

Sonderverfahren
Micro - / Minitrenching

Optimierung Verfüllbaustoff
2013/2014

Forschungsprojekt

**Ministerium für Ländlichen Raum und
Verbraucherschutz**

- Zusammenfassende Empfehlung für die Verwendung von
fließfähigen Verfüllbaustoffen –

Prof. Dipl.-Ing. Rolf Schrodi
B. Eng. Lukas Schäfer
Dipl.-Ing. (FH) Monika Schad M. Sc.

20.02.2015

Inhalt:

- 1. Anwendung des Verfüllbaustoffes in Abhängigkeit der Anforderungen des ungebundenen Oberbaus**
 - 1.1 Einteilung in Einbauklasse A bis D
 - 1.2 Festlegung der Konsistenz- und Verarbeitbarkeitsklassen und der daraus folgenden Verdichtungsenergie

- 2. Optimierte Verfüllbaustoffe in Abhängigkeit der Einbauklassen A bis D**

- 3. Zusammenfassende Beurteilung**

1. Anwendung des Verfüllbaustoffes in Abhängigkeit der Anforderungen des ungebundenen Oberbaus

1.1 Einteilung in Einbauklasse A bis D

Die Untersuchungsergebnisse des Forschungsberichtes zeigen, dass die Herstellung eines universell einsetzbaren Verfüllbaustoffes, welcher die Anforderung an Fließfähigkeit, Frostsicherheit, Wasserdurchlässigkeit und Wiederausbaubarkeit gemäß den Hinweisen für die Anwendung des Trenchingverfahrens zugleich erfüllt, nicht möglich ist.

Die nachfolgenden Mischungen werden daher nach den Materialeigenschaften „wasserdurchlässig“ und „gering wasserdurchlässig“ sowie dem Anwendungsfall „Straßenbereich“ und „Gehwegbereich“ in Fall A bis Fall D unterteilt.

Durch diese Fallunterscheidung wird bei Trenchingstrecken mit unzureichendem bzw. undefiniertem Unterbau ein besonderes Augenmerk auf die Durchlässigkeit und die Vermeidung von Frostschäden gelegt.

Einstufung des Verfüllbaustoffes in Abhängigkeit der Materialeigenschaften und des Anwendungsfalles A bis D

