



Aktuelles zu Betonstrassen und zur Verkehrsinfrastruktur
Ausgabe Januar 2016

update 44

Stadtverkehrsflächen – Optimierter Beton für den innerstädtischen Bereich

An Verkehrsflächen im urbanen Bereich werden immer höhere Anforderungen gestellt. Das Forschungsprojekt „Stadtverkehrsflächen“ beschäftigte sich daher mit den Auswirkungen einer großflächigen Verwendung von Beton bei Verkehrsflächen im urbanen Bereich. Dabei wurden positive Effekte heller Betonfahrbahnen auf das allgemeine Temperaturniveau innerstädtischer Verkehrsflächen und eine Erhöhung der Sichtbarkeit von Verkehrsteilnehmern bei Nacht festgestellt.

Stadtverkehrsflächen – Optimierter Beton für den innerstädtischen Bereich

DI Dr. Martin Peyerl, Smart Minerals GmbH, Wien
Mag. (FH) DI Dr. Stefan Krispel, Smart Minerals GmbH, Wien
Prof. Mag. Dr. Philipp Weihs, Universität für Bodenkultur, Wien
DI Gerald Maier, Smart Minerals GmbH, Wien

Das Forschungsprojekt „Optimierter Verkehrsflächenbeton für den innerstädtischen Bereich“ beschäftigte sich mit den steigenden Anforderungen an Verkehrsflächen im urbanen Bereich. Neben einer Zunahme des Schwerverkehrs, einer vielseitigen Nutzung und beengten Platzverhältnissen spielen dabei auch die Helligkeitseigenschaften dieser Flächen eine entscheidende Rolle. Ein bisher wenig beachtetes Phänomen ist die Ausprägung von urbanen Wärmeinseln, den sogenannten „Heat Islands“. Da Straßen etwa einen Anteil von 10 % der Gesamtfläche einer Stadt in Anspruch nehmen, können hier effiziente, langfristige Maßnahmen gesetzt werden.

1. Grundsätzliche Ziele des Projekts

Zurzeit werden an den Baustoff Beton für Verkehrsflächen nur Anforderungen bezüglich der Konstruktion, d.h. die Entsprechung gemäß einer geforderten Festigkeitsklasse, die Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen und eine adäquate Griffbarkeit gestellt.

Für die zukünftige Verwendung bei der Herstellung von Verkehrsflächen hat der Werkstoff Beton zusätzliche Eigenschaften zu erfüllen. Diese ergeben sich aus den Besonderheiten des Einsatzgebietes wie z.B. erforderliche Ausleuchtung des Straßenraums mit Beleuchtungskörpern (Straßenlaternen), Einfluss auf das kleinkalige bzw. lokale Klima, Anwesenheit von Verkehrsteilnehmern mit geringer Fortbewegungsgeschwindigkeit (z.B. Fußgänger). Derzeitige Regelungen sind zugeschnitten auf das hochrangige Verkehrsnetz und berücksichtigen die angeführten Punkte nicht.

Das Stadtklima wird wesentlich durch die Wirkung bebauter Flächen als Wärmespeicher beeinflusst. Daraus entstehen urbane Wärmeinseln, in denen die Temperaturen um mehrere Grad höher sein können als in umgebenden ländlichen Bereichen. Verkehrsflächen stellen einen wesentlichen Aspekt der Beeinflussung des lokalen Klimas dar. Ein Untersuchungsziel war demnach die Erfassung möglicher Reduktionen bzw. positive Beeinflussung urbaner Wärmeinseln durch optimierte Verkehrsflächenbetone.

Bekanntlich tragen helle Oberflächen, insbesondere in Bereichen mit geringer oder keiner Beleuchtung, zur Erhöhung des subjektiven Sicherheitsgefühls und zur Senkung des Unfallrisikos bei. Aus diesen Gründen wurde im Rahmen des Projekts untersucht, ob die Sicherheit von Verkehrsteilnehmern durch eine entsprechende Wahl der Oberflächen erhöht werden kann. Die im Projekt eingesetzten verschiedenen Verkehrsflächen wiesen differierende Helligkeitseigenschaften auf.

Da ein Tausch des kompletten Fahrbahnaufbaus bei bestehenden Verkehrsflächen oftmals z.B. aus wirtschaftlichen Gründen nicht zweckmäßig erscheint, wurden Ausführungen in White-Topping-Bauweise untersucht. Der Einsatz dieser Bauweise (Aufbringen einer dünnen Betonschicht auf eine bestehende Asphaltkonstruktion) soll neben einem höheren Reflexionsvermögen auch eine Erhöhung der Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit der Verkehrsfläche bringen. Für das Gelingen ist ein dauerhafter Verbund zwischen Asphalt und Beton wesentlich. Eine Beurteilung kann auf Basis von Oberflächenanalysen (Charakterisierung des Fräsmusters) und der Bestimmung der Verbundeigenschaften erfolgen. Normativ oder regelhafte festgelegte Anforderungen an diese Eigenschaften existieren in Österreich bis dato nicht. Die Ermittlung dieser spezifischen Kennwerte war ebenfalls ein Untersuchungsziel des Forschungsprojektes.

2. Stand der Technik – Heat Island Effekt

Eines der wichtigsten Phänomene der Stadtklimatologie ist die Ausprägung eines zusätzlichen Treibhauseffektes, so genannter urbaner Wärmeinseln (Heat Islands).

Dies bedeutet, dass sich das Klima eines urbanen Bereiches deutlich von den großräumig bedingten Werten abhebt (ein Effekt, der sich besonders drastisch an heißen und windstillen Sommertagen zeigt). Dadurch wird neben der allgemeinen Erwärmung das Temperaturniveau im urbanen Bereich zusätzlich erhöht. Diese Temperaturerhöhung bewirkt nicht nur ein beträchtliches Absinken des Wohlbefindens und der Leistungsfähigkeit, sondern verursacht auch eine Erhöhung der Sterblichkeit. [1, 2]

Die Veränderung des Klimas einer Stadt gegenüber jenem des weiteren Umlandes (bis etwa 250 km) beruht auf einer Vielzahl von Faktoren. Neben allgemeinen Einflussparametern wie Lage, Stadtgestalt

und Größe der Stadt sowie dem Einfluss der Sonnenstrahlung spielen auch Bebauungsgeometrie und daraus resultierende Strömungshindernisse sowie Luftverunreinigung und auch die verwendeten Baumaterialien eine wesentliche Rolle auf die Ausprägung einer städtischen Wärmeinsel [3]. Diese unterschiedlichen Einflussfaktoren auf das Stadtklima sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, verursachen diese speziellen Bedingungen eine generelle Erhöhung der Temperatur, wobei grundsätzlich zwischen zwei Wärmeenergielieferanten unterschieden werden muss: Anthropogene Wärme wird durch den Menschen meist durch Verbrennungsprozesse direkt produziert, der viel größere Anteil erfolgt jedoch durch den Eintrag der Strahlungswärme der Sonne. Dieser Energieeintrag durch die Sonne auf eine Fläche kann mittels der Energiebilanzgleichung (Gleichung I, S. 4) einer Oberfläche ausgedrückt werden [4].

Tabelle 1: Wichtige Faktoren für die Ausprägung urbaner Wärmeinseln, nach [1]

Kennzeichen	energetische Auswirkung
Bebauungsgeometrie große Oberfläche große Horizontaleinengung verminderte Windgeschwindigkeit	Mehrfachreflexionen der Sonnenstrahlen an Häuserfronten Reduktion effektiver Abstrahlung Reduktion des Wärmetransports
Luftverunreinigung	Erhöhung der Reflexionsstrahlung
Anthropogene Wärme Wärmeemissionen von Gebäuden Wärmeemissionen von Verbrennungsprozessen	Erhöhung der Temperatur Erhöhung der Temperatur, Erhöhung der Reflexionsstrahlung durch Luftverschmutzung
Baumaterialien größere Wärmeleitfähigkeit Erhöhung der Wärmespeicherung	Erhöhung der Wärmespeicherung Reduktion der Verdunstung, Verdunstungskälte

$$Q_{net} = Q + B + H + V \quad (\text{Gleichung I})$$

Q_{net}	Summe aller Energieeinträge an einer Oberfläche
Q	Strahlungsbilanz
B	Bodenwärmestrom
H	Strom fühlbarer Wärme
V	Strom latenter Wärme

Den größten materialabhängigen Einfluss auf die in eine Oberfläche induzierte Energie weist von den oben aufgelisteten Themen der Anteil der Strahlungsbilanz auf. Dieser setzt sich aus folgender Gleichung II zusammen.

$$Q = \underbrace{(1 - \alpha) \times G}_{\text{kurzwellige Strahlungsbilanz}} + \underbrace{(AG - A)}_{\text{langwellige Strahlungsbilanz}} \quad (\text{Gleichung II})$$

Q	Strahlungsbilanz einer Oberfläche (Nettostrahlung)
α	Albedo einer Oberfläche
G	Globalstrahlung
AG	Atmosphärische Gegenstrahlung
A	Langwellige Ausstrahlung von der Erdoberfläche

Gleichung II lässt sich in eine kurz- und in eine langwellige Strahlungsbilanz aufspalten. Da die langwellige Strahlungsbilanz einen weit geringeren Einfluss auf die Erwärmung der betreffenden Oberfläche ausübt, ist dieser Teil der Gleichung für eine nähere Betrachtung wesentlicher. Der entscheidende Faktor der kurzwelligen Strahlungsbilanz ist die Albedo einer Oberfläche α . Dieser Faktor definiert das Verhältnis zwischen kurzweiliger Ein- und Ausstrahlung und wird mit einem Albedometer gemessen. Tabelle 2 liefert eine Zusammenstellung einiger Albedowerte unterschiedlicher Materialien, die im urbanen Umfeld präsent sind.

