

Hochwertiges Recycling von Beton und Geotextil

FA 8.186

Forschungsstelle: Hochschule Anhalt (FH), Dessau (Prof. Dr.-Ing. W. Weingart)

Bearbeiter: Wieland, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Dezember 2009

1. Aufgabenstellung

Mit Einführung der Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO), Ausgabe 2001 wurde eine neue Bauweise (Bauweisen mit Betondecke, Tafel 2, Zeilen 1.1 bis 1.3) in das Regelwerk aufgenommen, bei der zwischen dem Deckenbeton und der darunter liegenden hydraulisch gebundenen Schicht ein Geotextil (Vliesstoff) angeordnet wird. Diese Bauweise stellt eine noch relativ junge Standardbauweise dar. Insbesondere liegen noch keine hinreichenden Erfahrungen über das Recyclingverhalten, die Recyclingfähigkeit und die Verwendbarkeit der aus einem "Beton auf Geotextil" gewonnenen rezyklierten Gesteinskörnungen vor.

Derzeit werden derartige rezyklierte Gesteinskörnungen überwiegend in Tragschichten ohne Bindemittel verwendet.

2. Zielsetzung

Ziel der Forschungsarbeit ist es, anhand einer umfangreichen Literaturrecherche, Möglichkeiten für eine Wiederverwendung zu ermitteln. Weitere Ziele bestehen darin, in systematisch angelegten Labor- und Praxisversuchen die Recyclingfähigkeit von Deckenbeton auf Geotextil sowie einen möglichst hochwertigen Einsatz einer daraus gewonnenen rezyklierten Gesteinskörnung nachzuweisen.

3. Methodik des Vorgehens

- Untersuchung des Verbundverhaltens Vliesstoff / Beton an Laborprobekörpern,
- Untersuchung des Recyclingverhaltens an Laborprobekörpern mit Vliesstoffanhaftungen,
- Untersuchung des Verbundverhaltens Beton / Vliesstoff / HGT auf ausgewählten Strecken,
- Untersuchung des Recyclingverhaltens von Beton auf Vliesstoff an einer repräsentativen Menge an Aufgabematerial,
- Entwicklung einer RC-Betonrezeptur unter Verwendung der rezyklierten Gesteinskörnung (Eignungsprüfung),
- Hochwertige Wiederverwendung der RC-Gesteinskörnung auf einem Versuchsfeld mit RC-Beton,
- Steuerung des Verbundverhaltens Vliesstoff / Beton im Labor zugunsten der Recyclingfähigkeit.

Zusätzlich erfolgte eine allgemeine Umfrage bei den Straßenbauverwaltungen der einzelnen Bundesländer mit folgenden Schwerpunkten:

- Anteil von Strecken in Betonbauweise,
- Anteil in Betonbauweise mit Vliesstoff,
- vorrangig verwendete Aufbruch- bzw. Aufbereitungstechnologien,

- Verwendungsgebiete für rezyklierten Deckenbeton.

Weiterhin wurden bauspezifische Informationen bei verschiedenen Recycling- und Straßenbauunternehmen eingeholt.

Zur Beurteilung des allgemeinen Recyclingverhaltens wurden in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Baumaschinentechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg Brechversuche mit einer Laborprallmühle durchgeführt.

Parallel wurde eine Abziehprüfung entwickelt, mit der die Abziehkraft des Geotextils von einem genormten Probekörper geprüft wird. Dieser Kennwert beschreibt den Haftverbund zwischen Textil und Beton und dient zur indirekten Bewertung des Recyclingverhaltens des Betons mit anhaftendem Geotextil.

Zur Beurteilung der Anhaftverhältnisse in situ wurden Probekörper von 5 verschiedenen Bundesautobahnen entnommen und die Abziehkraft geprüft.

Zusätzlich wurden auf der BAB A 5 bei Grünberg, einer ca. 1,8 km langen Erprobungsstrecke der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) mit 9 verschiedenen Geotextilien, Bohrkerne entnommen.