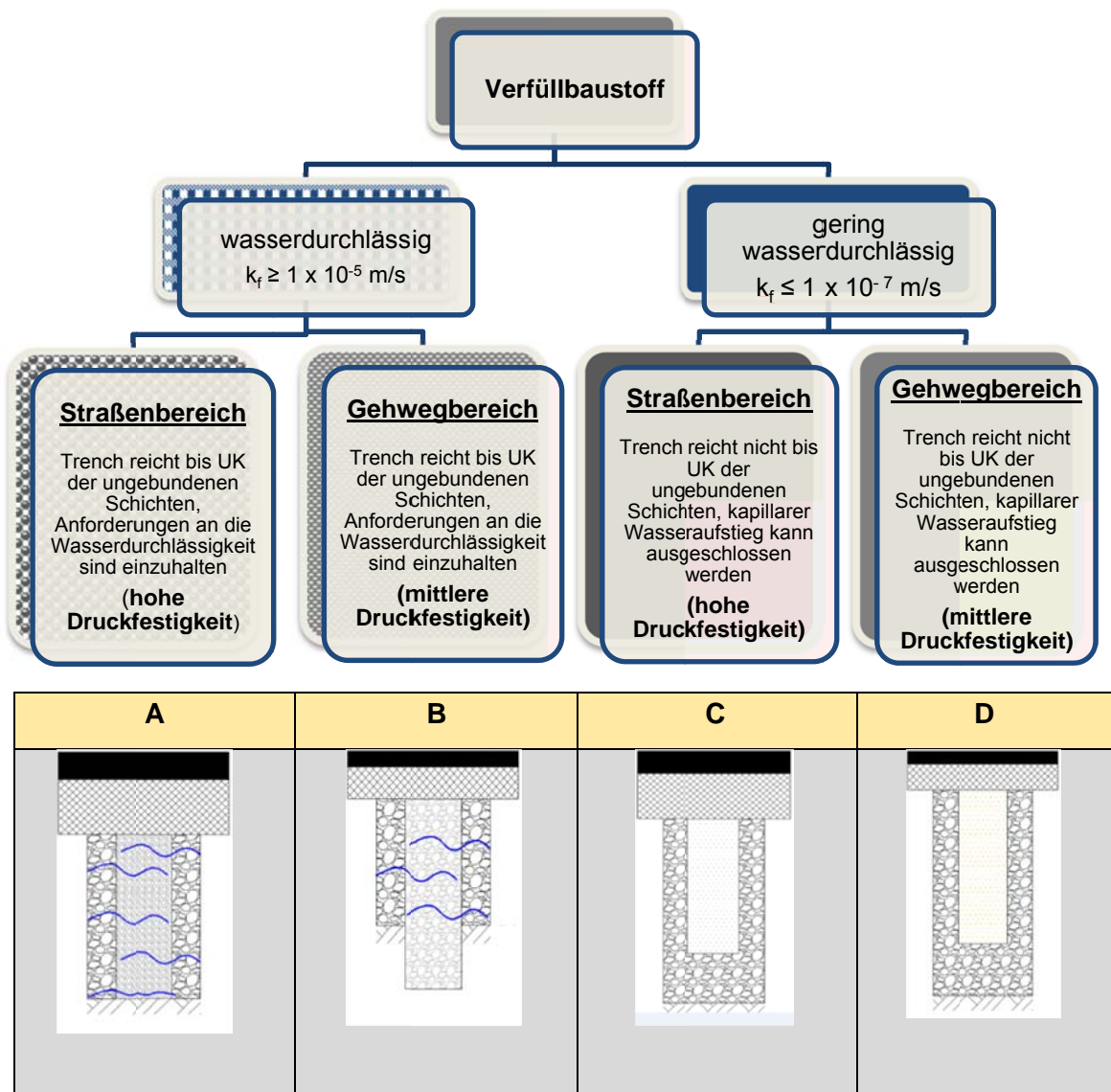


Abbildung 1: Einsatz von Verfüllbaustoffen in Abhängigkeit der Kategorie A – D

Fall A:

Straßenbereich, die Unterkante des Trench reicht bis zur UK des ungebundenen Oberbaus, dadurch wirkt der Trench wie eine Dichtwand und beeinflusst maßgebend die Entwässerungsbedingungen und somit die Frostsicherheit im Bereich der Straße.

Die Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit gemäß den Hinweisen ist zwingend einzuhalten. Um oberflächennaher Entfestigungen entgegenzuwirken sollte der Verfüllbaustoff großporig sein und eine Druckfestigkeit von $\geq 3 \text{ N/mm}^2$ aufweisen.

Fall B:

Im Bereich von Gehwegen mit gering mächtigem ungebundenem Oberbau reicht der Trench bis UK der ungebundenen Tragschichten, wirkt somit wie eine Dichtwand und beeinflusst maßgebend die Entwässerungsbedingungen und somit die Frostsicherheit im Bereich des Gesamtsystems. Bei ungünstigen Entwässerungsbedingungen der an den Gehweg angrenzenden Grundstücke ist in diesen Bereichen mit einer starken Wasserführung zu rechnen.

Die Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit gemäß den Hinweisen ist zwingend einzuhalten. Um oberflächennahe Entfestigungen entgegenzuwirken sollte der Verfüllbaustoff großporig sein und eine Druckfestigkeit von $\geq 2 \text{ N/mm}^2$ aufweisen.

