

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V.

# **Solar Reflectance Index**

## **von verschiedenen Betonsteinproben**

# Impressum

## Herausgeber

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG)  
Schloßallee 10  
53179 Bonn

## Vervielfältigung des Berichtes

TAG3-HRW-1404-E08

Bestimmung des „Solar Reflectance Index“ von verschiedenen Betonsteinproben

mit freundlicher Genehmigung:

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme  
Bereich TAG  
Heidenhofstraße 2  
79110 Freiburg

## Vorbemerkungen

In der Bundesrepublik Deutschland werden Tag für Tag Außenanlagen unterschiedlichster Nutzung neu geschaffen oder umgestaltet. Dabei gewinnen – als Folge der Klima- veränderung – ökologische Kenngrößen von Baustoffen mehr und mehr an Bedeutung. Die Bundesregierung hat bereits im Jahr 2002 eine nationale Nachhaltigkeitsstrategie beschlossen und mit konkret messbaren Zielen unterlegt. In der Folge wurde mit dem *Leitfaden Nachhaltiges Bauen* eine praktikable Handlungsanleitung betreffend der Büro- und Verwaltungsgebäude des Bundes zur Verfügung gestellt. Im Februar 2012 hat das Bundeministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung den *Leitfaden Nachhaltig geplante Außenanlagen auf Bundesliegenschaften* herausgegeben. Darin werden Empfehlungen zu Planung, Bau und Bewirtschaftung gegeben, die auch für Bauvorhaben der Länder und Kommunen sowie für private Bauvorhaben Verwendung finden können.

Das Bauen stellt stets einen Eingriff in die Umwelt dar, der sowohl lokale als auch globale Auswirkungen haben kann. Daher sollte das Bauen – dem Nachhaltigkeitsgedanken folgend – möglichst eine Minimierung der negativen Umweltwirkungen und eine Stärkung ökologischer Effekte mit sich bringen.

Ein Parameter im Rahmen des Nachhaltigkeitsansatzes innerhalb des Kriteriums *Ökologie* ist der Wärmeinseleffekt, der als typisches Merkmal eines Stadtklimas gilt und durch die Wechselwirkung mehrerer unterschiedlicher Effekte hervorgerufen wird. So sorgt z. B. eine starke Aufwärmung tagsüber und eine eingeschränkte Abkühlung nachts dafür, dass Städte im Vergleich zum Umland deutlich wärmer werden. Da sich die Luft infolge Sonneneinstrahlung über hellen Flächen weniger stark aufheizt, als über dunklen Flächen, kann durch eine gezielte Baustoffauswahl positiv Einfluss auf den Wärmeinseleffekt eines städtischen Lebensraumes genommen werden. So empfiehlt der bereits erwähnte *Leitfaden Nachhaltig geplante Außenanlagen auf Bundesliegenschaften* u. a.: „*Dunkle Flächen, die sich stark erhitzen und diese Wärme speichern, sind zu vermeiden und stattdessen helle Oberflächen mit hohem Rückstrahlvermögen zu verwenden.*“

Zur Quantifizierung des Rückstrahlvermögens kann der *solare Strahlungsreflexionsgrad*, der quasi gleichbedeutend dem *Albedo* ist, oder der *SRI-Wert*, in dessen Berechnung nicht nur der solare Strahlungsreflexionsgrad, sondern auch der thermische Emissionsgrad einfließt, herangezogen werden. Je höher der SRI-Wert, desto höher ist im Allgemeinen die solare *Strahlungsreflexion* und desto geringer ist die solare *Strahlungsabsorption*. Das heißt, mit steigendem SRI-Wert reduziert sich der Aufheizeffekt über der betreffenden Oberfläche.

Der Betonverband SLG hat typische Betonsteinoberflächen u. a. hinsichtlich des thermischen Emissionsgrades, des solaren Reflexionsgrades und des SRI-Wertes messtechnisch untersuchen lassen. Die Ergebnisse sind dem nachfolgenden Bericht zu entnehmen. Damit wird dem Stadtplaner eine wertvolle Hilfestellung an die Hand gegeben, die es ermöglicht, die Oberfläche von Bauprodukten für Verkehrsflächenbefestigungen so auszuwählen, dass ein guter Kompromiss zwischen der Begrenzung des Wärmeinseleffektes und anderer Vorgaben, z. B. der Gestaltung und der Art der Nutzung, erzielt werden kann.

TAG3-HRW-1404-E08

**Bestimmung des „Solar Reflectance Index“  
von verschiedenen Betonsteinproben**

**- Auftrag des Betonverbands Straße, Landschaft, Garten e.V.**

**für:**

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V.  
Schloßallee 10  
D-53179 Bonn

**bearbeitet von:**

Dr. Helen Rose Wilson  
Johannes Hanek  
Franz Brucker

20. Mai 2014

**Anschrift:**

Fraunhofer-Institut  
für Solare Energiesysteme  
Bereich TAG  
Heidenhofstraße 2  
D-79110 Freiburg

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Das Wichtigste in Kürze</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Beschreibung der Proben</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Beschreibung der Methoden</b>	<b>7</b>
3.1	Beschreibung der Messung der spektralen normal-hemisphärischen Reflexion im solaren Spektralbereich	7
3.2	Beschreibung der Berechnung des solaren Strahlungsreflexionsgrads und des solaren Absorptionsgrads	7
3.3	Beschreibung der Messung der spektralen normal-hemisphärischen Reflexion im infraroten Spektralbereich	8
3.4	Beschreibung der Berechnung des hemisphärischen thermischen Emissionsgrads bei 300 K und 350 K	8
3.5	Beschreibung der Berechnung des „Solar Reflectance Index“ (SRI-Wert)	10
3.6	Beschreibung der Berechnung der Farbkoordinaten $L^*$ , $a^*$ , $b^*$	10
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>10</b>
4.1	Solarer Strahlungsreflexionsgrad nach ASTM E 903-12	11
4.2	Solarer Strahlungsabsorptionsgrad nach ASTM E 903-12	12
4.3	Hemisphärischer thermischer Emissionsgrad	13
4.4	„Solar Reflectance Index“ (SRI-Wert) nach ASTM E1980-11/14	15
4.5	Farbkoordinaten ( $L^*$ -, $a^*$ -, $b^*$ -Wert) nach CIE 15-2004	15
4.6	Helligkeitswert nach CIE 15-2004 und SRI-Wert nach ASTM E1980-11	16
4.7	Spektralmessungen	17
4.8	Grafische Darstellungen der wichtigsten Eigenschaften	21
<b>5</b>	<b>Fotografische Darstellung der Probekörper</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	<b>25</b>

Fraunhofer-Institut  
für Solare Energiesysteme ISE

Bestimmung des „Solar Reflectance Index“ von  
verschiedenen Betonsteinproben  
- Auftrag des Betonverbands Straße, Landschaft,  
Garten e.V.

Dieser Prüfbericht umfasst 25 Seiten. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse darf nicht unvollständig oder in sinnentstellendem Zusammenhang erfolgen. Der Prüfbericht darf ohne die schriftliche Zustimmung des Fraunhofer ISE nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Der Bericht ist Eigentum des Betonverbands Straße, Landschaft, Garten e.V, Bonn. Die Ergebnisse dieses Berichts beziehen sich auf die geprüften Muster.

