

An die
Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV)
Karlgasse 5
A-1040 Wien

Trumau, am 21.12.2023

PRÜFBERICHT

PFLASTERDRAINBETON-UNTERSUCHUNGEN II

1 Fragestellung

Während im ersten Pflasterdrainbeton-Projekt (Bericht des Erstprojekts vom 29.06.2023) neben verschiedenen Rezepturen v.a. offene Fragen hinsichtlich Probenahme und Prüftechnik im Vordergrund standen, konnten nun im gegenständlichen Folgeprojekt darauf aufbauend einheitliche Methoden angewandt werden. Aufbauend auf das Erstprojekt sollten im Rahmen der gegenständlichen Projektfortsetzung die für die österreichische Baupraxis in Frage kommenden Rezepturen weiter präzisiert und für die RVS 08.18.01 abgesichert werden. Außerdem sollten die untersuchten Rezepturen neben erforderlichen Druckfestigkeiten (UCS) auch ausreichende Durchlässigkeiten aufweisen.

2 Methodik

Für die Vergleiche unterschiedlicher Pflasterdrainbetone wurde dieselbe Versuchsfläche am Gelände der BMTI in Trumau wie beim Erstprojekt bereitgestellt. Die Fa. STRABAG hat abermals Planung und Ausführung der Schalung für die einzelnen nebeneinander liegenden Versuchsfelder übernommen, die schließlich wieder seitens der Fa. ASAMER mit werkseitig gemischten Betonmischgütern am 13. Oktober 2023 befüllt und verdichtet wurden. Zur Gewährleistung besserer Homogenität des (eingebauten) Mischgutes wurden je Rezeptur 4m³ gemischt und geliefert. Die für das gegenständliche Projekt relevante Beprobung fand ab dem 7. Tag nach Einbau statt (20. Okt. bzw. 23. Okt.) Die Prüfung der Druckfestigkeiten fand 28 Tage (bzw. 31 Tage) nach Einbau statt. Verzögerte Probenahmen waren dem Umstand geschuldet, dass die Fa. Asamer aus logistischen Gründen den Einbau der Probefelder an einem Freitag terminisieren musste und dementsprechend die Probenahmen auch an einem Freitag stattfinden mussten (kurzer Tag bei BMTI).

Die aus dem Erstprojekt abgeleitete empfohlene (und umgesetzte) Vorgangsweise war im Überblick:

- Bohren mit Anhänger
- Entnahme von 7 (mindestens 5) PK je Pflasterdrainbeton-Rezeptur (oder Einbaucharge)
- Schneiden (zumindest) der Unterkante des BK auf 15 cm PK-Höhe
- Beidseitiger glatter Abgleich mit schnellhärtendem Zementmörtel in pastöser Konsistenz
- UCS 28 Tage nach Einbau bei kraftgesteuertem Lastanstieg von 2 kN/s

Neben der Druckfestigkeit war diesmal außerdem die Durchlässigkeit zu prüfen.

2.1 Rezepturen und Herstellung der Versuchsflächen

Tab. 1 gibt einen Überblick zu den einzelnen vorgesehenen Pflasterdrainbeton-Rezepturen und den zugeordneten Probefeldern.

Analog zum Erst-Projekt wurde als Unterlage eine ungebundene Tragschicht verdichtet und gebnet und anschließend mit Schalhölzern eine mindestens 20 cm hohe Schalung für 6 nebeneinander liegende Versuchsfelder (1 x 2,5 m²) montiert. Die Versuchsfelder wurden mit Transportbeton befüllt und mittels Rüttelplatte verdichtet. Der gesamte Einbau konnte bis zum Nachmittag desselben Tages abgeschlossen werden. Die gesamte betonierte Versuchsfläche (Abb. 1) wurde anschließend sofort abgedeckt, um diese vor Verdunstung und Starkregen zu schützen. Nach 7 Tagen wurde mit den Probenahmen begonnen.

Nachdem im Zuge des Einbaues bei dem ursprünglich angedachten Feld P1 zu geringe Bedeckung der Gesteinskörner mit Mörtel festgestellt wurde (Abb. 2), ist kurzfristig entschieden worden, etwa 2/3 des eingebauten Feldes wieder auszuschaufeln und zu verwerfen, die verbleibende Fläche aber interesshalber zu belassen und als Feld P1.1 zu bezeichnen. Für die wieder freigewordene Fläche wurde eine neue Mischung mit erhöhtem Zementanteil (+25 kg), aber gleichem W/B-Wert hergestellt, eingebaut und als Feld P1.2 bezeichnet.

Tab. 1: Überblick zu den einzelnen Pflasterdrainbeton-Rezepturen und den zugeordneten Versuchsfeldern.

Code Testfeld	Größtkorn [mm]	0/4 in [M.-%]	RK 4/8 in [M.-%]	RK 8/16 in [M.-%]	KK 16/22 in [M.-%]	Zement [kg]	W/B-Wert
P1.1	16	14	10	76		200	0,38
P1.2	16	14	10	76		225	0,38
P2	22		11	22	67	180	0,38
P3	22		11	22	67	230	0,38
P4	16		33	67		250	0,38
P5	16		33	67		200	0,38
P6	16		50	50		200	0,38



Abb. 1: 6 Probefelder vor erneutem Einbau der modifizierten Rezeptur in Feld P1.2. Links oben die verwendete Rüttelplatte.



Abb. 2: Zu geringer Zementmörtelanteil des Feldes P1.1.

2.2 Probenvorbereitung

2.2.1 Schneiden der Prüfflächen

Das Schneiden der erbohrten Prüfkörper (PK) erfolgte analog zum Erstprojekt. Diese wurden auf eine Höhe von 150 mm auf beiden Seiten geschnitten (Schnitt an der Oberkante so oberflächennahe wie möglich zur Schaffung einer ebenen Fläche). Neben besserer Vergleichbarkeit der PK für die Druckversuche war der beidseitige Schnitt gleichzeitig Voraussetzung für ein saftiges Aufliegen des wassergefüllten Standrohres im Zuge der Durchlässigkeitsuntersuchungen im Labor.

Auf Grund der beidseitig ebenen Schnitte und des gleichen Durchmessers konnten alle PK auch vertrauenswürdig abgemessen, deren Volumina und Massen und dadurch die Dichten ermittelt werden.