Gemäß der Zielsetzung wurden außerdem auf der BAB A 71 ca. 120 m² Deckenbeton auf Geotextil ausgebaut und in einer stationären Recyclinganlage aufbereitet. Die im Recyclingprozess entstandene Gesteinskörnung wurde im Anschluss im Labor untersucht sowie für die Erarbeitung einer Deckenbetonrezeptur verwendet, die im Rahmen einer Erhaltungsmaßnahme auf der BAB A 9 zwischen den Anschlussstellen Wolfen und Dessau Süd für den Bau eines Probefelds eingesetzt wurde. Das Probefeld umfasste 4 Fahrbahnplatten und wurde von Hand eingebaut.

In ersten Tastversuchen wurde ferner versucht, das Anhaftverhalten des Geotextils am Beton durch die Anwendung verschiedener Trennmittel gezielt zu beeinflussen. Im Rahmen dieser Untersuchungen konnten daneben auf der BAB A 38 und BAB A 73 Versuchsfelder im Bereich der Standspur mit 3 verschiedenen Geotextilien angelegt werden. Der Einbau des Betons erfolgte mit Fertiger. Auch hier wurden Probekörper entnommen und die Anhaftverhältnisse untersucht.

4. Stand der Technik

Anfang der 90er Jahre kam es zu ersten Anwendungen von RC-Gesteinskörnungen aus altem Deckenbeton zur Herstellung von neuem Beton (RC-Beton). So wurde 1993 auf der BAB A 9 für die Herstellung des Unterbetons die aus der alten Betondecke gewonnene RC-Gesteinskörnung verwendet. Ebenso wurden in Niedersachsen 1993 auf der BAB A 27 zur Herstellung des Deckenbetons gezielt RC-Gesteinskörnungen eingesetzt. Ferner erschien Ende der 90er Jahre das "Merksblatt zur Wiederverwendung von Beton aus Fahrbahndecken".

In den ZTV Beton-StB 07 wird die Verwendung eines RC-Betons als Unterbeton bei zweischichtigem Einbau explizit benannt.

Die Auswertung der Technischen Regelwerke der Länder Schweiz, Österreich, Großbritannien, Niederlande, Belgien, Norwegen, Finnland, Schweden, Dänemark, USA, Japan und Russland ergab, dass die Wiederaufbereitung von altem Straßenbeton zu einem neuen Betonbelag möglich ist. Über die Wiederverwendung von RC-Materialien aus Betondecken auf Geotextilunterlage liegen jedoch keine Erfahrungen vor.

In Nordrhein-Westfalen wurde 2008 die erste große Recyclingmaßnahme von Deckenbeton auf Geotextil durchgeführt. Diese

Baumaßnahme auf der BAB A 30 umfasste ca. 9 km je Richtungsfahrbahn.

Im Regelfall werden die Plattenteile mittels Hydraulikbagger aufgenommen und zur mobilen Brechanlage auf bzw. in der Nähe der Baustelle oder bis zu einer stationären Brechanlage transportiert. In einigen Fällen kommen auch selbstfahrende Brechanlagen zum Einsatz, die sich parallel zur alten Betondecke fortbewegen und direkt beim Aufnehmen der vorzerkleinerten Betonplatten durch einen Bagger beschickt werden.

Tab. 1 zeigt die Bewertung der verschiedenen Brechertypen bezogen auf Betriebs- und Verschleißkosten und auf die Qualität des Brechkornmischs bzw. des Brechkorns.

Für die Wiederverwendung der RC-Gesteinskörnung für die Herstellung eines RC-Betons ist das Abtrennen von Fremdstoffen wie z. B. Dübel, Anker, Fugenfüllstoffen, Kunststoffen und Geotextilien unumgänglich. Bezüglich der Abtrennung von Geotextilien liegen derzeit jedoch keine ausreichenden Praxiserfahrungen vor.

Tab. 1: Allgemeiner Vergleich verschiedener Brechertypen bezüglich der Verschleiß- bzw. Betriebskosten und der Qualität des Kornmischs bzw. der Kornform

Brechertyp	Betriebskosten	Verschleißkosten	Brechsandanteil	Kornform	Aufschluss	Bewehrung
Prallbrecher	+	+	+	++	++	++
Backenbrecher	++	++	+	+	++	++
Kegelbrecher	++	++	++	+	++	-

++ sehr gut geeignet
 + gut geeignet
 - ungeeignet

Die Möglichkeiten, die aus altem Deckenbeton gewonnene RC-Gesteinskörnung wieder im Stoffkreislauf einzubringen, sind sehr vielfältig (Tab. 2).

