

KI Keramik-Institut GmbH

**„Entwicklung und Produktionsversuch eines stranggezogenen
wasserdurchlässigen Pflasterziegels“
*2. Teilprojekt***

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 32302 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr. Jens Petzold

Meißen, Oktober 2021

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	32302/02	Referat	23	Fördersumme	229.780 €
Antragstitel		Entwicklung und Produktionsversuch eines stranggezogenen wasserdurchlässigen Pflasterziegels - Teilprojekt 2 (TP2)			
Stichworte					
	Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
	2 Jahre	11.07.2019	10.07.2021		
Abschlussbericht					
Bewilligungsempfänger	KI Keramik-Institut GmbH Ossietzkystr. 37a 01662 Meißen			Tel	03521-463515
				Fax	03521-463516
				Projektleitung	Dr. Jens Petzold
			Bearbeiter	Katja Isserstedt	
Kooperationspartner	keiner				
<p>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</p> <p>Wasserdurchlässige Deckschichten sind heute Stand der Technik. Ihre Anwendung ist in Merkblättern und Vorschriften geregelt. In der KI Keramik-Institut GmbH wurde in den letzten Jahren ein wasserdurchlässiger Pflasterziegel entwickelt, der den Regelungen für wasserdurchlässige Deckschichten entspricht und in seiner Optik und Haptik wasserundurchlässigen Pflasterklinkern ähnelt. Alle technologischen Schritte und Eigenschaften der Zwischenprodukte entsprechen den Forderungen der Ziegelindustrie. Die einzige Ausnahme ist die Formgebung mittels hydraulischer Presse. Das Trockenpressen wird in der Ziegelindustrie faktisch nicht angewandt und stellt somit das Haupthindernis zur Überführung der Technologie in die industrielle Produktion dar.</p> <p>Es soll eine Technologie zur Herstellung eines wasserdurchlässigen Pflasterziegels mittels Strangpressen entwickelt (TP1) und in einer Pilotproduktion (TP2) getestet werden. Damit wird Nutzern, die heute aus ästhetischen oder historischen Gründen keramische Deckschichten benutzen die Möglichkeit gegeben werden, versickerungsfähige Verkehrsflächen zu errichten, die den bisher verwendeten wasserundurchlässigen Deckschichten aus Keramik im Material, in der Optik und in der Haptik gleichen.</p> <p>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</p> <ul style="list-style-type: none"> - Umbau, Erweiterung und Test für eine Pilotproduktion notwendigen Einrichtungen - Entwicklung einer Technologie für die Herstellung von Formlingen in der Pilotproduktion - Anpassung der Brennkurve für die Pilotproduktion im industriellen Herdwagenofen - Überwachung und Durchführung der Pilotproduktion wasserdurchlässiger Pflasterziegel - Stetige interne Überwachung der Produkteigenschaften - Pflastern einer Demonstrationsfläche mit wasserdurchlässigen Pflasterziegeln aus der Pilotproduktion und Dokumentation der Arbeiten an der Demonstrationsfläche - Öffentlichkeitsarbeit 					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt □ An der Bornau 2 □ 49090 Osnabrück □ Tel 0541/9633-0 □ Fax 0541/9633-190 □ http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Es wurden 300 m² wasserdurchlässige Pflasterziegel in einer Pilotproduktion unter Technikumsbedingungen (vorhandene, aber angepasste Maschinen und Ausrüstungen) hergestellt. Diese Pflasterziegel entsprechen nach externer und interner Prüfung den anwendbaren Normen und Regeln für Pflasterziegel. Die ermittelte Wasserdurchlässigkeit ist mindestens 5x höher als normativ gefordert. Mit den produzierten Pflasterziegeln wurde der Eingang zum Innovations-Centrum Meißen gepflastert. Die Fläche dient neben der Demonstration für zukünftige Anwender der Beobachtung und Beurteilung des Langzeitverhaltens wasserdurchlässiger Pflasterziegel. Die Ziegel werden über die Webseite der KI Keramik-Institut GmbH, sowie regionale Baustoffhändler vermarktet. Mit dem Ziel einer auch ökonomischen Marktakzeptanz ist der Verkaufspreis nur geringfügig höher als die Produktionskosten. Weitere Schritte sind die Senkung der Produktionskosten, durch geeignetere -neue- Ausrüstungen und durch Liefervereinbarungen mit regionalen Anbietern des Gerüstkornes (Hauptbestandteil des Produktes).

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die öffentliche Demonstrationsfläche (50m²) wurde in Anwesenheit des Oberbürgermeisters der Stadt Meißen und in Anwesenheit der regionalen Presse eröffnet. Eine Tafel zur Beschreibung des neuartigen Belages ist beauftragt.

In der Fachzeitschrift THIS (Tiefbau Hochbau Ingenieurbau Straßenbau) wird in der Ausgabe 11/12 2021 ein Fachbeitrag für mögliche Anwender des wasserdurchlässigen Pflasterziegels erscheinen.

Die Vorstellung des Produktes auf Veranstaltungen wird bei dem erwarteten Rückgang der Covid-19 Einschränkungen forciert werden.

Das Produkt wird im Webauftritt des Antragstellers erklärt und beworben ([Link](#)).

Fazit

Wasserdurchlässige Pflasterziegel werden im Moment in einer Pilotproduktion hergestellt. Die Pflasterziegel bestehen aus Gesteinssplitt, Feldspat und Ton. Sie werden durch Formen, Trocknen und Brennen bei über 1000 °C hergestellt. Sie entsprechen damit der Definition eines keramischen Pflasterziegels.

