheitsklasse nach dem Erreichen der jeweiligen Betonfestigkeit erfolgen soll. Es wird also darauf hingewiesen, dass sich Grautonunterschiede, die direkt nach dem Ausschalen sichtbar sind, im Laufe der Zeit angleichen bzw. komplett verschwinden können.

Laut **ÖVBB Richtlinie Sichtbeton-Geschalte Betonflächen 2009** ist die Farbtongleichmäßigkeit eine klassenbildende Anforderung an die Betonoberfläche. Das bedeutet, dass bei der Ausschreibung Angaben über die geforderte Qualität gemacht werden müssen um eine Anforderungsklasse zu definieren. In der ersten Klasse FT1 sind Grautonunterschiede im Bereich von vier benachbarten Farbtonstufen zulässig, egal ob partielle Grautondifferenzen, Grautonwolken oder Grautonstreifen vorhanden sind.

Deutlich strenger sind die Regelungen in der höheren Qualitätsstufe FT2. Hier sind Farbunterschiede von Schüttagungen unzulässig. Im Gegensatz dazu werden bei den „Grenzen der Ausführbarkeit“ leichte Farbtonunterschiede zwischen aufeinander folgenden Schüttagungen als nur eingeschränkt vermeidbar eingestuft. Diese beiden Aussagen lassen einen gewissen Auslegungsspielraum offen, denn sogar leichte Farbtonunterschiede sind eindeutig sichtbar.

Selbst die Klasse FT3 lässt leichte Wolkenbildungen und geringe Farbtonabweichungen zu, begrenzt diese aber auf einen Bereich von zwei benachbarten Farbtonstufen. In dieser Klasse sind - wie in der höchsten Klasse der ÖNORM B 2211 - Verfärbungen durch ungeeignete Nachbehandlung unzulässig. Somit wird auch hier festgelegt, dass ein Abstand zwischen Betonoberfläche und Folie bzw. Holz bei diversen Nachbehandlungsverfahren vorhanden sein muss.

Im Punkt 6 geht die Richtlinie Sichtbeton genauer auf die Schalhaut ein und hier ist auch folgender wichtiger Grundsatz zu lesen, bei dessen Einhaltung partielle Grautondifferenzen vermieden werden können. „*Die Wirkung der Holzinhaltsstoffe kann verringert werden, indem die neue Schalung vor dem ersten Einsatz vorbehandelt wird (Einschlämmen mit Zementmilch bzw. vorheriger Einsatz bei anderen Bauteilen)*.“<sup>90</sup>

Wie viel Trennmittel auf welche Schalhautoberfläche aufgetragen werden muss, wird in der Richtlinie in den Kapiteln 6 und 7 behandelt. In der Tabelle 6/1 auf der Seite 29 findet man für jede Schalhautart die Empfehlung des Trennmittels. Mit folgendem Zitat wird die Frage nach der richtigen Auftragsmenge geklärt: „*Die Trennmittelschicht soll nach Angaben des Herstellers in der geringst möglichen Auftragsmenge gleichmäßig über die gesamte Schalfläche*

<sup>89</sup> ON: ÖNORM B 2211, Ausgabe 2009-06-01; S. 13.

<sup>90</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 28.

verteilt sein.<sup>91</sup> Weiters findet man im selben Absatz den Hinweis auf unerwünschte Nebenwirkungen, wie z.B. Fleckenbildungen bei zu großem Trennmittelauftrag. Weiters wird in diesem Kapitel durch einige Aussagen unwiderruflich klargestellt, wie komplex und wichtig der richtige Trennmittelauftrag ist.

Aber auch über die richtige Betonzusammensetzung findet man Angaben. In Tabelle 8/1 wird unter anderem erwähnt, dass die zulässige W/B-Wert Schwankung bei allen Klassen maximal +/- 0,02 vom Zielwert betragen darf.

Bei der niedrigsten Betonstandardklasse wird über die Gesteinskörnung lediglich angemerkt, dass diese eine Sieblinienklasse SK2 aufweisen soll. Bei den beiden höheren Betonstandards wird zusätzlich zur erhöhten Sieblinienklasse SK1 hingewiesen, dass kein Wechsel der Gewinnungsstätte stattfinden darf. Durch diese Anforderungen wird auf die Vermeidung von Grautondifferenzen zwischen verschiedenen Schüttilagen hingewiesen und empfohlen bei hohen Sichtbetonanforderungen nur einen Betonlieferanten zu wählen.

Um Grautonwolken zu vermeiden, wird in der ÖVBB Richtlinie auf den Seiten 39 ff auf Details, wie unter anderem auf die maximale Schütthöhe und die richtige Verdichtung, eingegangen. Bei den Angaben über die Nachbehandlung für Betonstandards BSBQ wird zwar auf eine Abdeckung mit Folien oder Bauschutzmatten hingewiesen, dass aber durch die falsche Anbringung der Folie – beispielsweise mit direktem Kontakt mit der Betonoberfläche - Grautonwolken entstehen können, wird nicht detailliert angeführt.

Das **Merkblatt Sichtbeton der DBV und der BDZ** definiert ebenfalls drei Farbtongleichmäßigkeitsklassen, die nahezu ident mit der ÖVBB Richtlinie sind. Auch hier sind sogar in der höchsten Anforderungsklasse leichte Wolken und geringe Farbtonabweichungen zulässig. Es wird auch hier darauf hingewiesen, dass Farbtonunterschiede auch bei größter handwerklicher Sorgfalt nicht gänzlich auszuschließen sind. Weiters werden auch leichte Farbtonunterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Schüttilagen als nur eingeschränkt vermeidbar deklariert.

Durch die bautechnischen Grundsätze werden ebenfalls wichtige Punkte aufgezeigt die Grautonverfärbungen verhindern. Unter anderem wird darauf hingewiesen, dass Sichtbetonbauteile so zu dimensionieren und konstruieren sind, dass ein einfaches und zügiges Betonieren möglich ist.<sup>92</sup>

Auch auf die richtige Nachbehandlung durch Abdecken mit Folien wird hingewiesen. Hier sogar mit der zusätzlichen Information, dass sich keine Hilfsmittel wie Kanthölzer usw. auf den Flächen abzeichnen dürfen.<sup>93</sup>

<sup>91</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 33.

<sup>92</sup> Vgl.: DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 16.

<sup>93</sup> Vgl.: DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 28.

Im Anhang E wird neben der möglichen Veränderung der Farbe während der Erhärtung und Austrocknung nach dem Ausschalen auch auf die Dunkelverfärbungen eingegangen, die durch zu langes Belassen von nichtsaugenden Schalungen auftreten können.

### 3.3 Rostverfärbungen

#### 3.3.1 Mangelbeschreibung

Rostverfärbungen sind rotbraune Verfärbungen der Sichtbetonoberfläche, die meist auf den Rost der Bewehrung zurückzuführen sind. Die Rostpartikel, die von der Bewehrung abrieseln oder durch Niederschlag abgewaschen werden, sind in den ersten Millimetern der Betonoberfläche eingebunden und somit im Nachhinein kaum nachbesserbar.<sup>94</sup> Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass der Rost des Stahls den Verbund der Bewehrung im Beton erhöht. Aufgrund dieser Tatsache und dem höheren Preis von nichtrostenden Stahl wird heutzutage hauptsächlich Bewehrung eingesetzt, die Oberflächenrost aufweist.

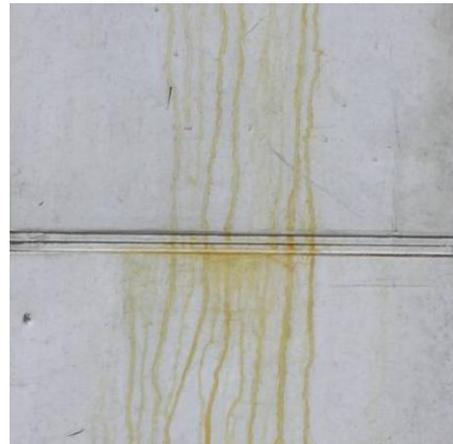


Abbildung 3 Rostspuren

(Foto: ÖVBB)

Man unterscheidet zwischen Rostflecken, die meist an Deckenuntersichten zu finden sind und Rostfahnen, die an vertikalen Bauteilen - meist beginnend bei Arbeitsfugen - streifenförmig nach unten verlaufen.

#### 3.3.2 Mangelursache

##### Rostfahnen

Rostfahnen sind, wie bereits erwähnt, Verschmutzungen der Betonoberfläche, die bei Betonierabschnitten von vertikalen Bauteilen bei Arbeitsfugen mit herausragender und noch freiliegender Anschlussbewehrung entstehen.<sup>95</sup> Durch Witterungseinflüsse wird der Rost der Bewehrung abgewaschen und läuft über die frische Sichtbetonoberfläche ab, wo sich die Rostpartikel absetzen und somit Rostschlieren hervorrufen.

<sup>94</sup> Vgl.: PECK, M.; BOSE, T.; BOSOLD, D.: Technik des Sichtbetons; S. 99.

<sup>95</sup> Vgl.: PFEIFER, G.; LIEBERS, A.; BRAUNECK, P.: Sichtbeton - Technologie und Gestalt; S. 213.

Rostfahnen können auch bei durch Absprengung der Betondeckung frei gelegter Bewehrung auftreten. Die Ursachen und die Vermeidung von korrosionsbedingten Absprengungen werden im Kapitel 4.6 behandelt.

### Rostflecken

Befinden sich an der Deckenunterseite Rostspuren, kann dies mehrere Ursachen haben. Sind streifenförmige Rostabdrücke zu sehen, wurde meist die korrosionsbelastete Bewehrung vor dem Einsetzen der Abstandhalter auf die trennmittelbedingt klebende Schalung aufgelegt.<sup>96</sup> Aber auch durch Witterungseinflüsse sowie beim Begehen während der Bewehrungsarbeiten und während dem Betoneinbau kann der Rost abrieseln und sich auf der Schalung ansammeln. Beeinflussende Faktoren sind in diesem Zusammenhang:<sup>97</sup>

- die Wetterbedingungen – Regnet es, während die Bewehrung auf der Schalung der Witterung ausgesetzt ist, kann das Wasser Rostpartikel vom Bewehrungsstahl aufnehmen und auf die Schalung transportieren. Dort verdunstet oder läuft das Wasser ab und zurück bleiben Partikel, die den Beton rotbraun einfärben.
- der Bewehrungsanteil und die Komplexität des Bewehrungsbauwerkes – Je mehr Stahl vor Ort eingebaut werden muss und je komplizierter die Bewehrungsführung ist, desto öfter müssen die Arbeiter die Schalung und die Bewehrung begehen. Durch die mechanische Belastung wird der Rost von der Bewehrung gelöst und rieselt auf die Schalungsoberfläche. Mit dem hohen Bewehrungsanteil geht auch eine schwierigere Reinigung der Schalungsoberfläche vor dem Betonieren einher.
- die Standzeit der Bewehrung vor der Betoneinbringung – Besonders bei großen Flächen, die in Einem betoniert werden sollen ist dauert die Bewehrungseinbringung lange. Durch eine komplizierte Bewehrungsstruktur wird der Einbau weiters verlängert. Je länger die Standzeit ist desto höher ist das Risiko eines Regenschauers, der den Rost auf die Schalung transportiert.
- der Zeitpunkt des Betonierens und der Reinigung – Wird kurz vor oder während eines Regengusses versucht die Schalungsoberfläche zu reinigen, ist dies vergebene Mühe, da durch den Regen erneut Rostpartikel auf die Schalungsoberfläche gelangen. Auch wenn es während dem Betonieren regnet wird der Rost, der mechanisch durch das Begehen oder das Rütteln gelöst wurde, vermehrt abgeschwemmt.

Verwunderlich ist die Tatsache, dass bei saugenden Schalungen Rostverfärbungen relativ selten auftreten, während diese bei glatten, nichtsaugenden Deckenschalungsoberflächen häufig anzutreffen sind. Die Gründe dafür konnten bis heute noch nicht festgestellt werden.

<sup>96</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 93.

<sup>97</sup> Vgl.: KNOTT, A; KOCH, J.: Konfliktpotential Sichtbeton, in: db deutsche bauzeitung, 01/2007; S. 54.

Ein weiterer Grund für Rostspuren können Bindedrahtreste sein, die vor dem Betonieren nicht mit ausreichender Sorgfalt von der Schalungsoberfläche entfernt wurden.<sup>98</sup> Werden nicht rostfreie Heftmittel für die Befestigung der Schalungshaut auf der Unterkonstruktion verwendet, ist eine rostbedingte Oberflächenverfärbung unumgänglich.<sup>99</sup>

Aber auch durch die falsche Lagerung von Schalungen mit Stahlgurtungen kann sich Rost von den Gurten auf der darauf bzw. darunter liegenden Schalungshaut absetzen. Bei der nächsten Verwendung dieser verschmutzten Schalungselemente überträgt sich der Rost auf die Sichtbetonoberfläche und ruft somit streifenförmige Verfärbungen hervor.

### 3.3.3 Vermeidung des Mangels

#### Rostfahnen

Um Rostfahnen an fertigen Sichtbetonoberflächen zu vermeiden muss die Anschlussbewehrung bei horizontalen Arbeitsfugen von vertikalen Bauteilen geschützt werden. Dieser Schutz kann einerseits durch das Einstreichen der herausragenden Bewehrung mit Zementleim gewährleistet werden. Andererseits kann die Anschlussbewehrung auch mit Kunststoffplanen abgedeckt werden. Dabei ist jedoch Vorsicht geboten, da sich bei ungünstiger Witterung unter der Kunststoffhaube Kondenswasser bilden kann, das Rost von der Bewehrung aufnehmen kann und in weiterer Folge zu einer Verschmutzung der Sichtbetonoberfläche führt.<sup>100</sup> Man kann natürlich auch zur Vermeidung von Rostschlieren Betonstahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand verwenden. Dies ist aber mit einem erhöhten Materialkostenaufwand verbunden. Eine andere Möglichkeit Rostfahnen zu verhindern, ist die Ausführung der Arbeitsfuge mit einem Gefälle weg von der Sichtseite.<sup>101</sup> Ebenso kann durch das Aufbringen einer „PU-Schaum“-Barriere am Bauteilrand ein Abfließen des Wassers über die Sichtbetonoberfläche in einem gewissen Ausmaß verhindert werden.<sup>102</sup> Diese Variante kann Probleme hervorrufen, da sich der Schaum an der späteren Oberfläche abzeichnen kann.

#### Rostflecken

Um Rostverfärbungen an Deckenuntersichten zu vermeiden, darf die Bewehrung niemals direkt auf die Schalung abgelegt werden, denn der Rost kann am Trennmittel kleben bleiben. Deshalb sind ring- oder flächenförmige Abstandhalter aus Beton oder Kunststoff zweckdienlich, die zu Beginn der Bewehrungsarbeiten auf die Schalung gelegt werden.<sup>103</sup>

<sup>98</sup> Vgl.: DÖRR, M.; HOFFMANN, F.: Rost angesetzt, in: bd baumaschinendienst, 11/2004; S. 35ff.

<sup>99</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Planung; S. 123.

<sup>100</sup> Vgl.: FIALA, H.; OGNIWEK, D.; Fuchs, R.; SCHUON, H.: Wegweiser Sichtbeton; S. 71.

<sup>101</sup> Vgl.: PERI: Arbeitsheft Sichtbeton-Schalung; S. 75.

<sup>102</sup> Vgl.: FIALA, H.; OGNIWEK, D.; Fuchs, R.; SCHUON, H.: Wegweiser Sichtbeton; S. 71.

<sup>103</sup> Vgl.: DÖRR, M.; HOFFMANN, F.: Rost angesetzt, in: bd baumaschinendienst, 11/2004; S. 35.

Von schlangenförmigen Stahlabstandhaltern soll abgesehen werden, da diese wiederum Rostablagerungen aufweisen.

Um das Abrieseln bzw. das Abschwemmen des Rostes während der Erstellung des Bewehrungsbauwerks zu verringern, ist auf eine kurze Standzeit zu achten. Diese kann man unter anderem durch das Einteilen von größeren Decken und langen Unterzügen in Betonierabschnitte erreichen. Weiters soll der Bauzeitplan auf die Wetterbedingungen und die Betonagen so abgestimmt werden, dass zwischen der Schalungsreinigung und der Betoneinbringung keine erneute Verschmutzung stattfinden kann. Auch eine einfache Bewehrungsstruktur und ein niedriger Bewehrungsgrad verkürzen den Stundenaufwand beim Bewehrungseinbau.<sup>104</sup> Es wird dadurch die Zeitspanne, in der durch das Begehen und durch möglichen Regen der Rost auf die Schalungsoberfläche gelangen kann, minimiert.

Bei Betonuntersichten, die sichtbar bleiben, soll nach der Bewehrungseinbringung und direkt vor dem Betonieren die Schalungsoberfläche ordnungsgemäß gesäubert werden. Dies kann durch Absaugen, Abblasen mit Luft, Abspritzen mit Wasser und auch mit Magneten erfolgen, die Bindedrahtreste entfernen. Um diese Maßnahmen durchführen zu können, sind ausreichende Öffnungen im Bewehrungsbauwerk vorzusehen. Durch die Verwendung eines nicht klebrigen Trennmittels wird das Reinigen vereinfacht, da sich die Rostpartikel leichter von der Schalungsoberfläche lösen.<sup>105</sup>

Alle bisher angeführten Maßnahmen können Rostverfärbungen nur in einem gewissen Maß eindämmen. Sollen Rostspuren an Deckenuntersichten komplett vermieden werden, ist die Verwendung von Edelstahl oder verzinkter Bewehrung unumgänglich. Die Verwendung dieser nicht rostenden Bewehrung hat neben dem höheren Preis noch weitere Nachteile. Der Rost des Bewehrungsstahls schafft einen guten Verbund zwischen Stahl und Bewehrung. Ist dieser Rost nicht vorhanden, wie dies z.B. bei Edelstahl der Fall ist, muss mehr Stahl verwendet werden um die gleiche Tragfähigkeit zu erhalten, die ein Bauteil mit Standardbewehrung aufweisen würde. Die Folgen sind neben einer größeren Bauteilabmessung eine zusätzliche Preissteigerung durch den Mehrverbrauch. Darüber hinaus sind verzinkter Bindedraht und rostfreier Stahl als Heftmittel für die Schalhaut einzusetzen.

Bei der stapelförmigen Lagerung von Schalelementen mit Stahlgurtungen ist besondere Vorsicht geboten. Es darf hier kein direkter Kontakt der Schalhaut mit dem rostenden Stahl vorliegen.

---

<sup>104</sup> Vgl.: DÖRR, M.; HOFFMANN, F.: Rost angesetzt, in: bd baumaschinendienst, 11/2004; S. 39.

<sup>105</sup> Vgl.: DÖRR, M.; HOFFMANN, F.: Rost angesetzt, in: bd baumaschinendienst, 11/2004; S. 35.

### 3.3.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema

Selbst für die niedrigste Farbgleichheitsklasse normiert die **ÖNORM B 2211** Folgendes: „*Flächige Verfärbungen, verursacht durch Rost, (...) sowie linienförmige Verfärbungen (Abzeichnung der Bewehrung) sind unzulässig.*“<sup>106</sup> Somit wird klargestellt, dass Rostspuren - egal in welchem Ausmaß sie auftreten - laut ÖNORM immer als Mangel anzusehen sind und bei der Abnahme beanstandet werden können.

Ebenso wie in der ÖNORM B 2211 wird auch in der **ÖVBB Richtlinie Sichtbeton – Geschalte Betonflächen 2009** bereits in der niedrigsten Farbtongleichmäßigkeitsklasse FT1 angemerkt, dass Rostflecken unzulässig sind. Verwunderlich ist aber in diesem Zusammenhang die konträre Aussage unter Punkt 5.6 der Richtlinie: „*einzelne (...) Rostfahnen an vertikalen Bauteilen, Rostspuren an Untersichten von horizontalen Bauteilen*“<sup>107</sup> sind nur eingeschränkt vermeidbare Abweichungen. Im selben Kapitel der Richtlinie wird klargestellt, dass eine „*Häufung von Rostfahnen an vertikalen Bauteilen sowie von Rostspuren durch zurückgelassene Bewehrungsreste an den Untersichten horizontaler Bauteile*“<sup>108</sup> im Allgemeinen vermeidbar sind. Dass hier unterschiedliche Auslegungen der verschiedenen Interessensvertretungen möglich sind, ist kaum zu übersehen, denn eine genaue Abgrenzung zwischen „*einzelnen Rostfahnen*“ und einer „*Häufung von Rostfahnen*“ ist schwierig. Die Abbildungen 5/37 und 5/39 zeigen zwar verschiedene Arten von Rostspuren und sie werden als eingeschränkt vermeidbar bzw. allgemein vermeidbare Abweichung deklariert, eine genaue Abgrenzung lässt sich aber trotzdem nicht erkennen.

In der Abb. 5/40 der ÖVBB Richtlinie wird mit Hilfe eines Fotos klargelegt, wie wichtig der Schutz der Bewehrung zur Vermeidung von Rostspuren ist. Dies wird auch durch die eindeutige Empfehlung in Kapitel 9 ersichtlich. Dort wird festgelegt, dass „*Bei Schalungen, wo das Bewehrungsessen zu lange ohne Beton eingebaut bleibt bzw. Niederschlagswasser Rostfahnen an der Schalung bewirken, soll eine Abdeckung der Bewehrung oder des Bauteils vorgesehen werden*“<sup>109</sup>.

Auch im **Merkblatt Sichtbeton der DBBV und der BDZ** sind Rostverfärbungen in der untersten Klasse der Farbtongleichmäßigkeit unzulässig. Aber auch in diesem Regelwerk besteht bei der Ausführbarkeit das Problem der genauen Beschreibung des Ausmaßes der Rostverfärbungen zwischen eingeschränkt vermeidbar und im Allgemeinen vermeidbare Mängel.

<sup>106</sup> ON: ÖNORM B 2211, Ausgabe 2009-06-01; S. 13.

<sup>107</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 25.

<sup>108</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 25.

<sup>109</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 38.

Die Regelung, dass die Zeitspanne zwischen Aufstellen der Schalung und dem Betoneinbau möglichst kurz gehalten werden soll<sup>110</sup>, zielt darauf ab Rostverfärbungen zu verringern. Es wird auch im Kapitel 6.2 darauf hingewiesen, dass bei längeren Standzeiten von horizontalen Bauteilen die Gefahr besteht, dass Rostpartikel vom Bewehrungsstahl auf die Schalung fallen und nicht entfernt werden können.

Um Rostverschmutzungen von vertikalen Bauteilen zu verhindern, gibt das Merkblatt im Kapitel 6.4 an, dass die Anschlussbewehrung bei Arbeitsfugen zu schützen ist.

Auch im Anhang des Merkblattes werden als Ursachen für Gelb- und Braunverfärbungen „Rostablagerungen der Bewehrung bei horizontalen oder geneigten Bauteilen“ und „Rostablagerungen von Stahlgurtungen beim stapelförmigen Lagern von Schalungselementen“<sup>111</sup> angegeben und somit auf die Gründe von Rostverfärbungen an Sichtbetonoberflächen hingewiesen.

---

<sup>110</sup> Vgl.: DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 28.

<sup>111</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 50.

## 4 Texturunregelmäßigkeiten

### 4.1 Kiesnester

#### 4.1.1 Mangelbeschreibung

Kiesnester sind poröse, waschbetonähnliche Bereiche, die durch den Verlust der Feianteile und des Zements in Oberflächennähe entstehen. Es handelt sich um Hohlräume zwischen der Gesteinskörnung, die nicht mit Zementleim oder Mörtel gefüllt sind.<sup>112</sup> Man kann also auch von einer Ansammlung von Lufteinschlüssen im Korngerüst sprechen, die an der Oberfläche sichtbar sind. Sie sind einer der am häufigsten auftretenden Qualitätsmängel bei Sichtbetonbauwerken. Der Unterschied zwischen Kiesnester und Versandungen ist das Ausmaß der Freilegung. Bei Kiesnestern sind - im Gegensatz zur Versandung - noch weniger Feinteile in einem Oberflächenbereich vorhanden, wodurch auch die größeren Zuschlagskörner freigelegt werden. Die Grenze, ab welcher Größe oder Tiefe man bei einem offengelegten Korngerüst von einem Kiesnest



Abbildung 4 Kiesnest

(Foto: M. Mühleder)

und wann von einer Versandung spricht, ist schwer abzuschätzen und somit im Einzelfall zu beurteilen. Da lediglich das Ausmaß der Störung unterschiedlich ist können alle hier angeführten Ursachen und Maßnahmen auch Versandungen auslösen bzw. verhindern. Kiesnester sind, wenn sie ein gewisses Ausmaß annehmen, keine rein optischen Mängel mehr. Ein offenes Betongefüge beschleunigt die Karbonatisierung und erhöht so die Wahrscheinlichkeit von Abplatzungen durch rostende Bewehrung.<sup>113</sup> Auf dieses Thema wird an gegebener Stelle noch näher eingegangen.

<sup>112</sup> Vgl.: o.V.: Beton richtig verdichten, [http://www.meva.de/wMeva/presse/entries/2009\\_04\\_betonverdichtung.php?listLink=1](http://www.meva.de/wMeva/presse/entries/2009_04_betonverdichtung.php?listLink=1), am 04.07.2010 um 16:38.

<sup>113</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 171.

#### 4.1.2 Mangelursache

Werden sägerauhe Bretter stumpf gestoßen oder wird eine Spundung unzureichend ausgeführt, kommt es aufgrund des Zementleim- und Feinteilablaufes durch die offene Fuge zur Kiesnestbildung. Bei den Stößen von plattenartigen Schalelementen und Rahmenschalungen kann derselbe Effekt auftreten. Die Eigenfeuchtigkeit von Holz beeinflusst das Quellen bzw. Schrumpfen der Schalung und somit die Größe der Fugen zwischen den Schalelementen. Wird das Holz feucht in der Schalung verbaut, kann es während der Bewehrungsarbeiten oder anderer Stehzeiten austrocknen und schrumpfen, wodurch eine undichte Schalungsfuge entsteht.<sup>114</sup>

Aufgrund der Verdichtungsenergie kommt es besonders in den Fußbereichen, bei diversen Aussparungen sowie bei horizontalen Arbeitsfugen, bei Spannstellen und bei stumpf ausgebildeten Eckkonstruktionen vermehrt zu konstruktiven Schalungsspielräumen und in weitere Folge zu Undichtheiten und Kiesnestern.<sup>115</sup> Verstärkt wird das Austreten der Schlämme durch eine instabile Schalung und eine zu intensive Verdichtung.<sup>116</sup>

Aber auch das Gegenteil, nämlich ein ungenügender Verdichtungs Vorgang kann ein Grund für Kiesnester sein. Beim zu kurzen Rütteln des Betons bzw. beim zu schnellen Ziehen der Rüttlerflasche kann der Mörtel nicht vollständig in alle Hohlräume des noch nicht homogenisierten Betongefüges eindringen.<sup>117</sup> Die Folge sind Kiesnester, die unter anderem auch in der Mitte einer Schalungsplatte ohne jeglicher Undichtheit auftreten können.

Kiesnester können ebenso beim Einbau des Betons verursacht werden. Wird der Beton - vor allem bei hohen Stützen und Wänden - ohne Hosenrohr eingebracht, können Entmischungerscheinungen auftreten. Durch eine große Fallhöhe kommt es zu Entmischungerscheinungen und es fehlen vor allem im Fußbereich der Schalung die Feinteile.<sup>118</sup> Trotz einer abgedichteten Schalung können so Nester in diesem Bereich sichtbar werden. Genau umgekehrt kann sich diese Entmischung bei einem zu hohen Bewehrungsgrad ohne Rüttelgassen auswirken. Hier bleiben die größeren Körner im „Bewehrungssieb“ hängen und nur die Feinteile und die Schlämme können nach unten dringen. Negativ wirkt sich in diesem Fall auch eine zu geringe Betonüberdeckung aus. Der größere Kies kann sich zwischen der Bewehrung und der Schalungsoberfläche leicht verkeilen und ansammeln. Diese Haufwerksansammlungen können auch durch eine anschließende intensive Verdichtung schwer homogenisiert werden.

<sup>114</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 19.

<sup>115</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 72.

<sup>116</sup> Vgl.: ABEL, A.: Allgemeine Mangelerscheinungen, [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Beton\\_Allgemeine-Mangelerscheinungen\\_151196.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Beton_Allgemeine-Mangelerscheinungen_151196.html), am 05.07.2010 um 08:26.

<sup>117</sup> Vgl.: o.V.: Einbringen, Verdichten und Nachbehandeln von Beton, [http://www.aarebeton.ch/normen\\_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf](http://www.aarebeton.ch/normen_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf), am 04.07.2010 um 08:33.

<sup>118</sup> Vgl.: o.V.: Einbringen, Verdichten und Nachbehandeln von Beton, [http://www.aarebeton.ch/normen\\_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf](http://www.aarebeton.ch/normen_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf), am 04.07.2010 um 08:33.

Darüber hinaus ruft das so genannte „Bluten“ Kiesnester hervor. Als „Bluten“ wird fälschlicherweise oft das oben erklärte Ablaufen der Zementschlämme zwischen den Schalungsfugen bezeichnet. Richtigerweise spricht man von „Bluten“, das auch des Öfteren als „Schleppwasserbildung“ bezeichnet wird, wenn durch das Absinken der groben Zuschlagskörner im Zementleim das Wasser abgesondert wird. Aufgrund der geringeren Dichte des Wassers wird es nach oben verdrängt, wobei es Feinanteile mit sich nimmt.<sup>119</sup> (Siehe Abbildung 5) Dadurch entstehen bei einem fertig gemischtem, eingebrachten und verdichteten Beton vor dem Erstarren Entmischungerscheinungen, die zu einer Grobkornfreilegung an der Oberfläche führen können.<sup>120</sup> Ausschlaggebende Gründe für das Bluten sind neben einem hohen W/B-Wert und einer nicht entsprechenden Auswahl von Fließmitteln und Verzögerern auch ein zu hoher Feinteilgehalt sowie eine zu intensive Verdichtung. Glatte nichtsaugende Schalnhäute unterstützen den natürlichen Auftrieb des Überschusswassers.<sup>121</sup>

#### 4.1.3 Vermeidung des Mangels

Bei einer Verwendung von Brettschalungen müssen die Bretter mit einer geeigneten Spundung zusammengefügt werden. Nur so wird verhindert, dass die Betonschlämme aus den Fugen entweichen kann.<sup>122</sup> Um bei plattenartigen Schalelementen und Rahmenschalungen eine dichte Fuge zu erhalten, ist eine Abdichtung mittels komprimierbarem Schaumstoffstreifen notwendig.<sup>123</sup> Auch bei Aussparungseinbauten in der Schalung muss eine Abdichtung zur Schalautoberfläche mittels eines Dichtbandes sichergestellt werden. Die Konen der Abstandhalter bei den Schalungsankern müssen ebenfalls mittels eines Schaumstoffrings zur Schalung hin abgedichtet werden. Um Ecken dicht herstellen zu können, wird empfohlen entweder Spezialelemente von Systemschalungen zu verwenden oder *„einen Eckschenkel durchlaufen zu lassen und dann die zweite stumpf gestoßene Hautplatte im Längsfugenbereich mittels Schaumstoffstreifen völlig anzudichten“*.<sup>124</sup> Voraussetzung für die Nutzung von Systemschalungselementen, die eine absolut sichere Eckabdichtung aufweisen, ist das Verwenden von standardisierten Abmessungen in der Planung. Vor allem die Abdichtung der Aufstandsfuge der Schalung ist wichtig, da hier der größte Druck ansteht. Die Schalelemente sollen deshalb gut im Untergrund befestigt werden und die Fuge zwischen Bodenplatte und Wand ist durch komprimierbare Dichtschnüre abzudichten. Auch bei horizontalen Arbeitsfugen ist das Andichten der weiterführenden Schalung an den unteren bestehenden Beton besonders

<sup>119</sup> Vgl.: o.V.: Bluten, <http://www.b-i-m.de/Lexikon/Inhalt/bluten.htm>, am 16.08.2010 um 19:08.

<sup>120</sup> Vgl.: SCHULU, J.: Sichtbeton Atlas; S. 67.

<sup>121</sup> Vgl.: SCHMIDT-MORSBACH, J.: Sichtbeton-Oberflächen für Planung und Ausführung; S. 33.

<sup>122</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 21.

<sup>123</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 70.

<sup>124</sup> SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 73.

wichtig. Durch den Betondruck wird die Schalung vom erhärteten Beton abgedrückt und Zementleim kann an dieser Stelle auslaufen. Wird eine zusätzliche Ankerstelle direkt über der Fuge angeordnet, können die Verformungen gering gehalten werden. Wird die Schalung mit einem Dichtband abgedichtet, entsteht - auch wenn nur ein sehr geringer Abstand entsteht - unwiderruflich ein Versatz. (mehr dazu im Kapitel 5.1.) Eine Möglichkeit einen Versatz zu kaschieren und eine gute Abdichtung der Schalung zum bestehenden Bauteil zu erhalten, besteht in der Einplanung einer Schattennut. Wird beim unteren Arbeitsgang bis zur Hälfte der fugenbildenden Leiste betoniert, kann man anschließend die obere Schalung gut an diese Einlage andichten (Siehe folgende Skizze).

