

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115 (1997)
Heft: 41

Artikel: Weisse Betonelemente in Strassentunneln und Unterführungen
Autor: Nydegger, Urs / Hostettler, Paul / Grünig, Walter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79322>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 24.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Urs Nydegger, Paul Hostettler, Tafers, und Walter Grünig, Zürich

Weisse Betonelemente in Strassentunneln und Unterführungen

Weisser Beton für Strassentunnelwände und Unterführungen ist zurzeit ein Thema, das Bauherren und Ingenieure beschäftigt. Einsparungen bei Installationen und Beleuchtungsenergie sind ein Resultat, zudem wird die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer erhöht, da Bewegungsabläufe und Vorgänge schneller und genauer erfasst werden.

Zum Aufhellen von Beton sowie zu dessen Formulierung müssen die ausgewählten Aggregate grundsätzlich die betontechnischen Anforderungen bezüglich Härte, Körnung und Bindefähigkeit erfüllen. Weiter sollten sie absolut lichtecht sowie in hohem Masse säuren-, laugen-, treibstoff- und chemikalienbeständig sein. Materialien auf Kalkbasis oder mit systemfremden Aufhellern, Pigmenten und Katalysatoren sind für solche Anwendungen nicht geeignet. Als Bindemittel kommt ein weisser Portlandzement mit den Mindestanforderungen nach CEM II 42.5 R zum Einsatz.

Zur Beurteilung der Materialien sind Muster zu erstellen. Diese werden im Originalzustand fotooptisch sowohl trocken wie nass beurteilt. Dieser Vorgang gibt einen ersten Eindruck über die Betonqua-

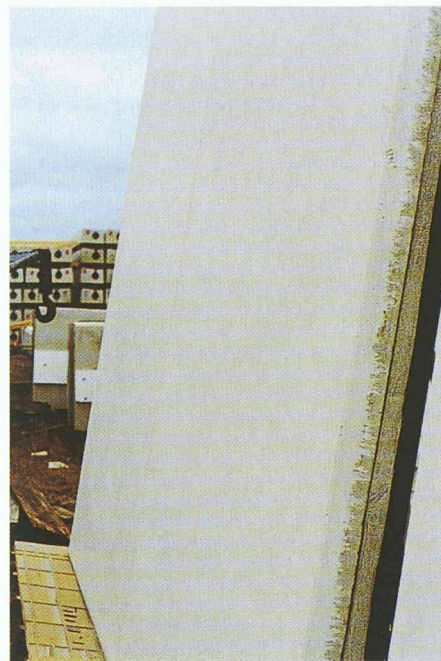
lität und die eingesetzten Aggregate. Bereits geringe Veränderungen bei den Rohstoffen und in der Formulierung können die Farb- und Lichtwerte erheblich beeinflussen und bedürfen in jedem Falle einer Wiederholung der umfangreichen Messreihe.

Betonformulierung

Sind die vorgängig erwähnten Punkte erfüllt, muss der Formulierung die notwendige Aufmerksamkeit geschenkt werden, damit äusserst homogener, praktisch porrenfreier Beton mit einer geschlossenen Oberfläche entsteht.

Um die hohen Anforderungen bezüglich Sulfatwanderung, Chloriddiffusion [1], Frostauszestigkeit [2], Helligkeit und Spiegelung einzuhalten, sind bei der Herstellung des Betons die Prüfkriterien enger einzuzugrenzen.

Die Sieblinie der Zuschlagstoffe ist wegen des erforderlichen erhöhten Feinstanteils aufgrund von Versuchen zu optimieren und zu definieren. Eine einmal definierte Siebkurve muss konsequent eingehalten werden. Die Kiesbeschickung muss in vier Komponenten erfolgen. Eine Abweichung von 0,5% pro Komponente kann die Farb- und Lichtwerte beeinflus-



2

Vorsatzelement, das tragend oder als verlorene Schalung in der Tunnelrundung eingesetzt werden kann

sen. Der zweckmässigste Wasserzementfaktor liegt zwischen 0,42 und 0,45. Er ist abhängig von der Stärke der einzubringenden Schichten. Notfalls muss eine bessere Dispergierung des Zements mittels Superverflüssiger erzielt werden. Die hohe Dichtigkeit des Betons wird durch Vibratoren mit einer Frequenz von mindestens 14 500 U/Min. und einer Zentrifugalkraft von mindestens 60 000 N erreicht.