1. Die wasserdurchlässigen Pflasterziegel erfüllen die in der EN 1344 für Pflasterziegel definierten höchsten Anforderungen, soweit diese auf das Produkt wasserdurchlässiger Pflasterziegel anwendbar sind. Der Parameter Frost-Tau-Widerstand der EN 1344 wurde ebenfalls erfüllt.
2. Die Wasserdurchlässigkeit beträgt mehr als das 5-fache der geforderten Durchlässigkeit, so dass große Reserven gegen Verschmutzung bestehen.
3. Die Aufbereitung der Rohstoffe entspricht den in der Ziegelindustrie vorherrschenden Aufbereitungsmethoden.
4. Die Ziegel konnten im Stapel mit bis zu 6 Ziegeln gebrannt werden (Ausbrandtemperatur größer 1000°C).
5. Wasserdurchlässige Pflasterziegel lassen sich mit ca. 50% weniger Erdgas und demzufolge ca. 50% geringeren CO₂-Emissionen herstellen, da die Produkte keine Trocken- und keine Brennschwindung aufweisen.
6. Aus der Pilotproduktion des Keramik-Institutes wurden vor dem Haupteingang der Innovations Centrum Meißen GmbH 50 m² einer öffentlich zugänglichen Fläche gepflastert, die als Demonstrations- und Testfläche dient (Zugang 24/7).

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	4
VERZEICHNIS DER TABELLEN	5
VERZEICHNIS DER BILDER	5
ABKÜRZUNGEN, BEGRIFFE UND DEFINITIONEN	6
Zusammenfassung.....	7
1 Anlass und Aufgabenstellung	8
2 Pilotproduktion von stranggezogenen wasserdurchlässigen Pflasterziegeln.....	10
2.1 ROHSTOFFBASIS	10
2.2 TEST DES PRESSENUMBAUS UND VERSUCHSBRÄNDE	11
2.3 PILOTPRODUKTION.....	13
2.3.1 ÜBERWACHUNG DER PILOTPRODUKTION	13
2.3.2 BRAND IM 2M ³ HERDWAGENOFEN	14
3. PRODUKTEIGENSCHAFTEN	16
3.1 STRUKTUR DES PRODUKTES	16
3.2 KENNWERTE DES PRODUKTES.....	17
3.3 MUSTERFLÄCHE	19
3 Fazit	21
4 Literaturverzeichnis.....	23

Verzeichnis der Tabellen

Projektkennblatt	2
Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung Basaltsplitte im Verlauf der Pilotproduktion	11
Tabelle 2: Einfluss des Gradienten im Ofen auf die beiden wichtigsten Eigenschaften des wasserdurchlässigen Pflasterziegels	15
Tabelle 3: Eigenschaften des wasserdurchlässigen Pflasterziegels entsprechend externer akkreditierter Bestimmungen nach EN 1344 [7].....	17

Verzeichnis der Bilder

Bild 1: Keine Ausblühungen auf wasserdurchlässigen Pflasterziegeln aus der Pilotproduktion, nach 6 monatiger Lagerung im regenreichen Sommer/Herbst 2021	11
Bild 2: Strangpresse mit Versuchsmasse.....	12
Bild 3: Stapelung der Ziegel im Ofen	13
Bild 4: Einrichtung zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit.....	14
Bild 5: Einrichtung zur Bestimmung der Biegebruchlast.....	14
Bild 6: Wasserdurchlässige Pflasterziegel der Pilotproduktion nach dem Brand	15
Bild 7: Sägefläche mit Poren im wasserdurchlässigen Pflasterziegel	16
Bild 8: 3D-Scan der Sägefläche aus Bild 7	16
Bild 9: Datenblatt des wasserdurchlässigen Pflasterziegels (externe/interne Bestimmung)..	18
Bild 10: Einweihung der Demonstrationsfläche durch Herrn Olaf Rasche, Oberbürgermeister der Stadt Meißen (Mitte), sowie Herrn Dr. Jens Petzold und Herrn Rüdiger Köhler, KI Keramik-Institut GmbH	19
Bild 11: Grenze zwischen der Demonstrationsfläche mit wasserdurchlässigen Pflasterziegeln und dem Betonpflaster nach der Beaufschlagung mit Wasser.....	19
Bild 12: Demonstrationsfläche -trocken- vor der Sanierung	20
Bild 13: Demonstrationsfläche vor der Sanierung, 15s nachdem 10l Wasser aufgebracht wurden	20
Bild 14: Demonstrationsfläche -trocken- nach der Sanierung.....	20
Bild 15: Demonstrationsfläche nach der Sanierung, 15s nachdem 10l Wasser aufgebracht wurden	20