Aus Tabelle 2 ist zu erkennen, dass je nach Oberflächenwahl deutlich unterschiedliche Albedowerte auftreten. Gemäß Gleichung II haben die unterschiedlichen Albedowerte der im urbanen Bereich verwendeten Baustoffe naturgemäß einen entscheidenden Einfluss auf die kurzwellige Strahlungsbilanz. Um dies zu verdeutlichen, zeigt Abbildung 1 das Thermalbild vom Zentrum von Wien im Vergleich zum zugehörigen Satellitenbild.

Im Thermalbild von Abbildung 1 sind besonders kühle Flächen in der Farbe Schwarz, besonders warme Flächen in der Farbe Rot dargestellt. Bei einem Vergleich mit der Satellitenbildaufnahme ist deutlich

zu erkennen, dass sich Verkehrsflächen, wie die Ringstraße, der Gürtel etc. durch sehr hohe Oberflächentemperaturen auszeichnen, während Grünflächen ein deutlich niedrigeres Temperaturniveau aufweisen. Aufgrund dessen ist eine Reduktion der Oberflächentemperatur an diesen Flächen besonders sinnvoll.

Mehrere Studien [8, 9, 10 und 11] haben sich mit dem Einfluss von unterschiedlich reflektierenden Dachflächen und Straßenasphalten auf das Mikroklima in Städten beschäftigt und untersucht, ob man durch Änderung der Bodenoberflächenreflexion mikroklimatische Änderungen herbeiführen könnte.

Bei Schönwetter im Sommer fanden Santamouris et al. [11] bei einer 4500 m² aufgehellten Asphaltfläche mit Reflexionswerten von 47 % im sichtbaren und 71 % im infraroten Strahlungsbereich – verglichen mit konventionellen Asphaltflächen – eine Verminderung der Oberflächentemperatur von 12 °C und der darüber liegenden Lufttemperatur von 1,9 °C. Da die Erhöhung der Reflexion im sichtbaren Wellenbereich zur Blendung z.B. von Autofahrern und deshalb zu Sicherheitsproblemen führen könnte, wurde das Augenmerk vor allem darauf gelegt, die Reflexion der Asphaltflächen im Infrarotbereich zu erhöhen.

Tabelle 2: Albedowerte ausgewählter Materialien nach [1, 3 und 5]

Material	Kurzwelliges Albedo [%]
Asphalt	5 – 20
Beton	10 – 35
Beton weiß	7
Wiese	15 – 25
Laubwald	15 – 20

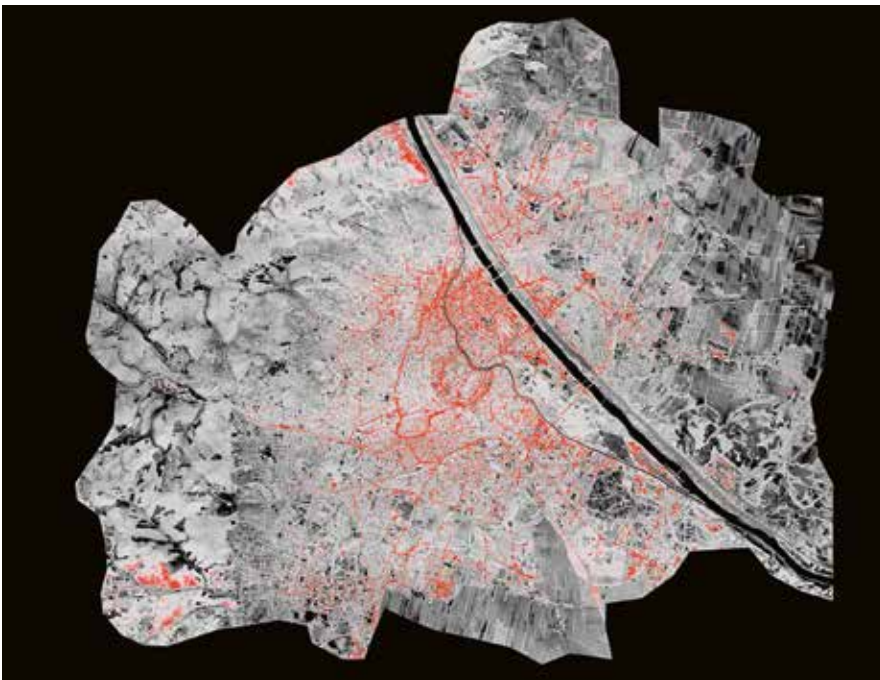


Abbildung 1: Thermalbild von Wien im Vergleich zu Satellitenbild [6, 7]

3. Projektumsetzung

Zur Ermittlung der klimatischen Kennwerte und der für Berechnungsmodelle relevanten Ausgangsdaten wurden sechs unterschiedliche Versuchsflächen errichtet. Diese Versuchsfelder unterscheiden sich neben unterschiedlichen Deckschichten durch den gewählten Gesamtaufbau. Der Gesamtaufbau und die gewählten Oberflächenstrukturen entsprechen jenen, welche üblicherweise im innerstädtischen Bereich eingesetzt werden. Als Aufbauten wurden eine herkömmliche As-

phaldecke, eine herkömmliche Betondecke, ein Gehsteigaufbau und drei unterschiedliche White-Topping-Systeme ausgewählt. Der Aufbau der Versuchsfelder ist in Tabelle 3 zusammenfassend dargestellt.

Um möglichst realistische Kennwerte zu erhalten, wurden die Verkehrsflächen in einem Bereich ohne mögliche Beschattung durch Gebäude und Vegetation angelegt. Abbildung 2 zeigt die Anordnung der sechs Versuchsfelder mit einer Größe von jeweils 8 m × 8 m.

Tabelle 3: Aufbau der Versuchsfelder

Bezeichnung	Aufbau	Stärke [cm]
White-Topping „weiß“ (Versuchsfeld 1)	Ungebundene untere Tragschichte RK Ungebundene obere Tragschichte KK Bituminöse Tragschichte AC22 70/100 (gefräst) Straßenoberbeton OB F52 GK 22 mit Weißzement	30 10 10
Betondecke (Versuchsfeld 2)	Ungebundene untere Tragschichte RK Ungebundene obere Tragschichte KK Bituminöse Tragschichte AC22 70/100 Straßenoberbeton OB F52 GK 22	30 5 20
White-Topping „hell“ (Versuchsfeld 3)	Ungebundene untere Tragschichte RK Ungebundene obere Tragschichte KK Bituminöse Tragschichte AC22 70/100 (gefräst) Straßenoberbeton OB F52 GK 22 mit Weißpigment	30 10 10
Asphaltdecke (Versuchsfeld 4)	Ungebundene untere Tragschichte RK Ungebundene obere Tragschichte KK Bituminöse Tragschichte AC22 70/100 Bituminöse Deckschichte AC11 70/100	30 15 5
White-Topping „normal“ (Versuchsfeld 5)	Ungebundene untere Tragschichte RK Ungebundene obere Tragschichte KK Bituminöse Tragschichte AC22 70/100 (gefräst) Straßenoberbeton OB F52 GK 22	30 10 10
Gussasphalt (Versuchsfeld 6)	Ungebundene untere Tragschichte RK Ungebundene obere Tragschichte KK Unterbeton C20/25/X0 Gussasphalt MA4, 90/10	10 10 2

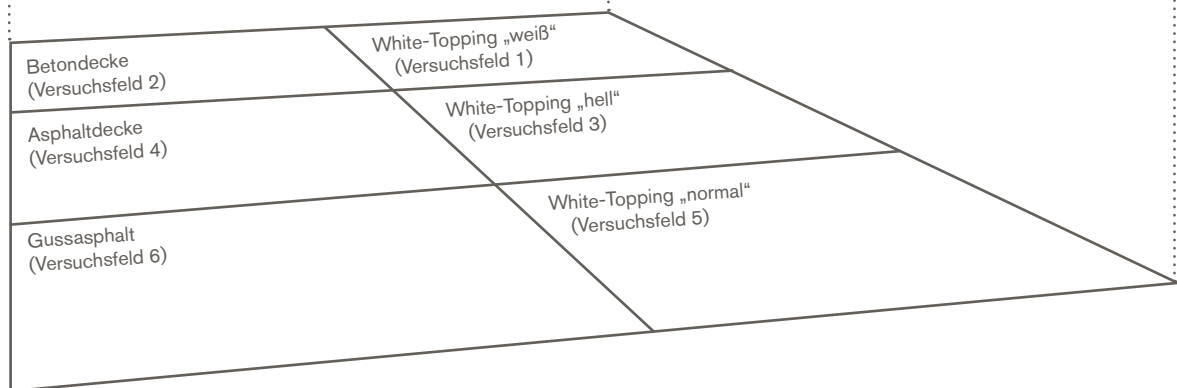


Abbildung 2: Anordnung der Versuchsfelder



Abbildung 3: Abfräsen der oberen Asphaltschichte

3.1 Herstellung der Versuchsfelder für die White-Topping-Bauweise

Die Herstellung der Versuchsfelder für die White-Topping-Bauweise erfolgte in zwei Schritten. Nach der Einbringung des Unterbaus und der Asphalttragschichte erfolgten das Fräsen der Oberfläche und die Aufnahme der Oberflächeneigenschaften (Rauheit, etc.). Im Anschluss daran wurde der Aufbeton eingebracht. In Abbildung 3 ist der Fräsvorgang mittels Kleinfräse dargestellt.