Fall C:

Liegt im Straßenbereich eine ausreichende Mächtigkeit des ungebundenen Oberbaus unterhalb des Trench vor und kann ein kapillarer Wasseraufstieg über den Trench auch bei ungünstiger Frosteindringtiefe gesichert ausgeschlossen werden, ist die Verwendung eines fließfähigen Verfüllbaustoffes aus bautechnischer Sicht möglich. Um oberflächennahe Entfestigungen auszuschließen ist eine Druckfestigkeit von $3 - 5 \text{ N/mm}^2$ anzustreben.

Fall D:

Gehwegbereiche mit einer ausreichenden Mächtigkeit des ungebundenen Oberbaus, so dass die UK Trench ausreichend weit oberhalb der UK der ungebundenen Schichten liegt und Bereiche, bei denen die Entwässerung der anstehenden Grundstücke nicht über den Unterbau des Gehweges erfolgt und somit ein kapillarer Wasseraufstieg über den Trench gesichert ausgeschlossen werden kann.

Für diesen Fall ist die Verwendung eines fließfähigen Verfüllbaustoffes aus bautechnischer Sicht möglich. Um oberflächennahe Entfestigungen auszuschließen ist eine Druckfestigkeit von ca. 3 N/mm^2 anzustreben.

1.2 Festlegung der Konsistenz- und Verarbeitbarkeitsklassen und der daraus folgenden Verdichtungsenergie

Im Folgenden ist die, in Abhängigkeit der Konsistenz- und Einbauklasse, erforderliche Verdichtungsenergie zusammengestellt:

Konsistenz-klasse	Ausbreitmaß in [mm]	Konsistenzbeschreibung	Verdichtungsart
F1 ¹⁾	≤ 340	sehr steif steif	kräftig wirkende Rüttler oder kräftiges Stampfen
F2	350 bis 410	plastisch	
F3	420 bis 480	weich	Rütteln
F4	490 bis 550	sehr weich	„Entlüften“ durch Stochern oder leichtes Rütteln
F5	560 bis 620	fließfähig	
F6 ¹⁾²⁾	≥ 630	sehr fließfähig	

Tabelle 1: Konsistenzklassen

Einbau-klasse	Ausbreitmaß in [mm]	Konsistenzbeschreibung	Verdichtungsart	Bemerkung
EB1	≤ 350	steif, feucht, geringer Suspensionsanteil	schwach wirkende Vibrationsstampfer	nicht fließfähig
EB2	≤ 450 - 350	plastisch, sehr feucht, mittlere Suspensionsanteil	schwach wirkende Vibrationsstampfer	gering fließfähig

Tabelle 2: Eigenschaften des Verfüllbaustoffes in Abhängigkeit der Wasserdurchlässigkeit

¹⁾ Empfohlener Anwendungsbereich nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2: > 340 mm und ≤ 620 mm

²⁾ Bei Ausbreitmaßen über 700 mm ist die DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ zu beachten.

Die Verarbeitung des wasserdurchlässigen Verfüllbaustoffes sollte möglichst zügig geschehen. Am besten wird der Trench soweit vorgefräst, dass der Inhalt eines Fahrmischers ohne Arbeitsunterbrechung in einem Vorgang verfüllt werden kann. Die Verarbeitungszeit ist aufgrund des geringen w/z-Wertes als kurz einzustufen, dies bedeutet sie liegt zwischen 60 und 70 Minuten.



Abbildung 2: Einsatz eines Vibrationsstampfers zur Verdichtung des Einkornbetons

2. Optimierte Verfüllbaustoffe in Abhängigkeit der Einbauklassen A bis D

Im Folgenden werden die in Abhängigkeit des Einbaufalles A bis D weiterentwickelten Rezepturen vorgestellt und bewertet. In der nachfolgenden Übersicht sind die Laborrezepturen bezogen auf die Herstellung eines Kubikmeters zusammengestellt:

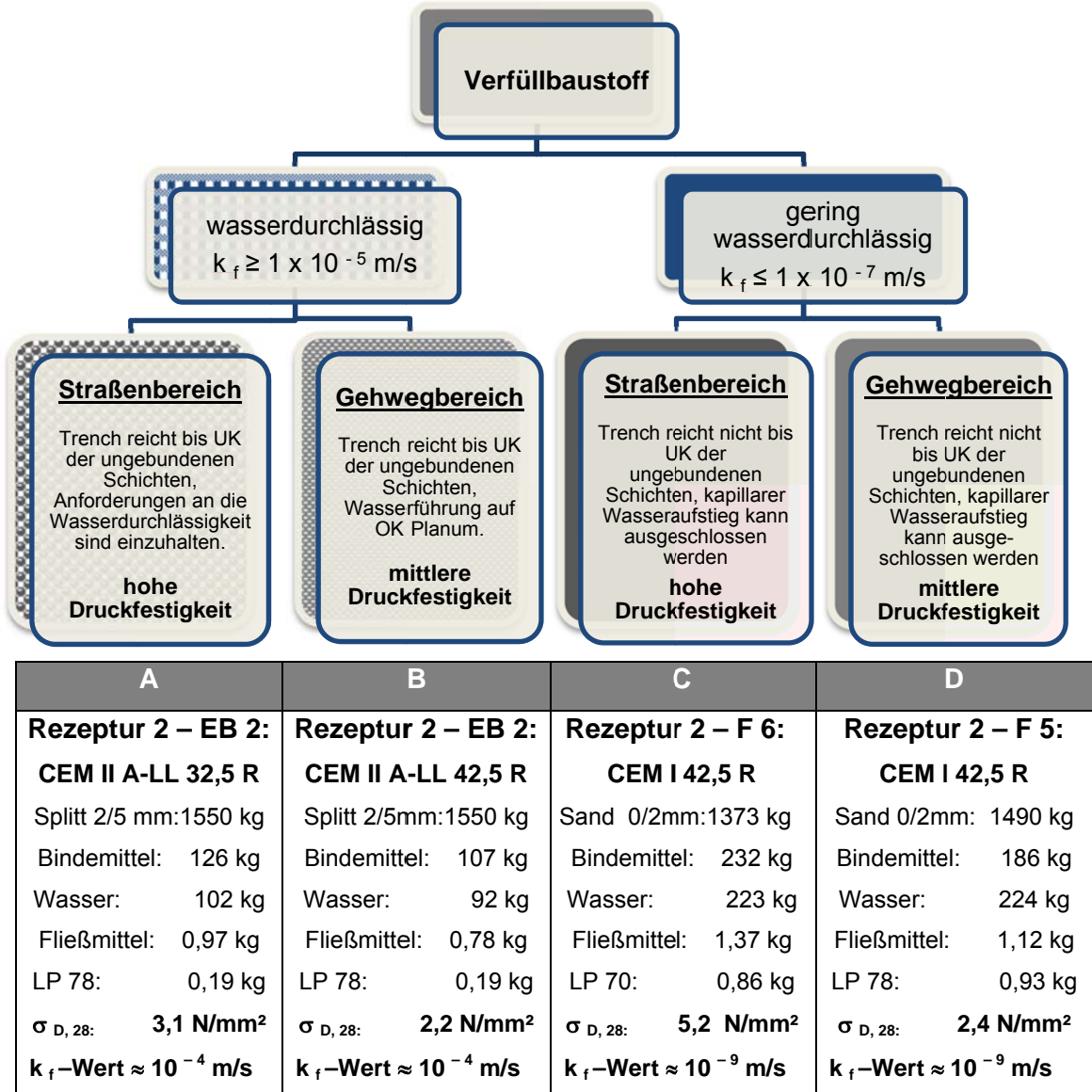

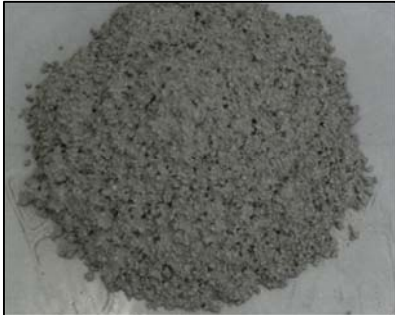



Tabelle 3: Zusammenstellung von Rezepturen in Abhängigkeit der Einbauklasse

Fall A2: CEM II A-LL 32,5 R Ausbreitmaß gezogen: 38cm	Ausbreitmaß geschlagen: 38cm	Probekörper
		