Abkürzungen, Begriffe und Definitionen

Abkürzung/Begriff	Definition
HP	Halbkugelpunkt bestimmt mittels Erhitzungsmikroskop
FP	Fließpunkt bestimmt mittels Erhitzungsmikroskop
TIC	Gehalt an anorganischem Kohlenstoff bestimmt mittels Elementaranalyse, Infrarotspektroskopie
TC	Gehalt an Gesamtkohlenstoff bestimmt mittels Elementaranalyse, Infrarotspektroskopie
QU	Quarzgehalt bestimmt mittels Röntgendiffraktometrie
SiO ₂ bis SO ₃	Chemische Bestandteile bestimmt mittels Röntgenspektroskopie
GV	Glühverlust bei 1000 °C
Wasserdurchlässigkeit	Labormäßige Bestimmung der hydraulischen Wasserdurchlässigkeit mit einer Vorrichtung entsprechend [3], siehe auch Bild 4
Biegebruchlast (BBL)	Die Biegebruchlast wird an Ziegeln geprüft, die an den Enden aufliegen und mittig bis zum Bruch belastet werden. Bestimmung entsprechend [4]
Feuchte	Als Feuchte bezeichnet man die Gewichts Differenz zwischen der Masse der Originalsubstanz eines Feststoffes und der Masse eines Feststoffes nach der Exposition bei einer Temperatur von 105 °C. Bestimmt nach DIN 51078 „Bestimmung der anhaftenden Feuchte“.
Ausbrandtemperatur	Programmierte Temperatur während der Haltezeit

Zusammenfassung

Im Keramikinstitut wurde eine Pilotproduktion für wasserdurchlässige Pflasterziegel aufgebaut. Diese Pilotproduktion wurde, soweit dies unter Technikumsbedingungen möglich ist, unter Effizienzgesichtspunkten optimiert. Die Pflasterziegel werden aus Gesteinsplitt, Ton und Feldspat geformt, getrocknet und gebrannt ($> 1000^{\circ}\text{C}$). Damit handelt es sich per Definition der EN 1344 (DIN EN 1344 Pflasterziegel- Anforderungen und Prüfverfahren) um einen keramischen Pflasterziegel. Es wurden 300 m^2 wasserdurchlässige Pflasterziegel hergestellt.

Die Eigenschaften der Pflasterziegel wurden sowohl extern als auch intern geprüft. Für die Parameter Frost-Tau-Widerstand, Abriebwiderstand und Gleit-/Rutschwiderstand wurden extern wie intern die jeweils höchste Klasse ermittelt. Die Biegebruchlast wurde extern mit T3 und intern mit T4 (höchste Klasse) bestimmt. Die Wasserdurchlässigkeit wurde intern mit dem 5-fachen der relevanten Norm und extern mit dem 15-fachen bestimmt (normativ: $5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$).

Vor dem Haupteingang zum Innovations Centrum Meißen wurden 50 m^2 mit wasserdurchlässigen Pflasterziegeln befestigt. Diese Demonstrationsfläche wurde gemeinsam mit dem Oberbürgermeister der Stadt Meißen feierlich eröffnet (siehe Bild) und ist für die Öffentlichkeit 24/7 frei zugänglich.



Illustration der Funktion des wasserdurchlässigen Pflasterziegels: Herr Oberbürgermeister Olaf Raschke (rechts, auf einer Fläche mit wasserdurchlässigem Pflasterziegeln) und Herr Dr. Jens Petzold (links auf einer Fläche mit wasserunndurchlässiger Befestigung). Die Pfützenbildung auf dem Betonpflaster im Unterschied zum wasserdurchlässigen Pflasterziegel ist zu erkennen.

1 Anlass und Aufgabenstellung

Versickerungsfähige Verkehrsflächen mit wasserdurchlässigen Deckschichten sind heute Stand der Technik. Im Allgemeinen werden Gittersteine aus Keramik oder Beton verwendet oder die Wasserdurchlässigkeit wird durch ein geeignetes Verlegemuster erreicht. Massive wasserdurchlässige Betonsteine (Drainbeton) sind ebenfalls erhältlich. Einzig diese Steine stellen eine „echte“ Befestigung sicher, sind aber für repräsentative Flächen nicht optimal geeignet. Ihre Anwendung ist in [1] geregelt. In diesem Merkblatt und in [2] werden Vorschriften gemacht wie wasserdurchlässige Deckschichten zu verlegen sind, damit diese u. a. frostsicher sind.

Die entwickelte Technologie für den wasserdurchlässigen Pflasterziegel ist dabei wie folgt: Ein Gerüst Korn (Hauptbestandteil) wird mit einem Gemisch aus Ton und Sinterhilfsmittel gecoatet. Die entstehenden Granalien werden auf einer hydraulischen Presse zu Pflasterziegeln geformt. Die Rohlinge werden getrocknet und in 24 h "kalt zu kalt" gebrannt. Beim Brand verringern der Ton und das Sinterhilfsmittel ihr Volumen, die Gesteinskörnung verhindert jedoch eine Schwindung des Ziegels. Dadurch entstehen Hohlräume und Kanäle im Ziegel, die die Wasserdurchlässigkeit ermöglichen.

Alle technologischen Schritte und Eigenschaften der Zwischenprodukte entsprechen den Forderungen einer industriellen Produktion (Robustheit der Roh- und Grünlinge, Trocknung, Stapelbrand möglich, energiesparende und einfache Brennkurve). Die einzige Ausnahme ist die Formgebung mittels hydraulischer Presse mit exakt einstellbarem Pressdruck (Trockenpressen). Neben den Eigenschaften des Versatzes und der Ausbrandtemperatur hat der Pressdruck einen entscheidenden Einfluss auf die erreichbare Wasserdurchlässigkeit des Produktes: Ist die Anfangsverdichtung zu hoch, kann keine ausreichende Wasserdurchlässigkeit erreicht werden. Bei zu niedriger Verdichtung treten Probleme mit dem Handling der ungebrannten Ziegel auf. Die Formgebung mittels hydraulischen Pressens wird in der Ziegelindustrie faktisch nicht angewandt und stellt somit das Haupthindernis zur Überführung der Technologie in die industrielle Produktion dar.

