

**Verbesserung von Asphalteigenschaften durch Zugabe
von Kalkhydrat**

H.-J. Eulitz, K. Schellenberg, H.-J. Ritter und S.-O. Schmidt



Forschungsbericht Nr. 2/98 / B 005 i/e

Verbesserung von Asphalteigenschaften durch Zugabe von Kalkhydrat

H.-J. Eulitz, K.Schellenberg, H.-J. Ritter und S.-O. Schmidt

Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben

AiF-Nr. **10656 N**

Forschungsstelle 1: Forschungsinstitut der
Forschungsgemeinschaft Kalk und Mörtel e.V.
Annastr. 67 - 71
50968 Köln

Forschungsstelle 2: Institut für Materialprüfung
Dr.-Ing. Schellenberg
Rottweiler Str. 13
78628 Rottweil

Alle Rechte vorbehalten

Veröffentlichungen und Vervielfältigungen - auch auszugsweise - nur mit Genehmigung der
Forschungsgemeinschaft Kalk und Mörtel e.V.

Diese Forschungsarbeit wurde mit Mitteln des Bundesministers für Wirtschaft (BMWi) im Rahmen eines von der
Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF) durchgeführten Forschungsvorhabens
gefördert.

Verbesserung von Asphalteigenschaften durch Zugabe von Kalkhydrat

Inhalt

		Seite
0	Kurzfassung	
1	Einführung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Stand der Kenntnisse	1
1.3	Ziel des Forschungsvorhabens	2
1.4	Administratives	2
2	Methodik des Vorgehens	3
3	Durchführung der Untersuchungen und Ergebnisse	5
3.1	Verwendete Ausgangsstoffe und deren Eigenschaften	5
3.2	Einfluß von Kalkhydrat auf das Quellverhalten von Asphalt (Untersuchungsstufe 1)	13
3.3	Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Asphalt (Untersuchungsstufe 2)	16
3.4	Einfluß von Kalkhydrat auf die Alterung von bituminösem Mörtel (Untersuchungsstufe 3)	20
3.5	Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Splittmastix- und Drainashalt (Untersuchungsstufe 4)	28
4	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse und Schlußfolgerungen	31
5	Literatur	42
	Anhang	

0 Kurzfassung

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen geförderten Forschungsvorhabens konnte der Einfluß von Kalkhydrat auf Asphalteigenschaften im Hinblick auf das Quell-/Haftverhalten bei Einwirkung von Wasser sowie auf das Alterungsverhalten (oxidative Alterung) des bituminösen Mörtels untersucht werden.

In einer ersten Stufe wurde zunächst grundsätzlich die quellungshemmende Wirkung von Kalkhydrat im Asphalt experimentell nachgewiesen. Hierzu wurden Quellungsprüfungen an Asphaltbetonen, hergestellt mit systematisch variierten Anteilen von Kalkhydrat und Bentonit (Quellmittel), durchgeführt. Es wurden drei Kalkhydrate, zwei mit hohem und eins mit geringem Anteil an CaO verwendet. Das Quellverhalten von Asphalt kann durch die Zugabe von Kalkhydrat wirksam verringert werden. Bereits der Zusatz von 1 % Kalkhydrat reduziert die Quellung um 50 %. Die quellungshemmende Wirkung ist bei Kalkhydrat mit hohen Anteilen an CaO ausgeprägter.

In einer zweiten Stufe wurde die Wirkung von Kalkhydrat auf die Haftfestigkeit (Adhäsion) von wasser- und trockengelagerten Asphaltbetonen mit systematisch variiertem Kalkhydrat- und Bentonitgehalt, sonst jedoch gleicher Zusammensetzung und vergleichbarem Dichteniveau mit Hilfe von Zugversuchen angesprochen. Als Kenngröße diente der Zugfestigkeitsverlust zwischen wassergelagerten und trocken gelagerten Proben der jeweils zugehörigen Variationsstufe. Durch die Zugabe von 2 % Kalkhydrat konnte der Zugfestigkeitsverlust des untersuchten Asphaltbetons für die jeweilige Variationsstufe des Quellmittels Bentonit um rund 50 % reduziert werden.

In einer dritten Stufe wurde die in amerikanischen Literaturquellen angesprochene alterungshemmende Wirkung von Kalkhydrat auf Bitumen experimentell untersucht. Hierzu wurden Gemische aus Bitumen und Basalt-Füller mit variierten Zugabemengen an Kalkhydrat einer thermischen Alterung mit verschiedenen Expositionsdauern unterzogen. Als Kenngröße zur Bewertung der alterungshemmenden Wirkung von Kalkhydrat auf Bitumen diente die relative

Änderung der Zugviskosität, ermittelt über Zugretardationsversuche am bituminösen Mörtel bei verschiedenen Temperaturen. Eine alterungshemmende Wirkung ist unter den im Rahmen des Forschungsvorhabens gewählten experimentellen Randbedingungen nachweisbar. Bei Zugabe von 8 % Kalkhydrat (bezogen auf den bituminösen Mörtel) ist die Zunahme der Mörtelviskosität in Abhängigkeit von der Alterungsdauer signifikant kleiner als bei der Nullmischung ohne Kalkhydrat.

Die Untersuchungen der Stufen 1 und 2 beschränkten sich zunächst auf Asphaltbeton. Deshalb wurde in einer vierten Stufe die Wirkung von Kalkhydrat auf das Quell-/Haftverhalten von Splittmastixasphalt und Drainasphalt, also splitt- und mörtelreicheren beziehungsweise hohlraumreicheren Asphaltvarianten, untersucht. Ausgehend von den Ergebnissen aus Stufe 2 wurden Splittmastixasphalte und Drainasphalte unter Verwendung von kalkfreien (Basalt) und kalkreichen (Moräne) Mineralstoffen sowie einem Normenbitumen der Sorte B 65 und einem polymermodifizierten Bitumen der Sorte PmB 65, mit und ohne Zusatz von 3 % Bentonit und 2 % Kalkhydrat hergestellt. Als Kenngröße zur Bewertung der Wirkung des Kalkhydrates auf die Haftfestigkeit diente der Zugfestigkeitsverlust zwischen wassergelagerten und trocken gelagerten Proben. Mit im Vergleich zu den Nullgemischen um etwa 1 % bis 4 % unwesentlich größeren Zugfestigkeitsverlusten sind die mit 2 % Kalkhydrat und 3 % Bentonit hergestellten Splittmastixasphalte als gleichwertig zu betrachten, das heißt, die haftverbessernde Wirkung des Kalkhydrates bei Einsatz von Mineralstoffen mit quellfähigen Verunreinigungen ist nachgewiesen. Dieser Nachweis gelang bei dem hohlraumreichen Drainasphalt nicht. Dieser Asphalttyp reagiert wesentlich empfindlicher auf die relativ hoch gewählte Dosierung des Bentonits.

Durch Zugabe von Kalkhydrat, insbesondere solchen mit hohen Gehalten an CaO, kann eine signifikante Verbesserung der Haftung zwischen Mineralstoff und Bindemittel sowie eine Verbesserung der Alterungsbeständigkeit des bituminösen Mörtels und damit eine Qualitätserhöhung des Straßenbaustoffs Asphalt, insbesondere für hochbelastete Asphaltbefestigungen, erreicht werden.

Durch den Einsatz von Kalkhydrat könnten auch regional vorhandene, natürlich vorkommende oder als industrielles Nebenprodukt anfallende Mineralstoffe, die aufgrund ihrer Chemie zu Affinitätsproblemen mit den im Straßenbau verwendeten Bindemitteln neigen beziehungsweise bestimmte Mengen an quellfähigen Bestandteilen aufwiesen, nach erfolgtem Nachweis der Eignung für die Asphalterstellung verwendet werden.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Köln, den 31.08.1998

FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT
KALK UND MÖRTEL E.V.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dr. Schmidt', written in a cursive style.

Dr. S.-O. Schmidt

1 Einführung

1.1 Problemstellung

Der Gebrauchswert einer Asphaltbefestigung ist hinsichtlich ihres Widerstandes gegenüber bleibender Verformung, Rißbildung und Verschleiß in starkem Maße von den Eigenschaften der verwendeten Komponenten abhängig. So kann beispielsweise bei Einwirkung von Wasser auf Asphalt der Haftverbund, - dieser ist abhängig von den physikalischen und chemischen Eigenschaften (Affinität) der verwendeten Mineralstoffe und des eingesetzten Bindemittels - derart geschwächt werden, daß es zu einer Trennung der organischen von der anorganischen Komponente kommt (stripping). Dieser Vorgang führt zu einem zunehmenden Festigkeitsverlust und erhöhtem Verschleiß (Substanzverlust) und damit zu einer stark verkürzten Nutzungsdauer der Asphaltbefestigung.

Aus Ergebnissen von in Deutschland durchgeführten Forschungsvorhaben ist die quellungshemmende Wirkung von freien Kalziumionen erwiesen. Nach amerikanischen Untersuchungen soll auch das Haftvermögen (Adhäsion) zwischen Mineralstoffen und Bindemittel und auch das Alterungsverhalten (oxidative Alterung) des bituminösen Mörtels durch Zugabe von Kalkhydrat im Asphalt verbessert werden.

1.2 Stand der Kenntnisse

Aus Ergebnissen von in Deutschland durchgeführten Forschungsvorhaben [1, 2] ist eine quellungshemmende Wirkung von freien Kalziumionen im Asphalt festgestellt worden. Allerdings sind diese bereits vor Jahren durchgeführten Untersuchungen nun durch weitere systematische Untersuchungen an heute vermehrt zum Einsatz kommenden Asphalttypen unter Anwendung optimierter Prüfverfahren nachzuweisen und somit zu untermauern.

Nach amerikanischen, belgischen, deutschen und auch tschechischen Untersuchungen [3 bis 13] soll auch das Haftvermögen zwischen Mineralstoffen

und Bindemittel und das Alterungsverhalten durch Zugabe von Kalkhydrat im Asphalt verbessert werden. Die gewählten Untersuchungsmethoden, auf die sich diese Erkenntnisse stützen, basieren im Wesentlichen auf chemische Analysen und einfache Untersuchungen an Bindemitteln bzw. Bindemittel-Füllergemischen, weniger auf dem Asphalt selbst. Die Wirkung von Kalkhydrat auf die Asphalteeigenschaften ist zur Überprüfung und Untermauerung der bekannten Zusammenhänge somit systematisch zu untersuchen.

1.3 Ziel des Forschungsvorhabens

Mit diesem Forschungsvorhaben soll der Einfluß bzw. die Wirkung von Kalkhydrat auf das Quellverhalten, das Haftverhalten zwischen Bindemittel und Mineralstoffen bei Wassereinwirkung auf Asphalt sowie das Alterungsverhalten von bituminösem Mörtel untersucht werden.

1.4 Administratives

Der Forschungsantrag zum Thema "Verbesserung von Asphalteeigenschaften durch Zugabe von Kalkhydrat" wurde von der FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT KALK UND MÖRTEL E. V. in Bonn zum Antragstermin 27.03.1996 über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e. V. (AiF) in Köln dem Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) zur Förderung im Rahmen der Gemeinschaftsforschung eingereicht. Als ausführende Forschungsstellen wurden das Forschungsinstitut der Forschungsgemeinschaft Kalk und Mörtel e. V., Köln, Forschungsnehmer Dr. Sven-Olaf Schmidt und das Institut für Materialprüfung Dr. Schellenberg GbR, Rottweil, Forschungsnehmer Prof. Dr.-Ing. K. Schellenberg vorgeschlagen. Mit Schreiben vom 11.01.1996 und 17.04.1996 wurde dem Antrag seitens der AiF ohne Einschränkung zugestimmt und die Mittel durch den BMWi bewilligt.

2 Methodik des Vorgehens

In einer ersten Untersuchungsstufe war zunächst grundsätzlich die quellungshemmende Wirkung von Kalkhydrat im Asphalt experimentell zu untersuchen. Hierzu waren Asphaltbetongemische unter Verwendung von nach RG-Min zugelassenen Mineralstoffen sowie einem Straßenbaubitumen der Sorte B 200 und bei Variation von Zugabemengen einer hochquellfähigen Substanz und drei Kalkhydraten verschiedener Qualitäten in mehreren Stufen bei sonst gleicher Zusammensetzung herzustellen. Aus diesen Asphaltbetongemischen waren unter Beachtung der DIN 1996 Teil 4 Probekörper nach Marshall mit vergleichbaren Hohlraumgehalten herzustellen und gemäß DIN 1996 Teil 9 (Quellversuch) zu prüfen. Durch die gleichzeitige Variation der Gehalte an quellfähiger Substanz und Kalkhydrat in mehreren Stufen kann ein vollständiges Bild über die quellungshemmende Wirkung der eingesetzten Kalkhydrate gewonnen werden.

In einer zweiten Stufe sollte die Wirkung von Kalkhydrat mit einem hohen Anteil an Ca auf die Haftfestigkeit von zuvor wassergelagerten und trockengelagerten Probekörpern aus im Laboratorium gezielt hergestellten Asphaltbetonen untersucht werden. Hierzu waren ebenfalls unter Verwendung von nach RG-Min zugelassenen Mineralstoffen sowie einem herkömmlichen Straßenbaubitumen und bei Variation von Zugabemengen einer hochquellfähigen Substanz und dem Kalkhydrat in mehreren Stufen bei sonst gleicher Zusammensetzung herzustellen. Aus diesen Asphaltbetongemischen waren mittels Walzverdichtung Platten gleichen Dichteniveaus herzustellen und prismatische Probekörper herauszusägen. An diesen Proben waren nach Wasser- bzw. Trockenlagerung einaxiale Zugversuche zur Bestimmung der Zugfestigkeit durchzuführen. Durch die gleichzeitige Variation der Gehalte an quellfähiger Substanz und Kalkhydrat in mehreren Stufen sollte ein vollständiges Bild über den Einfluß von Kalkhydrat auf das Haftverhalten zwischen Mineralstoffen und Bindemittel bei Wassereinwirkung gewonnen werden.

In einer dritten Stufe sollte die in amerikanischen Literaturquellen hinsichtlich des Bindemittels (beziehungsweise des bituminösen Mörtels) angesprochene alterungshemmende Wirkung von Kalkhydrat experimentell untersucht werden. Hierzu waren Gemische aus einem Bitumen bzw. einem polymermodifizierten Bitumen und systematisch variierten Mengen an Kalkhydrat mit einem hohen Anteil an Ca herzustellen. In einem Vorversuch war zunächst an einem Gemisch über Zugretardationsversuche die Änderung der Viskosität und der Temperaturempfindlichkeit der Viskosität des bituminösen Mörtels in Abhängigkeit von der Alterungseinwirkdauer festzustellen. Die künstliche Alterung erfolgt bei einer konstanten Temperatur bei einem bestimmten Sauerstoffangebot. Bei nachweisbarem Einfluß des Kalkhydrats auf das Alterungsverhalten des Mörtels sollten die weiteren Versuche der systematisch variierten Gemische unter optimierten Bedingungen erfolgen.

Die Untersuchungen am Asphalt beschränkten sich zunächst auf Asphaltbeton. Deshalb sollte in einer vierten Stufe untersucht werden, ob und gegebenenfalls wie stark sich der Einfluß von Kalkhydrat im Hinblick auf das Quell-/ Haftverhalten von splitt- und mörtelreicheren sowie hohlraumreicheren Asphaltarten auswirkt. Hierzu waren unter Beachtung der ZTV Asphalt-StB 94 Splittmastixasphalte und Drainasphalte unter Verwendung von kalkfreien und kalkhaltigen Mineralstoffen sowie Straßenbaubitumen und polymermodifiziertem Bitumen, gezielten Verunreinigungen durch Bentonit und variablen Mengen an Kalkhydrat herzustellen und auf deren Quell- und Haftverhalten hin zu untersuchen

Sämtliche Meßergebnisse waren auszuwerten und in einem Schlußbericht darzustellen.

3 Durchführung der Untersuchungen und Ergebnisse

3.1 Verwendete Ausgangsstoffe und deren Eigenschaften

Nach Absprache unter den beteiligten Forschungsstellen wurden die für die Untersuchungen benötigten Zuschlagstoffe ausgewählt, beschafft und deren charakteristischen Merkmale untersucht.

3.1.1 Kalkhydrate

Von der beteiligten Forschungsstelle, dem Forschungsinstitut der Forschungsgemeinschaft Kalk und Mörtel e.V., Köln, erhielt das IfM vier Kalkhydrate (Kalkhydrat Nr. KH1 bis Nr. KH4) mit den zugehörigen Ergebnissen der durchgeführten analytischen Untersuchungen (siehe Tabelle 1).

Diese vier Kalkhydrate unterscheiden sich insbesondere im Gehalt an CaO. Kalkhydrat Nr. KH3 besitzt zusätzlich noch einen relativ hohen MgO-Gehalt. Somit könnte zusätzlich untersucht werden, ob ein geringerer CaO-Gehalt durch einen höheren Gehalt an MgO ausgeglichen werden kann.

Hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung sind die Kalkhydrate bautechnisch als Füller anzusehen (siehe Tabelle 2).