Freiburg, 20. Mai 2014  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Bereich TAG  
TestLab Solar Façades

Dr. Helen Rose Wilson  
TestLab Solar Façades

Dipl. Ing. (FH) Ulrich Amann  
Leiter des TestLab Solar Façades

## 1 Das Wichtigste in Kürze

Die spektrale Reflexion im solaren und im IR-Spektralbereich wurden im Labor an Betonsteinproben vermessen, die vom Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. bereit gestellt wurden. Daraus wurden der solare normal-hemisphärische Reflexionsgrad (gleichbedeutend mit „Albedo“ in diesem Kontext), der solare Absorptionsgrad, der thermische Emissionsgrad und anschließend der „Solar Reflectance Index,“ (SRI-Wert) ermittelt. Dazu wurden die Farbkoordinaten  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  aus den Reflexionsspektren im solaren Spektralbereich bestimmt.

In der Norm ASTM E1980-11 wird der „Solar Reflectance Index“ (SRI-Wert) wie folgt definiert:

Der SRI-Wert ist die relative Temperatur einer Oberfläche in Bezug auf eine weiße Standardoberfläche (SRI = 100) und eine schwarze Standardoberfläche (SRI = 0) unter Standardbedingungen (Sonneneinstrahlung  $1000 \text{ Wm}^{-2}$ , Umgebungstemperatur 310 K, Himmelstemperatur 300 K). Er wird aus einer Energiebilanz unter Berücksichtigung des radiativen und des konvektiven Wärmeaustausches zwischen der Oberfläche und seiner Umgebung im Gleichgewichtszustand berechnet.

Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass sowohl SRI-Werte über 100 als auch negative SRI-Werte möglich sind.

## 2 Beschreibung der Proben

Am 21.11.2013 wurden von einem Vertreter des Auftraggebers 16 verschiedene Betonsteinproben mit den Abmessungen 50 mm x 50 mm x 30 mm ( $\pm 1$  mm) beim Fraunhofer ISE angeliefert. Sie waren nach Angabe des Auftraggebers durch Nassschnitt hergestellt worden und sie waren zum Zeitpunkt der Anlieferung augenscheinlich trocken. Die Sichtseiten der Betonsteinproben unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Farbe und/oder ihrer Oberflächentextur.

Von jeder Probe - mit Ausnahme der Probe Nummer 15 - wurden zwei gleiche Probekörper angeliefert, was dem Zweck diente, jeweils einen Reserve-Probekörper vorhalten zu können. Insofern stand für die Probe Nummer 15 kein Reserve-Probekörper zur Verfügung.

Auftragsgemäß wurde von den Proben Nummer 1 bis 14 und der Probe Nummer 16 jeweils ein Probekörper sowie von der Probe Nummer 15 der eine, entsprechend vorhandene, Probekörper untersucht.

Die für die Untersuchungen ausgewählten Probekörper erhielten nach ihrer Anlieferung eine institutseigene Bezeichnung, und zwar DV340001 bis DV3400032.

In der folgenden Tabelle 1 sind die für die Untersuchungen verwendeten Probekörper aufgelistet. Eine fotografische Darstellung der Probekörper befindet sich in Kapitel 5.



Tabelle 1 Kennzeichen und Beschreibungen der untersuchten Probekörper.

<b>Proben-Nr.</b>	<b>Probekörperbezeichnung Fraunhofer ISE</b>	<b>Farbe (augenscheinlich)</b>	<b>Oberflächentextur (augenscheinlich)</b>
1	DV340001	weiß	glatt, porenfrei
2	DV340003	quarzweiß	geschliffen
3	DV340005	hellgrau	unbehandelt, makrofein
4	DV340007	grau	unbehandelt, makrofein
5	DV340009	grau	unbehandelt, makrorauh
6	DV340011	dunkelgrau	unbehandelt, makrofein
7	DV340013	anthrazit	geschliffen
8	DV340015	schwarz	unbehandelt, makrorauh
9	DV340017	beige	stahlkugelgestrahlt
10	DV340019	gelb	sandgestrahlt
11	DV340021	ocker	unbehandelt, makrofein
12	DV340023	beige-rot	geschliffen
13	DV340025	rot	geschliffen
14	DV340027	rot	unbehandelt, makrorauh
15	DV340029	rot	unbehandelt, makrofein
16	DV340031	braun	unbehandelt, makrorauh

### 3 Beschreibung der Methoden

Das TestLab Solar Façades ist für thermisch-optische Prüfungen von Fenstern, Fassaden und anderen Produkten nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 seit 2006 akkreditiert. Die Akkreditierung umfasst die messtechnische und rechnerische Bestimmung von g-Wert, Transmissionsgrad, Reflexionsgrad und U-Wert. In der flexiblen Akkreditierung sind auch am Fraunhofer ISE entwickelte Verfahren enthalten, die über den in Normen festgelegten Stand der Technik hinausgehen.

Die DAkKS-Registriernummer für die Akkreditierung ist D-PL-11140-03-01.

Die Spektralmessungen im infraroten Spektralbereich gehören nicht zu den Dienstleistungen des TestLab Solar Façades. Die Prüfmittel werden jedoch im Rahmen unseres nach ISO9001:2008 zertifizierten Qualitätsmanagementsystems überwacht und regelmäßig rückführbar kalibriert.

#### 3.1 Beschreibung der Messung der spektralen normal-hemisphärischen Reflexion im solaren Spektralbereich

Die spektralen nah-normal-hemisphärischen Reflexionsgrade  $R_{nh}(\lambda)$  wurden über einen Wellenlängenbereich von 280 nm bis 2500 nm ermittelt. Die Messungen erfolgten mit einem Perkin-Elmer Lambda-900 Zweistrahl-spektrometer mit Ulbrichtkugelnzusatz (siehe Abbildung 1). Die Ulbrichtkugel hat einen Durchmesser von 220 mm und ist mit PTFE beschichtet. Die Reflexionsmessungen wurden mit einem Einfallswinkel von 8 Grad durchgeführt.

Die Prüfmittel werden im Rahmen unseres nach ISO9001:2008 zertifizierten Qualitätsmanagementsystems überwacht und regelmäßig rückführbar kalibriert.

#### 3.2 Beschreibung der Berechnung des solaren Strahlungsreflexionsgrads und des solaren Absorptionsgrads

Der solare Strahlungsreflexionsgrad wird durch Gewichtung der gemessenen nah-normal-hemisphärischen Reflexionsspektren im solaren Spektralbereich mit der hemisphärischen (globalen), solaren Spektralkurve nach ASTM G 173-03, Tabelle 2 und Integration gemäß ASTM E 903-12 berechnet. Die Verwendung dieser Normen wird laut Informationen des „U.S Green Building Councils“ für die Berechnung des „Solar Reflectance Index“ nach ASTM E1980-11 zur Verwendung in der LEED-Zertifizierung verlangt. Zur Berechnung des solaren Strahlungsreflexionsgrads wurde ein am Fraunhofer ISE validiertes EXCEL-

Programm mit der ASTM-Norm für hemisphärische solare Strahlung (ASTM G 173-03) verwendet.

Die Bezeichnung „Albedo“ und der nah-normal-hemisphärische, solare Reflexionsgrad sind in diesem Kontext gleichbedeutend.