Im Teilpaket 1 des Projektes „Entwicklung und Produktionsversuch eines stranggezogenen wasserdurchlässigen Pflasterziegels“ wurde deshalb eine Masse und eine Technologie entwickelt, mit der wasserdurchlässige Pflasterziegel mittels Strangpressen hergestellt werden können. Die Ergebnisse des Teilpaketes 1 sind in [6] dargestellt. Dort konnte folgendes Fazit gezogen werden:

- ✓ Es ist gelungen, einen wasserdurchlässigen Pflasterziegel durch das Formgebungsverfahren Extrusion herzustellen.
- ✓ Der stranggezogene wasserdurchlässige Pflasterziegel erfüllt die kritischen Parameter Biegebruchlast und Wasserdurchlässigkeit der jeweiligen Normen. Die Wasserdurchlässigkeit liegt beim 10 bis 20fachen der geforderten Durchlässigkeit, so dass große Reserven gegen Verschmutzung bestehen.

- ✓ Die Parameter Frost-Tauwechsel und Rohdichte der Normen wurden ebenfalls erfüllt.
- ✓ Die Aufbereitung der Rohstoffe konnte an die in der Ziegelindustrie vorherrschenden Aufbereitungsmethoden angepasst werden. Kleinere Modifikationen sind notwendig (Bypass Walzwerke!).
- ✓ Die Ziegel konnten im Stapel mit bis zu 6 Ziegeln gebrannt werden (Ausbrandtemperatur >1000°C).
- ✓ Die verwendeten Rohstoffe sind in ausreichender Qualität aus ökonomisch vertretbaren Entfernungen verfügbar

Die prinzipielle Machbarkeit der Herstellung von wasserdurchlässigen Pflasterziegeln mit eingeführten Technologien der Ziegelindustrie wurde bewiesen.

Folgende Probleme traten auf und sind deshalb im Teilpaket 2 zu lösen:

1. Die Ziegel flossen direkt nach der Strangpresse, so dass eine leicht trapezförmige Fläche entstand. Dieses Fließen geht vermutlich auf eine zu geringe Verdichtung der Masse zurück.
2. Die Ziegel zeigten direkt nach der Strangpresse ein leichtes Aufwölben an der Oberseite. Dieser Effekt tritt als Rückdehnung und bei nicht exakt geschwindigkeitskonformen Transportbändern auf.
3. Die Biegebruchlast wurde an 75 mm dicken Ziegeln bestimmt, bei dünneren Ziegeln wird die geforderte Biegebruchlast von 80 N/mm (T4 nach [4]) vermutlich nicht erreicht.
4. Im Stapelbrand kam es wegen der nicht exakt ebenen Standflächen der Ziegel und einer vermutlich geringen Erweichung zu kleinen Verschiebungen der jeweils obersten Ziegelreihe.
5. Das Mischen der trockenen Rohstoffe wurde manuell durchgeführt und hatte eine erhebliche Staubbelastung für die Ausführenden zur Folge.

Aus den Problemen 1 bis 5 ergeben sich Aufgaben für das Teilpaket 2, hinzu kommt:

6. Echte Pilotproduktion über mehrere Tage
7. Externe zertifizierte Testung der wasserdurchlässigen Pflasterziegel nach [1] bzw. [2].
8. Beantragung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) des wasserdurchlässigen Pflasterziegels durch das DIBT
9. Auslegen von Musterflächen an ausgewählten Standorten

Für das beschriebene Produkt und die beschriebene Technologie sind kein gültiger Gebrauchsmusterschutz und auch kein gültiges Patent nachweisbar. Frühere Schutzansprüche wurden auf der Basis der Entwicklungen des Keramikinstitutes geltend gemacht, sind aber erloschen.

2 Pilotproduktion von stranggezogenen wasserdurchlässigen Pflasterziegeln

In einem ersten Schritt wurde die vorhandene Presse PVPS 20 entsprechend der Erkenntnisse aus dem Teilpaket 1 umgebaut:

- Einbau der optimierten Schnecke (ausreichender Druck und Vorschub), Einbau passender Inliner
- Bau von bewässerbaren Mundstücken mit unterschiedlichen Einlaufgeometrien
- Umbau Feeder für direkte Beschickung aus dem Mischer
- Konstruktion, Herstellung und Einbau der neuen Abschneidevorrichtung

Diese Umbauten wurden vorgenommen. Die direkte Beschickung aus dem Mischer konnte nicht realisiert werden. Die Massezufuhr war quasi kontinuierlich.