Als Füller anteilig eingesetzte Kalkhydrat weisen stark versteifende Eigenschaften auf.

Die versteifende Wirkung (Viskositätserhöhung) von Füllern auf Bitumen wird durch granulometrische und petrographische Merkmalsgrößen (Oberfläche, Korngrößenverteilung, Kornform, chemische Zusammensetzung) beeinflusst. Sie läßt sich durch den Stabilisierungsindex und die Erweichungspunkterhöhung

Merkmal		Kalkhydrat Nr.			
		KH 1	KH 2	KH 3	KH 4
	Herkunft	Schaefer Kalk, Hahnstätten	FELS-WERKE, Winterberg	Dyckerhoff, Lengerich	TKDZ, Wellen
0	Ca(OH) ₂ [%]	94,0	81,7	83,8	49,3
1	Glühverlust	25,43	29,20	21,84	23,54
2	Feuchte	0,25	0,62	0,25	0,49
3	CO ₂	1,57	4,94	2,82	2,69
4	SO ₃	0,01	0,10	0,05	0,16
5	SiO ₂	0,10	0,92	5,98	4,42
6	Fe ₂ O ₃	0,04	0,20	0,89	1,05
7	Al ₂ O ₃	0,07	0,26	2,23	1,06
8	MgO	0,59	0,50	0,40	28,56
9	CaO	73,17	68,14	67,04	40,73
10	Mn ₂ O ₃	0,02	0,04	0,15	0,07
Summe 1 bis 10		99,43	99,36	98,58	99,59

Tabelle 1: Ergebnisse der analytischen Untersuchung der Kalkhydrate

Siebweite [mm]	Rückstände auf den Sieben [M-%] von Kalkhydrat Nr.			
	KH1	KH2	KH3	KH4
0,00 - 0,063	91,8	97,3	96,7	93,0
0,063 - 0,09	5,2	2,1	2,6	4,8
0,09 - 0,25	3,0	0,6	0,7	2,2
0,25 - 0,71	0,0	0,0	0,0	0,0
Σ	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 2: Korngrößenverteilungen der angelieferten Kalkhydrate

bei einem Füller-Bitumen-Gemisch mit dem Mischungsverhältnis von 65 : 35 beschreiben. Der Stabilisierungsindex kennzeichnet das Verhältnis von Füller zu Bitumen, bei dem der Erweichungspunkt Ring und Kugel um 20 K höher liegt als der Erweichungspunkt Ring und Kugel des Bitumens der Sorte B 200 allein. Bei einem Füller mit hohem Stabilisierungsindex ist eine geringe Füllermenge erforderlich um eine gleiche Viskosität zu erreichen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Kalkhydrat		KH 1		KH 2		KH 3		KH 4	
versteifende Eigenschaften	Verhältnis F:B	EP RuK [°C]	□EP [°C]	EP RuK [°C]	□EP [°C]	EP RuK [°C]	□EP [°C]	EP RuK [°C]	□EP [°C]
	0 : 100	40,4		40,4		40,4		40,4	
	35 : 65	---	---	50,2	9,8	50,0	9,6		
	40 : 60	51,8	11,4	56,7	16,3	59,8	19,4		
	45 : 55	55,6	15,2	68,8	28,4	72,5	32,1	52,6	12,2
	50 : 50	62,2	21,8	---	---			57,6	17,2
	55 : 45	---	---	---	---			67,4	27,0
Stabilisierungsindex	[-]	1,0 : 1,0		0,7 : 1,0		0,7 : 1,0		1,0 : 1,0	

Tabelle 3: Versteifende Eigenschaften der Kalkhydrate

Für die nachfolgenden Untersuchungen wurden die folgenden Kalkhydrate ausgewählt:

Kalkhydrat Nr. 1,
Kalkhydrat Nr. 3 und
Kalkhydrat Nr. 4.

Die Kalkhydratproben wurden in Teilmengen, luftdicht in Kunststoffflaschen verpackt und bis zur Verwendung gelagert.

3.1.2 Mineralstoffe (Füller, Sand, Splitte, Bentonit)

Zur Herstellung der Asphalte wurden die Mineralstoffe Basalt und Moräne verwendet. Herkunft und Lieferkörnungen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Mineralstoff, Lieferkörnung	Herkunft
Basalt-Edelsplitt 8/11 mm	Vereinigte Hartsteinwerke MHI-GmbH Homberg, Nieder-Ofleiden
Basalt-Edelsplitt 5/8 mm	Vereinigte Hartsteinwerke MHI-GmbH Homberg, Nieder-Ofleiden
Basalt-Edelsplitt 2/5 mm	Vereinigte Hartsteinwerke MHI-GmbH Homberg, Nieder-Ofleiden
Basalt-Edelbrechsand 0/2 mm	Vereinigte Hartsteinwerke MHI-GmbH Homberg, Nieder-Ofleiden
Basalt-Füller 0/0,09 mm**	Vereinigte Hartsteinwerke MHI-GmbH Homberg, Nieder-Ofleiden
Moräne-Edelsplitt 8/11 mm	Valet & Ott, Rulfingen
Moräne-Edelsplitt 5/8 mm	Valet & Ott, Rulfingen
Moräne-Edelsplitt 2/5 mm	Valet & Ott, Rulfingen
Moräne-Edelbrechsand 0/2 mm	Valet & Ott, Rulfingen
Kalksteinmehl 0/0,09 mm (KSM)	Zementwerk Rohrbach, Dotternhausen
** Der Füller wurde im Laboratorium aus dem Brechsand abgesiebt	

Tabelle 4: Verwendete Mineralstoffe

Die Mineralstoffe (Basalt) wiesen die folgenden Korngrößenverteilungen auf:

Siebweite [mm]	Rückstände auf den Sieben [M-%]								
	Füller	Sand					Edelsplitte		
		EBS 0,09/0,25	EBS 0,25/0,71	EBS 0,71/2	ÜK 2/5	EBS 0/2	ESP 2/5	ESP 5/8	ESP 8/11
0,00 - 0,09	100,0	6,6	0,4	0,3		20,8	1,0		
0,09 - 0,25		93,4	4,8	0,5		8,0	0,5	0,8	
0,25 - 0,71			94,8	1,1		11,4	0,7	0,2	
0,71 - 2,0				98,1	76,2	55,4	6,2	0,6	0,4
2,0 - 5,0					23,8	4,4	77,0	5,2	0,6
5,0 - 8,0							14,6	93,2	6,6
8,0 - 11,2									70,8
11,2 - 16,0									21,6
Σ	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 5: Korngrößenverteilungen der verwendeten Basalt-Mineralstoffe (1. Lieferung)

Aufgrund der zur Herstellung von Asphalten ungünstigen Korngrößenverteilungen der Lieferkörnungen EBS 0/2 und ESP 2/5 der ersten Lieferung wurden diese und die Lieferkörnung 5/8 nochmals nachgeliefert. Die Korngrößenverteilungen dieser Lieferkörnungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Siebweite [mm]	Rückstände auf den Sieben [M-%]		
	EBS 0/2	ESP 2/5	ESP 5/8
0,00 - 0,09	12,3		
0,09 - 0,25	9,0		
0,25 - 0,71	21,6	0,6	
0,71 - 2,0	50,7	4,0	0,3
2,0 - 5,0	6,4	93,2	5,7
5,0 - 8,0		2,2	87,7
8,0 - 11,2			6,3
11,2 - 16,0			
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabelle 6: Korngrößenverteilungen der verwendeten Basalt-Mineralstoffe (2. Lieferung)

Siebweite [mm]	Rückstände auf den Sieben [M-%]			
	KSM	EBS 0/2	ESP 2/5	ESP 5/8
0,00 - 0,09	92,2	9,4		
0,09 - 0,25	7,4	11,8		
0,25 - 0,71	0,4	24,9		
0,71 - 2,0		44,3	1,2	
2,0 - 5,0		9,6	98,8	6,5
5,0 - 8,0				93,5
8,0 - 11,2				
11,2 - 16,0				
Σ	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 7: Korngrößenverteilungen der verwendeten Moräne-Mineralstoffe

Der aus dem Basalt-Edelbrechsand (1. Lieferung) gewonnene Füller weist folgende Eigenschaften auf:

Merkmal	Dimension	Wert	
Rohdichte	[g/cm ³]	2,941	
Hohlraumgehalt nach Rigden	[%]	37,6	
versteifende Eigenschaften	Verhältnis F : B	Erweichungspunkt RuK [°C]	Erhöhung EP RuK [°C]
	0 : 100	39,7	
	55 : 45	49,6	9,9
	60 : 40	53,1	13,4
	65 : 35	61,2	21,5
Stabilisierungsindex	[-]	1,8 : 1	

Tabelle 8: Eigenschaften des Basalt-Füllers

Als Quellmittel wurde ein Bentonit verwendet. Bentonit ist ein Ton, der als Hauptbestandteil ein Aluminiumhydroxysilikat, den Montmorillonit, enthält. Der folgenden Tabelle sind Herkunft, Zusammensetzung sowie die Korgrößenverteilung des Bentonits zu entnehmen.

Herkunft/Vertrieb					
Fa. ERBSLÖH Geisenheim, Geisenheim					
Mineralogische Zusammensetzung (Angabe in %)		Chemische Durchschnitts- analyse (Angaben in %)		Korngrößenverteilung (Rückstände in M-%)	
Montmorillonit	70 - 80	SiO ₂	56,0	0,00 - 0,063 mm	74,9
Illit	10 - 18	Al ₂ O ₃	20,6	0,063 - 0,09 mm	16,3
Quarz	3 - 5	Fe ₂ O ₃	4,7	> 0,09 mm	8,8
Sonstige Minerale	ca. 3	MgO	3,4		
		Na ₂ O	3,0		
		CaO	2,0	Σ	100,0

Tabelle 9: Kenndaten des als Quellmittel verwendeten Bentonits

3.1.3 Bindemittel

Als Bindemittel kamen ein Normenbitumen der Sorte B 80 und ein polymermodifiziertes Bitumen der Sorte PmB 65 A aus Laborbeständen zur Anwendung. Die Kenndaten der Bindemittel sind in Tabelle 10 aufgestellt:

Merkmal	Bindemittel	
	B 80	PmB 65
Penetration [0,1 mm]	77	76
Erweichungspunkt RuK [°C]	46,5	53,0
Brechpunkt n. Fraass [°C]	-15	-18
elastische Rückstellung [%]	---	72,5

Tabelle 10: Kenndaten der verwendeten Bindemittel

3.2 Einfluß von Kalkhydrat auf das Quellverhalten von Asphalt (Untersuchungsstufe 1)

In Stufe 1 wurde die Wirkung von Kalkhydrat drei verschiedener Qualitäten (Kalkhydrat Nr. KH1, Nr. KH3 und Nr. KH4) auf das Quellverhalten (DIN 1996 Teil 9) von Probekörpern aus im Laboratorium gezielt hergestellten Asphaltbetongemischen untersucht werden.

Die Herstellung der Asphaltbetongemische erfolgte unter Verwendung der Basalt-Mineralstoffe (Basalt-Füller, Basalt-Edelbrechsand sowie den Basalt-Edelsplitten 2/5 und 5/8) und einem Standard-Bitumen der Sorte B 200 unter Zugabe von Bentonit in den Mengen 0, 1, 2 und 3 M-%, bezogen auf das Mineralstoffgemisch und Kalkhydrat Nr. 1, Nr. 3 und Nr. 4 in den Mengen 0,0 M-%, 1,0 M-% und 2 M-%, ebenfalls bezogen auf das Mineralstoffgemisch. Es ergaben sich damit insgesamt 28 Asphaltgemische mit identischem Kornaufbau und gleichem Bindemittelgehalt. Aus diesen Asphaltgemischen wurden jeweils sechs Marshall-Probekörper hergestellt, die bei allen Gemischen dasselbe Niveau hinsichtlich des Hohlraumgehaltes aufwiesen. An diesen Probekörpern wurde das Quellvermögen gemäß DIN 1996 Teil 9 untersucht

3.2.1 Prüfverfahren zur Ansprache des Quellverhaltens von Asphalt

Der Quellversuch gemäß DIN 1996 Teil 9 dient zur Bestimmung der Quellung (Volumenvergrößerung) verdichteter bituminöser Massen (Asphalt). Hierzu werden gemäß DIN 1996 Teil 20 hergestellte Asphalte unter Anwendung von DIN 1996 Teil 4 zu Marshall-Probekörpern geformt. An diesen Marshall-Probekörpern wird die Raumdichte gemäß DIN 1996 Teil 7 bestimmt. Anschließend werden die Probekörper evakuiert (Dauer 180 min, Vakuum: 25 bar, Temperatur des Wasserbades: höchstens 1 °C) und einer 48-stündigen Wasserlagerung

bei 40 °C unterworfen. Danach wird erneut eine Volumenbestimmung durchgeführt.

Die Quellung Q wird nach folgender Formel berechnet:

$$Q = (V_Q - V_A) / V_A * 100 \text{ [V-\%]}$$

mit V_A = Volumen vor der Quellung,
 V_Q = Volumen nach der Quellung.

3.2.2 Zusammensetzung der Proben

Die Proben wurden hergestellt aus einem Asphaltbeton 0/8 mit folgender Mineralstoffzusammensetzung:

Mineralstoff	Anteil in M-%
Basalt-Edelsplitt 5/8	22,4
Basalt-Edelsplitt 2/5	28,5
Basalt-Edelbrechsand Überkorn 2/5	8,7
Basalt-Edelbrechsand 0,71/2	21,4
Basalt-Edelbrechsand 0,25/0,71	5,6
Basalt-Edelbrechsand 0,09/0,25	4,0
Basalt-Füller < 0,09	9,4

Tabelle 11: Kornzusammensetzung des Asphaltbetons 0/8

Als Bindemittel wurde ein Straßenbaubitumen der Sorte B 200 verwendet. Der Bindemittelgehalt wurde zu 6,7 M-% gewählt, um einen Hohlraumgehalt am Marshall-Probekörper von 5,5 V-% (4,8 bis 6,2 V-%) zu erhalten.

Mit einer systematischen Variation des Kalkhydratgehaltes in drei Stufen (0, 1, und 2 M-%) und des Bentonitgehaltes in 4 Stufen (0, 1, 2 und 3 M-%) ergaben sich für drei Kalkhydrate (Nr. KH1, KH3 und KH4) Asphaltbetonvarianten, die im

Hinblick auf die Korngrößenverteilung, des Bindemittelgehaltes sowie des Dichteniveaus und des Hohlraumgehaltes vergleich waren.

3.2.3 Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 numerisch und in Abbildung 1 grafisch dargestellt.

Quellung in V-%							
Gehalt an Bentonit in %	Gehalt an Kalkhydrat in M-%						
	ohne	Nr. 1		Nr. 3		Nr. 4	
	0	1	2	1	2	1	2
0	0,65	0,21	0,23	0,31	0,39	0,25	0,30
1	0,89	0,41	0,29	0,47	0,45	0,31	0,32
2	1,12	0,64	0,41	0,54	0,49	0,53	0,38
3	2,64	2,08	1,19	2,19	1,00	2,01	1,93

Tabelle 12: Ergebnisse von Quellungsprüfungen an Asphaltbeton 0/8 bei systematischer Variation von Bentonitgehalt, Kalkhydratsorte und -gehalt

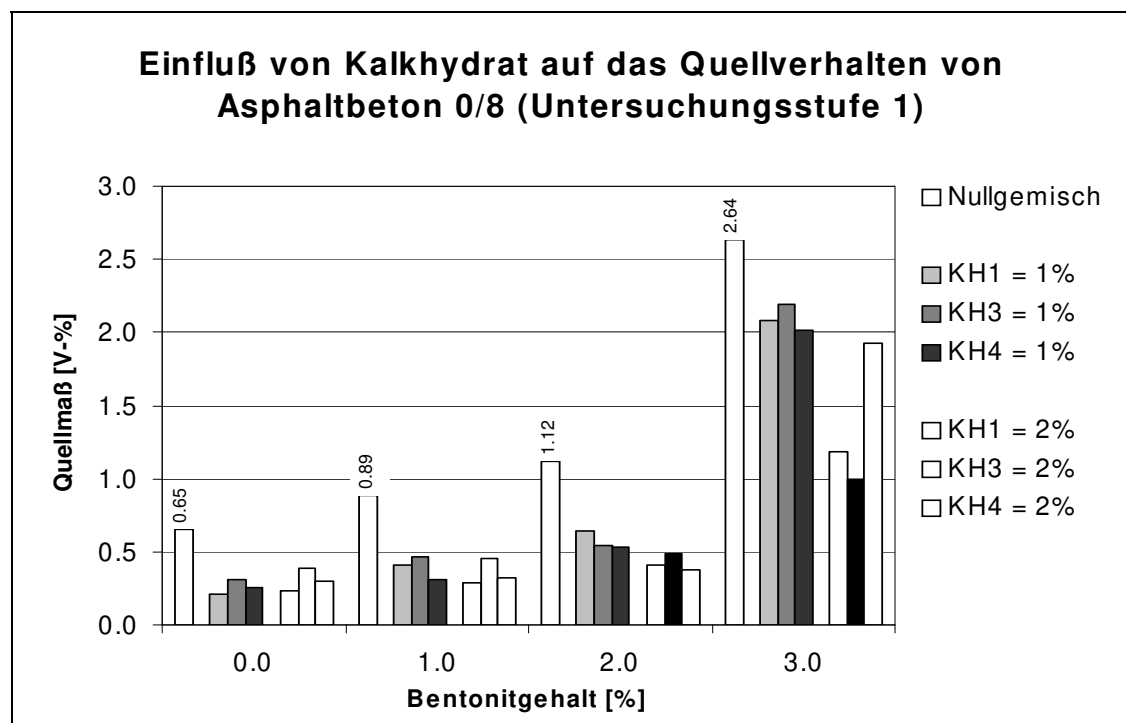


Abbildung 1: Ergebnisse von Quellungsprüfungen an Asphaltbeton 0/8 bei systematischer Variation von Bentonitgehalt, Kalkhydratsorte und -gehalt

3.3 Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Asphalt (Untersuchungsstufe 2)

In diesem Abschnitt wurde die Wirkung von Kalkhydrat KH1 mit hohem Anteil an Ca auf die Haftfestigkeit von zuvor wassergelagerten und trockengelagerten Probekörpern aus im Laboratorium gezielt hergestellten Asphaltbetonen untersucht.

