

FFG Projekt Nr. 823.803
BMVIT Projekt Nr. GZ.BMVIT-199.678/0002-II/ST2/2009

**Vorgespannte Betonbrücken ohne Abdichtung
und Fahrbahnbelag**

Zusammenfassung

Ziel des Projektes „Vorgespannte Betonbrücken ohne Abdichtung und Fahrbahnbelag“ war eine Bauweise zu entwickeln, mit der Betonbrücken viel dauerhafter und wartungsfreier ausgeführt werden können, als dies mit den derzeit angewandten Baumethoden möglich ist.

Folgende Vorteile sollen mit der im Rahmen dieses Forschungsprojektes untersuchten Bauweise der vorgespannten Betonbrücken ohne Abdichtung und Fahrbahnbelag vereint werden:

- Die gesamte herkömmliche korrosionsgefährdete Bewehrung wird durch vorgespannte Bewehrung ersetzt, die zum Korrosionsschutz in Hüllrohren geführt wird. Die kleine Menge an erforderlicher Anschlussbewehrung wird aus nichtkorrosionsgefährdeter Bewehrung (z.B. nicht rostendem Edelstahl) ausgeführt.
- Durch das Fehlen der korrosionsgefährdeten Bewehrung ist zum Schutz dieser vor eindringenden Chloriden eine Abdichtungsebene nicht mehr erforderlich. Zeit und kostenintensive Instandsetzungsmaßnahmen der Abdichtung sind somit nicht mehr erforderlich.
- Der Fahrbahnbelag wird aus einem dünnen Betonbelag im Verbund mit dem Tragwerk hergestellt. Aufgrund der hohen Verformungsresistenz von Betonbelägen kommt es zu keiner Spurrinnenbildung und daher zu einer wesentlichen Erhöhung der Lebensdauer der Fahrbahnkonstruktion.
- Durch das Aufbringen eines dünnen Fahrbahnbelages im Verbund mit dem Tragwerk kann Eigengewicht eingespart bzw. die Tragsicherheit erhöht werden.
- Das beschriebene Gesamtsystem weist niedrige Kosten über die Nutzungsdauer durch weit geringere Instandsetzungsmaßnahmen auf.

Zur Untersuchung der Ausführung dieser neuen Baumethode wurde das Projekt in folgende Arbeitspakete gegliedert:

Arbeitspaket 1: Programmerstellung und Versuchsbeaufsichtigung (Juli bis Dez. 2010)

Dieses Arbeitspaket diente der Erstellung des Gesamtprogramms sowie der Versuchsbeaufsichtigung. Die Programmerstellung inkludiert die Auswahl von geeigneten Probekörperabmessungen sowie von geeigneten Oberflächenvorbereitungsmaßnahmen in Abstimmung mit allen Projektbeteiligten. Weiters beinhaltet Arbeitspaket 1 die Koordination sämtlicher erforderlicher Arbeiten der Materialbeschaffung, Probekörperherstellung, der Ausbildung der Oberfläche, das Aufbringen der Fahrbahnbetonschicht sowie alle weiteren Versuche zur Ermittlung der Oberflächen- und Verbundeigenschaften.

Arbeitspaket 2: Probekörperherstellung Unterbeton (Aug. 2009)

Die Untersuchungen erfolgten an 4 Großkörpern mit den Abmessungen 750 x 53 x 55 cm zur Durchführung von Dauerschwingversuchen mit teilweise zusätzlicher statischer Beanspruchung und abschließender Verbundprüfung. Zur Ermittlung des Einflusses von unterschiedlichen Oberflächenausbildungen bzw. Bearbeitungen erfolgte zusätzlich der Herstellung von 12

Versuchskörpern mit den Abmessungen 53 x 43 x 10 cm. Die Herstellung der Großkörper erfolgte in Zusammenarbeit mit der Fa. Trepka.

Nach der Herstellung der Schalung erfolgte das Einbringen des Unterbetons der Betonsorte C30/37/F45/GK16/B3 mit begleitender Betonprüfung. Begleitend wurde die Festigkeits- und Steifigkeitsentwicklung geprüft. Eine genaue Zusammenstellung der Probekörperherstellung ist Anhang A zu entnehmen.

Arbeitspaket 3: Vorbereiten der Oberfläche (Sep. 2009)

Die Oberflächenprofilierung der in Arbeitspaket 3 beschriebenen Probekörper erfolgte teilweise direkt nach dem Verdichten und/oder teilweise im bereits erhärteten Zustand. Bei den Versuchskörpern mit den Abmessungen 53 x 43 x 10 cm kamen folgende unterschiedliche Oberflächenprofilierungsmaßnahmen zur Anwendung:

1. Eindringen von Dreikantleisten in den Frischbeton im Abstand von etwa 4 cm mit abschließenden Hochdruckwasserstrahlen (Pumpendruck etwa 1200 bar)
2. Eindringen von Stahlrohren in den Frischbeton im Abstand von etwa 2,5 cm mit abschließenden Hochdruckwasserstrahlen (Pumpendruck etwa 1200 bar)
3. Glattes Abziehen der Fläche mit abschließendem Hochdruckwasserstrahlen (Pumpendruck etwa 1200 bar), Oberflächenvorbereitung gemäß RVS 15.02.34 für die Herstellung von Aufbeton auf Fahrbahnplatten
4. Herstellen einer glatten Oberfläche durch Übrütteln der Versuchskörper
5. Glattes Abziehen der Fläche
6. Strukturieren der Oberfläche mit einem Stahlrechen mit abschließendem Hochdruckwasserstrahlen (Pumpendruck etwa 1200 bar)

Bei den Versuchskörpern mit den Abmessungen 750 x 53 x 55 cm kamen folgende unterschiedlichen Oberflächenvorbereitungsmaßnahmen zur Anwendung:

1. Strukturieren der Oberfläche mit einem Stahlrechen mit abschließendem Hochdruckwasserstrahlen (Pumpendruck etwa 1200 bar)
2. Glattes Abziehen der Fläche mit abschließendem Hochdruckwasserstrahlen (Pumpendruck etwa 1200 bar), Oberflächenvorbereitung gemäß RVS 15.02.34 für die Herstellung von Aufbeton auf Fahrbahnplatten

Arbeitspaket 4: Ermittlung der Oberflächeneigenschaften (Dez. 2009 – Mai. 2010)

Die Ermittlung der Oberflächeneigenschaften erfolgte durch Bestimmung der Rautiefe mit der Sandfleckmethode gemäß EN 1766. Bei diesem Verfahren wird eine eindeutig definierte Menge an Sand bzw. Glaskugeln auf eine Oberfläche aufgebracht und mit einer Holzscheibe mit Hartgummiauflage verteilt. Aufgrund des Durchmessers des Kreises kann das Volumen unter den höchsten Profilspitzen ermittelt werden und es können somit indirekt Rückschlüsse auf die Rauheit der Oberfläche getroffen werden.

Mit dieser Methode können die Oberflächeneigenschaften nur ungenügend erfasst werden, da nur ein Einzelwert die Rautiefe bestimmt wird. Um mehr Informationen über die unterschiedlichen Oberflächenausbildungen zu erhalten, erfolgte die Untersuchung der Oberflächen zusätzlich mit einem photogrammetrischen Verfahren. Hierbei wird die Oberfläche mit zwei, um wenige Grad verdrehten Bildern, aufgenommen und mit Hilfe einer Software in ein dreidimensionales Bild verwandelt. Aufgrund von Analysetools wie Linien-, Flächen- oder Volumsanalyse wurden die Oberflächeneigenschaften exakt erfasst. Dies ermöglicht eine genaue Charakterisierung von Oberflächeneigenschaften und somit die Herstellung eines Zusammenhangs zwischen Oberflächen- und Verbundeigenschaften.

Arbeitspaket 5: Aufbringen des Oberbetons (Sep. 2009)

Nach Erfassung der Oberflächeneigenschaften erfolgte das Aufbringen des Oberbetons auf die unterschiedlich strukturierten Flächen. Hiefür wurde eine spezielle Rezeptur für einen Straßenoberbeton mit Waschbetonstruktur in Anlehnung an RVS 08.17.02 entworfen. Der Beton entspricht, mit geringfügigen Abweichungen aufgrund der im Fertigteilwerk zur Verfügung stehenden Betonausgangsstoffe, der Betonsorte Straßenoberbeton OB GK11 F52.

Das Einbringen des Oberbetons erfolgte sowohl in die Großkörper mit den Abmessungen 750 x 53 x 55 cm als auch in die Versuchskörper mit den Abmessungen 53 x 43 x 10 cm. Begleitend wurde die Festigkeits- und Steifigkeitsentwicklung geprüft. Eine genaue Zusammenstellung der Probekörperherstellung ist Abschnitt 3.1 zu entnehmen.

Arbeitspaket 6: Ermittlung der Verbundeigenschaften (Jän. 2010 – Mai 2010)

Die Ermittlung der Verbundeigenschaften erfolgte in diesem Arbeitspaket an den Probekörpern mit den Abmessungen 53 x 43 x 10 cm. Geprüft wurde die Abreißfestigkeit gemäß ONR 23303 und die Verbundeigenschaften mit der Keilspaltmethode nach Tschegg.

Durch Prüfung der Abreißfestigkeit konnten die normgemäßen Anforderungen an die Verbundeigenschaften ermittelt werden. Diese Informationen liefern jedoch nur einen Einzelwert und lassen daher nur bedingt Rückschlüsse auf die tatsächlichen Verbundeigenschaften zu. Um genauere Informationen über den Verbund durch Bestimmung von bruchmechanischen Kennwerten zu erhalten, erfolgte auch die Prüfung des Verbundes durch die Keilspaltmethode nach Tschegg. Die Auflistung, Auswertung und Gegenüberstellung dieser Werte ist Anhang A zu entnehmen.

Arbeitspaket 7: Ermüdungsversuche an Großkörpern (Aug. 2009- Feb. 2010)

An den hergestellten Großkörpern mit den Abmessungen 53 x 43 x 10 cm wurden Ermüdungsversuche (Dauerschwingversuche) mit 4 Mio. Lastwechselraten durchgeführt. Es wurde 2 Träger als Zugzonenergänzung (ZZE) und 2 Träger als Druckzonenergänzung (DZE) untersucht.