Bei diesen opaken Probekörpern lässt sich der solare Absorptionsgrad A aus dem solaren Reflexionsgrad R wie folgt rechnen:

$$A = 1 - R$$

### **3.3 Beschreibung der Messung der spektralen normal-hemisphärischen Reflexion im infraroten Spektralbereich**

Der spektrale hemisphärische Reflexionsgrad für nahezu senkrechte Einstrahlung ( $8^\circ$  zur Probennormalen) wurde im Wellenlängenbereich  $1,6 \mu\text{m}$  bis  $17 \mu\text{m}$  bestimmt und bis  $50 \mu\text{m}$  mit typischen Werten für Silikatproben extrapoliert. Für die Messung wird ein hochempfindliches Fourier-Spektrometer IFS 66 der Firma Bruker verwendet, das für den mittleren Infrarot-Bereich ( $1,7 \mu\text{m}$ - $25 \mu\text{m}$ ) mit einer diffus-goldbeschichteten integrierenden Kugel ausgestattet ist. Zur Kalibrierung werden diffus reflektierende Vergleichsstandards von NIST und NPL verwendet.

Die Prüfmittel werden im Rahmen unseres nach ISO9001:2008 zertifizierten Qualitätsmanagementsystems überwacht und regelmäßig rückführbar kalibriert. Wie in der Einleitung zu Kapitel 3 erwähnt wurde, sind diese Prüfungen aber nicht nach ISO 17025:2005 akkreditiert.

### **3.4 Beschreibung der Berechnung des hemisphärischen thermischen Emissionsgrads bei 300 K und 350 K**

Der hemisphärische thermische Emissionsgrad wird anhand der gemessenen normal-hemisphärischen Reflexionsspektren ( $R(\lambda)$ ) im infraroten Spektralbereich ermittelt. Dafür wird die Funktion  $(1 - R(\lambda))$  mit dem Spektrum für Plancksche Schwarzkörperstrahlung bei 300 K und 350 K ( $27^\circ\text{C}$  und  $77^\circ\text{C}$ ) gewichtet.

Diese Bestimmungsmethode, die auf Spektralmessungen mit einem hochwertigen IR-Spektrometer beruht, liefert genauere thermische Emissionsgrade als die von ASTM E1980-11 zitierte Norm ASTM E 408-71, die von einem tragbaren Emissometer ausgeht.

Bestimmung des „Solar Reflectance Index“ von  
verschiedenen Betonsteinproben  
- Auftrag des Betonverbands Straße, Landschaft,  
Garten e.V.

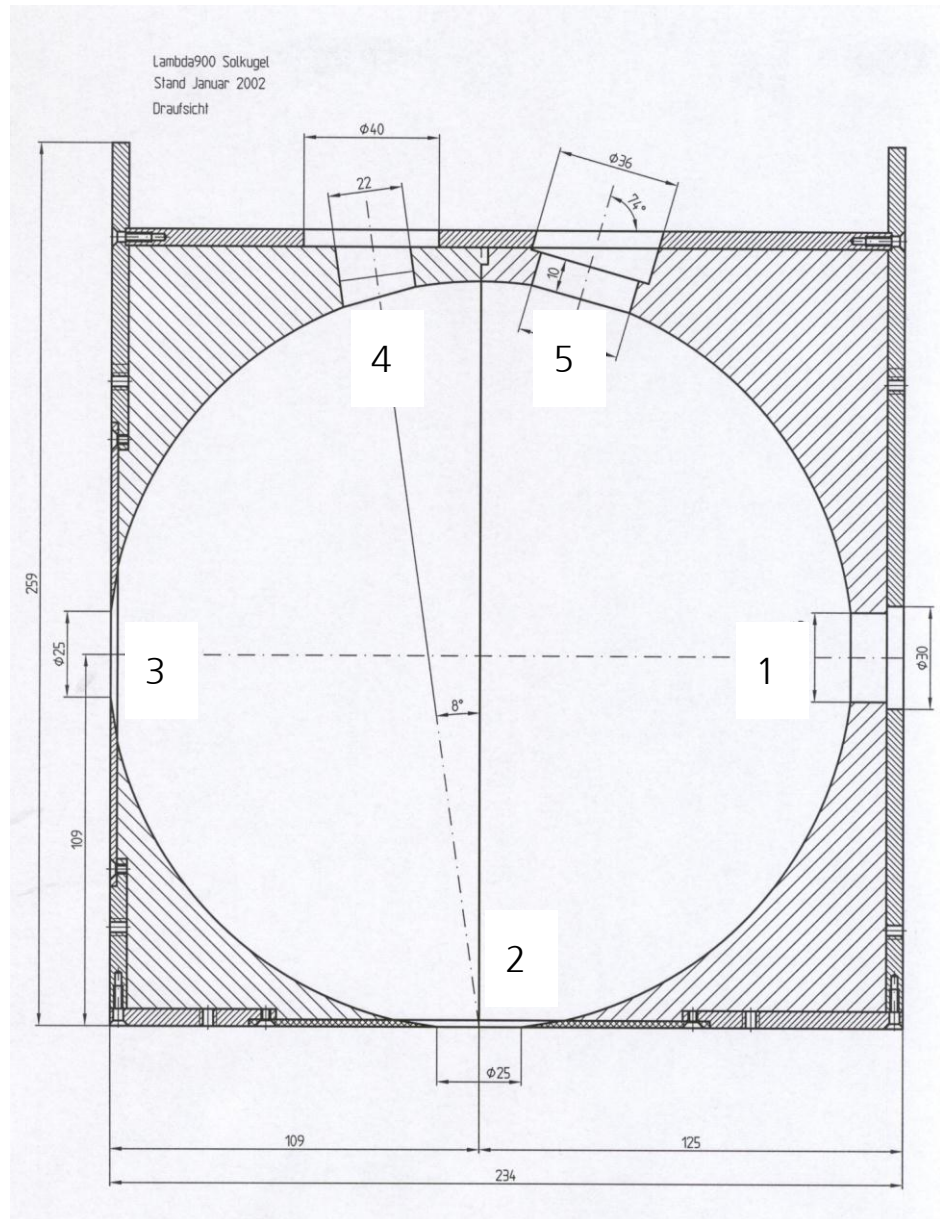


Abbildung 1

Horizontaler Schnitt durch die Ulbrichtkugel zur Bestimmung des normal-hemisphärischen Transmissions- oder Reflexionsgrads im solaren Spektralbereich. Die Transmissionsprobenapertur befindet sich links (3); der Referenzstrahl für Transmissionsmessungen tritt oben in die Kugel ein (4). Der Einfallswinkel auf der Probe beträgt für Transmission  $0^\circ$ . Die Glanzfalle für normal-diffuse Transmissionsmessungen befindet sich rechts (1) und dient gleichzeitig als Reflexionsreferenzapertur. Der Referenzstrahl für Reflexionsmessungen tritt links in die Kugel ein (3). Der Probenstrahl für Reflexionsmessungen tritt oben in die Kugel ein (4); die Reflexionsprobenapertur befindet sich unten (2). Der Einfallswinkel auf der Probe beträgt für Reflexion  $8^\circ$ . Die Reflexionsglanzfalle ist mit (5) gekennzeichnet.

