

Aktuelle Ergebnisse eines Forschungsvorhabens sowie Praxistipps zur optimierten Herstellung und Schadensbewertung

Kantenabplatzungen an Betonwaren

Kantenabplatzungen sowie Ausblühungen und Verfärbungen stellen neben den Frost-Tausalz-Schäden seit jeher die häufigste Reklamationsursache an Flächenbefestigungen aus Betonpflastersteinen dar. Ursächlich für die Entstehung von Kantenabplatzungen können Planungsfehler, Minderqualitäten der Pflastersteine, eine fehlerhafte Verlegung sowie eine nicht materialgerechte Nutzung der Flächenbefestigung sein. Die Bewertung der Ursache derartiger Kantenabplatzungen stellt die Sachverständigen schon von jeher vor erhebliche Probleme, da es keine entsprechenden Prüf- und Bewertungsvorgaben für die erforderliche Kantenstabilität von Pflastersteinen in Form von Normen, Richtlinien oder Merkblättern gibt. Auch liegen keine nachvollziehbaren Aussagen zu baustofftypischen (und damit nicht zu beanstandenden) Mengen an Kantenabplatzungen von Pflastersteinen in Abhängigkeit von der Nutzung der Flächenbefestigung und der Ausführung der Pflastersteinkanten (scharfkantige Pflastersteine oder Pflastersteine mit Fase) vor.

■ Karl-Uwe Voß,
Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied,
Deutschland ■

Stellt der Sachverständige auf Basis seines subjektiven Eindruckes fest, dass die Menge der Kantenabplatzungen baustoffuntypisch (und damit reklamierbar) ist, dann beginnen die Bewertungsprobleme aus technischer Sicht. So sind nutzungsbedingt entstandene Kantenabplatzungen im Nachhinein häufig nicht sachgerecht zu beurteilen, da die Überprüfung der tatsächlichen Nutzung der Fläche (z. B. durch Befahren mit Schwerverkehr oder Ameisen oder durch lokale Kantenpressungen aufgrund auf der Flächenbefestigung befindlicher Splitt- oder Kieskörner) nicht oder nur mit hohem Aufwand möglich ist.

Auch verlegebedingt entstandene Kantenabplatzungen lassen sich nur zum Teil im Nachhinein bewerten, da sich üblicherweise nicht zweifelsfrei belegen lässt, mit welchen Rüttelplatten gearbeitet und in welchem Alter die Betonpflastersteine abgerüttelt wurden. Auch können beim Abrütteln auf der Flächenbefestigung befindliche grobe Gesteinskörner an Pflastersteinen zu massiven Kantenabplatzungen führen. Da der Sachverständige üblicherweise keine

sachgerechte Kenntnis über die Vorgesichte der Flächenbefestigung besitzt, läuft die Schadensbewertung häufig so ab, dass über das Ausschlussprinzip festgestellt wird, dass nur Minderqualitäten der Pflastersteine zu den Kantenabplatzungen geführt haben können. Ob diese Beurteilung sachgerecht ist oder nicht lässt sich bisher häufig nicht wirklich beurteilen.

Im Gegensatz dazu lehnen einige Produzenten von Pflastersteinen eine Schadensregulierung allein aufgrund der nachgewiesenen Normenkonformität ihrer Produkte ab. Auch diese Vorgehensweise ist nicht sachgerecht, da die normativen Prüfungen (Spaltzugfestigkeit und längenbezogene Bruchlast) ebenso ungeeignet zur Bewertung der Kantenstabilität der Pflastersteine sind, wie die Bestimmung der Druckfestigkeit.

Forschungsvorhaben

Um sowohl bei der Qualitätssicherung der Pflastersteinproduzenten als auch bei der Beurteilung entsprechender Schäden auf sachgerechte Verfahren zur Bewertung der Kantenstabilität von Pflastersteinen zurück greifen zu können, startete die MPVA Neuwied GmbH im Herbst des Jahres 2010 ein umfangreiches Forschungsvorhaben.

Neben einigen Verbänden beteiligten sich auch etliche namhafte Pflastersteinproduzenten sowie Firmen der Zuliefer- und der Zementindustrie sowohl durch aktive Mitarbeit als auch durch finanzielle Unterstützung an diesem auf zwölf Monate ausgelegten Forschungsvorhaben.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, mögliche Lösungsansätze zur Bewertung der Kantenstabilität von Pflastersteinen zu erarbeiten. Vor diesem Hintergrund sollte ein geeignetes Prüfverfahren entwickelt und erste Ansätze zur Bewertung der Kantenstabilität von Betonpflastersteinen erarbeitet werden. Mittels dieser Kennwerte könnten die Pflastersteinproduzenten sowohl die entsprechenden Vorsatzbetonrezepte als auch die Kantenausführung der Pflastersteine hinsichtlich der Kantenstabilität optimieren und die Kantenstabilität der Pflastersteine frühzeitig (das heißt bereits im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle) überprüfen und damit kritische Pflastersteine aussortieren. Weiterhin hätten die Abnehmer mittels dieser Kennwerte die Möglichkeit Pflastersteine mit minderwertigen Steinkanten im Rahmen einer Annahmeprüfung zurückzuweisen.