Im Rahmen dieser Untersuchungen erfolgten die Messung der Auflagerreaktionen, der Verformungen, der Entwicklung der Prüffrequenz und die Messung der Relativverschiebung der Verbundfuge.

Eine genaue Zusammenstellung ist dem Endbericht des Instituts für Tragkonstruktionen – Betonbau der technischen Universität Wien in Anhang B zu entnehmen.

Arbeitspaket 8: Ermittlung der Verbundeigenschaften an Großkörpern

Zusätzlich zu den Kleinkörperversuchen, die primär zur Beurteilung einer möglichst günstigen Oberflächenvorbereitung herangezogen wurden, erfolgte auch die Prüfung der Verbundeigenschaften an den Großkörpern nach den Ermüdungsversuchen durch Prüfung der Abreißfestigkeit und der Verbundeigenschaften mit der Keilspaltmethode nach Tschegg.

Diese Untersuchungen dienten neben der optischen Beurteilung zur Feststellung, ob die Verbundeigenschaften durch dynamische und zusätzliche statische Beanspruchung abnehmen.

Arbeitspaket 9: Versuchsauswertung und Abschlussbericht (März 2010 - Juni 2010)

Dieses Arbeitspaket beinhaltet die Zusammenstellung und Auswertung aller Versuchsergebnisse sowie die Dokumentation und Erstellung des Abschlussberichtes.

Zusammenfassung:

Alle geplanten Arbeiten konnten zeitgerecht und teilweise früher als geplant in guter Zusammenarbeit mit allen Projektbeteiligten, insbesondere der Fa. Trepka und der technischen Universität Wien Institut für Tragkonstruktionen – Betonbau sowie Labor für Materialwissenschaften, durchgeführt werden. Eine genaue Zusammenstellung aller Arbeiten ist den Endberichten aus Anhang A und Anhang B zu entnehmen.

Erreichte Ziele

Rezepturenentwicklung

Das Schwinden des Tragwerksbetons stellt einen wichtigen Einflussfaktor für die Verbundeigenschaften zwischen Tragwerksbeton und Oberbeton dar. Als wichtige Eingangsgröße für die Auswertung der Ermüdungsversuche wurden die Festigkeits- und Steifigkeitsentwicklung der Rezepturen C30/37/F45/GK16/B3 (Tragwerksbeton) und OB GK11 F52 (Oberbeton) ermittelt.

In Abbildung 1 ist exemplarisch die Differenz des Schwindens zwischen Tragwerksbeton und Aufbeton (Oberbeton) dargestellt.

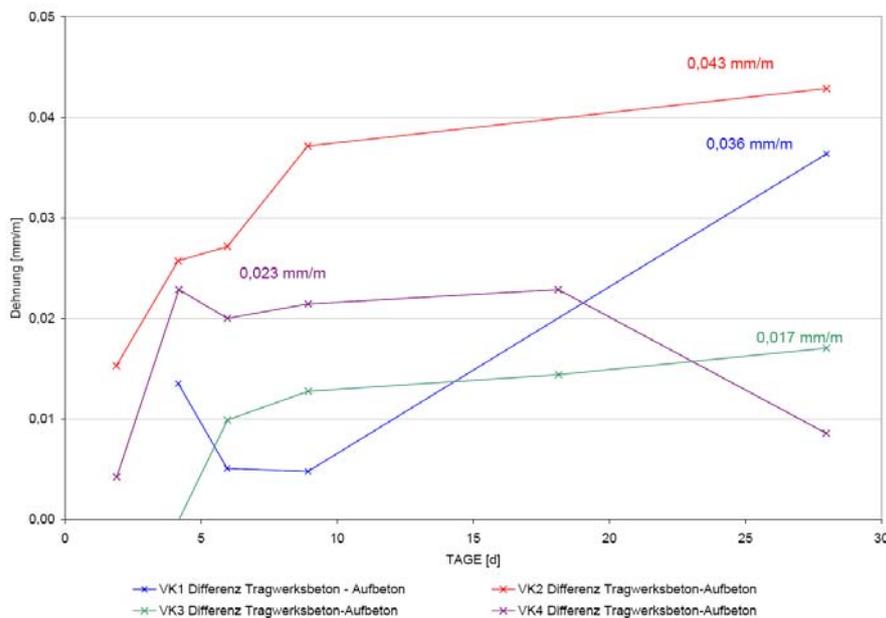


Abbildung 1: Differenz Schwinden Tragwerksbeton - Oberbeton (Aufbeton) (Grafik TU Wien)

Abbildung 1 zeigt, dass durch Verwendung eines schwindarmen Fahrbahnbetons die vorgegebenen Werte der maximalen Schwinddehnung eingehalten werden konnten (0,35mm/m nach 56 Tagen). Außerdem haben sich in der Fuge keine nennenswerten Zwangsspannungen eingestellt, da die Differenz des Schwindens zwischen Tragwerksbeton und Oberbeton sehr gering war. Die beiden Betonschichten sind nach dem Aufbringen der Oberbetonschicht annähernd gleich geschwunden. Die Zwangsspannungen zwischen den beiden Schichten bzw. daraus resultierende Rissbildung konnte dadurch minimiert werden. Die bei den durchgeführten Versuchen in der Verbundfuge entstandenen Kräfte konnten vom Haftverbund bzw. bei der Druckzonenergänzung noch zusätzlich von den Reibungswiderständen übernommen werden.