### 3.5 Beschreibung der Berechnung des „Solar Reflectance Index“ (SRI-Wert)

Der „Solar Reflectance Index“ (SRI-Wert) wurde gemäß ASTM E 1980-11 aus dem oben beschriebenen solaren Strahlungsreflexionsgrad und dem hemisphärischen thermischen Emissionsgrad errechnet. Dazu wurde ein am Fraunhofer-ISE validiertes EXCEL-Werkzeug verwendet. Dieses Werkzeug implementiert die SRI-Berechnung nach Gleichungen 1 und 3 in ASTM E 1980-11.

Bei den Berechnungen wurde für den konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten der mittlere in ASTM 1980-11 vorgeschriebene Wert von  $12 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  verwendet, der „mittleren Windbedingungen“ entspricht. Im Absatz 8.1.2 der ASTM 1980-11 wird darauf hingewiesen, dass der SRI-Wert bei nichtmetallischen Oberflächen nicht sensitiv vom Wert des konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten abhängt.

### 3.6 Beschreibung der Berechnung der Farbkoordinaten $L^*$ , $a^*$ , $b^*$

Der Farbkoordinate  $L^*$  beschreibt die Helligkeit einer Farbe auf einer Skala von 0 bis 100 (0 = schwarz, 100 = weiß). Der Farbkoordinate  $a^*$  umspannt die rot-grüne Farbachse (positive Werte – rot; negative Werte – grün). Der Farbkoordinate  $b^*$  umspannt die gelb-blaue Farbachse (positive Werte – gelb; negative Werte – rot). Je größer der Betrag des  $a^*$ - oder  $b^*$ -Werts, desto größer ist die Farbsättigung.

Die Farbkoordinaten  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  der Probekörper wurden nach CIE 15-2004 auf der Grundlage der Reflexionsspektren im Solarbereich errechnet. Als Gewichtungsfunktionen wurde für die Lichtquelle D65 und für den Beobachter den  $2^\circ$ -Betrachter verwendet. Dazu wurde ein am Fraunhofer-ISE validiertes EXCEL-Werkzeug verwendet.

## 4 Ergebnisse

Die Messungen wurden vom 3.12.2013 bis zum 12.12.2013 durchgeführt.

#### 4.1 Solarer Strahlungsreflexionsgrad nach ASTM E 903-12

Tabelle 2 Solarer Strahlungsreflexionsgrad nach ASTM E 903-12 für die 16 Probekörper.

Proben-Nr.	Probekörper-bezeichnung Fraunhofer ISE	Farbe (augen-scheinlich)	Oberflächentextur (augenscheinlich)	Solarer Strahlungs- reflexionsgrad (Gewichtung nach ASTM G 173-03 hemisphärisch)
1	DV340001	weiß	glatt, porenfrei	0,756
2	DV340003	quarzweiß	geschliffen	0,618
3	DV340005	hellgrau	unbehandelt, makrofein	0,377
4	DV340007	grau	unbehandelt, makrofein	0,308
5	DV340009	grau	unbehandelt, makrorauh	0,250
6	DV340011	dunkelgrau	unbehandelt, makrofein	0,168
7	DV340013	anthrazit	geschliffen	0,104
8	DV340015	schwarz	unbehandelt, makrorauh	0,087
9	DV340017	beige	stahlkugelgestrahlt	0,581
10	DV340019	gelb	sandgestrahlt	0,415
11	DV340021	ocker	unbehandelt, makrofein	0,405
12	DV340023	beige-rot	geschliffen	0,603
13	DV340025	rot	geschliffen	0,314
14	DV340027	rot	unbehandelt, makrorauh	0,244
15	DV340029	rot	unbehandelt, makrofein	0,268
16	DV340031	braun	unbehandelt, makrorauh	0,191

Die Ergebnisse gelten für nahezu senkrechten Lichteinfall. Die Gesamtmessunsicherheit ohne Berücksichtigung einer Unsicherheit der Wellenlängenkalibrierung beträgt 0,02 absolut. Bei diesem Spektralverlauf erwarten wir keine signifikante Vergrößerung der Messunsicherheit bei Einbeziehung der Wellenlängenkalibrierung. Nur zwei Nachkommastellen sind signifikant. Die dritte Nachkommastelle soll lediglich die Möglichkeit bieten, kleine Unterschiede zu erkennen.

## 4.2 Solarer Strahlungsabsorptionsgrad nach ASTM E 903-12

Tabelle 3 Solarer Strahlungsabsorptionsgrad nach ASTM E 903-12 für die 16 Probekörper.

Proben-Nr.	Probekörperbezeichnung Fraunhofer ISE	Farbe (augenscheinlich)	Oberflächentextur (augenscheinlich)	Solarer Strahlungsabsorptionsgrad (Gewichtung nach ASTM G 173-03 hemisphärisch)
1	DV340001	weiß	glatt, porenfrei	0,245
2	DV340003	quarzweiß	geschliffen	0,382
3	DV340005	hellgrau	unbehandelt, makrofein	0,623
4	DV340007	grau	unbehandelt, makrofein	0,692
5	DV340009	grau	unbehandelt, makrorauh	0,750
6	DV340011	dunkelgrau	unbehandelt, makrofein	0,832
7	DV340013	anthrazit	geschliffen	0,896
8	DV340015	schwarz	unbehandelt, makrorauh	0,913
9	DV340017	beige	stahlkugelgestrahlt	0,419
10	DV340019	gelb	sandgestrahlt	0,586
11	DV340021	ocker	unbehandelt, makrofein	0,595
12	DV340023	beige-rot	geschliffen	0,397
13	DV340025	rot	geschliffen	0,686
14	DV340027	rot	unbehandelt, makrorauh	0,757
15	DV340029	rot	unbehandelt, makrofein	0,732
16	DV340031	braun	unbehandelt, makrorauh	0,809

Die Ergebnisse gelten für nahezu senkrechten Lichteinfall. Die Gesamtmessunsicherheit ohne Berücksichtigung einer Unsicherheit der Wellenlängenkalibrierung beträgt 0,02 absolut. Bei diesem Spektralverlauf erwarten wir keine signifikante Vergrößerung der Messunsicherheit bei Einbeziehung der Wellenlängenkalibrierung. Nur zwei Nachkommastellen sind signifikant. Die dritte Nachkommastelle soll lediglich die Möglichkeit bieten, kleine Unterschiede zu erkennen.

### 4.3 Hemisphärischer thermischer Emissionsgrad

Tabelle 4 Hemisphärischer thermischer Emissionsgrad bei 300 K und 350 K (27 °C und 77 °C) für die 16 Probekörper.