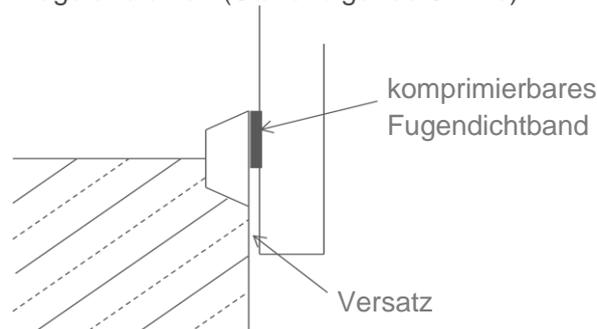


Abbildung 5 Arbeitsfugenausbildung

Ein weiteres Augenmerk soll auf eine stabile Ausführung der Schalungsunterkonstruktion gelegt werden, da durch eine Verformung, die durch den Frischbetondruck hervorgerufen wird, Fugen geöffnet werden können. Es ist wichtig, dass die verwendete Schalhaut beim Herstellen des Schalungsbauwerkes die gleiche Eigenfeuchte aufweist wie kurz vor dem Einbringen des Betons. Durch ein geeignetes Trennmittel kann die Schalung in einem gewissen Maß gegen Austrocknen „abgesperrt“ werden.<sup>125</sup>

Besonders bei der Betonverarbeitung muss auf einige Dinge Rücksicht genommen werden. Bei der Betoneinbringung dürfen keine Entmischungerscheinungen auftreten. Diese werden durch die Einhaltung einer maximalen Fallhöhe und eines maximalen Bewehrungsgehalts vermieden. (näheres dazu siehe Kapitel 3.2.3)

Eine ausreichende Betonüberdeckung zwischen Bewehrung und Schalungshaut, verhindert das Ansammeln von Grobkörnern in diesem Bereich. Empfohlen wird ein Abstand von Größtkorn plus 5 mm.<sup>126</sup> Um eine ausreichende Betondeckung auch bei Arbeits- und Gestaltungsfugen sicherzustellen, ist ein Versatz der Bewehrung um die Größe der Nuttiefe vorzusehen.<sup>127</sup> Auch ein ausreichender Bewegungsspielraum der Bewehrung in der Schalung muss gegeben sein, da anderenfalls Zwänge auftreten würden, welche die Betonüberdeckung verringern könnten. Die Bewehrungs- und

<sup>125</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 15.

<sup>126</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 138.

<sup>127</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 120.

Schalungspläne sollen im Vorfeld und während der gesamten Arbeiten von allen Beteiligten auf ihre Praxisbezogenheit geprüft werden.<sup>128</sup>

Es ist weiters darauf zu achten, dass der gesamte Beton ausreichend verdichtet wird. Bei der Verwendung von Schalungsrüttler sind die Herstellerempfehlungen bezüglich Rüttleranordnung und Rüttelzeit genau einzuhalten. Bei der Innenverdichtung ist die Rüttelflasche zügig in den Beton einzuführen und langsam wieder zu ziehen.<sup>129</sup> Nur so kann man eventuelle Entmischungserscheinungen entlüften und wieder homogenisieren. Außerdem sollen die vom Wirkdurchmesser des Rüttlers abhängigen Abstände der Eintauchstellen eingehalten werden. In diesen Abständen sollen auch die Rüttelgassen angeordnet sein, sofern der hohe Bewehrungsgehalt dies verlangt. Der Beton darf aber auch nicht zu viel verdichtet werden, da er sonst zum Bluten neigt und sich an der Oberfläche Wasserläufer bilden. Um die Blutneigung zu verringern, ist ein Betongemisch mit niedrigem W/B-Wert, gut abgestufter Sieblinie und ein Zement mit einer hohen Mahlfeinheit zu wählen.

Durch die Verwendung von Fließmitteln können zwar Entmischungen und Kiesnester, die durch einen zu hohen Bewehrungsgrad oder einen zu geringen Verdichten entstehen, verringert werden, die Gefahr des Blutens wird dadurch jedoch erhöht.<sup>130</sup> Zu beachten ist deshalb, dass eine dichte Schalung verwendet wird, da durch eine weichere Konsistenz mehr Zementleim durch undichte Fugen austreten kann. Werden Stabilisierer als Zusatzmittel eingesetzt, wird sowohl das Austreten des Zementleims bei Fugen verhindert als auch das Bluten verringert.

Bei der Verwendung von selbstverdichtendem Beton ist die Dichtigkeit der Schalung besonders wichtig. Der Einsatz von selbstverdichtendem Beton ist vor allem bei komplizierten Bauteilen oder bei großen, langen Einbauten empfehlenswert, da dort oft Bereiche vorliegen, die nicht entlüftet werden können.

#### 4.1.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema

Im Kapitel „Struktur von bleibenden, geschalteten Betonflächen“ der **ÖNORM B 2211** wird die Qualität der Sichtbetonoberfläche in vier Strukturklassen unterteilt. Bereits in der Niedrigsten dürfen keine Grobkornansammlungen an der Betonoberfläche vorhanden sein. Sind an der Sichtbetonoberfläche eines Bauteils Kiesnester sichtbar, sind diese somit laut Norm unzulässig, egal welche Sichtbetonqualität ausgeschrieben worden ist. Dies ist die einzige Aussage der B 2211 zu diesem Thema, diese ist dafür eindeutig.

<sup>128</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 140.

<sup>129</sup> Vgl.: o.V.: Beton richtig verdichten, [http://www.meva.de/wMeva/presse/entries/2009\\_04\\_betonverdichtung.php?listLink=1](http://www.meva.de/wMeva/presse/entries/2009_04_betonverdichtung.php?listLink=1), am 05.07.2010 um 12:57.

<sup>130</sup> Vgl.: o.V.: Easycrète, [http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/CE9A2015-2FA0-4E95-8648-FA81198CA415/0/Easycrète\\_Prospékt.pdf](http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/CE9A2015-2FA0-4E95-8648-FA81198CA415/0/Easycrète_Prospékt.pdf), am 05.07.2010 um 12:59.

Die **ÖVBB Richtlinie Sichtbeton – Geschalte Betonflächen** definiert unter den Begriffsbestimmungen genau was unter einem Kiesnest zu verstehen ist. Als Kiesnester bezeichnet man eine *„Störung in der Betonoberfläche durch austretenden Zementleim/Feinmörtel, oder Einbaufehler mit Freilegung der groben Gesteinskörnung“*<sup>131</sup>.

Bei den Anforderungen an die Schalungselementstöße sind in beiden Klassen keine Grobkornansammlungen, d.h. Kiesnester, zulässig. In den Schalhautstoßklassen findet man hingegen eine Unterscheidung zwischen Stößen mit üblichem Feinmörtelaustritt in der Klasse HS1 und Stößen mit geringem Feinmörtelaustritt in der Klasse HS2. Da die Menge des Zementleimaustritts das Auftreten von Kiesnestern beeinflusst, ist der Planer gut beraten immer die klassenbildende Anforderung HS2 zu wählen um etwaigen Streitigkeiten aus dem Weg zu gehen. Auf Undichtigkeiten bei Ankerstellen wird in der Tab.5/4/2 eingegangen. Bei dieser nicht klassenbildenden Anforderung wird in der Klasse AS2 auf die Verwendung von Dichtringen zur Verringerung des Feinmörtelaustrittes hingewiesen.

Werden Kiesnester durch Fehler beim Einbringen und Verdichten des Betons ausgelöst, stuft die Richtlinie diese Abweichung bei fachgerechter Ausführung und angemessener Sorgfalt als allgemein vermeidbar ein. Dieselbe Einstufung wird auch bei *„starken Ausblutungen an Schalbrett- und Schalelementstößen sowie an Bauteilanschlüssen und Ankerlöcher (z.B. freiliegende Kornstruktur nach Austreten von Zementleim)“*<sup>132</sup> getroffen. Hier ist wiederum zu sehen, dass der Begriff „Bluten“ für verschiedene Effekte verwendet wird, die nur im Geringsten miteinander zu tun haben.

Alle relevanten Angaben über den richtigen Einbau des Betons sowie über die optimale Verdichtung um Kiesnester zu vermeiden, werden in den Kapiteln 9.3 und 9.4 in der ÖVBB Richtlinie gemacht. Als Beispiele seien hier nur die maximale Fallhöhe beim Einbringen des Betons von 0,5 m bzw. die richtige Tiefe der Vernähung der Schüttaglagen von 10 cm bis 15 cm angeführt.

Im **Merkblatt Sichtbeton der DBBV und der BDZ** findet man bei den Anforderungsklassen ungenaue Aussagen über die Textur. In den drei Klassen wird lediglich zwischen weitgehend geschlossenen Zementleim- und Mörteloberflächen, geschlossenen und weitgehend einheitlichen und glatten, geschlossenen und weitgehend einheitlichen Betonflächen unterschieden. Dass diese Begriffe viel Auslegungsspielraum zulassen, ist kaum zu übersehen.

Da sich die ÖVBB Richtlinie bei den Grenzen der Ausführbarkeit an das DBV-Merkblatt anlehnt, ist klar, dass auch in diesem deutschen Regelwerk Kiesnester als allgemein vermeidbar eingestuft werden. Es wird somit auf das oben Ausgeführte verwiesen.

<sup>131</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 3.

<sup>132</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 25.

Zur Vermeidung von Kiesnestern findet man in den bautechnischen Grundsätzen wichtige Kriterien, die eingehalten werden sollen. Es wird hier u.a. angeführt, dass man „*Öffnungen für das Einbringen und Verdichten des Betons ausreichend dimensionieren und gleichmäßig anordnen*“<sup>133</sup> soll.

Im Kapitel 6 des DBV-Merkblattes wird auf die Anforderungen an die Ausführung eingegangen. Hier findet man beispielsweise den Hinweis auf eine Abdichtung der Schalhaut- bzw. Schalungsstöße. Weiters wird auch auf die maximale freie Fallhöhe des Frischbetons und die Schüttlagenhöhe hingewiesen.

## 4.2 Versandungen

### 4.2.1 Mangelbeschreibung

Versandungen sind - wie bereits im Kapitel 4.1 erwähnt - Kiesnester mit einem geringeren Ausmaß der Freilegung des Korngerüsts. Bei der Versandung wird lediglich das Feinkorngerüst durch Ablauf der Zementschlämme nicht mehr bedeckt. Versandungen und Kiesnester haben zwar unterschiedliche Ausmaße, treten jedoch meistens aufgrund der gleichen Ursachen auf und können auch mit den gleichen Maßnahmen verhindert werden.

Zusätzlich können Versandungen aber auch durch eine oberflächenbezogene Hydratationsbeeinträchtigung ausgelöst werden. Versandungen sind sozusagen auch starke Vermehrungen (Siehe Kapitel 4.3). Der Unterschied zwischen Vermehrungen und Versandungen liegt hier ebenfalls lediglich in der Intensität der Störung. Als Folge einer Versandung tritt nicht nur ein Staubeffekt auf, es wird darüber hinaus auch das Feinkorngerüst freigelegt.

Alle Ursachen und Maßnahmen, die in den Kapiteln 4.1 Kiesnester und 4.3 Vermehrungen angeführt werden, verursachen bzw. vermeiden auch Versandungen.



Abbildung 6 Blüten des Betons  
(Foto: ÖVBB)

<sup>133</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 16.

#### 4.2.2 Mangelursache

An dieser Stelle wird auf das Kapitel 4.1.2 und 4.3.2 verwiesen.

#### 4.2.3 Vermeidung des Mangels

An dieser Stelle wird auf das Kapitel 4.1.3 und 4.3.3 verwiesen.

#### 4.2.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema

An dieser Stelle wird auf das Kapitel 4.1.3 und 4.3.3 verwiesen.

### 4.3 Vermehrungen der Betonoberfläche

#### 4.3.1 Mangelbeschreibung

Bei einer Vermehrung, die des Öfteren auch „Verkreidung der Oberfläche“ genannt wird, handelt es sich um eine Hydratationsstörung an der Oberfläche des Sichtbetons. Der oberste Zementsteinabschluss bindet nicht oder nur unzureichend ab, wodurch sich ein verstärkter Staubeffekt der Sichtbetonoberfläche bildet.<sup>134</sup> Da somit keine Haftung zwischen den Feinteilen des oberflächennahen Betongerüsts und dem Untergrund besteht, kann diese obere Zementsteinhaut beim Entschalungsvorgang auf der Schalungsoberfläche ankleben und vom Bauteil gerissen werden.<sup>135</sup> Wird bei der Vermehrung mehr Feinkorngerüst freigelegt, spricht man von Versandungen.

#### 4.3.2 Mangelursache

Der Zement bindet in den oberflächennahen Bereichen aufgrund später genannter Prozesse nicht vollständig ab. Es kann sich somit keine Haftung zwischen dem Zement an der Oberfläche und dem Untergrund aufbauen. Kommt der Frischbeton mit dem Holzzucker einer neuen, nicht alkalineutralisierten Brettschalung in Kontakt, so kommt es beim Abbindeprozess zu dieser Hydratationsstörung des oberflächennahen Betons. Der gleiche hydratationsstörende Effekt kann auch bei Holzbrettern beobachtet werden, die bei der Lagerung im Freien einer verstärkten UV-Einstrahlung ausgesetzt waren. Auch durch den Wasserentzug von übertröckneten, saugenden Schalungen können Vermehrungen entstehen. Wird zusätzlich auf eine zu trockene, saugende Schalung das Trennmittel ohne

<sup>134</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 101.

<sup>135</sup> Vgl. SCHULZ, J.: Sichtbeton Atlas; S. 69.

vorhergehendes Nässen der Schalung aufgebracht, verliert das Schalmittel seine ursprüngliche Funktion. Das Trennmittel wird zu einer Imprägnierung des Holzes und erfüllt nicht mehr die, schon im Namen steckende, erforderliche Trennung zwischen Beton und Holz. Somit kann das Holz dem Beton mehr Feuchtigkeit entziehen und beim Entschalen kann der nicht abgebunden oberflächennahe Beton auf der Schalung verbleiben. Bei einem überdosierten Auftrag des Trennmittels auf eine nicht saugende Schalung durch ein chemisch reagierendes Entschalungsmittel können ebenfalls Hydratationsstörungen auftreten. Auch in diesem Fall können beim Entschalen durch den Klebeffekt des Trennmittels vermehrte Bereiche vom Bauteil gelöst werden.<sup>136</sup>

Darüber hinaus kann auch die Blutneigung des Betons die Entstehung von Vermehrungen beeinflussen. Wird viel Wasser bei dieser Entmischung abgesondert fehlt es schlussendlich dem Zement um vollständig zu hydratisieren.

#### 4.3.3 Vermeidung des Mangels

Werden frische Bretter in der Schalung verwendet, muss auf einige Punkte besonderes Augenmerk gelegt werden. Erstens besteht die Möglichkeit, dass eine frische Schalung nicht alkalibeständig ist. Um das Austreten des Holzzuckers zu verhindern, müssen Brettschalungen somit vor dem Einsatz auf optisch ansprechenden Sichtbetonoberflächen neutralisiert werden. Dies kann durch folgende Maßnahmen erfolgen:<sup>137</sup>

- Durch ein- oder mehrmaliges Einschlämmen des Holzes mit Zement- oder Kalkmilch wird die chemische Reaktion der Holzinhaltstoffe ausgelöst. Nach 24 Stunden ist die Oberfläche der Schalung wieder abzubürsten um Rückstände zu entfernen.
- Vor dem Einsatz für Sichtbeton ist das Holz einige Male für eine Schalung eines untergeordneten Bauteils einzusetzen.
- Auch eine langfristige und intensive Wasserlagerung kann die schädlichen Holzinhaltstoffe auslaugen.

Besondere Vorsicht ist in diesem Zusammenhang mit importierten „Exotenschalungen“ geboten. Will man eine solche Schalung verwenden, ist man gut beraten die Alkalibeständigkeit in einem Prüflabor untersuchen zu lassen.

Weiters werden - vor allem in der trockenen Jahreszeit - die Schalungen häufig mit einer sehr geringen Eigenfeuchtigkeit angeliefert. Beim Verbau der Schalungshäute ist jedoch auf eine ausgeglichene Eigenfeuchte sowohl bei saugenden als auch bei nichtsaugenden Holzwerkstoff- bzw. Massivholzschalungen zu achten. Bei Brettschalungen liegt der Feuchtegehalt beispielsweise zwischen 16 % - 20 %. Die optimale Eigenfeuchtigkeit des Holzes beim Verbau in der Schalung muss im Vorfeld eruiert werden und ist jeweils von

<sup>136</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 101ff.

<sup>137</sup> Vgl.: SCHMIDT-MORSBACH, J.: Sichtbeton-Oberflächen für Planung und Ausführung; S. 90.

dem verwendeten Schalungsmaterial, der Dauer der Standzeit der Schalung vor dem Betoneinbau und den Witterungseinflüssen während dieser Standzeit abhängig. Die Art, die Intensität, und die Dauer der Vorbehandlung ist aufgrund dieser Faktoren zu wählen. Hat man für eine optimale Feuchte des Holzes gesorgt, kann man mit einer materialgerechten Trennmittelbehandlung die Schalung etwas vor dem Austrocknen schützen.<sup>138</sup>

Bei der Lagerung von frischem Schalholz ist auf den Schutz der obersten Lage eines Stapels vor zu starker Austrocknung und der UV-Einstrahlung zu achten, da stark bewittertes Holz eine hydrationsstörende Wirkung hat. Werden Schalelemente in einem Bauvorhaben öfters verwendet, muss man sie zwischen den Einsätzen auf der Baustelle lagern. Hier ist eine geschützte, stehende Lagerung zu bevorzugen. Nur so kann sichergestellt werden, dass alle Elemente gleich bewittert werden und die gleiche Austrocknung erfahren. In weiterer Folge kann bei der anschließenden Wässerung vor dem erneuten Einbau für alle Schalungen gleich vorgegangen werden.

Der Auftrag des Trennmittels soll nur auf Schalungen mit ausgeglichener Eigenfeuchte erfolgen. Um eine Überdimensionierung des Entschalungsmittels zu verhindern ist es dünn und gleichmäßig aufzutragen. Dieser Anforderung wird am besten entsprochen, wenn das Auftragen mit einem Hochdruckspritzgerät erfolgt, bei dem der Druck und die Düse auf die entsprechende Viskosität des Schalungsmittels eingestellt ist.<sup>139</sup> Um eine Überdimensionierung bei nicht saugenden Schalungen zu vermeiden, soll die Schalung nach dem Trennmittelauftrag mit einer Gummilippe abgezogen werden.

In einem gewissen Ausmaß ist es möglich, den vermehlten Bereich nach dem Ausschalen durch einen gezielten Feuchtigkeitsnebel nachzuhydratisieren und somit den Staubeffekt zu lindern. Diese Möglichkeit besteht natürlich nur, wenn die Zementsteinhaut beim Entschalen nicht auf der Schalung verblieben ist.

#### 4.3.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema

Die **ÖNORM B 2211** geht nicht auf die Problematik von Vermehrungen bzw. Versandungen ein.

Mängel, die durch eine unsachgemäß gelagerte Schalung auftreten und Vermehrungen hervorrufen, werden in der **ÖVBB Richtlinie Sichtbeton – Geschalte Betonflächen 2009** unter im Allgemeinen als vermeidbare Abweichungen angesehen. Das bedeutet, dass man sich bei Sichtbetonbaustellen bereits bei der Baustelleneinrichtungsplanung über die

<sup>138</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 15.

<sup>139</sup> Vgl. ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 32.

Platzverhältnisse und ein eventuell benötigtes Schutzbauwerk für die Schalung Gedanken machen muss.

Auch auf das Entstehen dieser Hydratationsstörung beim Abbindeprozess durch Holzinhaltsstoffe wird hingewiesen. Folgende Einflußfaktoren werden angeführt: *„Diese Wirkung ist beim erstmaligen Einsatz der Schalung, bei warmer Witterung und bei Holz, welches ungeschützt längere Zeit der Sonneneinstrahlung ausgesetzt war, besonders stark.“*<sup>140</sup> Im selben Absatz wird die Maßnahme des Einschlämmens mit Zementmilch vor dem ersten Einsatz der Schalhaut zur Vermeidung von Vermehrungen durch austretenden Holzzucker näher erklärt.

Auf den richtigen Auftrag und die richtige Auftragsmenge des Trennmittels wird im Kapitel 7.3 der ÖVBB Richtlinie eingegangen. Es wird auch darauf hingewiesen, dass es bei zu großem Auftrag zu unerwünschten Nebenwirkungen hinsichtlich der Betonoberfläche kommen kann. Als Beispiele dieser Auswirkungen werden verstärkte Absandungen und Beeinträchtigungen der Oberflächeneigenschaften des Betons wie z.B. die verminderte Haftzugfestigkeit, wie sie auch bei Vermehrungen auftritt, angeführt.

Im **DBV Merkblatt Sichtbeton** wird klargestellt, dass die Schalung und die Schalhaut vor dem Einsatz auf Tauglichkeit zu prüfen sind. Somit ist der Schalungsverarbeiter verpflichtet alle Schalungshölzer auch auf ihre Alkalibeständigkeit hin zu untersuchen. Auf eine fachgerechte Lagerung der Schalung wird ebenfalls hingewiesen. Über Details wie z.B. der Hinweis auf den Schutz des Holzes vor UV-Bestrahlung gibt es jedoch keine Angaben.

Auch in dieser Richtlinie findet man Aussagen über den richtigen Trennmittelauftrag und die Warnung, dass eine Überdosierung oder der Auftrag eines ungeeigneten Trennmittels zu Absandungen führen kann.

## 4.4 Poren und Lunker

### 4.4.1 Mangelbeschreibung

Poren und Lunker - im Speziellen deren Größe und Anzahl - sind bei der Beurteilung der Sichtbetonoberflächenqualität von wesentlicher Bedeutung.<sup>141</sup> Dies deshalb, weil sie bei den meisten Schalungsoberflächen unvermeidbar sind und man Poren und Lunker auf fast jedem Sichtbetonbauteil finden kann.

<sup>140</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 28.

<sup>141</sup> Vgl.: o.V.: Schalungsdruck, [http://www.meva.de/global/download/de/prospekte/schalungsdrucke/2010\\_03\\_sd-III\\_bauma.pdf](http://www.meva.de/global/download/de/prospekte/schalungsdrucke/2010_03_sd-III_bauma.pdf), am 18.07.2010 um 10:19.

Unter Poren oder Lunker versteht man die bei der Erstarrung gegossener Teile entstandenen Hohlräume<sup>142</sup>, die an der Betonoberfläche sichtbar sind. Erreichen Poren einen größeren Durchmesser als ca. 5 mm so werden sie im Betonbau als Lunker bezeichnet.<sup>143</sup> Wie viele Poren an der Betonoberfläche zu finden sind, hängt davon ab wie viele Luftporen beim Verdichten zur Schalungsoberfläche wandern und anschließend dort nicht nach oben entweichen können.<sup>144</sup>



Abbildung 7 Poren und Lunker

(Foto: M. Mühleder)

Poren bzw. Lunker sind in einem normalen Ausmaß rein ästhetische Mängel und wie bereits angeführt bei nicht saugenden Schalungen nicht immer zu vermeiden. Flächig konzentrierte bzw. sehr tiefe Lunker können aber auch einen

technischen Mangel bedeuten. Die Verringerung der Betonüberdeckung bzw. die Porosität der Oberfläche kann den Alkaliabbau beschleunigen, wodurch der betonchemisch bedingte Rostschutz der Bewehrung frühzeitig verloren geht.<sup>145</sup> Die Grenzen ab wann Grobporen die Gebrauchstauglichkeit negativ beeinflussen und instandgesetzt werden müssen, findet man in der Tab. 10/1 der ÖVBB Richtlinie Sichtbeton - Geschalte Betonflächen.

Da der Unterschied zwischen Poren und Lunker nur in der Größe ihres Hohlraumes liegt und die Ursachen dafür bzw. die Maßnahmen zur Vermeidung dieselben sind, wird in diesem Kapitel in weiterer Folge nur mehr von Poren gesprochen.

#### 4.4.2 Mangelursache

An der Oberfläche sichtbare, offene Poren entstehen wenn das Überschusswasser und die Lufteinschlüsse durch eine Innenverdichtung nach außen zur Schalung gedrückt werden. Durch die Verdichtungsarbeit sollen die Luftblasen anschließend an der Schalungsoberfläche nach oben aus dem Beton entweichen.<sup>146</sup> Werden sie dabei behindert, verbleiben nach dem Erstarren Poren an der Oberfläche zurück. Verwendet man eine saugende Schalung kann dieses überschüssige Wasser und die Luft vom Holz

<sup>142</sup> Vgl.: o.V.: Lunker, <http://de.wikipedia.org/wiki/Lunker>, am 18.07.2010 um 10:24.

<sup>143</sup> Vgl.: HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten; S. 42.

<sup>144</sup> Vgl.: HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten; S. 286.

<sup>145</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 168.

<sup>146</sup> Vgl.: o.V.: Einbringen, Verdichten und Nachbehandeln von Beton, [http://www.aarebeton.ch/normen\\_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf](http://www.aarebeton.ch/normen_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf), am 18.07.2010 um 10:43.

aufgenommen werden. Bei nicht saugenden Schalhäuten ist diese Aufnahme nicht möglich und deshalb kommen bei glatten Oberflächen Poren besonders häufig anzutreffen. Erschwert wird das Aufsteigen der Luftblasen beim Rütteln durch die Klebewirkung eines überdimensionierten Trennmittelauftrags. Auch die Verwendung des falschen Trennmittels erhöht die Möglichkeit von Porenanhäufungen, da hier ein Adhäsionseffekt die Folge ist.<sup>147</sup> Ebenfalls den Entlüftungsvorgang behindern Schalungsmatrizen, bei denen die Struktur horizontal verläuft.<sup>148</sup> Diese Störungen können auch bei Einbauten, Leisten und Abstandhalter im Schalungsbauwerk auftreten<sup>149</sup>. Hier hat die Luft einen längeren Weg um aus dem Beton entweichen zu können, weswegen eine intensivere Verdichtung stattfinden muss.

Wird ein Trennmittel zu kurz vor dem Betonieren aufgebracht, kann es nicht ablüften und es baut sich nach der Betoneinbringung durch das Verdunsten des Lösungsmittels ein Gasdruck auf, der Poren an der Betonoberfläche auslöst.<sup>150</sup>

Aber auch durch falsches Verdichten können Poren an der Oberfläche entstehen. Wird die Rüttelflasche zu langsam eingetaucht, werden die oberen Schichten zuerst verdichtet und die Luft kann bei dem anschließenden Verdichten der unteren Bereiche nicht mehr entweichen. Wird zu wenig verdichtet, können die Feinteile im Bereich der Betonoberfläche nicht in alle Hohlräume der Gesteinskörnung eindringen wodurch Lufteinschlüsse entstehen.<sup>151</sup>

Bei einem Bauteil mit einem zu hohen Bewehrungsgrad bei dem keine Rüttelöffnungen vorgesehen wurden, kann die Entlüftung nicht vollständig erfolgen. Zu dem Bereich hinter einem Bewehrungsbündel können die Verdichtungswellen nicht hinreichen. Es entsteht ein so genannten Verdichtungsschatten. Weiters kann durch die Wahl einer zu großen Schüttlagenhöhe der Beton nicht ausreichend entlüftet werden. Die Luft kann dadurch beim Verdichten nicht schnell genug den Beton verlassen.

Bei der Herstellung von geneigten Bauteilen sind Poren an der Oberseite des Bauteils nicht vermeidbar. Wird ein Beton in eine geneigte Schalung auf konventionelle Weise eingebracht, ergeben sich mit steigendem Winkel der Schrägstellung folgende Probleme:

- Das Einführen der Rüttelflasche kann nicht mehr vertikal erfolgen, dadurch wird eine gute Verdichtung unmöglich wird.
- Die Luft kann nicht ungehindert vertikal an der Schalung nach oben dringen, sondern fängt sich an der Unterseite der geneigten Schalungsoberfläche.

<sup>147</sup> Vgl.: o.V.: Betonflächen mit Sichtbetonanforderungen, <http://www.beton-informationen.de/downloads/1-2004-05-02.pdf>, am 19.07.2010 um 11:18.

<sup>148</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 44.

<sup>149</sup> Vgl.: LOHAUS, L.; FISCHER, K.: Sichtbeton - Betonzusammensetzung, Einbau, Qualitätssicherung, in: Sichtbeton-Planen, Herstellen, Beurteilen, S.37.

<sup>150</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Planung; S. 117.

<sup>151</sup> Vgl.: o.V.: Einbringen, Verdichten und Nachbehandeln von Beton, [http://www.aarebeton.ch/normen\\_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf](http://www.aarebeton.ch/normen_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf), am 18.07.2010 um 10:43.

### 4.4.3 Vermeidung des Mangels

In der Planung und der Statik ist auf einen „verdichtungsfreundlichen“, also geringen Bewehrungsgrad zu achten. Ist es nicht möglich feinen solchen festzulegen, soll bei einem höheren Bewehrungsgrad eine ausreichende Anzahl an Betonier- und Rüttelgassen eingeplant werden. Der Abstand dieser Gassen soll mit dem Wirkdurchmesser des Rüttlers abgestimmt sein. Das bedeutet, dass das Verdichtungsverfahren bereits zum Zeitpunkt der statischen Berechnung bekannt sein bzw. festgelegt werden soll.

Verwendet man eine saugende Schalung sind weniger Poren an der Oberfläche zu erwarten. Im Gegensatz dazu sind mit nicht saugenden Schalungen porenfreie Ansichtsflächen nicht zielsicher herzustellen. Werden, um der Betonoberfläche eine Struktur zu verleihen, Kunststoffmatrizen verwendet, ist darauf zu achten, dass die Strukturierung vertikal verläuft. So werden die Luftblasen beim Entlüften nicht am Hochdringen gehindert.<sup>152</sup>

Durch das Spannen eines zusätzlichen Kunststoffvlieses vor die nicht saugende Schalung lassen sich Poren vermeiden, da das Vlies überschüssiges Anmachwasser und Luft aufnehmen kann.<sup>153</sup> Der Umstand, dass die Vliesstruktur am fertigen Beton sichtbar ist, muss jedoch berücksichtigt werden.

Eine weitere wichtige Maßnahme zur Verminderung von Oberflächenporen bei nicht saugenden Schalungen ist die richtige Wahl und die richtige Auftragsmenge des Trennmittels. Es soll die Menge verwendet werden, die vom Trennmittelhersteller im Hinblick auf die verwendete Schalung empfohlen wird. Auf keinen Fall darf eine Überdimensionierung des Trennmittels erfolgen. Es soll immer auf einen sparsamen, gleichmäßigen und dünnen Trennmittelauftrag Acht gegeben werden.<sup>154</sup> Ein solcher wird durch eine auf die Viskosität und Menge eingestellte Düse und durch einen ausreichenden Druck des Hochdruckspritzgerätes erreicht.<sup>155</sup> Wird die nichtsaugende Schalung nach dem Trennmittelauftrag mit einer Gummilippe abgezogen, werden eventuelle Überdimensionierungen entfernt. Dem Trennmittel muss darüber hinaus genug Zeit zum Ablüften gegeben werden bevor der Beton eingebracht wird, anderenfalls kann sich ein Dampfdruck zwischen Schalung und Beton aufbauen, der zu einer Porenbildung führt.

Will man eine porenarme Sichtbetonoberfläche erhalten, ist ein lagenweises Betonieren mit Schichtdicken von max. 50 cm Dicke erforderlich. Man kann natürlich durch eine geringere Lagendicke eine weitere Verbesserung der Verdichtung herbeiführen.<sup>156</sup> Durch diese

<sup>152</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 44.

<sup>153</sup> Vgl.: HOFSTADLER, C.: Schararbeiten; S. 55.

<sup>154</sup> Vgl.: o.V.: Betonflächen mit Sichtbetonanforderungen, <http://www.beton-informationen.de/downloads/1-2004-05-02.pdf>, am 19.07.2010 um 11:18.

<sup>155</sup> Vgl. ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 32.

<sup>156</sup> Vgl.: o.V.: Einbringen, Verdichten und Nachbehandeln von Beton, [http://www.aarebeton.ch/normen\\_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf](http://www.aarebeton.ch/normen_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf), am 19.07.2010 um 10:43.

Maßnahme wird eine porenarme Ansichtsfläche erreicht, da es den Luftblasen ermöglicht wird schnell aus dem Beton zu entweichen.

Bei der Verwendung von Innenrüttlern soll die Rüttlerflasche zügig in den Beton eingetaucht werden und anschließend nach kurzem Verweilen am tiefsten Punkt langsam wieder gezogen werden.<sup>157</sup> Der Abstand der Eintauchstellen ist von dem Wirkradius des Rüttlers abhängig und soll eingehalten werden um eine vollflächige Verdichtung zu garantieren. Weiters muss, um eine gute Verdichtung der oberflächennahen Bereiche sicherstellen zu können, eine ausreichende Betonüberdeckung von Größtkorn + 5 mm vorhanden sein. Auch die Konsistenz spielt bei der Verdichtungsfreudigkeit eines Betons eine Rolle. Erleichtert wird das Verdichten durch die Verwendung eines Betons mit einer hohen Fließfähigkeit. Die Erreichung dieser Eigenschaft durch einen hohen W/B-Wert führt aber zu Problemen (z.B. Festigkeit, Poren,...), die andere Mängel auslösen können. Besser ist es die Viskosität durch die Verwendung von Betonverflüssigern und Fließmitteln zu senken. Am wichtigsten ist aber eine gute Abstimmung der Betoneigenschaften, der Schalungsoberfläche und des Trennmittels aufeinander.

Eine bessere Sichtbetonoberfläche kann durch die Verwendung von Außenrüttlern erzielt werden. Im Gegensatz zum Innenrüttler, bei welchem die Poren zur Schalungsoberfläche wandern, werden bei Schalungsrüttlern die Poren ins Innere des Betons gedrückt<sup>158</sup>.

Sind komplizierte Bauteile - wie stark geneigte Stützen oder sehr lange Einbauteile - vorhanden, ist über die Verwendung eines selbstverdichtenden Betons zu diskutieren, da ansonsten eine Entlüftung nicht oder nur sehr schwer stattfinden kann.

#### 4.4.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema

Die **ÖNORM B 2211** definiert drei Porigkeitsklassen, die sich jeweils durch die maximale Anzahl der offenen Poren an der Betonoberfläche unterscheiden. Es wird festgelegt, dass der Anteil der offenen Poren auf einer Prüffläche von 50 cm x 50 cm gemessen werden soll. Weiters wird erwähnt, dass Poren unter 1 mm Durchmesser nicht berücksichtigt werden und somit nicht als Mangel gelten. Der maximale Durchmesser einer Pore darf maximal 15 mm betragen. Angaben oder Hinweise zur Vermeidung von Poren oder Lunker werden in dieser Norm nicht gemacht.