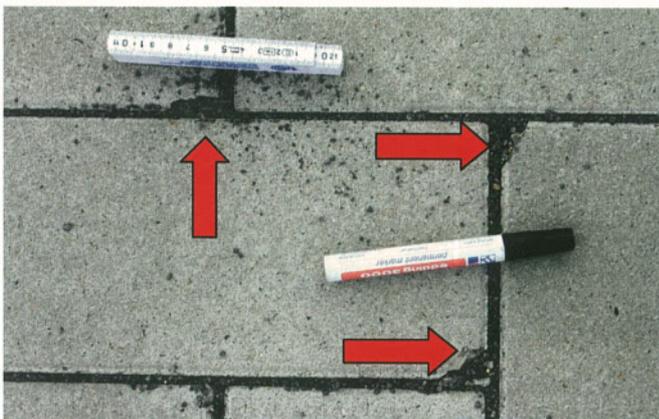


Bild 1: Typische Eck- und Kantenabplatzungen

Tabelle 1: Rezepturen des Vorsatzbetons

Nummer	Mischung	w/z	Zementgehalt [kg/m ³]	Trassgehalt [kg/m ³]	Farbkennzeichnung
1	1b	0,33	400	-	rot
2	2a	0,38	350	-	grün
3	2b	0,38	400	-	pink
4	2c	0,38	450	-	weiß
5	3b	0,43	400	-	orange
6	4b	0,38	380	40	blau



■ Dr. Karl-Uwe Voß (1966), 1985 - 1992 Chemiestudium und Promotion an der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster; 1992 - 1997 Sachbearbeiter und stellvertretender Prüfstellenleiter beim ZEMLABOR, Beckum; 1998 - 2000 technischer Geschäftsführer der Duisburger Bundesüberwachungsverbände und des Baustoffüberwachungsvereins Nordrhein-Westfalen; 2000 - 2002 Prüfstellenleiter beim ZEMLABOR; seit 2002 Geschäftsführer und Institutsleiter der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied; seit 2005 von der IHK Koblenz als Sachverständiger für Analyse zementgebundener Baustoffe öffentlich bestellt und vereidigt.

voss@mpva.de

Produktion der Pflastersteine

Um Betonpflastersteine mit unterschiedlichen Vorsatzbetonqualitäten herzustellen, war geplant, scharfkantige Pflastersteine

- mit einem w/z-Wert von 0,33 (zu trockene Fertigung; sog. „Wassersäuffer“),
- mit einem w/z-Wert von 0,38 (optimaler w/z-Wert),
- mit einem w/z-Wert von 0,43 (zu nasse Fertigung)

bei einem Pflastersteinproduzenten herzustellen. Zur Herstellung des Vorsatzbetons wurde ein CEM I 52,5 R sowie ein Gemisch eines Basaltsplittes (1/3 mm) und eines Rheinsandes (0/2 mm) verwendet.

Die geplanten Vorsatzbetonmischungen sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Zur Herstellung des Kernbetons wurden 280 kg/m³ eines CEM II/A-S 52,5 N verwendet. Als Gesteinskörnung wurde ein Gemisch eines Basaltsplittes (3/11 mm) und eines Rheinkieses (2/8 mm) eingesetzt.

Im Rahmen der Produktion zeigte sich, dass der höchste geplante w/z-Wert (w/z-Wert = 0,43) nicht produzierbar war, da der Vorsatzbeton in diesem Fall zu stark an den Stempeln klebte und sich nicht sachgerecht mit dem Kernbeton verband (siehe Bild 2). Aus diesem Grunde wurde der Wassergehalt bei dieser Mischung soweit reduziert, dass die Produktion der Pflastersteine möglich war (siehe roter Kasten aus Tabelle 2).

Die Kontrolle der tatsächlich zur Anwendung gekommenen w/z-Werte erfolgte durch Darren der eingesetzten Vorsatzbetonmischungen. Zu diesem Zweck wurden Teilmengen des Vorsatzbetons im Rahmen der Fertigung direkt aus dem Mischer entnommen und vor Ort gedarrt. Hierbei wurde festgestellt, dass die tatsächlichen w/z-Werte der Mischungen zum Teil deutlich von den geplanten Sollwerten abwichen (siehe Tabelle 2).



Bild 2: Fertigung von Pflastersteinen mit einem w/z-Wert von 0,43



»Langjährige Marktkenntnis
und technologische
Kompetenz für den Erfolg
unserer Kunden.«

KOBRA Vertriebsteam



KOBRA. Wir bauen die Form um Ihren Stein.

Detaillierte Informationen erhalten Sie von unserem Vertriebsteam.

Tabelle 2: Durch Darren ermittelte w/z-Werte der Vorsatzbetone

	Mischung					
	1b	2a	2b	2c	3b	4d
w/z-Wert (Soll)	0,33	0,38	0,38	0,38	0,43	0,38
Zementgehalt [kg/m³]	400	350	400	450	400	380
Trassgehalt [kg/m³]	0	0	0	0	0	40
Zementleimgehalt [l/m³]	253	256	285	294	285	303
Farbkennzeichnung	rot	grün	pink	weiß	orange	blau
w/z-Wert (Ist)	0,31	0,41	0,39	0,33	0,39	0,40