2.2.2 Zementmörtelausgleich der Prüfflächen

Der Zementmörtelabgleich auf den glatt geschnittenen Prüfflächen erfolgte nach den Durchlässigkeitsversuchen analog dem Erstprojekt. Auf gleiche Konsistenz des verwendeten Zementmörtels (abermals Cement - all) wurde besonderer Wert gelegt. Es wurden je Mischung 220 ml Wasser mit 1500 g Zement gemischt bei durchschnittlicher Mischungszeit von 120 Sekunden.

2.3 Durchlässigkeitsversuche

Die Durchlässigkeitsuntersuchungen wurden mit einem Standrohr gem. RVS 8.06.28 (Juli 1990) durchgeführt (Abb. 3 und Abb. 4, links). Die Prüfdurchführung ist ebenso an diese RVS angelehnt, die sich auf die Durchlässigkeit lärmindernder Drainasphalte (im Feld) bezieht und kommt daher dem Pflasterdrainbeton am nächsten. Die Auswertung der Durchlässigkeit als k_f -Wert erfolgte gem. RVS 11.06.27 für Versuche mit fallender Druckhöhe bei halbkugelförmiger Ausströmung aus einer kreisförmigen Einströmöffnung unter Temperaturkorrektur gem. ÖN B 4422-1. Die Standrohrapparatur gem. RVS 11.06.27 ist für Tragschichten konzipiert und wurde angesichts der sehr großen Ausströmöffnung als (v.a. für Laborversuche) ungeeigneter erachtet.

Nachdem beide RVS für Feldversuche konzipiert sind und keine Regelungen für Laborversuche an BK enthalten, wurden die Durchlässigkeiten sowohl mit Paketfolie-umhüllter Mantelfläche als auch mit Poren-offener Mantelfläche der PK durchgeführt. Zur statistischen Absicherung wurden je PK 5 Versuche hintereinander durchgeführt und gemittelt.

Aus Eigeninteresse wurden zusätzlich stichprobenartig in-situ-Durchlässigkeiten auf den Versuchsfeldern selbst gemessen (Abb. 4, rechts).

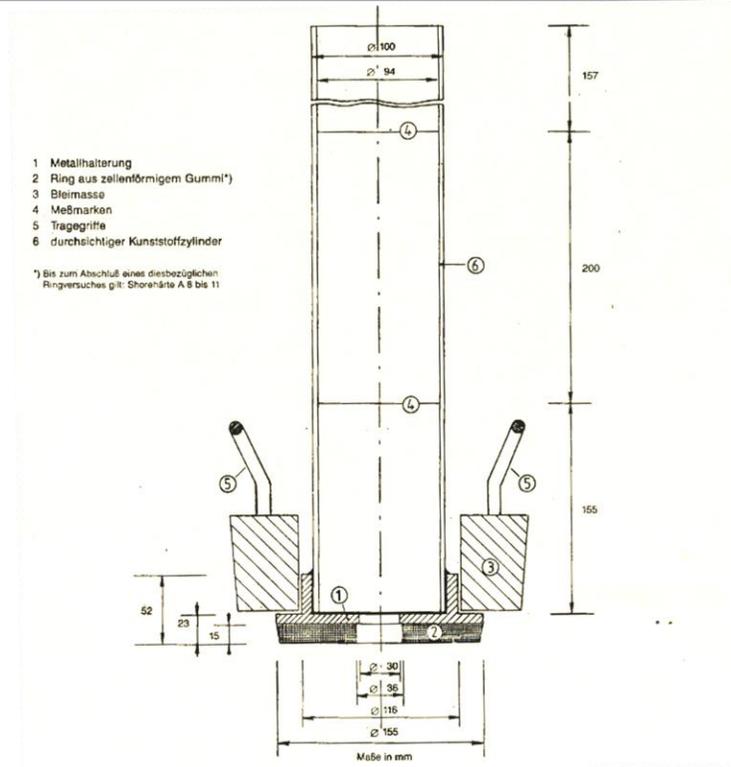


Abb. 3: Standrohr gem. RVS 8.06.28 (Juli 1990).



Abb. 4: Durchlässigkeitsmessung gemäß RVS 8.06.28 mit Bleimasse auf foliertem PK im Labor (links) und im Feld (rechts).

2.4 Druckversuch

Der Druckversuch wurde analog dem Erstprojekt mit einer hydraulischen Presse (BFI Fochler GmbH, El.Hydr. Prüfmaschine 3000 kN, kraftgesteuerter Vorschub von 2 kN/s) 28 (bzw. 31) Tage nach BK-Entnahme durchgeführt und bis zum Bruch (eindeutig erkennbar durch nicht nachregelbaren Kraftabfall) aufgezeichnet.

Die einachsiale Druckfestigkeit (UCS) ergibt sich aus erreichter Maximalkraft bezogen auf die Prüffläche (PK mit Kreisfläche von 15 cm Durchmesser).

3 Prüfergebnisse und Interpretation

Die ermittelten Einzelmesswerte aller untersuchten PK sind im Anhang tabellarisch angeführt.

Abb. 5 zeigt die Dichten, UCS und Durchlässigkeiten aller PK, Abb. 6 die entsprechenden Mittelwerte je Feld.

Aus den Daten bzw. Diagrammen lassen sich folgende Rezeptur-bezogene Erkenntnisse ziehen:

- Die unterschiedlichen Rezepturen führen zu einem relativ weiten Spektrum an Dichten zw. ca. 2060 – 2330 kg /m³.
- Die UCS erreichen zumindest etwa 8-12 MPa, Felder P3 und 4 und natürlich P1.2 sogar > 15 MPa.
- Felder P3 und 4 (und natürlich P1.2) sind es auch, welche die vergleichsweise geringsten Durchlässigkeiten (bei gleichzeitig höchsten Dichten) aufweisen. Abgesehen von P1.2 liegen die Durchlässigkeiten > etwa 2*10⁻³ m/s, meist sogar bei rund 10⁻² m/s.

Aus den Daten bzw. Diagrammen lassen sich folgende prüftechnische Erkenntnisse ziehen:

- Während die Dichten der einzelnen PK innerhalb eines Feldes sehr ähnlich sind, sind bei UCS und Durchlässigkeiten weit größere Streuungen zu beobachten. Diese Streuungen sind vmtl. weniger auf eine mögliche Inhomogenität durch Herstellung der Mischung zurückzuführen (sonst würden auch die Dichten deutlicher schwanken), sondern vielmehr dem manuellen Einbau geschuldet. An den Bohrkernwänden erkennbare einbaubedingte Lagen bzw. Dichthorizonte (Abb. 11 und Abb. 12) dürften wesentliche Ursache für die Prüfschwankungen sein. Dass es nicht nur vertikale, sondern auch laterale Inhomogenitäten gibt, zeigt augenscheinlich der Umstand, dass etwa die 5 hintereinander durchgeführten Analysen der Wasserdurchlässigkeiten an einem spezifischen PK sehr hohe Wiederholbarkeit aufweisen, die Wertenniveaus an anderen PK desselben Feldes aber sehr unterschiedlich sein können (vgl. Tab. 2).