In der **Richtlinie Sichtbeton – Geschalte Betonflächen** wird die Porigkeit folgendermaßen definiert: „Anteil offener Poren von 1 mm – 15 mm größter Abmessung an

<sup>157</sup> Vgl.: o.V.: Einbringen, Verdichten und Nachbehandeln von Beton, [http://www.aarebeton.ch/normen\\_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf](http://www.aarebeton.ch/normen_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf), am 19.07.2010 um 10:43.

<sup>158</sup> Vgl.: LÜTZTOW-RODENWOLDT, J.: Beton richtig verdichten, in: BauPortal; Heft 11 November 2009, S. 647.

einer Prüffläche von 50 x 50 cm.“<sup>159</sup> Hier ist die Porigkeit eine klassenbildende Anforderung und wird anhand des Vielfachen des Porenanteils  $P \leq 0,3 \%$  der Prüffläche eingeteilt.

Es muss jedem am Bau Beteiligten klar sein, dass es nicht möglich ist porenfreie Sichtbetonoberflächen herzustellen. Diesem Grundsatz folgt auch die ÖVBB Richtlinie und stuft porenfreie Ansichtsflächen als nicht bzw. nicht zielsicher herstellbar ein. Gleiches gilt für eine „gleichmäßige Porenstruktur (Porengröße und -verteilung) in einer Einzelfläche sowie in allen Ansichtsflächen im Bauwerk“<sup>160</sup>. Als nur eingeschränkt vermeidbar befindet die ÖVBB-Richtlinie weiters Porenanhäufungen im oberen Teil vertikaler Bauteile.

Um einen porenarmen Beton zu erhalten, wird im Kapitel 6.2 die Verwendung von stark oder schwach saugenden Schalungshäuten empfohlen, da diese den Entzug von Luft und Überschusswasser von der Betonoberfläche ermöglichen.

Weiters wird die Verwendung jener Trennmittel nahegelegt, die durch ihre hydrophile Wirkungsweise porenarme Betonoberflächen ermöglichen. Es wird auch betont, dass ein zu großer Trennmittelauftrag zu einer Verstärkung der Porenbildung führt.

Auch auf falsches bzw. richtiges Verdichten geht die Richtlinie ein. „Bei zu großem Abstand des Innenvibrators von der Schalung ist mit einer ungleichmäßigen und porenreichen Betonoberfläche zu rechnen.“<sup>161</sup>

Eine Anmerkung verweist auf die mögliche erhöhte Porigkeit der Betonoberfläche bei der Verwendung von Betonen mit einem Bindemittelleim von hoher Viskosität, da die Verarbeitbarkeit bei extrem niedrigem W/B-Wert oder falsch dosiertem Fließmittel abnimmt.

In der Richtlinie wird darüber hinaus auf die Tatsache hingewiesen, dass eine „Verbesserung der Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tausalz- oder chemische Angriffe durch möglichst porenfreie Betonoberflächen“<sup>162</sup> erreicht wird. Was an dieser Stelle angemerkt werden muss ist die Tatsache, dass die Expositionsklasse XF – Frostangriff mit und ohne Taumittel – unter Anderem mit Hilfe von Luftporenbildnern erreicht werden. Es liegt auf der Hand, dass ein Beton der mit einem luftporenbildenden Mittel versetzt ist natürlich auch auf der Oberfläche vermehrt Poren aufweisen wird. Das bedeutet, dass bei Betonbauteilen die einem Frost-Tausalzangriff ausgesetzt sind, die Porigkeit der Oberfläche nicht als optisches Bewertungskriterium der Sichtbetonflächen herangezogen werden darf.

Im Anhang 1 der ÖVBB Richtlinie werden verschiedene Abnahmeprüfungen und Messmethoden zur Beurteilung der Porigkeit angeführt. Herausgehoben soll an dieser Stelle das Verfahren der Auswertung mittels Bildvergleich werden. Im Anhang befinden sich je zwei Bilder pro Porigkeitsklasse, mit denen eine Betonoberfläche durch Vergleich sehr einfach eingestuft werden kann.

<sup>159</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 3.

<sup>160</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 25.

<sup>161</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 40.

<sup>162</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 6.

Das **Merkblatt Sichtbeton** teilt die Porigkeit in vier Klassen. Für diese Einteilung werden hier Poren mit den Grenzdurchmessern von 2 mm bis 15 mm betrachtet. In welche Klasse eine Betonoberfläche fällt, wird wie bei der ÖVBB Richtlinie mit Hilfe des Porenanteils ermittelt.

Auch über die Ausführbarkeit von porenarmen Sichtbetonoberflächen sind sich die ÖVBB Richtlinie und das DBV Merkblatt einig.

Mit der Aussage „*Unterschnittene Schalungen und Deckenschalungen, aber auch horizontale Kanten von Leisten und Einbauten können das Entlüften des Betons unter Umständen erheblich behindern und zu Ansammlungen von größeren Luftporen führen.*“<sup>163</sup> wird klargestellt, dass sich bereits die Planung mit dem Thema Porenvermeidung auseinandersetzen muss.

Im Anhang werden die Anforderungen an die Ausführung aufgezählt. Hier einige der wichtigsten Punkte daraus:

- Abstimmung von Betonsorte, Trennmittel und Schalhaut aufeinander
- Sicherstellung der Sauberkeit der Schalung sowie des dünnen, gleichmäßigen Trennmittelauftrages
- Nachverdichten der obersten Betonierlage
- Besondere Sorgfalt beim Betonieren im Bereich von horizontalen Kanten, von Leisten und Einbauteilen erforderlich

Auf die richtige Auswahl und Anwendung des Trennmittels geht das Merkblatt ebenfalls ein. Hier wird zudem detailliert auf die erhöhte Porenbildung durch Überdosierung oder die Verwendung eines ungeeigneten Trennmittels hingewiesen.

## 4.5 Risse

### 4.5.1 Mangelbeschreibung

Unter einem Riss versteht man einen Trennungsspalt in einem Material<sup>164</sup> der beim Beton vor allem durch die Überschreitung der Zugfestigkeit entsteht. Da die Zugfestigkeit bei Beton nur etwa 10 % der Druckfestigkeit beträgt und bei jedem Massivbauwerk Zugspannungen auftreten, muss man Risse in einem gewissen Ausmaß in Kauf nehmen. Man kann zwar die Zugbeanspruchung über eine Bewehrung aufnehmen oder die

<sup>163</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 16.

<sup>164</sup> Vgl.: o.V.: Riss, <http://de.wiktionary.org/wiki/Riss>, am 07.08.2010 um 09:26.

Rissbreite durch einen geringen Bewehrungsabstand begrenzen, man verfügt jedoch weder in der Planung noch in der Bauausführung über Mittel, die die Risse komplett vermeiden.<sup>165</sup> Beim Bemessungsprinzip von auf Biegung beanspruchten Stahlbetonbauteilen wird eine gerissene Zugzone sogar vorausgesetzt.<sup>166</sup>

Alleine die Rissbreitenbeschränkung erfordert einen hohen konstruktiven und bautechnologischen Aufwand und ist deshalb extrem kostenintensiv. Technisch unbedenklich sind Risse bis zu einer Breite von 0,3 mm in trockenen Räumen, 0,2 mm im Freien und 0,1 mm in Feuchträumen.<sup>167</sup> Aus gestalterischer Sicht können aber bereits diese Rissbreiten als störend empfunden werden. Risse sind also, solange die Breite auf ein unschädliches Maß beschränkt ist, grundsätzlich rein optische Mängel. Werden die Rissbreiten zu groß, können sie im Laufe der Zeit auch die Tragfähigkeit eines Betonbauteils – aufgrund der erhöhten Korrosion der Bewehrung – beeinträchtigen. Risse können unter gewissen Umständen sogar positiv sein. Sie sind beim gewünschten duktilen Verhalten eines Bauteils die besten Indikatoren, durch deren Auftreten das Versagen angekündigt wird.



Abbildung 8 Betonrisse  
(Foto: M. Mühleder)

Da an Rissen Wasser leichter ein- und wieder austreten kann, kommen an diesen texturbedingten Schwachstellen häufig Kalkschleiersausblühungen vor. Näheres zu diesem Thema unter Pkt. 3.1.

Man unterscheidet prinzipiell zwischen oberflächennahen Rissen und Trennrissen. Bei Ersteren tritt lediglich eine Zerstörung des oberflächennahen Betongefüges auf. Es besteht sogar die Möglichkeit, dass sich Risse nach einer gewissen Zeit von selbst wieder schließen. Trennrisse verlaufen hingegen durch die gesamte Konstruktion hindurch. Aufgrund ihrer Erscheinungsform unterscheidet man Netz-, Schwind-, Biege- und Schubrisse, sowie Trenn- und Verbundrisse.<sup>168</sup> In dieser Arbeit wird das Hauptaugenmerk auf die Vermeidung von jenen Rissen gelegt, die auf Planungs- und Ausführungsfehler des Sichtbetonbauteils zurückzuführen sind.

<sup>165</sup> Vgl.: MEICHSNER, H.; ROHR-SUCHALLA, K.: Risse in Beton und Mauerwerk - Ursachen, Sanierung, Rechtsfragen; S. 9.

<sup>166</sup> Vgl.: OSWALD, R.; ABEL, A.: Hinzunehmende Unregelmäßigkeiten bei Gebäuden; S. 54.

<sup>167</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 121.

<sup>168</sup> Vgl.: KAMPEN, R.: Zement-Merkblatt Betontechnik B 18, 2.2003 - Risse im Beton; S. 2ff.

#### 4.5.2 Mangelursache

„Betonrisse können aus unterschiedlichen, sich teilweise überlagernden Ursachen entstehen.“<sup>169</sup> Risse entstehen durch äußere Belastungen und/oder Zwangsbeanspruchungen im Inneren des Bauteils. Lastbedingte Risse treten unter anderem bei auf Biegung beanspruchten Bauteilen auf. Hier reißt die Betonzugzone nach der Überschreitung der Zugfestigkeit des Betons und dadurch hat der Bewehrungsstahl die gesamte Zugkraft zu übernehmen. Die gesamte Dehnung der Zugzone wird auf wenige Risse mit großer oder viele Risse mit kleiner Rissbreite aufgeteilt. Das Ziel ist natürlich viele kleine Risse entstehen zu lassen, die das Gesamterscheinungsbild nur wenig beeinträchtigen. Da sich die Rissbreite mit dem Bewehrungsstabdurchmesser und dem Bewehrungsabstand proportional verhält, hat dies zur Folge, dass mit wenig dicken Stäben eher wenige Risse mit großen Rissbreiten auftreten.<sup>170</sup>

Es kann aber auch ein Bauteil, der auf Druck belastet ist Risse in Richtung der Druckkraft aufweisen. Solche Risse entstehen durch Querkzugspannungen, die sich im Inneren aufgrund der Lastumlenkung ergeben. Häufig findet man solche Risse an Stahlbetonsäulen mit zu geringer Querbewehrung. Ebenso können durch unplanmäßige Lastkonzentrationen an Bauteilen Risse auftreten. Diese Kerbspannungen sind z.B. bei Aussparungen und großen Querschnittsänderungen vorhanden.

Ein weiterer Grund für das Entstehen von Rissen sind nicht ausreichend geplante Bewegungsfugen. Wird eine Bewegungsfuge nicht durch das gesamte Gebäude durchgezogen sondern unterbrochen treten dort Zwangskräfte auf, die unwiderruflich zu Rissen führen. Auch ein zu großer Abstand der Bewegungsfugen kann aufgrund der großen Dehnungen durch hohe Temperaturdifferenzen Auslöser für Risse sein.

Risse entstehen zudem bei Arbeitsfugen. Beispielsweise sind häufig vertikale Risse im Fußbereich von Sichtbetonwänden erkennbar, die auf einer bereits früher betonierten Bodenplatte errichtet wurden. Im plastischen Zustand kann sich der Beton aufgrund der bei der Hydratation entwickelten Wärme noch ungehindert ausdehnen. Nach der Erstarrung ist der Beton aber nicht mehr beliebig verformbar, jedoch immer noch wärmer als die Umgebungstemperatur. Bei der Abkühlung will er sich dann zusammenziehen und wird dabei im Fußbereich durch die Bodenplatte daran gehindert. Es entstehen somit horizontale Zugspannungen in der Wand, die in weiterer Folge zu Rissen führen können. Der gleiche Effekt ist natürlich auch bei allen anderen Arbeitsfugen, wie z.B. zwischen zwei übereinanderliegenden Wandelementen, zwischen Wand und Decke oder Bodenplatten, die in zwei Arbeitsschritten betoniert werden, ersichtlich. Erhöht werden die Zugspannungen durch eine größere Temperaturdifferenz. Einflußfaktoren dafür sind unter anderem die Dämmeigenschaft des Schalungsmaterials, die Umgebungstemperaturen

<sup>169</sup> RAUPACH, M.; ORLOWSKY, J.: Erhaltung von Betonbauwerken; S. 36.

<sup>170</sup> Vgl.: MEICHSNER, H.; ROHR-SUCHALLA, K.: Risse in Beton und Mauerwerk - Ursachen, Sanierung, Rechtsfragen; S. 167.

beim Einbringen des Betons und nach dem Ausschalen, die Zementart, der W/B-Wert, die Frischbetontemperatur und die Dicke des Bauteils.<sup>171</sup>

Risse können ebenso durch die Karbonatisierung des Betons und in weiterer Folge durch die rostende Bewehrung hervorgerufen werden. Die ersten Anzeichen einer rostenden Bewehrung sind anhand der entlang des Stahls verlaufenden Risse ersichtlich.<sup>172</sup> Die weitere Folge sind Abplatzungen, die im Kapitel 4.6 näher behandelt werden. Dort wird auch auf die Ursachen und Maßnahmen zur Vermeidung von Korrosion der Bewehrung eingegangen, die natürlich ebenfalls für dieses Kapitel gelten.

Schwindrisse, die auch Netz- oder Krakelrisse genannt werden, treten bei Ort betonbauteilen durch unterschiedliches Schwinden in den verschiedenen Oberflächenbereichen auf.<sup>173</sup> Diese Risse entstehen durch einen zu große Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschied zwischen Kern und Oberfläche eines Bauteils.<sup>174</sup> Das bedeutet, trocknet bzw. kühlt der oberflächennahe Beton zu schnell aus, ergeben sich durch die behinderte Schwindverkürzung Zwangsspannungen, die die Zugfestigkeit des Betons übersteigen können. Besonders häufig findet man diese maschenartigen Risse bei einer durch intensive Verdichtung entstehenden Oberflächensedimentation bei glatten Schalungen.

Das aufgrund eines Fehlers in der statischen Nachweisführung und in weiterer Folge einer Unterdimensionierung eines Bauteils bzw. durch eine spätere Überbelastung Risse hervorgerufen werden können liegt auf der Hand, wird deshalb an dieser Stelle nicht näher betrachtet. Zudem werden die Gründe für setzungsbedingte Risse nicht angeführt, da diese den Rahmen sprengen würden und nicht dem Aufgabenbereich eines Sichtbetonteams angehören.

#### 4.5.3 Vermeidung des Mangels

Vor allem lastbedingte Risse können durch eine ausreichend dimensionierte Bewehrung verringert werden. Wird mehr als die statisch erforderliche Stahlmenge eingelegt, ist die Stahldehnung bei der gleichen Zugbeanspruchung geringer, es verringert sich die gesamte Dehnung des Bauteils und somit auch die Rissbildung des Betons. Wird zudem der Bewehrungsgehalt in viele Stäbe mit geringerem Durchmesser aufgeteilt, wird zwar die Anzahl der Risse erhöht, die Rissbreite jedoch minimiert. Zur Verminderung von Rissen an durch Druck belasteten Bauteilen ist eine ausreichende Bügelbewehrung mit geringem Bügelabstand zur Aufnahme der Querkzugkräfte notwendig.

<sup>171</sup> Vgl.: MEICHSNER, H.; ROHR-SUCHALLA, K.: Risse in Beton und Mauerwerk - Ursachen, Sanierung, Rechtsfragen; S. 82ff.

<sup>172</sup> Vgl.: MEICHSNER, H.; ROHR-SUCHALLA, K.: Risse in Beton und Mauerwerk - Ursachen, Sanierung, Rechtsfragen; S. 126ff.

<sup>173</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 121.

<sup>174</sup> Vgl.: KAMPEN, R.: Zement-Merkblatt Betontechnik B 18, 2.2003 - Risse im Beton; S. 3.

Eine gute Planung der Bewegungsfugen ist in diesem Zusammenhang besonders wichtig. Alle Bewegungsfugen in horizontalen Flächen müssen ohne Versatz in die vertikalen Bauteile weitergeführt werden.<sup>175</sup> Ein vom Schwindmaß und der Temperaturdifferenz abhängiger maximaler Bewegungsfugenabstand ist einzuhalten, um die Dehnungen auf viele kleinere Bereiche aufzuteilen und somit Risse zu vermeiden. Weiters sollen bei großen Querschnittsänderungen Bewegungsfugen eingeplant werden damit Kerbspannungen verhindert werden.

Um Risse bei Arbeitsfugenbereichen aufgrund behinderter Verkürzung zu unterbinden, ist auf eine niedrige Temperaturdifferenz zwischen dem frischen Betonbauteil und der Umgebungstemperatur zu achten. Dies kann durch verschiedene Maßnahmen erreicht werden. Die Verwendung eines Betons mit geringem Zementgehalt und Zementen mit geringer Wärmeentwicklung senkt die Bauteiltemperatur. In den Sommermonaten sind die Morgenstunden für das Betonieren zu bevorzugen, da die höchste hydratationsbedingte Bauteiltemperatur nach etwa 20 Stunden erreicht wird. Das bedeutet es treten geringere Bauteiltemperaturen durch die kühleren Nachtstunden auf. In weiterer Folge lässt eine schützende Abdeckung bzw. eine dämmende Schalung den frischen Beton langsamer auskühlen und somit die Temperaturdifferenz zwischen alten und jungen Beton sinken. Durch das Einplanen einer zusätzlichen Längsbewehrung im Arbeitsfugenbereich kann die Rissbreite zusätzlich beschränkt werden. Werden Arbeitsfugen so ausgeführt, dass sich die verschiedenen Bauteile nicht miteinander verzahnen können, sie sich also wie Bewegungsfugen zueinander bewegen können, wird die Wahrscheinlichkeit für Risse in diesen Bereichen verringert. Verhindern kann man eine Verzahnung beispielsweise durch das Herstellen von sehr glatten Berührungsoberflächen.<sup>176</sup> Ist die Durchführung solcher Maßnahmen nicht möglich, sollen die Risse durch Scheinfugen in einem vordefinierten Bereich konzentrieren werden.

Damit keine Schwindrisse entstehen, sind zur Begrenzung der Schwinddifferenzen kleinere Betonierabschnitte zu wählen.<sup>177</sup> Ein weiterer bedeutsamer Punkt in diesem Zusammenhang ist eine entsprechende Nachbehandlung. Der oberflächennahe Beton muss vor der zu schnellen Austrocknung bzw. Auskühlung geschützt werden. Ein Nachbehandlungsmittel bzw. eine Hydrophobierung ist auf alle Fälle ratsam, auf eine zusätzliche Abdeckung soll trotzdem - aufgrund der wärmedämmenden Luftschicht, die die tagesbedingten Temperaturschwankungen ausgleicht - nicht verzichtet werden.<sup>178</sup> Durch die Verwendung eines Betons mit geringem W/B-Wert wird durch die langsamere Trocknung das Schwindmaß ebenfalls gering gehalten. Das Schwinden kann auch durch ein geringes Zementleimvolumen verringert werden. Dies kann man durch eine gut

<sup>175</sup> Vgl.: MEICHSNER, H.; ROHR-SUCHALLA, K.: Risse in Beton und Mauerwerk - Ursachen, Sanierung, Rechtsfragen; S. 98.

<sup>176</sup> Vgl.: MEICHSNER, H.; ROHR-SUCHALLA, K.: Risse in Beton und Mauerwerk - Ursachen, Sanierung, Rechtsfragen; S. 169.

<sup>177</sup> Vgl.: MEICHSNER, H.; ROHR-SUCHALLA, K.: Risse in Beton und Mauerwerk - Ursachen, Sanierung, Rechtsfragen; S. 170.

<sup>178</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 122ff.

abgestufte Sieblinie der Betonzuschläge erreichen, wodurch ein geringer Zementgehalt notwendig wird.

#### 4.5.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema

In der **ÖNORM B 2211** wird lediglich bei den Strukturklassen auf eine geschlossene, weitgehend einheitliche Betonoberfläche mit geschlossener Zementleim- oder Mörteloberfläche hingewiesen. Eine Sichtbetonoberfläche mit Rissen kann keineswegs als geschlossene Oberfläche betrachtet werden. Das bedeutet, dass bereits in der untersten Strukturklasse ein Riss als Mangel angesehen werden kann.

Auch die **ÖVBB Richtlinie Sichtbeton – Geschalte Betonflächen** geht nur mit einem Punkt auf die Thematik der Rissvermeidung ein. Wie hoch der Stellenwert der Nachbehandlung ist, wird durch folgende Aussage klar: *„Weiters soll sie zu große Temperaturschwankungen an der Oberfläche verhindern, damit das Ziel, dichtes Gefüge und wenig Risse an der Oberfläche, (...) erreicht wird. Die Nachbehandlung kann durch Feuchthalten, Abdecken oder Aufsprühen von flüssigen Behandlungsmitteln erfolgen.“*<sup>179</sup>

Das **Merkblatt Sichtbeton der DBBV und der BDZ** geht ebenfalls lediglich auf dieselben Punkte wie die ÖNORM B 2211 ein.

Für die Vermeidung von Rissen ist keine der betrachteten Regelwerke eine große Hilfe. Auf die in diesem Fall sehr wichtige Nachbehandlung wird ausschließlich in der ÖVBB-Richtlinie hingewiesen.

## 4.6 Abplatzungen aufgrund von Bewehrungskorrosion

### 4.6.1 Mangelbeschreibung

Korrosion ist ein natürlicher Vorgang, bei dem verhäutete Metalle versuchen ihren ursprünglichen Energiezustand, wie er im Eisenerz vorliegt, zu erlangen. Dabei ist eine atmosphärische Umgebung mit Wasser und Sauerstoff notwendig. Vor dem Rosten kann der Stahl nur geschützt werden, wenn entweder eine Komponente - also Wasser oder Sauerstoff - davon abgehalten wird bis zur Metalloberfläche zu gelangen oder der Stahl vor dem Rosten geschützt wird. Im Beton befindet sich zwar Wasser und Sauerstoff, das bei

<sup>179</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 38.

der Betonerhärtung gebildete Kalzium-, Natrium- und Kaliumhydroxid führt jedoch zu einem pH-Wert von ca.12,5.<sup>180</sup> Das bedeutet also, dass der Bewehrungsstahl im Beton grundsätzlich vor Korrosion geschützt ist. Sinkt jedoch dieser pH-Wert aufgrund der Karbonatisierung, verliert der Stahl die schützende Oxidschicht und beginnt zu rosten. Da der Rost ein 2,5-faches Volumen des

Stahls besitzt, baut sich ein Druck auf den Beton auf, der, wenn er groß genug ist, die Betondeckung absprengen kann. Dadurch gelangt mehr Wasser zur Bewehrung, wodurch die Korrosion noch schneller voranschreitet und es bei Nichtbehandlung zur kompletten Zerstörung des Bauteils kommen kann. Diese Ablplatzungen sind somit nicht nur rein optische Mängel, sondern werden durch den möglichen Verlust der Tragfähigkeit als technischer Mangel bezeichnet.



Abbildung 9 Rostabplatzungen  
(Foto: S.Pöschl)

#### 4.6.2 Mangelursache

Die Schutzfunktion des Betons gegen Bewehrungskorrosion kann durch die Karbonatisierung beeinträchtigt bzw. aufgehoben werden. Bei der Karbonatisierung wird, wie schon weiter oben genauer beschrieben, das Kalziumhydroxid in das Kalziumkarbonat umgewandelt wodurch der pH-Wert unter einen Wert von 9,5 fällt. Für diese Reaktion werden Kohlendioxid, Wasser und Sauerstoff benötigt. Ist eines dieser Elemente nicht vorhanden, stoppt die Karbonatisierung. Das bedeutet auch, dass in trockenen Bereichen, wie z.B. im Gebäudeinneren, keine Karbonatisierung auftreten kann. Je weiter jedoch diese Stoffe in den Beton eindringen können, umso größer ist die Karbonatisierungstiefe.

Wissenschaftlich nachgewiesen ist, dass bei einem gut verarbeiteten dichten Beton der Karbonatisierungsvorgang nach einiger Zeit bei einer geringen Eindringtiefe zum Stillstand kommen kann.<sup>181</sup> Die Porosität des Betons beeinflusst die Geschwindigkeit des Eindringens. Die Durchlässigkeit des Betons wird durch einen großen W/B-Wert, eine schlechte Verdichtung, Risse, Kiesnester sowie Versandungen, Lunker und fehlende oder mangelhafte Nachbehandlung erhöht.<sup>182</sup> Liegt z.B. der W/B-Wert bei 0,5 ist nach einer gewissen Zeit die Karbonatisierungstiefe etwa halb so groß als bei einem Wert von 0,7.<sup>183</sup> Ist nun die Bewehrungsüberdeckung nicht ausreichend, kann bereits bei einer geringen

<sup>180</sup> Vgl.: o.V.: Korrosion von Stahl in Beton, <http://www.citec.citec-survey.com/technology/downloads/korrosion.pdf>, am 14.08.2010 um 19:23.

<sup>181</sup> Vgl.: RUPP, K.: Für die Ewigkeit?, in: Der Maler und Lackierermeister 3/2008, S. 13.

<sup>182</sup> Vgl.: RUPP, K.: Für die Ewigkeit?, in: Der Maler und Lackierermeister 3/2008, S. 13.

<sup>183</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 5.

Karbonatisierungstiefe, das bedeutet nach kurzer Zeit, der Bewehrungsstahl zu korrodieren beginnen. Durch diverse Schalungseinlagen können gestaltende Vertiefungen wie z.B. Schattennuten usw. erzielt werden die aber die Betondeckung verkleinern. In diesen Bereichen kann die Karbonatisierungsfront den Bewehrungsstahl schneller erreichen.

Ebenso kann der Korrosionsschutz durch eine Chloridkontaminierung verloren gehen, auch wenn der Beton noch nicht karbonatisiert ist. Eine solche tritt vor allem in maritimer Umgebung bzw. bei Bauteilen in der Nähe von Straßen auf, bei denen Tausalze im Winterdienst verwendet werden.<sup>184</sup> Das Chlorid dringt nach und nach in den porösen Beton ein, greift die Oxidschicht der Bewehrung an und kann sie sogar komplett zerstören. Hier wird das Eindringen des im Wasser gelösten Natriumchlorids ebenfalls durch Fugen, Risse oder Nester des Betons erleichtert.

#### 4.6.3 Vermeidung des Mangels

Um eine Korrosion der Bewehrung und somit das Absprennen der Betondeckung aufgrund Karbonatisierung zu vermeiden sind folgende Maßnahmen einzuhalten. Durch eine ausreichende Mindestbetondeckung, die in diesem Fall stark von der Expositionsklasse abhängt, wird sichergestellt, dass bei normaler Betonqualität die Karbonatisierungstiefe nicht bis zur Bewehrungsebene vordringt. Erreicht wird eine kontinuierliche Betondeckung durch eine ausreichende Anzahl an Abstandhaltern die an den am weitest außen liegenden Bewehrungseisen befestigt werden müssen. Diese Maßnahme ist besonders bei örtlichen Vertiefungen der Betonoberfläche wichtig, da hier die ausreichende Betondeckung nur durch den Verzug der Bewehrung erreicht werden kann. Ebenso wird dadurch eine gute Verdichtbarkeit des oberflächennahen Betons ermöglicht. Dies ist von besonderer Bedeutung, da durch ein dichtes, kapillarporenarmes Betongefüge die Karbonatisierung verlangsamt und auch das Chlorid am Eindringen gehindert wird. Die Erreichung eines dichten Betongefüges wird im Kapitel 3.1.3 erläutert. Um eine genügende Betondeckung zu erhalten, ist bereits in der Planung damit zu beginnen, Bauteile mit ausreichender Abmessung zu entwerfen. Weiters soll der Statiker einen zweckmäßigen Spielraum für zukünftige Maßtoleranzen einplanen.<sup>185</sup>

Da Kiesnester (Kap. 4.1), Versandungen (Kap. 4.2), Lunker (Kap. 4.5) und Risse (Kap. 4.6) karbonatisierungsfördernd wirken, sind die Maßnahmen zur Vermeidung dieser Schwachstellen auch hier wichtig.

Es kann aber auch versucht werden eine Komponente der reaktionsauslösenden Stoffe vom Beton fern zu halten. Durch eine Hydrophobierung wird das Wasser daran gehindert in den Beton einzudringen. Dies gilt natürlich auch für das mit Natriumchlorid versetzte Wasser. Um den Schutz die gesamte Nutzungsdauer des Bauteils aufrecht zu erhalten, soll

<sup>184</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton Atlas; S. 25.

<sup>185</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 112.

die Hydrophobierung im vom Hersteller empfohlenen Abstand erneuert werden. Eine Tiefenhydrophobierung soll bevorzugt werden, da diese eine eindeutig längere Lebensdauer als eine Oberflächenhydrophobierung besitzt. Aber auch durch gestalterische Maßnahmen - z.B. durch eine gut durchdachte Wasserführung über die gesamte Fassade - kann man für eine geringe Feuchtebelastung des Sichtbetons sorgen.<sup>186</sup>

Will man allerdings eine Korrosion der Bewehrung komplett ausschließen muss man nicht rostende Stähle verwenden oder bereits in der Bauphase einen Schutzanstrich auf die Bewehrung aufbringen. Durch diese Maßnahme wird jedoch der Verbund zwischen Stahl und Beton geschwächt, der normalerweise nur durch das Vorhandensein des Rostes so gut ist.

#### 4.6.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema

Wie bereits erwähnt sind Kiesnester, Versandungen, Lunker und Risse Schwachstellen durch die die Karbonatisierung des oberflächennahen Betons beschleunigt wird. Das bedeutet, dass die Aussagen dieser Kapitel, welche die Regelwerke betreffen auch hier gelten.

Zusätzlich sind folgende Angaben in den betrachteten Regelwerken in Bezug auf Abplatzungen aufgrund Bewehrungskorrosion zu finden.

Die einzige Aussage der **ÖNORM B 2211** zu diesem Thema ist unter den Nebenleistungen auf Seite 14 der Norm angeführt. Das „*Liefern und Einbauen von Abstandhaltern zur Sicherung der planmäßigen Betondeckung*“<sup>187</sup> ist somit fixer Bestandteil der Ausschreibung, auch wenn dies nicht explizit angeführt ist.

In der **ÖVBB Richtlinie** wird im Hinblick auf die Vermeidung von Abplatzungen durch Rost die Wichtigkeit der Nachbehandlung erwähnt. Im Kapitel 9.1 der Richtlinie wird festgehalten, dass die Nachbehandlung dem Beton die ausreichende Feuchtigkeit im Nachhärtungsprozess sichert und somit ein dichtes Gefüge in Oberflächennähe möglich macht. Eine der wichtigsten Aussagen zu diesem Thema lautet: „*Beton muss vollständig verdichtet werden, um die geforderten Eigenschaften hinsichtlich Homogenität, Tragfestigkeit, Dichtigkeit und Oberflächenqualität zielsicher zu erreichen.*“<sup>188</sup> Alle in diesem Zitat angeführten Eigenschaften haben einen großen Einfluss auf die Karbonatisierungstiefe und -geschwindigkeit. Weitere Details die dieses Thema betreffen sind nicht zu finden.

<sup>186</sup> Vgl.: o.V.: Korrosion von Stahl in Beton, <http://www.citec.citec-survey.com/technology/downloads/korrosion.pdf>, am 14.08.2010 um 20:52.

<sup>187</sup> ON: ÖNORM B 2211, Ausgabe 2009-06-01; S. 14.

<sup>188</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 39.

Das **DBV Merkblatt** geht auf einen weiteren meist vernachlässigten Punkt ein. „Bei *Einschnürungen und Vertiefungen oder bei nachträglicher Bearbeitung der Sichtbetonfläche ist eine ausreichende Betondeckung zum Schutz der Bewehrung vor Korrosion zu berücksichtigen.*“<sup>189</sup> Diese Thematik wird sogar nochmals im Kapitel 5.1.5 behandelt, wo im Merkblatt nochmals die Problematik der Verringerung der Betondeckung bei gestaltenden Vertiefungen durch Schalungseinlagen erläutert wird. Im Kapitel 6.2 wird zusätzlich auf die Verwendung einer ausreichenden Anzahl an geeigneten Abstandhaltern und deren planmäßige Anordnung zur Sicherung der minimalen Bewehrungsüberdeckung hingewiesen.

---

<sup>189</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 16.

## 5 Ebenheitsunregelmäßigkeiten

### 5.1 Versätze und Versprünge

#### 5.1.1 Mangelbeschreibung

Die ÖNORM B 1100 definiert einen Versatz folgendermaßen: „Ein Versatz (Überstand, Höhengsprung, Stufe) wird durch die stufenförmige Formabweichung benachbarter Oberflächen charakterisiert.“<sup>190</sup> Im Betonbau treten diese abrupte Niveaudifferenzen bei Betonierabschnitten bzw. bei Schalungsstößen auf. Diese Stufen in der Oberfläche können sich auf die Breite bzw. Länge eines Schalelements begrenzen, sie können aber auch über den gesamten Bauteil entlang einer Arbeitsfuge verlaufen. Liegt eine Verringerung der Bewehrungsüberdeckung vor, kann es zu einer schnelleren Karbonatisierung des Betons kommen. Die Folge ist der Verlust der Passivierungsschicht der Bewehrung und somit eine Volumsvergrößerung durch Rosten des Stahls. Dadurch wird die Betondeckung abgesprengt und es ergibt sich ein technischer Mangel. Bei allen anderen Versätzen, bei denen die Betondeckung gegenüber dem geplanten Soll vergrößert wird, handelt es sich um einen rein optischen Mangel.