3.3.1 Prüfverfahren zur Ansprache der Zugfestigkeit

Festigkeitsverluste infolge nachlassender Adhäsions- und/oder Kohäsionskräfte werden durch Anwendung des einaxialen Zugversuchs bei nicht allzu tiefen Temperaturen (Zugbruch im bituminösen Mörtel) experimentell nachweisbar.

Im einaxialen Zugversuch werden prismatische Asphaltprobekörper bei isothermem Temperaturverlauf und konstanter Ziehgeschwindigkeit bis zum Bruch belastet. Aus der während des Versuchs erfaßten Spannungs-Dehnungs-Beziehung wird die Kenngröße Zugfestigkeit β_z ermittelt. Die Zugfestigkeit ist die auf die geometrische Querschnittsfläche bezogene maximal mobilisierte Zugkraft.

Im Zugversuch werden prismatische Probekörper mit den Abmessungen 40 x 40 x 160 mm verwendet, die aus walzverdichteten Platten herausgesägt werden

Im Versuch wurden folgende Prüfbedingungen eingehalten:

Prüftemperatur	:	+ 5,0 °C (\pm 0,3 K) Luftbad
Ziehgeschwindigkeit	:	5,0 mm/min
Probekörperabmessungen:		40 x 40 x 160 mm

Lagerung der Proben: 8 h Wasserbad bei 25 °C mit Vakuum bei 25 mbar, anschließend 6 Tage im Wasserbad bei 25 °C und einen Tag Trockenlagerung bis zum Zugversuch

3.3.2 Zusammensetzung des Asphalts

Nach erfolgter Eignungsprüfung wurden 12 Asphaltbetone 0/8 unter Verwendung von 6.6 M-% Bitumen 80 und variablen Mengen an Kalkhydrat Nr. KH1 sowie variablen Mengen des Quellmittels Bentonit hergestellt (siehe Tabelle 13). Aus diesen Asphaltgemischen wurden walzverdichtete Platten hergestellt, von den jeweils zwei gegenüberliegende Plattenviertel vor bzw. nach Wasserlagerung auf Zugfestigkeit untersucht wurden.

Varianten			
Bentonitgehalt [M-%]	Kalkhydratgehalt [M-%]		
	0	1	2
0	1	2	3
1	4	5	6
2	7	8	9
3	10	11	12

Tabelle 13: Asphaltbetonvarianten Nr. 1 bis 12 mit Angabe der variierten Gehalte an Kalkhydrat Nr. KH1 und Bentonit

3.3.3 Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tabelle 14 numerisch und in Abbildung 2 grafisch dargestellt.

Zugfestigkeit [N/mm ²]						
Gehalt an Bentonit [M-%]	Kalkhydrat in M-%					
	0		1		2	
	ohne Wasser- lagerung	mit Wasser- lagerung	ohne Wasser- lagerung	mit Wasser- lagerung	ohne Wasser- lagerung	mit Wasser- lagerung
0	2,838	1,778	2,795	2,199	3,014	2,327
	2,804	1,708	2,918	2,172	2,895	2,468
	2,815	1,635	2,824	2,145	2,882	2,315
x s	2,819	1,707	2,846	2,172	2,930	2,370
	0,017	0,072	0,064	0,027	0,073	0,085
dx	1,112		0,674		0,560	
Verlust [%]	39,4		23,7		19,1	
1	2,794	1,525	2,908	2,206	2,781	2,296
	2,792	1,526	2,877	2,217	2,670	2,089
	2,768	1,451	2,894	2,207	2,763	2,175
x s	2,785	1,501	2,893	2,210	2,738	2,187
	0,014	0,043	0,016	0,006	0,060	0,104
dx	1,284		0,683		0,551	
Verlust [%]	46,1		23,6		20,1	
2	2,795	1,221	2,819	1,614	2,698	2,045
	2,812	1,161	2,810	1,517	2,702	2,121
	2,822	1,200	2,697	1,475	2,710	1,901
x s	2,810	1,194	2,775	1,535	2,703	2,022
	0,014	0,030	0,068	0,071	0,006	0,112
dx	1,616		1,240		0,681	
Verlust [%]	57,5		44,7		25,2	
3	2,908	0,955	2,748	1,199	2,628	1,720
	2,954	1,044	2,686	1,186	2,750	1,859
	2,854	1,007	2,702	1,210	2,658	1,777
x s	2,924	1,002	2,712	1,198	2,679	1,785
	0,055	0,045	0,032	0,012	0,064	0,070
dx	1,922		1,514		0,894	
Verlust [%]	65,7		55,8		33,4	

Tabelle 14: Ergebnisse von Zugversuchen an Asphaltbeton 0/8 bei systematischer Variation von Bentonitgehalt und Kalkhydratgehalt.

Zugfestigkeitsverlust in Abhängigkeit vom Bentonit- und Kalkhydratgehalt

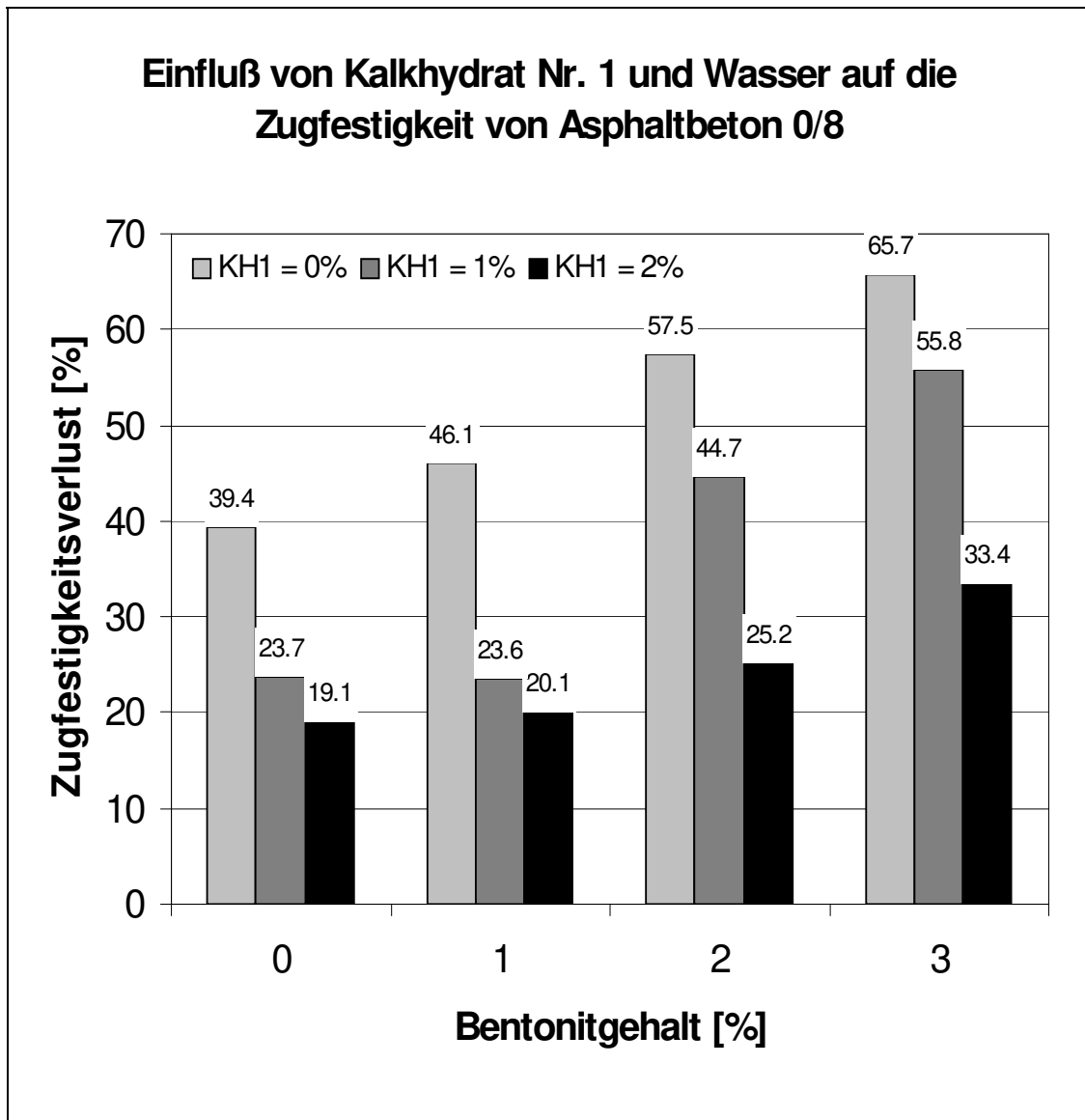


Abbildung 2: Ergebnisse von Zugversuchen an wassergelagerten und trockengelagerten Proben von hinsichtlich Bentonit- und Kalkhydratgehalt systematisch variiertes, sonst gleich zusammengesetzter Asphaltbetone 0/8

Zugfestigkeitsverlust in Abhängigkeit vom Bentonit- und Kalkhydratgehalt

3.4 Einfluß von Kalkhydrat auf die Alterung von bituminösem Mörtel (Untersuchungsstufe 3)

In diesem Abschnitt wurde die Wirkung von Kalkhydrat mit hohem Anteil an Ca auf das Alterungsverhalten von im Laboratorium gezielt hergestellten und mit beziehungsweise ohne eine künstliche Alterung (Wärmealterung) beaufschlagten Gemischen aus Bitumen und Füller/Kalkhydrat untersucht.

3.4.1 Ansprache der Zugviskosität

Das Fließvermögen (Viskosität) von Bindemittel-Füllergemischen wurde mit Hilfe von Zugretardationsversuchen bei vier Prüftemperaturen angesprochen.

Im Zugretardationsversuch wird ein prismatischer Probekörper des zu untersuchenden Bindemittels bei konstanter Versuchstemperatur durch eine sprungartig aufgebrachte und dann konstant zu haltende einaxiale Zugspannung statisch belastet. Während des Versuchs wird die sich dabei am Probekörper einstellende axiale Dehnung in Abhängigkeit von der Zeit erfaßt. Aus der Zeit-Dehnungskurve wird unter Anwendung von Auswerteverfahren (linearer Ansatz, Ansatz nach Burgers) die das Fließverhalten beschreibende Materialkenngröße Zugviskosität bestimmt.

3.4.1.1 Prüfeinrichtung

Die zur Durchführung von Zugretardationsversuchen verwendete Versuchseinrichtung besteht im wesentlichen aus einer prozeßgesteuerten Prüfmaschine, die bei der Prüfung von Bindemitteln liegend angeordnet und mit einer reibungsminimierten Einrichtung zur Probekörperauflagerung ausgestattet ist (siehe Abbildung 3). Die Messung von Längenänderungen am Probekörper

erfolgt über selektierte Wegaufnehmer mit einer Auflösung von 10^{-5} mm. Über eine Schrittmotor-Getriebeeinheit lassen sich Längenänderungen mit einer Auflösung von 10^{-5} mm gezielt an der Probe einstellen. Durch die Wahl einer kleinen Kraftmeßdose der Klasse 0.1 können Zug-/Druck-Kräfte mit einer Auflösung von 0,01 N gemessen werden. Die Prüfmaschine befindet sich während der Versuche in einem Wärme-Kälteschrank, mit dem die im Retardationsversuch verwendeten Versuchstemperaturen im Bereich von ca. + 40 °C bis - 40 °C mit einer Regelgenauigkeit von $\pm 0,3$ K eingestellt werden können.

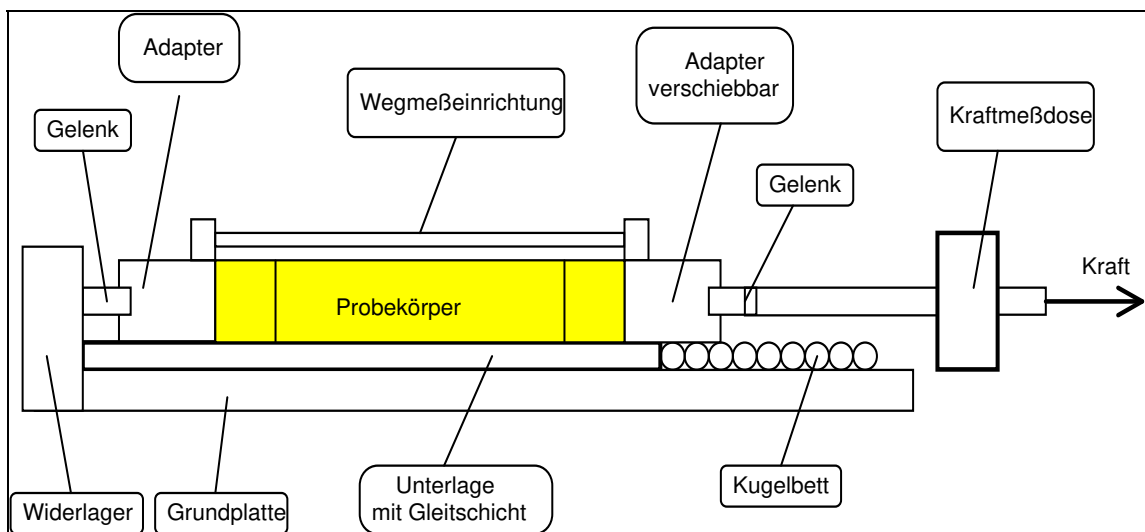


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Probekörperauflagerung und der Meßanordnung

Die Prüfmaschine und der Wärme-Kälteschrank werden über einen der Aufgabe entsprechend angepaßten Prozeßrechner unter Verwendung eines Echtzeit-Multitasking-Betriebssystems und den jeweiligen Versuchsprogrammen zur simultanen Meßdatenerfassung, Steuerung und Regelung (Software-PID-Regler) sowie zur Prozeßvisualisierung und Versuchsauswertung betrieben.

3.4.1.2 Probekörper

Bei den im Retardationsversuch verwendeten Probekörpern handelt es sich um stabförmige Proben mit rechteckigem Prüfquerschnitt von ca. 1000 mm² und einem Übergang zur quadratischen Klebefläche des Adapters von ca. 1600 mm². Die Probekörperform wurde mit ihren Abmessungen nicht willkürlich festgelegt, sondern ist aufgrund umfangreicher Vorversuche bei Variation von Prüfquerschnitt, Bindemittelsorte, Versuchstemperatur und unter Anwendung der Versuchstypen Retardationsversuch und Zugversuch optimiert worden.

3.4.1.3 Auswerteverfahren (Verfahren I: lineare Auswertung)

Unter der Voraussetzung einer konstanten Zugspannung und einer konstanten Versuchstemperatur sowie der Kenntnis des Verlaufs der Zeit-Dehnungskurve einer Bindemittelprobe kann die Zugviskosität über die Steigung im quasi-linearen Abschnitt der Zeit-Dehnungskurve bestimmt werden mit:

$$\lambda_z = \frac{\sigma}{\dot{\varepsilon}} = \frac{\sigma}{\frac{\Delta l}{\Delta t \cdot L_0}} \quad [\text{N}\cdot\text{s}/\text{mm}^2]$$

- mit λ_z = Zugviskosität des Bindemittels [N·s/mm²],
 σ = konstante einaxiale Zugspannung [N/mm²],
 $\dot{\varepsilon}$ = Steigung im quasi-linearen Bereich der Zeit-Dehnungskurve, entspricht $\frac{\Delta l}{\Delta t \cdot L_0}$ [1/s]
 L_0 = wirksame Länge (Bezugslänge $L_0 = 60,0$ mm),

3.4.2 Zusammensetzung der Mörtel-Gemische

Es wurden Gemische aus Bitumen der Sorte B 80 beziehungsweise aus polymermodifiziertem Bitumen der Sorte PmB 65 und Kalkhydrat KH1 unter Verwendung eines elektrischen Rührers hergestellt. Die Mischungsverhältnisse sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Gemisch	Anteile in M-%			
	Bitumen B 80	PmB 65	Basaltfüller	KH1
1	60		40	0
2	60		36	4
3	60		32	8
4		60	40	0
5		60	36	4
6		60	32	8

Tabelle 15: Zusammensetzung der Mörtelgemische

3.4.3 Alterung

Die hergestellten Mörtelgemische wurden in einem Laborkocher bei einer Temperatur von 180 °C einer thermischen Alterung in drei Stufen (0 h, 24 h und 48 h Expositionsdauer) unterzogen. In einer ergänzenden Untersuchung wurden die Gemische Nr. 1, 3, 4 und 6 zusätzlich mit einer weiteren Alterungsstufe von 96 Stunden beaufschlagt. Anschließend wurden die Viskosität bei vier Versuchstemperaturen sowie der Erweichungspunkt Ring und Kugel experimentell bestimmt.