Proben-Nr.	Probekörperbezeichnung Fraunhofer ISE	Farbe (augenscheinlich)	Oberflächentextur (augenscheinlich)	Hemisphärischer thermischer Emissionsgrad ( $\epsilon$ )	
				bei 300 K	bei 350 K
1	DV340001	weiß	glatt, porenfrei	0,954	0,950
2	DV340003	quarzweiß	geschliffen	0,930	0,927
3	DV340005	hellgrau	unbehandelt, makrofein	0,947	0,944
4	DV340007	grau	unbehandelt, makrofein	0,944	0,940
5	DV340009	grau	unbehandelt, makrorauh	0,951	0,948
6	DV340011	dunkelgrau	unbehandelt, makrofein	0,938	0,935
7	DV340013	anthrazit	geschliffen	0,941	0,940
8	DV340015	schwarz	unbehandelt, makrorauh	0,944	0,941
9	DV340017	beige	stahlkugelgestrahlt	0,944	0,942
10	DV340019	gelb	sandgestrahlt	0,930	0,927
11	DV340021	ocker	unbehandelt, makrofein	0,941	0,937
12	DV340023	beige-rot	geschliffen	0,926	0,923
13	DV340025	rot	geschliffen	0,926	0,923
14	DV340027	rot	unbehandelt, makrorauh	0,952	0,949
15	DV340029	rot	unbehandelt, makrofein	0,941	0,937
16	DV340031	braun	unbehandelt, makrorauh	0,939	0,935

Die Gesamtunsicherheit beträgt 0,02 absolut. Die dritte Nachkommastelle soll lediglich die Möglichkeit bieten, kleine Unterschiede zu erkennen.



#### 4.4 „Solar Reflectance Index“ (SRI-Wert) nach ASTM E1980-11

Tabelle 5 „Solar Reflectance Index“ (SRI-Wert) nach ASTM E1980-11, Gleichungen 1 und 3 für die 16 Probekörper.

Proben-Nr.	Probekörper -bezeichnung Fraunhofer ISE	Farbe (augen- scheinlich)	Oberflächentextur (augenscheinlich)	„Solar reflectance index“ (SRI-Wert) nach ASTM E1980-11, Gleichungen 1 und 3	
				für $\epsilon$ bei 300 K	für $\epsilon$ bei 350 K
1	DV340001	weiß	glatt, porenfrei	94,7	94,6
2	DV340003	quarzweiß	geschliffen	75,3	75,2
3	DV340005	hellgrau	unbehandelt, makrofein	43,8	43,7
4	DV340007	grau	unbehandelt, makrofein	34,7	34,6
5	DV340009	grau	unbehandelt, makrorauh	27,6	27,5
6	DV340011	dunkelgrau	unbehandelt, makrofein	16,7	16,6
7	DV340013	anthrazit	geschliffen	8,9	8,8
8	DV340015	schwarz	unbehandelt, makrorauh	7,0	6,8
9	DV340017	beige	stahlkugelgestrahlt	70,6	70,5
10	DV340019	gelb	sandgestrahlt	48,0	47,9
11	DV340021	ocker	unbehandelt, makrofein	47,1	47,0
12	DV340023	beige-rot	geschliffen	73,1	73,0
13	DV340025	rot	geschliffen	34,8	34,7
14	DV340027	rot	unbehandelt, makrorauh	26,9	26,8
15	DV340029	rot	unbehandelt, makrofein	29,6	29,4
16	DV340031	braun	unbehandelt, makrorauh	19,7	19,5

Die Gesamtunsicherheit beträgt 2 absolut. Die erste Nachkommastelle soll lediglich die Möglichkeit bieten, kleine Unterschiede zu erkennen.

#### 4.5 Farbkoordinaten (L\*-, a\*-, b\*-Wert) nach CIE 15-2004

Tabelle 6 Farbkoordinaten (L\*-, a\*-, b\*-Wert) nach CIE 15-2004 für die 16 Probekörper.

Proben-Nr.	Probekörper- bezeichnung Fraunhofer ISE	Farbe (augen- scheinlich)	Helligkeits- wert L*	a*	b*
1	DV340001	weiß	91,5	-0,6	3,1
2	DV340003	quarzweiß	83,2	-0,1	6,3
3	DV340005	hellgrau	68,1	-0,4	4,4
4	DV340007	grau	63,0	0,3	2,2
5	DV340009	grau	58,3	-0,9	3,7
6	DV340011	dunkelgrau	48,6	0,6	1,3
7	DV340013	anthrazit	40,0	-0,2	0,6
8	DV340015	schwarz	36,2	0,5	1,3
9	DV340017	beige	79,7	1,0	13,3
10	DV340019	gelb	69,4	4,2	21,8
11	DV340021	ocker	64,6	8,6	25,6
12	DV340023	beige-rot	78,7	5,5	15,0
13	DV340025	rot	50,2	18,3	11,0
14	DV340027	rot	49,0	16,0	12,7
15	DV340029	rot	49,8	16,2	10,0
16	DV340031	braun	47,0	10,5	11,4

#### 4.6 Helligkeitswert nach CIE 15-2004 und SRI-Wert nach ASTM E1980-11

Tabelle 7 Helligkeitswert L\* nach CIE 15-2004 und SRI-Wert nach ASTM E 1980-11 für die 16 Probekörper.

Proben-Nr.	Probekörper- bezeichnung Fraunhofer ISE	Farbe (augen- scheinlich)	L*	„Solar reflectance index“ (SRI-Wert) nach ASTM E1980-11, Gleichungen 1 und 3	
				für $\epsilon$ bei 300 K	für $\epsilon$ bei 350 K
1	DV340001	weiß	91,5	94,7	94,6
2	DV340003	quarzweiß	83,2	75,3	75,2
3	DV340005	hellgrau	68,1	43,8	43,7
4	DV340007	grau	63,0	34,7	34,6
5	DV340009	grau	58,3	27,6	27,5
6	DV340011	dunkelgrau	48,6	16,7	16,6
7	DV340013	anthrazit	40,0	8,9	8,8
8	DV340015	schwarz	36,2	7,0	6,8
9	DV340017	beige	79,7	70,6	70,5
10	DV340019	gelb	69,4	48,0	47,9
11	DV340021	ocker	64,6	47,1	47,0
12	DV340023	beige-rot	78,7	73,1	73,0
13	DV340025	rot	50,2	34,8	34,7
14	DV340027	rot	49,0	26,9	26,8
15	DV340029	rot	49,8	29,6	29,4
16	DV340031	braun	47,0	19,7	19,5

## 4.7 Spektralmessungen

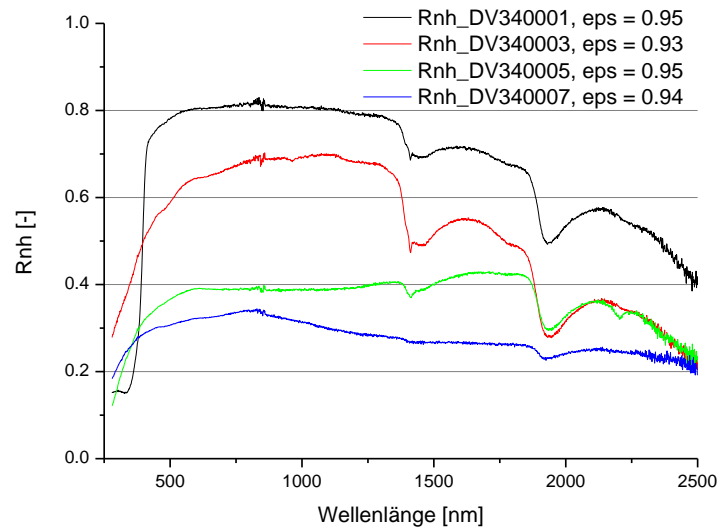


Abbildung 2 Spektren der nah-normal-hemisphärischen Reflexion (Rnh) für die Probekörper DV340001 bis DV340007 im solaren Spektralbereich.