Tab. 2: Bewertungsskala für den Einsatz einer RC-Gesteinskörnung aus altem Deckenbeton

Wertigkeit	Anwendungsbereich
0	kein (Entsorgung in einer Deponie)
1	Bankett, Lärmschutzwahl, ländlicher Wegebau
2	Frostschuttschicht (FSS), ungebundene Tragschicht (ToB), gebundene Tragschicht (HGT)
3	Schottertragschicht unter Beton (STSüB), Herstellung des Unterbetons (zweischichtige Bauweise)
4	Herstellung des Deckenbetons (einschichtige Bauweise), Herstellung des Oberbetons (zweischichtige Bauweise)

Legende:

Die Wertigkeit der Wiederverwendung ist einzustufen als:
 0 - keine (Entsorgung)
 1 - gering
 2 - mittel
 3 - hoch
 4 - sehr hoch

Dabei wurde der zwischen 1997 und 2001 aufbereitete Deckenbeton, jährlich zwischen 1,2 bis 1,6 Millionen Tonnen, wie folgt verwendet:

- ca. 75 % als Tragschicht ohne Bindemittel (ToB) unter 30 cm Betondecke,
- ca. 10 % als gebundene Tragschicht unter Betondecken,
- ca. 15 % zur Herstellung von Betondecken, vornehmlich beim 2-lagig/2-schichtigen Einbau als Unterbeton.

An der Länderumfrage zum Thema Betonrecycling und Wiederverwendung beteiligten sich 11 Bundesländer. Hieraus ergab sich, dass der Einsatz für "Deckenbeton" bei einschichtiger Bauweise sowie "Unterbeton" bei zweischichtiger Bauweise i. d. R. bisher nur in geringem Umfang erfolgt.

Die erste Versuchsstrecke der BAST mit ca. 3 500 m² wurde 1983 auf der BAB A 29 angelegt. Seitdem wurden zwischen 1983 und 1999 insgesamt ca. 1 828 950 m² und zwischen 2001 und 2006 ca. 1 363 739 m² Betondecken auf Geotextil hergestellt. Bezogen auf einen Regelquerschnitt "RQ 29,5" ergeben sich daraus ca. 139 km Fahrbahn. Dies entspricht ca. 4,7 % des gesamten Autobahnnetzes Deutschlands.

Eisenmann und Birmann weisen in ihrem Forschungsbericht 2004 jedoch darauf hin, dass zum Zeitpunkt der damaligen Forschungsarbeit ein hochwertiges Recycling von Betondecken mit Geotextil aufgrund anhaftender Fasern für nicht möglich gehalten wurde.

5. Brechversuche im Labor

Die Brechversuche an Beton mit anhaftendem Geotextil beim Brechvorgang im Laborprallbrecher der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg ergaben, dass bei einer Umfangsgeschwindigkeit von 26 m/s eine zerstörende Wirkung auf den Vliesstoff einsetzt. Die weitere Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit führte zu einer zunehmenden Zerkleinerung des Vliesstoffes sowie einer Verteilung von Vliesstücken in den einzelnen Korngruppen. Weiterhin ließ sich wie erwartet, eine Zunahme des Feinkornanteils im Brechgut feststellen. Es wurde grundsätzlich festgestellt, dass sich eine geringe Umfangsgeschwindigkeit des Schlagkreises positiv auf das Brechprodukt sowie auf das Ablöseverhalten des Vliesstoffes vom Beton auswirkt.