2.1 Rohstoffbasis

Als Rohstoffe wurden die im TP1 zuletzt verwendeten Rohstoffe verwendet. Der Basaltsplitt wurde auf der Basis der chemischen Zusammensetzung mit drei Analysen pro Lieferung überwacht, da dieser Rohstoff für den Garten- und Landschaftsbau produziert wird, Parameter einer keramischen Produktion spielen dort keine Rolle. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Splittanalysen im Verlaufe der Pilotproduktion. Einzig der TIC-Wert gibt Anlass zu Sorge. Pflasterziegel aus der Produktion mit 0,06% TIC zeigten aber weder bei der BBL (nach 48 h Wasserlagerung) noch nach einer mehrmonatigen Lagerung unter Witterungsbedingungen Auffälligkeiten (Bild 1). Offensichtlich sind die Karbonate fein genug verteilt oder haben genug Platz für die Volumenvergrößerung bei der Umwandlung von z.B. CaO zu Ca(OH)₂.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	GV	TIC
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Basalt 04/21-1	44,84	12,36	11,71	2,24	11,65	10,83	1,09	2,96	1,08	0,03
Basalt 04/21-2	44,67	12,31	11,59	2,24	11,77	10,98	1,13	3,08	0,98	0,04
Basalt 04/21-3	44,38	12,39	11,53	2,25	11,97	10,87	1,18	3,10	1,10	0,05
Basalt 05/21-1	44,29	12,38	11,52	2,26	12,04	10,84	1,18	3,08	1,09	0,06
Basalt 05/21-2	45,24	12,31	11,34	2,17	11,54	10,93	1,01	2,66	1,52	< 0,02
Basalt 05/21-3	45,28	12,32	11,36	2,15	11,52	10,94	1,02	2,62	1,53	<0,02
Basalt 06/21-1	44,46	12,33	11,67	2,25	11,97	10,78	1,15	3,01	1,09	0,02
Basalt 06/21-2	44,42	12,40	11,64	2,26	12,00	10,72	1,17	3,08	1,06	0,05

Basalt 06/21-3	44,39	12,36	11,62	2,26	11,96	10,80	1,17	3,05	1,09	0,05
----------------	-------	-------	-------	------	-------	-------	------	------	------	------

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung Basaltsplitte im Verlauf der Pilotproduktion



Bild 1: Keine Ausblühungen auf wasserdurchlässigen Pflasterziegeln aus der Pilotproduktion, nach 6 monatiger Lagerung im regenreichen Sommer/Herbst 2021

Der eingesetzte Ton wie auch der Feldspat wurden im TP1 hinreichend untersucht, die Hersteller dieser Produkte liefern in die keramische Industrie, betreiben also eine für diesen Industriezweig geeignete Qualitätssicherung. Auf eine Überwachung wurde deshalb verzichtet.

2.2 Test des Pressenumbaus und Versuchsbrände

Die Rohstoffe wurden diskontinuierlich im Intensivmischer gemischt und auf die gewünschte Feuchte eingestellt. Pro Mischvorgang konnten 0,4t hergestellt werden. Danach wurde die Masse manuell zum Feeder transportiert und gezogen. Bild 2 zeigt die Strangpresse mit einer Versuchsmasse.



Bild 2: Strangpresse mit Versuchsmasse

Die Versuchsbrände zum Test des Pressenumbaus fanden im gasbeheizten 0,5 m³ Ofen bei einem Gradienten von 15 K statt. Folgende Parameter erwiesen sich als kritisch und mussten in mehreren Zyklen angepasst werden:

1. Feuchte
2. Mischdauer
3. Anteil Ton

Feuchte

Die Feuchte bestimmt die Verarbeitbarkeit in der Presse. Je höher die Feuchte, desto besser formbar ist die Masse. Durch die damit steigende Verdichtung mit steigender Feuchte sinkt die Wasserdurchlässigkeit des Produktes, während die BBL steigt.

Mischdauer

Die Mischdauer hat Einfluss auf den Feinkornanteil (< 63 µm), der durch Abrieb vom Hauptbestandteil Splitt entsteht. Ein erhöhter Feinkornanteil im Splitt führt zu einer Senkung der Wasserdurchlässigkeit. Im Zuge der Entwicklung einer Technologie für die Pilotproduktion wurde festgelegt, dass die Feuchte des Splittes laufend zu bestimmen ist, so dass eine fest berechnete Menge an Wasser zugegeben werden konnte ohne im Laufe der Mischung zeitaufwendige Feuchtebestimmungen zur Erreichung der Zielfeuchte durchführen zu müssen.

Anteil Ton

Der Ton erhöht die Formbarkeit der Masse, steigert die Biegefestigkeit und senkt die Wasserdurchlässigkeit. Die Wasserdurchlässigkeit sinkt mit steigendem Tonanteil durch den Nebeneffekt, des parallel sinkenden Anteils an Splitt und einer damit einhergehenden beginnenden Brennschwindung.

Alle diese Parameter beeinflussen die mögliche Stapelhöhe beim Brand. Trotz aller Anpassungen wurde die früher erreichte Stapelhöhe von 7 Ziegeln nicht erreicht. Bei Inkaufnahme einer Wasserdurchlässigkeit von mindestens 25 m/s (normativ 5 m/s) kann eine Stapelhöhe von 6 erreicht werden, sicherer sind 5 Ziegel. Die Biegebruchlast lag bei 90 N/mm (Ziegeldicke 58-59 mm).

60 mm ist die maximal mögliche Dicke beim Format 200x100mm und der gewählten Setzweise (Bild 3). Dadurch ergibt sich ein Abstand von 10 mm zwischen den Ziegeln im Stapel.



Bild 3: Stapelung der Ziegel im Ofen

Die ermittelten Parameter waren die Basis der folgenden Versuchsproduktion wasserdurchlässiger Pflasterziegel.

2.3 Pilotproduktion

2.3.1 Überwachung der Pilotproduktion

Die Pilotproduktion wurde an Hand der Parameter Wasserdurchlässigkeit (Bild 4) und Biegebruchlast (Bild 5) überwacht. Bei der Ermittlung dieser Parameter im Zuge der Produktionsüberwachung wurde aus Zeitgründen auf die DIN-gerechte Wasserlagerung der Proben vor der Prüfung verzichtet. Es wurden in Summe 30 Bestimmungen an je 10 Ziegeln

durchgeführt. Wobei die Dichte der Prüfungen im ersten Produktionsdrittel höher war als im letzten.