3.4.4 Durchführung

Die zur Untersuchung verwendeten Probekörper wurden durch Gießen in eine Form (jeweils 4 Probekörper) hergestellt. Nach Abkühlung auf Raumtemperatur wurden die Proben in der Form in einem auf + 5 °C (± 2 K) temperierten Kühltanks bis zur weiteren Verwendung gelagert. Ausgehend von einer Temperatur von + 5 °C wurde die Probe mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 0,5 K/min auf die Versuchstemperatur temperiert. Während der Temperierung wurde die Probe mit Hilfe der Kraftregelung axialspannungsfrei gehalten.

3.4.5 Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 16 und den Abbildungen 4 bis 6 sowie in den Tabellen im Anhang vollständig dokumentiert.

Gemisch	Fülleranteil	KH1-Anteil	Alterungsdauer	Erweichungspunkt RuK und Zunahme [°C]				Penetration und Abnahme [0,1 mm]			
				B 80		PmB 65		B 80		PmB 65	
0	0	0	0	46,5		53,0		77		76	
1	40	0	0	50,4		58,3		52		44	
			24	51,1	0,7	57,6	-0,7	47	5	42	2
			48	57,0	6,6	62,7	4,4	27	25	29	15
			96	67,0	16,6	88,6	30,3	19	33	13	31
2	36	4	0	50,6		59,2		49		45	
			24	52,4	1,8	57,9	-1,3	45	4	44	1
			48	55,5	4,9	62,8	3,6	30	19	31	14
3	32	8	0	50,6		59,9		49		47	
			24	51,5	0,9	58,2	-1,7	42	7	44	3
			48	56,0	5,4	62,5	2,6	35	14	30	17
			96	59,1	8,5	74,9	15,0	23	26	17	30

Tabelle 16: Erweichungspunkt Ring und Kugel und Nadelpenetration, ermittelt an den Ausgangsbindemitteln und den Mörtelgemischen in Abhängigkeit von der Alterungsdauer (die Werte des Erweichungspunktes wurden absichtlich nicht gerundet)

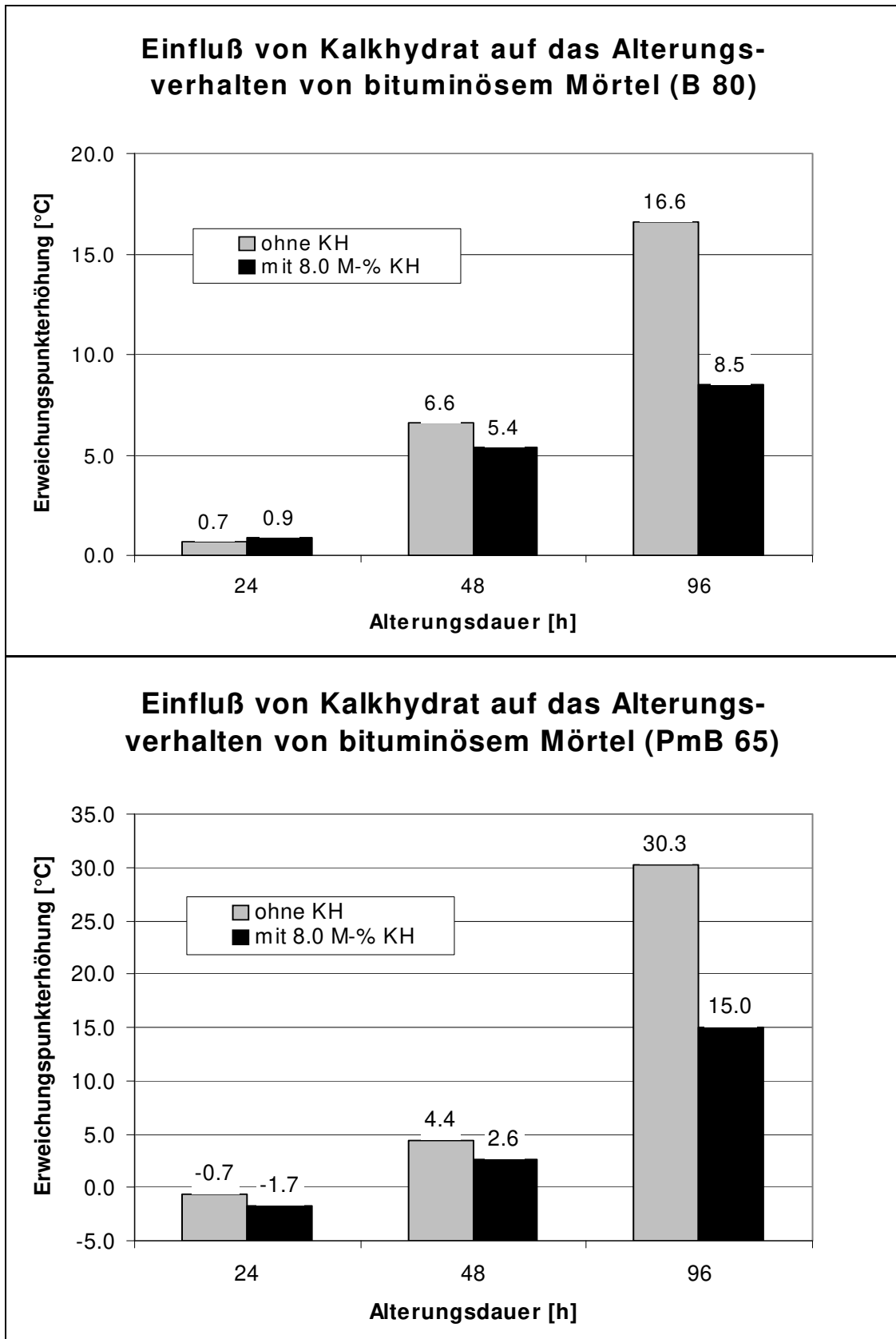


Abbildung 4: Erweichungspunkterhöhung in Abhängigkeit von der Alterungsdauer, ermittelt an bituminösem Mörtel aus Basaltfüller und Straßenbau-bitumen der Sorte B 80 beziehungsweise polymermodifiziertem Bitumen der Sorte PmB 65 mit und ohne Zugabe von 8 M-% Kalkhydrat

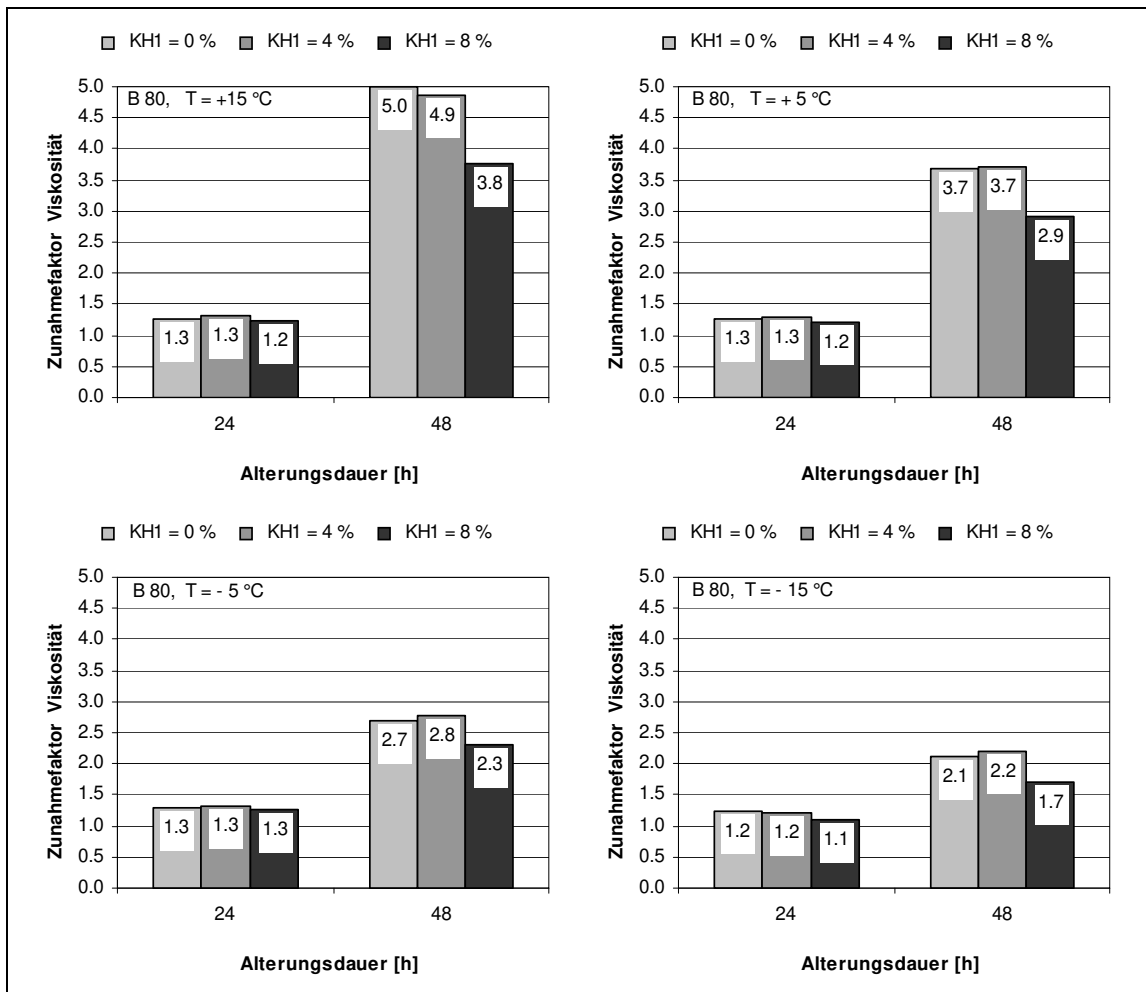


Abbildung 5: Relative Änderung der Viskosität, ermittelt bei verschiedenen Temperaturen an bituminösem Mörtel aus Basaltfüller und Bitumen 80 bei Variation der Zugabemenge von Kalkhydrat in Abhängigkeit von der Alterungsdauer

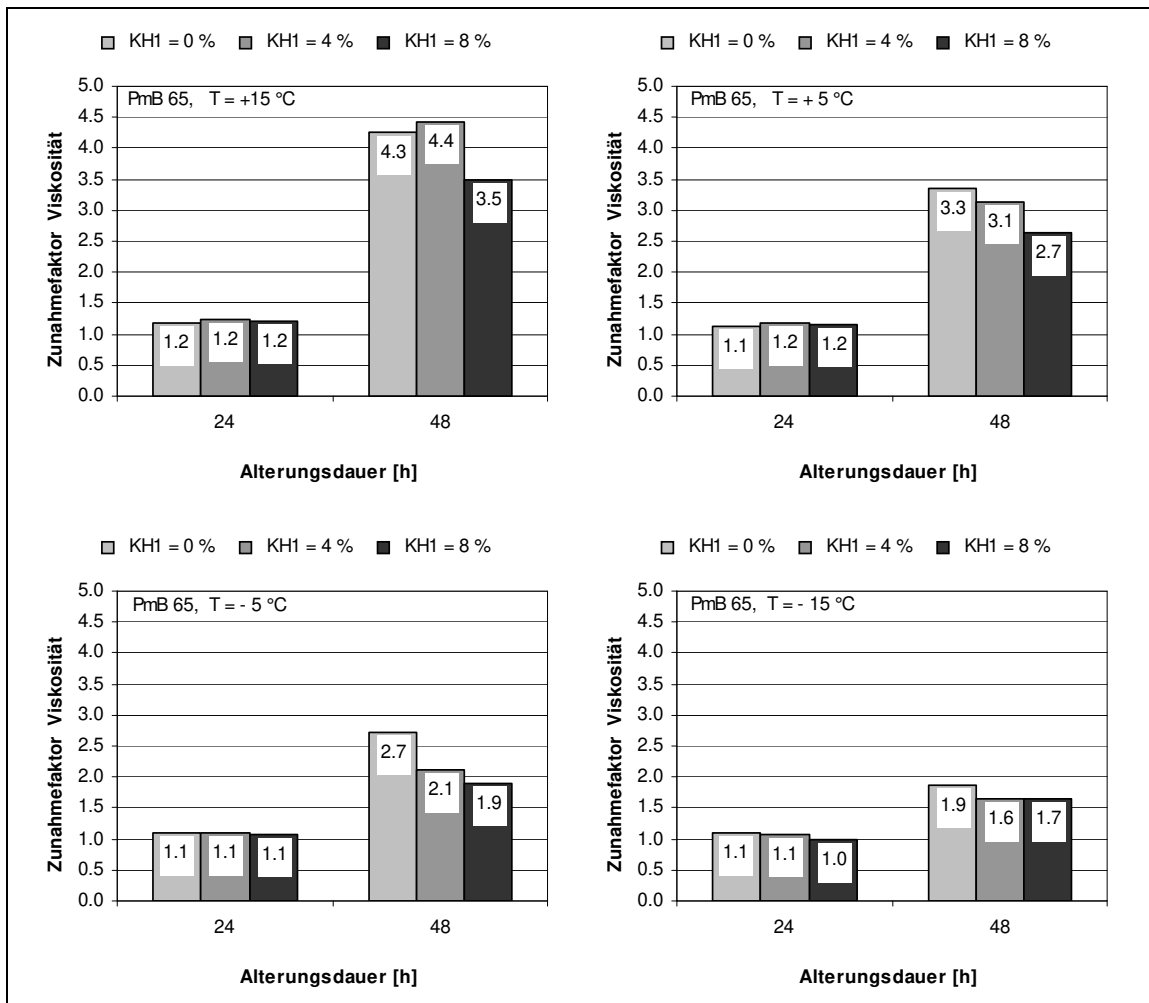


Abbildung 6: Relative Änderung der Viskosität, ermittelt bei verschiedenen Temperaturen an bituminösem Mörtel aus Basaltfüller und polymermodifiziertem Bitumen der Sorte PmB 65 bei Variation der Zugabemenge von Kalkhydrat in Abhängigkeit von der Alterungsdauer

3.5 Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Splittmastix- und Drainashalt (Untersuchungsstufe 4)

Die Untersuchungen der Stufen 1 und 2 beschränkten sich zunächst auf Asphaltbeton. Deshalb wurde in einer vierten Stufe die Wirkung von Kalkhydrat auf das Quell-/Haftverhalten von Splittmastixasphalt und Drainasphalt, also splitt- und mörtelreicheren beziehungsweise hohlraumreicheren Asphaltvarianten, untersucht. Ausgehend von den Ergebnissen aus Stufe 2 wurden Splittmastixasphalte und Drainasphalte unter Verwendung von kalkfreien (Basalt) und kalkreichen (Moräne) Mineralstoffen sowie einem Normenbitumen der Sorte B 65 und einem polymermodifizierten Bitumen der Sorte PmB 65, mit und ohne Zusatz von 3 % Bentonit und 2 % Kalkhydrat hergestellt. Als Kenngröße zur Bewertung der Wirkung des Kalkhydrates auf die Haftfestigkeit diente der Zugfestigkeitsverlust zwischen wassergelagerten und trocken gelagerten Proben.

Die Zusammensetzungen und Eigenschaften der Splittmastix- und Drainasphaltvarianten sind den Tabellen und Abbildungen im Anhang zu entnehmen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 17 und 18 dokumentiert.