6. Brechversuch in der Praxis und Bau einer Versuchsstrecke mit RC-Beton

Der Brechversuch an 60 t Betonaufbruch der BAB A 71 zeigte, dass das Anhaftverhalten der Vliesstoffe am Beton eine wesentliche Rolle spielt. Mit steigender Intensität der Anhaftung kommt es zu einer schlechteren Trennung der beiden Stoffe. So konnten hier bei einer mittleren Abziehkraft von 1,1 N/mm trotz sorgfältiger Handauslesung der freigeschlagenen Textilien (Erhöhung des Flächengewichts des Geotextils von 500 g/m² auf ca. 3.000 g/m²) nach dem Brechvorgang Geotextilreste mit anhaftenden Betonstücken oder einzelne Betonkörner mit anhaftenden Vliesstücken festgestellt werden. Eine vollständige Entfernung des Geotextils aus dem RC-Material war nicht möglich. In der Gesteinskörnung verblieben ca. 0,02 M.-% Vliesstoffanteil. Für die Herstellung des RC-Deckenbetons wurden nachfolgend die Kornfraktionen 5/11 und 11/22 verwendet. Die Wasseraufnahme nach 24 Std. an der Gesteinskörnung 5/11 betrug im Mittel 3,4 %. Weiterhin konnten an der RC-Gesteinskörnung ausreichende Frost- und Frost-Tausalzbeständigkeit festgestellt werden.

Im Rahmen der Eignungsprüfung wurde eine Rezeptur für einen RC - Deckenbeton (C 30/37, GK 22 mm) mit 72 Vol.-% RC-Gesteinskörnungsanteil erarbeitet. Der Einbau dieses Betons auf einem 75 m² großen Probefeld der BAB A 9 erfolgte am 22.11.2006. Beim Abziehen und Glätten kam es durchschnittlich auf ca. je 5 m² zum Aufschwimmen je eines Vliesstoffstücks, das von Hand entfernt wurde. Die Kennwerte aus Bohrkernen zeigen, dass der RC-Beton den Anforderungen der ZTV Beton in vollem Umfang entspricht. Bei der visuellen Begutachtung der Betonoberfläche am 26.4.2007 konnten auf allen Plattenfeldern Netzrisse sowie vereinzelt lokale Abplatzungen des Oberflächenmörtels (1,5 bis 20 cm²) festgestellt werden, deren Tiefe zwischen 0,5 und 3 mm lagen. Verantwortlich hierfür waren der verwendete LP-Zusatzstoff (Schaumbildung) und nicht das Vorhandensein von Vliesstoffstücken.

7. Untersuchungen zum Haftverhalten

Im Rahmen des Prüfprogramms wurden folgende Versuche durchgeführt:

- Abziehversuche an Laborprüfkörpern,
- Abziehversuche an Ausbaustücken,
- Haftzugversuche an Ausbaustücken.

Im Labor wurden insgesamt 6 verschiedene Geotextilien bei unterschiedlicher Befeuchtung bezüglich ihrer Anhaftung zum Deckenbeton untersucht.

Für die Untersuchung der Anhaftverhältnisse in situ wurden von den Autobahnen BAB A 30, A 4, A 71, A 5 und A 38 Proben mittels Kernbohrung entnommen.

Die Ergebnisse der Abzieh- und Haftzugversuche zeigen, dass die Intensität der Anhaftung des Geotextils am Beton und/oder an der HGT sehr unterschiedlich ausfällt. Die Ursachen liegen in den Frischbetoneigenschaften, Verdichtungsbedingungen, Befeuchtungsgraden des Vliesstoffs sowie in den Vliesstoffeigenschaften. Es war deutlich zu erkennen, dass in allen Fällen Zementleim in den Vliesstoff eingedrungen und eine Zunahme des Flächengewichts um 40 bis 230 % aufgetreten war. Die Ergebnisse lassen ferner deutlich erkennen, dass die Intensität der Anhaftung nicht nur von der Menge des eingedrungenen Zementleims abhängt, sondern auch vom Einbindungsgrad der oberflächennahen Vliesstofffasern in die Zementsteinmatrix.

An Probekörpern aus Laborherstellung und Ausbaustücken wurden insgesamt 12 verschiedene Vliesstoffe untersucht. Die ermittelten Abziehkräfte lagen dabei zwischen 0,4 N/mm und 2,5 N/mm. Bei den Haftzugprüfungen an 8 Vliesstofftypen konnten Haftzugfestigkeiten zwischen Beton und Vliesstoff von 0,04 N/mm² bis 0,64 N/mm² sowie zwischen HGT und Vliesstoff von 0,01 N/mm² bis 0,1 N/mm² ermittelt werden.

