

# Untersuchungen zur Oberflächenqualität von Selbstverdichtendem Beton

*Sandro Weisheit*

Universität Luxemburg  
sandro.weisheit@uni.lu

Betreuung: *Ass. Prof. Dr.-Ing. Danièle Waldmann; Prof. Dr.-Ing. Manfred Greger*

Universität Luxemburg

## **Zusammenfassung**

*Bei dem hier vorgestellten Forschungsprojekt war eine Vorgabe seitens der Industriepartner der Verzicht auf den Einsatz von jeglichen Zusatzstoffen. Der Feinststoffanteil im SVB sollte allein vom Zementgehalt bestimmt werden. Des Weiteren war eine Reduzierung der Endfestigkeiten gefordert, welche bei Selbstverdichtenden Betonen bislang sehr hoch sind. Aus diesen Gründen wurden SVB-Rezepturen des Kombinationstyps entwickelt.*

*Selbstverdichtende Betone werden in der Praxis vor allem da eingesetzt, wo hohe Anforderungen an die Oberflächenqualität bestehen. Deshalb wurden Untersuchungen zu den Einflüssen verschiedener Parameter (Trennmittel, Ausschallfrist, Schalhaut, Probenalter und klimatische Umgebungsbedingungen) auf die Qualität der Betonoberfläche durchgeführt. Die Probekörper wurden bei den jeweiligen Umgebungsbedingungen in einer Klimakammer hergestellt und gelagert. Die Messung der Helligkeit und der Farbtongleichmäßigkeit erfolgte mit einem Farbmessgerät. Zur Bestimmung der Porigkeit der Prüfflächen wurden Fotografien ausgewertet. Mit Hilfe der Grafiksoftware Adobe Photoshop CS3 konnten die jeweiligen Flächenanteile der Luftporen bestimmt werden.*

## **1 Einleitung**

Im Hinblick auf die Einflüsse der Umgebungsbedingungen während der Herstellung und der Lagerung von Beton auf die Qualitäten von Sichtbetonflächen wurde bislang kaum berichtet. Lediglich Strehlein und Schießl stellen in mehreren Veröffentlichungen [1], [2] und [3] die Ergebnisse von umfangreichen Untersuchungen zu den klimatischen, ausführungstechnischen und betontechnologischen Einflussgrößen auf fleckige Hell-Dunkel-Verfärbungen an Sichtbetonflächen vor.

Neben indirekten Einflüssen auf die Verarbeitbarkeit der Betone bei unterschiedlichen Temperaturen wie Poren- und Lunkerbildung bei Betonen mit nur geringer Verarbeitbarkeit, gibt es auch Einflüsse, welche sich direkt nach dem Ausschalen während der Erhärtungs- und Austrocknungsphase auf die Oberflächenqualitäten von Sichtbeton auswirken. Bei den hier vorgestellten Versuchen wurden sowohl die indirekten als auch die direkten Einflüsse untersucht.

## **2 Versuchsplanung**

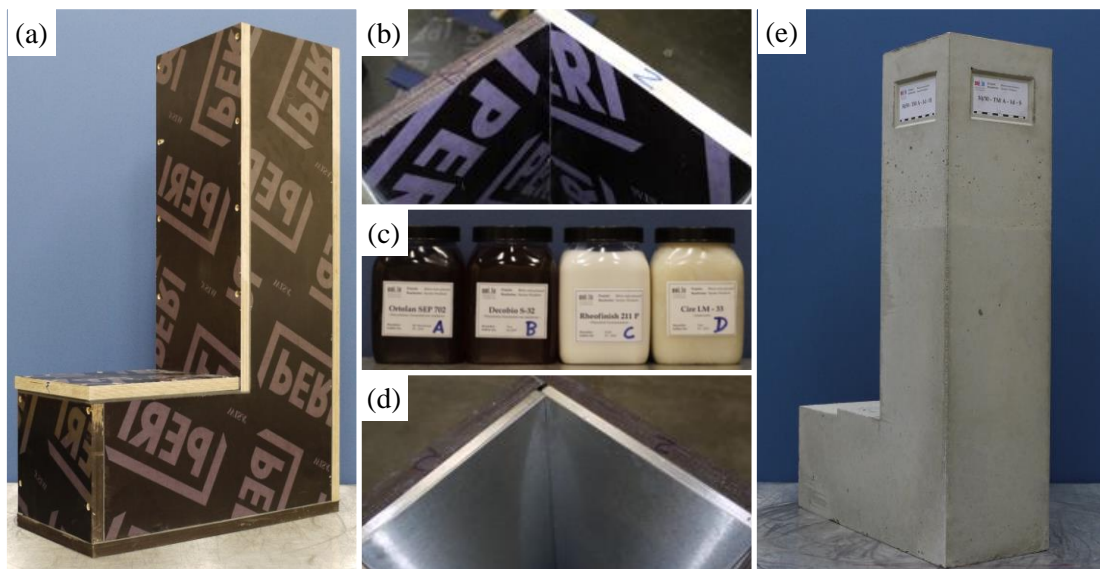
Folgende Parameter wurden während der Untersuchungen variiert:

**Klimabedingungen:** Zur Untersuchung der Auswirkungen der klimatischen Umgebungsbedingungen wurden Probekörper in einer Klimaprüfkammer bei den drei verschiedenen Klimapunkten  $K_{10}$  (10°C / 90 % rel. F),  $K_{20}$  (20°C / 60 % rel. F) und  $K_{30}$  (30 °C / 30 % rel. F) hergestellt. Zur Beurteilung der Einflüsse auf die Oberflächenqualität nach dem Ausschalen, wurden die Proben bis zu einem Alter von 28 Tagen in den jeweiligen Klimaten gelagert. Anschließend erfolgten sowohl eine Außen- als auch eine Innenlagerung der Proben für einen Zeitraum von 56 Tagen. Danach wurden alle Probekörper nochmals für 28 Tage im Laborklima gelagert und im Alter von 112 Tagen untersucht.

**Schalhaut:** Zum einen wurde eine mit Phenolharz beschichtete Filmsperrholzplatte und zum anderen eine Schalung aus rostfreiem Edelstahl verwendet. Die Schalung wurde so konstruiert, dass jeweils zwei Seiten aus der Filmsperrholzplatte und zwei Seiten aus der Edelstahlplatte bestanden (siehe Abbildungen 1-a, 1-b, 1-d). Die Probekörperform war L-förmig mit Schenkellängen von 80 cm bzw. 50 cm und einem Querschnitt von 20 cm x 20 cm (siehe Abbildung 1-e).

**Trennmittel:** Die Auswahl der Trennmittel erfolgte anhand des DBV-Merkblattes „Trennmittel für Beton – Teil A: Hinweise zur Auswahl und Anwendung“ [4]. Zur Anwendung kam ein Trennmittel auf Basis von Mineralöl (A), eines auf Basis von Pflanzenöl (B), eines auf Basis einer wässrigen Emulsion pflanzlicher Öle (C) und eines auf Basis von Wachsen (D) (siehe Abbildung 1-c).