Abbildung 11 Versatz mit Zementleimablauf

(Foto: M. Mühleder)

#### 5.1.2 Mangelursache

Häufig sind Versätze der Betonoberfläche bei horizontalen oder vertikalen Arbeitsfugen zu finden, wie z.B. bei Stiegenhäusern, die eine durchgehende Wand besitzen. Es wird an die bereits erstarrte untere Wand die weiterführende Schalung angebracht und mit einem komprimierbaren Schaumstoffbandband abgedichtet, um einen Zementleimablauf zu vermeiden. Alleine durch diese Abdichtung hat die neu zu betonierende Wand eine größere Breite als die bereits bestehende, auch wenn es sich nur um einige Millimeter handelt. Zusätzlich ist der untere Bereich den höchsten Betondrücken ausgesetzt, wodurch die

<sup>190</sup> ON: ÖNORM B 1100, Ausgabe 2006-06-01; S. 8.

Schalung in einem gewissen Maß nach außen gedrückt wird. Die Größe der so entstehenden Stufe zwischen den Betonierabschnitten wird von der Steifigkeit der Schalung, der Stabilität der Verankerung sowie der Intensität der Verdichtung und der Höhe des Betondruckes beeinflusst.

Aber auch bei aufeinander folgenden Betonierschüttungen, die mit einer großen Betonierpause hergestellt werden, kann es zu so genannten „Betonierschürzen“ kommen. Hat die untere Betonlage bereits seine Grünstandfestigkeit erreicht, löst sie sich von der Schalung. Die darauffolgende Betonierlage drückt die Schalung zusätzlich ab und Zementleim kann zwischen Schalung und den bereits erstarrten Bauteil fließen. Dieser schlierenartige Absatz wird durch Konstruktionspielräume, z.B. einer Schalhaut mit geringer Steifigkeit bzw. einer labilen Unterstützung durch eine zu gering dimensionierte Schalungsunterkonstruktion ausgelöst.

Eine weitere Ursache für Versprünge der Betonoberfläche liegt im Quell- bzw. Schwindverhalten der Schalhaut. Werden Holzwerkstoffplatten mit unterschiedlicher Eigenfeuchte nebeneinander in der Schalung verwendet, entstehen durch die unterschiedliche Dickendimension der Platten störende Absätze. Werden Systemchalungselemente verwendet, können durch eine nicht ausreichend kraftschlüssige Verbindung der Elemente ebenfalls Versätze in der Sichtbetonoberfläche auftreten.

Bei Deckenuntersichten kann eine nicht ausreichende Höhenausrichtung der Auflagerelemente der Schalung zu Niveausprüngen führen. Besonders wenn Schalhautplatten zu weit gespannt werden und keine regelmäßige, kraftschlüssige Verbindung zur Unterkonstruktion vorhanden ist, muss man mit größeren Verformungen rechnen.

Auch bei durch Belastung entstandenen Trennrissen können sich die Rissufer zueinander verschieben und somit einen Versatz der Betonoberfläche hervorrufen.<sup>191</sup> Alle im Kapitel 4.5 Risse angeführten Ursachen und Maßnahmen sind auch hier gültig um den Versatz der Rissufer von Grund auf zu vermeiden.

### 5.1.3 Vermeidung des Mangels

Um Versätze bei Arbeitsfugen zu vermeiden, ist auf eine unnachgiebige Schalung zu achten. Der erste Schritt, der unternommen werden muss um eine solche zu erzielen, ist eine realistische Belastungsannahme in der Planung, die eine dementsprechende Schalungsdimensionierung ermöglicht. Schalhautplatten dürfen nicht zu weit gespannt werden und müssen eine kraftschlüssige Verbindung mit der Unterkonstruktion aufweisen. Wird vermehrt mit Standardabmessungen geplant, können Systemschalungen verwendet werden, bei denen nur mehr auf die kraftschlüssige Verbindung untereinander zu achten

<sup>191</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 61ff.

ist. Weiters kann die Verformung der Schalung durch eine ausreichend steife Schalhautplatte, die kraftschlüssig mit der Unterkonstruktion verbunden sein muss, durch partielle Zwischenunterstützungen sowie durch zusätzliche Verankerungen im unteren Wandbereich verringert werden. Die zusätzlichen Ankerlöcher müssen aber bereits in der Planung beachtet werden, ansonsten ergibt sich ein willkürliches Ankerbild. Eine Möglichkeit das Ankerbild gleichmäßig zu belassen und trotzdem den größeren Betondruck aufzunehmen, ist die Verwendung von dicken, hochwertigen Ankern und einer steifen Schalung um eine Durchbiegungen zwischen den Ankerstellen zu verhindern.<sup>192</sup>

Da der Betondruck im flüssigen Zustand linear nach unten hin zunimmt, muss darauf geachtet werden, dass der Beton nicht zu schnell und in zu großen Lagen eingebaut wird. Beginnt der Beton in einer Lage zu erhärten - das bedeutet er erlangt seine Grünstandfestigkeit -, steigt der Betondruck  $\max p_b$  bei einer zusätzlichen Auflast durch eine weitere Betonlage nicht mehr an. Wird die untere Lage aber erneut verdichtet, verflüssigt sich die gesamte Lage erneut und der Druck auf die Schalung steigt.

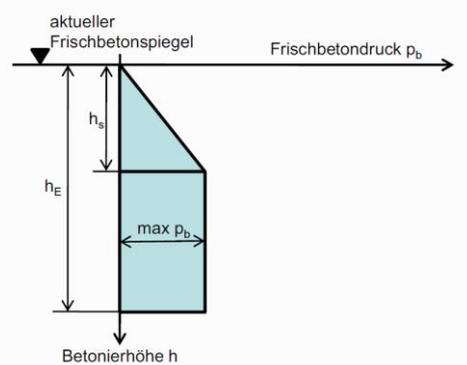


Abbildung 12 Bilineare Druckverteilung nach DIN 18218 (Hofstadler)<sup>193</sup>

Optisch kaschieren kann man Versätze in der Ebene durch Anordnen einer Schattenfuge im Arbeitsfugenbereich. Wird dies vom Planer nicht gewünscht, kann man auch beim ersten Betonierabschnitt eine Holzleiste einlegen, die vor dem Betonieren des darauffolgenden Abschnitts entfernt wird und sich so eine exakte horizontale oder vertikale Linie der Arbeitsfuge ergibt.<sup>194</sup>

Sollen „Betonierschürzen“ unterhalb von langfristig aufeinander folgenden Betonierschüttungen vermieden werden, ist der Verbund zwischen den Lagen wichtig. Vergeht viel Zeit zwischen dem Betonieren der unterschiedlichen Lagen ist das Aushärten der unteren Lage mit einem Zusatzmittel so lange zu verzögern bis die darauffolgende Lage eingebaut wird.

Auch bei Deckenschalungen ist die ausreichende Dimensionierung der Schalungshaut und der Unterkonstruktion wichtig um keine zu großen Durchbiegungen und in weiterer Folge Versätze an den Schalelementstößen zu erhalten. Bei Deckenschalungen soll besonders auf die Höhenausrichtung der Auflagerelemente geachtet werden.

<sup>192</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 61ff.

<sup>193</sup> HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten; S. 174.

<sup>194</sup> Vgl.: o.V.: Betonflächen mit Sichtbetonanforderungen, <http://www.beton-informationen.de/downloads/1-2004-05-02.pdf>, am 22.08.2010 um 18:42.

Um Versätze, die aufgrund unterschiedlicher Feuchtebedingungen der Schalelemente entstehen, zu vermeiden, sollen nur gleiche Schalhautplatten verwendet werden. Es ist sowohl auf eine gleiche Einsatzhäufigkeit als auch auf eine gleiche Lagerung aller Elemente zu achten. Die Eigenfeuchtigkeit ist eventuell durch Besprühen mit Wasser vor dem Einsatz auszugleichen.

#### 5.1.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema

In der **ÖNORM B 2211** wird der Versatz in der Strukturklasse S2 bei Elementstößen auf maximal 5 mm begrenzt. Eine Klasse höher darf der Versatz dann nur mehr maximal 3 mm betragen.

Auch auf den Versatz bei Arbeitsfugen wird eingegangen. Um als zulässiger Mangel eingestuft werden zu können muss der Versatz der Flächen zweier Arbeitsfugen in den Klassen A1 und A2  $\leq 10$  mm sein. In den Arbeitsfugenklassen A3 bzw. A4 wird nur mehr ein Versatz von  $\leq 5$  mm bzw.  $\leq 3$  mm zugelassen.

Die **ÖVBB Richtlinie Sichtbeton - Geschalte Betonflächen** definiert den Versatz in der Arbeitsfuge folgendermaßen: „Überstand zwischen zwei benachbarten Betonierabschnitten aus der Fläche“<sup>195</sup>. Die Definition des Versatzes im Elementstoß lautet: „Betonüberstand zwischen benachbarten Schalungselementen“<sup>196</sup>.

Bei der Klassenbildung der Arbeitsfuge wird in der Klasse AF1 ein Versatz der Fläche zweier Betonierabschnitte bis 1,0 cm als zulässig angesehen. Bei der höherwertigen Klasse AF2 verringert sich dieser Wert auf 0,5 cm. Exakt dieselben Werte gelten bei den Schalungselementstößen. Beim Versatz der Schalhautstöße sind in der niedrigeren Klasse aber lediglich 0,5 cm und in der höheren 0,3 cm zulässig.

Bei den Grenzen der Ausführbarkeit werden weiters Versätze über 10 mm zwischen Schalelementstößen und an Bauteilanschlüssen als Abweichung deklariert, die bei fachgerechter Ausführung und angemessener Sorgfalt im Allgemeinen vermeidbar sind.

Ein weiterer wichtiger Satz in diesem Regelwerk betrifft die Schalung. „Die auftretenden Lasten (z.B. Frischbetondruck) bewirken unvermeidliche Verformungen, welche durch entsprechende Steifigkeit der Schalung so klein wie möglich zu halten sind.“<sup>197</sup>

Wird die Gliederungsklasse der Betonoberfläche GO3 vom Planer gewählt wird in der Richtlinie festgehalten, dass sich bereits vor der Ausschreibung über die Größe der

<sup>195</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 4.

<sup>196</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 4.

<sup>197</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 28.

Schalungselemente, die Ankerstellen und die Betonierabschnitte Gedanken gemacht werden müssen.

In dem **Merkblatt Sichtbeton der DBV und der BDZ** wird eine Einteilung der Arbeits- und Schalungsfugenklassen in vier Klassen vorgenommen. Bei den ersten beiden Klassen ist ein Versatz von bis zu ca. 10 mm, in den beiden höheren Klassen von bis ca. 5 mm zulässig. In der höchsten Arbeits- und Schalungsfugenklasse wird zusätzlich angeführt, dass weitere die Fugen betreffende Anforderungen detailliert festzulegen sind.

Wie bereits des Öfteren erwähnt, sind die Angaben zur Ausführbarkeit zwischen der ÖVBB Richtlinie und dem DBV Merkblatt ident.

Bei den systembedingten Merkmalen von Trägerschalungen wird darauf hingewiesen, dass sich Elementstöße stärker abzeichnen als Plattenstöße und sich somit Versätze herstellungsbedingt ergeben.

Im Anhang B „Ausbildung von Stößen und Fugen“ geht das Merkblatt Sichtbeton auf viele wichtige Dinge ein. Es wird zum Einen aufgezeigt, dass bei markanten Arbeitsfugen - diese werden durch das Einlegen von Trapezleisen betont - etwaige Versätze kaschiert werden können. Von der Verwendung einer flächenbündigen Arbeitsfuge wird abgeraten, weil hier sichtbare Absätze nicht auszuschließen sind.

Betrachtet man die Ausführungen zu den Arbeitsfugen zwischen zwei Wänden findet man folgenden wichtigen Absatz:

*„Die Schalung für den Anschlussbeton muss an der Arbeitsfuge dicht anliegen und angespannt werden, um eine Ablösung der Schalung und damit Bildung eines Absatzes infolge Betondruck des Anschlussbetons zu verhindern. Folgendes hat sich bewährt:*

- *Ankerstellen in unmittelbarer Nähe der Arbeitsfugen,*
- *Anspannen der Schalung über eingebaute Verankerungsteile im Erstbeton,*
- *Abstützung der Schalung (gegenseitige Aussteifung durch Stahlrohrstützen, z.B. im Treppenhaus)<sup>198</sup>*

Müssen Arbeitsfugen zwischen zwei Decken ausgeführt werden sind ebenfalls die soeben genannten Punkte zu berücksichtigen. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass bei Decken die Schalungsdurchbiegung durch das Eigengewicht zusätzlich Absätze begünstigt.

---

<sup>198</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 16.

## 5.2 Betonwarzen

### 5.2.1 Mangelbeschreibung

Diese Betonwarzen, oder auch Noppen genannt, sind nach dem Ausschalen an Schalungsstoßkanten sichtbare, runde Betonüberschüsse. Sie entstehen durch die Befestigung der Schalhaut und sind somit genauso wie z.B. die Schalungsstruktur fixer Bestandteil des Negativabdrucks der Schalung auf der Sichtbetonoberfläche. Genau wie bei dem Abdruck des Rahmens bei Systemschalungen muss bei Trägerschalungen die Warzenbildung in einem gewissen Ausmaß akzeptiert werden. Ein spezielles Nagelbild kann vom Planer auch eine gewünschte Oberflächeneigenschaft sein. Wenn dies der Fall ist, müssen genaue Angaben über die Nagelposition im Schalungsplan enthalten sein.



Abbildung 13 Abdruck der Schalungsbefestigung

(Foto: M. Mühleder)

### 5.2.2 Mangelursache

Betonwarzen entstehen dort wo die Schalhautplatte mittels Nägel oder Schrauben von der betonzugewandten Seite an der Unterkonstruktion befestigt wird. Die Schalhaut wird heutzutage - wegen der Einfachheit und Schnelligkeit - meist maschinell mit so genannten Nagelpistolen befestigt. Die Eindringtiefe des Nagelkopfes in die Schalhaut ist bei dieser Maschinennagelung aber kaum exakt einstellbar. Dadurch werden die Nägel teilweise zu tief in das Holz gedrückt, was in weiterer Folge zu diesen Erhöhungen an der Sichtbetonoberfläche führt.<sup>199</sup> Aber auch beim handwerklichen Einhämmern gelingt es in den wenigsten Fällen, dass der Nagelkopf mit der Schalungsoberfläche bündig abschließt.<sup>200</sup> Beim Nageln wird im Nagelkopfbereich das Holz kurzfristig zusammengedrückt, wodurch der Nagel anschließend tiefer liegt als die Schalungsoberfläche. Der größte Fehler der in diesem Zusammenhang gemacht werden kann, ist den Nagel zusätzlich mittels Dorn zu versenken.

Vor allem wenn eine Schalhautplatte mit zu geringer Eigenfeuchte verbaut wird, quillt das Holz durch das Überschusswasser des Betons und/oder infolge nasser Witterung während

<sup>199</sup> Vgl.: o.V.: Konfrontation vermeiden, [http://www.doka.com/doka/de\\_global/services/presscorner/pages/05926/index.php](http://www.doka.com/doka/de_global/services/presscorner/pages/05926/index.php), am 23.08.2010 um 19:08.

<sup>200</sup> Vgl.: SCHMITT, R.: Die Schalungstechnik; S. 106.

der Baustellenlagerung auf. Diese Dimensionssteigerung kann bis zu 20 % betragen. Ein im trockenen Plattenzustand eingebrachter Nagel kann so scheinbar in die Platte „hineingezogen“ werden, das bedeutet das Holz quillt über das Niveau des Nagelkopfes hinaus.<sup>201</sup> Selbst bei beschichteten Schalhautplatten kann durch die Durchdringung des Nagels und durch die Beschädigung der Beschichtung durch den Hammer im Nagelkopfbereich Feuchtigkeit eindringen und so ein Quellen des Holzes hervorgerufen werden.<sup>202</sup>

Fest zuhalten ist zudem, dass durch die Beschädigung der Schalhautplatte durch Rüttelflaschen Warzen auftreten können.

### 5.2.3 Vermeidung des Mangels

Um Betonwarzen an der Sichtbetonoberfläche komplett zu vermeiden, besteht nur die sehr aufwendige Möglichkeit die Schalhautplatten von hinten zu verschrauben.<sup>203</sup> Dies kann auf einer zusätzlichen Sparschalung, einem Winkeln der an die Träger angebracht wird oder durch das Befestigen der Schalhautplatte auf einer Rahmenschalung erfolgen. Dem Bauherrn muss aber von Beginn an klar gemacht werden, dass diese Befestigung mit viel höheren Kosten verbunden ist als die Vernagelung von der betonzugewandten Seite. Ist diese Variante zu teuer, kann man folgende Maßnahmen beachten um die Warzenbildung zu minimieren.

Einer der wichtigsten Punkte um Warzen so klein wie möglich zu halten ist die Einhaltung der optimalen Eigenfeuchte der Schalungshaut beim Einbau. Nur so kann man konstant bleibende Schalungsdimensionen sicherstellen.

Weiters sollen keine Flachkopfstifte oder –nägeln für die Befestigung verwendet werden, ansonsten entstehen nämlich Warzen mit einem größeren Durchmesser. Empfohlen wird die Verwendung von Linsenkopf-Heftungen, da sich dann die Warzen weniger störend abzeichnen. Die Nagelköpfe sollen bei mittlerer Eigenfeuchte des Holzes bündig mit der Schalungsoberfläche abschließen. Nägel sollten auch beim handwerklichen Einhämmern niemals tiefer in das Holz getrieben werden, weil anderenfalls auch die Schalhaut im Nagelkopfbereich durch den Hammer verletzt wird. Bei der Verwendung einer Nagelpistole ist die Nageleindringtiefe genau einzustellen und laufend zu kontrollieren.

Soll eine qualitativ hochwertige Sichtbetonoberfläche erreicht werden, ist eher eine sorgfältige, handwerkliche Methode der Befestigung anzuwenden, denn Nagelmaschinen können sich nicht auf die unterschiedlichen Eindringwiderstände einstellen.

<sup>201</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 15ff.

<sup>202</sup> Vgl.: PFEIFER, G.; LIEBERS, A.; BRAUNECK, P.: Sichtbeton - Technologie und Gestalt; S. 188.

<sup>203</sup> Vgl.: o.V.: Konfrontation vermeiden, [http://www.doka.com/doka/de\\_global/services/presscorner/pages/05926/index.php](http://www.doka.com/doka/de_global/services/presscorner/pages/05926/index.php), am 23.08.2010 um 19:08.

Auch wenn kein spezielles Nagelbild gewünscht wird, sollen Heftungen aller Art immer geometrisch ausgerichtet sein damit die Warzen nicht so extrem auffallen.<sup>204</sup>

#### 5.2.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema

In der **ÖNORM B 2211** sind keine Angaben zu diesem Thema zu finden.

Die **ÖVBB Richtlinie Sichtbeton** greift die Problematik der Schalungshautbefestigung auf und definiert zwei Anforderungsklassen. In der Klasse BA1 sind Abdrücke durch systemkonforme Befestigung von vorne zulässig solange die Tiefe bzw. Erhabenheit der Abdrücke maximal 3 mm beträgt. Wird die Klasse BA2 als Vertragsgrundlage vereinbart ist die Befestigung der Schalung zu vereinbaren. Das bedeutet es müssen exakte Angaben über die Befestigungsart der Schalung gemacht werden, z.B. eine schalungsebene bzw. überstehende Befestigung, eine nicht sichtbare Befestigung oder eine betonte Befestigung.

Beim Schalungszustand wird weiters darauf hingewiesen, dass Nagel- und Schraubenlöcher, in Abhängigkeit der Klasse, bis zu einem Durchmesser von ca. 1,0 cm in der Klasse SZ1 bzw. ca. 0,5 cm in der Klasse SZ2 zulässig sind. Wichtiger ist in dieser höheren Anforderungsklasse aber die Aussage, dass Aufquellungen im Befestigungsbereich nicht zulässig sind.

Beim **Merkblatt Sichtbeton** sind Nagel- und Schraubenlöcher in der Schalung grundsätzlich zulässig. Das Aufquellen der Schalung im Schraub- bzw. Nagelbereich ist nur in der untersten der drei Schalungsklassen zulässig.

Dieses Merkblatt weist in folgenden zwei Absätzen auf die Befestigung der Schalung bei Trägerschalungen hin.

*„Die Schalung 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 Schalung erfordert eine Sparschalung zur Befestigung der Schalung von der Rückseite. Dieser Aufwand ist gesondert zu vereinbaren.“<sup>205</sup>*

<sup>204</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 15ff.

<sup>205</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 18.

## 5.3 Betongradbildung

### 5.3.1 Mangelbeschreibung

Grate sind längliche Erhebungen der fertigen Betonoberfläche, die bei Fugen der Schalungsplatten auftreten können. Bei sägerauen Brettschalungen können diese Grate teilweise sogar erwünscht sein und als „schmückender“ Bestandteil der Sichtbetonoberfläche Anerkennung finden. Betongrate sind vor allem bei nicht dichten Schalhautstößen anzufinden und gehen sehr oft mit Versandungen oder Kiesnester einher. Durch die Verdichtung werden das Überschusswasser, der Zement und die feine Gesteinskörnung des Betons in die Fugen gedrückt. Nach dem Ausschalen stören diese erstarrten Betonüberschüsse dann die Ebenheit der Sichtbetonoberfläche. Grate sind im Gegensatz zu Nester und Versandungen um einiges leichter zu sanieren, da sie nach dem Entschalen im frischen Zustand sehr einfach mittels Abschlagen entfernt werden können.

206

### 5.3.2 Mangelursache

Einer der wichtigsten Auslöser für Betongrate ist die Eigenfeuchtigkeit der Schalung. Wird eine Holzschalung zu feucht eingebaut, können sich trotz Spundung der Schalungsbretter offene Fugen bei den Stößen ergeben. Durch das Austrocknen während der Bewehrungsarbeiten schrumpft die Schalung und es ergibt sich besonders bei trockener Witterung ein Schalungsfugenspielraum der einige Millimeter aufweisen kann. Wird ein Beton mit einer steifen Konsistenz eingebaut, werden diese Fugen gefüllt und die Schalhaut kann sich bei der Feuchtigkeitsaufnahme nicht mehr vollständig ausdehnen und somit werden in weiterer Folge Betongrate hervorgerufen. Beim Einbringen eines Betons mit flüssigerer Konsistenz neigt der Beton an diesen offenen Fugen eher zu Versandungen. Die größten Schwindverformungen sind bei unbeschichteten Schalhäuten aus Massivholz zu beobachten, hier lässt sich eine Dimensionsabnahme von bis zu 0,3 % je Prozent Feuchtigkeitsdifferenz erkennen. Wird ein Holz auf der Baustelle falsch gelagert, d.h. nicht vor Regen geschützt, kann es eine Eigenfeuchte von 30 % aufweisen. Betrachtet man die Differenz zu einer ausgeglichenen Eigenfeuchte des Holzes von 16 % im Außenbereich erkennt man wie gravierend sich das Schwinden des Holzes auswirken kann.

Besonders bei Deckenuntersichten kann man Grate des Öfteren anfinden, da hier die Bewehrungsarbeiten häufig sehr lange dauern und deshalb die Schalungshaut lange der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt ist. Lange Standzeiten ergeben sich in diesem Fall durch Bauteile mit komplizierten Bewehrungsbauwerken und einem hohen Bewehrungsgehalt.

<sup>206</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 85ff.

Aber auch konstruktive Spielräume des Schalungssystems können Betongrate hervorrufen. Werden Systemschalungen nicht kraftschlüssig verbunden oder ist die Unterkonstruktion des Schalungsbauwerkes zu labil, kann durch die Bewegungen der Mörtel in die Fugen eindringen.

Bei der Verwendung von Schalplatten mit defekten Schalungskanten kann nicht einmal eine perfekte Eigenfeuchte Grate vermeiden.

### 5.3.3 Vermeidung des Mangels

Der wichtigste Punkt um eine Betongratbildung zu vermeiden, ist einmal mehr eine ausgeglichene Eigenfeuchte der Schalungshaut, die vor der Betoneinbringung sicherzustellen ist. Vor allem auf den Schutz der Schalung vor intensiver Durchfeuchtung bei der Lagerung soll vor dem Einbau und zwischen den Betonierabschnitten geachtet werden. Erreicht wird dies am besten durch eine witterungsgeschützte Aufbewahrung der Schalung während der gesamten Baustellenlagerung. Fertige Schalelemente sollen zwischen ihrem Einsatz stehend gelagert werden damit der Regen, sofern kein Schutz vorhanden ist, abfließen kann. Nur so kann sichergestellt werden, dass das Holz nicht zu feucht in die Schalung eingebaut wird und es dadurch zu großen Schwindverformungen kommt. Es soll ein praxisbezogener Mittelwert von etwa 16 % Eigenfeuchte zum Montagezeitpunkt vorliegen. Besser als zu feucht ist es die Schalung eher überdörrt einzubauen, da sich durch die Aufnahme der Betonfeuchte kleine Fugen schließen können. Man muss in diesem Zusammenhang aber darauf achten, dass sich durch Zwänge keine Wölbungen der Schalhaut ergeben (mehr im Kapitel 5.5).

Ist die Schalung durch eine lange Standzeit ausgetrocknet, ist es notwendig sie vor der Betoneinbringung reichlich anzunässen. Durch das Besprühen der Schalung nach dem Bewehrungseinbau besteht jedoch die Gefahr, dass sich andere Mängel ergeben. Es können z.B. Rostspuren auftreten, da das Wasser Rost von der Bewehrung abwäscht. Besonders bei Deckenschalungen ist deshalb eine zusätzliche Reinigung, wie unter Punkt 3.3 erläutert, wichtig. Aber auch bei hohen vertikalen Bauteilen, die mit einer Arbeitsfuge errichtet werden ist darauf zu achten, dass das verunreinigte Wasser nicht auf die fertige Betonoberfläche gelangt. Verhindern kann man dies unter anderem durch eine gute Abdichtung der Schalhaut hin zum bestehenden Beton.<sup>207</sup> Um die Standzeit der Schalung zu minimieren ist es wichtig den Bewehrungseinbau schnell zu absolvieren. Durch eine ausreichende Bauteildicke und einem geringen Bewehrungsgrad können die Bewehrungsarbeiten schnell beendet werden.

Aber nicht nur die ausgeglichene Eigenfeuchte kann Gratbildungen verhindern. Das Auslaufen des Betons kann auch durch eine geeignete Spundung der losen Schalungsbretter unterbunden werden. Empfohlen wird eine untergefügte Keilspundung,

<sup>207</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 85ff.

da hier die Dreiecksnut eine Kantenpressung aufbaut die nur einen minimalen Ablauf der Zementschlämme zulässt.<sup>208</sup>

Um nahtarme Sichtbetonoberflächen bei Systemschalungen zu erhalten ist auf ein kraftschlüssiges Verbinden der Elemente und eine ausreichend stabile Unterkonstruktion zu achten. Als Schalhaut sollen nur Schaltafeln verwendet werden, die gerade und scharfe Kanten aufweisen. Nur so kann man sicherstellen, dass die Schaltafeln passgenau aneinander gefügt werden können.<sup>209</sup>

#### 5.3.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema:

Bei den Angaben zu Ausbildung von Arbeitsfugen definiert die **ÖNORM B 2211** vier Anforderungsklassen. In den drei höchsten wird angeführt, dass allfällige Feinmörtelaustritte entfernt werden müssen. Genauere Angaben werden bei den Elementstößen gemacht. Dort wird in der Klasse S1 ein austretender Zementleim/Feinmörtel bei Elementstößen bis max. 20 mm Breite und 10 mm Tiefe erlaubt. In der Strukturklasse S2 werden diese Werte halbiert und zusätzlich verbleibende Grate auf 5 mm begrenzt. In den beiden höchsten Klassen sind Zementleim/Feinmörtelaustritte bis zu einer maximalen Breite von 3 mm erlaubt. Hier sind auch nur mehr feine, technisch unvermeidbare Grate  $\leq 2$  mm zulässig.

Die **ÖVBB Richtlinie Sichtbeton – Geschalte Betonflächen 2009** definiert den Begriff Grat als „durch Schalungsstöße entstehende linienförmige Unebenheit“<sup>210</sup>. Unter Feinmörtelaustritt versteht man den „Austritt von Zementleim/Feinmörtel an Undichtigkeiten der Schalung und an Bauteilanschlüssen“<sup>211</sup>.

Auch in diesem Regelwerk werden diverse maximale Ausmaße von Grate angegeben. In der niedrigeren Klasse AF1 ist in den Arbeitsfugen ausgetretener Zementleim/Feinmörtel bis 1,5 cm Breite und 1,0 cm Tiefe zulässig. Betrachtet man die höhere Anforderungsklasse sind nur mehr 1,0 cm Breite und 0,5 cm Tiefe zulässig. Weiters wird in diesen zwei Klassen angeführt, dass Feinmörtelaustritte rechtzeitig entfernt werden müssen.

In den Schalelementstößen gelten in den zwei Klassen dieselben maximalen Ausmaße wie bei den Arbeitsfugen. Es wird lediglich die Höhe der verbleibenden Grate auf 0,5 cm begrenzt.

<sup>208</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Planung; S. 44ff.

<sup>209</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 85ff.

<sup>210</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 3.

<sup>211</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 3.

Die zwei Schalhautstoßklassen werden durch üblichen und geringen Feinmörtelaustritt differenziert.

Geringfügige Ausblutungen an Stößen zwischen Schalbrettern bzw. -elementen sind laut ÖVBB Richtlinie nur eingeschränkt vermeidbare Abweichungen. Herunterlaufende Mörtelreste („Nasen“) durch undichte Arbeitsfugen an vertikalen Bauteilen sind aber bei fachgerechter Ausführung und angemessener Sorgfalt im Allgemeinen vermeidbare Mängel.

Um Feinmörtelaustritten an Schalhautfugen vorzubeugen wird in dieser Richtlinie festgelegt, dass die Innenrüttler nicht zu nahe an den Schalungsflächen eingetaucht werden dürfen.

Bei der Einteilung in Schalelementstoßgruppen T1 bis T3 verwendet das **DBV Merkblatt** dieselben Ausmaße wie die ÖNORM B 2211 in den Klassen S1 bis S3. Die zulässige Höhe der verbleibenden Grate beträgt in der Klasse T2 maximal 5 mm. In der Klasse T3 verringert sich dieser Wert auf 3 mm.

Bei den Klassen der Arbeits- und Schalhautfugen findet man über die rechtzeitige Entfernung von Feinmörtelaustritten dieselbe Aussage wie in der ÖVBB Richtlinie.

Es wird ebenfalls auf eine Abdichtung aus Silikon oder komprimierbarem Fugendichtband hingewiesen um die Dichtheit der Schalhaut- bzw. Schalungsstöße sowie bei den Arbeitsfugen zu erhöhen.

Wie bereits im Kapitel Versätzen erwähnt, weist das Merkblatt auf die Gefahr von Ausblutungen bei flächenbündigen Arbeitsfugen hin.

Es werden weiters Ausführungsempfehlungen für Arbeitsfugen gemacht. Zwischen Boden und Wand ist u.a. auf einen ebenen Untergrund der Boden- bzw. Deckenoberfläche zu achten oder die Schalung im Wandfußbereich entsprechend abzudichten.

## 5.4 Ausbrüche von scharfen Kanten

### 5.4.1 Mangelbeschreibung

Der Trend, Sichtbetongebäude mit präzisen und scharfen Kanten zu versehen, hält bei den Architekten weiter an. Die Problematik liegt aber darin, dass Außenecken von Grund auf Schwachstellen sind. Es fehlt dem Beton in diesem Bereich die stützende Wirkung des Korngerüstes, da nur kleinere Zuschlagskörner und Feinteile an die Kante vordringen können. Dies natürlich auch nur wenn die Schalung in der Ecke dicht ausgeführt ist. Ist das nicht der Fall, können die Feinteile austreten und es entstehen Kiesnester wodurch die Kanten

noch leichter ausbrechen. Die Folge ist ein nahezu irreparabler Schaden, da auch bei größter Sorgfalt eine Remodelierung der Kante sichtbare Spuren hinterlässt.

Da aktuell bei einigen Schulen perfekte, scharfe Kanten im Nachhinein wieder abgefast werden mussten, soll an dieser Stelle kurz erwähnt werden, dass laut ÖISS Richtlinien für den Schulbau Ecken bis zu einer Höhe von 2 Meter nicht scharfkantig ausgeführt werden dürfen.

Die gesamte Problematik kann natürlich durch das Anordnen von gefasteten Kanten verhindert werden. Da scharfe Kanten von Planerseite aber sehr oft gefordert werden wird in weiterer Folge nicht auf diese Thematik eingegangen.

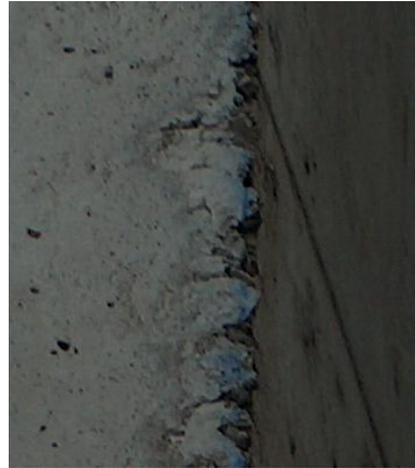


Abbildung 14 Ausbrüche scharfen Ecke

(Foto: M. Mühleder)

#### 5.4.2 Mangelursache

Sehr oft liegt der Grund für ausgebrochene Kanten schon bei der Errichtung des Schalungsbauwerkes bzw. bei der falschen Betonverdichtung. Durch das Austreten von Zementleim bei undichten Schalungsfugen im Eckbereich oder durch ungenügende Verdichtungsarbeit besitzt der Beton in diesem Bereich eine geringe Festigkeit. Die Folge sind Kanten, die bei mechanischer Belastung sehr leicht ausbrechen oder von Beginn an keinen Verbund mit dem Untergrund besitzen.