Das Abfräsen der Oberfläche erfolgte teilweise in Längsrichtung und teilweise in Längs- und Querrichtung. Zur Erzielung von Referenzwerten blieb ein Teilbereich unbearbeitet. Abbildung 4 zeigt Oberflächen nach dem Fräsvorgang.



Abbildung 4: Oberfläche ungefräst, längs gefräst, längs und quer gefräst

Tabelle 4: Zusammenstellung der Rezepturen für die Betonsorten OB GK22 F52, OB GK22 F52 hell und OB GK22 F52 weiß

Betonausgangsstoffe	Einwaagen gemäß Rezeptur bzw. Betonkennwerte [kg/m³]		
	OB GK22 F52	OB GK22 F52 hell	OB GK22 F52 weiß
Einbaufelder	2, 5	3	1
CEM II/B-M 42,5 N	420	421	-
CEM I 52,5 N Weißzement	-	-	421
Pigment Titandioxid	-	21	-
Gesteinskörnung RK 0/4	780	784	781
Gesteinskörnung RK 8/11	162	163	163
Gesteinskörnung RK 11/22	962	966	965
Gesamtwasser	168	168	167
Fließmittel	2,96	2,52	2,52
LP-Mittel	0,73	0,76	0,75
W/B-Wert	0,40	0,40	0,40

Im Anschluss daran erfolgte das Einbringen des Aufbetons bzw. die Herstellung der Betondecke auf die mattfeuchte Oberfläche. Als Basis diente eine Rezeptur „Straßenoberbeton“ gemäß RVS 08.17.02 [12] mit Größtkorn 22 mm und der Konsistenz F52. Die Herstellung der normalen Betondecke (Feld 2) erfolgte mit Deckenzement CEM II B-S 42,5 N (DZ) [13], bei der White-Topping Fläche des Feldes 1 wurde dieser Zement durch einen handelsüblichen Weißzement ersetzt. Bei der hellen White-Topping-Fläche (Feld 3) erfolgte die Zugabe von Weißpigment. Die Solleinwaagen der Betonsorten sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Die Einbringung erfolgte, wie im innerstädtischen Bereich üblich, als Straßenfließbeton per Hand. Abbildung 5 (S. 10) zeigt exemplarisch die Herstellung der Betondecke des Feldes 1. Für alle Betonoberflächen wurde die Oberflächenstruktur „Besenstrich“ gewählt.



Abbildung 5: Einbau des Betons und Herstellung der Oberfläche (Besenstrich)

3.2 Untersuchungen an den Versuchsfeldern

An den hergestellten Versuchsfeldern wurden nachstehende Untersuchungen durchgeführt:

- Bestimmung der Oberflächeneigenschaften der bearbeiteten Asphalttragschichten
- Bestimmung der Verbundkennwerte der Felder mit White-Topping-Bauweise
- Ermittlung der Temperaturverläufe
- Ermittlung der Leuchtdichte und des Reflexionsgrades
- Ermittlung des Einflusses der Oberflächen auf das kleinskalige bis lokale Klima

3.2.1 Bestimmung der Oberflächeneigenschaften der bearbeiteten Asphalttragschichten

Mit der White-Topping-Bauweise können Asphaltstraßen unter Ausnutzung des noch tragfähigen Untergrundes einfach und kostengünstig ertüchtigt werden. Für das Funktionieren dieser Konstruktion sind dauerhafte Verbundeigenschaften zwischen Asphalt und Beton essentiell. Eine Beurteilung kann auf Basis von Oberflächenbeurteilungen (Charakterisierung des Fräsmusters) und Ermittlung der Verbundeigenschaften erfolgen. Anforderungen existieren bis dato nicht. Zur Beurteilung der Oberfläche wurde das bekannte Sandflächenverfahren nach Kaufmann herangezogen, zur Erstellung eines dreidimensionalen Oberflächenmodells ein stereoskopisches Verfahren.

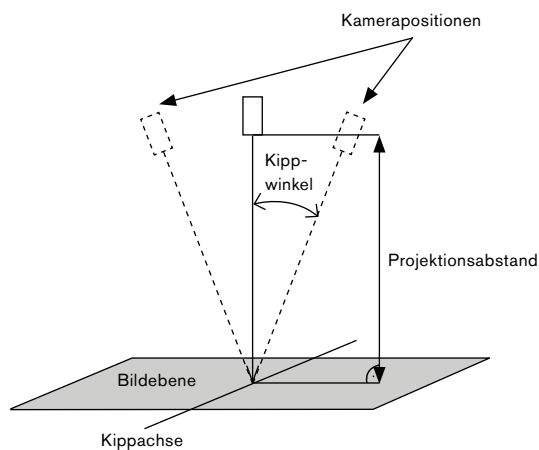


Abbildung 6: Versuchskonfiguration zur Bestimmung von Oberflächenparametern mit dem stereoskopischen Verfahren [14]

Ziel der Ermittlung der Oberflächentextur mit dem stereoskopischen Verfahren war es, ein digitales Oberflächenmodell (DOM) der Oberflächentextur zu erstellen, damit möglichst viele Oberflächenparameter bestimmt werden können, die in Relation zu den Verbundeigenschaften gesetzt werden können. Das Oberflächenmodell basiert in einem unterschiedlichen Winkel aufgenommenen Bilder, analog der photogrammetrischen Erfassung der Erdoberfläche. Abbildung 6 zeigt den verwendeten Messrahmen, der es erlaubt, mit einer Digitalkamera zwei um wenige Grad verkippte Aufnahmen bei optimaler Beleuchtung zu erstellen.

Jede zu untersuchende Oberfläche wurde zur Ermittlung der Oberflächeneigenschaften mit zwei 10° aus der Lotrechten verkippten Bildern aufgenommen. Abbildung 7 zeigt ein dreidimensionales Oberflächenmodell (DOM), auf dessen Basis die unterschiedlichen Parameter zur Beschreibung der Oberflächentextur ermittelt wurden.

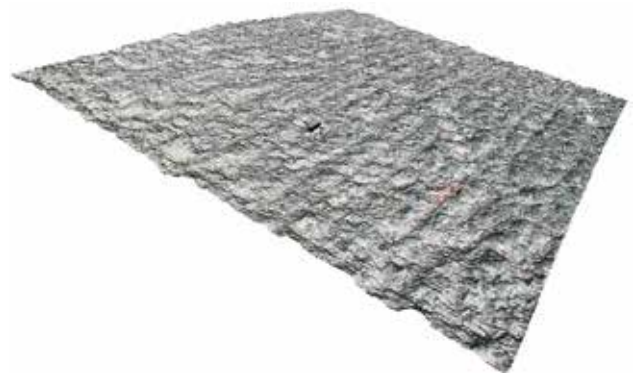


Abbildung 7: Dreidimensionales Oberflächenmodell einer analysierten Fläche

Die Auswertung der Oberflächeneigenschaften erfolgte auf Basis des DOMs gemäß EN ISO 4287 [15].

3.2.2 Bestimmung der Verbundkennwerte der Felder mit White-Topping-Bauweise

Die Ermittlung der Verbundeigenschaften (Kerb-Spaltzugfestigkeit und spezifische Bruchenergie) zwischen Asphalt und Aufbetonschicht erfolgte durch Bestimmung von bruchmechanischen Kennwerten mittels Keilspaltmethode gemäß ÖNORM B 3592 [16]. Hierzu wurden Probekörper mit einem Durchmesser von 10 cm aus den jeweiligen Bauteilen entnommen. Nach der Probenvorbereitung (Schneiden der Starterkerbe, Aufkleben der Lasteinleitungsplatten) werden die Probekörper in einer Prüfvorrichtung belastet. Im Zuge der Prüfung erfolgt die Aufzeichnung eines Last-Verschiebungsdiagramms bis zum vollkommenen Aufspalten der Probe. Der Keilwinkel betrug für alle untersuchten Bohrkerne 15° . Abbildung 8 zeigt eine Systemskizze der Prüfung von Interfaces gemäß ÖNORM B 3592 [16].

Im Gegensatz zur Haftzugprüfung kann bei der Keilspaltprüfung ein vollständiges Spalkraft-Verschiebungsdiagramm aufgezeichnet werden. Ein solches Diagramm ist Abbildung 9 zu entnehmen.