**Ausschalfrist:** Die Probekörper wurden sowohl nach einem Tag als auch nach drei Tagen ausgeschalt und jeweils direkt im Anschluss auf die Oberflächenqualität untersucht. Die Messungen wurden weiterhin in einem Probenalter von 7, 14, 21, 28 und 112 Tagen wiederholt.

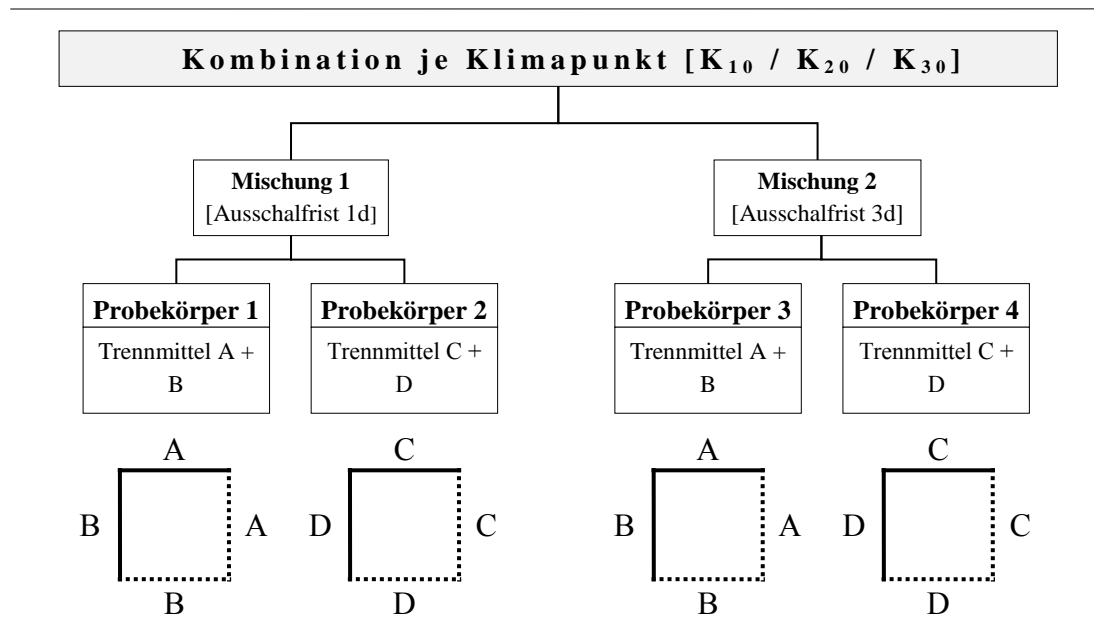


**Abbildung 1.** Probekörperschalung (a); Detailansichten Holzschalung (b) und Stahlschalung (d); verwendete Trennmittel (c); Probekörper (e)

Je Klimapunkt wurden zwei identische Betonmischungen hergestellt. Mit jeder Mischung konnten zwei Probekörper betoniert werden, an denen die Kombination der Trennmittel und der Schalhauttypen erfolgte (siehe Abbildung 2).

Die Betone wurden in einer Klimaprüfkammer hergestellt. Die Ausgangsstoffe, die Schalungen und die Trennmittel wurden ebenfalls im jeweiligen Klima für 48 Stunden vor der Herstellung temperiert. Die Probekörper wurden 60 min nach Mischbeginn betoniert. Bis zum Zeitpunkt der Befüllung der Schalungen wurde der Beton im Zwangsmischer bei sehr

langsamer Drehgeschwindigkeit zur Simulation eines Transportes in einem Fahrnischer umgewälzt.



**Abbildung 2.** Kombination der Parameter der Versuche zu den Oberflächenqualitäten

### 3 Verwendete Materialien

Die Mischungszusammensetzung des untersuchten Selbstverdichtenden Betons kann Tabelle 1 entnommen werden. Als Bindemittel wurde ein Hochofenzement CEM III/A 52,5 verwendet. Da seitens der Industriepartner kein Zusatzstoff erwünscht war, erfolgte neben dem Zement keine weitere Zugabe von Feinststoffen. Die Gesteinskörnung setzte sich aus zwei Sanden (0/1 mm und 0/2 mm) und aus zwei Kiesen (4/8 mm und 8/16 mm) zusammen. Da der Feinststoffgehalt in einem niedrigen Bereich lag, wurde neben einem Hochleistungsfließmittel auf PCE-Basis zur Stabilisierung des Betons ein VMA (Viscosity Modifying Admixture) verwendet.

Der Selbstverdichtende Beton wurde bei allen drei Klimapunkten so eingestellt, dass eine stabile Mischung mit einer Ausgangskonsistenz von ca. 700 mm Setzfließmaß vorlag.

**Tabelle 1.** Mischungszusammensetzung des Selbstverdichtenden Betons

Mischungsbestandteile	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Mischungsanteil pro m <sup>3</sup> Beton		
		Volumen		Masse
		[Vol.-%]	[dm <sup>3</sup> ]	[kg]
CEM III/A 52,5	3,01	13,9	139	417
Sand 0/1 mm	2,63	3,6	36	95
Sand 0/2 mm	2,65	26,7	267	708
Kies 4/8 mm	2,62	24,0	240	636
Kies 8/16 mm	2,62	11,0	110	292
Wasser (inkl. FM+ST)	1,00	18,8	188	188
	Mehlkorn	13,9	139	417
	Mörtel	65,0	383	700
	w/z		0,45	

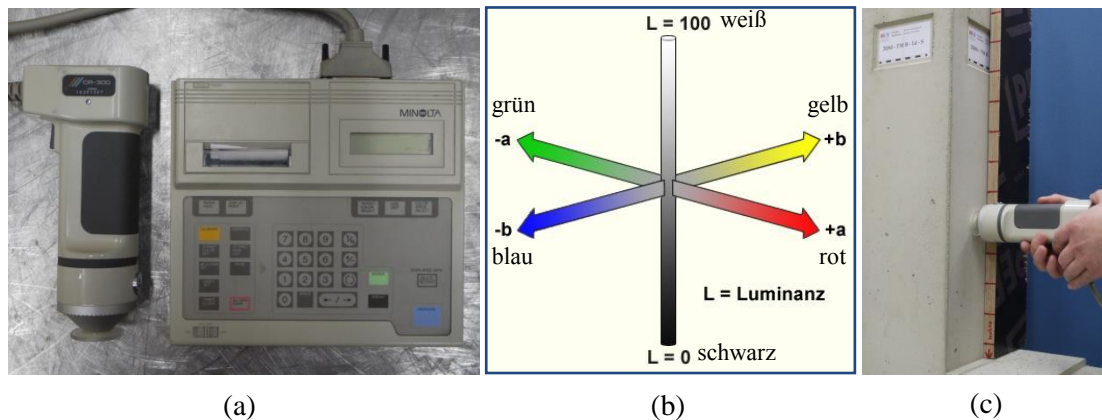
## 4 Angewandte Messmethoden

Zur Beurteilung der Oberflächenqualität der Selbstverdichtenden Betone wurden die Parameter Helligkeit, Farbtongleichmäßigkeit und Porigkeit untersucht.