Ein Versagen der HGT trat an insgesamt 31 Probekörpern auf. Die mittlere Bruchspannung konnte dabei mit 0,13 N/mm² festgestellt werden.

Die Mittelwerte der maßgebenden Abziehkräfte an den in situ entnommenen Proben stimmen dabei mit denen der Laborprobekörper gut überein.

Die Prüfergebnisse lassen generell erkennen, dass der verwendete Vliesstoff einen erheblichen Einfluss auf die Anhaftung besitzt.

Für die Intensität der Anhaftung ist in erster Linie die Oberflächenstruktur des Vliesstoffs maßgebend. Zur Verminderung des Verbunds zwischen Beton und Vliesstoff bzw. zwischen Vliesstoff und HGT ergeben sich folgende Ansatzmöglichkeiten:

- Frischbeton (Konsistenz, Mahlfineinheit des Zements, Zementleimmenge, w/z-Wert),
- Fertigung (Verdichtung, Verteilung des Frischbetons auf dem Vliesstoff, Befeuchtung des Vliesstoffs),
- Vliesstoff (Filterstabilität O_{90,w}, Modifizierung der Vliesstoffe, Modifizierung der Vliesstoffoberflächen z. B. thermische Nachbehandlung),
- Hydraulisch gebundene Unterlage (Modifizieren der Oberfläche).

Ferner ist zu berücksichtigen, dass die sich einstellenden Anhaftverhältnisse Einfluss auf die Reibungsverhältnisse zwischen Betondecke und Unterlage haben. Entsprechend erhöht sich der Reibungsbeiwert infolge starker Zementleimdurchdringung, was sich beispielsweise günstig auf das frühzeitige Reißen der Querscheinfugen auswirkt.

8. Steuerung der Haftung des Geotextils am Beton

Zur gezielten Verringerung der Haftung des Deckenbetons am Vliesstoff bestehen prinzipiell verschiedene Möglichkeiten:

- Optimierung der Vliesstoffe, um ein Eindringen des Zementleims in das Textil zu unterbinden. Dieser Zustand wird erreicht, wenn Filterstabilität gegenüber dem Zementleim vorliegt. Weiterhin ist die Oberfläche des Textils so zu gestalten, dass keine signifikante Einbindung von einzelnen Fasern in die Zementsteinmatrix ermöglicht wird.
- Verwendung einer separaten oder in den Vliesstoff integrierten Trennlage in Form von Folie, Papier oder ähnlichen Materialien, die sich zum Beispiel nach dem Betonieren auflöst.
- Aufsprühen eines flüssigen Trennmittels auf den Vliesstoff vor dem Betonieren.

Um die Wirkung der oben aufgeführten Methoden zu überprüfen, wurden erste Tastversuche mit ausgewählten flüssigen Trennmitteln, Trennlagen (Versuche bei der BAST) und modifizierten Vliesstoffen durchgeführt.

In ersten Laborversuchen wurde die Wirksamkeit folgender Trennmittel im Vergleich zur Benetzung mit Wasser untersucht:

- Curing 101 (Paraffindispersion),
- Rheofinish 310J (Mineralöle + Additive),
- Carboxymethylcellulose,
- Polysaccharid,
- Natursand 0/2.

Es wurde ein Vlies vom Typ WB 500 V verwendet. Durch die Fa. Huesker wurde zusätzlich ein modifizierter Vliesstoff zur Verfügung gestellt, um die Wirkung einer vliesstoffseitigen Modifikation untersuchen zu können.

Bei den Abziehversuchen konnten, je nach verwendetem Trennmittel sowie der Auftragsmenge, die maßgebenden Abziehkräfte im Mittel zwischen 0,5 N/mm und 4,3 N/mm bestimmt werden. Für den wassergesättigten Referenzvliesstoff ergab sich die maßgebende Abziehkraft im Mittel zu 3,6 N/mm.