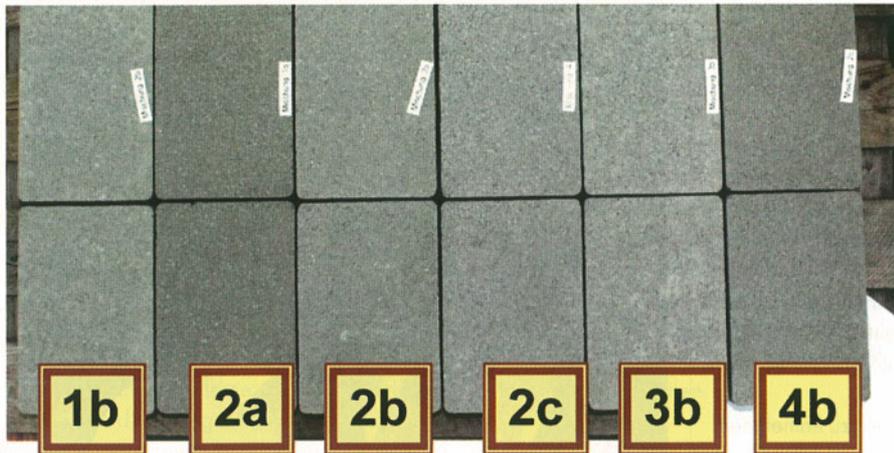


Bild 3: Farbschwankungen der produzierten Pflastersteine

Die Lagerung der Pflastersteine erfolgte in einer Härtekammer, die bei 30° C und 78% relativer Luftfeuchte betrieben wurde.

Bei der ersten Inaugenscheinnahme der Pflastersteine fiel auf, dass die Farben der Pflastersteine sich deutlich unterschieden, obwohl die Herstellung der Vorsatzbetone der Mischungen 1b, 2a, 2b, 2c und 3b unter Verwendung derselben Ausgangsstoffe erfolgte. Wie Bild 3 zeigt, wiesen die Pflastersteine eine umso hellere Farbe auf, je geringer der w/z Wert und damit die Verdichtbarkeit der Pflastersteine war.

Charakterisierung der Pflastersteinqualitäten

Zur Charakterisierung der Pflastersteine wurden diese auf deren Druck- und Spaltzugfestigkeit untersucht. Die hierbei ermittelten Ergebnisse sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Wie diese Ergebnisse zeigen, erfüllen alle untersuchten Betonpflastersteinserien die Anforderungen der DIN EN 1338 [L 1] an die Spaltzugfestigkeit sicher. Die ermittelten Steindruckfestigkeiten liegen im Gegensatz dazu zum Teil unterhalb der Anforderungen der alten Norm für Betonpflastersteine, der DIN 18 501 [L 2].

**Dee
Bee
Cee**

Dutch Board Calibration BV

*Don't bring your boards to us,
we come to you!!*

used plastic board

used hardwood board

re-calibrated plastic board

re-calibrated hardwood board

*We present you
a mobile calibrating system for a
second lifetime of your production board!*

Dutch Board Calibration BV
 Venneweg 1 - NL - 7255 NX Hengelo Gld
 Tel.: (+31) 575 - 467476 - E-mail: info@dutchboardcalibration.com

www.dutchboardcalibration.com

Tabelle 3: Druck- und Spaltzugfestigkeiten der Betonpflastersteine

Serie	Nummer		1b			2a			2b			2c			3b			4b		
	w/z-Wert (Ist)		0,31			0,41			0,39			0,33			0,39			0,40		
	Zementgehalt [kg/m ³]		400			350			400			450			400			380		
	Trassgehalt [kg/m ³]		--			--			--			--			--			40		
Spaltzugfestigkeit [N/mm ²]		4,1	4,6	4,5	4,8	4,1	4,9	4,9	5,2	5,1	4,7	4,5	4,9	5,0	5,2	4,8	4,8	5,3	5,0	
		4,4			4,6			5,1			4,7			5,0			5,0			
Anforderungen nach DIN EN 1338		≥ 3,6																		
Druckfestigkeit [N/mm ²]		54,1	54,8	51,0	67,7	65,2	63,2	62,0	58,1	63,7	55,2	61,6	59,8	63,5	61,6	63,8	54,1	58,4	56,9	
		53,3			65,3			61,3			58,9			63,0			56,5			
Anforderungen nach DIN 18 501		≥ 60																		

Bewertung der Qualität des Vorsatzbetons

Da zu erwarten war, dass die Qualität des Vorsatzbetons einen maßgeblichen Einfluss auf die Kantenstabilität der Pflastersteine hat, wurde die Qualität des Vorsatzbetons der Pflastersteine wie nachfolgend beschrieben überprüft:

- Bestimmung der kapillaren Steighöhe des Vorsatzbetons
- Bestimmung der Abtrocknungsgeschwindigkeit der Pflastersteine
- Bestimmung der Trockenrohichte und

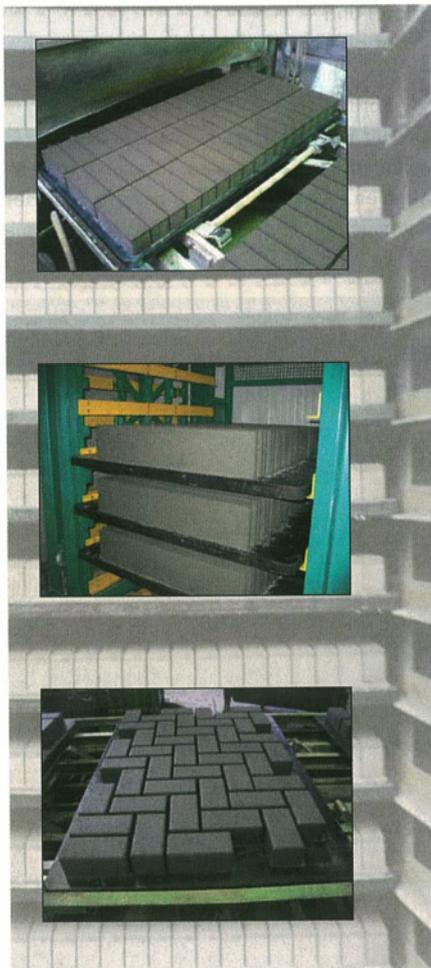
Wasseraufnahme des Vorsatzbetons

- Bestimmung der Druckfestigkeit des Vorsatzbetons
- Bestimmung der Porenradienverteilung des Vorsatzbetons