### 4.1 Helligkeit und Farbtongleichmäßigkeit

Die Messungen zur Helligkeit und Farbtongleichmäßigkeit wurden mit Hilfe des Farbmessgerätes Chromameter CR-300 der Firma Minolta GmbH (siehe Abbildung 3-a) vorgenommen. Die Farbort-Messungen wurden im CIE-Farbsystem  $L^*a^*b^*$  nach DIN 6174 [5] durchgeführt. Im  $L^*a^*b^*$ -Farbraum sind alle wahrnehmbaren Farben enthalten. Eine der wichtigsten Eigenschaften des  $L^*a^*b^*$ -Farbraumes ist seine Geräteunabhängigkeit, was bedeutet, dass die Farben unabhängig von der Art ihrer Erzeugung und Wiedergabetechnik definiert werden. Der  $L^*a^*b^*$ -Farbraum wird durch ein dreidimensionales Koordinatensystem beschrieben (siehe Abbildung 3-b). Während die  $a^*$ -Achse den Grün- oder Rotanteil einer Farbe beschreibt, gibt die  $b^*$ -Achse den Blau- oder Gelbanteil einer Farbe wieder. Die  $L^*$ -Achse wird auch als Neutralgrauachse bezeichnet, da sie die Endpunkte Schwarz und Weiß besitzt und die Zwischenwerte auf dieser Achse den unbunten Grautönen entsprechen.

Zur Messung wurden die Prüfflächen (20 x 60 cm) in ein Raster von 5 cm in horizontaler und vertikaler Richtung eingeteilt. Entlang dieses Rasters wurden je Oberfläche 46 Messungen durchgeführt, wobei jeder Messwert vom Chromameter automatisch aus drei aufeinanderfolgenden Einzelmessungen gemittelt wurde (siehe Abbildung 3-c). Da nur große Schwankungen bei den Werten für die Helligkeit auftraten, wurde zur Auswertung nur der Wert für die  $L^*$ -Achse herangezogen.



**Abbildung 3.** Farbmessgerät Chromameter CR-300 (a); schematische Darstellung des  $L^*a^*b^*$ -Farbraumes (b); Messung der Prüffläche im Raster (c)

Zur Beurteilung der Helligkeit wurden pro Prüffläche die Mittelwerte ( $L_\emptyset$ ) aus den 46 Messungen herangezogen. Je größer der Wert ist, desto heller ist die Prüffläche und desto höher ist die Oberflächenqualität. Zur Bewertung der Farbtongleichmäßigkeit wurde dagegen die Standardabweichung ( $L_S$ ) verwendet. Steigt dieser Wert an, werden die Schwankungen im Farbton größer; die Oberflächenqualität verschlechtert sich. Anhand der Erfahrungen, welche während der Messungen mit dem Chromameter gemacht wurden, erfolgte eine Bewertung der Farbtongleichmäßigkeit von „sehr gut“ ( $L_S \leq 1,0$ ) über „gut“ (1,0 bis 1,3), „befriedigend“ (1,3 bis 1,6) und „schlecht“ (1,6 bis 1,9) bis „sehr schlecht“ ( $L_S \geq 1,9$ ).

## 4.2 Porigkeit

Zur Auswertung der Porigkeit der Prüfflächen fanden Fotografien Anwendung, welche zu jedem Prüftermin von allen Oberflächen angefertigt wurden. Beim Aufnehmen der Bilder wurde darauf geachtet, dass zu jedem Zeitpunkt die Lichtverhältnisse identisch waren. Dazu wurden die Probekörper in einem Raum mit verdunkelten Fenstern und gleichbleibenden Lichtquellen abgelichtet. Des Weiteren wurde an der Kamera im Raum, in dem gemessen wurde, vor der ersten Aufnahme ein manueller Weißabgleich durchgeführt. Die Belichtungseinstellung (Blende und Verschlusszeit) war ebenfalls zu jedem Messtermin identisch.

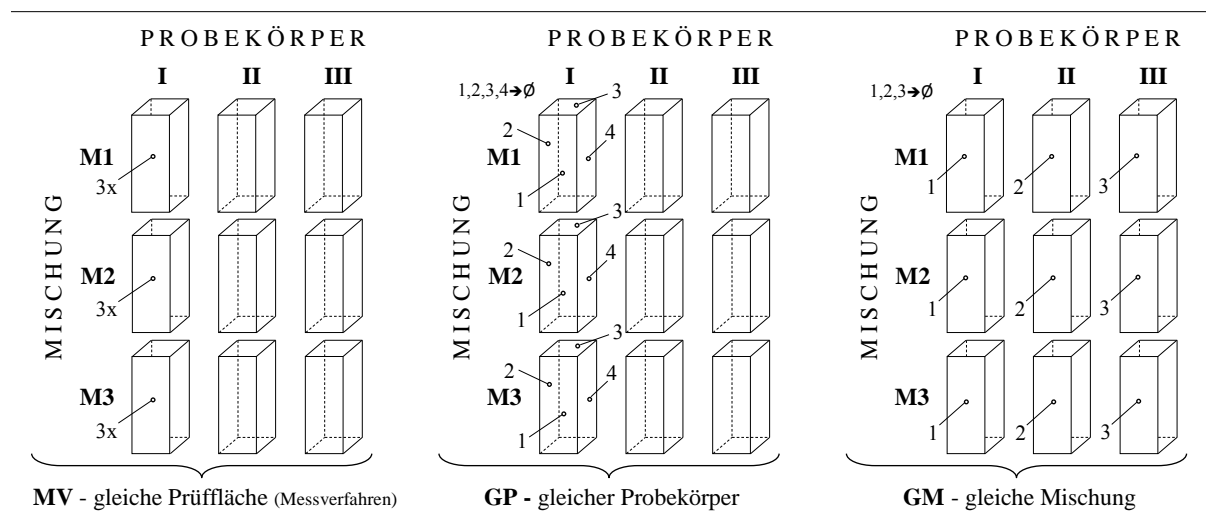
Mit Hilfe der Software Adobe Photoshop CS3 konnten alle schwarzen Luftporen auf der Prüffläche auf den jeweiligen Fotos markiert werden. Anschließend konnte die Größe der Pixelzahl des markierten Bereiches bestimmt werden. Da alle Fotografien die gleiche Gesamt-pixelzahl besaßen, konnte der prozentuale Anteil der Luftporen bezogen auf die Gesamtfläche berechnet werden.

Die gemessenen Porigkeiten wurden anhand der im DBV-Merkblatt „Sichtbeton“ [6] festgelegten Porigkeitsklassen P1 bis P4 bewertet. Je niedriger die Porigkeitsklasse, desto höher ist der Porenanteil in der Oberfläche. Zum Erreichen der besten Sichtbetonklasse muss die Oberfläche der Porigkeitsklasse P4 entsprechen, d.h. der Flächenanteil der Poren muss kleiner 0,3 % betragen.

## 4.3 Reproduzierbarkeit der Messmethoden

Zur Bestimmung der Streubandbreite wurden 3 Betonmischungen mit identischer Rezeptur hergestellt. Pro Mischung wurden 3 Probekörper (I bis III) mit den Abmessungen 20 x 20 x 60 cm betoniert. Die Parameter Klimabedingungen, Schalhaut und Trennmittel wurden bei diesen Versuchen nicht variiert. Diese drei Parameter wurden dabei willkürlich gewählt (K<sub>20</sub>; Holz; Wachs). An diesen Probekörpern wurden im Alter von 28 Tagen die Messungen zur Helligkeit, Farbtongleichmäßigkeit und Porigkeit durchgeführt.