Bild 4: Einrichtung zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit



Bild 5: Einrichtung zur Bestimmung der Biegebruchlast

2.3.2 Brand im 2m³ Herdwagenofen

Für die Pilotproduktion kam ein gasbeheizter Kammerofen mit 2m³ Brenninhalt zum Einsatz. Die Ziegel werden nicht getrocknet und in 26 h kalt zu kalt gebrannt. Dadurch kommt es verglichen mit normalen Pflasterziegeln zu mindestens 50% Energieeinsparung und demzufolge zu einer ähnlichen Senkung der spezifischen CO₂-Emissionen beim Brand im Vergleich zu wasserundurchlässigen Pflasterklinkern.

Mit dem Ziel die Kapazität zu erhöhen, wurde, wo die Brenner das in diesem Ofen zuließen, Stapel mit 6 Ziegeln gebrannt. Pro Brand können ca. 500 Ziegel (ca. 10 m²) hergestellt werden. Bild 6 zeigt fertig gebrannte Ziegel im 2m³ Ofen.



Bild 6: Wasserdurchlässige Pflasterziegel der Pilotproduktion nach dem Brand

Beim Brand im 2m³-Kammerofen kam es zu einem Gradienten von 30 K im Ofen. Dieser Gradient führte zu einer erheblichen Spannweite relevanter Eigenschaften. Tabelle 2 zeigt einen Vergleich der Standardabweichungen der Wasserdurchlässigkeit und Biegebruchlast von wasserdurchlässigen Pflasterziegeln bei einem Gradienten von 15 und 30 K. Die Differenzen beim Parameter Wasserdurchlässigkeit spielen eine untergeordnete Rolle, da hier von einer gleichmäßigen Verteilung unterschiedlicher Wasserdurchlässigkeiten über die Fläche ausgegangen werden kann, ist einzig der Mittelwert relevant.

	Brand im 0,5m³ Kammerofen, Gradient 15 K	Brand im 2,0m³ Kammerofen, Gradient 30 K
	Standardabweichung, 10 Prüfkörper	
Biegebruchlast [N/mm]	7	11
Wasserdurchlässigkeit [m/s]	12	19

Tabelle 2: Einfluss des Gradienten im Ofen auf die beiden wichtigsten Eigenschaften des wasserdurchlässigen Pflasterziegels