- Die Durchlässigkeitsversuche zeigen zwischen den Settings mit / ohne Folie nur geringfügige Unterschiede bei hochsignifikanter Korrelation (Abb. 7, links). Beide Verfahren sind somit geeignet, angesichts des geringeren Aufwandes und der verringerten Fehlermöglichkeiten ist das Verfahren ohne Folierung daher vorzuziehen. Die Felddurchlässigkeit liegt (abgesehen von Feld P4) etwa doppelt so hoch wie die Labordurchlässigkeit und korreliert grob mit dieser (Abb. 7, rechts). Die höhere gemessene Felddurchlässigkeit ist mit größeren Randumläufigkeiten zu erklären, weil die Standrohrfläche nicht so dichtend aufsitzt wie auf einer im Labor geschnittenen Fläche. Ein Faktor 2 in Relation zur Laborprüfung wäre als Feldprüfung zur groben Ersteinschätzung ausreichender Durchlässigkeit absolut akzeptabel. Allerdings bedürfte es mehrerer Messstellen, um offensichtliche Inhomogenitäten statistisch zu berücksichtigen.
- Zwischen Masse des Mörtelausgleiches und UCS besteht keinerlei Zusammenhang (Abb. 8), was die prüftechnische Sinnhaftigkeit des Mörtelausgleiches für die UCS-Messung unterstreicht.
- Mäßige Zusammenhänge der UCS bestehen zu Dichte bzw. Durchlässigkeit (Abb. 9) sowie zum Zementgehalt, wenngleich Zementgehalte in nur wenigen Stufen vorliegen (Abb. 10). Beide Abbildungen zeigen eben durch diese nur mäßigen Abhängigkeiten, dass die UCS von einer Vielzahl an Parametern abhängt, die für sich allein genommen nicht die UCS erklären können. Nichtsdestotrotz kann zumindest anhand von Abb. 10 abgeleitet werden, dass bei einem Größtkorn von 22 mm und einem W/B-Gehalt von 0,38 zumindest 230 kg Zement erforderlich sind, um praktisch sicher eine UCS von 10 MPa zu erreichen (bei Feld P1.2 mit 14 % 0/4 mm führen 225 kg Zement allerdings bereits zu deutlich höheren UCS, aber auch viel geringeren Durchlässigkeiten).



Abb. 5: Dichten, UCS und Durchlässigkeiten aller PK. Die einzelnen Felder sind zur besseren Differenzierbarkeit durch alternierende Farben voneinander getrennt. Schraffierte Säulen sind Ausreißer (bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt).

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchte Probe.

Die Vervielfältigung oder Veröffentlichung von Prüfberichten oder Teile davon bedarf einer schriftlichen Zustimmung der TPA GmbH. Es gelten die Geschäftsbedingungen der TPA GmbH. Untersuchte Proben werden nach Berichtslegung grundsätzlich entsorgt, so keine rechtlichen Bestimmungen über Lagerungsfristen zum Zeitpunkt der Prüfung hinsichtlich gegenständlicher Probe existieren. Eine Lagerung gegen Gebühr ist vom Auftraggeber gesondert zu beauftragen.