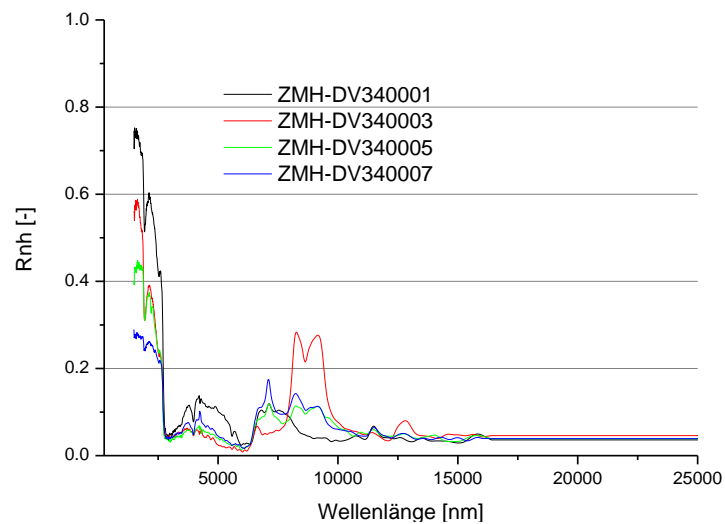


Abbildung 3 Spektren der nah-normal-hemisphärischen Reflexion (Rnh) für die Probekörper DV340001 bis DV340007 im infraroten Spektralbereich.

Bestimmung des „Solar Reflectance Index“ von  
verschiedenen Betonsteinproben  
- Auftrag des Betonverbands Straße, Landschaft,  
Garten e.V.

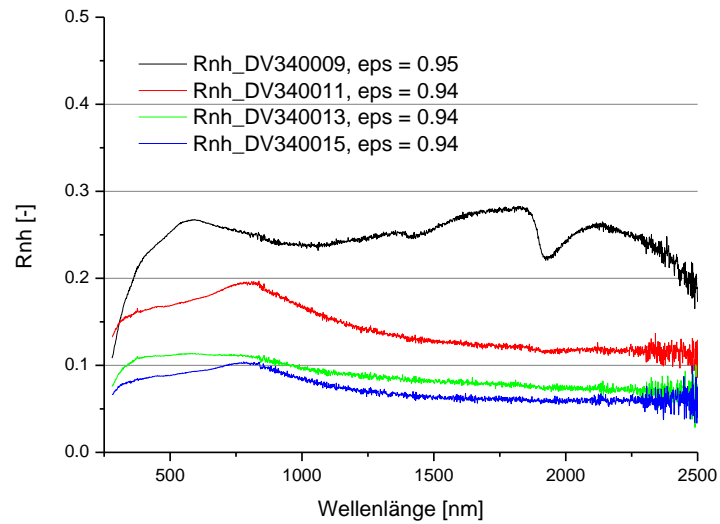


Abbildung 4 Spektren der nah-normal-hemisphärischen Reflexion (Rnh) für die Probekörper DV340009 bis DV340015 im solaren Spektralbereich.

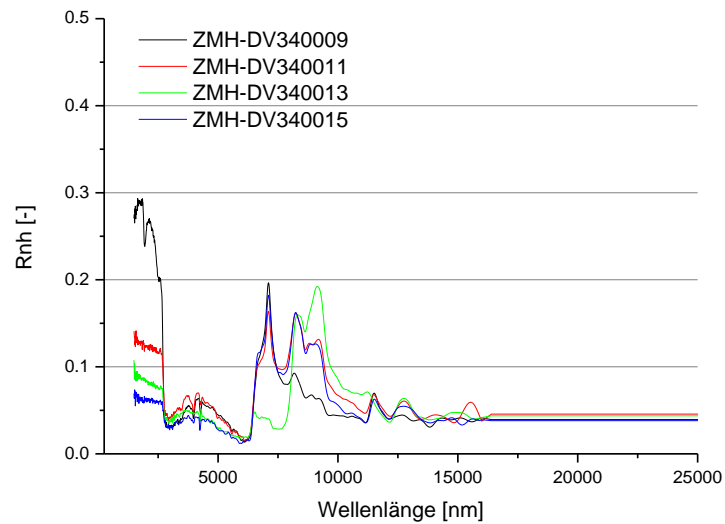


Abbildung 5 Spektren der nah-normal-hemisphärischen Reflexion (Rnh) für die Probekörper DV340009 bis DV340015 im infraroten Spektralbereich.

Bestimmung des „Solar Reflectance Index“ von  
verschiedenen Betonsteinproben  
- Auftrag des Betonverbands Straße, Landschaft,  
Garten e.V.

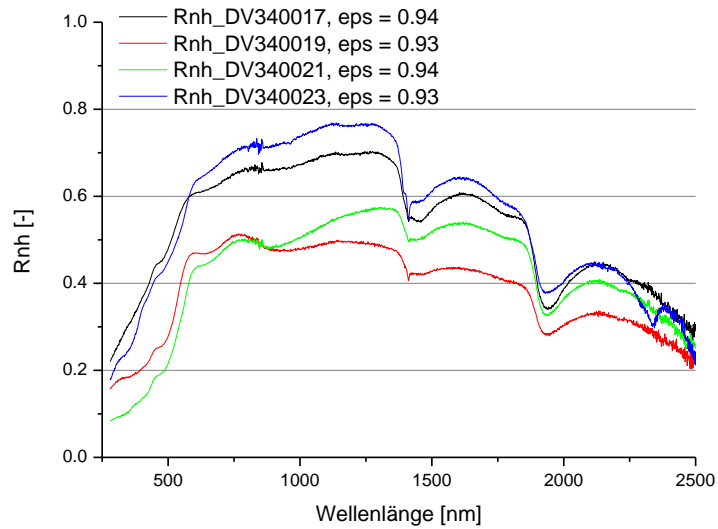


Abbildung 6 Spektren der nah-normal-hemisphärischen Reflexion (Rnh) für die Probekörper DV340017 bis DV340023 im solaren Spektralbereich.

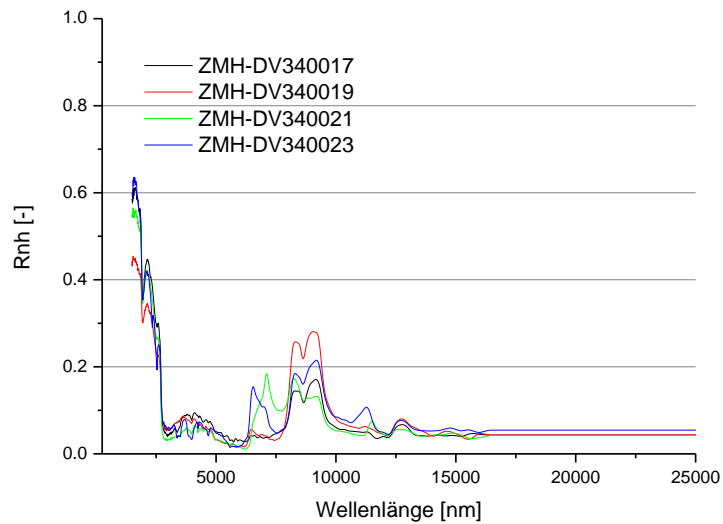


Abbildung 7 Spektren der nah-normal-hemisphärischen Reflexion (Rnh) für die Probekörper DV340017 bis DV340023 im infraroten Spektralbereich.