3. Produkteigenschaften

3.1 Struktur des Produktes



Bild 7: Sägefläche mit Poren im wasserdurchlässigen Pflasterziegel

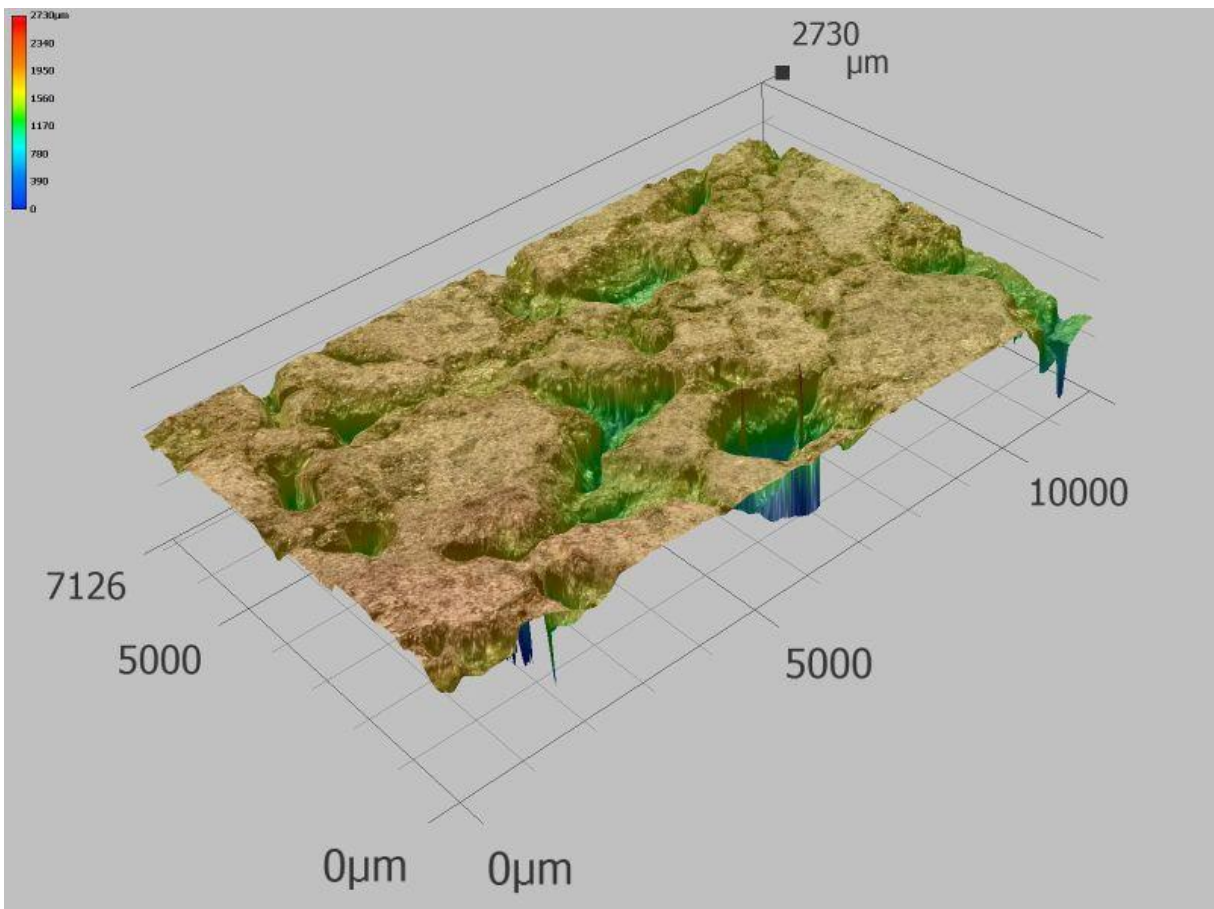


Bild 8: 3D-Scan der Sägefläche aus Bild 7

Wie beschrieben sintern/schmelzen beim Brand die Versatzkomponenten Ton und Feldspat. Dabei kommt es zur Volumenverringerng. Die Schwindung der Masse wird im Brennprozess durch aneinander stoßende Splittkörner verhindert. Die Bilder 6 und 7 zeigen mikroskopische Aufnahmen einer Sägefläche im Bild und als 3D-Grafik. Die Kanäle, welche die Wasserdurchlässigkeit des Ziegels ermöglichen, sind dabei gut zu erkennen.

3.2 Kennwerte des Produktes

In Tabelle 3 sind die in einem akkreditierten Labor ermittelten Kennwerte des Produktes dargestellt [7]. Aus diesen Kennwerten und der Eigenüberwachung ergibt sich das in Bild 9 verkleinert dargestellte Datenblatt des wasserdurchlässigen Pflasterziegels

Eigenschaft	Eigenschaftsniveau
Maße (LxBxD)	200x100x57mm
Frost-Tau-Widerstand	FP100
Biegebruchlast	Klasse T3
Abriebwiderstand	A3
Gleit-/Rutschwiderstand	U3
Wasserdurchlässigkeit ¹	74 m/s

Tabelle 3: Eigenschaften des wasserdurchlässigen Pflasterziegels entsprechend externer akkreditierter Bestimmungen nach EN 1344 [7]

¹Nach dem FGSV „Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen“(MVV) und DIN 18130-1

Produktdatenblatt Wasserdurchlässiger keramischer Pflasterziegel¹



Einsatzzweck: Flächenbefestigung im Außenbereich ohne Oberflächenversiegelung²

Eigenschaften (nach DIN EN 1344):

Maße (L x B x D)	200 x 100 x 58 mm
Scherbenrohdichte	2,1 kg/dm ³
Frost-Tau-Widerstand	FP100
Biegebruchlast	Klasse T4 (90 N/mm)
Abriebwiderstand	A3
Gleit-/Rutschwiderstand	U3
Wasserdurchlässigkeit ³	25 m/s (normativ: 5 m/s)

¹ Produziert wie ein Pflasterziegel, 100% natürliche silikatische Rohstoffe

² Geeignet für Fußwege, Radwege, Parkplätze und Anliegerstraßen u. ä.

³ Nach dem FGSV „Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen“ (MVV) und DIN 18130-1

Bild 9: Datenblatt des wasserdurchlässigen Pflasterziegels (externe/interne Bestimmung)

3.3 Musterfläche



Bild 10: Einweihung der Demonstrationsfläche durch Herrn Olaf Rasche, Oberbürgermeister der Stadt Meißen (Mitte), sowie Herrn Dr. Jens Petzold und Herrn Rüdiger Köhler, KI Keramik-Institut GmbH



Bild 11: Grenze zwischen der Demonstrationsfläche mit wasserdurchlässigen Pflasterziegeln und dem Betonpflaster nach der Beaufschlagung mit Wasser.



Bild 12: Demonstrationsfläche -trocken- vor der Sanierung



Bild 13: Demonstrationsfläche vor der Sanierung, 15s nachdem 10l Wasser aufgebracht wurden



Bild 14: Demonstrationsfläche -trocken- nach der Sanierung



Bild 15: Demonstrationsfläche nach der Sanierung, 15s nachdem 10l Wasser aufgebracht wurden

Die Fläche vor dem Haupteingang der Innovations Centrum Meißen GmbH (50 m²) wurde mit wasserdurchlässigen Pflasterziegeln gepflastert. Bild 10 wurde während der offiziellen Einweihung der Fläche durch den Oberbürgermeister der Stadt Meißen aufgenommen [8]. Der Oberbürgermeister machte in seiner Einweihungsrede deutlich, dass Entwicklungen dieser Art essentiell sind, um die Umsetzung der geforderten Verringerung des Abwasseraufkommens im Stadtgebiet zu erreichen. Bild 11 zeigt wie auf der Fläche des wasserdurchlässigen Pflasterziegels auch 10 l Wasser in wenigen Sekunden an den Unterbau weitergegeben werden, während es auf dem benachbarten Betonpflaster zu Pfützenbildung und letztendlich zu einer Ableitung in die Kanalisation kommt.

Bild 12 zeigt die trockene Fläche vor der Sanierung. Bild 13 zeigt die Fläche 15 Sekunden nachdem ca. 10 l Wasser auf der Fläche ausgebracht wurden. Die Bilder 14 und 15 stellen das gleiche Szenario nach der Pflasterung mit wasserdurchlässigen Pflasterziegeln aus der Pilotproduktion dar.