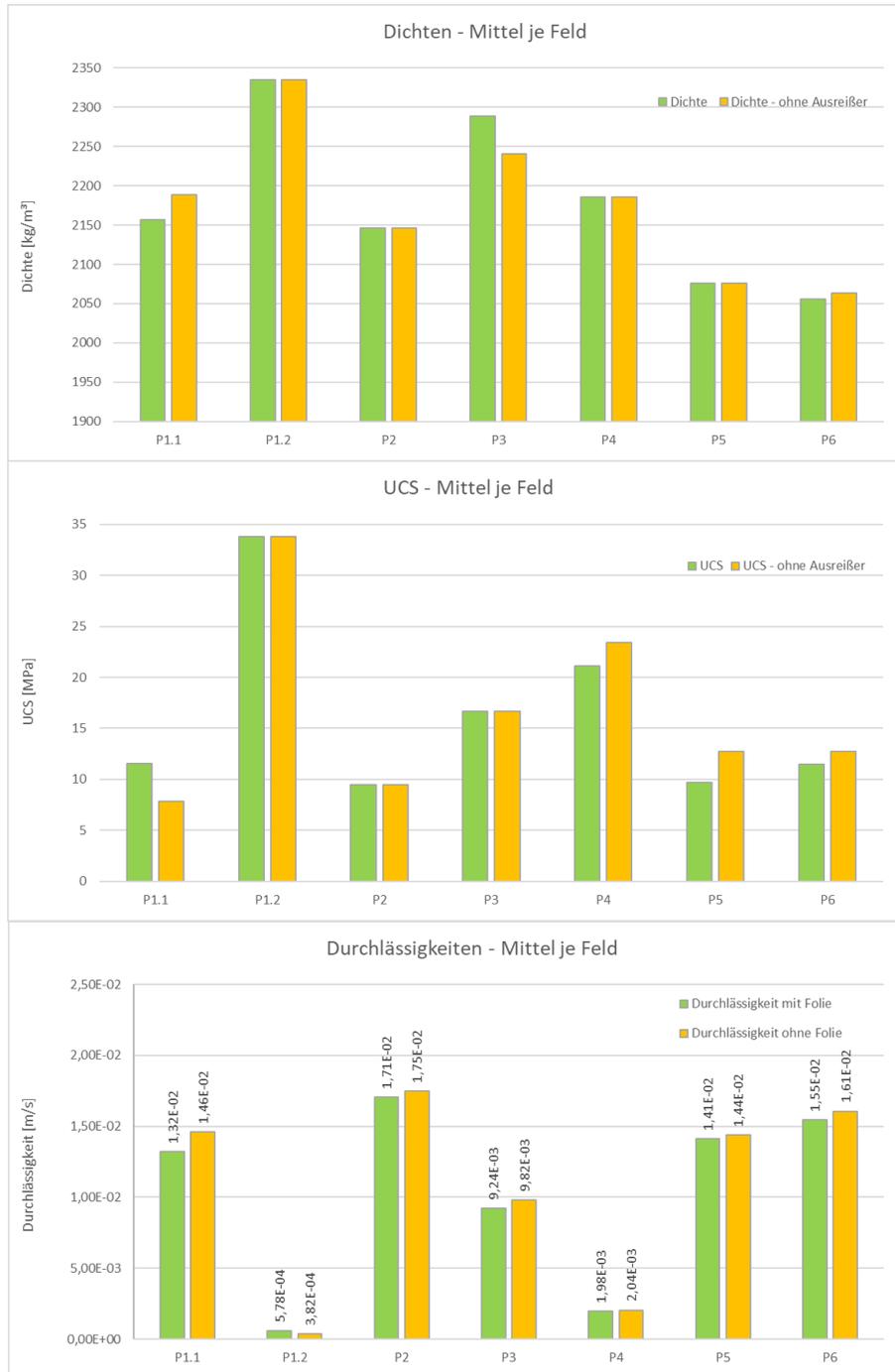


Abb. 6: Gemittelte Dichten und UCS je Feld unter Berücksichtigung von Ausreißern sowie gemittelte Durchlässigkeiten (mit / ohne Folie) je Feld.

Tab. 2: Variabilitäten der Durchlässigkeiten an spezifischen PK sowie an verschiedenen PK eines Feldes (rel. Standardabweichungen [%] in Relation zum Mittelwert)

Feld	rel. Stabw. der untersch. PK eines Feldes		mittlere rel. Stabw. der Wh.messungen 1 PK	
	mit Folie	ohne Folie	mit Folie	ohne Folie
P1.1	43,78	39,82	1,82	1,64
P2	15,95	20,11	1,36	1,07
P3	25,05	28,22	1,69	1,24
P4	42,99	40,92	1,22	0,78
P5	9,03	8,05	1,59	1,63
P6	26,75	28,12	1,41	1,69

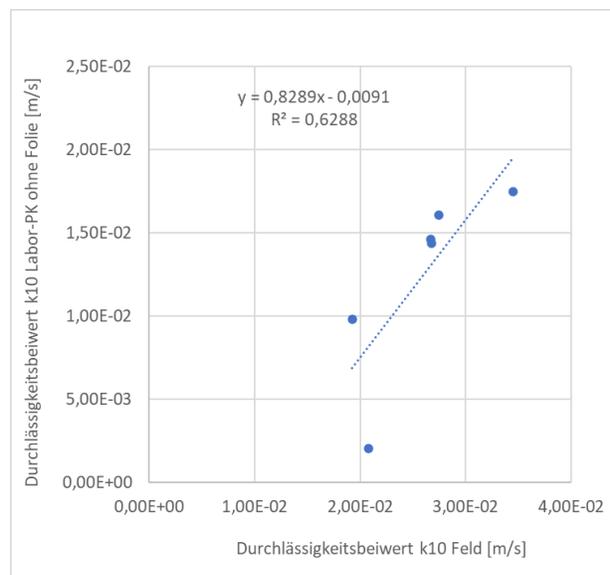
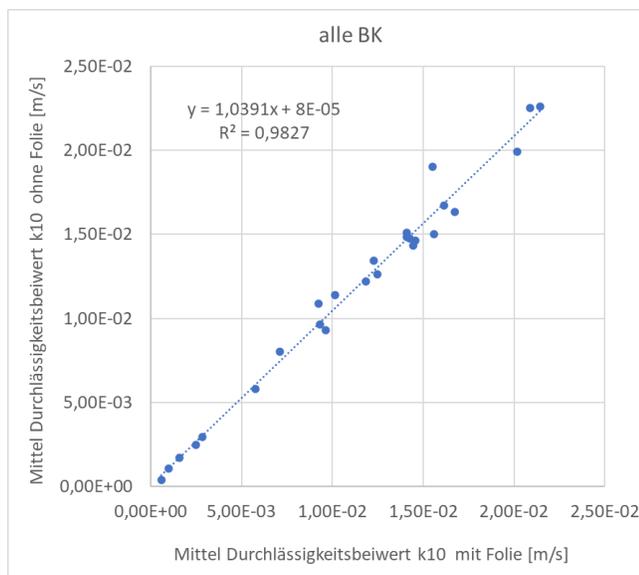


Abb. 7: Korrelation aller BK hinsichtlich Wasserdurchlässigkeit mit / ohne Folie (links) und Korrelation Labor / Feld (rechts).

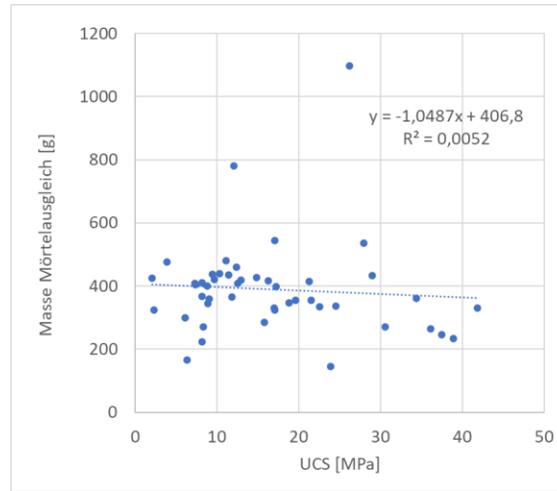


Abb. 8: (Un)abhängigkeit der UCS von der Masse des Mörtelausgleichs.