Bestimmung des „Solar Reflectance Index“ von  
verschiedenen Betonsteinproben  
- Auftrag des Betonverbands Straße, Landschaft,  
Garten e.V.

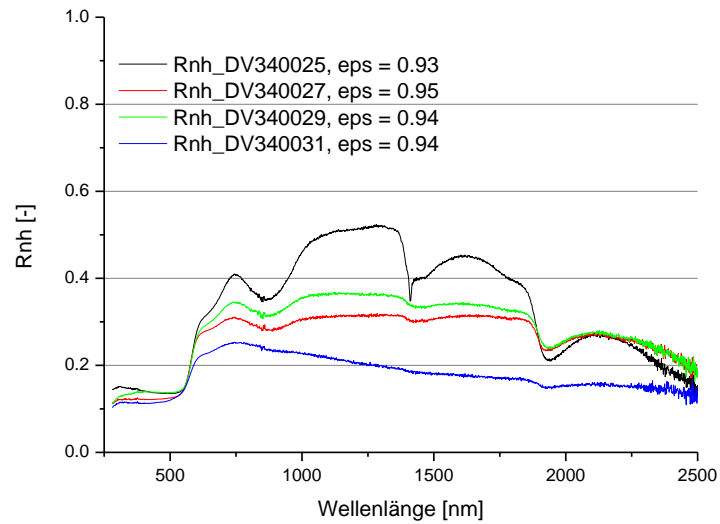


Abbildung 8 Spektren der nah-normal-hemisphärischen Reflexion (Rnh) für die Probekörper DV340025 bis DV340031 im solaren Spektralbereich.

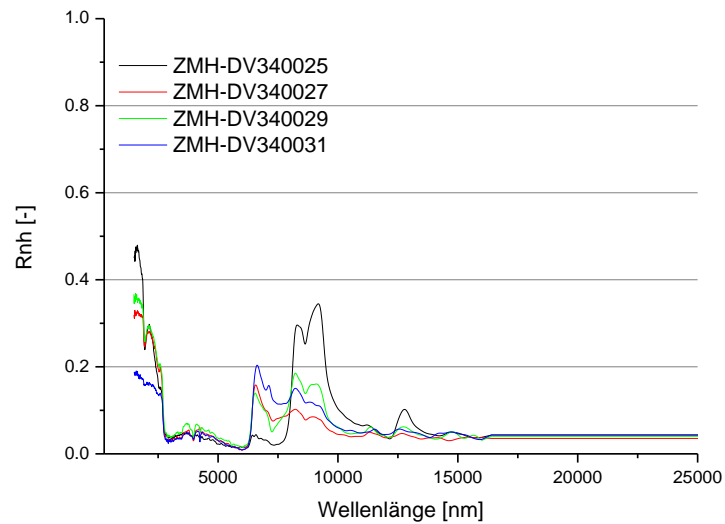


Abbildung 9 Spektren der nah-normal-hemisphärischen Reflexion (Rnh) für die Probekörper DV340025 bis DV340031 im infraroten Spektralbereich.

#### 4.8 Grafische Darstellungen der wichtigsten Eigenschaften

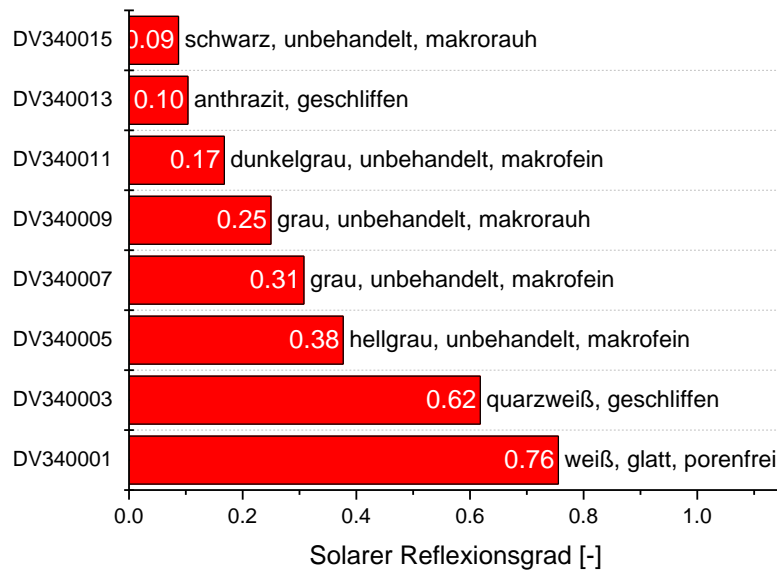


Abbildung 10

Solarer Reflexionsgrad der untersuchten neutralfarbigen Betonstein-Probekörper nach ASTM E 903-12 bei Gewichtung nach ASTM G 173-03 hemisphärisch.

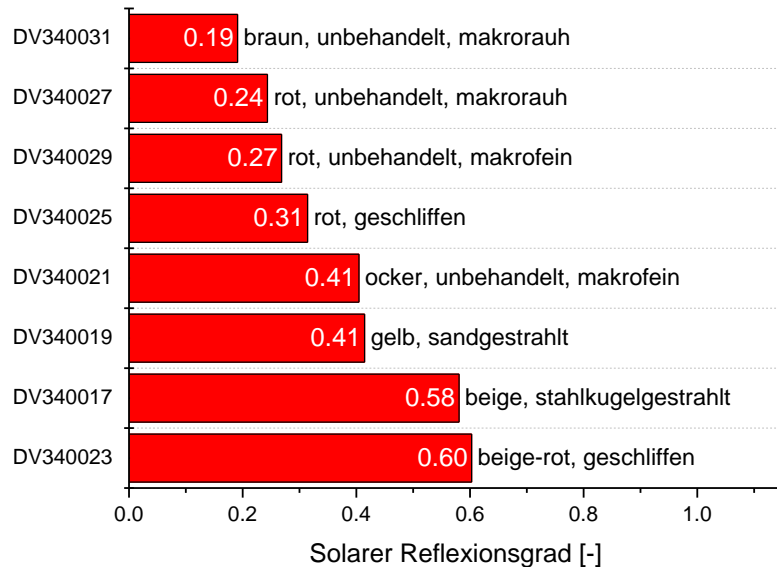


Abbildung 11

Solarer Reflexionsgrad der untersuchten farbigen Betonstein-Probekörper nach ASTM E 903-12 bei Gewichtung nach ASTM G 173-03 hemisphärisch.