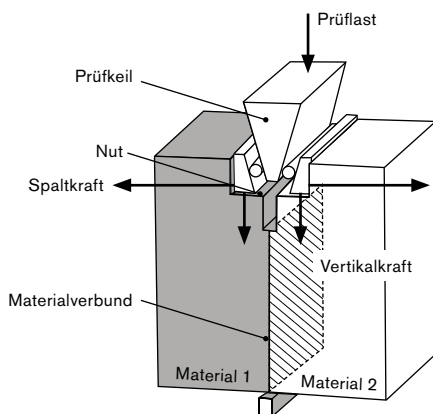


Abbildung 8: Systemskizze zur Prüfung von Verbundwerkstoffen mit der Keilspaltmethode [16]

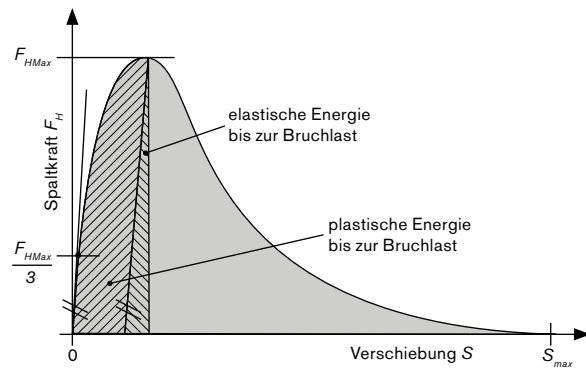


Abbildung 9: Typisches Spalkraft-Verschiebungsdiagramm [16]

3.2.3 Ermittlung der Temperaturverläufe

Um die Auswirkungen der unterschiedlichen Oberflächen auf das Erwärmungsverhalten festhalten zu können, erfolgte die Messung der Temperatur an der Oberfläche sowie in unterschiedlichen Tiefenstufen an verschiedenen Zeitpunkten im Jahreszyklus. Hierfür wurden in jede der sechs Versuchsfelder Temperaturfühler in den Tiefen von 0 cm, 2,5 cm, 6 cm und 12 cm versetzt.

3.2.4 Ermittlung der Leuchtdichte und des Reflexionsgrades

Zur Feststellung wie sich unterschiedliche Oberflächen auf das subjektive Sicherheitsempfinden der Verkehrsteilnehmer bzw. deren Sichtbarkeit auswirken, erfolgte die Ermittlung der Ausleuchtung der Versuchsfelder. Diese Versuche beinhalteten einerseits die visuelle Beurteilung der jeweiligen Ausleuchtung in der Nacht mit herkömmlicher Straßenbeleuchtung sowie andererseits die Ermittlung der Leuchtdichte. Zur Durchführung der Messungen wurde auf jeder der Versuchsfelder eine Straßenleuchte situiert und die Sichtbarkeit einer Testperson visuell festgehalten. Die Messung der Leuchtdichte und der Farbinformation erfolgte situationsbedingt in Anlehnung an ÖNORM EN 13201-4 [17] (unter Berücksichtigung von ÖNORM EN 13201-3 [18] mit einer orts aufgelösten Leuchtdichtekamera in einer Messhöhe von 1,5 m). Die Beleuchtung der einzelnen Oberflächen erfolgte mit einer herkömmlichen Straßenleuchte (Kofferleuchte 150 Watt), welche mobil auf einem Anhänger montiert wurde.

Die Bestimmung des Reflexionsgrades erfolgte gemäß BS 8493 [19] bei trockenem Oberflächenzustand. An jedem Messpunkt wurde der Mittelwert aus fünf Einzelmessungen bestimmt, danach wurde das Gerät auf dem Messpunkt um 90°, 180° und 270° im Uhrzeigersinn gedreht und die Messung wiederholt. Daraus ergab sich pro Messpunkt ein Mittelwert aus vier Messungen zu je fünf Einzelmessungen. Die Messanordnung ist Abbildung 10 zu entnehmen.

3.2.5 Ermittlung des Einflusses der Oberflächen auf das kleinskalige bis lokale Klima

Die Ermittlungen zur Darstellung des Einflusses der Oberflächen umfassten einen experimentellen Teil und eine auf diesen aufbauende Modellsimulation. Die Messungen sollten die für die Simulation wesentlichen physikalischen Größen und Phänomene erfassen. Dazu zählte die Bestimmung der optischen Eigenschaften der Versuchsflächen, d.h. die Albedo (Reflexions-

vermögen der Versuchsflächen) und des Emissionsvermögens ϵ der Oberflächen. Um die Energiebilanz und hier vor allem die Strahlungsbilanz zu charakterisieren, wurden die einzelnen Strahlungsflüsse im kurzwelligen solaren aber auch im thermisch infraroten (langwelligen) Bereich gemessen.

Über einer Versuchsfläche wurden kontinuierliche Messungen der kurzwelligen und langwelligen Strahlungsbilanz mit Radiometern (siehe Abbildung 11, S. 14) durchgeführt. Über den anderen Flächen wurde die reflektierte Strahlung mit Sensoren, sowie die Oberflächentemperatur (d.h. gleichzeitig auch die emittierte langwellige Strahlung) mit Hilfe von thermischen Infrarotsensoren bestimmt. Zusätzlich zu diesen Größen wurden die Lufttemperatur in 10 cm Höhe, die Oberflächentemperatur mit Thermoelementen, die Lufttemperatur sowie die Windgeschwindigkeit und -richtung nur über einer Fläche – aber repräsentativ für alle Flächen – gemessen.



Abbildung 10: Messanordnung zur Ermittlung des Reflexionsgrades



Abbildung 11: Messeinrichtung zur Bestimmung der Strahlungsbilanz, der Lufttemperatur sowie der Windgeschwindigkeit und -richtung

Eine für Energiebilanzberechnungen in urbanem Gelände notwendige Größe ist die spezifische Wärmekapazität der versiegelten Flächen. Die spezifische Wärmekapazität gibt an, wie viel Energie notwendig ist, um 1 kg einer gewissen Materie um 1 K zu erwärmen. Die Wärmeenergie wird bekanntlich in den urbanen Straßenschluchten in den versiegelten Flächen gespeichert und später wieder an die Luft zurückgegeben. Die Wärmespeicherung ist demgemäß einer der wichtigsten Faktoren, der zur Überhitzung der Städte führt. Die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität wurde im Labor mit aus den Versuchsfeldern entnommenen und zur Verfügung gestellten Proben durchgeführt.

Auf Basis der ermittelten Kennwerte wurden Modellrechnungen auf Basis simulierter Straßenschluchten dreier definierter Szenarien durchgeführt.

Die angenommenen Szenarien waren:

- Hecke zwischen Gehsteig und Straße
- Wand zwischen Gehsteig und Straße
- Keine Trennung zwischen Gehsteig und Straße

Für die Simulationsrechnungen wurden die Kennwerte der Versuchsflächen Asphaltdecke (Feld 4) und White-Topping „weiß“ (Feld 1) ausgewählt.

3.3 Projektergebnisse

3.3.1 Ergebnisse der Bestimmung der Oberflächeneigenschaften der bearbeiteten Asphalttragschichten

Die Auswertung der Oberflächeneigenschaften erfolgte mittels digitalen Oberflächenmodells (DOM) und der herkömmlichen Prüfmethode des Sandflächenverfahrens nach Kaufmann.

Wesentliche Elemente der Oberflächencharakterisierung stellen die Profil-, Flächen- und Volumen Kenngrößen dar. Dabei werden unterschiedlichste Oberflächenparameter ermittelt, indem die Werkstoffoberfläche fiktiv durch eine Ebene (Profilkenngrößen) oder mehrere Ebenen (Flächenkenngrößen) geschnitten wird, oder das Volumen unter Begrenzungsebenen (Volumenkenngrößen) ermittelt wird.

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Flächen- und Volumenanalyse zusammenfassend dargestellt. Tabelle 5 zeigt, dass der größte Wert S_{dr} (Verhältnis wahre zu projizierte Fläche) bei den längs und quer gefrästen Oberflächen festgestellt wurde. Im Gegensatz dazu wurden die größten Rautiefen (rechnerisch am digitalen Oberflächenmodell DOM und mit dem Sandflächenverfahren) bei den längs gefrästen Oberflächen ermittelt.

Tabelle 5: Ausgewählte Parameter der Flächen- und Volumenanalyse (Mittelwerte über alle untersuchten Felder)

Oberflächenzustand	Flächenanalyse	Volumenanalyse	
	S_{dr}	R_t rechnerisch (DOM)	R_t Sandflächenverfahren
	[%]	[mm]	[mm]
unbehandelt	0,23	0,99	0,93
längs gefräst	0,25	1,95	1,76
längs und quer gefräst	0,41	1,69	1,47

Tabelle 6: Bruchmechanische Kennwerte

Oberfläche	Kerb-Spaltzugfestigkeit σ_{KZ} [N/mm ²]	Spezifische Bruchenergie G_F [N/m]
	MW	MW
unbehandelt	1,65	49
längs gefräst	2,41	106
längs und quer gefräst	2,66	93

Tabelle 7: Anforderung an die Oberflächen- und Verbundeigenschaften

	Oberflächeneigenschaften			Verbundeigenschaften	
	R_t	S_{dr}	f_a	σ_{KZ}	G_F
	[mm]	[%]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/m]
Parameter	$\geq 1,5$	$\geq 0,33$	≥ 27	$\geq 2,3$	≥ 90

3.3.2 Ergebnisse der Bestimmung der Verbundkennwerte der Felder mit White-Topping-Bauweise

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Bestimmung der bruchmechanischen Kennwerte für die Verbundfuge zusammengefasst. Die Kerb-Spaltzugfestigkeit kann in Korrelation zur einaxialen Zugfestigkeit bzw. Haftzugfestigkeit gesetzt werden. Die spezifische Bruchenergie ist die Gesamtarbeit, die zum Aufspalten des Interface, d.h. der Verbundzone der beiden Materialien, aufgewendet werden muss.