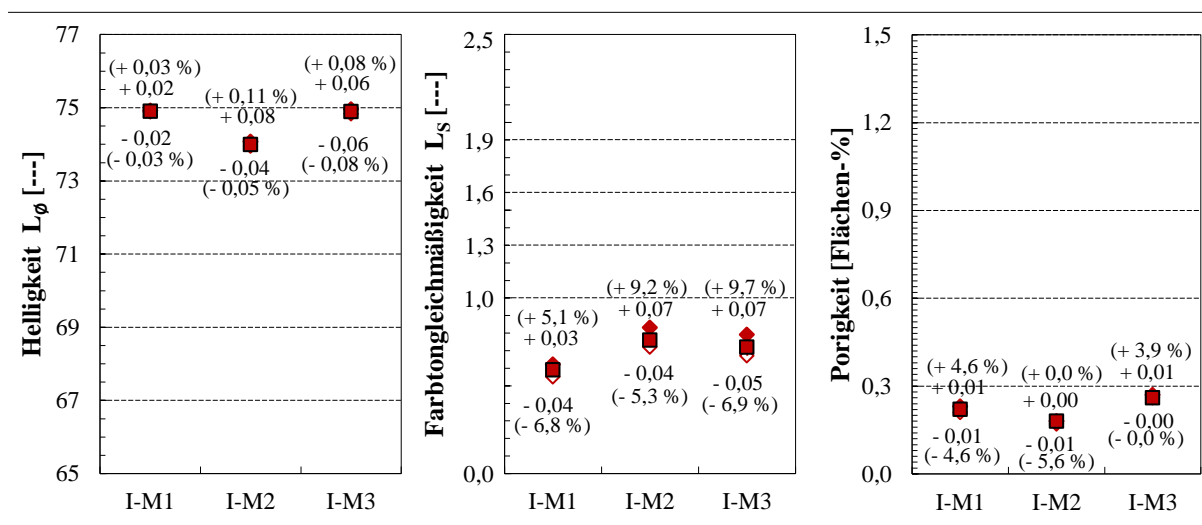
Die Beurteilung der Streubandbreiten erfolgte aus drei verschiedenen Blickwinkeln. Zu Beginn wurden an jeweils einer Prüffläche des Probekörpers I aller drei Mischungen die Messungen dreimal durchgeführt (siehe „gleiche Prüffläche“-MV in Abbildung 4). Anhand dieser Messwerte konnten die Streubandbreiten des eigentlichen Messverfahrens beurteilt werden.



**Abbildung 4.** Messungen zur Beurteilung der Streubandbreiten

Des Weiteren wurden an allen vier Prüfflächen des Probekörpers I aller Mischungen Messungen vorgenommen (siehe „gleicher Probekörper“-GP in Abbildung 4). Mit Hilfe dieser Messwerte können die Streubandbreiten einer Betonmischung an einem Probekörper beurteilt werden. Im nächsten Schritt wurden an jeweils einer Prüffläche der Probekörper I bis III innerhalb einer Mischung die Messwerte bestimmt (siehe „gleiche Mischung“-GM in Abbildung 4). Diese Messungen geben Aufschluss über die Streubandbreiten innerhalb einer Betonmischung an verschiedenen Probekörpern.

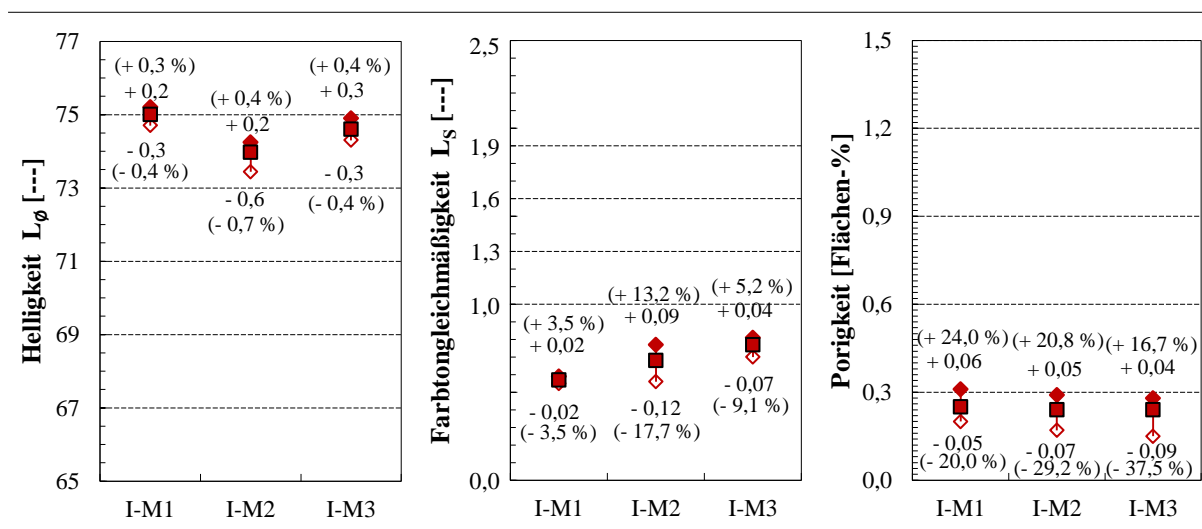
**gleiche Prüffläche (MV):** In Abbildung 5 sind die Werte für die Helligkeit, die Farbtongleichmäßigkeit und die Porigkeit dargestellt. Die Werte über und unter den eingezeichneten Punkten entsprechen den absoluten maximalen und minimalen Abweichungen vom Mittelwert. Die Werte in den Klammern sind die dazugehörigen prozentualen Abweichungen.



**Abbildung 5.** Streubandbreiten bei mehrmaliger Messung der gleichen Prüffläche (MV)

In Abbildung 5 ist zu erkennen, dass die Streubandbreiten der Messverfahren in einem akzeptablen Bereich liegen. Die maximal auftretenden Streuungen betragen bei der Helligkeit  $\pm 0,08$  %, bei der Farbtongleichmäßigkeit  $\pm 8,8$  % und bei der Porigkeit  $\pm 4,6$  %.

**gleicher Probekörper (GP):** Die Werte für diese Messungen sind in Abbildung 6 dargestellt.



**Abbildung 6.** Streubandbreiten bei Messung der vier Prüfflächen eines Probekörpers (GP)

Die Streuungen die auf den vier Oberflächen eines Probekörpers auftreten (GP) sind höher als die der Messmethode (MV). Die maximale Streubandbreite der Helligkeit lag mit  $\pm 0,65$  in einem akzeptablen Bereich. Die Streubandbreite der Farbtongleichmäßigkeit ist mit 15,5 % höher. Anhand der aus den Versuchen gewonnenen Erfahrungen können diese aber auch als zufriedenstellend eingestuft werden. Die Streuung der Porigkeit ist allerdings mit 27,1 % sehr hoch.