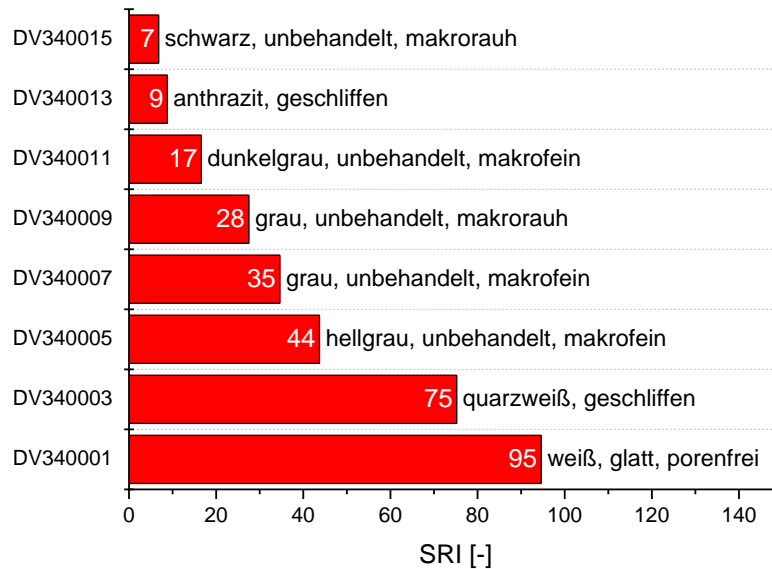


Abbildung 12

SRI (Solar Reflectance Index) der untersuchten neutralfarbigen Betonstein-Probekörper aus dem solaren Reflexionsgrad (Tabelle 2) und dem thermischen Emissionsgrad bei 350 K (Tabelle 4) nach ASTM E 1980-11.

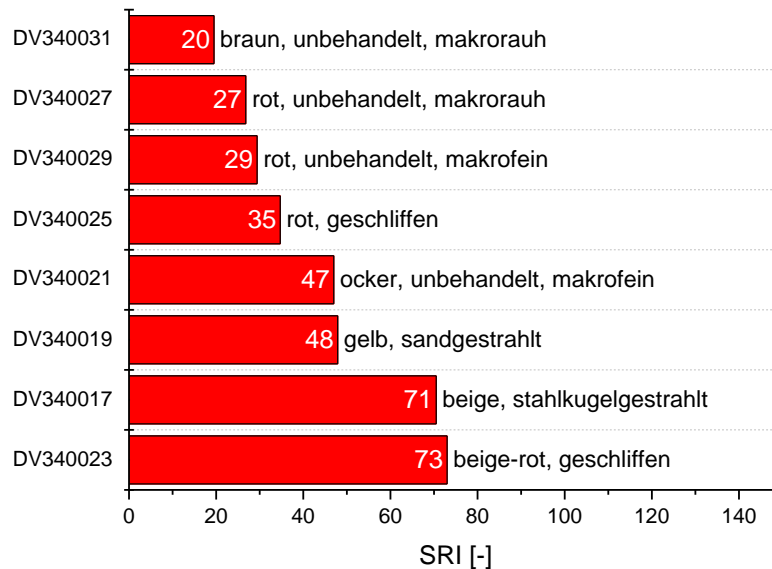


Abbildung 13

SRI (Solar Reflectance Index) der untersuchten farbigen Betonstein-Probekörper aus dem solaren Reflexionsgrad (Tabelle 2) und dem thermischen Emissionsgrad bei 350 K (Tabelle 4) nach ASTM E 1980-11.

## 5 Fotografische Darstellung der Probekörper

	
DV340001: Weiß, glatt, porenfrei	DV340015: Schwarz, unbehandelt, makrorauh
	
DV340003: Quarzweiß, geschliffen	DV340013: Anthrazit, geschliffen
	
DV340005: Hellgrau, unbehandelt, makrofein	DV340011: Dunkelgrau, unbehandelt, makrofein
	
DV340007: Grau, unbehandelt, makrofein	DV340009: Grau, unbehandelt, makrorauh

Abbildung 14

Fotografische Darstellung der untersuchten neutralfarbigen Betonstein-Probekörper DV340001 bis DV340015 im Maßstab 1:1,3. Siehe auch Hinweis auf Seite iv.

	
DV340017: Beige, stahlkugelgestrahlt	DV340025: Rot, geschliffen
	
DV340019: Gelb, sandgestrahlt	DV340027: Rot, unbehandelt, makrorauh
	
DV340021: Ocker, unbehandelt, makrofein	DV340029: Rot, unbehandelt, makrofein
	
DV340023: Beige-rot, geschliffen	DV340031: Braun, unbehandelt, makrorauh

Abbildung 15

Fotografische Darstellung der untersuchten farbigen Betonstein-Probekörper DV340017 bis DV340031 im Maßstab 1:1,3. Siehe auch Hinweis auf Seite iv.

## 6 Literatur

ASTM E 408-71 (reapproved 2008) Standard Test Methods for Total Normal Emittance of Surfaces Using Inspection-Meter Techniques

ASTM E 903-12 Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres

ASTM E1980-11 Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces

ASTM G 173-03 Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37 ° Tilted Surface

CIE 15-2004 Colorimetry

## **Hinweis zu den Abbildungen 14 und 15**

Für die Erstellung der Abbildungen der untersuchten Betonsteinproben (siehe dazu Seite 23 und Seite 24 des Berichtes TAG3-HRW-1404-E08) haben wir uns für die Technologie des Großformatscannens entschieden, welche ein berührungsfreies Scannen von Oberflächen bis zu einer Auflösung von 600 dpi ermöglicht. Diese hochmoderne Technik gewährleistet eine originalgetreue Wiedergabe der Farbe und Oberflächentextur der einzelnen Proben.

Unterschiede bei der Wirkung bzw. Wiedergabe von Farbe und Oberflächentextur der Abbildungen können durch die Art des Wiedergabe- oder Präsentationsmediums, z. B. Papierqualität, gegeben sein.

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V.

## Der Betonverband SLG

Der Betonverband SLG bündelt das Know-how namhafter deutscher Hersteller. Als selbstständige und unabhängige Interessenvertretung sowie als kompetenter Ansprechpartner repräsentieren wir bundesweit die erste Adresse für alle Fragen zum Bauen mit Pflastersteinen und Galabau-Produkten aus dem Werkstoff Beton. Von unserer Fachkenntnis profitieren u. a. Planer, Ausführende, Bauherren und Sachverständige.

Ein Schwerpunkt unserer Tätigkeit liegt in der Gremienarbeit mit dem Fokus auf Produktnormung, Anwendungs- und Herstellungstechnik. Die Ergebnisse sind in zahlreichen Veröffentlichungen dokumentiert; die Publikationen sind über unsere Homepage erhältlich.

Eines unserer Kernziele ist die fachgerecht erstellte Pflasterbauweise aus Betonprodukten. Daher engagieren wir uns u. a. auch im Verein Qualitätssicherung Pflasterbauarbeiten e. V., zu dessen Gründungsmitgliedern wir gehören.

Ein hervorragender Baustoff – natürlich, ökologisch, faszinierend und vielfältig – ist unsere Triebfeder; der Erfolg aller an der Betonpflasterbauweise Beteiligten ist unser Anliegen.

Mitgliedschaften:

- Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e. V.
- Construction Product Information Confederation e. V. (CONPICO)
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V.
- Deutscher Vergabe- und Vertragsausschuss für Bauleistungen (DVA) im BUMB
- Forschungsvereinigung der deutschen Beton- und Fertigteilindustrie e. V.
- Qualitätssicherung Pflasterbauarbeiten e. V.
- Verein zur Förderung der Normung im Bereich Bauwesen e. V.  
im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.



Schloßallee 10

53179 Bonn

Telefon 0228 / 954 56-22

Telefax 0228 / 954 56-90

E-Mail [slg@betoninfo.de](mailto:slg@betoninfo.de)

Internet [www.betonstein.org](http://www.betonstein.org)