Bestimmung der kapillaren Steighöhe

Vor Beginn des Forschungsvorhabens wurden bereits einige Voruntersuchungen an Betonpflastersteinen in der MPVA Neuwied GmbH durchgeführt. Hierbei hatte sich gezeigt, dass die Bestimmung der kapillaren

Steighöhe eine sachgerechte und einfache Prüfung ist, mit der Aussagen über die Qualität des Vorsatzbetons von Pflastersteinen getroffen werden können. Aus diesem Grunde wurden die Pflastersteine der jeweiligen Versuchsserien in der Mitte geschnitten und senkrecht ca. 1 cm hoch in ein Wasserbad gestellt. Die kapillare Steighöhe des Wassers wurde anschließend in Abhängigkeit von der Zeit erfasst. Die relevanten Ergebnisse dieser Untersuchungen sind Tabelle 4 zu entnehmen.



www.CONPLEX[®].com

**The NEW Generation
Production Boards**

CONPLEX bv
Venneweg 1 - 7255 NX Hengelo (Gld) - The Netherlands
Tel.: +31 575 467404 - Fax: +31 575 467548 - E-mail: info@complex.com

CONPLEX[®] PRODUCTION BOARDS

Tabelle 4: Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse

Serie	Nummer		1b			2a			2b			2c			3b			4b		
	w/z-Wert (Ist)		0,31			0,41			0,39			0,33			0,39			0,40		
	Zementgehalt [kg/m ³]		400			350			400			450			400			380		
	Trassgehalt [kg/m ³]		--			--			--			--			--			40		
	Zementleimgehalt [l/m ³]		253			256			285			294			285			303		
kapillare Steighöhe nach 90 min [mm]		127	132	134	38	51	43	32	33	31	34	38	40	33	33	34	42	32	34	
		131			44			32			37			33			36			
Abtrocknungsverhalten nasser Flächenanteil nach 120 min [%]		100	100	100	50	70	80	0	0	0	60	10	5	0	0	0	25	5	0	
		100			67			0			25			0			10			
Trockenrohdichte [kg/dm ³]		2,08	2,02	2,04	2,20	2,20	2,21	2,29	2,26	2,28	2,23	2,25	2,26	2,25	2,29	2,26	2,23	2,22	2,23	
		2,05			2,20			2,28			2,25			2,27			2,23			
Wasseraufnahme [Vol.-%]		23,16	24,72	23,14	15,32	14,68	16,10	12,47	12,98	12,51	15,59	14,00	13,38	14,30	12,48	12,57	13,98	14,79	15,30	
		23,67			15,37			12,65			14,33			13,12			14,69			
Druckfestigkeit [N/mm ²]		52,4	49,3	43,5	67,8	62,4	50,1	81,4	50,5 ^{a)}	76,4	61,7	84,1	69,3	98,4	77,3	98,1	78,1	75,8	64,1	
		48,4			60,1			78,9			71,7			91,3			72,7			
Quecksilberdruckporosimetrie	Gesamtporosität [Vol.-%]		21,5			14,2			13,8			15,2			12,9			13,3		
	Porenanteil < 10 µm [Vol.-%]		6,79			6,87			9,44			7,83			10,26			7,57		
	mittlerer Porenradius [µm]		36,9			21,5			0,418			6,11			0,238			1,33		

^{a)} Bei einer Abweichung von mehr als 20% zum Mittelwert wurden Einzelwerte als Ausreißer deklariert und nicht zur Mittelwertbildung herangezogen.

Die kapillaren Steighöhen der untersuchten Pflastersteine der Versuchsmischungen 1b und 2b sind darüber hinaus exemplarisch im Bild 4 nach einer Prüfzeit von 90 min dargestellt.

Gemäß den Ergebnissen der Bestimmung der kapillaren Steighöhe aus Tabelle 4 steigt die Qualität des Vorsatzbetons in der nachfolgend angegebenen Reihenfolge:

Vorsatzbeton 2b ≈ 3b > 4b ≈ 2c > 2a >> 1b

Auf Basis der bisherigen Erfahrungen liegt die kapillare Steighöhe sehr guter Pflastersteine nach 90 min üblicherweise bei unter 30 mm. Sehr schlechte Pflastersteine weisen nach 90 min Messzeit dagegen i. d. R. eine kapillare Steighöhe von > 100 mm auf (siehe auch Bild 4 - links).

Bestimmung des Abtrocknungsverhaltens
Ebenso wie die kapillare Steighöhe liefert die Bestimmung des Abtrocknungsverhaltens von Pflastersteinen einen Hinweis

auf die Qualität des Vorsatzbetons. Aus diesem Grunde wurden die Pflastersteine zur Beurteilung ihres Abtrocknungsverhaltens

- 90 min vollständig in Wasser eingetaucht und
- der optische Eindruck der Proben nach unterschiedlichen Abtrocknungszeiten geprüft.