Die Ergebnisse gemäß Tabelle 6 zeigen, dass die Kerb-Spaltzugfestigkeit bzw. spezifische Bruchenergie für die längs bzw. längs und quer gefräste Oberfläche deutlich über den Werten der unbehandelten Verbundfuge liegen. Beim Vergleich der Oberflächentypen längs gefräst und längs und quer gefräst zeigt sich, dass eine zusätzliche Querfräsung zu einer leichten Erhöhung der Kerb-Spaltzugfestigkeit führt, jedoch die spezifische Bruchenergie nicht weiter erhöht werden kann.

Auf Basis der ermittelten Oberflächen- bzw. Verbundeigenschaften konnten Anforderungen für die Ausführung von zukünftigen White-Topping-Bauweisen definiert werden. Diese sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

3.3.3 Ergebnisse der Ermittlung der Temperaturverläufe

Die höchsten Oberflächentemperaturen wurden generell bei Gussasphalt- und Asphaltfahrbahnoberflächen gemessen. Betonoberflächen lieferten um etwa 10 K geringere Maximaltemperaturen. Bei einem Vergleich der Betonfahrbahnoberflächen untereinander zeigt sich, dass die White-Topping-Fläche „weiß“ die geringste Oberflächentemperatur hervorruft. Der Unterschied zwischen White-Topping „hell“, „normal“ und einer übliche Betondecke ist relativ gering bzw. vernachlässigbar. Abbildung 12 (S. 16) zeigt den Verlauf der Oberflächentemperaturen im Monat Juli.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Materialeigenschaften auf die resultierenden Temperaturen sind bis in eine Tiefe von 12 cm, gemessen von der Oberfläche des jeweiligen Versuchsfeldes, feststellbar. In Abbildung 13 (S. 16) sind die ermittelten Temperaturen in einer Tiefe von 6 cm für den Monat Juli beispielhaft dargestellt. Eindeutig ersichtlich ist, dass Betonoberflächen geringere maximale Temperaturen liefern.

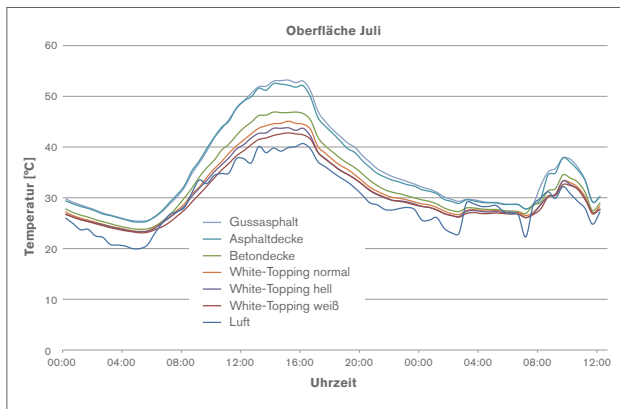


Abbildung 12: Oberflächentemperatur Monat Juli

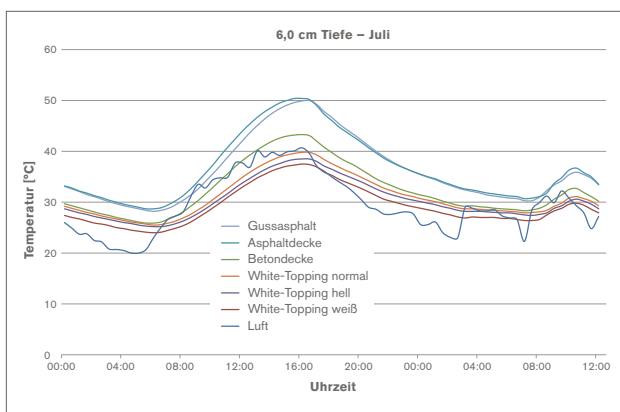


Abbildung 13: Temperaturen in 6 cm Tiefe, Monat Juli

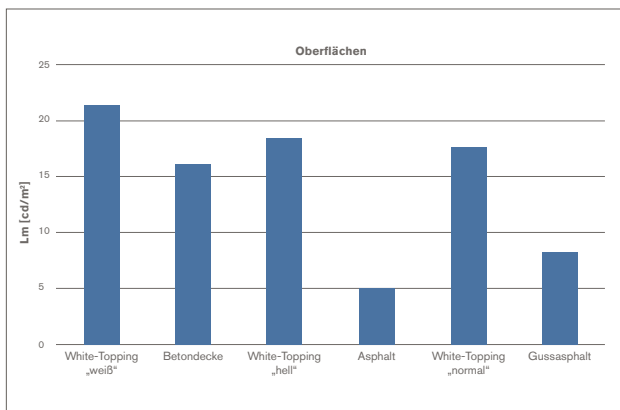


Abbildung 14: Mittlere Leuchtdichte L_m auf den untersuchten Oberflächen

3.3.4 Ergebnisse der Ermittlung der Leuchtdichte und des Reflexionsgrades

Die Ergebnisse der Leuchtdichtebestimmungen an den Prüfflächen sind der Abbildung 14 zu entnehmen.

Im Zuge der Ermittlung der mittleren Leuchtdichte wurden von jedem der Versuchsfelder sogenannte Leuchtdichtebilder erstellt. In Abbildung 15 sind beispielhaft die Leuchtdichtebilder der Asphaltdecke (Versuchsfläche 4) und der Betondecke (Versuchsfläche 2) dargestellt.

Aufgrund der dargestellten Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass Betonoberflächen weitaus höhere Leuchtdichten als Asphalt- bzw. Gussasphaltoberflächen liefern. Zur zusätzlichen Verifizierung der Messdaten erfolgte eine optische Beurteilung der Sichtbarkeit einer Person auf den unterschiedlichen Versuchsfeldern. Abbildung 16 zeigt eine Gegenüberstellung einer Person auf der Betondecke (Versuchsfeld 2) und der Gussasphaltfläche (Versuchsfeld 6) bei gleicher Beleuchtung. Eindeutig feststellbar ist die Tatsache, dass die Person auf der Betonfläche weitaus klarer erkennbar bzw. deren Sichtbarkeit besser und damit generell eine Erhöhung der Sicherheit des Verkehrsteilnehmers möglich ist. Ein optischer Unterschied zwischen den verschiedenen Betonoberflächen war nicht festzustellen.

Zusätzlich wurde an allen Oberflächen der Reflexionsgrad bestimmt. Dieser kann zukünftig zur einfachen bzw. raschen Beurteilung der Helligkeitseigenschaften vor Ort, z.B. im Zuge von Abnahmen auf Baustellen, dienen. Die resultierenden Werte korrelieren gut mit den Ergebnissen der Leuchtdichtebestimmungen. Auch bei dieser Beurteilungsmethode zeigen sich die Vorteile der Betonbauweise gegenüber bituminösen Baustoffen.

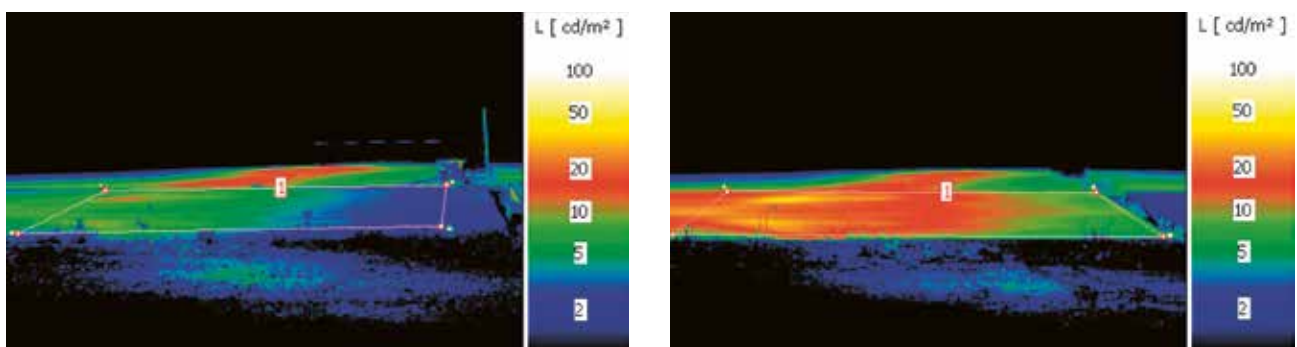


Abbildung 15: Leuchtdichtebilder (links: Asphaltdecke; rechts: Betondecke) [20]



Abbildung 16: Sichtbarkeit einer Person (links: Gussasphalt; rechts: Betondecke)