Schafft man es aber eine gute ungefastete Kante zu erzeugen, wird diese häufig beim Entschalen ruiniert. Durch die ungünstige Schalungsgeometrie im Eckbereich und das lösen der Schalung mit „roher“ Gewalt brechen die Kanten oft ab. Es gibt jedoch weitere Gründe, warum Ecken beim Ausschalvorgang ausbrechen können. Wird der Bauteil zu früh ausgeschalt besitzt der Beton noch zu wenig Festigkeit und die Kanten brechen auch bei großer Sorgfalt der Arbeiter aus. Wird als Schalungshaut sägeraues Brettholz verwendet, kann es manchmal durch das sich bei der Austrocknung zusammenziehende Holz beim Erhärten des Betons ohne Fremdeinwirkung zu Kantenabbrüchen kommen.<sup>212</sup>

Am häufigsten werden scharfe Kanten von Sichtbetonbauteilen aber nicht bei der Erstellung ausgebrochen sondern in der Zeit zwischen dem Ausschalen und der Abnahme. Bei nicht geschützten Ecken werden, durch unvorsichtige Nachfolgegewerke, die Kanten häufig im Baustellenbetrieb abgeschlagen.

<sup>212</sup> Vgl.: BOSOLD, D.: Scharfe Kanten bei Sichtbeton; S.62ff.

### 5.4.3 Vermeidung des Mangels

Scharfe Kanten können nur dann erreicht werden, wenn die Schalung im Eckbereich ausreichend dicht ist. Eine dichte Schalung wird erreicht wenn die Maßnahmen die auch Kiesnester im Eckbereich vermeiden - wie sie im Kapitel 4.1.3 näher erklärt sind - eingehalten werden.

Weiters ist eine gute Verdichtung des Eckbereichs unerlässlich um durch einen homogenen Beton den Kanten eine gute Stabilität zu verleihen. Es hat sich gezeigt, dass bei der Verwendung von Trägerschalungen bessere Ergebnisse im Hinblick auf die Kantenqualität erzielt wurden als bei Rahmenschalungen. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich darin, dass bei der Herstellung einer Trägerschalung sehr gut geschultes Personal benötigt wird und diese auch wissen wie man mit der Problematik von undichten Schalungsfugen umgehen muss.

Die Schalung soll erst dann von der Betonoberfläche gelöst werden, wenn der Beton eine ausreichende Festigkeit aufweist.<sup>213</sup> Wann hier der optimale Zeitpunkt vorliegt ist von den jeweiligen Umgebungsbedingungen abhängig. Je kühler die Witterung desto länger benötigt der Beton um seine Festigkeit zu entwickeln. Das Ausschalen hat anschließend mit großer Vorsicht zu erfolgen. Aufgrund der einfachen Handhabung und somit der Vermeidung von Kantenabbrüchen sollen nicht zu große Schalelemente auf einmal entfernt werden.

Eine der wichtigsten Maßnahmen um scharfe Kanten bis zur Abnahme vor der mechanischen Schädigung durch unachtsame Arbeiter zu sichern, ist das Anbringen eines Kantenschutzes. Da an ungeschützten Kanten trotz sensibilisierter Arbeiter kleine Beschädigungen nicht zu vermeiden sind, soll der Schutz so schnell wie möglich angebracht werden. Dabei ist darauf zu achten, dass beim direkten Kontakt mit dem Holz des Kantenschutzes der jungen Beton nicht unterschiedlich hydratisiert. Um etwaige Farbabweichung zu verhindern, kann man den Beton vor der Anbringung des Holzes eine gewisse Zeit „reifen“ lassen. Dies würde aber wiederum ein langes Freistehen der Kante bedeuten, wodurch das Risiko der mechanischen Zerstörung durch Nachfolgewerke steigt. Alternativ kann man das Holz auf dem Beton mit Abstandhaltern aus Kunststoff befestigen, die die Auflagefläche auf der Betonoberfläche minimieren. Die Positionierung der Abstandhalter soll so erfolgen, dass Verfärbungen in der späteren Nutzung nicht mehr zu sehen sind. Empfohlen werden bodennahe Bereichen einer Wand, da hier die Verfärbungen vom Bodenaufbau anschließenden verdeckt werden. Aber auch die Befestigung dieser Schutzmaßnahme durch die Schalungsankerlöcher ist eine gute aber aufwendige Variante.

Es hat sich darüber hinaus gezeigt, dass die Verwendung von Außenrüttlern zu einer besseren Qualität der Ecken führt, da die Feinteile zur Schalungsoberfläche „gesaugt“ und

---

<sup>213</sup> Vgl.: BOSOLD, D.: Scharfe Kanten bei Sichtbeton; S.62ff.

anschließend dort gut verteilt werden. Somit werden auch die Eckbereiche mit Beton gefüllt. Grundvoraussetzung ist natürlich auch hier eine dichte Schalungsfuge. Wichtig ist auch das Einhalten des vom Schalungs- und Rüttlerhersteller empfohlenen Verdichtungsschemas, ansonsten kann es zu anderen Mängeln - wie z.B. unterschiedliche Grautöne - kommen.

Durch die Verwendung von selbstverdichtendem Beton werden sehr gute scharfe Kanten erzeugt, da sowohl die Schalung bei dieser Betonierart sehr dicht ist und der Beton die Ecken mit der gleichen hohen Qualität wie im Flächenbereich ausfüllt.<sup>214</sup> Eine weitere Möglichkeit besteht darin Leisten aus ultrahochfestem Beton in die Eckbereiche einzulegen.<sup>215</sup> Textur- und Farbunterschiede zwischen der Eckausführung mit Verstärkungsleisten und dem Beton der restlichen Fläche sind jedoch fast unumgänglich.

#### 5.4.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema

Die **ÖNORM B 2211** geht in keinem Punkt auf das Thema der Herstellung von scharfen Kanten bzw. auf die Vermeidung von Ausbrüchen in Eckbereichen ein.

Die **ÖVBB Richtlinie** unterscheidet bei den nicht klassenbildenden Anforderungen an die Bauausführung zwei Kantenausbildungsklassen. Wird ein Bauteil mit der Kantenausbildung K1 gefordert, versteht man darunter gebrochene, gefaste Kanten, die z.B. durch einlegen einer Dreikantleiste in die Schalungsecke herzustellen sind. Im Gegensatz dazu bedeutet die Klasse K2 scharfe Kanten. Hier findet man bereits in der Fußnote folgende Anmerkung: *„Ungefaste, scharfe Kanten ohne kleinere Abbrüche bzw. Feinmörtelaustritte sind nicht zielsicher herzustellen. Scharfe Kanten sind während der Bauzeit zu schützen.“*<sup>216</sup>

Da in diesem Zusammenhang der Feinmörtelaustritt ebenfalls eine Rolle spielt, sind die Angaben der Schalhaut-, Schalungselementstöße und Arbeitsfugen, wie sie im Kapitel 5.3.4 dieser Arbeit angeführt sind, auch in diesem Kapitel zu beachten.

Auch bei den Grenzen der Ausführbarkeit findet man die schon bekannte Aussage, dass ungefaste, scharfe Kanten ohne kleinere Abbrüche nicht bzw. nicht zielsicher herstellbar sind. Im Gegensatz dazu werden unsaubere Kantenausbildungen durch beschädigte, verrutschte oder ungeeignete Dreikant- bzw. Trapezleisten als vermeidbare Abweichungen angesehen. Durch diese Aussagen ist ersichtlich, dass eine ungerade Eckausbildung - die an einer scharfen Kante in einem gewissen Ausmaß auftreten darf - bei einer gefasten Kante nicht akzeptiert wird.

<sup>214</sup> Vgl.: o.V.: Easycrète-Der Qualitätsbeton, [http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/CE9A2015-2FA0-4E95-8648-FA81198CA415/0/Easycrète\\_Prospekt.pdf](http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/CE9A2015-2FA0-4E95-8648-FA81198CA415/0/Easycrète_Prospekt.pdf), am 23.09.2010 um 20:16.

<sup>215</sup> Vgl.: HOFSTADLER, C.: Sichtbeton – aktuelles Meinungsbild der österreichischen Architekten, [http://www.zement.at/service/literatur/fileupl/koll07\\_hofstadler.pdf](http://www.zement.at/service/literatur/fileupl/koll07_hofstadler.pdf), am 23.09.2010 um 20:17.

<sup>216</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 13.

Im Kapitel 9.1 der Richtlinie findet man zudem noch folgende Aussage: „Auch muss beachtet werden, dass bei zu frühem Ausschalen von feingliedrigen Bauteilen Ecken und Kanten leicht abplatzen können und eine nachfolgende Betonsanierung dem ursprünglichen Betonbild nicht nachkommt.“<sup>217</sup>

Auch auf das richtige Verdichten, im Speziellen auf den richtigen Abstand des Innenrüttlers von der Schalhaut wird im Kapitel 9 der ÖVBB-Richtlinie hingewiesen.

Das **Merkblatt Sichtbeton der DBBV und der BDZ** definiert keine Anforderungsklasse, die sich mit der Eckausbildung beschäftigt.

Auch in diesem Regelwerk werden ungefaste, scharfe Kanten ohne kleinen Abbrüchen und geringem Auslaufen von Zementleim als technisch nicht oder nicht zielsicher herstellbar angesehen.

Ein sehr wichtiger Absatz im Hinblick auf die Streitvermeidung aufgrund von Ausbrüchen scharfer Kanten lautet:

*„Die Form des herzustellenden Bauteiles (...) muss materialgerecht sein und eine sachgemäße Ausbildung von Kanten und Fugen ermöglichen. Bei der Planung und Ausschreibung von (...) scharfen Ecken, Kanten u.ä. ist zu beachten, dass beim Ausschalen trotz großer Sorgfalt Kanten abbrechen können.“*<sup>218</sup>

Im Kapitel 5.2 Ausschreibung des Merkblattes Sichtbeton wird festgehalten, dass die Art der Ausbildung der Kanten und Ecken (z.B. scharf oder gebrochen) als Gestaltungsmerkmal zur Beschreibung der geforderten Ansichtsfläche gehört.

## 5.5 Wellen in der Oberfläche

### 5.5.1 Mangelbeschreibung

Wellen sind einzelne oder wiederkehrende Erhöhungen bzw. Vertiefungen an der Sichtbetonoberfläche. Man spricht hier auch von einer Abweichung der Planebenflächigkeit die im Gegensatz zu Versätzen und Versprüngen kontinuierlich, d.h. nicht sprunghaft, erfolgt. Die Wellen können sowohl vertikal als auch horizontal verlaufen und können komplett unterschiedliche Wellenlängen und verschiedene Amplituden aufweisen. Kleine, leicht wellige Erscheinungen sind in diesem Zusammenhang häufig bei Sperrholzschalungen anzutreffen und werden „Ripplings“ genannt. Da diese Wellen auch bei größter Sorgfalt in einem gewissen Ausmaß kaum zu vermeiden sind, muss der

<sup>217</sup> ÖVBB: Sichtbeton - Geschalte Betonflächen, Ausgabe Juni 2009; S. 38.

<sup>218</sup> DBV; BDZ: Merkblatt Sichtbeton, Fassung August 2004; S. 16.

Bauherr die in den Normenwerken angegebenen Toleranzen akzeptieren, auch wenn schon geringe Unebenheiten vor allem bei Streiflicht meist gut sichtbar und störend sind.<sup>219</sup>

### 5.5.2 Mangelursache

Wellen in der Sichtbetonoberfläche haben grundsätzlich zwei Gründe. Wellen treten vor allem bei saugenden Schalungsoberflächen auf, die zu trocken in die Schalung eingebaut wurden. Werden die Bretter bzw. Schaltafeln dicht aneinandergesetzt, wird zwar das Austreten des Zementleims verhindert, das Holz kann sich bei Feuchteaufnahme jedoch nicht ausdehnen und so kann es zu Aufwölbungen der Schalung kommen. Durch die Feuchteaufnahme wird die Schalungshaut zusätzlich noch weicher und elastischer, wodurch das Wölben noch erleichtert wird.<sup>220</sup> Ripplings kann man häufig beim ersten Einsatz von beschichteten Sperrholzplatten beobachten. Die Feuchteaufnahme beginnt hier bei den ungeschützten Plattenkanten. Bei der weiteren Feuchteaufnahme quillt die Holzplatte aber sehr unterschiedlich, weswegen leichte Wellen an der Sichtbetonoberfläche erkennbar werden.<sup>221</sup> Der zweite Grund für Wellen an der Oberfläche, ist eine unzureichend stabile Schalung. Sind die Unterstützungsabstände der Schalung zu groß, treten Wellen im Raster der Unterstützungen auf. Weiters kann es auch durch eine zu gering dimensionierte Schalung zu Durchbiegungen kommen. Dies besonders bei Decken und im unteren Wandbereich, wo im Zusammenwirken mit zu intensivem Verdichten oder bei einer Doppelverdichtung der Betondruck hohe Werte annehmen kann.

### 5.5.3 Vermeidung des Mangels

Um Wellen aufgrund des zu großen Quellens der ausgetrockneten Schalungshaut zu vermeiden, ist die Schalung mit einer mittleren Eigenfeuchte in dem Schalungsbauwerk zu verbauen. Beim Vornässen vor dem Einbau der Schalungshaut in die Schalung muss darauf geachtet werden, dass bei zu feuchtem Einbau durch Schwinden des Holzes undichte Schalungsfugen auftreten können. Es wird die Verwendung eines Holzfeuchtemessgerätes zur idealen Bestimmung der Eigenfeuchtigkeit empfohlen. Ein praxisbezogener Eigenfeuchtemittelwert der meisten Schalungshäute liegt bei etwa 16 %. Der genaue Wert ist aber von vielen Faktoren abhängig und deshalb immer an das verwendete Material und die Umgebungsbedingungen anzupassen. Will man sicher gehen, dass keine Aufwölbungen auftreten, besteht auch die Möglichkeit das Quellen über definierte Schalungsfugen aufzunehmen. Hier muss aber die Dichtheit sichergestellt sein.

<sup>219</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 99.

<sup>220</sup> Vgl.: SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; S. 99.

<sup>221</sup> Vgl.: o.V.: Ripplings, <http://www.mueller-bauhandel.de/data/techn-merkblaetter/rippings.pdf>, am 29.09.2010 um 21:54.

Weiters ist eine realistische Belastungsannahme für eine ausreichende Schalungsdimensionierung notwendig. Oft ist eine partielle Zwischenunterstützung im unteren Wandbereich wichtig und notwendig um eine Durchbiegung zu verhindern. Die empfohlene Schüttlagenhöhe von maximal 50 cm und die maximale Steiggeschwindigkeit soll beim Betonieren eingehalten werden um den Betondruck gering zu halten. Da auch eine Doppelverdichtung, durch Verflüssigung der unteren Lage, den Betondruck auf die Schalung erhöht, darf die Vernadelung nur in den oberen 10 bis 15 cm der unteren Schüttlage erfolgen.

#### 5.5.4 Aussagen der Regelwerke zu diesem Thema:

Zur Prüf- und Warnpflicht führt die **ÖNORM B 2211** an, dass insbesondere die Ebenheit zu prüfen ist. Ebenfalls verweist die Norm im Punkt 5.3.4.1 „Maß-, Form- und Lagertoleranzen“ auf die ÖNORM DIN 18202. Dort sind die zulässigen Toleranzen für die Ebenheit und die Messverfahren dafür geregelt. Besonders bei modernen, hochqualitativen Sichtbetonbauteilen kann man davon ausgehen, dass bei den Ebenheitsabweichungen der ÖNORM DIN 18202 die Klasse mit den erhöhten Anforderungen zutrifft. Weitere Angaben werden in der ÖNORM B 2211 bezüglich Ebenheit nicht gemacht.

Bereits bei der klassenbildenden Anforderung der Bauteilbeschreibung in der **ÖVBB Richtlinie Sichtbeton - Geschalte Betonflächen** ist in der niedrigsten Klasse der Abstimmung im Planungsprozess festgelegt, dass Angaben zur Ebenheit erforderlich sind. Weiters wird hier klargestellt, dass diese Abstimmung im Planungsprozess so zu erfolgen hat, dass die technische Machbarkeit gewährleistet ist und in der Angebotsphase eine ausreichende Kalkulation möglich ist.

Bei den Anforderungsklassen der Bauausführung wird die Ebenheit der Betonoberfläche in zwei Klassen unterteilt. Bei beiden Ebenheitsanforderungen wird - wie in der ÖNORM B 2211 - auf die Tabelle 3 der ÖNORM DIN 18202 verwiesen. In dieser Tabelle 3 werden Stichmaße als Grenzwert für verschiedene Messpunktabstände und unterschiedliche Anforderungsklassen angeführt. Bei der Klasse E1 der Richtlinie sind die Grenzwerte der Zeile 5 „Nichtflächenfertige Wände und Unterseiten von Rohdecken“ der Tabelle 3 dieser ÖNORM DIN einzuhalten. Die Klasse E2 bezieht sich auf die Zeile 6 „Flächenfertige Wände und Unterseiten von Decken (...)“ derselben Tabelle.<sup>222</sup> Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass in der Richtlinie nicht auf die höchste Klasse in Zeile 7 der ÖNORM DIN 18202 verwiesen wird. Dort werden Angaben für Flächen mit erhöhten Anforderungen gemacht. Trotz der immer höher werdenden Qualitätsansprüche für Sichtbetonoberflächen darf man nie vergessen, dass es sich nicht um einen werkseitig hergestellten Baustoff - wie dies z.B. bei Metallkonstruktionen der Fall ist - handelt.

<sup>222</sup> Vgl.: ON: ÖNORM DIN 18202, Ausgabe 2010-02-15; S. 9.

In der Richtlinie Sichtbeton wird weiters auf die unvermeidliche Verformung der Schalung durch auftretende Lasten, wie z.B. durch den Frischbetondruck, hingewiesen. Diese Verformungen sind durch eine entsprechend steife Schalung so klein wie möglich zu halten.

Das **Merkblatt Sichtbeton** unterteilt das Kriterium Ebenheit in drei Klassen. Die ersten zwei Klassen verweisen - wie die Richtlinie Sichtbeton - auf die Tabelle 3 in der DIN 18202.<sup>223</sup> Es werden auch hier die Zeile 5 für die Klasse E1 und die Zeile 6 für die Klasse E2 festgelegt. In der Klasse E3 wird über die Zeile 6 der Tabelle 3 hinaus noch weiters angeführt, dass höhere Ebenheitsanforderungen gesondert vereinbart werden müssen. Die dafür erforderlichen Aufwendungen und Maßnahmen sind in diesem Fall vom Auftraggeber detailliert festzulegen. Weiters findet man in der Klasse E3 den Hinweis, dass höhere Ebenheitsanforderungen, z.B. nach DIN 18202, Tabelle 3, Zeile 7, technisch nicht zielsicher erfüllbar sind. Laut Merkblatt gelten diese Ebenheitsanforderungen aber nicht bei bearbeiteten oder strukturierten Flächen.

Im Anhang A des Merkblattes der DBBV und der BDZ werden Anforderungen an die Ausführung in Abhängigkeit von den Ebenheitsklassen angeführt. Es wird hier z.B. auf folgende Punkte eingegangen:

- Die Erforderlichkeit des Einmessens der Schalung (eventuell Geodätisch)
- Möglichst gleichmäßiges Anziehen der Schalungsanker
- Berücksichtigung einer ausreichenden Abstützung des Schalungssystems
- Erforderlichkeit einer sorgfältigen Lagerung und Reinigung der Schalhaut
- Eventuelle Notwendigkeit einer Detailplanung

---

<sup>223</sup> Vgl.: NABau: DIN 18202, Ausgabe 2005-10; S. 9.

## 6 Fazit der Betrachtung der Regelwerke

Folgende Regelwerke wurden in dieser Arbeit betrachtet:

- Werkvertragsnorm ÖNORM B 2211 Ausgabe: 2009-06-01 für Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonarbeiten
- Richtlinie Sichtbeton – Geschalte Betonflächen Ausgabe: Juni 2009 der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik
- Merkblatt Sichtbeton Fassung August 2004 des Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein und der Bundesverband der Deutschen Zementindustrie

Die Aussagen dieser Regelwerke wurden durchleuchtet und analysiert inwieweit sie auf Sichtbetonmängel eingehen und welche Vorkehrungen sie treffen, damit solche Mängel vermieden werden können. Das primäre Problem, warum viele Mängel auftreten, liegt sehr häufig in der unterschiedlichen Auslegung der Angaben von den am Bau Beteiligten. Zudem wird die Beurteilung von fertigen Oberflächen immer durch subjektive Empfindungen beeinflusst.

Betrachtet man die ÖNORM B 2211 ist diese mit Sicherheit ein nur eingeschränkt geeignetes Regelwerk um Sichtbeton eindeutig und für alle verständlich auszuschreiben. Die Klassifizierung von lediglich vier Eigenschaften (Porigkeit, Struktur und Elementstoß, Farbgleichheit sowie Arbeitsfugen) ist zu gering um eine gewünschte Oberfläche zu beschreiben. Man ist somit gezwungen viele eigenformulierte Ausschreibungstexte zu verwenden. Dass es zu unterschiedlichen Auslegungen dieser freien Texte kommen kann, liegt auf der Hand.

Das von der DBBV und der BDZ im Jahre 2004 herausgegebene Merkblatt Sichtbeton, das eine Weiterentwicklung der ÖVBB Richtlinie Geschalte Betonflächen ("Sichtbeton") 2002 ist, hat auch hierzulande eine eindeutige Verbesserung herbeigeführt, da dieses Regelwerk auch in Österreich Anwendung gefunden hat. Es werden viel mehr Sichtbetonkriterien als in der ÖNORM in Klassen eingeteilt und klar beschrieben, wodurch eine eindeutige Formulierung der gewünschten Sichtbetongestalt ermöglicht wird. Weiters wird im Merkblatt auf Spezifikationen, die die Planung, Ausschreibung, Ausführung und Beurteilung von Sichtbetonbauwerke betreffen in ausreichender Form hingewiesen. Wie man in den Kapitel der Mängelaufzählung erkennen kann, sind aber auch in diesem Regelwerk Auslegungsfreiräume vorhanden.

Besonders gründlich wurde in dieser Arbeit die Richtlinie Sichtbeton der ÖVBB durchleuchtet. Sie unterteilt mit Abstand die größte Anzahl an Sichtbetoneigenschaften in klassenbildende und nicht klassenbildende Anforderungen. Dadurch wird eine eindeutige Beschreibung ermöglicht und jeder am Bau Beteiligte kennt genau die Grenzen der einzelnen Klassen. Durch das Anführen von Fotos der einzelnen Klassen wird auch in optischer Form der Unterschied zwischen den Anforderungen erkenntlich gemacht.

Die Richtlinie lehnt sich in einigen Punkten an das DBV-Merkblatt Sichtbeton an, wie dies z.B. bei den Grenzen der Ausführbarkeit der Fall ist. Verwunderlich ist dabei, dass bei der ÖVBB-Richtlinie als auch beim DBV-Merkblatt im Kapitel über die Ausführbarkeitsgrenzen bei einzelnen Angaben Widersprüche auftreten.

Die Angaben zur Schalung, zum Trennmittel und zum Beton legen die erhöhten Anforderungen an die Baustoffe und Bauhilfsstoffe fest und verweisen auch auf ihre richtige Verarbeitung. Dass die Ausführung, d.h. die Betonherstellung, der Einbau und die Nachbehandlung der wichtigste Prozess ist, der die Oberflächeneigenschaft beeinflusst, ist auch in der ÖVBB Richtlinie erkennbar. Auf sechs Seiten wird auf die Einzelheiten der Förderung, des Einbaues, der Verdichtung und der Nachbehandlung genau eingegangen. Die Abnahmeprüfungsvarianten, die im Anhang festgelegt sind, ermöglichen es mit geringem Aufwand die Porigkeitsklasse und die Farbtongleichmäßigkeit zu überprüfen. Die wichtigsten Punkte, die die Beurteilung und die Abnahme betreffen, findet man aber in den Kapiteln 5.4 und 5.5 der Richtlinie Sichtbeton. Hier wird eindeutig auf die Vorteile von Musterflächen hingewiesen. Weiters findet man Angaben über den Betrachtungsabstand, den Beurteilungszeitpunkt und die Beurteilung nach Gesamt- bzw. Einzeleindruck.

Im Zuge der Richtlinie Sichtbeton hat die ÖVBB ein Gütezeichen eingeführt, das Planer und Ausführungsfirmen durch Schulungen erlangen können und diese sich anschließend als „Fachbetrieb für Sichtbeton“ kennzeichnen dürfen. Wenn ein Unternehmen dieses Siegel besitzt, kann man davon ausgehen, dass das Personal für die hohen Anforderungen, die eine Sichtbetonfläche nach sich zieht, ausreichend geschult ist und eine gute Erfahrung in diesem Sektor aufweist.

Dass ein Regelwerk nicht auf alle spezifischen Einzelfälle eingehen kann, muss jedem Benutzer klar sein. Wenn aber alle Beteiligten an Sichtbetonbauvorhaben von den Regelwerken auf die Komplexität und den speziellen Umgang mit diesem Baustoff hingewiesen werden, ist der wichtigste Teil erledigt um qualitativ hochwertige Oberflächen erzielen zu können.

Werden in den Regelwerken widersprüchliche Angaben gemacht, können diese zu Streitigkeiten führen. Auf welche Punkte der Regelwerke im Einzelnen Acht gegeben werden muss, damit keine Meinungsverschiedenheiten aufkommen, wird in den einzelnen Kapiteln dieser Arbeit geklärt. Ebenso kann man aus diesen Ausführungen ableiten, welche Definitionen in zukünftigen Ausgaben eventuell aufgenommen oder detaillierter beschrieben bzw. welche Angaben nochmals überdacht werden sollten.

## 7 Zusammenfassung

Bei der Bewertung der Bauteilqualität von Sichtbetonoberflächen stehen die optischen Ansprüche weit vor den technischen, funktionalen Anforderungen. Diese Arbeit hat sich deshalb nur mit dem Entstehen und Vermeiden dieser optischen Mängel beschäftigt.

Um einen qualitativ hochwertigen Sichtbeton herstellen zu können müssen alle Beteiligten zu jeder Zeit wissen, was von der gewünschten Oberfläche erwartet wird. Nur so ist es möglich das vom Bauherrn gewünschte Ziel zu erreichen. Sehr oft liegt es zu Beginn in der Hand des Architekten den Bauherrn die Grenzen einer Sichtbetonoberfläche aufzuzeigen. Es muss klar gemacht werden, dass eine gute Oberflächenqualität nur durch einen erhöhten Arbeitsaufwand und in weiterer Folge durch höhere Kosten zu erzielen ist. Da eine Ortbetonbaustelle immer den Umwelteinflüssen ausgesetzt ist muss der Bauherr akzeptieren, dass optische Oberflächenmängel in einem gewissen Ausmaß unumgänglich sind. Werden jedoch in der Planungs- und Ausführungsphase die in dieser Arbeit behandelten Maßnahmen beherzigt, kann man das Auftreten von vielen vermeidbaren Mängeln verhindern.

Wird bereits in der Planungsphase ein Sichtbetonsteam einberufen können wichtige Fakten bezüglich des Sichtbetons von Grund auf diskutiert und festgelegt werden. Folgende Beteiligte sollten Optimalerweise von Beginn an in das Koordinationsteam mit einbezogen werden:

- Architekt
- Tragwerksplaner
- Bauherr
- Sachverständiger
- örtliche Bauaufsicht
- eventuell späterer Nutzer

Weiters sollen folgende Beteiligte ehest möglich in dieses Team mit aufgenommen werden:

- Betonlieferant
- Schalungshersteller
- Bewehrungsverarbeiter
- Betoneinbringer
- Zuständiger für die Nachbehandlung

Um an einem Gebäude eine zukünftige Abnahme der Sichtbetonbauteilqualität zu erleichtern, ist direkt vor Ort eine Musterfläche als Referenzfläche zu errichten. Diese Fläche ist an einem untergeordneten Bauteil - wie z.B. im Keller - zu errichten. Man kann diesen Bauteil auch als Probefläche benützen um sein Arbeiterteam auf die Herstellung einer zukünftigen, qualitativ hochwertigen Sichtbetonoberfläche gut vorzubereiten oder diverse Schalungstrennmittelkombinationen auszutesten.

Mit Hilfe der in dieser Arbeit vorgenommenen Einteilung soll jeder Beteiligte Näheres über die Entstehung und die Vermeidung eines Mangels finden um sein Auftreten in Zukunft zu verhindern. Die Themenbereiche im Hauptteil der Arbeit wurden aufgrund deren Erscheinungsart folgendermaßen eingeteilt:

- Farbabweichungen
- Texturunregelmäßigkeiten
- Ebenheitsunregelmäßigkeiten

Im Maßnahmenkatalog findet man die Angaben zur Mängelvermeidung zu den jeweiligen Berufsgruppen und den Aufgabengebieten am Bau zugeordnet:

- Planung: Architektur, Ausschreibung und Statik
- Ausführung: Schalungsverarbeitung, Bewehrungseinbau, Betoneinbau und Nachbehandlung
- Schutzmaßnahmen für das Langzeitverhalten

Hier werden jedem am Bau Beteiligten die Maßnahmen zur Vermeidung von Mängeln, die in seinem Aufgabenbereich liegen, erläutert. Die örtliche Bauaufsicht ist hier nicht extra angeführt, da diese alle Punkte der Beteiligten überprüfen und kontrollieren muss.

Um Komplikationen von Beginn an aus dem Weg zu gehen, sollen alle Beteiligten die Regeln der Richtlinie Sichtbeton - Geschalte Betonflächen und die Faktoren die in dieser Arbeit aufgelistet sind beachten. Um einen Bauteil mit guter Sichtbetonqualität zu errichten ist das Zusammenspielen aller Beteiligten wichtig. Hier ein paar Beispiele die diese Thematik aufzeigen sollen:

- Sind in der Bauzeitplanung keine ausreichenden Pufferzeiten für etwaige Schlechtwetterphasen eingeplant hat der Bauausführende keine Chance eine perfekte Oberflächenqualität zu erreichen.
- Wurde die Verdichtung des Betons schlecht ausgeführt schafft man es trotz einer perfekten Nachbehandlung nicht eine gute Oberflächenqualität zu erreichen.
- Werden keine Rüttelöffnungen im Schalungsbauwerk vorgesehen besteht keine Möglichkeit den Beton mit Innenrüttlern ausreichend zu entlüften.
- Weisen aufeinanderfolgende Lieferungen unterschiedliche Betoneigenschaften auf treten Grautonunterschiede auf auch wenn alle anderen das Augenmerk darauf legen, dass diese nicht auftreten (gleiche und ausgeglichene Eigenfeuchtigkeit des gesamten Schalungsmaterials)

An diesen Beispielen ist ersichtlich, dass das bekannte Sprichwort *„Eine Kette ist nur so stark wie ihr schwächstes Glied“* für die Errichtung von Sichtbetonobjekten perfekt passt. Handeln alle Beteiligten nach bestem Wissen und Gewissen ist die Herstellung hochqualitativer Sichtbetonflächen möglich.

## 8 Fallbeispiele

In diesem Kapitel werden beispielhaft einige Sichtbetonoberflächen auf ihre Mängelerscheinungen analysiert. Es soll dies nur eine demonstrative Darstellung und Beschreibung der Mängel und deren Ursachen sein.