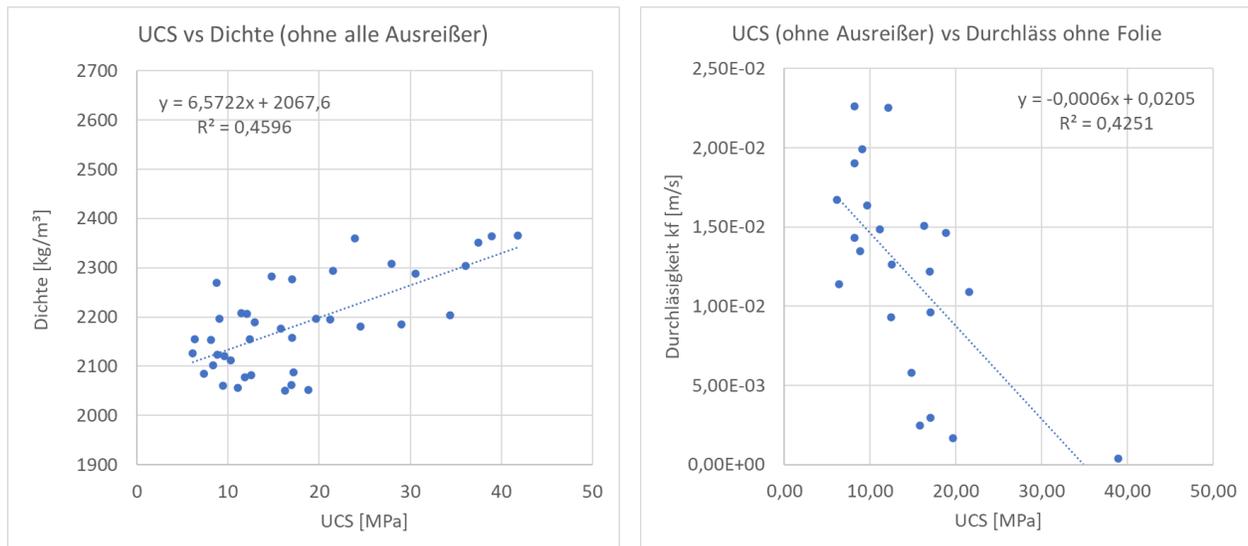


Abb. 9: Abhängigkeiten der UCS von den Dichten (links) und den Durchlässigkeiten (rechts).

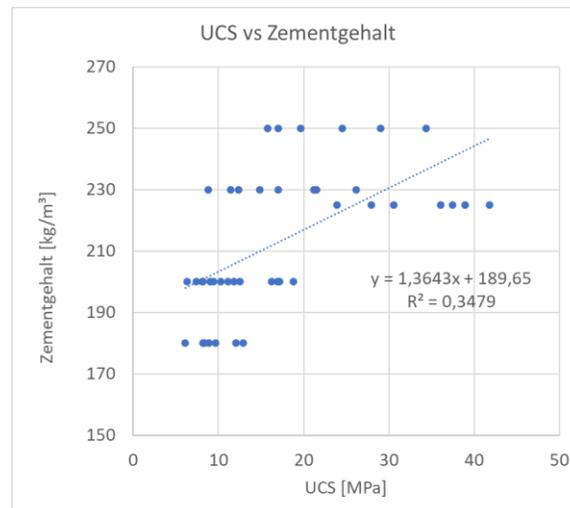


Abb. 10: Abhängigkeiten der UCS vom Zementgehalt. Die weiter rechts liegenden Werte mit Zementgehalt von 225 kg repräsentieren eine Rezeptur mit 14 % 0/4 mm (Feld 1.2), was offensichtlich zu überproportional hohen UCS führt.

4 Zusammenfassung und Resümee

Im gegenständlichen Fortsetzungsprojekt zum Pflasterdrainbeton konnte in prüftechnischer Hinsicht auf das Erstprojekt aufgebaut werden. Auf Basis der Erkenntnisse sowie der ergänzenden Anforderungen an die Bestimmung der Durchlässigkeit wurden folgende Schritte zur PK-Gewinnung und -vorbereitung durchgeführt:

- Bohren mit Anhänger
- Schneiden beider Seiten des BK auf 15 cm PK-Höhe (Schnitt der Oberseite so oberflächennah wie möglich)
- Bestimmung der Durchlässigkeit (im Labor) an zumindest 4 geschnittenen PK
- Beidseitiger glatter Abgleich mit schnellhärtendem Zementmörtel in definierter Konsistenz und UCS 28 Tage nach Einbau bei kraftgesteuertem Lastanstieg von 2 kN/s
- Prüfung von 7 PK je Pflasterdrainbeton-Rezeptur bez. UCS
- Ergänzende stichprobenartige Erfassung der Felddurchlässigkeiten

Im Rahmen dieses Projektes wurden Mischgutrezepte verwendet, die an die RVS 08.18.01 hinsichtlich Sieblinie, Zementart und -anteil sowie W/B-Verhältnis (konstant 0,38) angelehnt sind und gleichzeitig die in Österreich regional verfügbaren und in der Praxis verwendeten Gesteinskörnungen (bzw. Sieblinien) widerspiegeln.

Darüber hinaus sollte gem. Experten des FSV-Ausschusses Stei06 eine Durchlässigkeit von $k_f \geq 5 \times 10^{-4}$ m/s eingehalten werden.

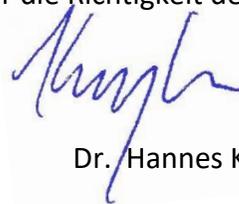
Um hinsichtlich der UCS zum Erstprojekt zu verlinken, wurden auch bei diesem Projekt Rezepturen mit gleicher Sieblinie wie bei Feld 6 des Erstprojekts untersucht. Feld 6 (180 kg Zement/m³) wies mit einer UCS von 15-20 MPa die höchsten Druckfestigkeiten auf. Im gegenständlichen Projekt entsprechen die Felder P2 und P3 der Sieblinie von Feld 6, allerdings mit Zementgehalten von 180 bzw. 230 kg. Feld P2 zeigt (diesmal) eine UCS von nur rund 10 MPa, Feld P3 hingegen (mit RVS-konformen Zementgehalten) liegt genau im Bereich von Feld 6 des Erstprojekts. Der Umstand, dass offensichtlich höhere Zementgehalte nötig sind, um die gleichen UCS wie beim Erstprojekt zu erreichen, liegt augenscheinlich im höheren W/B-Gehalt von 0,38 (Erstprojekt 0,32 oder sogar darunter) begründet.

Unter der Voraussetzung einer seitens der Experten des FSV-Ausschusses Stei06 anvisierten **Mindest-UCS-Klasse von C8/10 sowie einer Mindest-Durchlässigkeit von $k_f \geq 5 \times 10^{-4}$ m/s** müssen die Rezepturen der Felder P1.1, P1.2 und P2 als grenzwertig angesehen werden. Es sind **daher Rezepturen mit einem Zementgehalt von 205 bis 215 kg/m³ bei RVS-konformen Sieblinien zu empfehlen**, welche mit sehr großer Wahrscheinlichkeit sowohl die Anforderungen an die UCS als auch an die Durchlässigkeit mit Leichtigkeit erreichen können.

Die Festlegung dieser Zementgehalt-Bandbreite ist auch hinsichtlich des in der Praxis berichteten unterschiedlichen Zementleim-Umhüllungsverhaltens der Zuschlagstoffe zu empfehlen. Trotz Einhaltung RVS-konformer Sieblinien kann es Regions-spezifisch durch geringe Unterschiede im Gesteinsbestand oder der Aufbereitung zu relevanten Unterschieden in der generellen Kornform der Körnung kommen. Dies kann zu beträchtlichen Variationen beim Umhüllungsverhalten des Zementleims führen. Wie Prüffeld P1 zeigt, können diese Umhüllungs-Unterschiede bereits durch eine relativ schmale Bandbreite an zulässigen Zementgehalten, wie oben empfohlen, wirksam behoben werden.