3 Fazit

1. Wasserdurchlässige Pflasterziegel werden im Moment in einer Technikumsproduktion hergestellt.
2. Die wasserdurchlässigen Pflasterziegel erfüllen die in der EN 1344 für Pflasterziegel definierten höchsten Anforderungen soweit diese auf das Produkt wasserdurchlässiger Pflasterziegel anwendbar sind. Der Parameter Frost-Tau Widerstand der EN 1344 wurde ebenfalls erfüllt.
3. Die Wasserdurchlässigkeit liegt beim mehr als 5-fachen der geforderten Durchlässigkeit, so dass große Reserven gegen Verschmutzung bestehen.
4. Die Aufbereitung der Rohstoffe entspricht den in der Ziegelindustrie vorherrschenden Aufbereitungsmethoden.
5. Die Ziegel konnten im Stapel mit bis zu 6 Ziegeln gebrannt werden (Ausbrandtemperatur > 1000°C).
6. Wasserdurchlässige Pflasterziegel lassen sich mit ca. 50% weniger Erdgas und demzufolge ca. 50% geringeren CO₂-Emissionen herstellen, da die Produkte keine Trocken- und keine Brennschwindung aufweisen
7. Aus der Pilotproduktion des Keramikinstitutes wurde vor dem Haupteingang der Innovations Centrum Meißen GmbH 50 m² eine öffentlich zugängliche Fläche gepflastert, die als Demonstrationsfläche dient.

Die förderpolitischen Zielstellungen wurden weitgehend erreicht. Durch die Corona-Epidemie kam es zu Verzögerungen und andererseits zur Vollausslastung der Ziegeleien. Dies senkt in der Industrie erfahrungsgemäß das Interesse an neuen Produkten.

Beim Antragsteller wird im Moment eine Technikumsproduktion für wasserdurchlässige Pflasterziegel betrieben, deren Produkte über den Webauftritt des Antragstellers vermarktet

werden. Im öffentlichen Raum wurde eine Demonstrationsfläche geschaffen (01662 Meißen, Ossietzkystr. 37a), so dass Interessenten den wasserdurchlässigen Pflasterziegel in der Praxis begutachten können. Im Moment werden die wasserdurchlässigen Pflasterziegel bei regionalen Baustoffhändlern mit nur geringem Aufschlag auf den Selbstkostenpreis angeboten. Damit soll ein regional wahrnehmbarer Marktauftritt geschaffen werden. Ziel der weiteren Vermarktung durch das Keramik-Institut ist eine substantielle Kostensenkung der Produktion ohne Veränderung des Verkaufspreises mit dem Ziel einer angemessenen Gewinnspanne.

Mit dem starken Anstieg der Preise für CO₂-Zertifikate und der Befürchtung auf in Zukunft fehlende kostenlose Zuteilungen für diese Zertifikate ist ein stetig steigendes Interesse der Ziegelindustrie an einer Produktion mit deutlich geringerem Energieverbrauch zu beobachten. Das Keramik-Institut wird deshalb den ca. 50% geringeren Energiebedarf zu Herstellung von wasserdurchlässigen Pflasterziegeln in den Mittelpunkt der Bemühungen stellen, um einen etablierten Hersteller von Pflasterklinkern für die Produktion wasserdurchlässiger Pflasterziegel zu gewinnen. Dies wird durch die im Moment sehr hohe Nachfrage von Bauprodukten allerdings eher mittelfristig möglich sein. Erleichtert würde die Aufgabe durch politische Entscheidungen, die die weitere Versiegelung von Flächen in Europa erschweren - d.h. mit zusätzlichen Kosten belegen.

Entsprechend einer Veröffentlichung des Umweltbundesamtes werden in Deutschland ca. 80 ha/Tag versiegelt. In Deutschland werden zurzeit pro Jahr ca. 3 Millionen Tonnen wasserundurchlässige Pflasterziegel in ca. 40 Werken hergestellt (Vollauslastung der Werke). Bei der Verlegung von jährlich 1 Million Tonnen wasserdurchlässiger Pflasterziegel an Stelle wasserundurchlässiger Pflasterziegel kommt es zu einer Verringerung der versiegelten Flächen um 800 ha/a. Das sind ca. 3% der jährlich in Deutschland insgesamt versiegelten Flächen. Durch die verheerenden Starkregenereignisse in Teilen Deutschlands und anderen europäischen Staaten ist wenigstens dies aus Sicht des Autors dringend geboten!

4 Literaturverzeichnis

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen (MVV R2), Ausgabe 2013.
- [2] Sönke Bogwart: „Geeigneter Oberbau für wasserdurchlässiges Pflaster“. Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT, 3(1995).
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen“
- [4] DIN EN 1344:Pflasterziegel – Anforderungen und Prüfverfahren
- [5] DIN 18503 12-2003: Pflasterklinker – Anforderungen und Prüfverfahren
- [6] KI Keramik-Institut GmbH: Abschlussbericht „Entwicklung und Produktionsversuch eines stranggezogenen wasserdurchlässigen Pflasterziegels“ 1. Teilprojekt“, August 2018
- [7] Baustoffprüfstelle Wismar GmbH: Prüfbericht - Nr. 1568/21, Prüfbericht - Nr. 1963/21, Prüfbericht - Nr. 1810/21
- [8] Sächsische Zeitung vom 08.10.2021, Ausgabe Meißen