**gleiche Mischung (GM):** Die Ergebnisse dieser Messungen sind in den Diagrammen der Abbildung 7 zusammengetragen. Die Streubandbreiten der Helligkeit und der Farbtongleichmäßigkeit liegen bei diesen Untersuchungen mit  $\pm 0,45$  % und  $\pm 16,9$  % im gleichen Bereich der Messungen an den 4 Prüfflächen eines Probekörpers (GP). Die Streuungen der Porigkeiten steigen dagegen nochmals auf bis zu  $\pm 38$  % an. Ein Grund dafür ist überwiegend darin zu suchen, dass sich die Konsistenz des Betons während der Betonage der 3 Probekörper erheblich verschlechterte. Dies wirkte sich vor allem auf die Entstehung der Luftporen an der Oberfläche negativ aus.

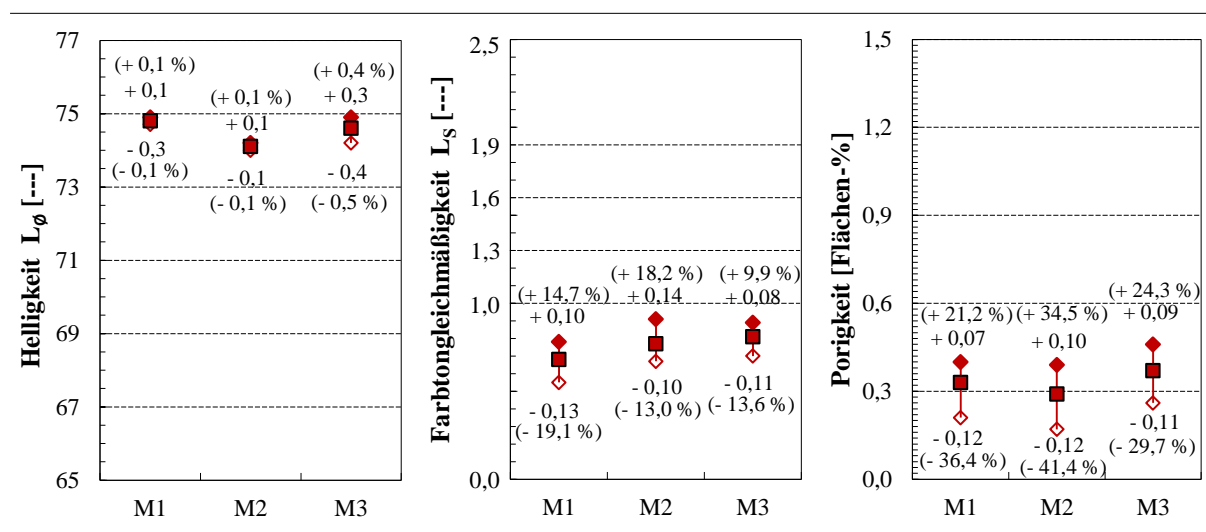


Abbildung 7. Streubandbreiten bei Messungen an verschiedenen Probekörpern (GM)

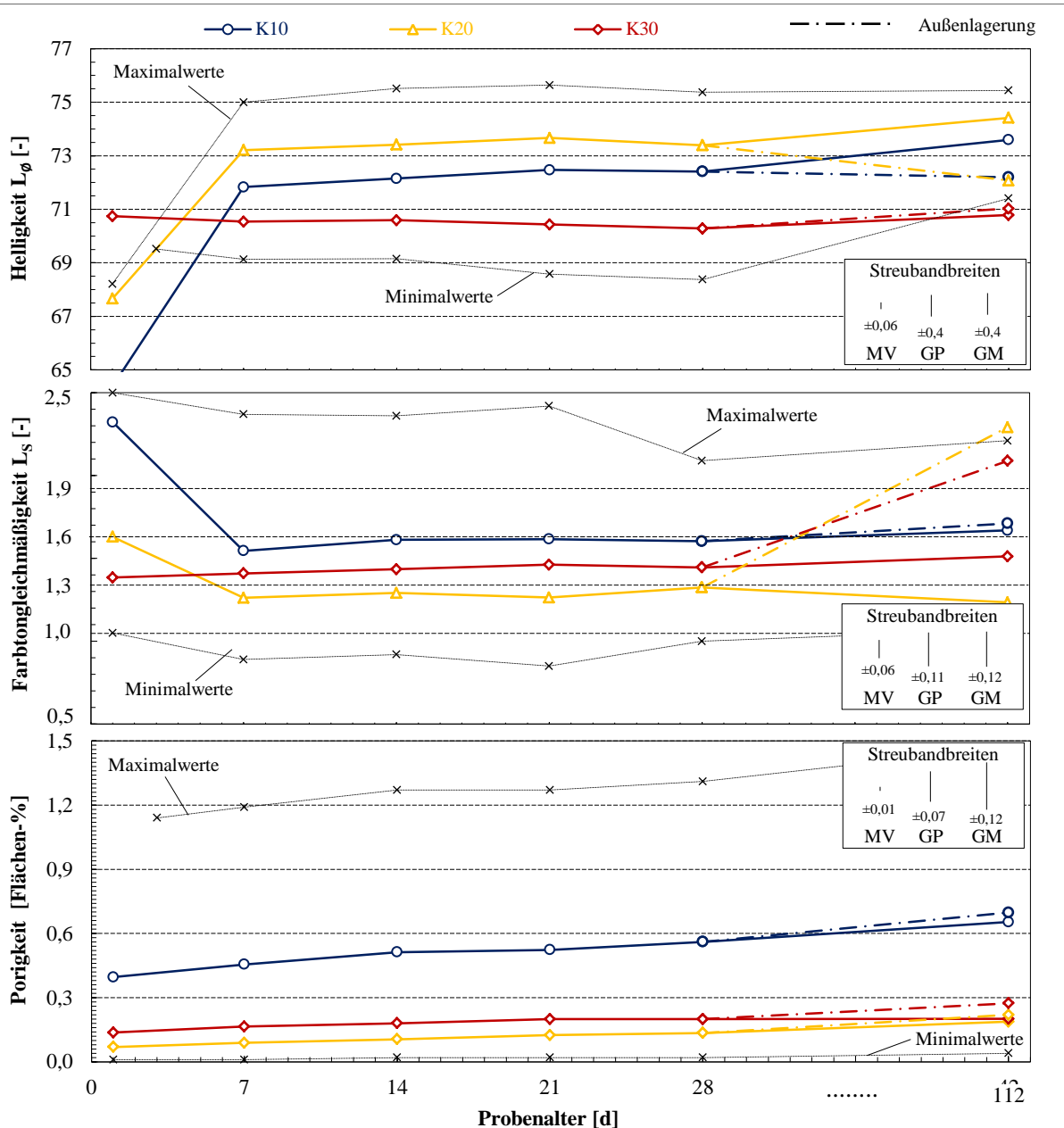
## 5 Versuchsergebnisse

### 5.1 Abhängigkeiten von den klimatischen Umgebungsbedingungen

In Abbildung 8 sind die Mittelwerte aus allen gemessenen Werten für die Helligkeit, die Farbtongleichmäßigkeit und die Porigkeit in Abhängigkeit der untersuchten Klimapunkte zusammengestellt. Zusätzlich sind die Graphen für die niedrigsten und höchsten Helligkeiten, Farbtongleichmäßigkeiten und Porigkeiten aufgetragen. Des Weiteren wurden die gemessenen Streubandbreiten für das Messverfahren (MV), die gleichen Probekörper (GP) und die gleiche Mischung (GM) aus dem letzten Kapitel in einer separaten Legende dargestellt.