Asphaltart: Splittmastixasphalt SMA 0/8							
Gesteinsart	Bindemittelart	Gehalt an	Zugfestigkeit N/mm ²				
Moräne	B 65	Kalkhydrat [M-%]	0,0		2,0		
		Bentonit [M-%]	0,0		3,0		
			o. WL	m. WL	o. WL	m. WL	
		1	4,780	4,646	4,606	4,461	
		2	4,757	4,502	4,788	4,336	
		3	4,640	4,391	4,672	4,270	
		x	4,726	4,513	4,689	4,356	
		s	0,075	0,128	0,092	0,097	
		□x [N/mm ²]	0,213		0,333		
		Verlust [%]	4,5		7,1		
	PmB 65	1	2,659	2,598	2,763	2,552	
		2	2,652	2,583	2,658	2,657	
		3	2,683	2,565	2,778	2,662	
		x	2,665	2,582	2,733	2,624	
	s	0,016	0,017	0,065	0,062		
	□x [N/mm ²]	0,083		0,109			
	Verlust [%]	3,1		4,0			
Gesteinsart	Bindemittelart	Gehalt an	Zugfestigkeit N/mm ²				
Basalt	B 65	Kalkhydrat [M-%]	0,0		2,0		
		Bentonit [M-%]	0,0		3,0		
			o. WL	m. WL	o. WL	m. WL	
		1	4,370	3,975	4,418	3,827	
		2	4,441	3,918	4,406	3,753	
		3	4,511	4,004	4,463	3,875	
		x	4,441	3,966	4,429	3,818	
		s	0,071	0,044	0,030	0,061	
		□x [N/mm ²]	0,475		0,611		
		Verlust [%]	10,7		13,8		
	PmB 65	1	2,753	2,655	2,729	2,438	
		2	2,703	2,624	2,663	2,611	
		3	2,680	2,643	2,698	2,541	
		x	2,712	2,641	2,697	2,530	
	s	0,037	0,016	0,033	0,087		
	□x [N/mm ²]	0,071		0,167			
	Verlust [%]	2,6		6,2			

Tabelle 17: Ergebnisse von Zugversuchen an wassergelagerten und trocken gelagertem Splittmastixasphalt SMA 0/8

Asphaltart: Offenporiger Asphalt OPA 0/8							
Gesteinsart	Bindemittelart	Gehalt an	Zugfestigkeit N/mm ²				
Moräne	B 65	Kalkhydrat [M-%]	0,0		2,0		
		Bentonit [M-%]	0,0		3,0		
			o. WL	m. WL	o. WL	m. WL	
		1	1,953	1,849	1,819	0,855	
		2	2,090	1,815	1,907	0,823	
		3	1,965	1,840	1,809	0,917	
		x	2,003	1,835	1,845	0,865	
		s	0,076	0,018	0,054	0,048	
		□x [N/mm ²]	0,168		0,980		
		Verlust [%]	8,4		53,1		
	PmB 65						
	1	1,214	1,170	1,283	0,926		
	2	1,138	1,103	1,243	0,965		
	3	1,184	1,192	1,241	0,949		
x	1,179	1,155	1,256	0,947			
s	0,038	0,046	0,024	0,020			
□x [N/mm ²]	0,024		0,309				
Verlust [%]	2,0		24,6				
Gesteinsart	Bindemittelart	Gehalt an	Zugfestigkeit N/mm ²				
Basalt	B 65	Kalkhydrat [M-%]	0,0		2,0		
		Bentonit [M-%]	0,0		3,0		
			o. WL	m. WL	o. WL	m. WL	
		1	1,986	1,836	2,107	0,886	
		2	2,095	1,812	2,094	0,890	
		3	2,170	1,886	2,065	0,897	
		x	2,084	1,845	2,089	0,891	
		s	0,093	0,038	0,022	0,006	
		□x [N/mm ²]	0,239		1,198		
		Verlust [%]	11,5		57,3		
	PmB 65						
	1	1,222	1,172	1,282	1,010		
	2	1,234	1,123	1,320	0,969		
	3	1,198	1,097	1,243	0,970		
x	1,218	1,154	1,282	0,983			
s	0,018	0,050	0,039	0,023			
□x [N/mm ²]	0,064		0,299				
Verlust [%]	5,3		23,3				

Tabelle 18: Ergebnisse von Zugversuchen an wassergelagerten und trocken gelagertem OPA 0/8

4 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse und Schlußfolgerungen

4.1 Einfluß von Kalkhydrat auf das Quellverhalten von Asphalt (Untersuchungsstufe 1)

Das ohne Zusatz von Betonit und Kalkhydrat hergestellte Null-Gemisch weist bereits eine relativ hohe Quellung von 0,65 V-% auf. Die Ursache hierfür ist in der Quellfähigkeit von Verwitterungsprodukten des Basalts zu suchen.

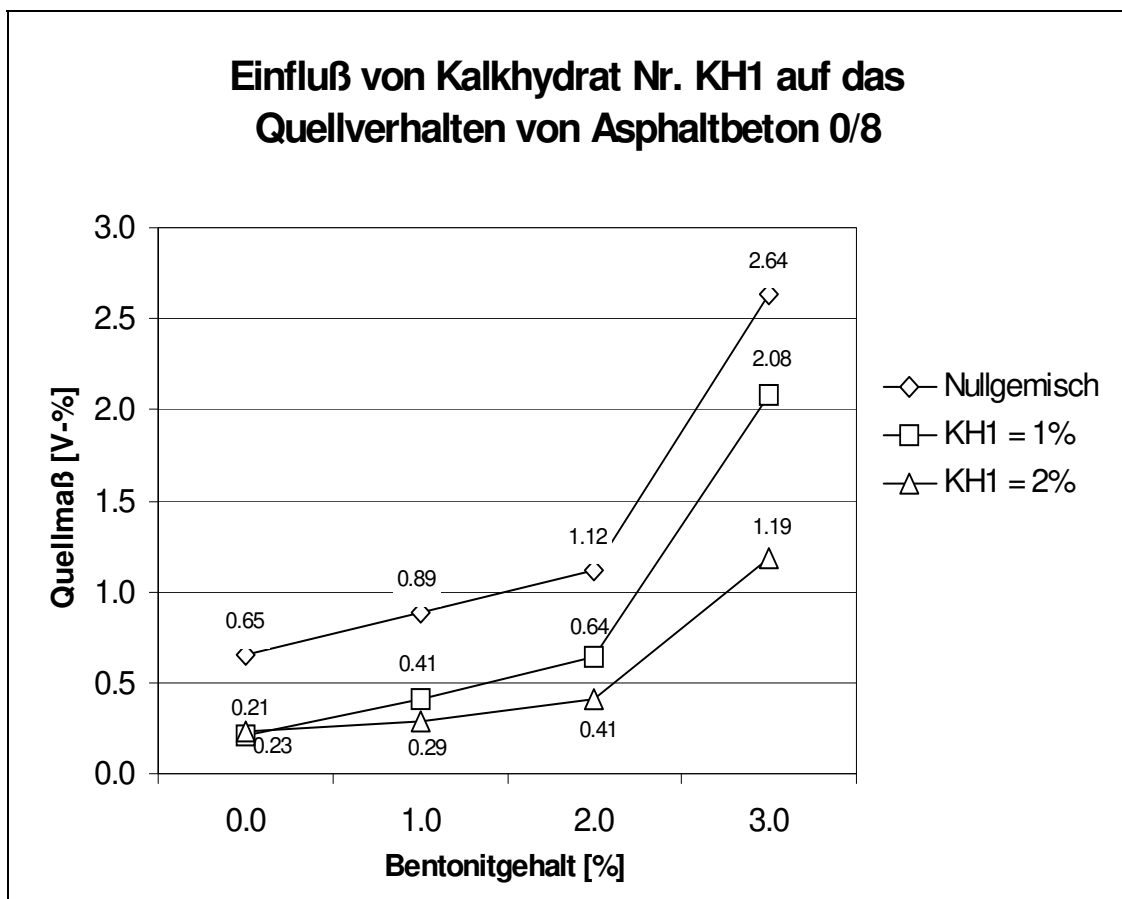


Abbildung 7: Ergebnisse von Quellungsprüfungen an Asphaltbeton 0/8 bei systematischer Variation von Bentonitgehalt und Kalkhydratgehalt (KH1)

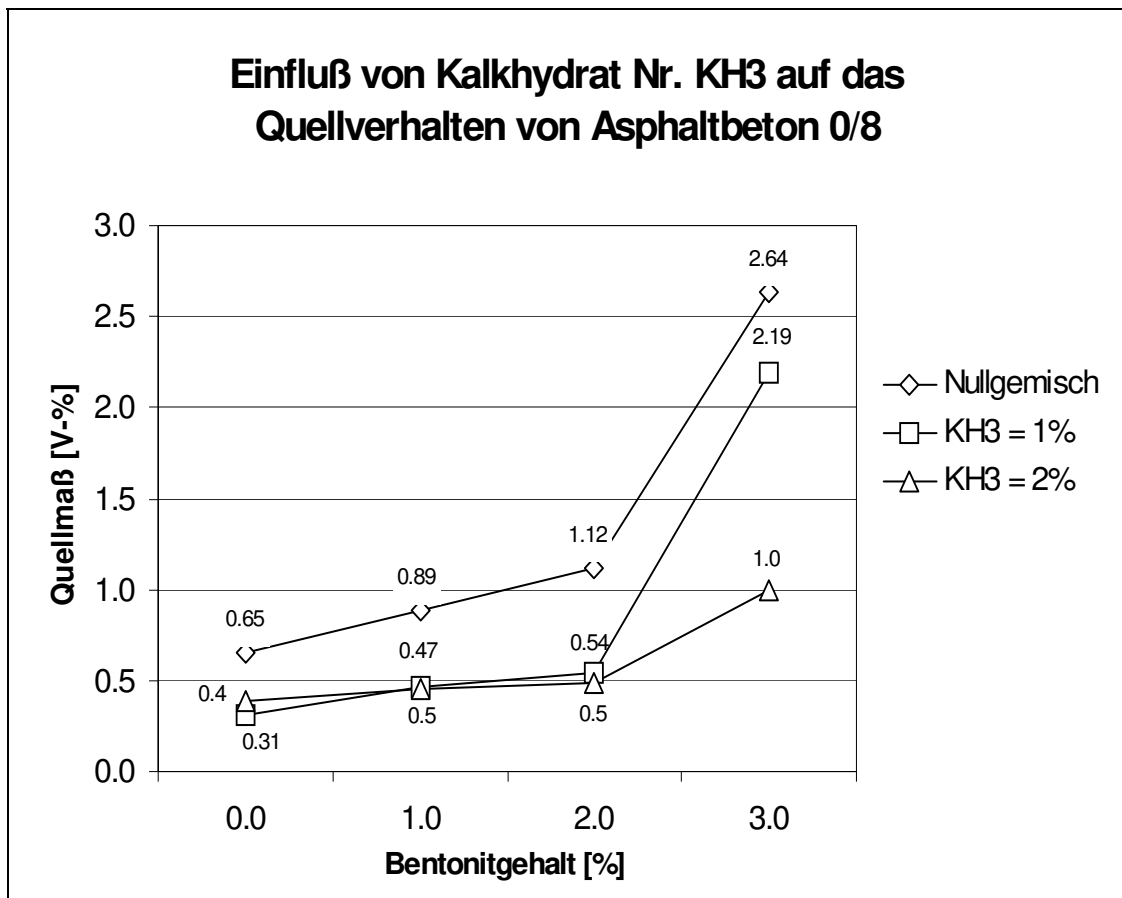


Abbildung 8: Ergebnisse von Quellungsprüfungen an Asphaltbeton 0/8 bei systematischer Variation von Bentonitgehalt und Kalkhydratgehalt (KH3)

Durch Zugabe von Bentonit erhöht sich die Quellung der Asphalte ohne Zusatz von Kalkhydrat überproportional. Dennoch ist die Quellung eher verhalten; erfahrungsgemäß zerfallen die Probekörper bei einer Zugabemenge von 3 % Bentonit. Ursache hierfür könnte die größere Bindemittelfilmdicke sein, die den Zugang des Wassers zum Mineralstoff erschwert. Die dickeren Bindemittelfilme wurden durch den größeren Bindemittelbedarf des Mineralstoffgemisches (insbesondere des Füllers und des Fein- und Mittelsandes) verursacht.

Der Zusatz von 1 % Kalkhydrat reduziert diese Quellung um etwa 50 %. Unterschiede in der Wirkung der zwei verwendeten Kalkhydrate Nr. 1 und Nr. 3 sind nicht erkennbar. Dies gilt sinngemäß auch für einen Bentonitgehalt von 1 %.

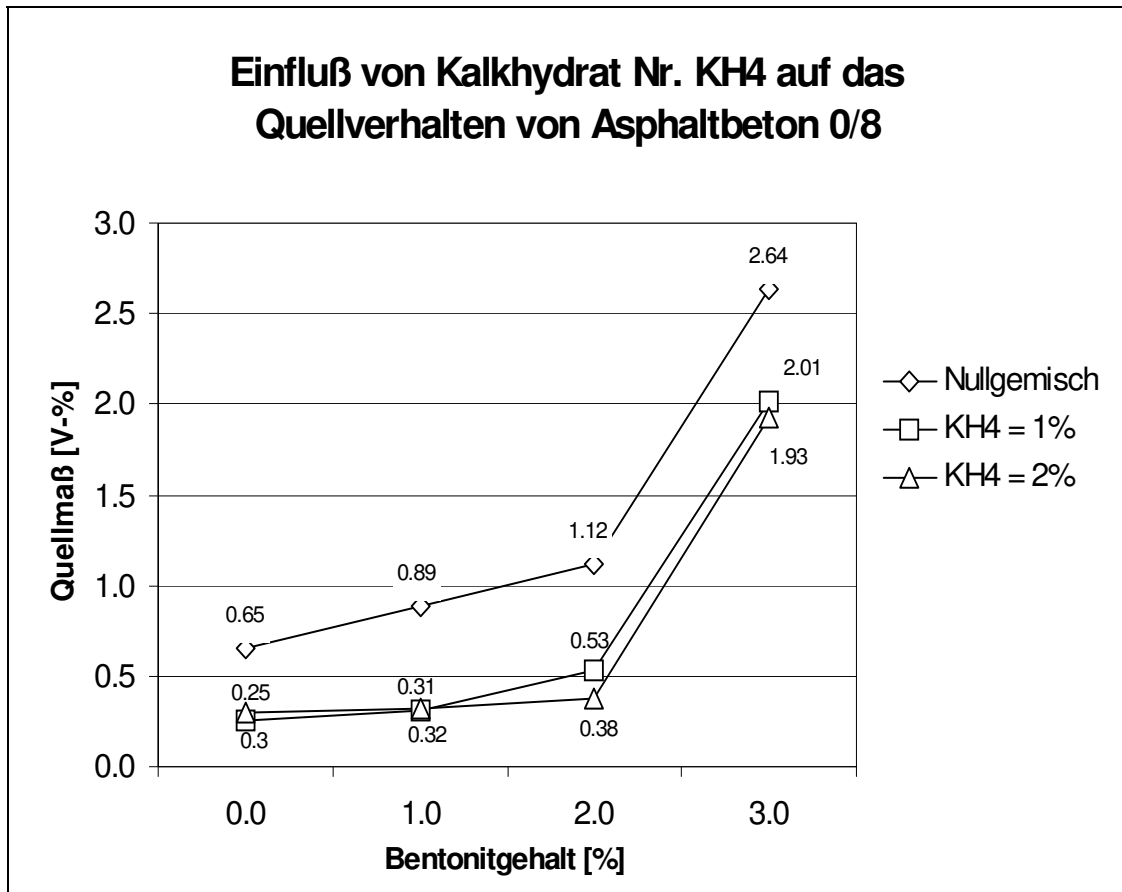


Abbildung 9: Ergebnisse von Quellungsprüfungen an Asphaltbeton 0/8 bei systematischer Variation von Bentonitgehalt und Kalkhydratgehalt (KH4)

Der mit 2 % KH4 und 3 % Bentonit hergestellte Asphalt weist ein vergleichbar hohes Quellmaß zu der Asphaltvariante auf, die mit 1 % Kalkhydrat KH4 und 3 % Bentonit zusammengesetzt wurde. Dies könnte mit dem vergleichsweise geringen Gehalt an CaO des Kalkhydrates KH4 erklärt werden.

Die Ergebnisse machen deutlich: Durch die Zugabe von Kalkhydrat kann die Quellung von Asphalt wirksam verringert werden.