Die im Rahmen dieser Untersuchungen ermittelten Ergebnisse sind Tabelle 4 zu entnehmen. Das Abtrocknungsverhalten der untersuchten Pflastersteine der Versuchsmi-



Bild 4: Saugverhalten der Pflastersteine der Mischungen 1b und 2b nach 90 min Prüfzeit

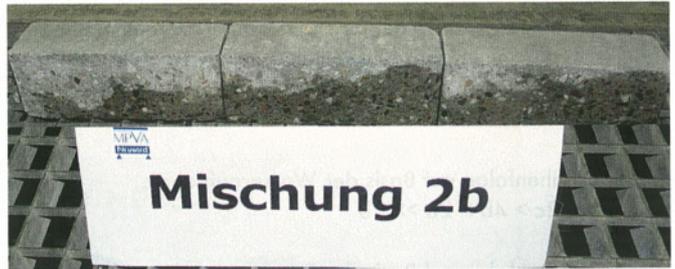


Bild 5: Abtrocknungsverhalten der Pflastersteine der Mischungen 1b und 2b nach 120 min Prüfzeit

sungen 1b und 2b sind darüber hinaus exemplarisch im Bild 5 nach einer Prüfzeit von 120 min dargestellt.

Gemäß den Ergebnissen der Bestimmung des Abtrocknungsverhaltens aus Tabelle 4 steigt die Qualität des Vorsatzbetons in der nachfolgend angegebenen Reihenfolge:

Vorsatzbeton 2b = 3b > 4b > 2c > 2a >> 1b

Wie die Ergebnisse aus Tabelle 4 zeigen, spiegelt sich die mittels der kapillaren Steighöhe ermittelte Qualitätsreihenfolge in gleicher Art auch beim Abtrocknungsverhalten wieder. Allerdings differenzieren die Ergebnisse des Abtrocknungsverhaltens noch etwas stärker zwischen guten und schlechten Vorsatzbetonen als die Ergeb-

nisse der Bestimmung der kapillaren Steighöhe.

Auf Basis der bisherigen Erfahrungen liegen die nassen Flächenanteile sehr guter Pflastersteine nach 120 min üblicherweise unter 20% der Steinoberfläche. Bei sehr schlechten Pflastersteinen sind die Steinoberflächen nach 120 min Messzeit im Gegensatz dazu i. d. R. noch völlig nass (siehe auch Bild 5).

Bestimmung weitergehender Eigenschaften des Vorsatzbetons

Zur Bestimmung der Trockenrohichte und Wasseraufnahme, der Druckfestigkeit und der Porenradienverteilung wurde der Vorsatzbeton der zu untersuchenden Pflastersteine durch nasses Sägen abgetrennt.

Anschließend erfolgte die Bestimmung

- der Trockenrohichte und Wasseraufnahme des Vorsatzbetons mittels Unterwasserwägung;
- der Druckfestigkeit des Vorsatzbetons in Anlehnung an das Verfahren III der DIN 18 555-9 [L 3];
- der Porenradienverteilung mittels der Quecksilberdruckporosimetrie nach DIN 66 133 [L 4]. Zu diesem Zweck wurden die Proben im Vakuum getrocknet und mit einem Quecksilberporosimeter untersucht. Zur Einteilung der Poren in Luft-, Kapillar- und Gelporen werden in der Literatur unterschiedliche Porenradien als „Grenzwerte“ genannt. Die nachfolgend verwendete Einteilung beruht auf den Angaben von Stark et. al. [L 5].

ZENITH

CHAMPIONS
MADE IN GERMANY

ZENITH

844 SC

Fully automatic multilayer machine



CTT Moscow
Moscow

29. May – 02 June 2012



Ankomak
Istanbul

06. – 10. June 2012



The Big 5
Dubai

05. – 08. November 2012

ZENITH Maschinenfabrik GmbH · Zenith-Strasse 1 · D-57290 Neunkirchen/Germany · Phone: +49 (2735) 779-234 · Fax: +49 (2735) 779-211 · info@zenith.de · www.zenith.de

Die erhaltenen Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sind Tabelle 4 zu entnehmen. Die mittels der durchgeführten Untersuchungen ermittelten Qualitätsreihenfolgen sind nachfolgend dargestellt:

Qualitätsreihenfolge auf Basis der Wasseraufnahme
 $2b \approx 3b > 2c > 4b > 2a \gg 1b$

Qualitätsreihenfolge auf Basis der Druckfestigkeit
 $3b > 2b > 4b > 2c > 2a \gg 1b$

Im Rahmen der Auswertung der Ergebnisse der Bestimmung der Porenradienverteilung wurden die nachfolgend genannten Kennwerte als wesentliche Parameter identifiziert:

- Gesamtporosität;
- Porenanteil < 10 μm ;
- mittlerer Porenradius.

Auf Basis der bisherigen Untersuchungen scheint der mittlere Porenradius eine Kenngröße zu sein, mit welcher sich die Qualität des Vorsatzbetons sehr gut abschätzen lässt. Gemäß den mittleren Porenradien aus Tabelle 4 steigt die Qualität des Vorsatzbetons in der nachfolgend angegebenen Reihenfolge:

Qualitätsreihenfolge auf Basis der Druckfestigkeit
 $3b > 2b > 4b > 2c \gg 2a \gg 1b$

Die Gesamtporosität scheint im Gegensatz zum mittleren Porenradius ein eher wenig geeigneter Kennwert zu sein.