Oberflächenprofilierung

Im frischen Zustand erfolgte das Profilieren der Oberflächen mit unterschiedlichen Methoden zur Untersuchung der für optimalen Verbund günstigsten Oberflächenstruktur. Diese Profilierungsmaßnahmen sollten einfach auf der Baustelle herstellbar sein und der Oberfläche zur

besseren Verzahnung eine gewisse Makrorauheit verleihen. In Tabelle 1 sind die unterschiedlichen, untersuchten Oberflächenprofilierungsmaßnahmen zusammengestellt.

Tabelle 1: Profilierungsmaßnahme der Oberfläche im Frischbeton sowie anschließende Bearbeitung des erhärteten Betons.

Nr.	Bezeichnung	Beschreibung
1	Dreikantleisten + HDWS	Eindrücken von Dreikantleisten in den Frischbeton im Abstand von etwa 4 cm mit abschließendem Hochdruckwasserstrahlen (Pumpendruck etwa 1200 bar)
2	Stahlrohr + HDWS	Eindrücken von Stahlrohren in den Frischbeton im Abstand von etwa 2,5 cm mit abschließendem Hochdruckwasserstrahlen (Pumpendruck etwa 1200 bar)
3	Glatt + HDWS	Glattes Abziehen der Fläche mit abschließendem Hochdruckwasserstrahlen (Pumpendruck etwa 1200 bar), Oberflächenvorbereitung gemäß RVS 15.02.34 für die Herstellung von Aufbeton auf Fahrbahnplatten
4	Glatt mit Feinteilanreicherung	Herstellen einer glatten Oberfläche mit Feinteilanreicherung im oberen Bereich durch Überrütteln der Probekörper
5	Glatt abgezogen	Glattes Abziehen der Fläche
6	Stahlrechen + HDWS	Strukturieren der Oberfläche mit einem Stahlrechen mit abschließendem Hochdruckwasserstrahlen (Pumpendruck etwa 1200 bar)

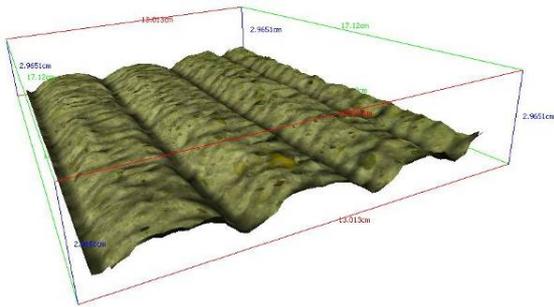
Die Prüfung der Oberflächenstruktur erfolgt mit dem Sandflächenverfahren nach Kaufmann. Dieses Verfahren wurde ursprünglich entwickelt, um die Rauheit bzw. Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen zu untersuchen, und dient zur Bestimmung der Rautiefe als Kennzahl für die Makrorauheit oder Textur einer Oberfläche.

Bei den Versuchen zeigte sich jedoch, dass die Bestimmung der mittleren Rautiefe für stark strukturierte Oberflächen keine zuverlässigen Aussagen liefert. Daher erfolgte zusätzlich die Ermittlung der Oberflächentextur mit einem stereoskopischen Verfahren. Dieses Abbildungsverfahren von Oberflächen basiert auf den Grundlagen der photogrammetrischen Erfassung der Erdoberfläche. Mit Hilfe dieses Verfahrens kann anhand von zwei Bildern der genaue räumliche Ort von einzelnen Punkten bestimmt werden.

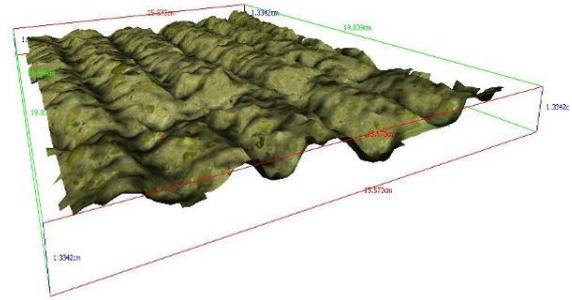
Zur Auswertung der mit diesem Verfahren ermittelten Oberflächeneigenschaften stehen drei Analysetools zur Verfügung

- Profilanalyse
Die Profilanalyse berechnet unterschiedliche Parameter anhand einer auf der Probe frei definierbaren Linie und stellt diese grafisch dar.
- Flächenanalyse
Die Flächenanalyse berechnet unterschiedliche Parameter anhand einer auf der Probe definierten Fläche und stellt diese grafisch dar.
- Volumenanalyse
Die Volumenanalyse analysiert die gesamte Oberfläche des zu untersuchenden Werkstoffes und bietet die Möglichkeit, ein fiktives Netz auf die Baustoffoberfläche zu legen und Volumina zwischen der Baustoffoberfläche und der fiktiv eingezogenen Ebene zu berechnen.