4.2 Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Asphalt (Untersuchungsstufe 2)

In einer zweiten Stufe wurde die Wirkung von Kalkhydrat auf die Haftfestigkeit (Adhäsion) von wasser- und trockengelagerten Asphaltbetonen mit systematisch variiertem Kalkhydrat- und Bentonitgehalt, sonst jedoch gleicher Zusammensetzung und vergleichbarem Dichteniveau mit Hilfe von Zugversuchen angesprochen. Als Kenngröße diente der Zugfestigkeitsverlust

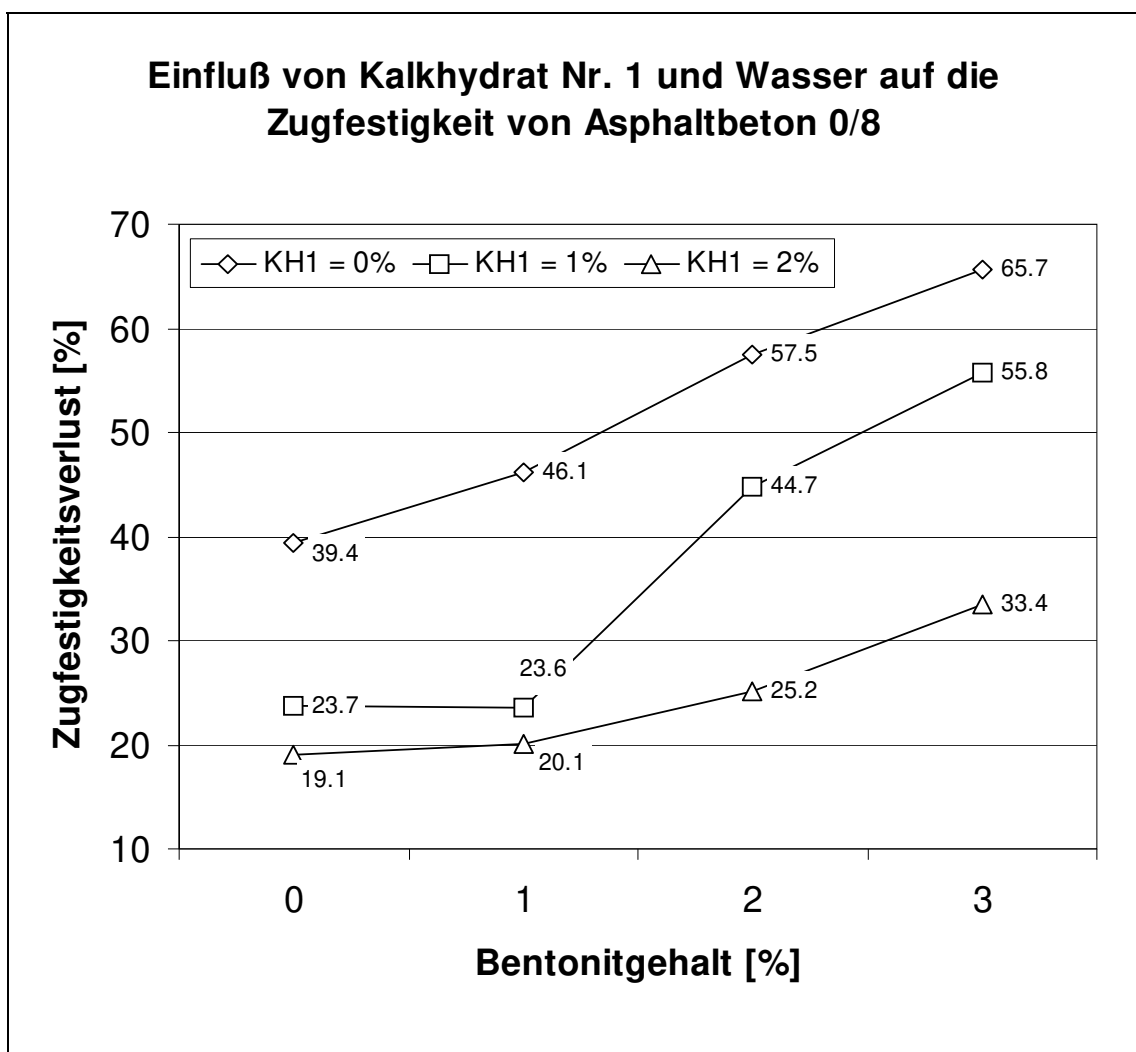


Abbildung 10: Ergebnisse von Zugversuchen an wassergelagerten und trocken gelagerten Proben von hinsichtlich Bentonit- und Kalkhydratgehalt systematisch variiertes, sonst gleich zusammengesetzter Asphaltbetone 0/8

Zugfestigkeitsverlust in Abhängigkeit vom Bentonit- und Kalkhydratgehalt

zwischen wassergelagerten und trocken gelagerten Proben der jeweils zugehörigen Variationsstufe. Durch die Zugabe von 2 % Kalkhydrat konnte der Zugfestigkeitsverlust des untersuchten Asphaltbetons für die jeweilige Variationsstufe des Quellmittels Bentonit um rund 50 % reduziert werden.

4.3 Einfluß von Kalkhydrat auf die Alterung von bituminösem Mörtel (Untersuchungsstufe 3)

In einer dritten Stufe wurde die in amerikanischen Literaturquellen angesprochene alterungshemmende Wirkung von Kalkhydrat auf Bitumen experimentell untersucht. Hierzu wurden Gemische aus Bitumen und Basalt-Füller mit variierten Zugabemengen an Kalkhydrat einer thermischen Alterung mit verschiedenen Expositionsdauern unterzogen. Als Kenngröße zur Bewertung der alterungshemmenden Wirkung von Kalkhydrat auf Bitumen diente die relative Änderung der Zugviskosität, ermittelt über Zugretardationsversuche am bituminösen Mörtel bei verschiedenen Temperaturen. Eine alterungshemmende Wirkung ist unter den im Rahmen des Forschungsvorhabens gewählten experimentellen Randbedingungen nachweisbar.

Die Viskosität wird in starkem Maße von der Alterungsdauer beeinflusst. Sie erhöht sich bei einer Verdoppelung der Alterungsdauer überproportional. Bei Zugabe von 8 % Kalkhydrat (bezogen auf den bituminösen Mörtel) ist die Zunahme der Mörtelviskosität in Abhängigkeit von der Alterungsdauer dennoch signifikant kleiner als bei der Nullmischung ohne Kalkhydrat.

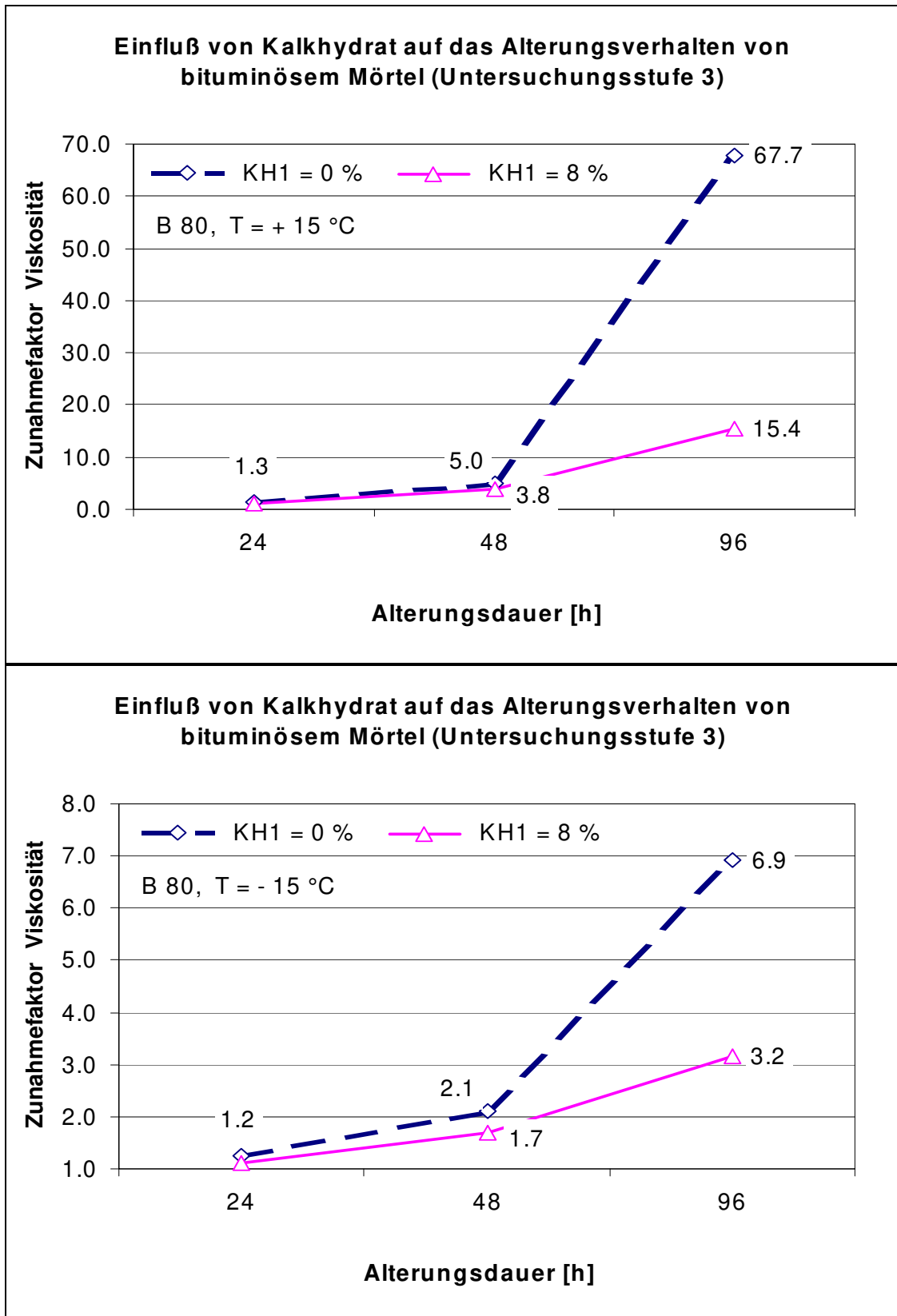


Abbildung 11: Relative Änderung der Mörtelviskosität in Abhängigkeit von der Alterungsdauer, ermittelt bei den Temperaturen $T = +15\text{ °C}$ und $T = -15\text{ °C}$ an bituminösem Mörtel aus Basaltfüller und Normenbitumen der Sorte B 80 ohne und mit 8 M-% Kalkhydrat

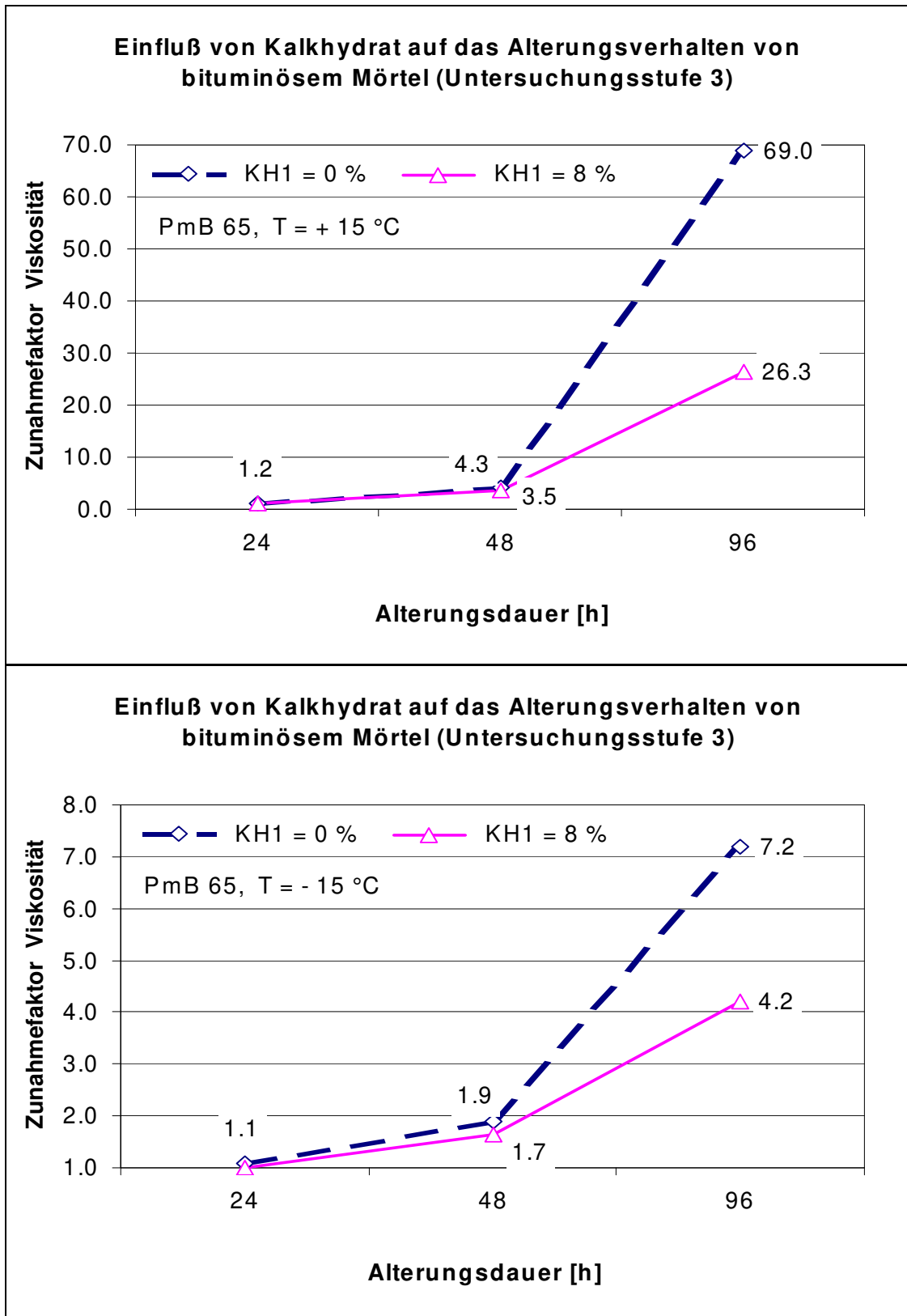


Abbildung 12: Relative Änderung der Mörtelviskosität in Abhängigkeit von der Alterungsdauer, ermittelt bei den Temperaturen $T = +15$ °C und $T = -15$ °C an bituminösem Mörtel aus Basaltfüller und polymermodifiziertem Bitumen der Sorte PmB 65 ohne und mit 8 M-% Kalkhydrat

4.4 Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Splittmastix- und Drainasphalt (Untersuchungsstufe 4)

Die Untersuchungen der Stufen 1 und 2 beschränkten sich zunächst auf Asphaltbeton. Deshalb wurde in einer vierten Stufe die Wirkung von Kalkhydrat auf das Quell-/Haftverhalten von Splittmastixasphalt und Drainasphalt, also splitt- und mörtelreicheren beziehungsweise hohlraumreicheren Asphaltvarianten, untersucht. Ausgehend von den Ergebnissen aus Stufe 2 wurden Splittmastixasphalte und Drainasphalte unter Verwendung von kalkfreien (Basalt) und kalkreichen (Moräne) Mineralstoffen sowie einem Normenbitumen der Sorte B 65 und einem polymermodifizierten Bitumen der Sorte PmB 65, mit und ohne Zusatz von 3 % Bentonit und 2 % Kalkhydrat hergestellt. Als Kenngröße zur Bewertung der Wirkung des Kalkhydrates auf die Haftfestigkeit diente der Zugfestigkeitsverlust zwischen wassergelagerten und trocken gelagerten Proben.

Mit im Vergleich zu den Nullgemischen um etwa 1 % bis 4 % unwesentlich größeren Zugfestigkeitsverlusten sind die mit 2 % Kalkhydrat und 3 % Bentonit hergestellten Splittmastixasphalte als gleichwertig zu betrachten, das heißt, die haftverbessernde Wirkung des Kalkhydrates bei Einsatz von Mineralstoffen mit quellfähigen Verunreinigungen ist nachgewiesen. Dieser Nachweis gelang bei dem hohlraumreichen Drainasphalt nicht. Dieser Asphalttyp reagiert wesentlich empfindlicher auf die relativ hoch gewählte Dosierung des Bentonits.