**Helligkeit:** Während bei  $K_{20}$  die Oberflächen am hellsten waren, wurden bei  $K_{30}$  die niedrigsten Werte gemessen. Die Helligkeitswerte für  $K_{10}$  lagen zwischen den beiden anderen Klimapunkten. Die Abstände der Werte zwischen den einzelnen Klimapunkten lagen außerhalb der Streubandbreiten. Bei  $K_{10}$  und  $K_{20}$  waren nach dem Ausschalen die Oberflächen dunkler, aber nach 7 Tagen bereits heller als bei  $K_{30}$ . Dementsprechend waren die Oberflächen bei  $K_{30}$  direkt nach dem Ausschalen abgetrocknet, während diese bei  $K_{10}$  und  $K_{20}$  noch teilweise durchfeuchtet waren. Infolge der Innenlagerung bis zu einem Alter von 112 Tagen wurden alle Oberflächen nochmals um ca. 1,5 % minimal heller. Die Außenlagerung dagegen

bewirkte bei den Klimapunkten  $K_{10}$  und  $K_{20}$  ein Abdunkeln der Oberflächen. Bei  $K_{30}$  wurden analog der Innenlagerung die Oberflächen ebenfalls leicht heller.



**Abbildung 8.** Oberflächenqualität in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen

**Farbtongleichmäßigkeit:** Die Farbtongleichmäßigkeiten bei allen drei Klimapunkten lagen mit 1,3 bis 1,6 im „befriedigenden“ Bereich. Die Abstände zwischen den drei Klimapunkten lagen innerhalb der gemessenen Streubreiten. Somit kann durchaus von nahezu gleichen Farbtongleichmäßigkeiten bei den drei Klimapunkten ausgegangen werden.

**Porigkeit:** Bei den Klimapunkten  $K_{20}$  und  $K_{30}$  besaßen die Oberflächen nur wenige Poren. Die Abstände zwischen diesen beiden Klimapunkten lagen innerhalb der Streubreiten und können dementsprechend als gleichwertig betrachtet werden. Bei  $K_{10}$  traten wesentlich mehr Poren an den Oberflächen auf. Dies ist erstaunlich, da der Frischbeton bei  $K_{10}$  wesentlich günstigere Setzfließmaße aufwies (ca. 700 mm), als die Frischbetone der anderen beiden Klimapunkte (etwa 610 mm bei  $K_{20}$  bzw. 530 mm bei  $K_{30}$ ).



## 5.2 Abhängigkeiten vom Trennmittel

In Abbildung 9 sind die untersuchten Kennwerte für die Oberflächenqualität in Abhängigkeit der untersuchten Trennmittel zusammengestellt.

**Helligkeit:** Das Wachs (D) bewirkte die hellsten und das Pflanzenöl (B) die dunkelsten Oberflächen. Da die Helligkeiten der Oberflächen mit dem Mineralöl (A) und der pflanzlichen Emulsion (C) innerhalb der Streubandbreite lagen, können diese als gleichwertig betrachtet werden. Die Oberflächenhelligkeiten dieser beiden Trennmittel lagen genau zwischen den beiden erstgenannten Trennmitteln.

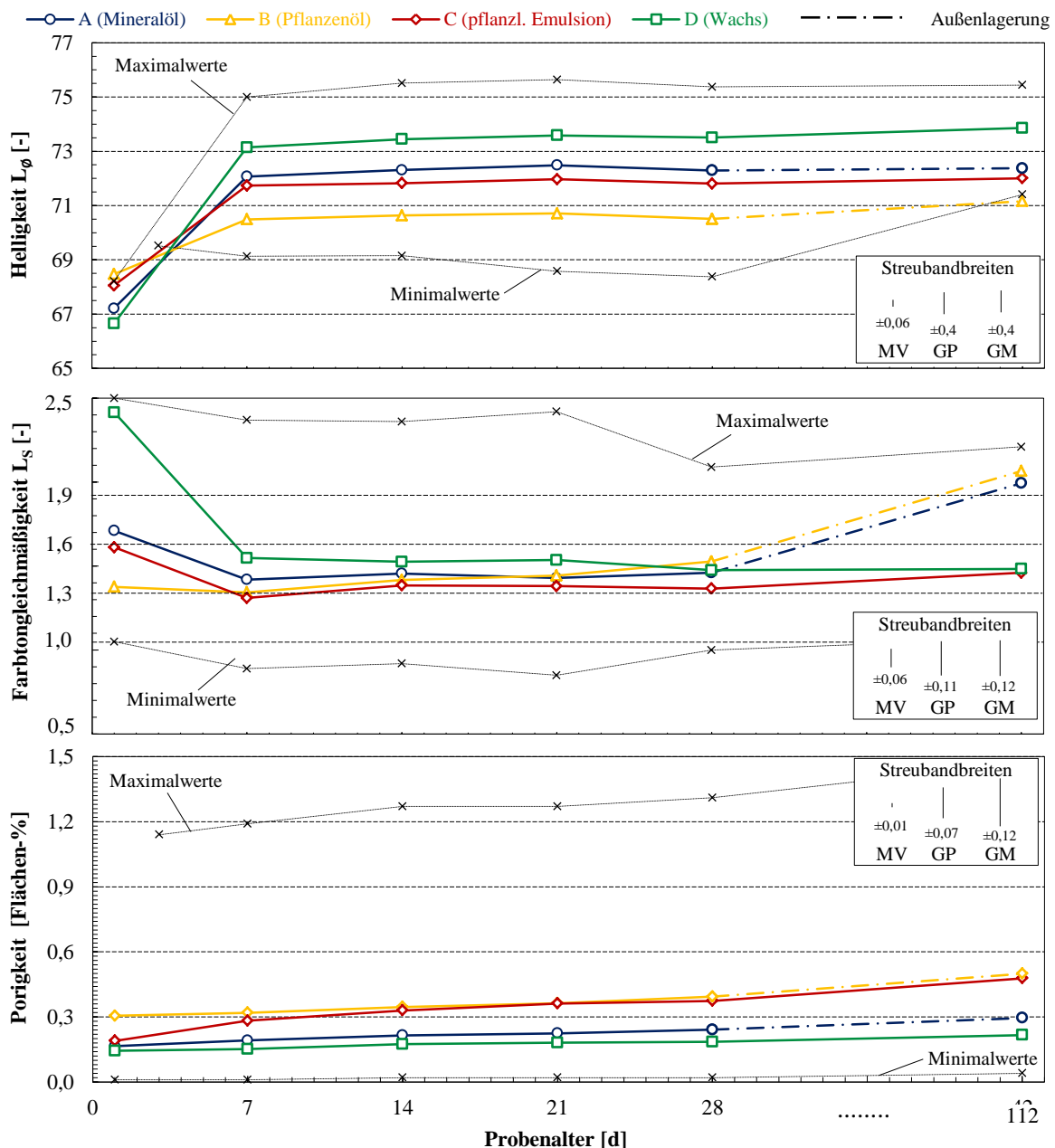


Abbildung 9. Oberflächenqualität in Abhängigkeit der untersuchten Trennmittel

**Farbtongleichmäßigkeit:** Die Farbtongleichmäßigkeiten aller Trennmittel lagen im befriedigenden Bereich. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Trennmitteln lagen innerhalb der Streubandbreiten. Auffällig ist, dass beim Wachs (D) die Farbtongleichmäßigkeiten nach