Fall B2: CEM II A-LL 42,5 R Ausbreitmaß gezogen: 38cm	Ausbreitmaß geschlagen: 38cm	Probekörper
		

Abbildung 3: Gezogenes und geschlagenes Ausbreitmaß der durchlässigen Verfüllbaustoffe im Vergleich

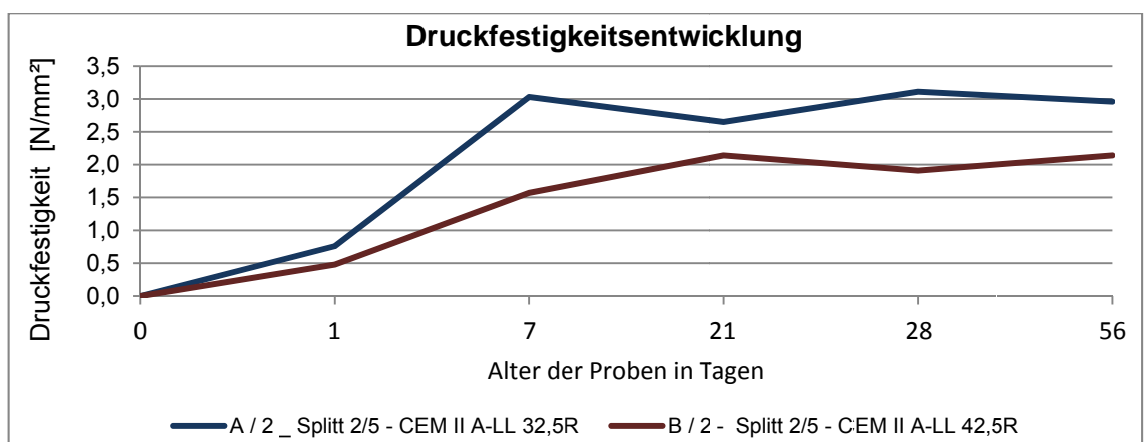


Diagramm 1: Druckfestigkeitsentwicklung Fall A und B







Fall C2: CEM I 42,5 R Ausbreitmaß gezogen: 51 cm	Ausbreitmaß geschlagen: 63 cm	Probekörper
		
Fall D2: CEM I 42,5 R Ausbreitmaß gezogen: 39 cm	Ausbreitmaß geschlagen: 57 cm	Probekörper
		

Abbildung 4: Gezogenes und geschlagenes Ausbreitmaß der fließfähigen Verfüllbaustoffe im Vergleich