Eine industrielle Fertigung bietet die besten Voraussetzungen, um die verlangten Qualitätsanforderungen zu gewährleisten.

Oberfläche und Spiegelfaktor

Die Oberfläche soll einerseits eine hohe Helligkeit, andererseits einen minimalen Spiegelfaktor aufweisen.

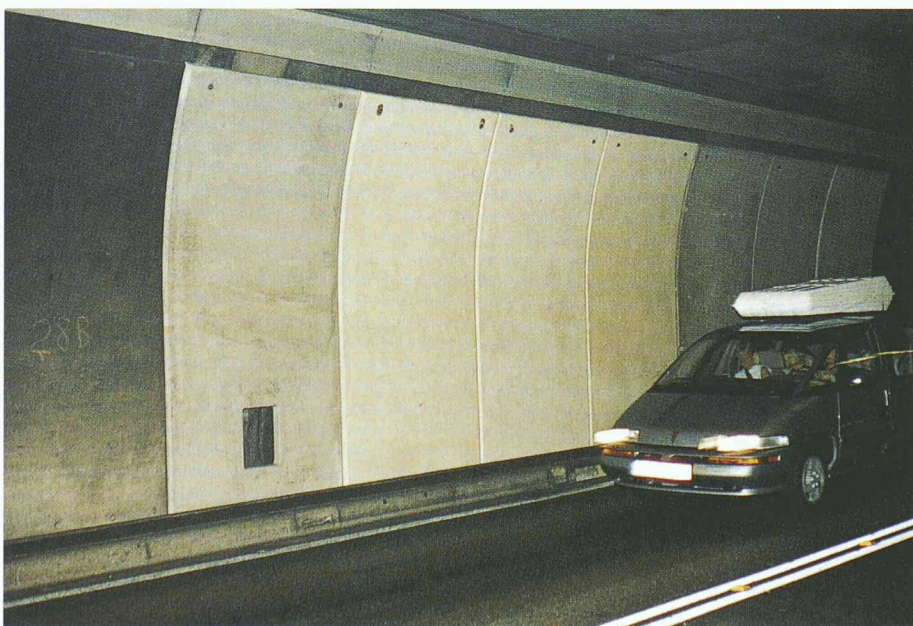
Nebst der aufgezeigten Betontechnologie ist sie so zu gestalten, dass sie weder zu glatt (Spiegelung) noch zu rau (Helligkeit, Schattenwurf) erscheint. Das Schalungsmaterial ist entsprechend zu wählen und zu behandeln.

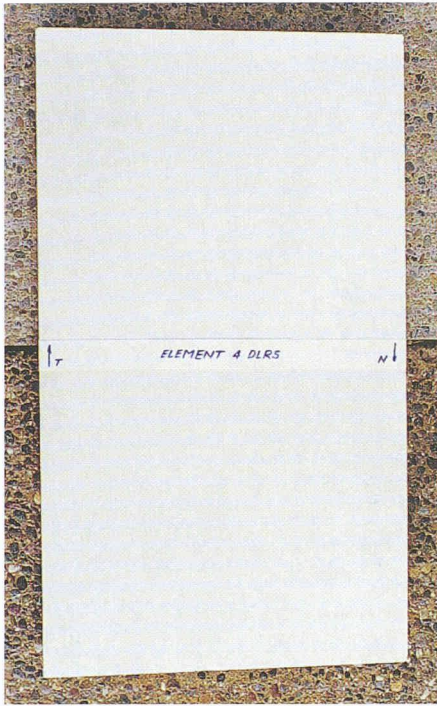
Der Ursprungszustand soll auch nach starker Verschmutzung mit den herkömmlichen Reinigungsverfahren praktisch ohne Farbtonverlust wieder erstellt werden können.

Als weiteres Kriterium sollte sie trotz relativer Glätte das Licht möglichst diffus

1

Weisse Formelemente im Gotthard-Strassentunnel für Reinigungsversuche





3

Musterplatte, oben trocken, unten nass. Mit diffusionsreflektierender Oberfläche

und spiegelarm bis spiegelfrei reflektieren (als Nullwert gilt ein Spiegelfaktor von 0,25). Bessere Lichtverteilung und weniger Spiegelung für den Fahrzeuglenker bedeuten weniger Störung und dadurch Erhöhung der Verkehrssicherheit (Bild X).