dem Ausschalen in einem sehr schlechten Bereich liegen (etwa 2,4). Allerdings verbesserte sich die Farbtongleichmäßigkeit bereits in einem Alter von 7 Tagen. Vermutlich waren die Oberflächen der mit Wachs behandelten Schalungen kurz nach dem Ausschalen an einigen Stellen noch feucht, wodurch diese schlechten Farbtongleichmäßigkeiten auftreten konnten.

**Porigkeit:** Die Porigkeiten der Trennmittel B und C (Pflanzenöl und pflanzliche Emulsion) bzw. die Trennmittel A und D (Mineralöl und Wachs) lagen jeweils sehr eng beieinander. Da die Proben der Trennmittel A und B bzw. C und D jeweils in einem betoniert wurden, können die Streubandbreiten für die Betonage verschiedener Probekörper aus einer Mischung (GM) vernachlässigt werden. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die Probekörper der Trennmittel B und C um ca. 100 % höhere Porengehalte als die der Trennmittel A und D an den Oberflächen aufwiesen.

### 5.3 Abhängigkeiten von der Schalhaut

Die Untersuchungen der Oberflächenqualitäten in Abhängigkeit der Schalhaut-Typen ergaben keinerlei signifikante Unterschiede bezüglich der Helligkeit, der Farbtongleichmäßigkeit bzw. der Porigkeit. Aus diesem Grund wurde hier darauf verzichtet, die Diagramme zu diesen Versuchen darzustellen. Inwieweit eine Abnutzung der beiden verwendeten Schalungen aufgrund mehrmaliger Verwendung die Oberflächenqualitäten beeinflussen, wurde in dieser Arbeit nicht untersucht.

### 5.4 Abhängigkeiten von der Ausschalfrist

In Abbildung 10 sind die Mittelwerte aus allen gemessenen Werten für die Helligkeit, die Farbtongleichmäßigkeit und die Porigkeit in Abhängigkeit der untersuchten Schalhaut-Typen zusammengestellt. Zur Beurteilung, inwieweit sich die klimatischen Umgebungsbedingungen auf die verschiedenen Ausschalfristen auswirken, wurden die Mittelwerte aus den einzelnen Klimapunkten separat betrachtet.

**Helligkeit:** Beim Klimapunkt  $K_{10}$  sind die nach drei Tagen ausgeschalteten Proben (73,0) heller als die Proben, welche nach einem Tag ausgeschalt wurden (71,9). Bei den Klimapunkten  $K_{20}$  und  $K_{30}$  trat genau das Gegenteil ein. Die nach einem Tag ausgeschalteten Proben waren im Mittel um ca. 1,4 höhere L-Werte. Die Unterschiede zwischen den Ausschalfristen lagen bei allen drei Klimapunkten außerhalb der Streubandbreiten von  $\pm 0,4$ . Somit kann von einem signifikanten Einfluss ausgegangen werden.

**Farbtongleichmäßigkeit:** Bei den Klimapunkten  $K_{20}$  und  $K_{30}$  waren die Farbtongleichmäßigkeiten der nach drei Tagen ausgeschalteten Oberflächen minimal schlechter als die der nach einem Tag entschalteten Proben. Allerdings lagen hier die Unterschiede innerhalb der Streubandbreiten. Beim Klimapunkt  $K_{10}$  lagen die Farbtongleichmäßigkeiten dagegen sehr weit auseinander. Während die nach einem Tag ausgeschalteten Proben an der Grenze zwischen „schlecht“ und „sehr schlecht“ lagen, konnten die Oberflächen der nach drei Tagen entschalteten Probekörper mit „gut“ bis „befriedigend“ eingestuft werden. Der Unterschied zwischen den Ausschalfristen bei  $K_{10}$  kann als relevant betrachtet werden.

**Porigkeit:** Bei den Klimapunkten  $K_{20}$  und  $K_{30}$  konnten wie bei den Farbtongleichmäßigkeiten keine messbaren Unterschiede zwischen den beiden Ausschalfristen festgestellt werden. Lediglich die Porigkeiten der Probekörper des Klimapunktes  $K_{20}$  waren minimal geringer als bei den Oberflächen der Probekörper des Klimapunktes  $K_{30}$ . Die Porigkeiten der Proben des Klimapunktes  $K_{10}$  waren wiederum wesentlich höher als bei den anderen beiden Klimapunkten. Auch die Unterschiede zwischen den beiden Ausschalfristen waren bei die-

sem Klimapunkt signifikant, da sie nicht in den Streubandbreiten lagen. Die Oberflächen der nach drei Tagen ausgeschalteten Probekörper wiesen im Mittel um 75 % mehr Poren auf, als die der nach einem Tag ausgeschalteten Proben.