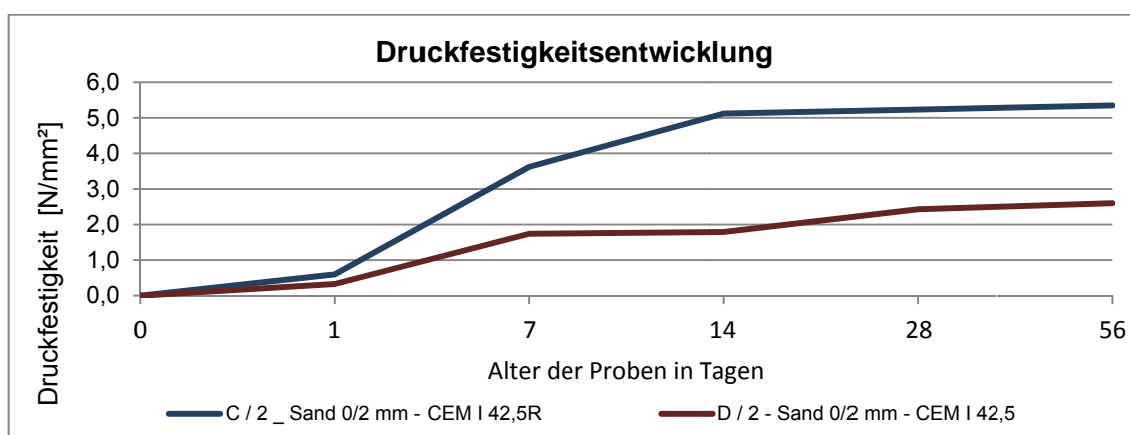


Diagramm 2: Druckfestigkeitsentwicklung Fall C und D

3 Zusammenfassende Beurteilung der optimierten Verfüllbaustoffe in Bezug auf die Anforderungen der Einbauklasse

Das Forschungsprojekt „Sonderverfahren Micro-/ Mini- Trenching 2013/2014“ schließt an das im 2012/2013 ausgeführte Forschungsprojekt an und hatte zum Ziel Rezepturen für Grabenverfüllbaustoffe (GVB) weiterzuentwickeln und Rezepturen mit Baustoffen, die überall verfügbar sind, zu empfehlen.

Erfahrungen mit Grabenverfüllbaustoffen, die mit Füllbinder als Bindemittel aufgebaut waren, haben bei ungünstigen Einbaubedingungen (Trench reicht bis zum wasserführenden gering durchlässigen Planum, geringe Restbreite des Gehwegunterbaus begünstigt den kaminartigen kapillaren Wasseraufstieg) und häufigen Frost-Tau-Wechseln im Winter 2012/2013 gezeigt, dass Frosthebungen trotz nachgewiesener Frostbeständigkeit des Grabenverfüllbaustoffes auftreten können. Daher galt es Rezepturen für Grabenverfüllbaustoffe zu entwickeln, bei denen auch bei ungünstigen Randbedingungen Eislinienbildung und Frosthebungen mit Sicherheit ausgeschlossen werden können. Außerdem wurde im Zuge der Erarbeitung der „Hinweise für die Anwendung des Trenchingverfahrens bei der Verlegung von Glasfaserkabeln in Verkehrsflächen in Asphaltbauweise - H Trenching“ durch die Ad-hoc-Arbeitsgruppe der FGSV die Forderung nach einer hohen Wasserdurchlässigkeit für den Grabenverfüllbaustoff erhoben, der im Bereich der Schichten ohne Bindemittel einzubauen ist.

Die Entwicklungsarbeit hat gezeigt, dass die in den H-Trenching formulierten Anforderungen an einen „idealen“ Grabenverfüllbaustoff nicht vollständig erreicht werden können. Daher wurden aus den hauptsächlichen Anwendungsfällen Einbaukategorien abgeleitet, die einen Grabenverfüllbaustoff mit hoher Wasserdurchlässigkeit zwingend erfordern und solche, die wegen einer gesicherten Wasserführung nach Einbau des

Grabenverfüllbaustoffes keine Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit stellen. Unterschieden an die aus dem Einbauort im Gehweg oder im Straßenbereich zu erwartende Belastung ergaben sich damit folgende vier typischen Anwendungsfälle, für die jeweils Rezepturen für den Grabenverfüllbaustoff entwickelt wurden:

Fall A: Straßenbereich mit nicht ausreichend mächtigem ungebundenen Oberbau, so dass Anforderungen an eine hohe Wasserdurchlässigkeit einzuhalten sind, Zielgröße für die Druckfestigkeit des GVB: $3 - 5 \text{ N/mm}^2$