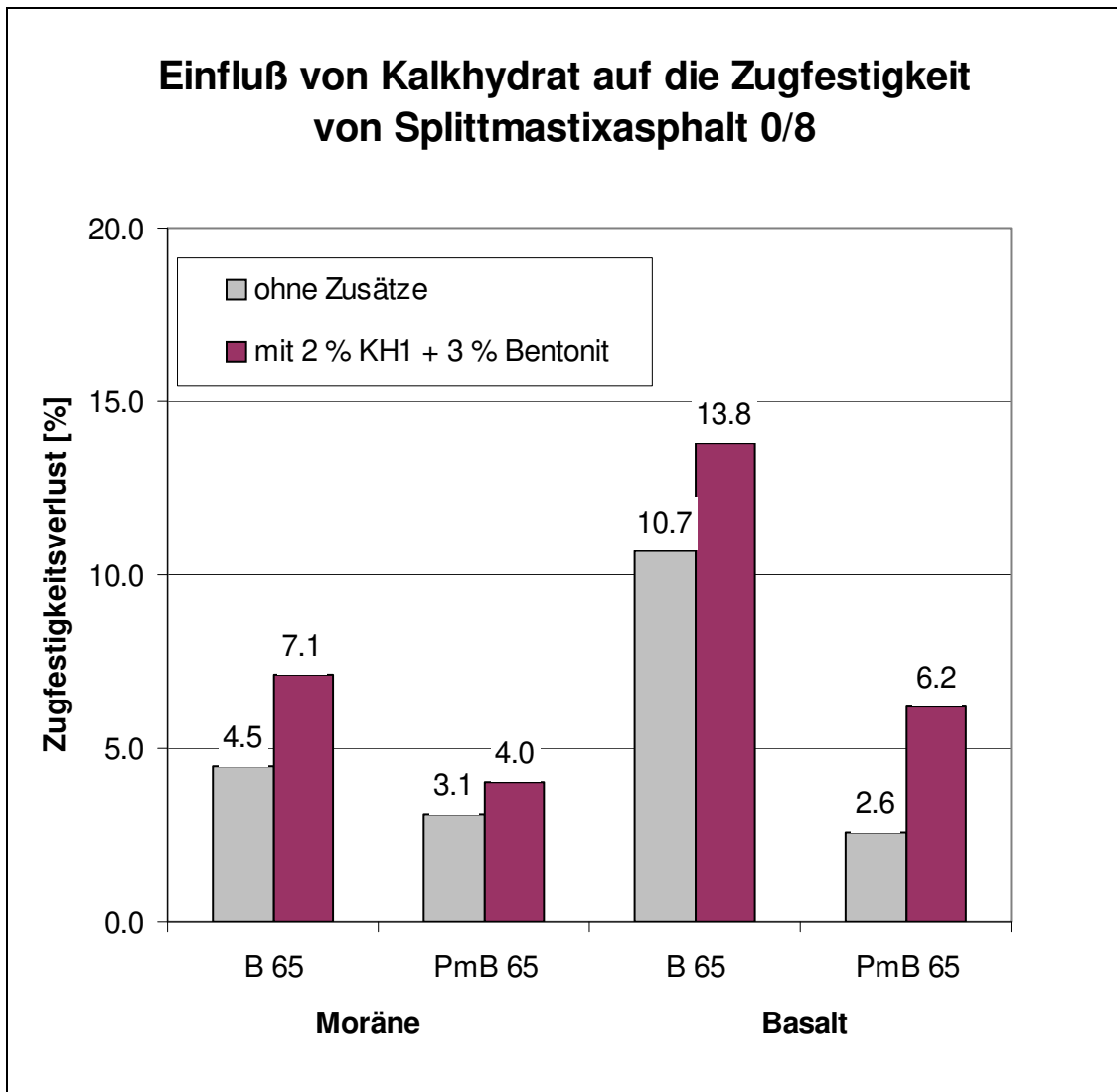


Abbildung 13: Ergebnisse von Zugversuchen (Zugfestigkeitsverlust nach Wasserlagerung), an Splittmastixasphalt 0/8 mit und ohne Zusatz an Kalkhydrat und Bentonit bei Variation von Bindemittelart und Mineralstoffart.

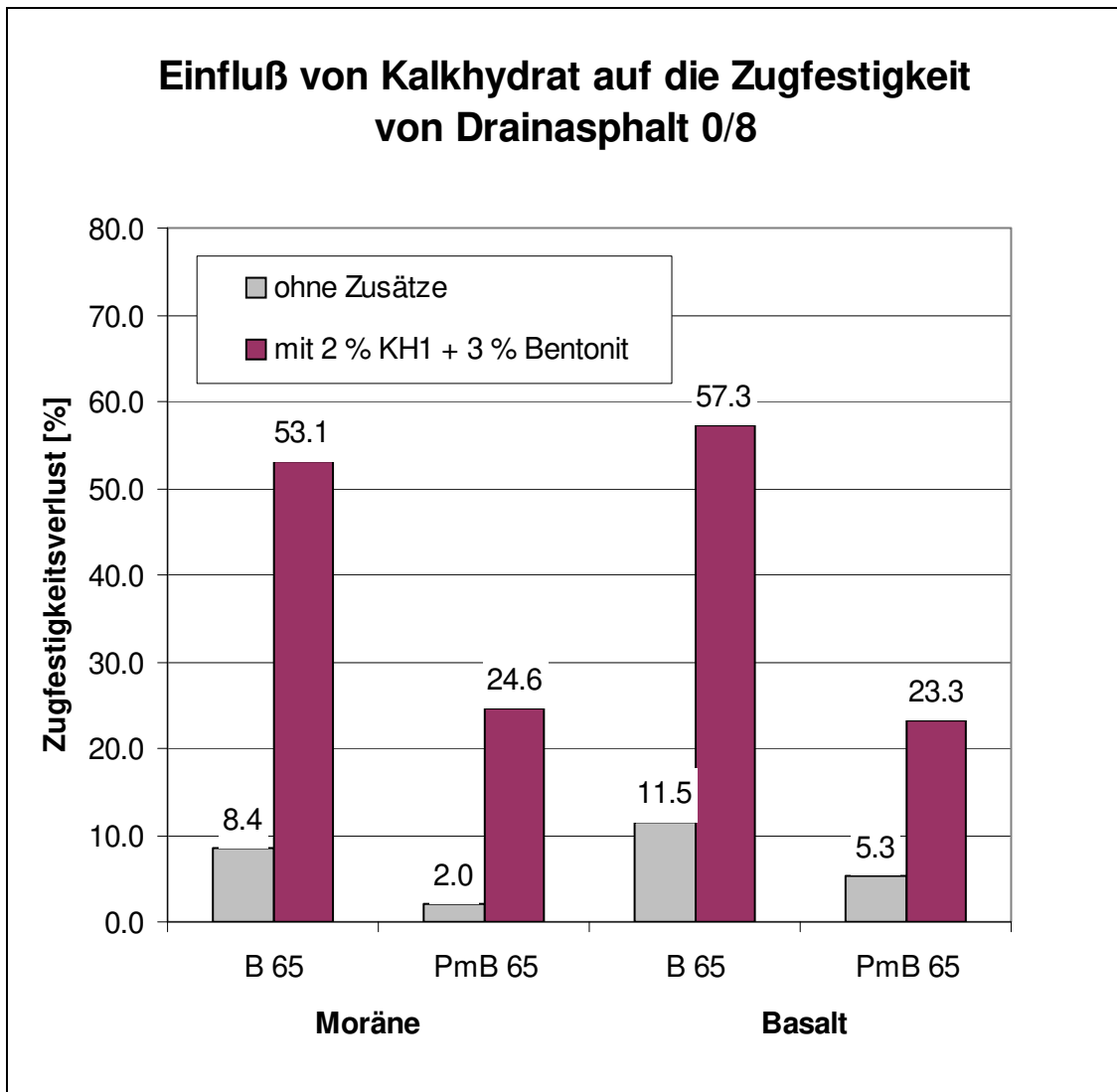


Abbildung 14: Ergebnisse von Zugversuchen (Zugfestigkeitsverlust nach Wasserlagerung), an Drainasphalt 0/8 mit und ohne Zusatz an Kalkhydrat und Bentonit bei Variation von Bindemittelart und Mineralstoffart.

4.5 Anwendung und wirtschaftliche Bedeutung

Durch Zugabe von Kalkhydrat kann eine signifikante Verbesserung der Haftung zwischen Mineralstoff und Bindemittel sowie eine Verbesserung der Alterungsbeständigkeit des bituminösen Mörtels und damit eine Qualitätserhöhung des Straßenbaustoffs Asphalt, insbesondere für hochbelastete Asphaltbefestigungen erreicht werden.

Durch den Einsatz von Kalkhydrat können auch regional vorhandene, natürlich vorkommende oder als industrielles Nebenprodukt anfallende Mineralstoffe, die aufgrund ihrer Chemie zu Affinitätsproblemen mit den im Straßenbau verwendeten Bindemitteln neigen beziehungsweise bestimmte Mengen an quellfähigen Bestandteilen aufweisen, problemloser, kostengünstiger und umweltschonender für die Asphaltherstellung verwendet werden.

Rottweil, den 25.08.1998

INSTITUT FÜR MATERIALPRÜFUNG
DR. SCHELLENBERG GbR
ROTTWEIL

Sachbearbeiter

Prof. Dr.-Ing. K. Schellenberg

Dr.-Ing. Eulitz

5 Literatur

- [1] Schellenberg, K: Quellung von Sanden in bituminösen Massen. Schlußbericht zum Forschungsauftrag I, 112, Rottweil 1974.

- [2] Rudert, V.;Ritter, H.-J.: Mineralische und petrochemische Kriterien zur Beurteilung von Gesteinsmehlen für den bituminösen Straßenbau und verwandte Gebiete. Forschungsbericht Nr. 2/83 der Forschungsgemeinschaft der Deutschen Kalkindustrie e. V., Köln.

- [3] Epps, J. A.: LIME IN HOT MIX ASPHALT: DESIGN, PROPERTIES AND PERFORMANCE. Arbeitspapier zum 8. Internationalen Kalkkongress am 29. und 30. Juni 1994 in Berlin.

- [4] Petersen, J. C.: Überprüfung der Wirkungsweise des Kalkes zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Asphaltfahrbahndecken. Deutsche Fassung des Vortrags auf der 84. Jahrestagung der National Lime Association am 9. Mai 1986 in Hot Springs, Virginia, USA.

- [5] Shatnawi, S.; Nagarajaiah, M.; Harvey, J.: Moisture Sensitivity Evaluation of Binder-Aggregate Mixtures. Transportation Research Record 1492.

- [6] Hanson, D. I.; Graves, R. E.; Brown, E. R.: Laboratory Evaluation of the Addition of Lime Treated Sand to Hot-Mix Asphalt. Transportation Research Record 1469.

- [7] Epps, J. A.: LIME IN HOT MIX ASPHALT: DESIGN, PROPERTIES AND PERFORMANCE. Vortrag, gehalten auf dem Internationalen Kalkkongress, 29./30. Juni 1994, Berlin.

- [8] Peterson, J. C.; Plancher, H.; Harnsberger, P. M.: LIME TREATMENT OF ASPHALT TO REDUCE AGE HARDENING AND IMPROVE FLOWPROPERTIES. Asphalt Paving Technology 1987 - Proceedings of Association of Asphalt Paving Technologists, Reno, Nevada, Feb. 23-25, 1987, Volume 56.
- [9] Luxemburk, F. et al.: The Experience with the Use of Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt in Czech Republic. Vortrag, gehalten von T. Onderka anlässlich einer Veranstaltung der Lhoist-Gruppe in Düsseldorf am 22. bis 24.06.1998
- [10] Verhasselt, A.: The effects of Hydrated Lime on the Behaviour and Construction Ageing of Mastics. Vortrag, gehalten anlässlich einer Veranstaltung der Lhoist-Gruppe in Düsseldorf am 22. bis 24.06.1998
- [11] Vanelstraete, A.: Effects of Hydrated Lime on the Rheological Properties of Mastics before and after Ageing. Vortrag, gehalten anlässlich einer Veranstaltung der Lhoist-Gruppe in Düsseldorf am 22. bis 24.06.1998
- [12] Louis, H.-P.: Einfluß von Weißfeinkalk-Hydrat auf das Haftverhalten von Bitumen an quarzitäen Mineralstoffen. Vortrag, gehalten anlässlich einer Veranstaltung der Lhoist-Gruppe in Düsseldorf am 22. bis 24.06.1998
- [13] Little, D. et al.: Effect of Hydrated Lime on the Rheology, Fracture and Ageing of Bitumen and Asphalt Mixtures. Vortrag, gehalten anlässlich einer Veranstaltung der Lhoist-Gruppe in Düsseldorf am 22. bis 24.06.1998

Anhang

Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Asphalt (Untersuchungsstufe 2)

Zusammensetzung und Eigenschaften der Asphalte

Einfluß von Kalkhydrat auf das Alterungsverhalten von bituminösem Mörtel (Untersuchungsstufe 3)

Ergebnisse

Untersuchung der Wirkung von Kalkhydrat auf das Quell-/Haft- verhaltenverhalten von Splittmastixasphalt und Drainasphalt (Untersuchungsstufe 4)

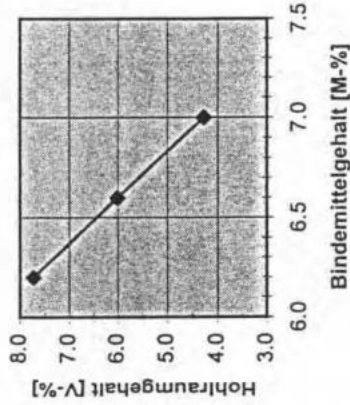
Zusammensetzung und Eigenschaften der Asphalte

**Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Asphalt
(Untersuchungsstufe 2)**

Zusammensetzung und Eigenschaften der Asphalte

Stufe 2: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Asphalt (Nullgemisch)

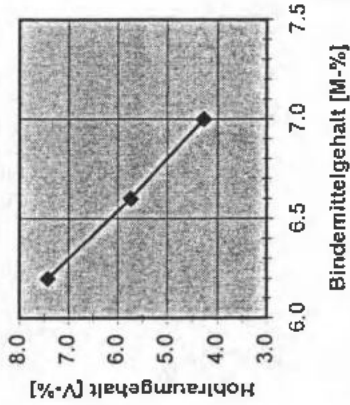
Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte
27.5	Basalt-Edelsplitt 5/8	1375	2.948
22.0	Basalt-Edelsplitt 2/5	1100	2.946
46.0	Basalt-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	2300	2.945
0.0	Kalkhydrat Nr.1		2.720
0.0	Bentonit		2.650
4.5	Basalt-Füller	225	2.941
100.0		5000	2.946



Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r _{bit}	Roha	Hbit
1-1	6.2	6.61	B 80	1.030	2.641	2.437	7.7
1-2	6.6	7.07	B 80	1.030	2.624	2.466	6.0
1-3	7.0	7.53	B 80	1.030	2.606	2.495	4.3

Stufe 2: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Asphalt (Gemisch 12)

Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Röhdichte
27.5	Basalt-Edelsplitt 5/8	1375	2.948
22.0	Basalt-Edelsplitt 2/5	1100	2.946
45.5	Basalt-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	2275	2.945
2.0	Kalkhydrat Nr. 1	100	2.720
3.0	Bentonit	150	2.650
	Basalt-Füller		2.941
100.0		5000	2.931



Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh.B.	Rohd r/bit	Roha	Hbit
1-1	6.2	6.61	B 80	330	1.030	2.435	7.4
1-2	6.6	7.07	B 80	353	1.030	2.463	6.7
1-3	7.0	7.53	B 80	376	1.030	2.485	4.1

**Einfluß von Kalkhydrat auf das Alterungsverhalten von bituminösem
Mörtel (Untersuchungsstufe 3)**

Ergebnisse

FA A1F, Stufe 3, Einfluß von Kalkhydrat auf die Alterung von Bindemittel (B 80)							
Zugviskosität in Abhängigkeit von der Alterungsdauer und dem Kalkhydratgehalt							
Temperatur [°C]	KAH-Anteil [%]	Alterungsdauer [h]	Wert1 Ns/[mm²]	Wert2 Ns/[mm²]	Wert3 Ns/[mm²]	Mittel Ns/[mm²]	Standardabweichung Ns/[mm²]
15	0	0	2,061E+01	2,142E+01	2,229E+01	2,144E+01	8,402E-01
15	0	24	2,684E+01	2,762E+01	2,721E+01	2,722E+01	3,902E-01
15	0	48	1,036E+02	1,072E+02	1,111E+02	1,073E+02	3,751E+00
15	0	96	1,455E+03	1,454E+03	1,445E+03	1,451E+03	5,508E+00
15	4	0	2,323E+01	2,428E+01	2,543E+01	2,431E+01	1,100E+00
15	4	24	3,084E+01	3,333E+01	3,206E+01	3,208E+01	1,245E+00
15	4	48	1,173E+02	1,180E+02	1,187E+02	1,180E+02	7,000E-01
15	8	0	2,521E+01	2,475E+01	2,431E+01	2,476E+01	4,500E-01
15	8	24	3,116E+01	3,042E+01	3,078E+01	3,079E+01	3,700E-01
15	8	48	9,527E+01	9,336E+01	9,152E+01	9,338E+01	1,875E+00
15	8	96	3,904E+02	3,867E+02	3,663E+02	3,811E+02	1,298E+01
5	0	0	5,351E+02	5,408E+02	5,387E+02	5,382E+02	2,883E+00
5	0	24	6,794E+02	6,810E+02	6,768E+02	6,791E+02	2,120E+00
5	0	48	1,985E+03	1,974E+03	1,995E+03	1,985E+03	1,050E+01
5	4	0	5,864E+02	5,789E+02	5,952E+02	5,868E+02	8,159E+00
5	4	24	7,634E+02	7,589E+02	7,642E+02	7,622E+02	2,857E+00
5	4	48	2,169E+03	2,174E+03	2,168E+03	2,170E+03	3,215E+00
5	8	0	6,132E+02	6,204E+02	6,142E+02	6,159E+02	3,900E+00
5	8	24	7,530E+02	7,496E+02	7,541E+02	7,522E+02	2,346E+00
5	8	48	1,794E+03	1,803E+03	1,789E+03	1,795E+03	7,095E+00
-5	0	0	1,278E+04	1,249E+04	1,264E+04	1,264E+04	1,450E+02
-5	0	24	1,618E+04	1,625E+04	1,632E+04	1,625E+04	7,000E+01
-5	0	48	3,406E+04	3,413E+04	3,410E+04	3,410E+04	3,512E+01
-5	4	0	1,376E+04	1,309E+04	1,248E+04	1,311E+04	6,402E+02
-5	4	24	1,741E+04	1,705E+04	1,723E+04	1,723E+04	1,800E+02
-5	4	48	3,644E+04	3,647E+04	3,650E+04	3,647E+04	3,000E+01
-5	8	0	1,415E+04	1,400E+04	1,385E+04	1,400E+04	1,500E+02
-5	8	24	1,766E+04	1,782E+04	1,774E+04	1,774E+04	8,000E+01
-5	8	48	3,302E+04	3,239E+04	3,178E+04	3,240E+04	6,200E+02
-15	0	0	3,695E+05	3,731E+05	3,769E+05	3,732E+05	3,700E+03
-15	0	24	4,601E+05	4,644E+05	4,622E+05	4,622E+05	2,150E+03
-15	0	48	7,463E+05	7,874E+05	8,333E+05	7,890E+05	4,352E+04
-15	0	96	2,632E+06	2,542E+06	2,587E+06	2,587E+06	4,500E+04
-15	4	0	3,937E+05	3,989E+05	3,963E+05	3,963E+05	2,600E+03
-15	4	24	4,762E+05	4,800E+05	4,839E+05	4,800E+05	3,850E+03
-15	4	48	8,876E+05	8,571E+05	8,721E+05	8,723E+05	1,525E+04
-15	8	0	4,348E+05	4,518E+05	4,431E+05	4,432E+05	8,501E+03
-15	8	24	5,119E+05	4,846E+05	4,601E+05	4,855E+05	2,591E+04
-15	8	48	7,653E+05	7,389E+05	7,519E+05	7,520E+05	1,320E+04
-15	8	96	1,429E+06	1,405E+06	1,376E+06	1,403E+06	2,654E+04