### 8.1 Objekt 1 - Fabrikgebäude

#### Angaben zum Gebäude:

Funktion: Industrie und Gewerbe  
 Herstellung: 1999 – 2002  
 Schalungssystem: Trägerschalung  
 Betonlieferanten: 2 getrennte Firmen um die benötigte Menge liefern zu können  
 Hydrophobierung: keine  
 Foto: 2010

#### Bsp.1:

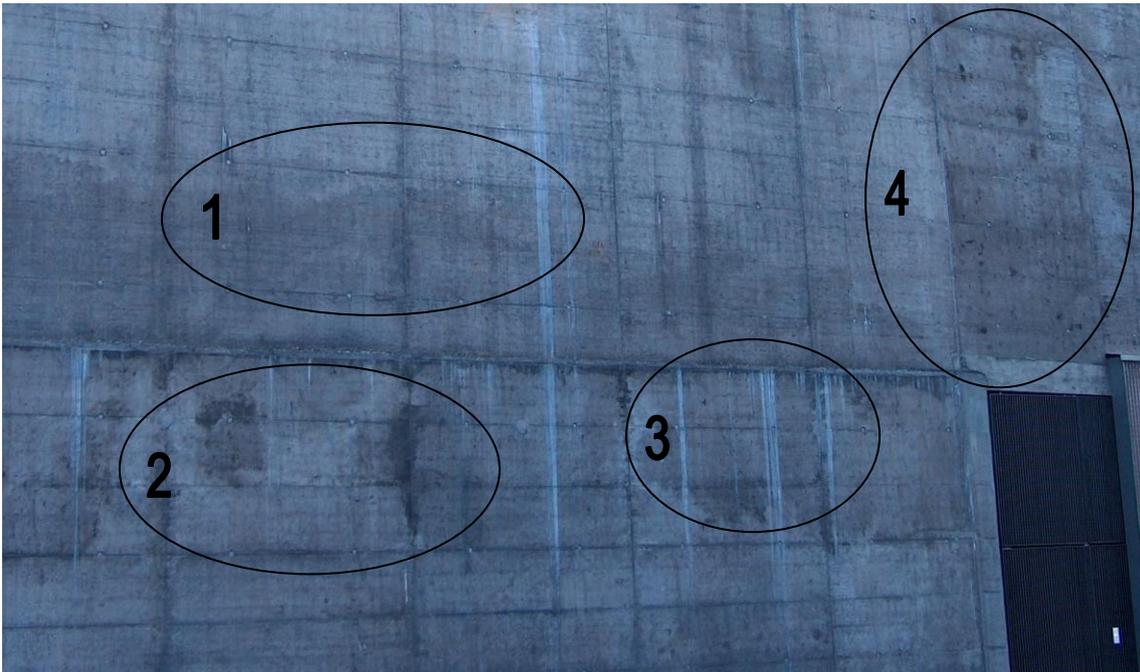


Abbildung 15 Fassadenfläche an Westseite

(Foto: M. Mühleder)

Bereich	Mangel	Ursachen
1	Grautondifferenz	aufeinanderfolgende Schüttilagen mit unterschiedlichen Frischbetoneigenschaften
2	Kiesnester	undichte Ankerlöcher und Schalhautfugen

Bereich	Mangel	Ursachen
3	Kalkfahnen	erleichtertes Auswaschen des Kalziumhydroxids an Schwachstellen des Betons
4	Grautondifferenz	unterschiedliche Frischbeton- oder Schalhautoberflächeneigenschaften

### Mängel dieser Sichtbetonfläche:

Im Bereich 1 sind unterschiedliche Farbtöne der aufeinander folgenden Schüttlagen sichtbar. In den meisten Fällen ist dafür ein unterschiedlicher W/B-Wert verantwortlich. Beginnt es beispielsweise während des Betonierens zu regnen, kann das Regenwasser zu einem höheren Wassergehalt führen und somit eine hellere Betonoberfläche verursachen. Wie mit dem Bauherrn vor Ort besprochen kann man diese schmale horizontale Dunkelverfärbung auch auf einen Mischfehler des Betonwerkes oder die Tatsache, dass bei diesem Bauwerk zwei Betonlieferanten tätig waren, zurückführen. Ebenfalls ist es aber auch möglich, dass in diesem Bereich keine gleichmäßige Verdichtung stattgefunden hat. Wird die Schüttlage ungenügend verdichtet, befinden sich vermehrt Poren an der Sichtbetonoberfläche und somit erscheint der Beton nach dem Ausschalen dunkler. Da es sich im Bereich 1 um die unterste Schüttlage eines Arbeitsabschnittes handelt, können diese Grautonunterschiede auch aufgrund Entmischungserscheinungen entstanden sein. Wird die maximale Fallhöhe des Frischbetons von 50 cm überschritten bzw. ist der Bewehrungsgehalt zu hoch, so kann sich der Beton entmischen und dadurch eine feinteilmarme Zone im unteren Bereich entstehen. Um hier eine genaue Beurteilung machen zu können, müsste man den Bereich 1 aus der Nähe betrachten und analysieren ob die Verfärbung aufgrund einer unterschiedlichen Betonfarbe oder einer ungleichmäßigen Oberflächenstruktur herrührt.

Im Bereich 2 findet man genau bei der Schalhautfuge und bei einer Ankerstelle ein Kiesnest. Der Grund für das längliche, schmale Kiesnest im rechten Bildbereich ist meiner Meinung nach ein undichter Stoß der Schalelemente. Die Feinteile konnten entweichen und somit blieb lediglich das Großkorngefüge zurück. Verwunderlich ist in diesem Fall, dass dieses Kiesnest sich am oberen Ende des Arbeitsabschnittes befindet und im unteren Bereich keine Gefügestörungen sichtbar sind. Meist treten diese Kiesnester in den unteren Bereichen von Arbeitsabschnitten auf, da hier der Frischbetondruck auf die Schalung am größten ist. Aber nicht nur bei Schalungsstößen ist die Dichtheit des Schalungsbauwerkes wichtig, auch bei Einbauten und Spannstellen kann der Feinmörtel auslaufen und zu Kiesnestern führen wie man im linken, oberen Teil des Bereichs 2 an einer Ankerstelle sehen kann.

Im Bereich 3 ist erkennbar, warum es sich bei dieser sichtbaren horizontalen Fuge mit größter Wahrscheinlichkeit um eine Arbeitsfuge handelt. Diese fahnenartigen, weißen Kalkschleierausblühungen treten bei Schwachstellen im Beton wie Arbeitsfugen, Rissen, Ankerlöchern, usw. auf. Das Fremdwasser kann hier leicht in den Beton eindringen und das Kalziumhydroxid auswaschen, wodurch nach dem Verdunsten des Wassers durch die Karbonatisierung diese Kalziumkarbonatspuren zurückbleiben. Bereits das Ausführen der Arbeitsfuge als Schattenfuge würde das Ausmaß dieser Kalkfahnen verringern, da weniger Wasser unmittelbar die Fuge durchnässen kann.

Es muss angemerkt werden, dass diese Sichtbetonoberfläche schon einige Zeit den Umwelteinflüssen ausgesetzt war, wodurch der Regen diese Kalkausblühungen erst ermöglichte.

Die im Bereich 4 sichtbaren Farbunterschiede können verschiedene Gründe haben. Wenn es sich um zwei unterschiedliche Arbeitsabschnitte handelt, kann natürlich wieder eine differierende Betonzusammensetzung der Grund für den dunkleren Farbton sein. Die Verfärbung beschränkt sich aber auf einen auf allen Seiten genau abgegrenzten Bereich. Somit liegt die Vermutung nahe, dass in diesem Bereich eine Schalung verwendet wurde, die ein anderes Saugverhalten als die benachbarten Schalungen aufgewiesen hat. Gründe dafür können sein:

- eine unterschiedlich intensive Austrocknung der Schalhautelemente bei der Lagerung der Schalung
- die Verwendung von neuen Schaltafeln, da in diesem Bereich, aufgrund der unteren Öffnung, möglicherweise gestückelt werden musste
- ein ungleichmäßiger Trennmittelauftrag

## 8.2 Objekt 2 - Feuerwehrhaus

### Angaben zum Gebäude:

Funktion:	Sonderbau
Herstellung:	1999 – 2000
Schalungssystem:	Trägerschalung
Hydrophobierung:	keine
Foto:	2010

### Bsp. 2:

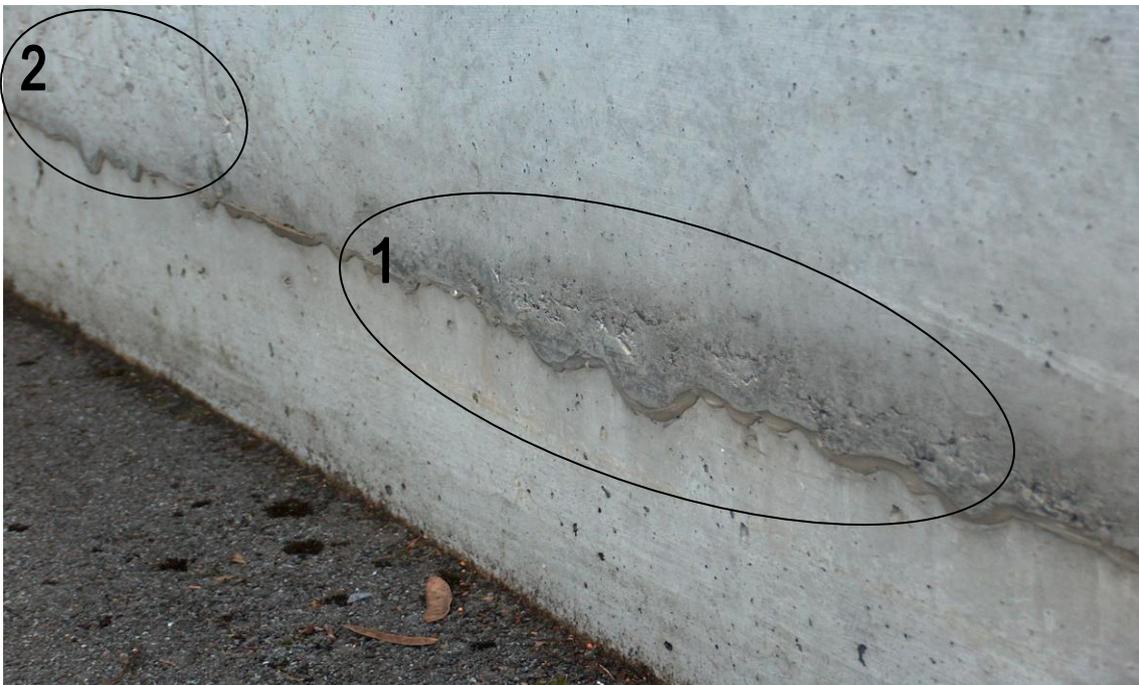


Abbildung 16 Arbeitsfuge in Bodennähe

(Foto: M. Mühleder)

Bereich	Mangel	Ursachen
1	Versatz, auslaufender Beton	nicht ausreichend stabile Schalung – Beton kann zwischen die Schalung und den bestehenden Beton eindringen und die Schalung dadurch abdrücken
2	Kiesnest	auslaufender Zementmörtel durch offene Fuge zwischen Schalung und bestehendem Beton

### Mängel dieser Sichtbetonfläche:

Das Foto zeigt eine horizontale Arbeitsfuge in Bodennähe. Die im unteren Bereich des Fotos sichtbare Kellerwand wurde bis zur Spritzwasserhöhe über die zukünftige Geländekante betoniert. Anschließend wurde die darauffolgende eingeschossige Sichtbetonmauer, die etwa fünf Meter aufweist, in einem Arbeitsabschnitt betoniert. Trotz lagenweiser Einbringung des Betons wurde der Druck im unteren Bereich so groß, dass die

Schalung vom Bestand abgedrückt wurde. Der Grund dafür liegt höchstwahrscheinlich in einer nicht ausreichend stabilen Ausführung der Schalung. Auch wenn die Schalung bei dieser horizontalen Arbeitsfuge gut abgedichtet wurde, war es durch die großen Verformungen der Schalung möglich, dass Beton zwischen die Schalung und die bestehende Wand gelangen konnte. Daraus ergab sich (wie im Bereich 1 sichtbar) die nicht genau abgegrenzte Stufe zwischen den zwei aufeinander folgenden Betonoberflächen. Somit konnten auch die Feinteile und der Zementleim austreten und es ergaben sich die im Bereich 2 sichtbaren Kiesnester. Verstärkt wird der Betondruck auf die Schalung im Fußbereich einer Wand durch ein eventuelles Doppelverdichten der Schüttilagen. Wird eine untere Betonlage erneut verdichtet, wird die bereits aufgebaute Grünstandfestigkeit des Betons zerstört und es stellt sich erneut der hydrostatische Druckverlauf ein. Auch die Wahl einer ungeeigneten, zu plastischen Betonkonsistenz kann das Ausmaß dieses Mangels erhöhen.

### Bsp. 3:

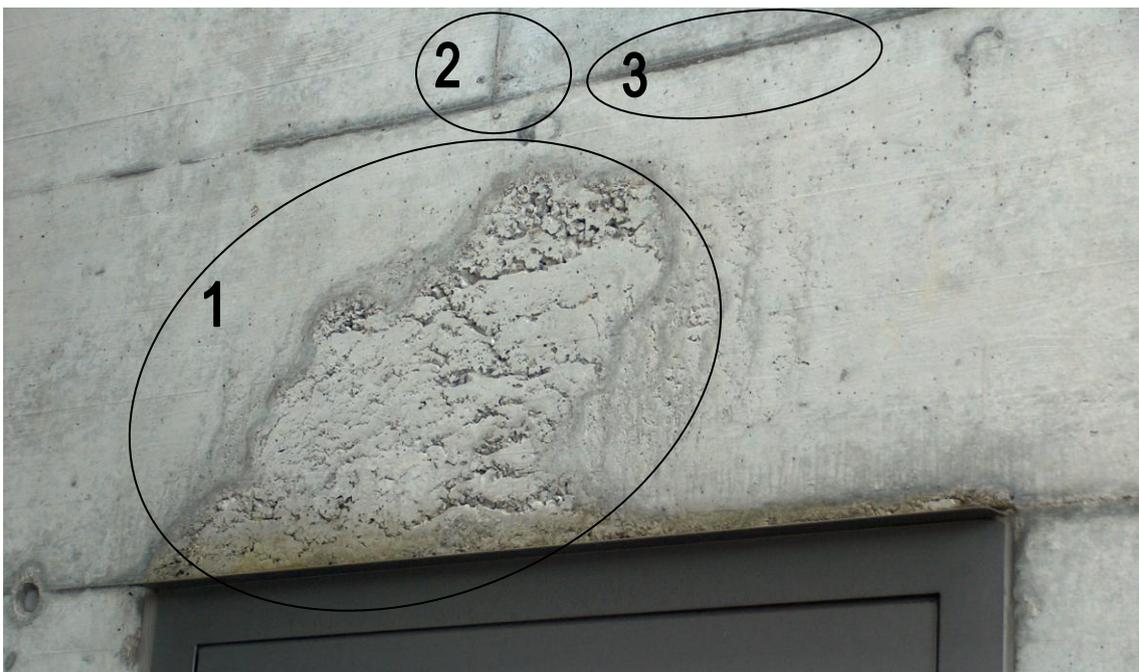


Abbildung 17 Kiesnest über Tür

(Foto: M. Mühleder)

Bereich	Mangel	Ursachen
1	Kiesnest	undichte Schalungseinbauten
2	Betonwarzen	zu tief versengte Schalhautbefestigungsmittel
3	Gratbildung	Zementleimaustritt bei Schalhautfugen

### Mängel dieser Sichtbetonfläche:

Bei dem im Bereich 1 sichtbaren Mangel handelt es sich eindeutig um ein Kiesnest, dass durch eine undichte Schalung ausgelöst wurde. Der Schalungseinbau, der die Aussparung der Tür sichergestellt hat, wurde nicht ausreichend zur Schalungsoberfläche hin

abgedichtet. Die Feinteile konnten durch die Fuge ablaufen und somit war kein Zementleim vorhanden, um eine geschlossene Oberfläche sicherzustellen. Besonders bei Einbauten ist es wichtig, dass die Schalung mit zusätzlichen Schalungsankern gegen Verformungen gesichert ist. Nur so kann sichergestellt werden, dass kein Spalt zwischen dem Holz für die Aussparung und der Schalhaut entstehen. Weiters ist die Fuge mit einem komprimierbaren Dichtungsband abzudichten um das Auslaufen bei geringen Bewegungen zu verhindern.

Da das Kiesnest in diesem Foto extrem ins Auge springt, sind die weiteren Mängel fast nicht auszumachen. Die Betonwarzen im Bereich **2** sind auf ein zu tiefes Versenken der Schalhautbefestigungsmittel oder das Quellen des Holzes während dem Betoneinbau zurückzuführen. Der Beton läuft in die kleine Vertiefung der Schalung und somit sind nach dem Ausschalen diese punktuellen Erhebungen sichtbar. Durch die Feuchtigkeitsaufnahme quillt die Schalhaut und die Warzen werden noch markanter sichtbar. Durch die zusätzliche Beschädigung der Schalhaut in diesem Bereich kann das Holz mehr Feuchtigkeit dem Beton entziehen wodurch die Betonwarzen - durch einen geringeren W/B-Wert - einen dunkleren Farbton besitzen.

Die Betongratbildung im Bereich **3** ist auf eine undichte Schalhautfuge zurückzuführen. Vermutlich wurden die Schalelemente nicht ausreichend zueinander abgedichtet wodurch der Zementleim und die Feinteile auslaufen konnten und nach dem Erstarren diese linienförmigen Erhöhungen hervorgerufen wurden. Eine weitere Möglichkeit, warum diese Grate aufgetreten können, ist das Schrumpfen der Schalhautplatten durch Austrocknung der Schalung während der, durch die Bewehrungseinbringung bedingten, Standzeit.

**8.3 Objekt 3 – Lagergebäude für Energiegewinnung**

**Angaben zum Gebäude:**

Funktion: Industrie und Gewerbe  
 Herstellung: 2004 – 2005  
 Betonarbeiten: ausschließlich in den Sommermonaten 2004  
 Schalungssystem: Rahmenschalung  
 Foto: 2010

**Bsp. 4:**

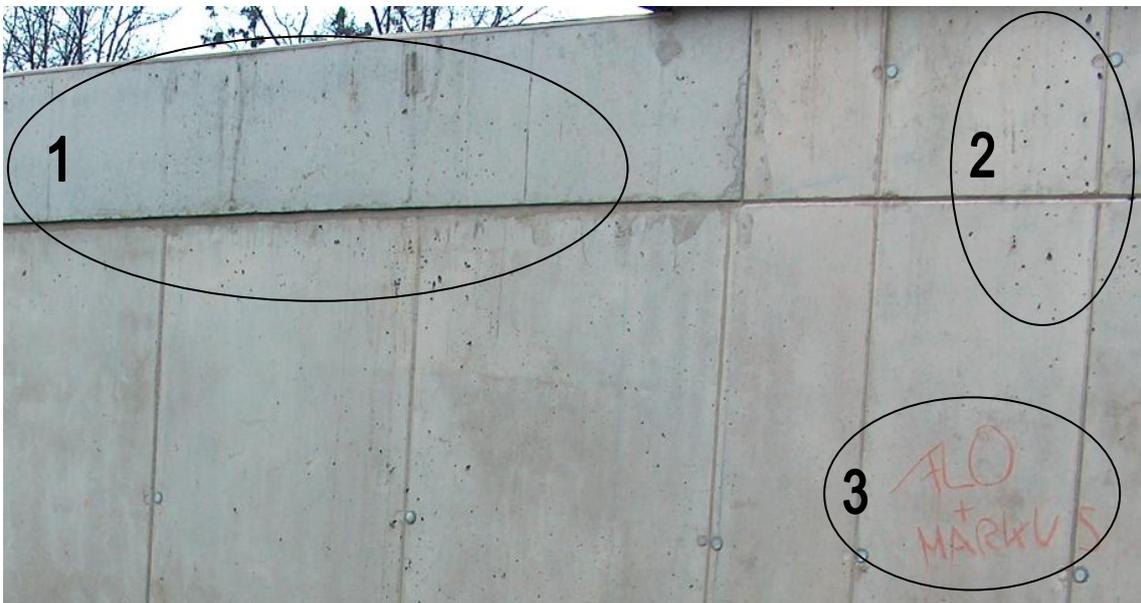


Abbildung 18 Arbeitsfuge bei Attika

(Foto: M. Mühleder)

Bereich	Mangel	Ursachen
1	Grautonunterschiede	Verwendung von unterschiedlichen Schalungshäuten
	Versatz	nicht ausreichend stabile Schalung
2	Poren und Lunker	falsches Trennmittel / schlechte Verdichtung
3	Verschmutzung	mutwilliges Beschriften

**Mängel dieser Sichtbetonfläche:**

Im Bereich 1 ist ein klar abgegrenzter Unterschied des Grautons ersichtlich. Es handelt sich bei den oberen 50 cm um eine Attika, bei der voraussichtlich eine andere Schalungsart verwendet wurde. Der Großteil des Gebäudes wurde mit einer standardisierten Rahmenschalung hergestellt. Bei der Attika ist aufgrund der Fugenteilung und der Fugenausbildung zwischen den Schalelementen ersichtlich, dass nicht wie in den anderen Bereichen eine Rahmenschalung verwendet wurde. Wahrscheinlich wurde für diesen Bereich aufgrund der Flexibilität eine 3-Schicht Schalungsplatte verwendet. Ableiten lässt sich dies durch die Farbänderung, dem Fugenabstand und der häufigen Verwendung auf heutigen Baustellen. Durch das höhere Saugvermögen der 3-Schicht Schalungsplatte

gegenüber der Rahmenschalung ergibt sich in Oberflächennähe ein geringerer W/B-Wert und somit ein dunklerer Farbton des Betons.

Weiters kann man im Bereich **1** einen Versatz bei der horizontalen Arbeitsfuge erkennen. Durch den Betondruck konnte sich die obere nicht ausreichend stabile Schalung durchbiegen und so einen Niveausprung hervorrufen.

Die Poren und Lunker im Bereich **2** können eine Vielzahl an Ursachen haben. Sie sind nicht an der gesamten Betonoberfläche zu finden sondern konzentrieren sich auf kleine Bereiche. Deshalb könnte man auf eine partielle Überdimensionierung des Trennmittels schließen. Durch die Klebewirkung des Trennmittels werden die Luftblasen beim Aufsteigen gehindert. Auch eine zu geringe Verdichtungsarbeit in diesen Bereichen ist eine mögliche Ursache für diese Poren. Wird zu kurz verdichtet, werden die Lufteinschlüsse lediglich von dem Betoninneren an die Schalung gedrückt, können aber dort nicht vollständig nach oben aus dem Beton entweichen.

Verschmutzungen der fertigen Sichtbetonoberfläche wurden in dieser Arbeit nicht behandelt, da sie aber an diesem Gebäude anzutreffen sind wird diese Thematik hier kurz beleuchtet. Vor der mutwilligen Verschmutzung der Betonoberfläche durch „Kritzeleien“ (wie man sie auf dem Foto im Bereich **3** erkennen kann) oder „Graffitis“ ist man nie gefeit. Egal ob Bauwerke in Großstädten oder an abgelegenen Standorten errichtet werden, die Sichtbetonoberfläche verleitet immer wieder Personen, diese als Leinwand zu missbrauchen. Da man dies nicht verhindern kann, besteht die Möglichkeit einen „Anti-Graffiti-Schutz“ in jenen Bereichen, die von Personen erreicht werden können, aufzubringen. Dieser erleichtert aber lediglich das Entfernen der Verschmutzung. Wird dieser Schutzanstrich angebracht, weist der Beton nach der Behandlung eine unterschiedliche Farbe und einen differenzierten Glanzgrad gegenüber der restlichen Betonoberfläche auf. Häufig sind auch Beschriftungen von Nachfolgewerken – wie z.B. Meterrisse etc. – an Sichtbetonoberflächen zu finden. Um dies zu vermeiden ist die Oberfläche immer als Sichtbeton zu kennzeichnen.

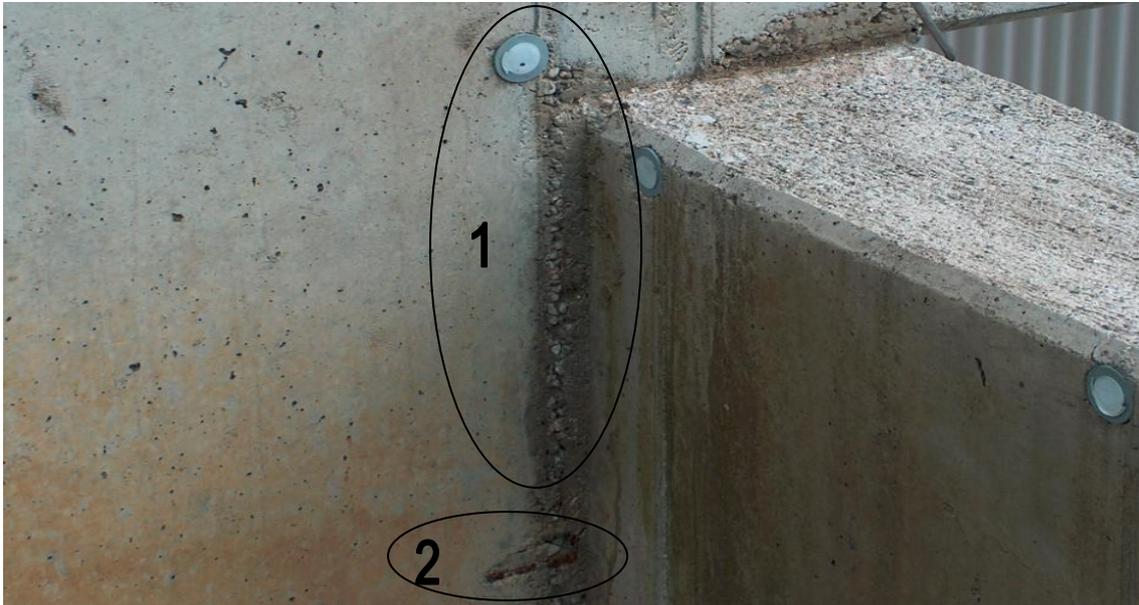
**Bsp. 5:**

Abbildung 19 Ansatz einer Quermauer

(Foto: M. Mühleder)

Bereich	Mangel	Ursachen
1	Kiesnest	undichte Schalungsverbindung
2	Bewehrungsstahlfreilegung	zu geringe Betondeckung

**Mängel dieser Sichtbetonfläche:**

Die Ansammlung von Grobkörnern im Bereich 1 ist meiner Meinung nach auf eine undichte Verbindung zwischen der Schalung der Quermauer und der davor erstellten Sichtbetonmauer - die auf der linken Seite des Fotos erkennbar ist - zurückzuführen. Durch die im oberen Bereich des Ausschnittes 1 sichtbare Ankerstelle wurde versucht die Schalung der Querwand kraftschlüssig an der Bestandsmauer zu befestigen. Durch den großen Druck des Frischbetons wurde die Schalung trotzdem von der Bestandsoberfläche abgedrückt und der Beton konnte auslaufen. Laut Planer wurde als Abdichtung zwar zusätzlich ein komprimierbares Fugendichtband verwendet, welches aber durch die großen Verformungen wirkungslos wurde.

Im Bereich 2 ist ein Bewehrungsseisen an der Oberfläche sichtbar. Hier wurde wahrscheinlich beim Einbinden der Anschlussbewehrung für die Quermauer die Mindestbetondeckung vernachlässigt. Es besteht auch die Möglichkeit, dass das Bewehrungsseisen nicht ausreichend im Bewehrungsgeflecht verankert wurde wodurch es beim Betonieren zur Schalung gedrückt wurde. Weiters ist ersichtlich, dass die Verdichtung im Umkreis des Bewehrungsstabes nicht ausreichend erfolgen konnte.

**8.4 Objekt 4 – Museumsbau**

**Angaben zum Gebäude:**

Funktion: Museum  
 Herstellung: 2002 – 2003  
 Betonarbeiten: durch Verzögerungen reichten sie bis in die Wintermonate  
 Schalungssystem: Trägerschalung  
 Foto: 2010

**Bsp. 6:**

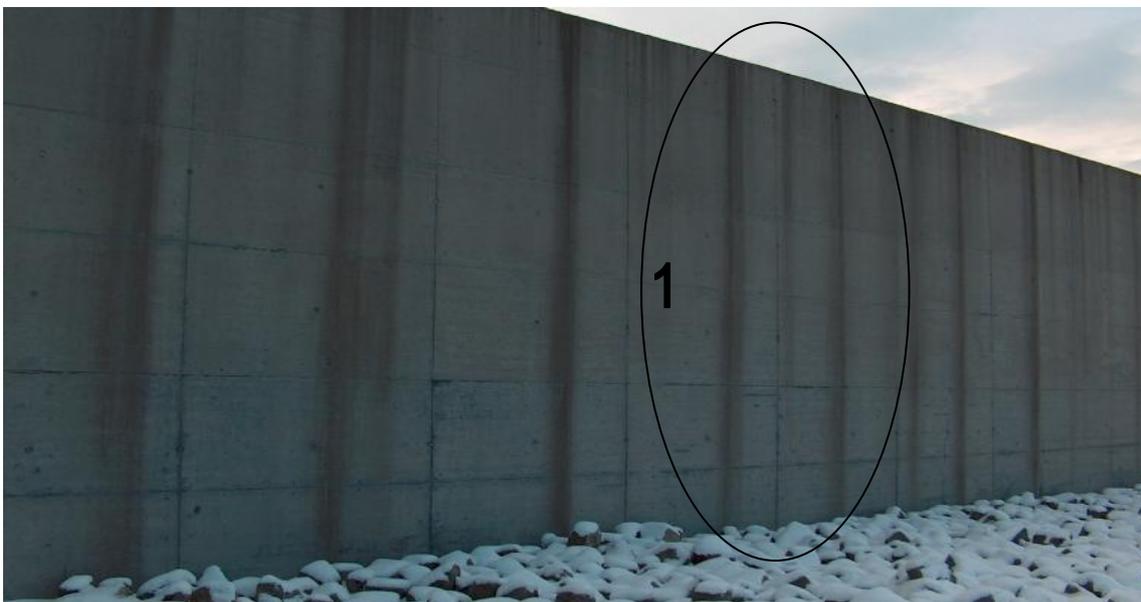


Abbildung 20 Sichtbetonfassade ohne Attikaverkleidung

(Foto: M. Mühleder)

Bereich	Mangel	Ursachen
1	Verschmutzung	undurchdachte Wasserführung

**Mängel dieser Sichtbetonfläche:**

Auf dieser Sichtbetonfläche stören fahnenartige Verschmutzungsabläufe den Gesamteindruck. An der oberen Stirnseite dieser Sichtbetonwand war keine Attikaverkleidung gewünscht und über die Wasserführung wurden sich vermutlich keine Gedanken gemacht. Die Verschmutzungen der waagrechten Fläche werden durch das unkontrollierte Ablaufen des Regenwassers auf die Fassade transportiert. Die hellen Kalkschleierausblühungen, die sich im jungen Betonalter gebildet haben sind nun durch diese dunklen Schmutzverfärbungen überdeckt.

## Bsp. 7:

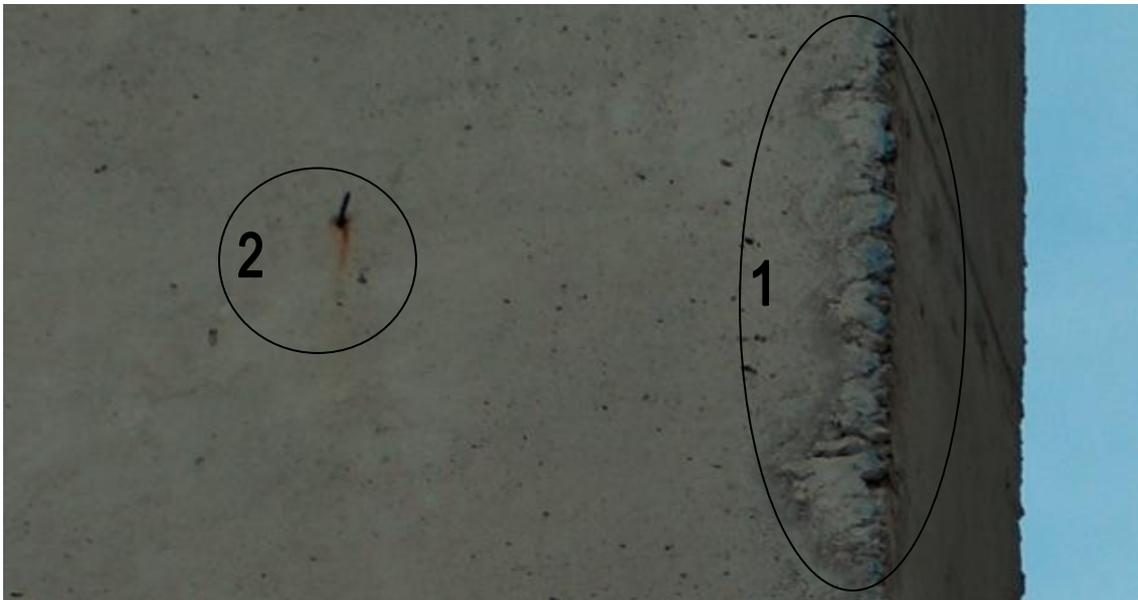


Abbildung 21 Stirnmauerbereich

(Foto: M. Mühleder)

Bereich	Mangel	Ursachen
1	Kantenausbrüche	undichte Schalung bzw. unzureichende Verdichtung
2	Rostverfärbung	Rückstand eines Befestigungsmittels im Beton

**Mängel dieser Sichtbetonfläche:**

Die im Bereich 1 sichtbaren Kiesnester und Kantenausbrüche können aufgrund einer undichten Schalungseckkonstruktion hervorgerufen werden. Da hier eine Trägerschalung verwendet wurde, konnten keine standardisierten Rahmenschalungseckelemente - die meist eine sehr gute Dichtigkeit aufweisen - eingebaut werden. Um die Abdichtung der Schalung in diesen Eckbereichen sicher zu stellen, müsste man besondere Maßnahmen ergreifen (Näheres im Kapitel 5.4). Aber auch durch eine ungenügende Verdichtung können Kiesnester in dieser Form entstehen. Reicht der Wirkdurchmesser des Rüttlers nicht aus um die Eckbereiche ausreichend zu verdichten, bleibt ein nicht entlüftetes, inhomogenes Betongefüge zurück.

Die Rostverfärbungen im Bereich 2 des Fotos sind auf einen Nagel zurückzuführen, der bei der Schalungsherstellung wahrscheinlich nicht ausreichend versenkt wurde. Somit konnte er sich im Beton verankern und wurde nach der Erstarrung beim Entschalen aus der Schalung gezogen. Nun ragt er aus der Betonoberfläche heraus und die Rostpartikel des Nagels können aufgrund des Regens auf die Betonoberfläche gelangen, wodurch diese sichtbare Rostfahne entsteht.

## 8.5 Objekt 5 – Bildungsgebäude

### Angaben zum Gebäude:

Funktion: Bildung  
 Herstellung: 2004 – 2006  
 Schalungssystem: Trägerschalung  
 Foto: 2010

### Bsp. 8:



Abbildung 22 Geneigte Sichtbetondecke

(Foto: M. Mühleder)

Bereich	Mangel	Ursachen
1	Poren und Lunker	geneigte Fläche und horizontaler Einbau

### Mängel dieser Sichtbetonfläche:

Es handelt sich bei dieser auf diesem Foto im Bereich 1 abgebildeten Sichtbetonfläche um eine etwa 20° zur Senkrechten geneigten Fläche, die eine Flanke einer Öffnung im Dach des Gebäudes ist. Durch die geneigte Schalung können beim Verdichten die Luftblasen den Beton nicht ungehindert verlassen. Durch den horizontalen Einbau dieser am Foto sichtbaren Dreikantleiste wird das Entlüften zudem erschwert. Die Gründe dafür liegen in der Erhöhung des Winkels zur Senkrechten aufgrund der Dreikantleiste und den längeren Weg, den die Luftporen beim Verdichten nehmen müssen. Außerdem sind die geneigten oberen Abschlüsse schwierig zu verdichten. Auf der einen Seite muss aufgrund der Neigung des Bauteils ein steifer Frischbeton verarbeitet werden und zum Anderen kann man den Rüttler nicht geneigt in den Beton eintauchen.