Für die Richtigkeit der Darlegungen



Dr. Hannes Kugler



5 Anhang

Tab. 3: UCS, Dichten und Wasserdurchlässigkeiten sämtlicher PK, Felder 1 bis 3.

Feld	Probekörper	Bruchlast [kN]	UCS [MPa]	UCS (ohne Ausreißer) [MPa]	Dichte ohne Ausreißer [kg/m³]	Dichte ohne Ausreißer Abzüglich Zementabgleich [kg/m³]	1. Wasserdurchfluss [s] mit Folie	2. Wasserdurchfluss [s] mit Folie	3. Wasserdurchfluss [s] mit Folie	4. Wasserdurchfluss [s] mit Folie	5. Wasserdurchfluss [s] mit Folie	Mittelwert Wasserdurchfluss 5 Versuche mit Folie [s]	Mittelwert Wasserdurchfluss mit Folie [m/s]	rel. Stabw. Wasserdurchfluss mit Folie [m/s]	1. Wasserdurchfluss [s] ohne Folie	2. Wasserdurchfluss [s] ohne Folie	3. Wasserdurchfluss [s] ohne Folie	4. Wasserdurchfluss [s] ohne Folie	5. Wasserdurchfluss [s] ohne Folie	Mittelwert Wasserdurchfluss 5 Versuche ohne Folie [s]	Mittelwert Wasserdurchfluss mit Folie [m/s]	rel. Stabw. Wasserdurchfluss mit Folie [m/s]	
P1.1	1-A5	390,8	22,56		2213,009	2213,009	14,72	14,4	14,59	14,89	15,15	14,75	7,08E-03		1,9	12,56	12,76	13,06	13,28	13,29	12,99	8,04E-03	2,5
	1-B5	156,6	9,04	9,04	2196,842	2196,842	5,24	5,26	5,17	5,09	5,14	5,18	2,02E-02		1,4	5,12	5,24	5,18	5,36	5,32	5,24	1,99E-02	1,9
	1-C5	141,4	8,16	8,16	2063,791	2063,791	6,65	6,82	6,72	6,72	6,75	6,73	1,55E-02		0,9	5,54	5,59	5,37	5,42	5,5	5,48	1,90E-02	1,6
	1-A5-2	109,6	6,33	6,33	2154,583	2154,583	9,80	10,50	10,21	10,43	10,56	10,30	1,01E-02		3,1	9,1	9,21	9,15	9,23	9,17	9,17	1,14E-02	0,6
	Mittelwert	199,6	11,52	7,84	2157,06	2188,14							9,24	1,32E-02	1,82						8,22	1,46E-02	1,64
rel. Stabw		64,61	17,65	3,10	3,10							46,02	43,78							44,41	39,82		
P1.2	1-C3-2	724	41,80	41,80	2365,081	2365,081																	
	1-B2	625	36,09	36,09	2304,474	2304,474																	
	1-C1-1	649,2	37,48	37,48	2351,649	2351,649	2247									1620,34							
	1-C2	483,4	27,91	27,91	2307,904	2307,904																	
	1-C3	529,8	30,59	30,59	2288,025	2288,025																	
	1-B2-3	674	38,91	38,91	2364,588	2364,588	173,12	179,06	184,06	184,18	183,9	180,86	5,78E-04		2,7	267,24	271,09	271,18	276,21	279,73	273,09	3,82E-04	1,8
	1-A3-3						nach 2h 4 min abgebrochen																
1-A1-1	414,2	23,91	23,91	2360,192	2360,192																		
Mittelwert	585,66	33,81	33,81	2334,56	2334,56																		
rel. Stabw		19,15	19,15	1,42	1,42																		
P2	2-C1	106,2	6,13	6,13	2126,433	2126,433	6,51	6,56	6,43	6,41	6,45	6,47	1,61E-02		1,0	6,21	6,20	6,28	6,24	6,28	6,24	1,67E-02	0,6
	2-B2	208,8	12,06	12,06	2207,140	2207,140	4,93	4,96	5,00	5,14	5,00	5,01	2,09E-02		1,6	4,68	4,61	4,70	4,58	4,62	4,64	2,25E-02	1,1
	2-C3-2	224,2	12,94	12,94	2189,025	2189,025																	
	2-C3-1	153,4	8,86	8,86	2123,214	2123,214																	
	2-A4	167	9,64	9,64	2120,337	2120,337	6,14	6,36	6,21	6,29	6,18	6,24	1,67E-02		1,4	6,39	6,32	6,28	6,42	6,51	6,38	1,64E-02	1,4
	2-C5	141,4	8,16	8,16	2154,185	2154,185	7,15	7,29	7,09	7,23	7,36	7,22	1,45E-02		1,5	7,23	7,2	7,24	7,39	7,37	7,29	1,43E-02	1,2
	2-A5	144,6	8,35	8,35	2101,776	2101,776																	
2-B2-2																							
Mittelwert	163,66	9,45	9,45	2146,02	2146,02							6,23	1,71E-02	1,36							6,14	1,75E-02	1,07
rel. Stabw		24,92	24,92	1,82	1,82							14,77	15,95								17,95	20,11	
P3	3-B1	367,6	21,22	21,22	2194,414	2194,414																	
	3-A3	214,6	12,39	12,39	2154,621	2154,621	10,75	10,59	10,8	11,07	11,14	10,87	9,61E-03		2,1	11,04	11,17	11,32	11,34	11,2	11,21	9,31E-03	1,1
	3-A2	198	11,43	11,43	2207,306	2207,306																	
	3-C5	256,8	14,83	14,83	2283,047	2283,047	17,43	18,29	18,14	18,28	18,54	18,14	5,76E-03		2,4	17,87	17,86	18,00	18,01	18,04	17,96	5,82E-03	0,5
	3-A5	294,8	17,02	17,02	2276,659	2276,659	10,93	11,18	11,15	11,42	11,43	11,22	9,31E-03		1,9	19,62	10,82	10,86	10,7	11	12,60	9,63E-03	1,1
	3-B3	372,8	21,52	21,52	2293,796	2293,796	11,21	11,21	11,46	11,32	11,26	11,29	9,25E-03		0,9	9,68	9,5	9,51	9,7	9,53	9,58	1,09E-02	1,0
	3-C3	152,2	8,79	8,79	2269,463	2269,463	8,40	8,42	8,59	8,62	8,53	8,51	1,23E-02		1,2	7,75	7,73	7,61	7,62	8,1	7,76	1,35E-02	2,5
3-B2	453,6	26,19	26,19	2625,884	2625,884																		
Mittelwert	288,8	16,67	16,67	2288,15	2239,90							12,01	9,24E-03	1,69							11,82	9,82E-03	1,24
rel. Stabw		35,58	35,58	6,35	6,35							30,09	25,05								32,78	28,22	

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchte Probe.