Für den modifizierten Vliesstoff konnte diese im Mittel zu 0,5 N/mm festgestellt werden.

Die niedrigsten Abziehkräfte (< 1 N/mm) ergaben sich grundsätzlich bei Verwendung von:

- Polysaccharid,
- einer ca. 5 mm dicken Natursandschicht 0/2,
- modifiziertem Vliesstoff der Fa. Huesker.

Unter Berücksichtigung der Reibung unter der Betondecke wird die Verwendung von Natursand als vorteilhaft angesehen.

Grundsätzlich sind jedoch hierzu weitere Untersuchungen insbesondere zur praktischen Umsetzung dieser Maßnahmen und zur Wirtschaftlichkeit erforderlich.

Parallel zu den Laborversuchen wurden in Zusammenarbeit mit der BAST, DEGES und Fa. Naue zwei modifizierte Vliesstoffe sowie ein Vliesstoff in Verbindung mit einer Glasvliesstrennlage in kleinen Probefeldern unter praxisnahen Bedingungen auf den BAB A 73 und BAB A 38 eingebaut.

Beim Einbau der Vliesstoffe traten keine nennenswerten Probleme auf. Die Verwendung der Glasvliesüberdeckung als Trennlage stellte sich demgegenüber wie erwartet schwierig dar. So konnte das Glasvlies nicht mit Nägeln befestigt und nicht mit dem Lkw überrollt werden, da derartige Beanspruchungen den Vliesstoff beschädigen können.

Nach ausreichender Erhärtung des Deckenbetons wurden je Probefeld zwei Bohrkerne ($d = 300 \text{ mm}$) entnommen, um die Intensität der Vliesstoffanhaftungen zum Deckenbeton und/oder zur HGT in Abzieh- bzw. Haftzugprüfungen zu untersuchen.

Die maßgebenden Abziehkräfte konnten zwischen 0 N/mm und 1,3 N/mm bestimmt werden. Durch die Verwendung einer Trennlage konnte der Verbund fast vollständig unterbunden werden.

9. Zusammenfassung

Der Verbund zwischen Vliesstoff und Deckenbeton kann in erster Linie auf das Eindringen von Zementleim in den Vliesstoff und auf das Einbinden oberflächennaher Vliesstofffasern in die Zementsteinmatrix zurückgeführt werden. Der Durchdringungsgrad sowie der Zementleimgehalt im Vliesstoff beeinflusst letztlich auch die Qualität des RC-Materials aus Beton auf Geotextil. So führt eine starke Durchdringung bzw. Anreicherung von Zementleim zu einer Erhöhung der Steifigkeit, die beim Recyceln zu einer vermehrten Zerkleinerung des Vliesstoffs mit Gesteinsanhaftungen führt. Wird der Vliesstoff vollständig vom Zementleim durchdrungen, kann dies zu einer zusätzlichen Anhaftung des Vliesstoffs an der HGT führen. Bei den Untersuchungen in situ konnte dieser Zustand in einigen Fällen festgestellt werden. Derartige Lagerungsbedingungen können beim Zertrümmern bzw. Aufnehmen der Betondecke zu einem erhöhten Arbeitsaufwand führen.

Zur genauen Beschreibung der Anhaftverhältnisse des Vliesstoffs an hydraulisch gebundenen Schichten in situ sind grundsätzlich die Durchführung von Abzieh- oder Haftzugversuchen zu empfehlen. Mit den damit gewonnenen Kennwerten kann indirekt das Recyclingverhalten eines Deckenbetons auf Vliesstoffunterlage wie folgt gemäß Tab. 3 bewertet werden.

Ferner wurde bei den Untersuchungen festgestellt, dass die bisher im Autobahnbau verwendeten Vliesstoffe i. d. R. eine hohe Anhaftung (Abziehkraft $> 2 \text{ N/mm}$) zum Deckenbeton aufweisen und somit ein schlechtes Recyclingverhalten des Betons erwarten lassen.

Erste Labor- und Praxisversuche haben gezeigt, dass durch die Verwendung von Trennmitteln, Trennlagen sowie modifizierter Vliesstoffe der Verbund des Vliesstoffs auf Abziehkräfte $< 0,5 \text{ N/mm}$ verringert werden kann.