Fall B: Gehwegbereich mit gering mächtigem Unterbau und Wasserführung auf OK Planum, so dass Anforderungen an eine hohe Wasserdurchlässigkeit einzuhalten sind, Zielgröße für die Druckfestigkeit des GVB: $2 - 3 \text{ N/mm}^2$

Fall C: Straßenbereich mit ausreichend mächtigem ungebundenen Oberbau, kapillarer Wasseraufstieg kann ausgeschlossen werden, so dass keine Anforderungen an eine hohe Wasserdurchlässigkeit einzuhalten sind, Zielgröße für die Druckfestigkeit des GVB: $4 - 5 \text{ N/mm}^2$

Fall D: Gehwegbereich mit ausreichend mächtigem Unterbau, Wasserführung kann ausgeschlossen werden, so dass keine Anforderungen an eine hohe Wasserdurchlässigkeit einzuhalten sind, Zielgröße für die Druckfestigkeit des GVB: $\geq 3 \text{ N/mm}^2$

In der Festlegung der Zielgrößen für die Druckfestigkeit des Grabenverfüllbaustoffes wurden höhere Festigkeiten gewählt, als in H Trenching formuliert, da die Erfahrungen bereits ausgeführter MT-Projekte gezeigt haben, dass im Sinne einer sicheren Schadensvermeidung einer höheren Festigkeit und damit Stabilität des GVB der Vorzug gegenüber der leichten Lösbarkeit und Wiederausbarkeit des Grabenverfüllbaustoffes zu geben ist.

Für die Fälle A, B, C und D wurden jeweils zwei Rezepturen unter Verwendung handelsüblicher Bindemittel und mineralischer Zuschlagsstoffe, sowie geringer Mengen an Betonzusatzmittel entwickelt, so dass allgemein herstellbare Rezepturen für geeignete Grabenverfüllbaustoffe zur Verfügung stehen.

Empfehlungen für Rezepturen:

Fall A:

Bindemittel:	CEM II A-LL 32,5 R
Split 2/5 [kg] $\rho = 2,69 \text{ kg/dm}^3$ $\rho_{sv} = 1,55 \text{ kg/dm}^3$	1550
Zement [kg] $\rho = 3,0 \text{ kg/dm}^3$	126
Wasser [kg] $\rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3$	102
Luftporenbildner LP 78 [kg]	0,19
Verflüssiger FM GLENIUM ® SKY 681 [kg]	0,97

Rezeptur bezogen auf ca. 1m^3

Fall B:

Bindemittel:	CEM II A-LL 42,5 R
Split 2/5 [kg] $\rho = 2,69 \text{ kg/dm}^3$ $\rho_{sv} = 1,55 \text{ kg/dm}^3$	1550
Zement [kg] $\rho = 3,0 \text{ kg/dm}^3$	107
Wasser [kg] $\rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3$	92
Luftporenbildner LP 78 [kg]	0,19
Verflüssiger FM GLENIUM ® SKY 681 [kg]	0,78

Rezeptur bezogen auf ca. 1m^3

Fall C:

Bindemittel:	CEM I 42,5 R
Sand gewaschen 0/2 [kg] $\rho = 2,63 \text{ kg/dm}^3$	1373
Zement [kg] $\rho = 3,1 \text{ kg/dm}^3$	232
Wasser [kg] $\rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3$	223
Luftporenbildner LP 70 [kg]	0,86
Luftporengehalt [%]:	ca. 18
Verflüssiger FM GLENIUM ® SKY 681 [kg]	1,37

Rezeptur bezogen auf ca. 1m^3

Fall D:

Bindemittel:	CEM I 42,5 R
Sand gewaschen 0/2 [kg] $\rho = 2,63 \text{ kg/dm}^3$	1490
Zement [kg] $\rho = 3,1 \text{ kg/dm}^3$	186
Wasser [kg] $\rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3$	224
Luftporenbildner LP 70 [kg]	0,93
Luftporengehalt [%]:	ca. 15%
Verflüssiger FM GLENIUM ® SKY 681 [kg]	1,12

Rezeptur bezogen auf ca. 1m^3

Empfehlung: Aufgrund der Ergebnisse der Langzeitversuche sollten die Druckfestigkeit für den Fall D auf $\geq 3 \text{ N/mm}^2$ erhöht werden. Um den kapillaren Wasseraufstieg so gering wie möglich zu halten, sollte ein w/z-Wert von 1,0 nicht überschritten werden.