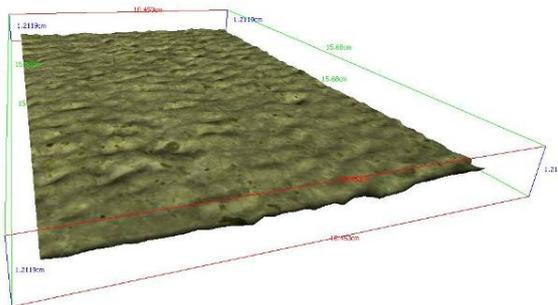
In Abbildung 2 sind die dreidimensional aufgenommen Oberflächen der Volumenanalyse für die unterschiedlichen Oberflächenprofilierungsmaßnahmen zusammengestellt.



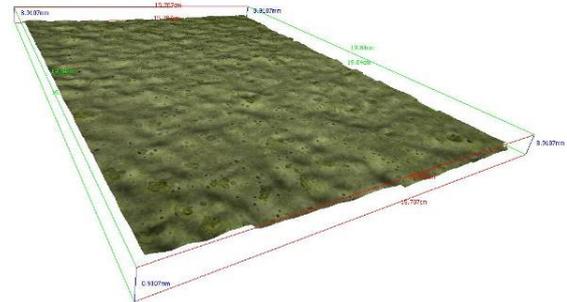
Nr. 1 Dreikantleisten + HDWS



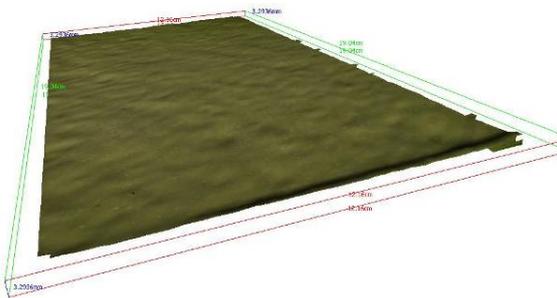
Nr. 2 Strahlrohr + HDWS



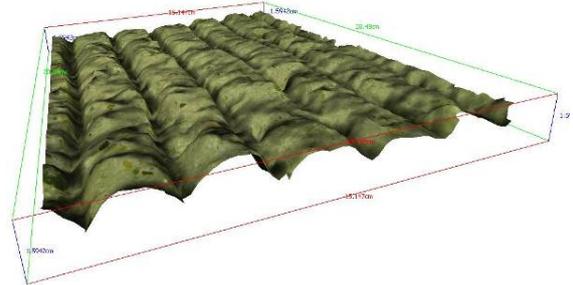
Nr. 3 Glatt + HDWS



Nr. 4 Glatt mit Feinteilanreicherung



Nr. 5 Glatt abgezogen



Nr. 6 Stahlrechen + HDWS

Abbildung 2: Dreidimensional dargestellte Oberflächen der Volumenanalyse

Abbildung 3 zeigt, dass eine sehr gute Übereinstimmung der ermittelten Rautiefe mit dem Sandflächenverfahren und der Rautiefe ermittelt aus dem Gesamtvolumen unter den höchsten Profilerhebungen (RTSv) hergestellt werden kann. Dadurch ist es möglich, Zusammenhänge zwischen den über Jahrzehnten gesammelten Informationen aus der Bestimmung der Rautiefe mit dem Sandflächenverfahren und der Bestimmung der Oberflächeneigenschaften mit dem stereoskopischen Verfahren herzustellen. Darüber hinaus ist es mit den stereoskopischen Verfahren möglich, die Oberflächeneigenschaften nicht nur an waagrechten sondern auch an senkrechten oder geneigten Flächen zu bestimmen und mit Werten bzw. Anforderungen, bestimmt mittels Sandflächenverfahren, gegenüberzustellen.

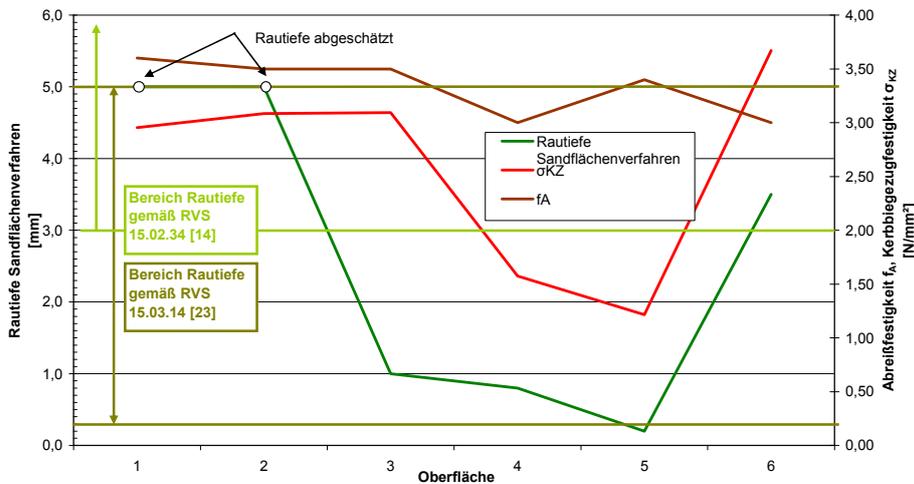


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen der mit den Sandflächenverfahren nach Kaufmann ermittelten Rauheit, der Abreißfestigkeit und der Kerb-Spaltzugfestigkeit in Relation zur gemäß RVS 15.02.34 und RVS 15.03.14 geforderten Oberflächenrauheit