Tab. 3: Bewertungsskala für das Recyclingverhalten von Deckenbeton auf Vliesstoffunterlage in Abhängigkeit von der maßgebenden Abziehkraft

Bereich	Maßgebende Abziehkraft [N/mm]		Recyclingverhalten des Betons	Art der Wiederverwendung
1	0	$< 0,7$	sehr gut bis gut	Unterbeton, Oberbeton ^{*)}
2	$\geq 0,7$	$< 1,4$	gut bis schlecht	Unterbeton, gebundene und ungebundene Tragschichten
3	$> 1,4$		sehr schlecht	Frostschutzschichten und Sonstiges

^{*)} zur Erfahrungssammlung unter der Bedingung, dass der Anteil an losen Geotextilresten in der Gesteinskörnung $> 4 \text{ mm}$ maximal 0,02 M.-% beträgt und eine Stückgröße $< 32 \text{ mm}$ aufweist.

Liegt eine niedrige Anhaftung vor, so werden vorwiegend große Vliesstoffstücke freigeschlagen, die sich durch Handklaubung aus dem RC-Material entfernen lassen. Der Einsatz anderer Technologien wie z. B. der Windsichtung hat sich in der Praxis als nicht erfolgreich erwiesen, da die Vliesstoffstücke infolge ihrer Größe, einer Anhaftung von Beton und/oder Durchdringung mit Zementleim eine zu hohe Masse aufweisen.

Bei intensiv ausgeprägten Anhaftungen ist der Aufschlussgrad des Vliesstoffs sehr niedrig, da dieser im Brechprozess mit dem Beton zerkleinert aber nicht vollständig freigeschlagen wird. Aufgrund der Größe und der i. d. R. bestehenden Kornanhaftung kann der Vliesstoff nur mit hohem Aufwand aus dem Recyclingprozess entfernt werden. Der eigentliche Brechprozess wird dabei nur sekundär beeinflusst. So kann die Anhaftung des Vliesstoffs an der Gesteinskörnung beispielsweise bewirken, dass eine unnötige Überkornrückführung in den Brechprozess erfolgt. Ferner ergeben sich aufgrund der verstärkten Verunreinigung des RC-Granulats Einschränkungen für die Wiederverwendung.

Mit der Zielstellung der hochwertigen Wiederverwendung wurde auf der BAB A 9 ein Probefeld mit RC-Beton in einschichtiger Bauweise hergestellt. Beim Frischbetoneinbau konnte festgestellt werden, dass die im RC-Material noch enthaltenen Vliesstücke in nicht vertretbarem Umfang aufschwimmen, obwohl ihr Anteil nur 0,02 M.-% betrug. Dieses RC-Material aus Beton auf Geotextilunterlage mit einer Abziehkraft $> 0,7 \text{ N/mm}$ ist daher nicht für die Herstellung des Oberbetons zu empfehlen.

Eine Fortführung der Abzieh- und Haftzugprüfungen ist von großem Interesse, um abgesicherte Werte zu ermitteln, die letztlich im Regelwerk als Grenzwerte verankert werden sollten. Für künftige Baumaßnahmen kann dann der Haftverbund "Deckenbeton - Vliesstoff" im Vorfeld untersucht werden, um ein gutes Recyclingverhalten und die hochwertige Wiederverwendung des Betons am Ende des Nutzungszeitraums gewährleisten zu können.

Außerdem sind weitere Forschungsarbeiten zur Minimierung des Haftverbunds zwischen Beton und Geotextil unter Beachtung einer ausreichend hohen Reibung zwischen Beton und Unterlage erforderlich. Die bisherigen Vorversuche können als erfolgsversprechend angesehen werden.

Bezüglich des hochwertigen Einsatzes von Recyclingmaterial aus Beton auf Geotextil mit geringer Anhaftung gemäß Tab. 3 im Oberbeton sind daher weitergehende Untersuchungen zur Präzisierung der Anforderungswerte an den maximal zulässigen Anteil an Geotextilresten erforderlich.