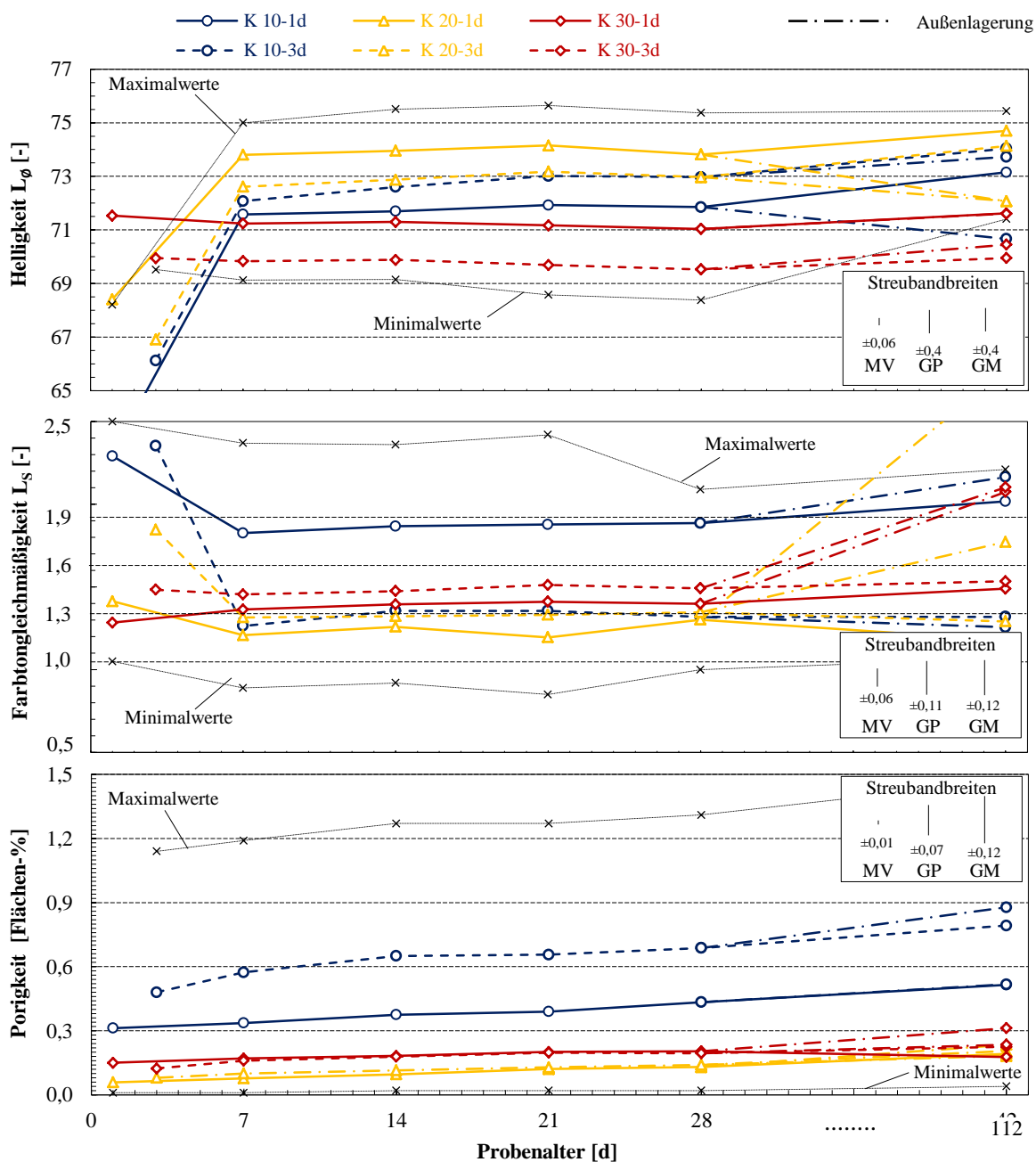


Abbildung 10. Oberflächenqualität in Abhängigkeit der untersuchten Ausschallfristen

## 6 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden Untersuchungen zu verschiedenen Einflüssen auf die Oberflächenqualität eines Selbstverdichtenden Betons vorgestellt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Parameter klimatische Umgebungsbedingungen, Trennmittel, Schalldhaut-Typ und Ausschallfrist näher betrachtet. Die Bewertung der Oberflächenqualität erfolgte anhand der Kennwerte Helligkeit, Farbtongleichmäßigkeit und Porigkeit.

Bezüglich der klimatischen Umgebungsbedingungen ist bei Betrachtung aller Kennwerte festzustellen, dass beim Klimapunkt  $K_{20}$  die besten Oberflächenqualitäten gemessen werden konnten. Die Proben des Klimapunktes  $K_{30}$  wiesen gegenüber den Prüfflächen von  $K_{20}$  nur minimal dunklere Oberflächen auf. Bei  $K_{20}$  und  $K_{30}$  lagen die Porigkeiten der Prüfflächen gleichermaßen in der Klasse P4 und konnten somit bezgl. der Porigkeit nach dem DBV-Merkblatt „Sichtbeton“ [6] in die höchste Sichtbetonklasse eingeteilt werden. Die Oberflächen der Proben des Klimapunktes  $K_{10}$  wiesen dagegen trotz der günstigsten Frischbetoneigenschaften die meisten Poren auf und waren dementsprechend als nicht zufriedenstellend einzustufen.

Das Wachs (D) bewirkte bei den Trennmitteln die hellsten und das Pflanzenöl (B) die dunkelsten Oberflächen. Die Farbtongleichmäßigkeiten der Oberflächen der untersuchten Trennmittel lagen gleichermaßen im „befriedigenden“ Bereich. Bei niedrigen Temperaturen ( $K_{10}$ ) traten bei allen Trennmitteln wesentlich mehr Poren als bei höheren Temperaturen auf.

Die untersuchten Schalhaut-Typen zeigten keinerlei unterschiedliche Einflüsse bezgl. der Helligkeit, der Farbtongleichmäßigkeit und der Porigkeit. Inwieweit eine häufige Verwendung der beiden Schalhaut-Typen die Oberflächenqualitäten beeinflussen, wurde in dieser Arbeit nicht untersucht.

Während der Untersuchungen zur Ausschallfrist konnten vor allem im Bezug auf die Helligkeit Unterschiede festgestellt werden. Bei  $K_{10}$  wiesen die nach drei Tagen ausgeschalteten Prüfflächen hellere Oberflächen als die nach einem Tag entschalteten Proben auf. Bei  $K_{20}$  und  $K_{30}$  war das Gegenteil der Fall. Hier waren die nach einem Tag ausgeschalteten Prüfflächen heller als die Proben, welche nach 3 Tagen entschalt wurden.

**Fazit:** Die Untersuchungen zeigten, dass die betrachteten Parameter einen großen Einfluss auf die Oberflächenqualität eines Selbstverdichtenden Betons haben können. Vor allem die Betonage bei niedrigen Temperaturen bewirkte eine wesentliche Erhöhung der Luftporengehalte an den Oberflächen. Eine sorgfältige Auswahl von Trennmitteln, welche auch bei niedrigen Temperaturen die gewünschte Wirkung nicht verlieren, ist an dieser Stelle enorm wichtig. Des Weiteren muss schon vorab in der Planungsphase darauf geachtet werden, dass zum Erreichen von hellen Oberflächen bei niedrigen Temperaturen die Schalungen erst später entfernt werden sollten, als dies bei höheren Temperaturen nötig wäre.

## Literatur

- [1] Strehlein, D.; Schießl, P., „Klimatische Ausführungstechnische und betontechnologische Einflussgrößen – Fleckige Hell-Dunkel-Verfärbungen an Sichtbetonflächen“, Betonwerk- und Fertigteiletechnik (BFT), Bauverlag GmbH, Gütersloh (Deutschland), Ausgabe 1, S. 32 ff, Jahrgang 2008
- [2] Strehlein, D.; Schießl, P., „Dark Discoloration of Fair-face Concrete Surfaces – Transport and Crystallization in Hardening Concrete“, Journal of Advanced Concrete Technology, Japan Concrete Institute, Tokyo (Japan), Vol. 6, No. 3, P. 409 ff., 2008
- [3] Strehlein, D.; Schießl, P., „Fleckige Dunkelverfärbungen an Sichtbeton“, Beton, Verlag Bau + Technik GmbH, Düsseldorf (Deutschland), Ausgabe 1 + 2, S. 24 ff., Jahrgang 2009
- [4] DBV-Merkblatt: „Trennmittel für Beton – Teil A: Hinweise zur Auswahl und Anwendung, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin (Deutschland), Fassung März 1997
- [5] DIN 6174: „Farbmetrische Bestimmung von Farbmaßzahlen und Farbabständen im angenähert gleichförmigen CIELAB-Farbraum“, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin (Deutschland), Oktober 2007
- [6] DBV-Merkblatt: „Sichtbeton“, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin (Deutschland), 52 Seiten, Fassung August 2008