Die Werte der spiegelarmen Oberfläche wurden durch das Eidgenössische Amt für Messwesen in Bern mit einem Faktor 1,67 ermittelt [3]. Im Vergleich dazu weisen weisse matte Keramikplatten einen Faktor von über 12,0 auf.

Farbkriterien

Während die rein betontechnischen Anforderungen an die Aggregate eben noch erzielbar sind, wird die Realisierung des gewünschten Weissgrades im trockenen wie im nassen Zustand recht schwierig. Je höher der Grundfarbton respektive Weissgrad der Aggregate, desto besser das am Ende erzielte Resultat. Eingebüster Weissgrad kann weder durch Mehreinsatz von Material noch durch Pigmente ohne Konsequenzen und erhebliche Qualitätsverluste am Endprodukt korrigiert werden. Die Wasseraufnahme sowie der Weissgradverlust im nassen Zustand, gepaart mit erhöhter Verschmutzung und Auskreiden, können Folgen davon sein. Aber es können auch eine spiegelnde Oberfläche und ein uneinheitlicher Farbton daraus resultieren.

Farbmetrische Grundlagen

Lichtstreuung und Lichtabsorption sind wellenabhängige, optische Kenngrößen eines Materials. Sie werden durch die in einem Substrat eingelagerten Feststoffe, aber auch durch das Substrat selbst beeinflusst.

Die aus dem Zusammenspiel von Streuung und Absorption resultierende Grösse ist die diffuse Reflexion. Diese kennzeichnet die optische Wirkung eines Materials und kann mittels einer Reflexionskurve zum Ausdruck gebracht werden. Sie beschreibt für jede Wellenlänge den Anteil des auffallenden Lichtes, der vom Probenmaterial diffus reflektiert wird.

Die Reflexionskurve, gewichtet durch eine gegebene Beleuchtungsfunktion, ist repräsentativ für den Farbeindruck und damit auch für die daraus rechnerisch ermittelte ISO-Helligkeit, welche die Reflexionsfähigkeit eines Materials prozentual auszudrücken vermag. Anhand eines Farbsystems können Abweichungen zwischen zwei oder mehreren Proben quantitativ erfasst werden.

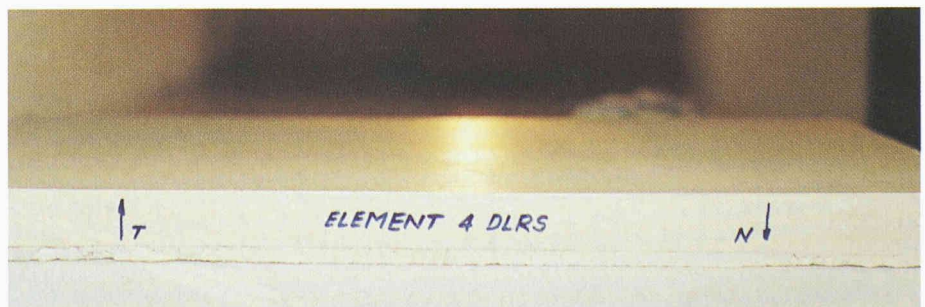
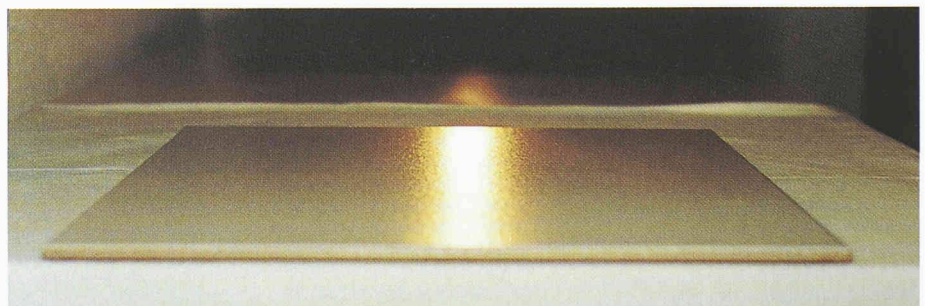
Farbmess-System und Ergebnisse

Die Reflexionsmessungen werden mittels einer computergesteuerten Spektralphotometeranlage durchgeführt. Die Proben werden dabei von zwei gepulsten Xenon-Blitzlampen über eine Fotometerkugel diffus beleuchtet und gemessen.