Würde es sich um einen geneigten hohen Bauteil - z.B. eine Wand - handeln, würde man Poren nur durch die Verwendung von Schalungsrüttlern oder von selbstverdichtendem Beton, der sich von selbst entlüften kann, verhindern.

## 8.6 Objekt 6 – Veranstaltungshalle

### Angaben zum Gebäude:

Funktion: Gemischte Nutzung  
 Herstellung: 2003 – 2008  
 Schalungssystem: Rahmenschalung  
 Foto: 2010

### Bsp. 9:

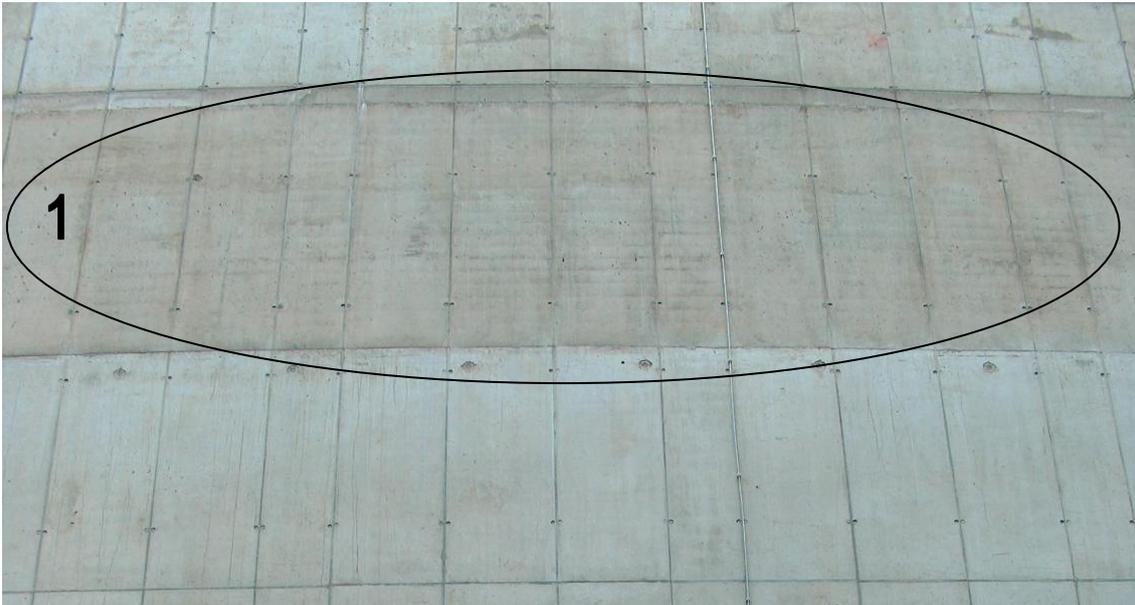


Abbildung 23 Sichtbetonwand mit Grautonunterschied

(Foto: M. Mühleder)

Bereich	Mangel	Ursachen
1	Grautonunterschied	Schalung mit unterschiedlicher Einsatzhäufigkeit

### Mängel dieser Sichtbetonfläche:

Bei dem auf diesem Foto abgebildeten Ausschnitt einer Wand ist bei einem Schalungsband ein unterschiedlicher Grauton sichtbar. Die Wand besteht aus sieben horizontalen Schalungsbändern, die durch die Schalplattengröße begrenzt sind. Bei der im Bereich 1 sichtbaren dunkleren Teilfläche handelt es sich um das fünfte Band von unten. Das bedeutet, es wurde nicht der Fehler gemacht, dass mit einer frischen Schalung im Erdgeschoss begonnen wurde, ansonsten wäre die Dunkelverfärbung beim untersten Schalungsband sichtbar. Die Schalelemente der Schalungsbänder eins bis vier sowie sechs und sieben wurden zuvor in einem untergeordneten Bauteil sogar mindestens zweimal eingesetzt. Bei der Lage im Bereich 1 ist erkennbar, dass die Schalplattengröße und das Ankerbild von den anderen abweicht. Das bedeutet in dieser Höhe wurde es notwendig vom Standardmaß abzuweichen. Somit musste in diesem Bereich eine Schalung mit einer neuen Schalungshaut verwendet werden, die dem Frischbeton mehr Feuchtigkeit entzogen hat als die anderen Schalungshäute, die, wie bereits erwähnt, schon

einige Einsätze hinter sich hatten. Dadurch ergab sich höchst wahrscheinlich ein niedriger W/B-Wert im oberflächennahen Beton und dies führte somit zu einem dunkleren Grauton. Hätte man auch diese Schalung in einem untergeordneten Bauteil zuvor eingesetzt oder sie speziell vorbehandelt (z.B. durch einschlänmen mit Zementmilch und Kontrolle der Eigenfeuchte), könnte man den Grautonunterschied zumindest verringern. Grundvoraussetzung für einen gleichen Grauton ist natürlich die Verwendung des gleichen Schalhautmaterials bei allen Schalelementen einer Sichtbetonfläche.

## 8.7 Objekt 7 – Bildungsgebäude

### Angaben zum Gebäude:

Funktion: Bildung  
 Herstellung: 2000 – 2002  
 Schalungssystem: Trägerschalung  
 Foto: 2010

### Bsp. 10:

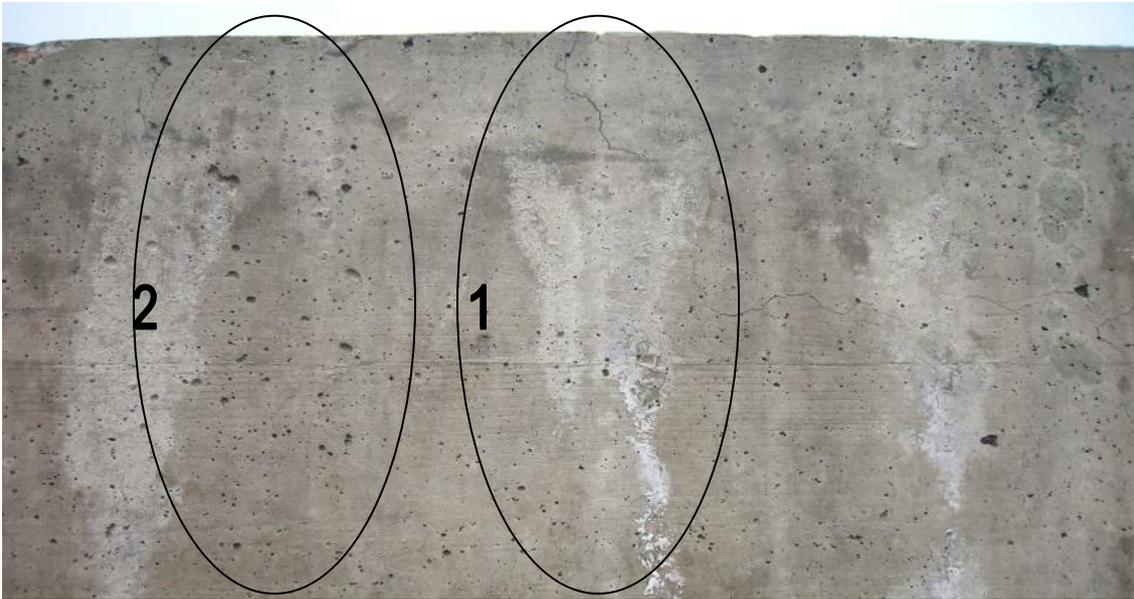


Abbildung 24 Sichtbetonwand ohne Attikaverkleidung

(Foto: M. Mühleder)

Bereich	Mangel	Ursachen
1	Kalkfahnen	nasse Risse durch fehlende Attikaabdeckung
2	Poren	falsches Schalmittel / schlechte Verdichtung

### Mängel dieser Sichtbetonfläche:

Im Bereich 1 sind Kalkschleierausblühungen sichtbar, die bei Schwachstellen im Beton auftreten. In diesem speziellen Fall konnte das Regenwasser vermutlich in die Risse, die am oberen Ende dieser frei stehenden Mauer vorhanden sind, eindringen. Dort reichte sich das Wasser mit Kalziumhydroxid an und beförderte es anschließend an die Sichtbetonoberfläche. Dort reagierte das Kalziumhydroxid mit dem Kohlenstoff, wodurch Kalziumkarbonat gebildet wurde, das anschließend zu diesen weißen Verkrustungen an der Oberfläche führte. Wäre eine Attikaabdeckung an der oberen Stirnseite dieser Wand angebracht worden, könnte das Wasser nicht in die Risse eindringen und Kalkschleierausblühungen würden somit verhindert werden. Eine weitere Möglichkeit die Kalkfahnen zu vermeiden, liegt darin die Risse zu vermeiden. (Näheres unter Kapitel 4.5)

Auf der gesamten Oberfläche dieses Bauteils sind - wie beispielhaft im Bereich **2** sichtbar - viele Poren und Lunker vorhanden. Eine Ursache dieses Mangels kann ein nicht auf die Schalung und die Betonkonsistenz abgestimmtes Trennmittel sein. Ein weiterer Grund kann ein überdimensionierter Trennmittelauftrag sein, da hier die Luftporen aufgrund der Klebewirkung des Schalöls beim Verdichten an der Schalung anhaften. Aber auch eine ungenügende Verdichtungsarbeit kann Poren an der fertigen Sichtbetonoberfläche auslösen. Wird zu kurz verdichtet, werden die Lufteinschlüsse aus dem Inneren des Betons zur Schalung gedrückt, können aber dort nicht nach oben aus dem Beton entweichen. Besonders bei glatten, nicht saugenden Schalungen treten Poren und Lunker häufiger auf als bei saugenden Schalhäuten.

## 9 Maßnahmenkatalog

In diesem Maßnahmenkatalog werden beispielhaft die wesentlichen Mängel angeführt und die Maßnahmen für ihre Vermeidung kurz erläutert. Nähere Informationen sind den in den einzelnen Punkten zitierten Kapiteln dieser Arbeit zu entnehmen.

<p>Eine <b>gute Verdichtung</b> und somit einen <b>dichtes und porenarmes Betongefüge</b> hilft bei der Vermeidung von nahezu allen Mängeln.</p> <p>Eine gute Verdichtung wird durch folgende Punkte erreicht:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zügiges Einführen der Rüttelflasche, damit der untere Bereich der Schüttlage zuerst verdichtet wird             <ul style="list-style-type: none"> <li>• die maximalen Eintauchabstände, die vom Wirkdurchmesser des Rüttlers abhängig sind</li> <li>• Betonieren und Verdichten in Lagen von max. 50 cm</li> </ul> </li> <li>• die Verdichtungsdauer ist auf die Konsistenz des Betons, die Schalungsoberfläche und auf die Angaben des Rüttlerherstellers abzustimmen</li> </ul> <p>Damit ein Bauteil gut verdichtbar ist sind folgende Maßnahmen wichtig:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einhalten von Mindestabmessungen der Bauteile (das Größtkorn ist auf die Bauteilabmessung abzustimmen und umgekehrt)</li> <li>• gleichmäßige Anordnung von Betonier- und Rüttelgassen in Abhängigkeit des Wirkdurchmessers des Rüttlers             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anordnung der Einbauteile, sodass eine gute Verdichtung und Entlüftung möglich ist</li> <li>• Geringhaltung des Bewehrungsgehaltes</li> </ul> </li> </ul>
--

### 9.1 Planung – Architektur

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p>Farbabweichungen</p> <p style="text-align: center;"><b>Kalkausblühungen am jungen Beton</b> (Primärausblühungen)</p> <p>Kleinflächige, schleierartige, weiße Verfärbungen am jungen Beton aufgrund der Karbonatisierung an der Oberfläche  (Siehe Kapitel 3.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einplanen einer <b>wasserabweisenden Hydrophobierung</b> ehest möglich nach dem Ausschalen um das Eindringen des Fremdwasseres in die Poren zu vermeiden und in einem gewissen Ausmaß den jungen Beton vor dem zu schnellen Austrocknen zu schützen</li> <li>• Einplanen von <b>Pufferzeiten</b> in der <b>Bauzeitplanung</b> - vor allem im Frühling und im Herbst - wodurch das Ausschalen direkt vor oder während eines Regengusses verhindert werden kann</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p style="text-align: center;"><b>Kalkschleiersausblühungen</b></p> <p>Am Beton abwärts laufende, fahnenartige, weiße Spuren; Kalkaussinterungen folgen immer dem Wasserweg und rufen massive weiße Verkrustungen hervor  (Siehe Kapitel 3.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zur <b>Vermeidung von Kalkschleiersausblühungen</b> sollen alle im Kapitel "Risse" behandelten Maßnahmen eingehalten werden</li> <li>• Verhinderung von Kalkfahnen bei Arbeitsfugen durch sorgfältige Fugenplanung, damit eine unmittelbare Benetzung der Fugen durch Fremdwasser unterbunden wird</li> <li>• Vermeidung von <b>tropfender Belastung</b> durch einen sorgfältig geplanten Wasserabfluss über die Sichtbetonfassadenfläche</li> <li>• Nachträgliches <b>Abdichten</b> von Fugen aller Art, um das Eindringen des Wassers zu verhindern</li> </ul>

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Großflächige Kalkausblühungen</b> (Sekundärausblühungen) Großflächige, durchgehende Aufhellung auf der wetterzugewandten Sichtbetonfassade (Siehe Kapitel 3.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gut geplante <b>Wasserführung</b> an der Fassade, um das Regenwasser schnellst möglich abzuleiten und somit eine geringere Aufhellung zu erreichen</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Rostverfärbungen</b> Rotbraune Verfärbungen in Fleckenform an Deckenuntersichten oder Schlieren an vertikalen Bauteilen  (Siehe Kapitel 3.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einplanen einer entsprechenden <b>Schutzmaßnahme</b> der Anschlussbewehrung bei horizontalen Arbeitsfugen Möglichkeiten: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einstreichen der Bewehrung mit <b>Zementleim</b></li> <li>- <b>Abdecken</b> der Bewehrung mit Kuststoffplanen (Vorsicht auf Kondenswasserbildung)</li> <li>- Arbeitsfuge mit einem <b>Gefälle</b> weg von der Sichtseite <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>PU-Schaumbarriere</b> am Bauteilrand</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Verwendung von Bewehrungsstahl mit erhöhtem <b>Korrosionswiderstand - verzinkter Stahl</b> oder <b>Edelstahl</b></li> <li>• Einteilen von großen Decken und langen Unterzügen in <b>Betonierabschnitte</b></li> <li>• Abstimmung der <b>Bauzeitplanung</b> auf Wetterbedingungen und Betonagen</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Kiesnester und Versandungen</b> Poröse, waschbetonähnliche Bereiche, bei denen nur mehr große Zuschlagskörner an der Oberfläche vorhanden sind (Siehe Kapitel 4.1 und 4.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von <b>standardisierten Abmessungen</b> um Systemeckschalungselemente nutzen zu können</li> <li>• Prüfung der Bewehrungs- und Schalungspläne auf ihre <b>Praxisbezogenheit</b> im Vorfeld</li> <li>• Bei komplizierten Bauteilen oder großen, langen Einbauten ist die Verwendung von <b>selbstverdichtenden Beton</b> ratsam</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Poren, Lunker</b> Luft- und Wassereinschlüsse, die nach dem Entschalen blasenförmige Hohlräume bilden (Siehe Kapitel 4.4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eine <b>porenfreie</b> Ansichtsfläche bzw. eine <b>gleichmäßige</b> Porenstruktur ist nicht zielsicher herstellbar</li> <li>• Keine zielsichere Herstellung von porenfreien Oberflächen mit nicht saugenden Schalung - Verwendung von <b>saugenden</b> Schalungsoberflächen empfohlen</li> </ul>

<b>Mangel</b>	<b>Maßnahmen zur Vermeidung</b>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p style="text-align: center;"><b>Poren, Lunker</b></p> <p>Luft- und Wassereinschlüsse, die nach dem Entschalen blasenförmige Hohlräume bilden</p> <p style="text-align: center;">(Siehe Kapitel 4.4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beachte bei der Verwendung von strukturierten Kunststoffmatrizen, dass die Struktur vertikal verlaufen soll</li> <li>• Zusätzliches <b>Kunststoffvlies</b> vor der nicht saugende Schalungsoberfläche - Überschusswasser und Lufteinschlüsse werden aufgenommen - Vliesstruktur jedoch sichtbar</li> <li>• Bei komplizierten Bauteilen oder großen, langen Einbauten sowie hinterschnittenen und geneigten Bauteilen ist die Verwendung von <b>selbstverdichtenden Beton</b> ratsam</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p style="text-align: center;"><b>Risse</b></p> <p>Durch die Überschreitung der Zugfestigkeit des Betons entstandene Trennungsspalte, die unterschiedliche Tiefen erreichen können</p> <p style="text-align: center;">(Siehe Kapitel 4.5)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einhalten des, vom Schwindmaß und der Temperaturdifferenz abhängigen, maximalen Bewegungsfugenabstandes</li> <li>• Vermeidung großer <b>Querschnittsänderungen</b> ohne Bewegungsfuge</li> <li>• Durchführen aller Bewegungsfugen <b>ohne Versatz</b> durch <b>alle</b> Bauteile, egal ob vertikal oder horizontal</li> <li>• Verringerung der Wärmespannungen indem die <b>Arbeitsfugen</b> wie Bewegungsfugen ausgeführt werden</li> <li>• Kleinhaltung der Schwinddifferenzen durch eine geschickte Wahl der <b>Betonierabschnitte</b></li> <li>• Abstimmung der Bauzeitplan in den Sommermonaten, damit das Betonieren in den Morgenstunden erfolgt kann</li> <li>• Anordnen von <b>Scheinfugen</b> um die Rissbildung im Abbinde- und Erhärtungsvorgang zu konzentrieren</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p style="text-align: center;"><b>Abplatzungen aufgrund Bewehrungskorrosion</b></p> <p>Durch Verlust des Korrosionsschutzes der Bewehrung abgesprengte Oberflächenbereiche</p> <p style="text-align: center;">(Siehe Kapitel 4.6)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung der Bauteile mit ausreichenden Abmessungen, um eine genügende Betondeckung zu erhalten</li> <li>• Schutz der Oberfläche vor eindringender Feuchtigkeit durch eine gute Planung des <b>Wasserablaufes</b></li> <li>• Beachte die kiesnester-, versandungs-, lunker- und rissvermeidenden Maßnahmen</li> </ul>

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Versätze, Versprünge</b></p> <p>Niveaudifferenzen bei Betonierabschnitten bzw. Schalungsstößen</p> <p>(Siehe Kapitel 5.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wahl von <b>Standardabmessungen</b> um Systemschalungen verwenden zu können</li> <li>• Ausführen der Arbeitsfugen als <b>Schattenfugen</b>, um Versätze zu kaschieren</li> </ul>
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Betonwarzen</b></p> <p>An den Schalungsstoßkanten sichtbare, runde Betonüberschüsse durch zu tief liegende Befestigungsmittel</p> <p>(Siehe Kapitel 5.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eine komplette Vermeidung von Warzen ist nur dann möglich, wenn von Beginn an eine Verschraubung der Schalhautplatten auf einer zusätzlichen Sparschalung von hinten geplant ist</li> </ul>
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Betongrate</b></p> <p>Längliche Erhebungen bei Schalhautfugen aufgrund von ausfließendem Zementmörtel</p> <p>(Siehe Kapitel 5.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch Bauteile mit ausreichender Dicke und geringem Bewehrungsgehalt können die Bewehrungsarbeiten schnell abgeschlossen werden und somit die Standzeit der Schalung minimiert werden</li> </ul>
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Ausbrüche scharfer Kanten</b></p> <p>Meist durch mechanische Belastung deformierte Eckbereiche</p> <p>(Siehe Kapitel 5.4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch das Planen des Betonbauteils in <b>SCC</b> können Ecken mit guter Qualität erreicht werden</li> <li>• Bei <b>Trägerschalungen</b> hat sich gezeigt, dass die Kantenqualität oft besser ist, als bei Rahmenschalungen</li> <li>• Einplanen von Leisten aus <b>ultrahochfestem Beton in den Eckbereichen</b></li> </ul>

## 9.2 Planung – Ausschreibung

Für Details zur Ausschreibung von Sichtbetonflächen sei auf die Diplomarbeit „Ausschreibung von Sichtbeton“ von Andreas Karl Pelnar aus dem Jahre 2009 hingewiesen. An dieser Stelle sollen nur einige wichtige Punkte angeführt werden:

- um Wegvorgaben des Architekten richtig in die Ausschreibung übernehmen, zu können muss eine direkte Interaktion stattfinden (dies natürlich nur wenn der Ausschreibende und der Architekt nicht ein und dieselbe Person sind)
  - eine Ausschreibung darf keine Angaben enthalten, die nicht zielsicher herstellbar sind
- um eine übereinstimmende Interpretation aller Beteiligten sicher stellen zu können, soll als Grundlage der Ausschreibung die Richtlinie Sichtbeton-Geschalte Betonflächen 2009 verwendet werden
  - falls individuelle Ergänzungen nötig sind, sollen diese eindeutig sowie klar verständlich formuliert werden und in keinem Widerspruch zum Stand der Technik stehen, damit alle Bieter das vom Bauherrn gewünschte Ziel erkennen und ein angemessenes Angebot abgeben können
  - hohe qualitative Anforderungen an die Betonoberfläche gehen immer mit einem höheren Kostenaufwand einher
- auf die notwendigen Schutzmaßnahmen (z.B. bei der Nachbehandlung, beim Schutz des Bauteils bis zur Abnahme, ...) soll bereits in der Ausschreibung eingegangen werden um den Ausführenden eine gute Kalkulation zu ermöglichen

## 9.3 Planung – Tragwerksplaner

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
Farbabweichungen <b>Grautonstreifen</b> Horizontale, streifenförmige, nicht genau abgegrenzte Verfärbungen meist bei Schüttagengrenzen (Siehe Kapitel 3.2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einhaltung des <b>max. Bewehrungsgrades</b> um Entmischungen zu verhindern</li> </ul>
Farbabweichungen <b>Rostverfärbungen</b> Rotbraune Verfärbungen in Fleckenform an Deckenuntersichten oder Schlieren an vertikalen Bauteilen (Siehe Kapitel 3.3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Einfache Bewehrungsstruktur</b> und <b>geringer Bewehrungsgrad</b>; dadurch wird der <b>Stundenaufwand</b> für die Bewehrungsarbeiten <b>verkürzt</b></li> <li>• Einplanen ausreichender <b>Öffnungen</b> um eine ordnungsgemäße Reinigung der Schalung sicherstellen zu können</li> </ul>
Texturunregelmäßigkeiten <b>Kiesnester und Versandungen</b> Poröse, waschbetonähnliche Bereiche, bei denen nur Zuschlagskörner an der Oberfläche vorhanden sind (Siehe Kapitel 4.1 und 4.2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einplanen einer ausreichenden Anzahl von <b>Betonier- und Rüttelgassen</b> im Abstand des Wirkdurchmessers des Rüttlers</li> <li>• Einhaltung des <b>max. Bewehrungsgrades</b> zur Vermeidung von Entmischungen</li> <li>• Ausreichende <b>Betonüberdeckung</b> von Größtkorn + 5 mm                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Versatz</b> der Bewehrung bei Arbeits- und Gestaltungsfugen um die Größe der Nuttiefe</li> </ul> </li> </ul>
Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung

<p><b>Kiesnester und Versandungen</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherstellung eines <b>Bewegungsspielraumes</b> der Bewehrung in der Schalung</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Poren, Lunker</b></p> <p>Luft- und Wassereinschlüsse, die nach dem Entschalen blasenförmige Hohlräume bilden</p> <p>(Siehe Kapitel 4.4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einplanen einer ausreichenden Anzahl von <b>Betonier- und Rüttelgassen</b> im Abstand des Wirkdurchmessers des Rüttlers</li> <li>• Ausreichende <b>Betonüberdeckung</b> von Größtkorn + 5 mm</li> <li>• Einhaltung des <b>max. Bewehrungsgrades</b>, um das Entlüften der Oberfläche zu ermöglichen</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Risse</b></p> <p>Durch die Überschreitung der Zugfestigkeit des Betons entstandene Trennungsspalte, die unterschiedliche Tiefen erreichen können</p> <p>(Siehe Kapitel 4.5)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei auf Biegung beanspruchten Bauteilen: Verminderung der Dehnungen im Stahl durch eine <b>höheren Bewehrungsgehalt</b></li> <li>• Das Aufteilen der statisch erforderlichen Bewehrung in <b>viele kleine Durchmesser</b> erhöht zwar die Rissanzahl verringert aber die Rissbreite</li> <li>• Bei auf Druck beanspruchten Bauteilen: Verminderung der Rissbildung durch eine <b>ausreichende Bügelbewehrung mit geringem Bügelabstand</b></li> <li>• Durch das Einplanen einer <b>zusätzlichen Längsbewehrung im Arbeitsfugenbereich</b> werden Risse gemindert die durch Wärmespannungen entstehen</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Abplatzungen aufgrund Bewehrungskorrosion</b></p> <p>Durch Verlust des Korrosionsschutzes der Bewehrung abgesprengte Oberflächenbereiche</p> <p>(Siehe Kapitel 4.6)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einplanung einer ausreichenden <b>Bewehrungsüberdeckung</b>, in Abhängigkeit der Expositionsklasse</li> <li>• Das Einplanen eines <b>Spielraums</b> für spätere Maßtoleranzen ist anzuraten</li> <li>• Beachte die kiesnester-, versandungs-, lunker- und rissvermeidenden Maßnahmen</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Betongrate</b></p> <p>Längliche Erhebungen bei Schalhautfugen aufgrund von ausfließendem Zementmörtel</p> <p>(Siehe Kapitel 5.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch Bauteile mit ausreichender Dicke und geringem Bewehrungsgehalt können die Bewehrungsarbeiten schnell abgeschlossen und somit die Standzeit der Schalung minimiert werden</li> </ul>

**9.4 Ausführung - Schalungsverarbeiter**

<b>Mangel</b>	<b>Maßnahmen zur Vermeidung</b>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Kalkausblühungen am jungen Beton</b> (Primärausblühungen) Kleinflächige, schleierartige, weiße Verfärbungen am jungen Beton aufgrund der Karbonatisierung an der Oberfläche (Siehe Kapitel 3.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeidung des <b>Ausschalens</b> direkt vor bzw. während eines Regengusses, da viel Fremdwasser in die Poren des jungen Betons gelangt wodurch bei der Austrocknung mehr Kalziumhydroxid an die Oberfläche befördert wird</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Kalkschleierausblühungen</b></p> <p>Am Beton abwärts laufende, fahnenartige, weiße Spuren; Kalkaussinterungen folgen immer dem Wasserweg und rufen massive weiße Verkrustungen hervor (Siehe Kapitel 3.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Abdichten</b> der Schalung bei Arbeitsfugen und bei den Konen der Ankerlöcher um das Auslaufen der Zementschlämme zu verhindern; durch dieses offene Gefüge kann das Wasser leichter in den Beton eindringen und mehr Kalziumhydroxid an die Oberfläche transportieren</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Partielle Grautondifferenzen</b></p> <p>Klar abgegrenzte Hell- bzw. Dunkelverfärbungen der Betonoberfläche (Siehe Kapitel 3.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Schalung ist vor jedem Einsatz gut zu <b>reinigen</b></li> <li>• Speziell bei saugenden Schalungen wird die Verwendung von Schalelementen mit <b>gleicher Einsatzzahl</b> empfohlen</li> <li>• Verhinderung eines unterschiedlichen Saugverhaltens der Schalung durch Verwendung einer <b>gleich dicken Beharzung</b> der Schaloberfläche - Verwendung von nur einem Schalungsfabrikat am gesamten Bauteil</li> <li>• Sicherstellung einer <b>ausgeglichenen Holzfeuchte</b> aller Schalungsoberflächen ; die optimale Holzfeuchtigkeit liegt zwischen 18 und 20 % - ein Ausgleich kann durch das Besprühen mit Wasser erreicht werden</li> <li>• Einhalten einer <b>gleichen Standzeit</b> der Stellschalung bei benachbarten Abschnitten</li> <li>• <b>Gleiche Lagerbedingungen</b> aller Schalelemente zwischen den Einsätzen</li> <li>• Bei frischen Brettschalungen: Notwendigkeit einer <b>Vorbehandlung</b> durch ein- oder mehrmaliges Einschlämmen mit Zement- oder Kalkmilch, um die erforderliche Alkaliresistenz zu erreichen</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Grautonwolken</b></p> <p>Unregelmäßig über die Sichtbetonoberfläche verteilte, fleckige Grautongegensätze (Siehe Kapitel 3.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gleichmäßiger, dünner Trennmittelauftrag</b> vorzugsweise mit einem auf die Viskosität eingestellten Hochdruckspritzgerät</li> <li>• <b>Abziehen</b> der Schalung nach dem Trennmittelauftrag mit einer <b>Gummilippe</b>, um eine örtliche Über- bzw. Unterdimensionierung des Trennmittels zu verhindern</li> </ul>

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Grautonstreifen</b></p> <p>Horizontale, streifenförmige, nicht genau abgegrenzte Verfärbungen meist bei Schüttagengrenzen (Siehe Kapitel 3.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei der Herstellung des Schalungsbauwerkes ist besonders auf die <b>Kraftschlüssigkeit</b> zu achten um <b>Schwingungen</b> der Schalhaut zu vermeiden</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Rostverfärbungen</b></p> <p>Rotbraune Verfärbungen in Fleckenform an Deckenuntersichten oder Schlieren an vertikalen Bauteilen (Siehe Kapitel 3.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von <b>rostfreien Heftmitteln</b> zur Befestigung der Schalungshaut</li> <li>• Verwendung eines <b>nicht klebrigen Trennmittels</b>, um die Schalungsoberfläche leichter reinigen zu können</li> <li>• Bei der stapelförmigen <b>Lagerung</b> von Schalelementen dürfen keine rostenden Stahlgurtungen direkt mit der Schalhaut in Kontakt kommen</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Kiesnester und Versandungen</b></p> <p>Poröse, waschbetonähnliche Bereiche, bei denen nur mehr große Zuschlagskörner an der Oberfläche vorhanden sind</p> <p>(Siehe Kapitel 4.1 und 4.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Brettsichtbetonschalungen muss mit einer <b>geeigneten Spundung</b> die Fugendichtheit sichergestellt sein</li> <li>• Bei plattenartigen Schalelementen und Rahmenschalungen ist eine Fugendichtung mittels komprimierbarem <b>Schaumstoffstreifen</b> sicherzustellen</li> <li>• <b>Abdichtung</b> der Aufstandsfrage der Schalung</li> <li>• Ecken <b>niemals stumpf</b> stoßen; das Verwenden von <b>Spezialeckelementen</b> bei Systemschalungen oder das <b>Durchlaufenlassen</b> eines Eckschenkels der Schalung und völliges Andichten der zweiten Schalungsecke mittels Schaumstoffstreifen wird empfohlen</li> <li>• <b>Abdichten</b> der Kanten der Abstandhalter mit einem Schaumstoffring zur Schalhautoberfläche</li> <li>• <b>ausreichend stabile</b> Errichtung der Schalung, um dem Frischbetondruck standzuhalten</li> <li>• Bei Schalungen aus Holz ist auf die <b>gleiche, ausgeglichene Eigenfeuchte</b> bei der Schalungsverarbeitung und bei dem Betonieren zu achten</li> <li>• Prüfung der Bewehrungs- und Schalungspläne auf ihre <b>Praxisbezogenheit</b> im Vorfeld</li> </ul>

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Vermehrungen (Versandungen)</b> Verstärkter Staubeffekt an der Sichtbetonoberfläche</p> <p>(Siehe Kapitel 4.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei frischen Brettschalungen: Notwendigkeit <b>Vorbehandlung</b> durch ein- oder mehrmaliges Einschlämmen mit Zement- oder Kalkmilch, um die erforderliche Alkaliresistenz zu erreichen</li> <li>• Es ist auf eine <b>ausgeglichene Eigenfeuchte</b> vor dem Einsatz des Holzes in der Schalung zu achten - bei Massivholzschalungen zwischen 18 % - 20 %</li> <li>• <b>Schutz</b> des frischen Schalholzes bei der <b>Lagerung</b> vor UV-Einstrahlung</li> <li>• <b>Trennmittelauftrag</b> erst nach Sicherstellung der ausreichenden Eigenfeuchte der Schalung</li> <li>• <b>Gleichmäßiger, dünner Trennmittelauftrag</b> vorzugsweise mit einem auf die Viskosität eingestellten Hochdruckspritzgerät</li> <li>• <b>Abziehen</b> der nicht saugenden Schalung nach dem Trennmittelauftrag mittels Gummilippe</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Poren, Lunker</b> Luft- und Wassereinschlüsse, die nach dem Entschalen blasenförmige Hohlräume bilden</p> <p>(Siehe Kapitel 4.4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von <b>saugenden</b> Schalungsoberflächen</li> <li>• Spannen eines zusätzlichen <b>Kunststoffvlieses</b> über die nicht saugende Schalungsoberfläche zur Aufnahme des Überschusswassers und der Lufteinschlüsse</li> <li>• <b>Gleichmäßiger, dünner Trennmittelauftrag</b> vorzugsweise mit einem auf die Viskosität eingestellten Hochdruckspritzgerät</li> <li>• <b>Abziehen</b> der nicht saugenden Schalung nach dem Trennmittelauftrag mittels Gummilippe</li> <li>• Dem Trennmittel muss genug <b>Zeit zum Ablüften</b> gegeben werden bevor der Beton eingebaut wird</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Risse</b> Durch die Überschreitung der Zugfestigkeit des Betons entstandene Trennungsspalte, die unterschiedl. Tiefen erreichen können (Siehe Kapitel 4.5)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch die Verwendung von <b>wärmedämmenden</b> Schalungen z.B. dickeren Holzschalungen, wird das Auskühlen des Frischbetons verlangsamt</li> </ul>



Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p style="text-align: center;"><b>Betonwarzen</b></p> <p style="text-align: center;">Meist an den Schalungsstoßkanten sichtbare, runde Betonüberschüsse durch zu tief liegende Befestigungsmittel</p> <p style="text-align: center;">(Siehe Kapitel 5.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zur kompletten Vermeidung von Warzen, soll eine <b>Verschraubung</b> der Schalhautplatten auf einer zusätzlichen Sparschalung <b>von hinten</b> erfolgen</li> <li>• Bei der Verarbeitung der Schalhautplatte ist auf eine <b>mittlere Eigenfeuchte</b> des Holzes zu achten</li> <li>• Die Verwendung von <b>Linsenkopf-Heftungen</b> ist der Befestigung mit Flachkopfstiften oder -nägeln vorzuziehen             <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Bündiger Abschluss</b> der Nagelköpfe mit der Schalungsoberfläche</li> <li>• Bei der Verwendung einer Nagelpistole ist die Nageleindringtiefe <b>genau einzustellen</b> und <b>laufend zu kontrollieren</b></li> </ul> </li> <li>• Zur Erlangung von qualitativ hochwertigen Oberflächen, ist die <b>handwerkliche</b> Methode der Befestigung der <b>maschinellen</b> vorzuziehen</li> <li>• Heftungen sollen immer <b>geometrisch ausgerichtet</b> sein</li> </ul>
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p style="text-align: center;"><b>Betongrate</b></p> <p style="text-align: center;">Längliche Erhebungen bei Schalhautfugen aufgrund von ausfließendem Zementmörtel</p> <p style="text-align: center;">(Siehe Kapitel 5.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherstellung einer <b>witterungsgeschützten Lagerung</b> des Schalungsholzes während der gesamten Baustellenlagerung             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherstellung eines praxisbezogenen <b>Eigenfeuchtigkeitsmittelwertes</b> von ~16 %-20 % zum Montagezeitpunkt</li> </ul> </li> <li>• Direkt vor dem Betoneinbau ist die ausgetrocknete Schalung <b>reichlich anzunässen</b>; dabei muss auf eventuelles Abwaschen des Rostes der Bewehrung Acht gegeben werden</li> <li>• Durch eine <b>untergefügte Keilspundung</b> kann das Auslaufen des Betons bei der Schalungsbrettfuge verhindert werden</li> <li>• Bei Systemschalungen ist auf eine <b>kraftschlüssige Verbindung</b> und eine ausreichend <b>stabile</b> Unterkonstruktion zu achten</li> <li>• Es dürfen nur Schaltafeln mit <b>geraden</b> und <b>scharfen</b> Kanten verwendet werden, da nur so eine passgenaues Aneinanderfügen möglich ist</li> </ul>

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Ausbrüche scharfer Kanten</b> Meist durch mechanische Belastung deformierte Eckbereiche</p> <p>(Siehe Kapitel 5.4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dichte</b> Ausführung der <b>Schalung</b> im Eckbereich, um ausreichend Zementleim für einen homogenen Beton zur Verfügung zu stellen; erreicht wird dies durch die Maßnahmen, die im Kapitel "Kiesnester" angeführt sind</li> <li>• Die Verwendung von <b>Trägerschalungen</b> wird empfohlen, da sich gezeigt hat, dass damit eine bessere Kantenqualität erzeugt werden kann als mit Rahmenschalungen</li> <li>• Das Ausschalen hat mit <b>großer Vorsicht</b> zu erfolgen</li> <li>• Der <b>Ausschalzeitpunkt</b> soll so gewählt werden, dass der Beton eine ausreichende Festigkeit aufweist</li> </ul>
<p><b>Oberflächenwellen</b> Kontinuierliche Erhöhungen bzw. Vertiefungen an der Betonoberfläche</p> <p>(Siehe Kapitel 5.5)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherstellung eines praxisbezogenen <b>Eigenfeuchtigkeitsmittelwertes</b> von ~16 %-20 % zum Montagezeitpunkt</li> <li>• Anordnen von <b>Schalhautfugen</b>, die auf das Quellmaß des trockenen Holzes abgestimmt sind</li> <li>• <b>Realistische</b> Belastungsannahmen für eine <b>ausreichende</b> Schalungsdimensionierung</li> <li>• Anordnen von zusätzlichen <b>Zwischenunterstützungen</b> im unteren, höher belasteten Wandbereich</li> <li>• Zur Vermeidung von Ripplings sind <b>Schnittflächen</b> der Schalungshaut zu <b>versiegeln</b></li> </ul>

**9.5 Ausführung – Bewehrungseinbau**

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p>Durch eine beschädigte Schalungshautoberfläche werden viele Sichtbetonmängel ausgelöst (z.B. Betonwarzen, Ripplings, Grautonunterschiede, Poren,...)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beim Einbau der Bewehrung ist besonders darauf zu achten, dass die Schalung nicht verletzt wird, da ansonsten Wasser die Schalung örtlich begrenzt Quellen lässt oder die Entlüftung in diesem Bereich nicht vollständig stattfinden kann. Besonders die scharfen enden des Bewehrungsstahls können tiefe Kerben in der Schalung hinterlassen die anschließend als Erhebungen der Betonoberfläche sichtbar sind.</li> </ul>

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Rostverfärbungen</b></p> <p>Rotbraune Verfärbungen in Fleckenform an Deckenuntersichten oder Schlieren an vertikalen Bauteilen</p> <p>(Siehe Kapitel 3.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von Bewehrungsstahl mit erhöhtem <b>Korrosionswiderstand</b>, wie <b>verzinktem Stahl</b> oder <b>Edelstahl</b></li> <li>• <b>Abdecken</b> der Anschlussbewehrung mit Kunststoffplanen (Vorsicht auf Kondenswasserbildung)</li> <li>• Ablage der Bewehrung niemals <b>direkt auf der Schalung</b>; Auflage hat stets auf Abstandhalter zu erfolgen</li> <li>• Verwendung von Abstandhalter aus <b>Kunststoff</b> oder <b>Beton</b> - Stahlabstandhalter verursachen erneut Rostablagerungen</li> <li>• Verwendung von <b>verzinktem Bindedraht</b></li> <li>• Ordnungsgemäßes Säubern der <b>Schalungsoberfläche</b> direkt vor der Betoneinbringung</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Kiesnester und Versandungen</b></p> <p>Poröse, waschbetonähnliche Bereich bei denen nur mehr große Zuschlagskörner an der Oberfläche vorhanden sind</p> <p>(Siehe Kapitel 4.1 und 4.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausreichende <b>Bewehrungsüberdeckung</b> von Größtkorn + 5 mm</li> <li>• Sicherstellung eines <b>Spielraumes</b> der Bewehrung in der Schalung</li> <li>• Prüfung der Bewehrungs- und Schalungspläne auf ihre <b>Praxisbezogenheit</b> im Vorfeld</li> <li>• Sicherstellung einer ausreichenden Anzahl von <b>Betonier- und Rüttelgassen</b> im Bewehrungsbauwerk; der Abstand soll des Wirkdurchmessers des Rüttlers angepasst sein</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Abplatzungen aufgrund Bewehrungskorrosion</b></p> <p>Durch Verlust des Korrosionsschutzes der Bewehrung abgesprengte Oberflächenbereiche</p> <p>(Siehe Kapitel 4.6)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Um eine ausreichende <b>Bewehrungsüberdeckung</b>, in Abhängigkeit der Expositionsklasse zu gewährleisten, müssen eine ausreichende Anzahl an Abstandhalter die Distanz zwischen Schalung und Bewehrung sicherstellen</li> <li>• Es dürfen <b>keine verbogenen</b> Stäbe und Matten verwendet werden, da anderenfalls die Mindestüberdeckung unterschritten werden kann</li> <li>• Verwenden von <b>nichtrostenden</b> Stählen oder Aufbringen eines Schutzanstriches auf die Bewehrung, um eine Korrosion komplett zu verhindern</li> <li>• Beachte die kiesnestervermeidenden Maßnahmen</li> </ul>

## 9.6 Ausführung - Betoneinbau

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Kalkausblühungen am jungen Beton</b> (Primärausblühungen)</p> <p>Kleinflächige, schleierartige, weiße Verfärbungen am jungen Beton aufgrund der Karbonatisierung an der Oberfläche (Siehe Kapitel 3.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch eine <b>gute Verdichtung</b> sind weniger Poren im Beton vorhanden, in dem sich das Wasser mit Kalziumhydroxid anreichern kann</li> <li>• Verwendung von möglichst <b>wenig Zugabewasser</b>; Steuerung der Konsistenzen durch Zugabe von Fließmitteln, nicht durch Änderung des W/B-Wertes</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Kalkschleiersausblühungen</b></p> <p>Am Beton abwärts laufende, fahnenartige, weiße Spuren; Kalkaussinterungen folgen immer dem Wasserweg und rufen massive weiße Verkrustungen hervor (Siehe Kapitel 3.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maßnahmen zur <b>Vermeidung von Rissen</b> werden in dem Kapitel "Risse" behandelt; alle dort angeführten Maßnahmen verhindern auch Kalkschleiersausblühungen</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Großflächige Kalkausblühungen</b> (Sekundärausblühungen)</p> <p>Großflächige, durchgehende Aufhellung auf der wetterzugewandten Sichtbetonfassade (Siehe Kapitel 3.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch eine <b>gute Verdichtung</b> wird ein dichtes Gefüge erzeugt; das Fremdwasser kann schwerer in das Betongefüge eindringen und somit weniger Kalziumhydroxid an die Oberfläche befördern</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Grautonwolken</b></p> <p>Unregelmäßig über die Sichtbetonoberfläche verteilte, fleckige Grautongegensätze (Siehe Kapitel 3.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eine <b>optimale Verdichtung</b> verhindert das Abwandern der Feinteile zur Schalung - ein zu Viel an Verdichtungsarbeit ist in diesem Fall negativ</li> <li>• Einhalten der empfohlenen <b>Schüttlagenhöhen</b> (lt. ÖVBB-Richtlinie Sichtbeton: maximal 50 cm)</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Grautonstreifen</b></p> <p>Horizontale, streifenförmige, nicht genau angegrenzte Verfärbungen meist bei Schüttlagengrenzen (Siehe Kapitel 3.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausschließlicher Einsatz von Beton mit den <b>gleichen Frischbetoneigenschaften</b></li> <li>• An die Schalungsoberflächeneigenschaften <b>angepasste Betonkonsistenz</b></li> <li>• Die <b>Begrenzung der Schütthohen</b> auf max. 50 cm.</li> <li>• Gute <b>"Vernähung"</b> der Schüttlagen im weichen Zustand; diese darf aber <b>nicht zu intensiv</b> erfolgen, da ansonsten in diesem Bereich die Kapillarporen geschlossen werden und die Oberfläche einen anderen Grauton aufweist</li> <li>• Zwischen dem Einbringen der unterschiedlichen Schüttagel soll <b>wenig Zeit vergehen</b>; ist dies nicht möglich, sollen Abbindeverzögerer der Betonmischung zugegeben werden</li> </ul>

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p style="text-align: center;"><b>Grautonstreifen</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es soll die <b>max. Fallhöhe</b> beim Einbringen des Betons von 50 cm eingehalten werden; ist dies nicht möglich, muss der Beton über ein Hosenrohr eingebracht werden</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p style="text-align: center;"><b>Rostverfärbungen</b></p> <p>Rotbraune Verfärbungen in Fleckenform an Deckenuntersichten oder Schlieren an vertikalen Bauteilen (Siehe Kapitel 3.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbringen einer „<b>PU-Schaum</b>“-Barriere am Bauteilrand</li> <li>• Ausführen der Arbeistfuge mit einem <b>Gefälle</b> weg von der Sichtseite</li> <li>• Einstreichen der Anschlussbewehrung mit <b>Zementleim</b></li> <li>• Die <b>Schalungsoberfläche</b> ist direkt vor der Betoneinbringung ordnungsgemäß zu säubern</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p style="text-align: center;"><b>Kiesnester und Versandungen</b></p> <p>Poröse, waschbetonähnliche Bereiche, bei denen nur mehr große Zuschlagskörner an der Oberfläche vorhanden sind (Siehe Kapitel 4.1 und 4.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es soll die <b>max. Fallhöhe</b> beim Einbringen des Betons von 50 cm eingehalten werden; ist dies nicht möglich, muss der Beton über ein Hosenrohr eingebracht werden</li> <li>• Bei der Verdichtung durch Schalungsrüttler sind die Herstellerempfehlungen einzuhalten</li> <li>• Bei der Innenverdichtung sind folgende Punkte einzuhalten:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Durch <b>zügiges Einführen</b> der Rüttelflasche in den Beton und langsames Ziehen wird eine optimale Verdichtung erreicht</li> <li>- Die vom Wirkdurchmesser des Rüttlers abhängigen <b>Abstände</b> der Eintauschstellen sollen eingehalten werden</li> <li>- Der Beton darf nicht <b>zu viel verdichtet</b> werden, da er sonst zum Bluten neigt; die genaue Dauer ist den entsprechenden Regelwerken bzw. Herstellerempfehlungen zu entnehmen</li> </ul> </li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p style="text-align: center;"><b>Poren, Lunker</b></p> <p>Luft- und Wassereinschlüsse, die nach dem Entschalen blasenförmige Hohlräume bilden (Siehe Kapitel 4.4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Lagenweises Betonieren</b> um den Weg der Luftblasen beim Verdichten minimal zu halten</li> <li>• Bei der Innenverdichtung sind folgende Punkte einzuhalten:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Durch <b>zügiges Einführen</b> der Rüttelflasche in den Beton und langsames Ziehen wird eine optimale Verdichtung erreicht</li> <li>- Die vom Wirkdurchmesser des Rüttlers abhängigen <b>Abstände</b> der Eintauschstellen sollen eingehalten werden</li> </ul> </li> <li>• Durch die Verwendung von <b>Außenrüttlern</b> werden die Poren an der Oberfläche in das Innere des Betons gedrückt</li> </ul>

<b>Mangel</b>	<b>Maßnahmen zur Vermeidung</b>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Risse</b></p> <p>Durch die Überschreitung der Zugfestigkeit des Betons entstandene Trennungsspalte, die unterschiedliche Tiefen erreichen können</p> <p>(Siehe Kapitel 4.5)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Um eine übermäßige Oberflächensedimentation zu verhindern, ist die aufgrund der Konsistenz und der Schalungsoberfläche <b>empfohlene Rüttelzeit</b> einzuhalten</li> <li>• In den Sommermonaten soll das <b>Betonieren</b> bevorzugt in den <b>Morgenstunden</b> erfolgen</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Abplatzungen aufgrund Bewehrungskorrosion</b></p> <p>Durch Verlust des Korrosionsschutzes der Bewehrung abgesprengte Oberflächenbereiche</p> <p>(Siehe Kapitel 4.6)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besonders wichtig ist eine <b>gute Verdichtung</b>, um einen dichten, kapillarporenrmen Beton zu erhalten</li> <li>• Beachte die kiesnester-, versandungs-, lunker- und rissvermeidenden Maßnahmen</li> </ul>
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Versätze, Versprünge</b></p> <p>Niveaudifferenzen bei Betonierabschnitten bzw. Schalungsstößen</p> <p>(Siehe Kapitel 5.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einhalten der empfohlenen <b>Schüttlagenhöhen</b>, um den Betondruck gering zu halten (lt. ÖVBB-Richtlinie Sichtbeton: maximal 50 cm)</li> <li>• Vergeht viel Zeit zwischen den Betonierschüttungen, ist die untere Schicht mit einem Zusatzmittel zu verzögern, um "Betonierschürzen" zu vermeiden</li> <li>• Eine <b>Doppelverdichtung</b> verflüssigt die unteren Schichten erneut und erhöht so die Betondruckkraft auf die Schalung</li> </ul>
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Betongrate</b></p> <p>Längliche Erhebungen bei Schalhautfugen aufgrund von ausfließendem Zementmörtel</p> <p>(Siehe Kapitel 5.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direkt vor dem Betoneinbau ist die ausgetrocknete Schalung <b>reichlich anzunässen</b>; dabei muss auf eventuelles Abwaschen des Rostes der Bewehrung Acht gegeben werden</li> </ul>
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Ausbrüche scharfer Kanten</b></p> <p>Meist durch mechanische Belastung deformierte Eckbereiche</p> <p>(Siehe Kapitel 5.4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch eine <b>gute Verdichtung</b> des Eckbereiches wird ein homogener Beton erreicht, der der scharfen Kante eine gute Stabilität verleiht</li> <li>• Durch die Verwendung von <b>SCC</b> können Ecken mit guter Qualität erzeugt werden</li> <li>• Verwendung von Leisten aus <b>ultrahochfestem Beton</b> in den Eckbereichen</li> </ul>
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Oberflächenwellen</b></p> <p>Kontinuierliche Erhöhungen bzw. Vertiefungen an der Betonoberfläche</p> <p>(Siehe Kapitel 5.5)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einhalten der empfohlenen <b>Schüttlagenhöhen</b> um den Betondruck gering zu halten (lt. ÖVBB-Richtlinie Sichtbeton: maximal 50 cm)</li> <li>• Eine <b>Doppelverdichtung</b> verflüssigt die unteren Schichten erneut und erhöht so die Betondruckkraft auf die Schalung</li> </ul>

## 9.7 Ausführung - Nachbehandlung

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Kalkausblühungen am jungen Beton</b> (Primärausblühungen)</p> <p>Kleinflächige, schleierartige, weiße Verfärbungen am jungen Beton aufgrund der Karbonatisierung an der Oberfläche</p> <p>(Siehe Kapitel 3.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Schutz des Bauteils</b> mit Folien, um eine ausgeglichene Hydratation im Beton sicherzustellen; Optimalerweise mit Abstand zwischen der Folie und der Betonoberfläche, um den Abbindevorgang nicht zu stören</li> <li>• Aufbringen einer <b>wasserabweisenden Hydrophobierung</b> oder eines <b>Nachbehandlungsmittels</b> ehest möglich nach dem Ausschalen; Fremdwasser wird gehindert in die Poren einzudringen, weiters wird der junge Beton vor dem zu schnellen Austrocknen geschützt</li> <li>• Das längere <b>Belassen der Schalung</b> nach dem Lösen der Schalungsanker als Nachbehandlungsverfahren soll vermieden werden, da durch Kondenswasser Ausblühungen gefördert werden</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Kalkschleiersausblühungen</b></p> <p>Am Beton abwärts laufende, fahnenartige, weiße Spuren; Kalkaussinterungen folgen immer dem Wasserweg und rufen massive weiße Verkrustungen hervor</p> <p>(Siehe Kapitel 3.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maßnahmen zur <b>Vermeidung von Rissen</b> werden in dem Kapitel "Risse" behandelt.; alle dort angeführten Maßnahmen verhindern auch Kalkschleiersausblühungen</li> <li>• Zur Vermeidung von Kalkfahnen bei Ankerlöchern, sind diese <b>gut zu verschließen</b> bzw. besser noch zusätzlich <b>abdichten</b></li> <li>• Nachträgliches <b>Abdichten</b> von Fugen aller Art um das Eindringen des Wassers zu verhindern</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Großflächige Kalkausblühungen</b> (Sekundärausblühungen)</p> <p>Großflächige, durchgehende Aufhellung auf der wetterzugewandten Sichtbetonfassade</p> <p>(Siehe Kapitel 3.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbringen einer <b>wasserabweisenden Hydrophobierung</b> oder eines <b>Nachbehandlungsmittels</b> ehest möglich nach dem Ausschalen, dadurch wird das Fremdwasser gehindert in die Poren einzudringen; die Karbonatisierung findet somit im Inneren des Betonbauteiles statt und von außen ist somit keine Aufhellung sichtbar</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Partielle Grautondifferenzen</b></p> <p>Klar abgegrenzte Hell- bzw. Dunkelverfärbungen der Betonoberfläche</p> <p>(Siehe Kapitel 3.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein <b>direkter Kontakt</b> eines Holzes oder eines anderen Materials mit der Betonoberfläche nach dem Ausschalen während der gesamten Abbindezeit</li> </ul>
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Grautonwolken</b></p> <p>Unregelmäßig über die Sichtbetonoberfläche verteilte, fleckige Grautongegensätze</p> <p>(Siehe Kapitel 3.2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beim Schutz des Bauteils mit Folien muss ein <b>Abstand</b> zwischen Betonoberfläche und Folie vorhanden sein, da es bei einer Berührung zu Kondenswasserbildung und somit zu Farbänderungen kommen kann</li> </ul>

Mangel	Maßnahmen zur Vermeidung
<p>Farbabweichungen</p> <p><b>Rostverfärbungen</b></p> <p>Rotbraune Verfärbungen in Fleckenform an Deckenuntersichten oder Schlieren an vertikalen Bauteilen (Siehe Kapitel 3.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einstreichen der Anschlussbewehrung mit <b>Zementleim</b></li> <li>• <b>Abdecken</b> der Anschlussbewehrung mit Kunststoffplanen (Vorsicht auf Kondenswasserbildung)</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Vermehrungen (Versandungen)</b></p> <p>Verstärkter Staubeffekt an der Sichtbetonoberfläche (Siehe Kapitel 4.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch einen gezielten <b>Feuchtigkeitsnebel</b> kann ein vermehrter Bereich nachhydratisieren und somit der Staubeffekt gelindert werden</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Risse</b></p> <p>Durch die Überschreitung der Zugfestigkeit des Betons entstandene Trennungsspalte, die unterschiedliche Tiefen erreichen können (Siehe Kapitel 4.5)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zum Schutz einer zu schnellen Austrocknung bzw. Auskühlung soll der Beton mit einem <b>Nachbehandlungsmittel</b> und einer <b>Folie</b>, die mit Abstand vor der Oberfläche anzubringen ist, geschützt werden</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Abplatzungen aufgrund Bewehrungskorrosion</b></p> <p>Durch Verlust des Korrosionsschutzes der Bewehrung abgesprengte Oberflächenbereiche (Siehe Kapitel 4.6)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eine <b>Hydrophobierung</b> hindert das Wasser in den Beton einzudringen und somit die Karbonatisierung auszulösen bzw. schädliches Chlorid ins Betoninnere zu transportieren</li> <li>• <b>Schutz des Bauteils</b> mit Folien, um eine ausgeglichene Hydratation im Beton sicherzustellen; Optimalerweise mit Abstand zwischen der Folie und der Betonoberfläche, um den Abbindevorgang nicht zu stören</li> <li>• Beachte die rissvermeidenden Maßnahmen</li> </ul>
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Betongrate</b></p> <p>Längliche Erhebungen bei Schalhautfugen aufgrund von ausfließendem Zementmörtel (Siehe Kapitel 5.3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Werden die Betongrate sofort nach dem Ausschalen <b>mechanisch entfernt</b>, lässt sich der Mangel meist kaschieren</li> </ul>
<p>Ebenheitsunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Ausbrüche scharfer Kanten</b></p> <p>Meist durch mechanische Belastung deformierte Eckbereiche (Siehe Kapitel 5.4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ehestmögliches Anbringen eines <b>Kantenschutzes</b>; Dies soll ohne Kontakt von Holz und dem jungen Beton mittels Abstandhalter in Bereichen erfolgen, in denen die Verfärbungen später nicht mehr sichtbar sind</li> </ul>

**9.8 Schutzmaßnahmen für das Langzeitverhalten**

<b>Mangel</b>	<b>Maßnahmen zur Vermeidung</b>
<p>Bei allen Mängeln, wo eine Hydrophobierung den Beton über einen längeren Zeitraum schützen soll (z.B. bei großflächige Kalkausblühungen und Abplatzungen aufgrund Bewehrungskorrosion)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erneuern der <b>wasserabweisenden Hydrophobierung</b> in dem vom Hersteller empfohlenen Zeitintervallen; durch eine <b>Tiefenhydrophobierung</b> kann die Zeit bis zum Verlust der Hydrophobierungswirkung um ein mehrfaches vergrößert werden</li> </ul>
<p>Texturunregelmäßigkeiten</p> <p><b>Abplatzungen aufgrund Bewehrungskorrosion</b></p> <p>Durch Verlust des Korrosionsschutzes der Bewehrung abgesprengte Oberflächenbereiche (Siehe Kapitel 4.6)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vor allem im Spritzwasserbereich von Straßen ist die <b>Karbonatisierungstiefe</b> laufend zu messen um das Rosten der Bewehrung im Beton und somit die Abplatzungen zu verhindern</li> </ul>

## Literaturverzeichnis

BOSOLD, D.: Scharfe Kanten bei Sichtbeton, in: Opus C-Planen & Gestalten mit Beton, 2/2007, Cologne: ad-media GmbH 2007.

BRAND, B.; GLATZ, G.: Schäden an Tragwerken aus Stahlbeton in Schadenfreies Bauen; Band 14, HRSG.: ZIMMERMANN, G.; RUHNAU, R., Stuttgart: IRB Verlag 2005.

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein; Bundesverband der Deutschen Zementindustrie (DBV/BDZ): Merkblatt Sichtbeton; Berlin, Düsseldorf: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein; Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Fassung August 2004.

DÖRR, M.; HOFFMANN, F.: Rost angesetzt, in: bd baumaschinendienst, 11/2004, Bad Wörishofen: Krafthand Verlag Walter Schulz GmbH 2004.

DURTH, W.: Transformation der Erinnerung, in: Sichtbeton, Betrachtungen. Ausgewählte Architektur in Deutschland, HRSG.: KRAMM, R.; SCHALK, T., Düsseldorf: Verlag Bau + Technik 2007.

FIALA, H.; OGNIWEK, D.; FUCHS, R.; SCHUON, H.: Wegweiser Sichtbeton; Gütersloh: Bauverlag BV 2007.

GLÄSLE, J.: Medium Sichtbeton, in: Sichtbeton Handbuch 2008, HRSG.: SCHULZ, J., Düsseldorf: Verlag Bau + Technik GmbH 2008.

GROBBAUER, M.: Definition von Sichtbeton - eine Herausforderung, in: Sichtbeton - Architektur pur, Wien: Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H 2007.

HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten; Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2008.

KAMPEN, R.: Zement-Merkblatt Betontechnik B 18, 2.2003 - Risse im Beton, HRSG.: Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Köln: Selbstverlag 2003

KLOPFER, H.: Schäden an Sichtbetonflächen, in: Schadenfreies Bauen; Band 3, HRSG.: ZIMMERMANN, G., Stuttgart: IRB Verlag 1993.

KNOTT, A.; KOCH, J.: Konfliktpotential Sichtbeton, in: db deutsche bauzeitung, 01/2007, HRSG.: KOHLHAMMER, K., Leinfelden-Echterdingen: Konradin Medien GmbH 2009.

LOHAUS, L.; FISCHER, K.: Sichtbeton - Betonzusammensetzung, Einbau, Qualitätssicherung, in: Sichtbeton-Planen, Herstellen, Beurteilen, HRSG.: MÜLLER, H.; NOLTING, U.; HAIST, M., Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe 2005.

LÜTZTOW-RODENWOLDT, J.: Beton richtig verdichten, in: BauPortal; Heft 11 November 2009, HRSG.: BG Bau, München: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co 2009.

MEICHSNER, H.; ROHR-SUCHALLA, K.: Risse in Beton und Mauerwerk - Ursachen, Sanierung, Rechtsfragen; Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag 2008.

Normenausschuss Bauwesen (NABau): DIN 18202 Toleranzen im Hochbau – Bauwerke; Berlin: Beuth Verlag GmbH, Ausgabe 2005-10.

Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik (ÖVBB): Richtlinie Geschalte Betonflächen ("Sichtbeton"); Wien: Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Ausgabe Juni 2002.

Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik (ÖVBB): Sichtbeton - Geschalte Betonflächen; Wien: Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Ausgabe Juni 2009.

Österreichisches Normungsinstitut (ON): ÖNORM B 1100 Toleranzen im Bauwesen – Allgemeine Begriffe und Grundlagen; Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe 2006-06-01.

Österreichisches Normungsinstitut (ON): ÖNORM B 2211 Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonarbeiten; Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe 2009-06-01.

Österreichisches Normungsinstitut (ON): ÖNORM DIN 18202 Toleranzen im Hochbau (DIN 18202:2005); Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe 2010-02-15.

OSWALD, R.; ABEL, A.: Hinzunehmende Unregelmäßigkeiten bei Gebäuden; 3. Auflage, Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH 2005.

PECK, M.: Was ist Sichtbeton?, in: Sichtbeton Handbuch 2008, HRSG.: SCHULZ, J. , Düsseldorf: Verlag Bau + Technik GmbH 2008.

PECK, M.; BOSE, T.; BOSOLD, D.: Technik des Sichtbetons; Düsseldorf: Verlag Bau + Technik 2007.

PERI: Arbeitsheft Sichtbeton-Schalung; 06/2002, Weißenhorn: Peri 2002.

PFEIFER, G.; LIEBERS, A.; BRAUNECK, P.: Sichtbeton - Technologie und Gestalt; Düsseldorf: Verlag Bau+Technik 2006.

PUCHE, M.: Mängel an Gebäude- und Bauteiloberflächen – Anforderungen, Schadensbilder, Ursachen, Bewertung; Köln: Rudolf Müller 2007.

RAUPACH, M.; ORLOWSKY, J.: Erhaltung von Betonbauwerken; Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2008.

RUPP, K.: Für die Ewigkeit?, in: Der Maler und Lackierermeister, 3/2008, Mindelheim: W. Sachon GmbH+Co 2008.

SCHIESSL, P.; STREHLEIN, D.: Untersuchungen zu Farberscheinungen an Sichtbetonflächen, in: Sichtbeton-Planen, Herstellen, Beurteilen, HRSG.: MÜLLER, H.; NOLTING, U.; HAIST, M., Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe 2005.

SCHMIDT-MORSBACH, J.: Sichtbeton-Oberflächen für Planung und Ausführung; Straubing

SCHMITT, R.: Die Schalungstechnik - Systeme, Einsatz und Logistik; Berlin: Ernst & Sohn Verlag 2001.

SCHULZ, J.: Sichtbeton Atlas; Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2009.

SCHULZ, J.: Sichtbeton-Mängel; 2. Auflage, Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH 2004.

SCHULZ, J.: Sichtbeton-Planung; 2. Auflage, Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH 2004.

TRAVNICEK, R.: Sichtbetonflächen und Gewährleistung, in: Sichtbeton - Architektur pur, Wien: Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H 2007.

WELSER, R.: Bürgerliches Recht, Band II; 13. Auflage, Wien: Manzsche Verlags- und Universitätsbuchhandlung 2007.

## Linkverzeichnis

- 1 <http://de.wikipedia.org/wiki/Lunker>, Datum des Zugriffs 18.07.2010.
- 2 <http://de.wikipedia.org/wiki/Sichtbeton>, Datum des Zugriffs 20.04.2010.
- 3 <http://de.wiktionary.org/wiki/Riss>, Datum des Zugriffs 07.08.2010.
- 4 [http://www.aarebeton.ch/normen\\_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf](http://www.aarebeton.ch/normen_technik/Leitfaden%20Einbringen,%20Verdichten%20und%20Nachbehandeln%20von%20Beton.pdf), Datum des Zugriffs 18.07.2010.
- 5 <http://www.beton.org/bauherreninformationen/was-ist-beton/geschichte-des-betons.html>, Datum des Zugriffs 01.03.2010.
- 6 <http://www.beton.org/fachinformationen/betonbautechnik/sichtbeton.html>, Datum des Zugriffs 01.03.2010.
- 7 <http://www.beton-informationen.de/downloads/1-2004-05-02.pdf>, Datum des Zugriffs 19.07.2010.
- 8 <http://www.b-i-m.de/Lexikon/Inhalt/bluten.htm>, Datum des Zugriffs 16.08.2010.
- 9 <http://www.citec.citec-survey.com/technology/downloads/korrosion.pdf>, Datum des Zugriffs 14.08.2010.
- 10 [http://www.doka.com/doka/de\\_global/services/presscorner/pages/05926/index.php](http://www.doka.com/doka/de_global/services/presscorner/pages/05926/index.php), Datum des Zugriffs 23.08.2010.
- 11 [http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/CE9A2015-2FA0-4E95-8648-FA81198CA415/0/Easycrete\\_Prospekt.pdf](http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/CE9A2015-2FA0-4E95-8648-FA81198CA415/0/Easycrete_Prospekt.pdf), Datum des Zugriffs 23.09.2010.
- 12 [http://www.holcim.de/holcimweb/gc/DE/uploads/HolcimDeutschland\\_Ausbluehungen\\_2005.pdf](http://www.holcim.de/holcimweb/gc/DE/uploads/HolcimDeutschland_Ausbluehungen_2005.pdf), Datum des Zugriffs 27.04.2010.
- 13 [http://www.meva.de/global/download/de/prospekte/schalungsdrucke/2010\\_03\\_sd-III\\_bauma.pdf](http://www.meva.de/global/download/de/prospekte/schalungsdrucke/2010_03_sd-III_bauma.pdf), Datum des Zugriffs 18.07.2010.
- 14 [http://www.meva.de/wMeva/presse/entries/2009\\_04\\_betonverdichtung.php?listLink=1](http://www.meva.de/wMeva/presse/entries/2009_04_betonverdichtung.php?listLink=1), Datum des Zugriffs 04.07.2010.
- 15 <http://www.mueller-bauhandel.de/data/techn-merkblaetter/rippings.pdf>, Datum des Zugriffs 29.09.2010.
- 16 [http://www.zement.at/service/literatur/fileupl/koll07\\_hofstadler.pdf](http://www.zement.at/service/literatur/fileupl/koll07_hofstadler.pdf), Datum des Zugriffs 23.09.2010.