Die Vervielfältigung oder Veröffentlichung von Prüfberichten oder Teile davon bedarf einer schriftlichen Zustimmung der TPA GmbH. Es gelten die Geschäftsbedingungen der TPA GmbH. Untersuchte Proben werden nach Berichtslegung grundsätzlich entsorgt, so keine rechtlichen Bestimmungen über Lagerungsfristen zum Zeitpunkt der Prüfung hinsichtlich gegenständlicher Probe existieren. Eine Lagerung gegen Gebühr ist vom Auftraggeber gesondert zu beauftragen.



Tab. 4: UCS, Dichten und Wasserdurchlässigkeiten sämtlicher PK, Felder 4 bis 6.

Feld	Probekörper	Bruchlast [kN]	UCS [MPa]	UCS (ohne Ausreißer) [MPa]	Dichte ohne Abzüglich Zementabgleich [kg/m³]	Dichte ohne Abzüglich Zementabgleich [kg/m³]	1. Wasserdurchfluss [s] mit Folie	2. Wasserdurchfluss [s] mit Folie	3. Wasserdurchfluss [s] mit Folie	4. Wasserdurchfluss [s] mit Folie	5. Wasserdurchfluss [s] mit Folie	Mittelwert Wasserdurchfluss 5 Versuche mit Folie [s]	Mittel Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k10 [m/s]	rel. Stabw. Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k10 [m/s]	1. Wasserdurchfluss [s] ohne Folie	2. Wasserdurchfluss [s] ohne Folie	3. Wasserdurchfluss [s] ohne Folie	4. Wasserdurchfluss [s] ohne Folie	5. Wasserdurchfluss [s] ohne Folie	Mittelwert Wasserdurchfluss 5 Versuche ohne Folie [s]	Mittel Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k10 [m/s]	rel. Stabw. Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k10 [m/s]	
P4	4-A3	424,8	24,53	24,53	2180,250	2180,250																	
	4-C5																						
	4-A5	502,2	29,00	29,00	2185,571	2185,571																	
	4-B2-2	595,6	34,39	34,39	2203,220	2203,220																	
	4-B2	273,6	15,80	15,80	2177,176	2177,176	40,87	41,58	42,15	42,24	42,65	41,90	2,49E-03	1,7	41,70	42,45	42,46	42,81	42,62	42,41	2,46E-03	1,0	
	4-C3	295,2	17,04	17,04	2157,581	2157,581	36,24	36,5	36,87	36,92	37,18	36,74	2,84E-03	1,0	35,21	35,00	35,21	35,41	35,67	35,30	2,96E-03	0,7	
	4-B4	340	19,63	19,63	2196,851	2196,851	64,84	65,31	65,72	66,84	107,06	73,95	1,59E-03	1,3	61,36	61,37	61,68	61,9	61,93	61,65	1,69E-03	0,4	
	4-B3	126,8	7,32		2199,328	2199,328	105,42	106,8	106,67	107,23	108,17	106,86	9,77E-04	0,9	97,31	97,86	98,18	98,81	99,76	98,38	1,06E-03	1,0	
P4	Mittelwert	365,46	21,10	23,40	2185,71	2185,71						64,86	1,98E-03	1,22						59,44	2,04E-03	0,78	
	rel. Stabw		42,71	31,16	0,73	0,73						50,07	42,99							47,53	40,92		
P5	5-C3	127,8	7,38		2084,715	2084,715																	
	5-A5																						
	5-A4	178,6	10,31	10,31	2112,160	2112,160																	
	5-B4	217,2	12,54	12,54	2081,849	2081,849	8,14	8,42	8,39	8,53	8,36	8,37	1,25E-02	1,7	8,14	8,20	8,20	8,21	8,54	8,26	1,26E-02	1,9	
	5C4	297,8	17,19	17,19	2087,649	2087,649																	
	5-C1	39,4	2,27		2058,946	2058,946	6,73	6,52	6,73	6,75	6,76	6,70	1,56E-02	1,5	6,92	7,18	6,8	6,96	6,97	6,97	1,50E-02	2,3	
	5-B2	281,4	16,25	16,25	2049,992	2049,992	7,28	7,42	7,36	7,51	7,51	7,42	1,41E-02	1,3	6,87	6,89	6,87	6,90	7,09	6,92	1,51E-02	1,3	
	5-A2	36,2	2,09		2055,326	2055,326	7,24	7,36	7,54	7,21	7,32	7,33	1,42E-02	1,8	7,04	7,18	7,02	7,12	7,01	7,07	1,48E-02	1,0	
P5	Mittelwert	168,34	9,72	12,73	2075,81	2075,81						7,45	1,41E-02	1,59						7,31	1,44E-02	1,63	
	rel. Stabw		63,13	32,09	1,07	1,07						9,24	9,03							8,74	8,05		
P6	6-B2	205,2	11,85	11,85	2078,285	2078,285																	
	6-B3	66,6	3,85		2071,376	2071,376																	
	6-B5																						
	6A4	163,4	9,43	9,43	2060,099	2060,099																	
	6-C4	192,4	11,11	11,11	2056,920	2056,920	7,42	7,37	7,45	7,48	7,32	7,41	1,41E-02	0,9	6,93	7,02	7,00	7,17	7,02	7,03	1,49E-02	1,2	
	6-B4	293,4	16,94	16,94	2062,189	2062,189	8,76	8,84	8,68	8,84	9,02	8,83	1,18E-02	1,4	8,42	8,54	8,45	8,7	8,72	8,57	1,22E-02	1,6	
	6-C5	140,8	8,13	8,13	2006,680	2006,680	4,81	4,87	4,86	4,95	4,89	4,88	2,14E-02	1,0	4,78	4,67	4,42	4,58	4,67	4,62	2,26E-02	2,9	
	6-A1	326,2	18,83	18,83	2051,970	2051,970	6,95	7,10	7,20	7,36	7,31	7,18	1,45E-02	2,3	7,12	7,06	7,12	7,24	7,18	7,14	1,46E-02	1,0	
P6	Mittelwert	198,29	11,45	12,72	2055,36	2063,47						7,07	1,55E-02	1,41						6,84	1,61E-02	1,69	
	rel. Stabw		44,80	33,44	1,13	1,13						23,13	26,75							23,90	28,12		

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchte Probe.