Bei jedem Arbeitsgang wird die Probe über 16 Messwerte im Bereich der sichtbaren Strahlung von 400 bis 700 Nanometer mit einer Referenzfläche in der Fotome-

4

Spiegelung bei gleicher Lichtquelle: a) Keramikplatte weiss, matt mit Spiegelfaktor 13,2 und b) Betonplatte weiss, mit diffuser Lichtreflexion, Spiegelfaktor 1,67



Literatur

[1]

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt: Prüfbericht Nr. 160 210/2: Bestimmung der Chlorid-Diffusion in Beton. Dübendorf 1996

[2]

Technische Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie: Prüfbericht Nr. 958213.01: Résistance au gel en présence de sel de déverglaçage. Nyon 1995

[3]

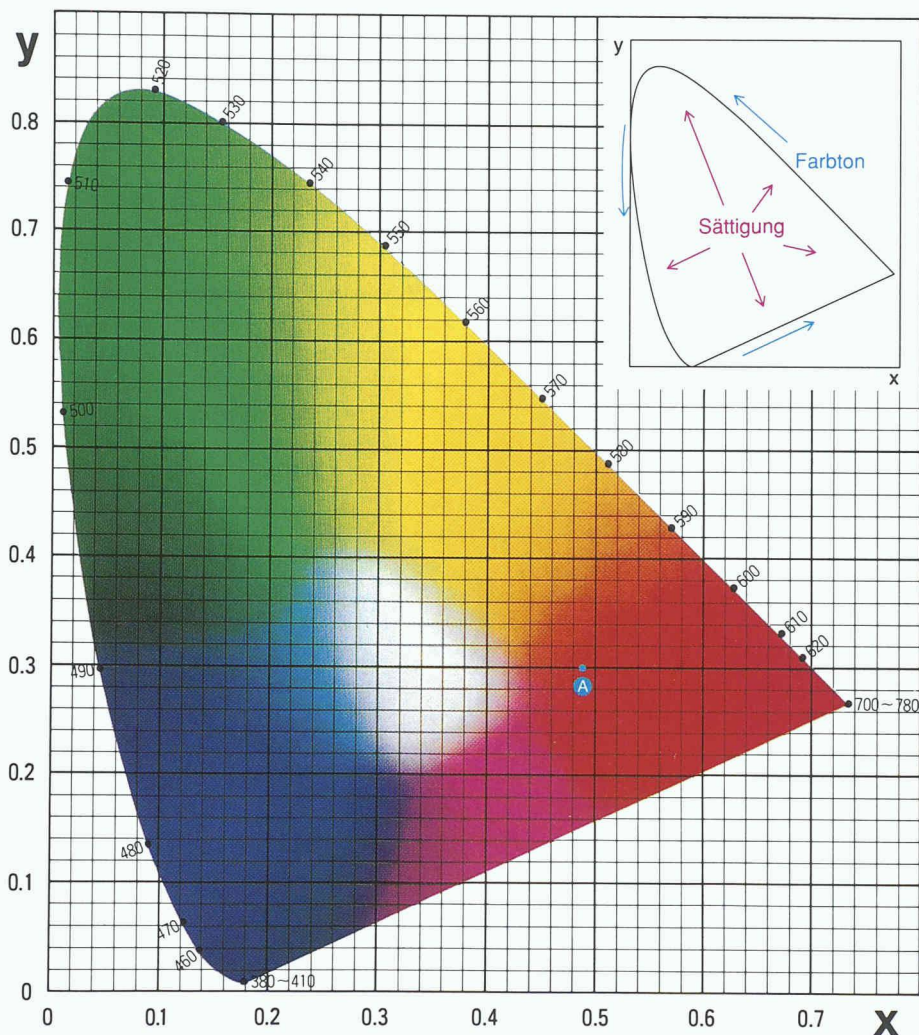
Eidgenössisches Amt für Messwesen: Prüfbericht Nr. 11.8-0750: Glanzmessung an vier Schalungselementen für Tunnelwände. Wabern 1996

terkugel verglichen. Ein Zweistrahl-Monochromator mit zwei holographisch gefertigten Gittern und zwei Diodenzeilen mit selektiv gepaarten Fotodioden sind erforderlich, um eine möglichst hohe Messgenauigkeit zu garantieren.