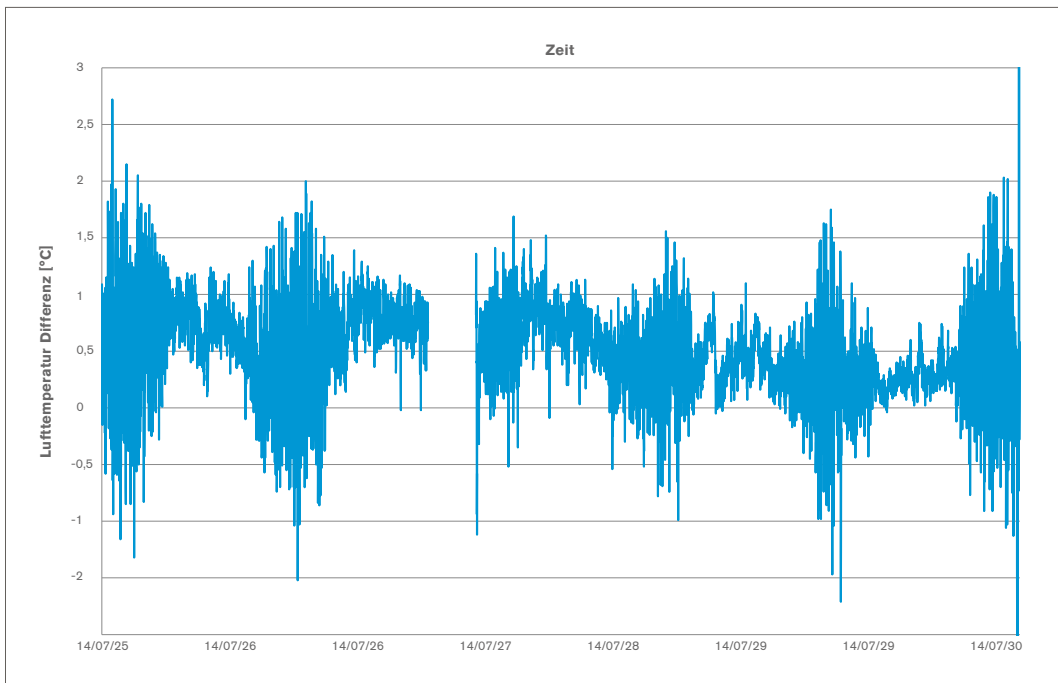


Abbildung 17: Differenz der in 10 cm Höhe gemessenen Lufttemperatur über der Asphaltdecke (Feld 4) minus der gemessenen Lufttemperatur über der White-Topping Fläche „weiß“ (Feld 1).

3.3.5 Ergebnisse der Ermittlung des Einflusses der Oberflächen auf das kleinskalige bis lokale Klima

Die Analyse der in Kapitel 3.2.5 präsentierten Messungen der Strahlungsbilanz und der Oberflächentemperaturen der einzelnen Versuchsflächen zeigen einen eindeutigen Einfluss der Oberflächenalbedo auf die Oberflächentemperatur. Messungen der Oberflächentemperatur mit Thermoelementen und Infrarotsensoren sowie Aufnahmen der Oberflächentemperatur mit einer Thermalkamera zeigten – wie bereits in Kapitel 3.3.3 berichtet – Unterschiede der Oberflächentemperatur von bis zu 15 °C, wobei die Asphaltversuchsfläche Temperaturen bis 53 °C erreichte, und die White-Topping-Fläche mit der höchsten Albedo Temperaturen bis 42 °C aufwies. Messungen der Lufttemperatur mit Thermoelementen in 10 cm Höhe zeigten eine sehr starke Schwankung der Werte aufgrund von Thermik, Turbulenzen und Randeffekten (Einfluss der unterschiedlichen Eigenschaften der von der Umgebung herantransportierten Luftmassen (Abbildung. 17).

Der Einfluss der Bodenalbedo und Materialeigenschaften auf die Lufttemperatur wurde mit Hilfe des Stadtenergiebilanzmodells Envi-met Version 3.99 [21] simuliert. Die als Modelleingabeparameter verwendeten Materialeigenschaften der verschiedenen Versuchsflächen wurden im Labor oder auf dem Versuchsgelände bestimmt und sind in der zusammenfassenden Tabelle 8 ersichtlich. Um Randeffekte zu vermeiden, wurde über das gesamte Modellraster von 150 × 150 m die Fläche als homogene Asphalt- bzw. Betonfläche angenommen.

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der Albedomesungen der sechs Versuchsflächen und der gemessenen maximalen Oberflächentemperaturen zusammengestellt. Die dritte Spalte zeigt die Emissionskonstante, die durch einen Vergleich der gemessenen Oberflächentemperatur (PT100) und der gemessenen langwelligigen Strahlung (Kipp und Zonen 4 Komponenten Radiometer) ermittelt wurde. Spalte 4 stellt die spezifische Wärmekapazität der Materialien dar. Diese wurde im Labor bestimmt.

Tabelle 8: Ergebnisse der Messungen an den sechs Versuchsflächen				
Oberfläche	Albedo	Oberflächen-temperatur [°C]	Emissions-konstante	Spezifische Wärme-kapazität [J/(kg.K)]
Guss-asphalt (Versuchsfeld 6)	0.12	50 ± 1°C	0.95 ± 0.02	901
Asphalt-decke (Versuchsfeld 4)	0.13	52 ± 1°C	0.98 ± 0.02	901
Beton-decke (Versuchsfeld 2)	0.48	48 ± 1°C	0.99 ± 0.02	721
White-Topping „weiß“ (Versuchsfeld 1)	0.57	41 ± 1°C	0.99 ± 0.02	891
White-Topping „hell“ (Versuchsfeld 3)	0.47	44 ± 1°C	0.99 ± 0.02	891
White-Topping „normal“ (Versuchsfeld 5)	0.48	43 ± 1°C	0.99 ± 0.02	891

Die mit Envi-met durchgeführten Simulationen, zeigten eine Temperaturdifferenz zwischen Asphaltoberfläche und White-Topping Oberfläche von ca. 11 °C, wobei die Asphaltoberfläche Temperaturen bis 52 °C erreichte und die White-Topping Oberfläche Temperaturen bis 41 °C. Das in der Mitte des Modellrasters berechnete vertikale Temperaturprofil ist in Abbildung 18 (S. 20) ersichtlich. Die um 15:10 Uhr auftretenden Maxima der Lufttemperatur liegen über der Asphaltfläche in 20 cm Höhe bei 32,2 °C und über der White-Topping-Fläche bei 31,1 °C und ergeben einen Temperaturunterschied von 1,1 °C.

Bei der Abschätzung des sich daraus ergebenden thermischen Stresses auf den Menschen geht nicht nur die Lufttemperatur sondern auch die vom Menschen empfangene kurzwellige und langwellige Strahlung ein. Die wirkenden Strahlungsflüsse auf den menschlichen Körper und die vom Körper empfangene Strahlung werden durch die mittlere Strahlungstemperatur beschrieben.

Diese erreicht um 15 Uhr wegen der reflektierten kurzwelligen Strahlung höhere Maximalwerte von 74,9 °C über dem White-Topping als über dem Asphalt, wo die Werte 66,3 °C betragen. Obwohl die Lufttemperatur über White-Topping geringer ist, zeigen Berechnungen des thermischen Stress Index UTCI (universal thermal climate index) mit 42,7 °C einen etwas höheren thermischen Stress über Beton als über Asphalt, wo der UTCI einen Wert von 41,6 °C erreicht. Die im Rahmen der vorliegenden Studie präsentierten Ergebnisse sind im Einklang mit bereits veröffentlichten Studien [22,23], die auf eine Zunahme des thermischen Stresses durch eine Zunahme der Albedo der Umgebung hinweisen.

Der Einfluss einer Erhöhung der Straßenalbedo auf eine mögliche Verminderung der mittleren Temperatur einer Großstadt wurde in weiterer Folge anhand von Ergebnissen aus der wissenschaftlichen Literatur abgeschätzt.

Nach Akbari und Rose [24] machen versiegelte Flächen ca. 29 bis 44 % der Fläche einer Stadt aus. Unter der Annahme, dass Straßen (ohne Gehsteig) nur 20 % der Flächen ausmachen, würde die Erhöhung der Albedo von Straßen von 0,2 auf 0,5 zu einer Erhöhung der durchschnittlichen Albedo der Stadt von ca. 0,12 führen. Die von Santamouris [25] entwickel-

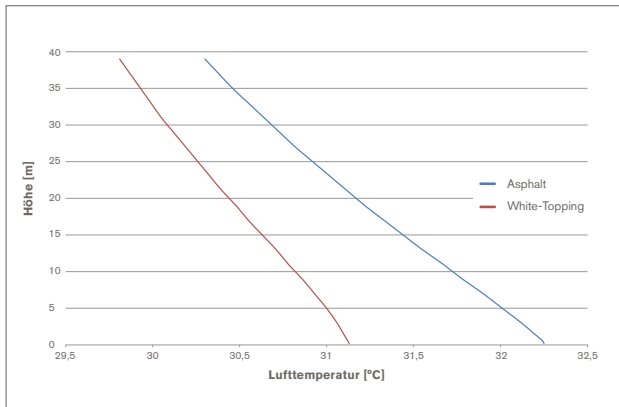


Abbildung 18: Vertikales Profil der Lufttemperatur über Asphalt und über White-Topping. Diese Berechnung wurde mit dem Modell Envi-met und einer homogenen Oberfläche über einer Fläche von 150×150 m durchgeführt. Die Modellsimulation wurde für Höhen von 0,2 bis 39 m durchgeführt.