Bewertung der Kantenstabilität der Pflastersteine

Bis dato ist kein Prüfverfahren genormt worden, mit dem die Kantenstabilität von Pflastersteinen geprüft und bewertet werden kann. Auch in der allgemeinen Fachliteratur finden sich keine diesbezüglichen Prüf- oder Bewertungsverfahren. Aus diesem Grunde wird derzeit der unbefriedigende Weg des Ausschlussverfahrens zur Beantwortung der Frage, ob Kantenabplatzungen an Pflastersteinen

- auf minderwertige Pflastersteine,
- auf Fehler im Rahmen der Verlegung der Pflastersteine oder
- auf eine nicht sachgerechte Nutzung der Flächenbefestigung

zurückzuführen sind, verwendet. Als ersten Schritt zur Entwicklung eines entsprechenden Prüfverfahrens wurde das im Rahmen dieses

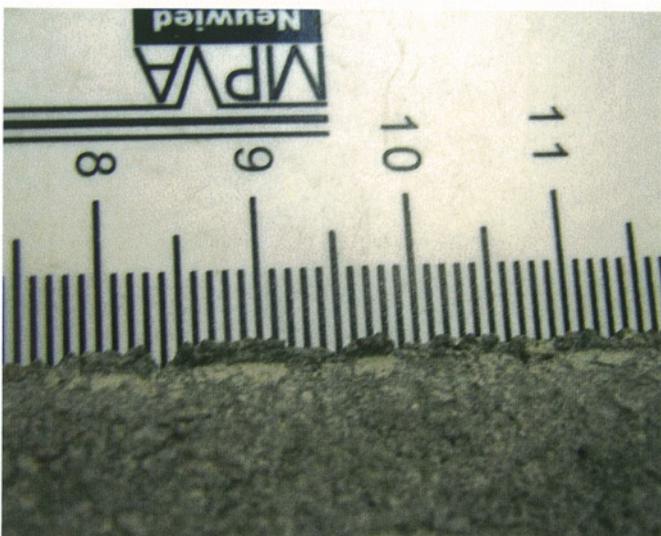


Bild 6: Zementsteinnasen an einer Produktionskante eines Pflastersteins

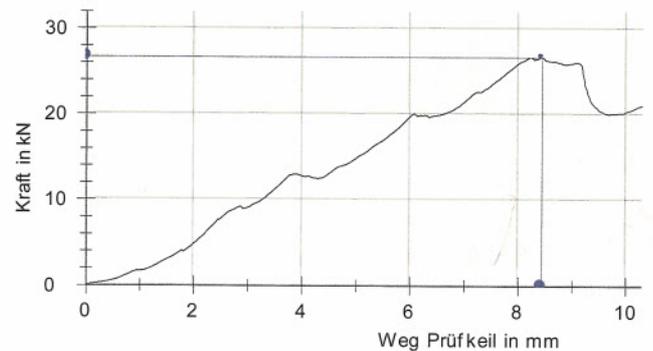


Bild 8: Kraft-Weg-Diagramm im Rahmen der Kantenstabilitätsprüfung bei einem Pflasterstein der Mischung 2a

Artikels beschriebene Forschungsvorhaben im Herbst des Jahres 2010 seitens der MPVA Neuwied GmbH initiiert. Neben der Bewertung der Qualität des Vorsatzbetons wurde hier ein Verfahren entwickelt, mit dem die Kantenstabilität der Pflastersteine direkt geprüft werden kann.

Erwartungsgemäß sollte nicht nur die Qualität des Vorsatzbetons, sondern auch die Ausführung der Steinkante (scharfkantig oder mit Fase, Vorhandensein von Zementsteinnasen (siehe auch Bild 6)) einen wesentlichen Einfluss auf die Prüfwerte haben.

Aus den ersten Überlegungen resultierte die in Bild 7 abgebildete Prüfeinrichtung, bei der ein Stahlkeil mit einer definierten Krafteinleitungsgeschwindigkeit in Richtung des roten Pfeiles zu einer Scherbeanspruchung auf die Steinkante führte.

Zur Durchführung der Prüfung wurden die Pflastersteine auf ein in Vorversuchen ermitteltes Maß zurechtgesägt, in die in Bild 7 dargestellte Prüfvorrichtung eingebaut und mit Abstandhaltern derart fixiert, dass sich die Prüfkörper im Rahmen der Lasteinleitung nicht verschieben. Anschließend erfolgte die Prüfung pro zu untersuchendem Pflasterstein

- an zwei Stellen der Produktionskanten sowie
- an zwei Stellen einer im Labor hergestellten Schnittkante.