Die Vervielfältigung oder Veröffentlichung von Prüfberichten oder Teile davon bedarf einer schriftlichen Zustimmung der TPA GmbH. Es gelten die Geschäftsbedingungen der TPA GmbH. Untersuchte Proben werden nach Berichtslegung grundsätzlich entsorgt, so keine rechtlichen Bestimmungen über Lagerungsfristen zum Zeitpunkt der Prüfung hinsichtlich gegenständlicher Probe existieren. Eine Lagerung gegen Gebühr ist vom Auftraggeber gesondert zu beauftragen.



Tab. 5: Wasserdurchlässigkeiten im Feld (die rot markierten Werte stellen Positionen mit offensichtlicher Verdichtung durch Zementmörtelanreicherung dar). Die Messungen der Wasserstände in nahe gelegenen Bohrlöchern dienten der Dokumentation, ob es im Zuge der Versuchsdurchführung zu einer Aufspiegelung = Rückstau durch den Untergrund, kam.

Feld		1.Messung	2.Messung	3.Messung	Mittelwert	Wasserdurchlässigkeit K10 Wert 1.Messung gemäß RVS 11.06.27 [m/s]	Wasserdurchlässigkeit K10 Wert 2.Messung gemäß RVS 11.06.27 [m/s]	Wasserdurchlässigkeit K10 Wert 3.Messung gemäß RVS 11.06.27 [m/s]	PK-Mittel Wasserdurchlässigkeit K10 Wert gemäß RVS 11.06.27 [m/s]	Feld-Mittel Wasserdurchlässigkeit K10 Wert gemäß RVS 11.06.27 [m/s]	Wasserstand in benachbartem Bohrloch <u>vor</u> der Messung [cm]	Wasserstand in benachbartem Bohrloch <u>nach</u> der Messung [cm]
		[s]	[s]	[s]	[s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[cm]	[cm]
P1.1	A5	3,07	2,86	2,78	2,90	3,40E-02	3,65E-02	3,76E-02	3,60E-02		7	7
	C5	6,0				1,74E-02			1,74E-02	2,67E-02	7	7
P2	A4	2,75	3		2,88	3,80E-02	3,48E-02		3,64E-02		8,5	8,5
	C3	3,2				3,26E-02			3,26E-02	3,45E-02	8,5	8,5
P3	C1	4,5	4,7		4,60	2,32E-02	2,22E-02		2,27E-02		9	9
	B3	6,62				1,58E-02			1,58E-02	1,92E-02	9	9
P4	C1	3,75	4,12		3,94	2,78E-02	2,53E-02		2,66E-02		9	9
	A3	6,95				1,50E-02			1,50E-02	2,08E-02	9	9
P5	B5	3,82	3,7		3,76	2,73E-02	2,82E-02		2,78E-02		10	10
	B3	4,06				2,57E-02			2,57E-02	2,68E-02	10	10
P6	C3	3,92	3,84		3,88	2,66E-02	2,72E-02		2,69E-02		10	10
	C1	3,73				2,80E-02			2,80E-02	2,75E-02	10	10

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchte Probe.

Die Vervielfältigung oder Veröffentlichung von Prüfberichten oder Teile davon bedarf einer schriftlichen Zustimmung der TPA GmbH. Es gelten die Geschäftsbedingungen der TPA GmbH. Untersuchte Proben werden nach Berichtslegung grundsätzlich entsorgt, so keine rechtlichen Bestimmungen über Lagerungsfristen zum Zeitpunkt der Prüfung hinsichtlich gegenständlicher Probe existieren. Eine Lagerung gegen Gebühr ist vom Auftraggeber gesondert zu beauftragen.



Abb. 11: Exemplarische Fotodoku repräsentativer PK der Prüffelder P1.1 bis P3.

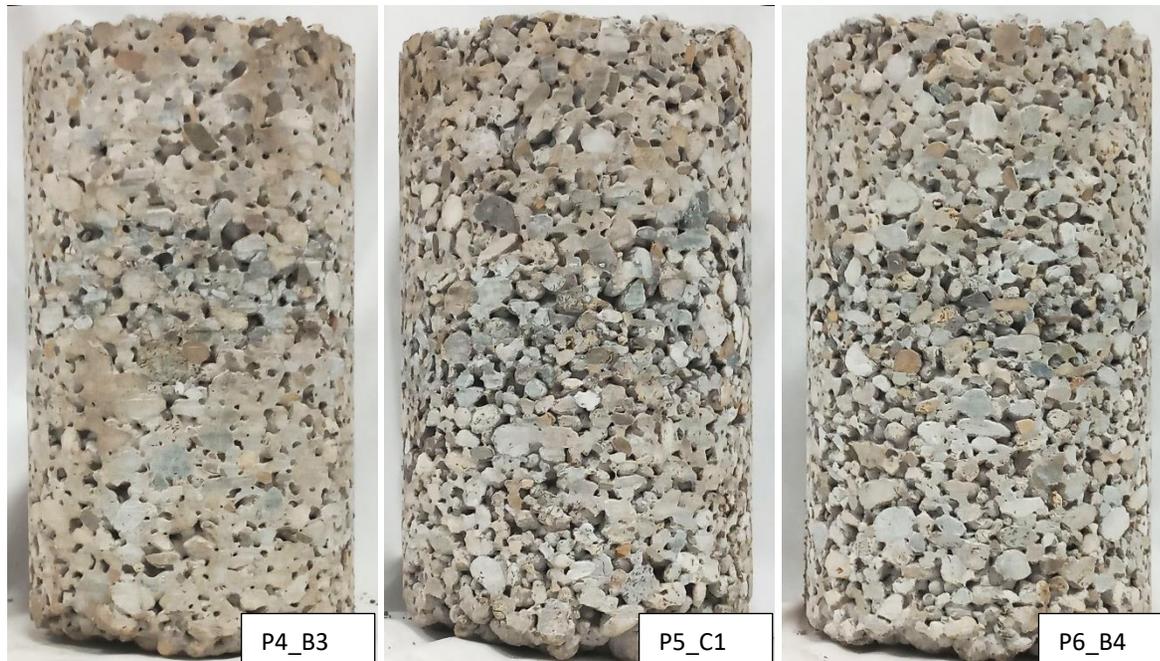


Abb. 12: Exemplarische Fotodoku repräsentativer PK der Prüffelder P4 bis P6.