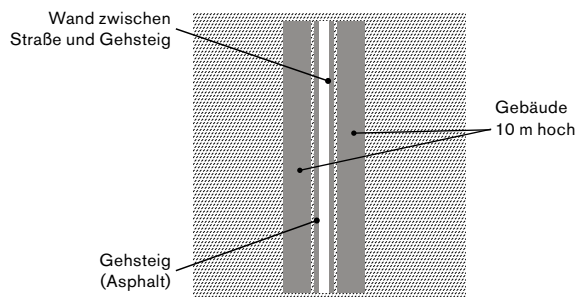


Abbildung 19: Für Envi-met Modellsimulationen definierte Straßenschlucht. Die Straße ist Nord-Süd orientiert. Der Straßenbelag aus White-Topping mit einer Albedo gleich 0,57 oder aus Asphalt (Albedo = 0,12) als Referenzlauf. Der Gehsteig hat eine Asphaltfläche mit einer Albedo gleich 0,12. Die Breiten der Straße und des Gehsteigs betragen 4 bzw. 2 m.

ten Regressionsgleichungen, welche die Abnahme der mittleren und maximalen Temperatur einer Stadt als Funktion einer Änderung der Albedo in Zusammenhang setzen, wurden in weiterer Folge verwendet um den Einfluss auf das großräumige Klima abzuschätzen. Eine Zunahme der Stadtalbedo von 0,12 würde zu einer Abnahme der durchschnittlichen und maximalen täglichen Lufttemperatur an wolkenlosen Sommertagen von 0,4 bzw. 1 °C führen.

Der letzte Schritt der vorliegenden Studie ging der Frage nach, ob die positiven Auswirkungen einer Erhöhung der Albedo durch höherreflektierende Verkehrswege, bei gleichzeitiger Vermeidung eines erhöhten lokalen thermischen Stresses für den Menschen durch eine angepasste Raumplanung genutzt werden könnten. Techniken, um den thermischen Stress des Menschen zu vermeiden, wurden mit dem Modell Envi-met simuliert.

Der thermische Stress des Menschen wurde für eine typische urbane Schlucht (Abbildung 19) für drei Szenarien berechnet: für eine White-Topping Straße und einen Asphaltgehsteig a) ohne, oder mit einer Trennung durch b) eine Wand oder durch c) eine Hecke zwischen Straße und Gehsteig.

Diese Berechnungen wurden mit der Referenzberechnung d.h. Simulation für eine asphaltierte Straße inklusive asphaltiertem Gehsteig verglichen. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 20 und 21 ersichtlich. In der Mitte der urbanen Schlucht über der Straße führt der White-Topping Straßenbelag zu einer Erhöhung der mittleren Strahlungstemperatur und in weiterer Folge zu einer Erhöhung des thermischen Stresses. Dieser Einfluss der höheren kurzwelligen Reflexion des White-Topping Belags ist aber über dem Gehsteig in 1 m Entfernung vom Gehsteigrand nicht mehr ersichtlich.

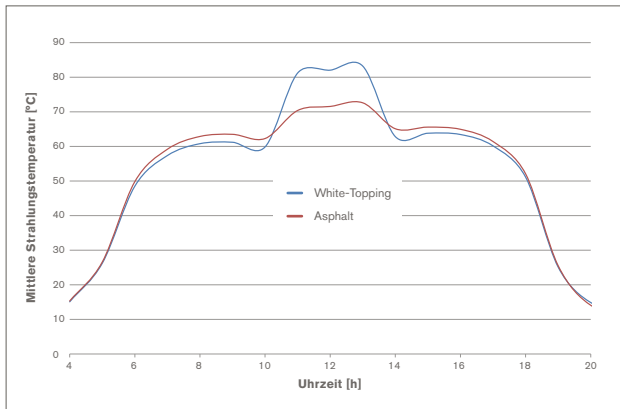


Abbildung 20: Berechneter Tagesgang der mittleren Strahlungstemperatur 1 m über der Mitte der urbanen Straßenschlucht

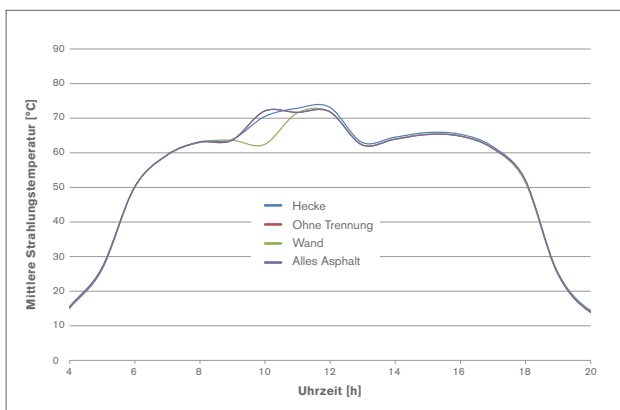


Abbildung 21: Berechneter Tagesgang der mittleren Strahlungstemperatur 1 m über dem linken Gehsteig der urbanen Straßenschlucht.

- Hecke: Straße und Gehsteig sind durch eine 1,6 m hohe Hecke getrennt
- Ohne Trennung: keine Trennung zwischen Straße und Gehsteig (wird von Kurve «Alles Asphalt» überlagert)
- Wand: Straße und Gehsteig sind durch eine 1,6 m hohe Wand getrennt
- Alles Asphalt: Gehsteig und Straße haben einen Asphaltbelag

4. Zusammenfassung

Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen können nachfolgende Ergebnisse dargelegt werden:

- Eine Beurteilung der Oberflächeneigenschaften, z.B. vor dem Auftrag zusätzlicher Betonschichten bei der White-Topping-Bauweise, mittels digitalem Oberflächenmodell (DOM) stellt eine zweckmäßige Alternative zu dem herkömmlichen Sandflächenverfahren nach Kaufmann dar. Dies gilt insbesondere dann, wenn beispielsweise vorgegebene Fräsmuster oder ähnliches zu beurteilen bzw. auf der Baustelle abzunehmen sind.
- Die verschiedenen Oberflächeneigenschaften (z.B. Art der Fräsung) beeinflussen die bruchmechanischen Kennwerte der Verbundzone signifikant.
- Eine geeignete Methode zur Beurteilung der Verbundeigenschaften stellt die Keilspaltmethode dar. Diese umfasst die Ermittlung der Kerb-Spaltzugfestigkeit sowie der spezifischen Bruchenergie. Mit dieser Untersuchungsmethode können Verbundbauteile wie beispielsweise White-Topping Flächen zielsicher beurteilt werden.
- Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen ergeben sich für die Ausführung zukünftiger White-Topping Flächen nachstehende Anforderungen:
 - Oberflächenkennwerte:
 - Rautiefe $R_t \geq 1,5$ mm
 - Verhältnis „wahre“ zu „projizierter“ Fläche $S_{dr} \geq 0,33$
 - Erforderliche Verbundeigenschaften:
 - Kerb-Spaltzugfestigkeit $\sigma_{KZ} \geq 2,3$ N/mm²
 - Spezifische Bruchenergie $GF \geq 90$ N/m
- Mittels Messung der Temperaturen in verschiedenen Tiefenstufen (0 cm, 2,5 cm, 6 cm und 12 cm) konnte das unterschiedliche Erwärmungsverhalten der verschiedenen Materialien dargestellt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass Betonoberflächen um bis zu 10 K geringere Temperaturmaxima als Gussasphalt- bzw. Asphaltflächen aufweisen. Dieses, bis in eine Tiefe von 12 cm nachweisbare, unterschiedliche Erwärmungsverhalten hat naturgemäss auch Auswirkungen auf das Mikroklima in der Stadt.
- Das Ersetzen von Asphaltstraßen durch Straßen mit einem Betonbelag (z.B. White-Topping) mit einer Albedo gleich 0,5 wurden zu einer Abnahme der täglichen Lufttemperatur im Sommer um ca. 1 °C führen. Auch die Modellsimulationen der Lufttemperatur über eine 150 × 150 m homogene Fläche zeigen eine Abnahme der Temperatur um 1 °C über White-Topping verglichen zu Asphalt.
- Gemäß den Daten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien [26] hat sich die Atmosphäre in Wien seit dem Ende des 19. Jahrhunderts um etwa 2° C erwärmt. Alleine in der Periode seit 1980 wurde eine Temperaturzunahme um 1° C festgestellt. Die Verwendung von Beton statt bituminösen Baustoffen für innerstädtische Verkehrsflächen stellt hier demgemäß einen signifikanten Beitrag zur positiven Beeinflussung des innerstädtischen Klimas bzw. der innerstädtischen Erwärmung dar.
- Zur Feststellung, wie sich unterschiedliche Oberflächen auf das subjektive Sicherheitsempfinden der Verkehrsteilnehmer bzw. deren Sichtbarkeit auswirken, erfolgte die Ermittlung der Ausleuchtung der unterschiedlichen Verkehrsoberflächen. Hiezu wurde einerseits die Leuchtdichte gemäß normativen Untersuchungsverfahren ermittelt und andererseits die visuelle Sichtbarkeit von Personen bei verschiedenen Verkehrsflächenbelägen beurteilt. Die Versuchsergebnisse zeigten deutliche Vorteile der zementgebundenen Bauweisen (Betondecke, White-Topping-Bauweise) gegenüber den bituminösen Verkehrsbelägen (Asphaltdecke, Gussasphalt). Mittels der optischen Sichtbarkeitsbeurteilung von Personen konnten die gemessenen Leuchtdichteunterschiede eindeutig bestätigt werden.
- Die Bestimmung des Reflexionsgrades stellt eine vielversprechende Prüfmethode für einfache und rasche Beurteilungen vor Ort, z.B. im Zuge von Abnahmen auf Baustellen, falls lichttechnische Kennwerte gefordert werden, dar. Die resultierenden Werte korrelieren gut mit den Ergebnissen der zeit- und kostenaufwendigen Leuchtdichtebestimmungen.
- Auf Basis des durchgeführten Forschungsprojektes kann zusammengefasst werden, dass einerseits die Oberflächentemperatur und das allgemeine Temperaturniveau im innerstädtischen Bereich (dargestellt am Beispiel Wien) durch Ausführung heller Verkehrsflächen deutlich reduziert und andererseits auch die Sichtbarkeit von Verkehrsteilnehmern bei gleicher Ausleuchtung in der Nacht wesentlich verbessert werden kann. Als effiziente Sanierungsmethode eignet sich hier das System White-Topping besonders gut, da mit dieser Methode sowohl die Tragfähigkeit als auch die Helligkeitseigenschaften von urbanen Verkehrsflächen einfach und kostengünstig verbessert werden können. Zusätzlich konnten mittels der verschiedenen Testflächen Anforderungen für die zukünftige Ausführung solcher Fahrbahnaufbauten definiert werden.