Die Lasteinleitung in den Prüfkeil erfolgte mit einer definierten Laststeigerungsrate von 200 N/sec. Die vertikale Verschiebung des

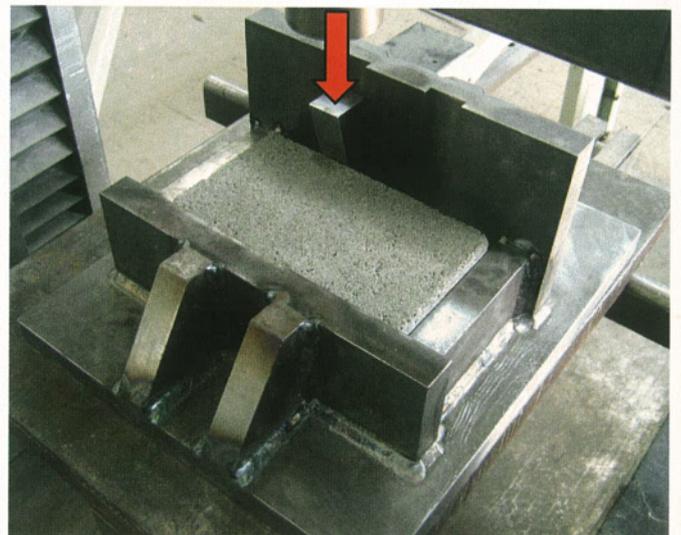


Bild 7: Prüfeinrichtung zur Ermittlung der Kantenstabilität

Tabelle 5: Zusammenstellung der ermittelten Kantenstabilitätskoeffizienten

Serie	Nummer	1b			2a			2b			2c			3b			4b		
	w/z-Wert	0,31			0,41			0,39			0,33			0,39			0,40		
	Zementgehalt [kg/m³]	400			350			400			450			400			380		
	Trassgehalt [kg/m³]	--			--			--			--			--			40		
	Zementleimgehalt [l/m³]	253			256			285			294			285			303		
Kantenstabilitätskoeffizient der Schnittkante	Einzelwerte	1,7	1,8	1,2	1,7	1,6	1,8	2,2	2,0	2,2	2,5	3,6	2,2	2,5	3,1	a)	3,0	3,3	2,5
		1,2	1,6	1,1	2,0	1,9	2,0	2,4	2,4	2,6	3,1	2,5	2,6	3,0	3,3	a)	2,4	4,5	3,2
	Mittelwerte	1,4			1,8			2,3			2,7			3,0			3,2		
Kantenstabilitätskoeffizient der Produktionskante	Einzelwerte	1,6	1,4	1,4	2,1	2,0	2,2	4,0	2,9	2,4	3,3	2,6	2,4	2,7	4,0	3,1	3,0	2,4	2,6
		1,6	1,1	1,6	1,5	2,0	2,0	2,3	2,5	2,4	2,8	2,7	3,0	2,9	3,2	3,2	3,5	1,8	4,0
	Mittelwerte	1,5			2,0			2,7			2,8			3,2			2,9		

a) Prüfkörper bei der Prüfung gebrochen

Prüfkeils wurde in Abhängigkeit von der eingeleiteten Last erfasst. Ein typisches Kraft-Weg-Diagramm dieser Prüfung ist Bild 8 zu entnehmen.

Aus dem Kurvenverlauf der so ermittelten Kraft-Weg-Diagramme wurden die sog. Kantenstabilitätskoeffizienten für jede Prüfstelle einzeln berechnet. Die ermittelten Werte sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Gemäß den Kantenstabilitätskoeffizienten aus Tabelle 4 steigt die Kantenstabilität der Pflastersteine an der Produktionskante in der nachfolgend angegebenen Reihenfolge:

Vorsatzbeton 3b > 4b ≈ 2c ≈ 2b > 2a > 1b

Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Beurteilung der Qualität des Vorsatzbetons

Die im Rahmen des von der MPVA Neuwied GmbH im Herbst 2010 initiierten Forschungsvorhabens ermittelten wesentlichen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Pflastersteine werden mit abnehmendem w/z-Wert heller;
- Die im Rahmen des Forschungsvorhabens zur einfachen Abschätzung der Qualität des Vorsatzbetons eingesetzten Schnellverfahren zur Bestimmung des Saugverhaltens und des Abrocknungsverhaltens korrelieren sehr gut mit den ermittelten Druckfestigkeiten und Wasseraufnahmen des Vorsatzbetons. Auf Basis dieser Ergebnisse scheinen diese Verfahren zur schnellen und frühzeitigen Bewertung

der Qualität des Vorsatzbetons geeignet zu sein;

- Sehr gut lassen sich die Qualitäten der Vorsatzbetone auch mittels der Bestimmung der Porenradialverteilung ermitteln. Hier stellt sich derzeit noch die Frage, ob dieses Verfahren nur zur vergleichenden Beurteilung der Qualität des Vorsatzbetons geeignet ist, oder ob sich mittels dieses Verfahrens Absolutwerte z. B. für den mittleren Porenradius festlegen lassen, die unabhängig von der Betonrezeptur eine Qualitätsbeurteilung ermöglichen.