Besondere Beachtung schenken wir dabei dem Remissionsgrad zwischen 560 und 700 nm. Werte unter Faktor 80,0 führen bei den anschliessenden Leuchtdichtenmesswerten sofort zu unnötigen und unerwünschten Verlusten.

Lichtmessung

Ist das beschriebene Auswahlverfahren abgeschlossen, kann schliesslich mit praxisgerecht eingesetzten Lichtquellen eine annähernd genaue Leuchtdichtenmessung vorgenommen werden. Dabei sind 90°-Messungen im trockenen und nassen Zu-



5

Normfarbdreieck der Compagnie Internationale de l'Eclairage (CIE), 1931. Foto: Minolta (Schweiz) AG, Dietikon

stand des Betons empfehlenswert. Die Messwerte liegen bei optimaler Betonformulierung trocken mit einem Messwinkel von 90° im Bereich von $11,0$ – $12,0$ cd/m^2 und bei 3° zwischen $12,0$ und $13,0$ cd/m^2 . Die durchschnittliche Lichtquelle am Messpunkt beträgt $51,0$ Lux.

Der Leuchtdichteverlust trocken/nass weist bei guten Systemen in der Regel im Maximum 6–10% auf. Diese Werte liegen annähernd im Bereich von weisser Keramik. Sie wurden mit wissenschaftlich anerkannten und geeichten Messgeräten [3] ermittelt und können somit als Basis zur Berechnung von Tunnel- und Unterführungsbeleuchtungen herangezogen werden.

Einsparungen

Dazu wurden von den Forces Motrices Valaisannes Berechnungen zum Regrouillon-Tunnel angestellt. Dort wurden helle

Keramikwände eingebaut, deren Remissionswerte ungefähr mit denjenigen der DLRS-Qualität verglichen werden können.

Die Lichtremission der Wand im Regrouillon-Tunnel ist grösser $9,0$ cd/m^2 . Der hier beschriebene Beton mit diffuser Oberfläche erreicht ca. $11,0$ – $12,0$ cd/m^2 . In dieser Grössenordnung errechnete man Installationseinsparungen von rund sFr. $100\,000.-$ je Kilometer Tunnel und sFr. $4000.-$ für Beleuchtungsenergie pro Jahr und Kilometer Tunnel.

Fazit

Die Versuchsreihe ist von den Ergebnissen her verheissungsvoll, entspricht sie doch im grossen und ganzen puncto Festigkeit, Gefrier- und Taubeständigkeit, Chloridwanderung, Farb-, Spiegel- und Leuchtdichtewerten den Erwartungen. Solche Elemente können rationell und in der er-

96/10/25 13:26:51 (C) DATACOLOR V2

Remission DLRS Tunnelement

E4-TROCKEN DLRS

nm :	00	10	20	30	40	50
300 :						
400 :	66.45	68.21	69.79	71.15	72.40	73.69
500 :	78.08	78.86	79.57	80.08	80.49	80.88
600 :	81.07	80.89	80.76	80.81	80.96	81.20
700 :	81.58					

E4-NASS DLRS

nm :	00	10	20	30	40	50
300 :						
400 :	58.76	60.80	62.64	64.23	65.70	67.19
500 :	72.09	72.93	73.70	74.26	74.73	75.18
600 :	76.32	76.16	76.02	76.10	76.29	76.59
700 :	77.07					

6

Remission des DLRS-Tunnelement. Auszug der Spektralwerte der Remission

forderlichen Qualität in Vorfabrikationswerken industriell hergestellt werden und bedürfen keiner Nachbehandlung durch Anstriche irgendwelcher Art. Die erzielten Messwerte werden von einem praktisch unerreichten Preis-/Leistungs-Verhältnis getragen. Elemente dieser Bauart können je nach Seriengrösse auch ohne grosse Probleme als verlorene Schalung eingesetzt werden. Weitere Eigenschaften wurden im Vorspann dieses Beitrages erwähnt.

Adresse der Verfasser:

Urs Nydegger und Paul Hostettler, Element AG, 1712 Täfers, und Walter Grünig, Impag AG, Feldeggstrasse 26, 8034 Zürich