Bei den Grabenverfüllbaustoffen für die Fälle A und B konnten nur geringe Bindemittelmengen verwendet werden, um eine für den Anwendungsfall hinreichend hohe Wasserdurchlässigkeit erzielen zu können. Daher sind diese Rezepturen nicht fließfähig und nicht selbstverdichtend, beim Einbau ist eine Verdichtung, z. B. mit einem Vibrationsstampfer aufzubringen. Eine stabile Verfüllung bei hinreichender Ummantelung der Medienleerrohre (Flatliner bzw. Rohrbündel) wurde durch Verfüllversuche nachgewiesen.

Die Grabenverfüllbaustoffe für die Fälle C und D sind zeitweise fließfähig und nahezu selbstverdichtend, ein Stochern unterstützt die hohlraumfreie Verfüllung des gefrästen Schlitzes. Bei der Rezepturfindung wurde auf eine ausreichend lange Verarbeitungsdauer und die Möglichkeit der Wasserzugabe bei einem Ansteifen des Verfüllmaterials und dem Erreichen der Druckfestigkeit im Zielkorridor sowie eines zufriedenstellendes Absetzmaßes geachtet.

Für alle empfohlenen Rezepturen wurden neben der ausreichend hohen Wasserdurchlässigkeit (Fall A und B) und der ausreichend langen Fließfähigkeit (Fall C und D) eine ausreichende Frostsicherheit unter verschärften Prüfbedingungen (Simulation des kapillaren Wasseranstiegs von unten bei gleichzeitiger Befrostung von oben, Verhinderung der Eislinnenbildung) nachgewiesen.

Außerdem wurden weitere MT-Projekte fachlich begleitet und einige bereits realisierte Projekte im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit erneut betrachtet. Als Folgerungen daraus können abgeleitet werden:

- Der Aufbau und die Qualität der Verkehrsflächen muss bekannt sein, um die Eignung für die Anwendung des Micro- / Mini-Trenching bestätigen und den erforderlichen Verfüllbaustoff auswählen zu können, erforderlichenfalls sind durch Voruntersuchungen (Schürfe, Bohrungen) die Kenntnisdefizite zu beseitigen
- Spröde Asphaltdecken, unzureichende Kornzusammensetzung und geringe Verdichtungsgrade der Frostschutzschichten führen zu unbeabsichtigten Mehrausbrüchen und Hohlraumbildungen durch den Fräsvorgang, daher sollte in diesen Fällen die konventionelle Verlegemethode angewandt werden
- Das Vorkommen von Steinen > 32 mm in den zu fräsenden Schichten führt ebenfalls zu unbeabsichtigten Mehrausbrüchen und Hohlraumbildungen durch den Fräsvorgang
- Der Rückschnitt der Asphaltdecken nach der Verfüllung sowie die fachgerechte Fugenbehandlung in den bituminösen Schichten ist Voraussetzung für eine dauerhafte Wasserdichtigkeit des wiederhergestellten Belages und zwingende Voraussetzung für Schadensfreiheit und Langlebigkeit
- Nach der Ausführung der Leerrohrverlegung im Micro- / Mini-Trenching-Verfahren sind vor dem Winter die Fugen im Asphaltbelag auf Dichtigkeit zu kontrollieren und erforderlichenfalls umgehend zu sanieren, um das Eindringen von Wasser und daraus sich entwickelnde Frostschäden zu vermeiden