Beurteilung der Kantenstabilität der Pflastersteine

Vor der detaillierteren Diskussion der Ergebnisse ist festzustellen, dass weder die gemäß DIN EN 1338 [L 1] nachzuweisende Spaltzugfestigkeit noch die Bestimmung



- Faserdosiermaschinen für Kunststoff-, Glas- und Naturfasern
- Dosiermaschinen für Pulver, Compact-Pigmente und Granulate (auch in Sonderlösungen mit Fahrwaage)
- Labor- und Kleinmengenmischer EASYMIX
- Flüssigkeitswaagen

KI • MI • DO
KINDLER MISCHTECHNIK DOSIERTECHNIK

KI • MI • DO
Kindler GmbH | Siemensstraße 11
D-72160 Horb a.N. | Deutschland
T +49 7451 1022 | F +49 7451 6622
info@kimido.com | www.kimido.com

der Druckfestigkeit der Pflastersteine nach DIN 18 501 [L 2] eine sachgerechte Bewertung der Kantenstabilität von Pflastersteinen ermöglicht. Vielmehr wird die Kantenstabilität der Pflastersteine zum einen von der Qualität des Vorsatzbetons, aber auch von der Ausführung der Steinkanten im Bereich der Lasteinleitungsflächen bestimmt. Das hat aber auch zur Folge, dass die Kantenstabilität aufgrund lokaler Zementsteinnasen und kleiner Inhomogenitäten bzw. Unebenheiten an den Steinkanten stärker streut, als wir dies für übliche Materialkennwerte gewohnt sind. In dieses Bild passt auch die Feststellung, dass die Streuung der Untersuchungsergebnisse an der Produktionskante größer war, als an den im Labor hergestellten Schnittkanten der Pflastersteine.

Die Kantenstabilität an den im Labor hergestellten Schnittkanten war durchgängig etwas geringer als an den Produktionskanten, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass die im Labor hergestellten Schnittkanten „schärfer“ als die im Rahmen der Pflastersteinproduktion hergestellten scharfkantigen Produktionskanten waren.

Weitere Vorgehensweise

Da die Datenbasis der bisherigen Untersuchungen eher gering ist, wurde im Rahmen der Abschlussbesprechung des Forschungsvorhabens beschlossen, das Forschungsvorhaben fort zu setzen. Im Rahmen dieser Fortsetzung sollen die nachfolgend beschriebenen Ziele verfolgt werden:

- Erweiterung der Datenbasis auf Pflastersteine von weiteren Pflastersteinproduzenten. Hierbei sollen neben scharfkantigen Pflastersteinen zum Teil auch Pflastersteine mit Fase mit in die Untersuchungen einbezogen werden;
- Zur Beantwortung der Frage, wodurch Kantenabplatzungen an Pflastersteinen in erster Linie verursacht werden, sollen darüber hinaus Feldversuche an hinsichtlich der Kantenstabilität „guten“ und „schlechten“ Pflastersteinen durchgeführt werden, wobei die nachfolgend genannten Verlegeweisen Berücksichtigung finden sollen:
 - Fachlich einwandfreie Verlegung der Pflastersteine auf einer sachgerechten Bettung und Tragschicht;
 - Knirsch-Verlegung der Pflastersteine auf einer sachgerechten Bettung und Tragschicht, wobei die Pflastersteine anschließend mit einem Richteisen ausgerichtet und mit einer zu schweren

Rüttelplatte bei Vorhandensein von Grobkorn auf der Fläche verdichtet werden sollen;

- Knirsch-Verlegung der Pflastersteine auf einer nur 1,5 cm starken Bettung und einer sachgerechten Tragschicht, wobei die Pflastersteine anschließend mit einem Richteisen ausgerichtet und mit einer zu schweren Rüttelplatte bei Vorhandensein von Grobkorn auf der Fläche verdichtet werden sollen.

Die so verlegten Flächen sollen direkt nach der Verlegung und in regelmäßigen Abständen in Augenschein genommen werden. Hierbei soll die Menge der entstandenen Kantenabplatzungen pro Quadratmeter Versuchsfläche erfasst werden. Die Beanspruchung der Flächenbefestigung soll baustofftypisch sein. So soll die Fläche regelmäßig mit PKW sowie mit wenigen LKW bis 7,5 t befahren werden.

Über die Ergebnisse dieser weiterführenden Untersuchungen wird zu gegebener Zeit wieder in der BWI berichtet werden.

■ Literatur

- [L 1] DIN EN 1338 „Pflastersteine aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren“ (Fassung August 2003) in Verbindung mit der Berichtigung 1 (Fassung November 2006);
- [L 2] DIN 18 501 „Pflastersteine aus Beton“ (Fassung November 1982);
- [L 3] DIN 18 555-9 „Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln - Festmörtel; Bestimmung der Fugendruckfestigkeit“ (Fassung September 1999);
- [L 4] DIN 66 133 „Bestimmung der Porenvolumenverteilung und der spezifischen Oberfläche von Feststoffen durch Quecksilberintrusion“ (Fassung Juni 1993);
- [L 5] Schriften der Bauhaus Universität Weimar; Baustoffkenngrößen, Heft 102;

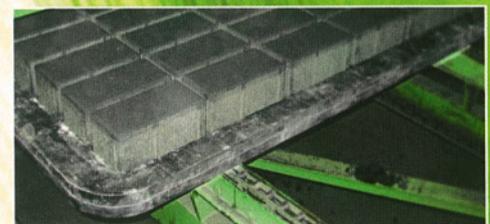
WEITERE INFORMATIONEN



Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied
Sandkauler Weg 1
56564 Neuwied, Deutschland
T +49 2631 39930
F +49 2631 399340
info@mpva.de
www.mpva.de

Das Hightech-Unterlagsbrett für die Betonsteinindustrie

- leicht
- maschinenschonend
- vibrationsstark
- biegesteif
- abriebfest
- langlebig
- kosteneffizient



TECBOARD GmbH
Nordstraße 33
D-57072 Siegen/Germany
Tel.: +49 271 2337242-0
Fax: +49 271 2337242-30
info@tecboard.com