Um Zusammenhänge zwischen Verbundeigenschaften und Oberflächenprofilierungsmaßnahmen bzw. Parametern der Flächenanalyse herzustellen, wurden diese den ermittelten Werten der Abreißfestigkeit und Kerb-Spaltzugfestigkeit gegenübergestellt. Abbildung 4 zeigt die Abreiß- und die Kerb-Spaltzugfestigkeit in Relation zur den ermittelten Oberflächenparametern der Flächenanalyse.

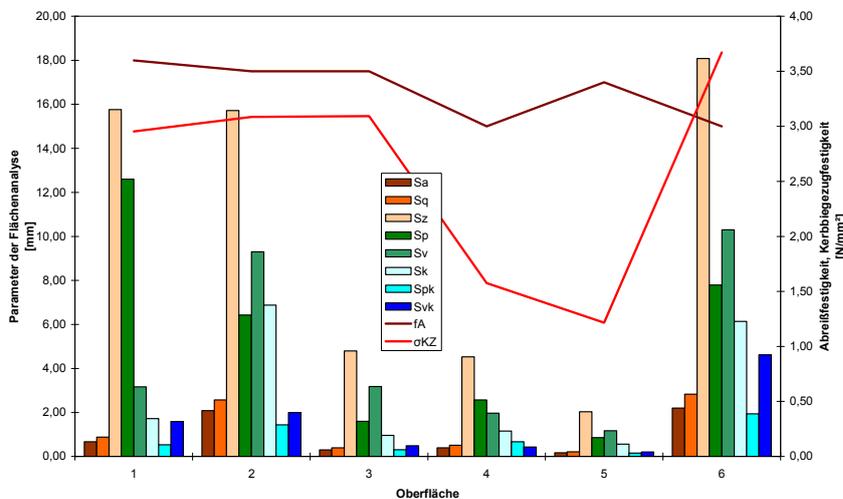


Abbildung 4

Zusammenhang zwischen Parametern

der Flächenanalyse und Abreißfestigkeit (fA) bzw. Kerb-Spaltzugfestigkeit (σKZ)

Aufgrund dieser Ergebnisse kann ein genereller Zusammenhang zwischen den für die Verbundfestigkeit wesentlichen Parametern der Flächenanalyse und den Verbundeigenschaften hergestellt werden. Aufgrund der gewonnenen Informationen war es möglich, Grenzen für Parameter der Flächenanalyse festzulegen, um Mindestverbundeigenschaften gewährleisten zu können. Eine detaillierte Zusammenstellung ist Anhang A zu entnehmen.

Verbundeigenschaften

Die Beurteilung der Verbundeigenschaften erfolgte mit dem normativ verankerten Verfahren der Prüfung der Abreißfestigkeit sowie zur Bestimmung von bruchmechanischen Kennwerten mit der Keilspaltmethode nach Tschegg. In Abbildung 5 sind exemplarisch die Ergebnisse der ermittelten Abreißfestigkeit, Kerb-Spaltzugfestigkeit bzw. die ermittelte spezifische Bruchenergie zusammengestellt.