Literatur:

- [1] Matzarakis, A.: Die thermische Komponente des Stadtklimas, Habilitation an der Universität Freiburg, Freiburg. 2001.
- [2] Helbig, A.: Baumüller, J.; Kerschgens, M.J.: Stadtklima und Luftreinhaltung, 2. Aufl. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. 1999.
- [3] Fezer, F.: Das Klima der Städte, Perthes Geographie Verlag, Gotha. 1995.
- [4] Wistuba M., Litzka J., Blab R.: Klimakenngrößen für den Straßenoberbau in Österreich, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenforschung Heft 507, Wien. 2001.
- [5] Nefzger, H., Karipot A.: Einfluß von Strahlung und Mikroklima auf Straßenwetterprognosen, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien. 1997.
- [6] Wiener Umweltschutzabteilung MA 22, Thermalbild vom 15.08.2001 20-22MEZ.
- [7] Google.at/maps, abgerufen im Jänner 2010.
- [8] Zinzi M.: Cool materials and cool roofs: Potentialities in Mediterranean buildings. Adv. Build. Energy. Res. 2010, 4, 201-266.
- [9] Synnefa A., Karlessi T., Gaitani N., Santamouris M., Assimakopoulos DN., Papakatsikas C. : On the optical and thermal performance of cool colored thin layer asphalt used to improve urban microclimate and reduce the energy consumption of buildings. Build Environ, 2011, 46, 38-44.
- [10] Doulos L., Santamouris M., Livada I.: Passive Cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. Sol Energy 2004, 77(2), 231-249.
- [11] Santamouris M., Gaitani N., Spanou A., Saliari M., Giannopoulou K., Vasilakopoulou K., Kardomateas T.: Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas e Design realization and results of the flsvos project, 2012. Building and Environment 53, 128-136.
- [12] RVS 08.17.02: Deckenherstellung, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien. 2011.
- [13] ÖNORM B 3327-1: Zemente gemäß ÖNORM EN 197-1 für besondere Verwendungen - Teil 1: Zusätzliche Anforderungen. Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2005.
- [14] Peyerl, M.: Bruchmechanische und stereoskopische Charakterisierung von Interfaces zementgebundener Werkstoffe, Dissertation an der TU Wien, 2012.
- [15] EN ISO 4287: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren – Benennungen, Definition und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit, Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2008.
- [16] ÖNORM B 3592: Bestimmung der Kerb-Spaltzugfestigkeit und der spezifischen Bruchenergie von Baustoffen, Baustoffverbindungen und Verbundwerkstoffen, Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2011.
- [17] ÖNORM EN 13201-4: „Straßenbeleuchtung – Methoden zur Messung der Gütemerkmale von Straßenbeleuchtungsanlagen“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2005.
- [18] ÖNORM EN 13201-3: Straßenbeleuchtung - Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale, Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2005.
- [19] BS 8493:2008+A1:2010: Light reflectance value of a surface – Method of test. BSI Standards Publication, 2008.
- [20] Laborbericht über die Bestimmung der Leuchtdichte von unterschiedlichen Straßenoberflächen, Erstellt im Rahmen des Forschungsprojektes von der Magistratsabteilung 39 - Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien, 2015.
- [21] Bruse et al, <http://www.envi-met.com/documents/onlinehelpv3/helpindex.htm>.
- [22] Hui Li, 2012 Evaluation of Cool Pavement Strategies for Heat Island Mitigation. Phd University of California.
- [23] Lee, H., Mayer, H., Schindler, D., 2014: Importance of 3-D radiant flux densities for outdoor human thermal comfort on clear sky summer days in Freiburg, Southwest Germany, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 23, No. 3, 315-330.
- [24] Akbari H and Rose L S 2008 Urban surfaces and heat island mitigation potentials J. Human-Environ. Syst. 11 85-101.
- [25] Santamouris, M., 2014: Cooling Cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environment. Solar Energy 103, 682-703.
- [26] <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/lufttemperatur> (Abgerufen am 2015.10.28).

Interessengemeinschaft Betonstrassen

cemsuisse
Verband der Schweizerischen
Cementindustrie
Marktgasse 53, 3011 Bern
Telefon 031 327 97 97
Fax 031 327 97 70
info@cemsuisse.ch
www.cemsuisse.ch

Grisoni-Zaugg SA
ZI Planchy
Postfach 2162, 1630 Bulle 2
Telefon 026 913 12 55
Fax 026 912 74 54
info@grisoni-zaugg.ch
www.groupe-grisoni.ch

Holcim (Schweiz) AG
Hagenholzstrasse 83, 8050 Zürich
Telefon 058 850 68 68
Fax 058 850 68 69
betonstrassen@holcim.com
www.holcim.ch

Holcim (Suisse) SA
1312 Eclépens
Telefon 058 850 92 14
Fax 058 850 92 95
chausseebecon@holcim.com
www.holcim.ch

Implenia Schweiz AG
Binzmühlestrasse 11, 8050 Zürich
Telefon 058 474 75 00
Fax 058 474 95 15
daniel.hardegger@implenia.com
www.implenia.com

Jura-Cement-Fabriken AG
Talstrasse 13, 5103 Wildegg
Telefon 062 887 76 66
Fax 062 887 76 69
info@juracement.ch
www.juracement.ch

Juracime SA
Fabrique de ciment
2087 Cornaux
Telefon 032 758 02 02
Fax 032 758 02 82
info@juracime.ch
www.juracement.ch

KIBAG Bauleistungen AG
Strassen- und Tiefbau
Müllheimerstrasse 4
8554 Müllheim-Wigoltingen
Telefon 052 762 61 11
Fax 052 762 61 14
p.althaus@kibag.ch
www.kibag.ch

Müller Engineering GmbH
Beratung und Expertisen
für Verkehrsflächen in Beton
Kirchstrasse 25, 8564 Wäldi/TG
Telefon 079 247 82 49
gm@müller-engineering.ch
www.müller-engineering.ch

Specogna Bau AG
Steinackerstrasse 55
8302 Kloten
Telefon 044 800 10 60
Fax 044 800 10 80
info@specogna-bau.ch
www.specogna-bau.ch

Synaxis AG Zürich
Thurgauerstrasse 56
8050 Zürich
Telefon 044 316 67 86
Fax 044 316 67 99
c.bianchi@synaxis.ch
www.synaxis.ch

Toggenburger AG
Schlossackerstrasse 20
Postfach 3019, 8404 Winterthur
Telefon 052 244 13 03
Fax 052 244 12 24
info@toggenburger.ch
www.toggenburger.ch

Ciments Vigier SA
Zone industrielle Rondchâtel
2603 Péry
Telefon 032 485 03 00
Fax 032 485 03 32
info@vigier-ciment.ch
www.vigier-ciment.ch

Walo Bertschinger Zürich AG
Postfach 1155, 8021 Zürich
Telefon 044 745 23 11
Fax 044 745 23 65
kurt.glanzmann@walo.ch
www.walo.ch

Vertrieb durch
BETONSUISSE



BETONSUISSE Marketing AG
Marktgasse 53, CH-3011 Bern
Telefon +41 (0)31 327 97 87, Fax +41 (0)31 327 97 70
info@betonsuisse.ch, www.betonsuisse.ch

InformationsZentrum Beton GmbH
Steinhof 39, D-40699 Erkrath
Telefon +49 (0)211 28048-1, Fax +49 (0)211 28048-320
erkrath@beton.org, www.beton.org

Verein Betonmarketing Österreich
Anfragen für den Bereich Betonstraßen an Zement + Beton
Handels- und Werbeges.m.b.H., Reisnerstraße 53, A-1030 Wien
Telefon +43 (0) 1 714 66 85-0
zement@zement-beton.co.at, www.zement.at