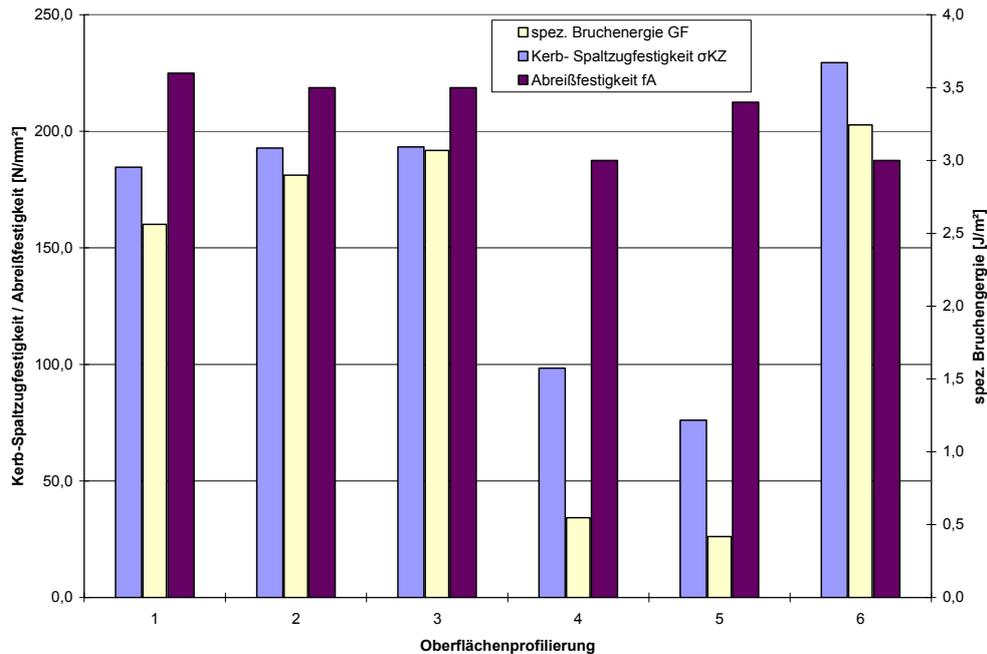


Abbildung 5 Zusammenhang Abreißfestigkeit (f_A), Kerb-Spaltzugfestigkeit (σ_{KZ}) und spezifische Bruchenergie (G_F) der unterschiedlich strukturierten Oberflächen

Aus Abbildung 5 ist zu erkennen, dass die ermittelten Werte der Abreißfestigkeit (f_A) alle etwa auf dem gleichen Niveau liegen. Erst durch die Bestimmung der bruchmechanischen Kennwerte Kerb-Spaltzugfestigkeit (σ_{KZ}) und spezifische Bruchenergie (G_F) ist es möglich, zwischen den Verbundeigenschaften der unterschiedlichen Oberflächen zu unterscheiden. Eine genaue Zusammenstellung ist Anhang A zu entnehmen.

Ziele, die nicht erreicht werden konnten

Herstellung der Oberflächenprofilierung:

Die Herstellung einer rüttelrauen Oberfläche war mit den geplanten Probekörperabmessungen bzw. mit der Verdichtungsenergie am Rütteltisch nicht möglich. Die Probekörper wurden dennoch verwendet und lieferten die Erkenntnis, dass das alleinige Festlegen einer gewissen Rauheit als Anforderung an Oberflächenvorbereitungsmaßnahmen nicht zielführend ist. Vielmehr ist zusätzlich die Güte des Betons an der Oberfläche bzw. ein freigelegtes Korngerüst ebenso von wesentlicher Bedeutung.

Zusammenhang Rautiefe - Verbundeigenschaften

Exakte Zusammenhänge zwischen den ermittelten Parametern der Oberflächentextur und der Verbundfestigkeit von Beton konnten aufgrund der Komplexität der Fragestellung und des Umfangs

der Prüfungen nicht in Ihrem vollen Umfang gefunden werden. Weiters stellt eine Auswahl der für guten Verbund aussagekräftigsten Parameter eine gewisse Schwierigkeit dar. Weitere Untersuchungen mit Variation von weniger Parametern (HDWS mit unterschiedlicher Intensität, unterschiedlich tief profilierte Oberflächen mit gleicher Wellenlänge) wären hierfür aufschlussreich.

Zusammenfassung

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen im Labor sowie an praxisnahen Großkörpern konnte bestätigt werden, dass die Bauweise in der Praxis dauerhaft ausgeführt werden kann. Folgende Erkenntnisse können zusammengefasst werden:

- Mit photogrammetrischen Verfahren zur Ermittlung der Oberflächentextur ist es möglich, die Oberfläche exakt mit einem dreidimensionalen Modell zu erfassen und daraus eine Fülle von Parametern aus der Linien-, Flächen und Profilanalyse zu ermitteln. Unterschiedlich strukturierte Oberflächen können damit sehr gut und exakt erfasst und unterschieden werden. Mit der Volumenanalyse ist es möglich, den Rauminhalt unter den Profilspitzen fiktiv zu füllen und so eine Relation zur Sandflächenmethode herzustellen.
- Zusammenhänge zwischen den ermittelten Parametern der Oberflächentextur und der Verbundfestigkeit von Beton existieren derzeit nicht bzw. wurde auch in der Auswertesoftware nur allgemein für diverse Werkstoffe angegeben. Eine Auswahl der für guten Verbund aussagekräftigsten Parameter stellte eine gewisse Schwierigkeit dar. Weitere Untersuchungen mit Variation von weniger Parametern (HDWS mit unterschiedlicher Intensität, unterschiedlich tief profilierte Oberflächen mit gleicher Wellenlänge) wären hierfür aufschlussreich.
- Die Bestimmung der Abreißfestigkeit zeigte, dass sich die ermittelten Werte der unterschiedlich profilierten Oberflächen nur geringfügig unterscheiden. Es kann mit dieser Bestimmungsmethode keine verlässliche Aussage über ausreichende Oberflächenvorbereitung bzw. ausreichenden Verbund getroffen werden.
- Bei der Bestimmung der bruchmechanischen Kennwerte mit der Keilspaltmethode nach E. K. Tschegg zeigten sich deutliche Unterschiede der Verbundeigenschaften der unterschiedlich profilierten Kleinkörper. Die Oberflächenprofilierungsmaßnahmen 6 (Stahlrechen + HDWS) und 3 (glatt + HDWS) zeigten die besten Verbundeigenschaften dicht gefolgt von den Oberflächenprofilierungsmaßnahmen 2 (Stahlrohr + HDWS) und 1 (Dreikanteleisten + HDWS). Oberflächenprofilierungsmaßnahmen 4 (glatt mit Feinteilanreicherung) und 5 (glatt abgezogen) wiesen nur ungenügende Verbundeigenschaften auf.
- Ein genereller Zusammenhang zwischen den für die Verbundfestigkeit wesentlichen Parametern der Flächenanalyse und den Verbundeigenschaften wurde festgestellt. Es ist sinnvoll, Untergrenzen für bestimmte Parameter der Flächenanalyse festzulegen, um Mindestverbundeigenschaften zu gewährleisten.
- Die Oberflächenprofilierungsmaßnahme 4 (glatt + HDWS) stellt einen Spezialfall dar, da trotz einer gewissen Oberflächenstruktur sehr ungünstige Verbundeigenschaften festgestellt wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es durch das Übrütteln der Proben zu einer Feinteilanreicherung im Bereich des Interfaces kam. Dies zeigt, dass eine strukturierte Oberfläche mit ausreichender Rautiefe bzw. entsprechenden Oberflächenparametern allein für gute Verbundeigenschaften nicht ausreichend ist. Vielmehr ist zusätzlich die Güte des Betons an der Oberfläche bzw. ein freigelegtes Korngerüst ebenso von wesentlicher Bedeutung.
- Eine gute Korrelation zwischen den Parametern der Flächenanalyse S_z (maximale Höhe der ausgewählten Fläche) und S_v (größte Tiefe) und den Verbundeigenschaften wurden festgestellt. Oberflächenprofilierungsmaßnahme 3 stellt eine gewisse Ausnahme dar, da trotz relativ niedriger Parameter der Flächenanalyse (festgelegte untere Grenze für gute Verbundeigenschaften) sehr gute Verbundeigenschaften festgestellt wurden.

- Es wurde eine sehr gute Korrelation zwischen der aus der Volumenanalyse errechneten Rautiefe (Gesamtvolumen unter den Profilerhebungen) und der Rautiefe ermittelt mit dem Sandflächenverfahren nach Kaufmann hergestellt. Dadurch ist es möglich, bestehende Anforderungen an die Rautiefe mit ermittelten Parametern der photogrammetrischen Ermittlung der Oberflächeneigenschaften zu verbinden.
- Aufgrund der Versuchsergebnisse konnte gezeigt werden, dass die bisherigen Anforderungen an die Rautiefe gemäß RVS 15.02.34 bzw. 15.03.14 nicht in den gesamten, in den Richtlinien angegebenen Bandbreiten mit guten Verbundeigenschaften einhergehen. Gemäß den Erkenntnissen an den unterschiedlich profilierten Oberflächen ist eine Rautiefe von 1 bis 5 mm zweckmäßig. Eine alleinige Beurteilung der Rautiefe ist jedoch meist nicht ausreichend.
- Die Methode des vorgespannten Tragwerks ohne der Verwendung von schlaffer Bewehrung weist in Hinblick auf das Rissverhalten sehr gute Eigenschaften auf, da das Tragwerk unter Gebrauchslast ungerissen bleibt. Da der Fahrbahnbeton nicht der Wirkung der Vorspannung unterliegt, war das Rissverhalten von besonderem Interesse. Wird der Fahrbahnbeton auf Druck beansprucht, so entstehen keine Risse im Fahrbahnbeton unter Gebrauchslast. Wird der Fahrbahnbeton auf Zug beansprucht, so entstehen unter Gebrauchslast bereits Risse im Fahrbahnbeton. Aufgrund der guten Verbundwirkung zwischen den beiden Betonschichten kommt es zu einer risseverteilenden Wirkung im Fahrbahnbeton. Da der Tragwerksbeton vorgespannt ist und unter Gebrauchslast elastisches Verhalten aufweist, bleiben die Rissweiten in einem Größenordnungsbereich von 0,08 mm unter Gebrauchslast. Bei schlaff bewehrten Stahlbetontragwerken sind Rissweiten unter Gebrauchslast von bis zu 0,2 mm zulässig. Da sich diese Risse nur im Fahrbahnbeton befinden und dieser unbewehrt ist, stellen diese Risse im Fahrbahnbeton keine nennenswerte Reduktion der Dauerhaftigkeit dar. Es wird eventuell zu einer erhöhten Chloridanreicherung des Betons in diesen Rissen kommen, jedoch liegt der kritische Chloridgehalt bei unbewehrtem Beton nach [2] 2,5-mal höher als bei Stahlbeton. Da dieser Fahrbahnbeton eine Verschleißschicht für den Verkehr darstellt, kann dieser bei Bedarf ausgetauscht werden und somit auch die angereicherten Chloride.
- In Hinblick auf die Ermüdung weist die Vorspannung günstige Eigenschaften auf. Ein ungerissener Querschnitt führt zu niedrigeren Spannungen und Spannungsamplituden im Beton, Spannstahl und Verbundfuge.