Viskosität, ermittelt bei verschiedenen Temperaturen an bituminösem Mörtel aus Basaltfüller und Bitumen 80 bei Variation der Zugabemenge von Kalkhydrat in Abhängigkeit von der Alterungsdauer

FA AIF, Stufe 3, Einfluß von Kalkhydrat auf die Alterung von Bindemittel (PmB 65)
Zugviskosität in Abhängigkeit von der Alterungsdauer und dem Kalkhydratgehalt

Temperatur [°C]	KAH-Anteil [%]	Alterungsdauer [h]	Wert1 Ns/[mm²]	Wert2 Ns/[mm²]	Wert3 Ns/[mm²]	Mittel Ns/[mm²]	Standardabweichung Ns/[mm²]
15	0	0	5,721E+01	5,817E+01	5,768E+01	5,769E+01	4,800E-01
15	0	24	6,807E+01	6,746E+01	6,863E+01	6,805E+01	5,852E-01
15	0	48	2,525E+02	2,451E+02	2,381E+02	2,452E+02	7,201E+00
15	0	96	3,741E+03	3,987E+03	4,208E+03	3,979E+03	2,336E+02
15	4	0	6,532E+01	5,692E+01	6,083E+01	6,102E+01	4,203E+00
15	4	24	7,644E+01	7,488E+01	7,337E+01	7,490E+01	1,535E+00
15	4	48	2,811E+02	2,592E+02	2,697E+02	2,700E+02	1,095E+01
15	8	0	6,379E+01	6,161E+01	5,958E+01	6,166E+01	2,105E+00
15	8	24	7,478E+01	7,336E+01	7,406E+01	7,407E+01	7,100E-01
15	8	48	2,097E+02	2,156E+02	2,218E+02	2,157E+02	6,051E+00
15	8	96	1,573E+03	1,624E+03	1,667E+03	1,621E+03	4,706E+01
5	0	0	9,785E+02	9,774E+02	9,801E+02	9,787E+02	1,358E+00
5	0	24	1,117E+03	1,120E+03	1,109E+03	1,115E+03	5,686E+00
5	0	48	3,258E+03	3,342E+03	3,198E+03	3,266E+03	7,233E+01
5	4	0	1,107E+03	1,124E+03	1,097E+03	1,109E+03	1,365E+01
5	4	24	1,301E+03	1,296E+03	1,291E+03	1,296E+03	5,000E+00
5	4	48	3,447E+03	3,510E+03	3,467E+03	3,475E+03	3,219E+01
5	8	0	1,120E+03	1,111E+03	1,089E+03	1,107E+03	1,595E+01
5	8	24	1,260E+03	1,249E+03	1,301E+03	1,270E+03	2,740E+01
5	8	48	2,935E+03	2,965E+03	2,912E+03	2,937E+03	2,658E+01
-5	0	0	1,432E+04	1,480E+04	1,531E+04	1,481E+04	4,951E+02
-5	0	24	1,520E+04	1,726E+04	1,617E+04	1,621E+04	1,031E+03
-5	0	48	4,180E+04	4,017E+04	3,867E+04	4,021E+04	1,565E+03
-5	4	0	1,913E+04	1,897E+04	1,929E+04	1,913E+04	1,600E+02
-5	4	24	2,143E+04	2,068E+04	2,105E+04	2,105E+04	3,750E+02
-5	4	48	4,145E+04	3,972E+04	4,057E+04	4,058E+04	8,650E+02
-5	8	0	1,926E+04	1,905E+04	1,915E+04	1,915E+04	1,050E+02
-5	8	24	2,127E+04	2,056E+04	1,990E+04	2,058E+04	6,852E+02
-5	8	48	3,639E+04	3,648E+04	3,657E+04	3,648E+04	9,000E+01
-15	0	0	3,513E+05	3,584E+05	3,548E+05	3,548E+05	3,550E+03
-15	0	24	3,957E+05	3,857E+05	3,762E+05	3,859E+05	9,751E+03
-15	0	48	6,849E+05	6,682E+05	6,522E+05	6,684E+05	1,635E+04
-15	0	96	2,536E+06	2,679E+06	2,419E+06	2,546E+06	1,318E+05
-15	4	0	3,947E+05	4,038E+05	4,132E+05	4,039E+05	9,250E+03
-15	4	24	4,348E+05	4,363E+05	4,355E+05	4,355E+05	7,506E+02
-15	4	48	6,608E+05	6,622E+05	6,637E+05	6,622E+05	1,450E+03
-15	8	0	3,927E+05	3,963E+05	4,000E+05	3,963E+05	3,650E+03
-15	8	24	3,937E+05	3,932E+05	3,927E+05	3,932E+05	5,000E+02
-15	8	48	6,726E+05	6,329E+05	6,522E+05	6,526E+05	1,985E+04
-15	8	96	1,744E+06	1,689E+06	1,579E+06	1,671E+06	8,401E+04

Viskosität, ermittelt bei verschiedenen Temperaturen an bituminösem Mörtel aus Basaltfüller und polymermodifiziertem Bitumen 65 bei Variation der Zugabemenge von Kalkhydrat in Abhängigkeit von der Alterungsdauer

Ergebnisse von Zugretardationsversuchen an bituminösem Mörtel aus Basalt-Füller und Bitumen 80 bzw. PmB 65

KH- Anteil [M-%]	Alte- rungs- dauer [h]	Bitumen B 80			polymermodifiziertes Bitumen PmB 65		
		Parameter		Bestimmt- heitsmaß	Parameter		Bestimmt- heitsmaß
		a	b	B [%]	a	b	B [%]
0	0	-0,1409	3,4340	99,98	-0,1255	3,6181	99,89
	24	-0,1407	3,5356	99,99	-0,1242	3,6691	99,87
	48	-0,1283	3,9395	99,96	-0,1140	4,0832	99,94
	96	-0,1084	4,7872	---	-0,0935	5,0028	---
8	0	-0,1412	3,4940	99,96	-0,1266	3,6786	99,98
	24	-0,1397	3,5750	99,99	-0,1238	3,7204	99,99
	48	-0,1297	3,9028	99,97	-0,1154	4,0446	99,92
	96	-0,1189	4,3640	---	-0,1004	4,7164	---

$\text{Log}(\lambda_z) = a \cdot T + b$ mit:

λ_z = Zugviskosität [N * s / mm²]

a: = Temperaturempfindlichkeit der Viskosität

T = Temperatur

b = Viskositätsniveau

Viskositätsniveau und Temperaturempfindlichkeit der Viskosität in Abhängigkeit von der Alterungsdauer, ermittelt für den Temperaturbereich von -15 °C bis +15 °C an Mörtel, hergestellt aus Basalt-Füller und Bitumen 80 bzw. polymermodifiziertem Bitumen PmB 65 ohne und mit 8 M-% Kalkhydrat Nr. KH1

FA AIF, Stufe 3, Einfluß von Kalkhydrat auf die Alterung von Bindemittel (B 80)
 Zugviskosität in Abhängigkeit von der Alterungsdauer und dem Kalkhydratgehalt

T = 15 °C		0	24	48	96
0		2.144E+01	2.722E+01	1.073E+02	1.45E+03
4		2.431E+01	3.208E+01	1.180E+02	
8		2.476E+01	3.079E+01	9.338E+01	3.81E+02
		1.00	1.27	5.00	67.68
		1.13	1.50	5.50	
		1.15	1.44	4.36	17.78
0		1.00	1.27	5.00	67.68
4		1.00	1.32	4.85	
8		1.00	1.24	3.77	15.39
T = 5 °C		0	24	48	96
0		5.382E+02	6.791E+02	1.985E+03	
4		5.868E+02	7.622E+02	2.170E+03	
8		6.159E+02	7.522E+02	1.795E+03	
		1.00	1.26	3.69	
		1.09	1.42	4.03	
		1.14	1.40	3.34	
0		1.00	1.26	3.69	
4		1.00	1.30	3.70	
8		1.00	1.22	2.91	
T = -5 °C		0	24	48	96
0		1.264E+04	1.625E+04	3.410E+04	
4		1.311E+04	1.723E+04	3.647E+04	
8		1.400E+04	1.774E+04	3.240E+04	
		1.00	1.29	2.70	
		1.04	1.36	2.89	
		1.11	1.40	2.56	
0		1.00	1.29	2.70	
4		1.00	1.31	2.78	
8		1.00	1.27	2.31	
T = -15 °C		0	24	48	96
0		3.732E+05	4.622E+05	7.890E+05	2.59E+06
4		3.963E+05	4.800E+05	8.723E+05	
8		4.432E+05	4.855E+05	7.520E+05	1.40E+06
		1.00	1.24	2.11	6.93
		1.06	1.29	2.34	
		1.19	1.30	2.02	3.76
0		1.00	1.24	2.11	6.93
4		1.00	1.21	2.20	
8		1.00	1.10	1.70	3.17

FA AIF, Stufe 3, Einfluß von Kalkhydrat auf die Alterung von Bindemittel (PmB 65)
 Zugviskosität in Abhängigkeit von der Alterungsdauer und dem Kalkhydratgehalt

T = 15 °C		0	24	48	96
0	5.769E+01	6.805E+01	2.452E+02	3.98E+03	
4	6.102E+01	7.490E+01	2.700E+02		
8	6.166E+01	7.407E+01	2.157E+02	1.62E+03	
	1.00	1.18	4.25	68.98	
	1.06	1.30	4.68		
	1.07	1.28	3.74	28.10	
0	1.00	1.18	4.25	68.98	
4	1.00	1.23	4.42		
8	1.00	1.20	3.50	26.29	
T = 5 °C					
0	9.787E+02	1.115E+03	3.266E+03		
4	1.109E+03	1.296E+03	3.475E+03		
8	1.107E+03	1.270E+03	2.937E+03		
	1.00	1.14	3.34		
	1.13	1.32	3.55		
	1.13	1.30	3.00		
0	1.00	1.14	3.34		
4	1.00	1.17	3.13		
8	1.00	1.15	2.65		
T = -5 °C					
0	1.481E+04	1.621E+04	4.021E+04		
4	1.913E+04	2.105E+04	4.058E+04		
8	1.915E+04	2.058E+04	3.648E+04		
	1.00	1.09	2.72		
	1.29	1.42	2.74		
	1.29	1.39	2.46		
0	1.00	1.09	2.72		
4	1.00	1.10	2.12		
8	1.00	1.07	1.90		
T = -15 °C					
0	3.548E+05	3.859E+05	6.684E+05	2.55E+06	
4	4.039E+05	4.355E+05	6.622E+05		
8	3.963E+05	3.932E+05	6.526E+05	1.67E+06	
	1.00	1.09	1.88	7.18	
	1.14	1.23	1.87		
	1.12	1.11	1.84	4.71	
0	1.00	1.09	1.88	7.18	
4	1.00	1.08	1.64		
8	1.00	0.99	1.65	4.22	

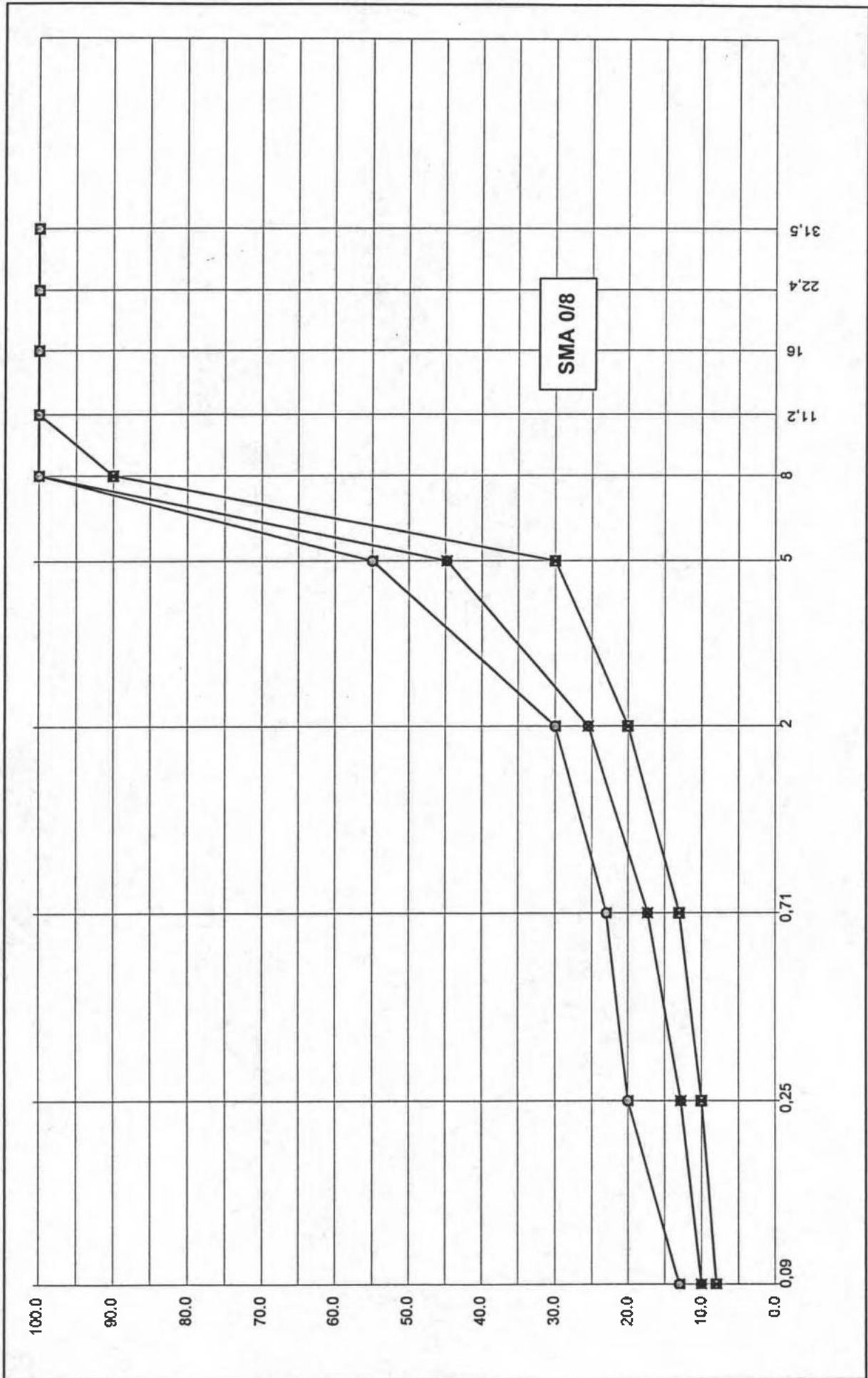
**Untersuchung der Wirkung von Kalkhydrat auf das Quell-/Haft-
verhaltenverhalten von Splittmastixasphalt und Drainasphalt
(Untersuchungsstufe 4)**

Zusammensetzung und Eigenschaften der Asphalte

FA Kalkhydrat, SMA 0/8, Variante Moräne vom 30.01.98

Anteile	9.0	18.0	14.0	59.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
KGV	KS	EBS	2/5	5/8	8/11	11/16	6	7	8	9	10	11	12	13	resultierende KGV einzel	zus.
Mineralstoff	92.2	9.4													10.0	10.0
< 0,09															2.8	12.8
0,09 - 0,25	7.4	11.8													4.5	17.3
0,25 - 0,71	0.4	24.9													8.2	25.5
0,71 - 2,0		44.3	1.2												19.3	44.8
2,0 - 5,0		9.6	98.8	6.5											55.2	100.0
5,0 - 8,0				93.5												
8,0 - 11,2																
11,2 - 16,0																
16,0 - 22,4																
22,4 - 31,5																
Summen	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
Filler																10.0
Sand																15.5
Splitt																74.5

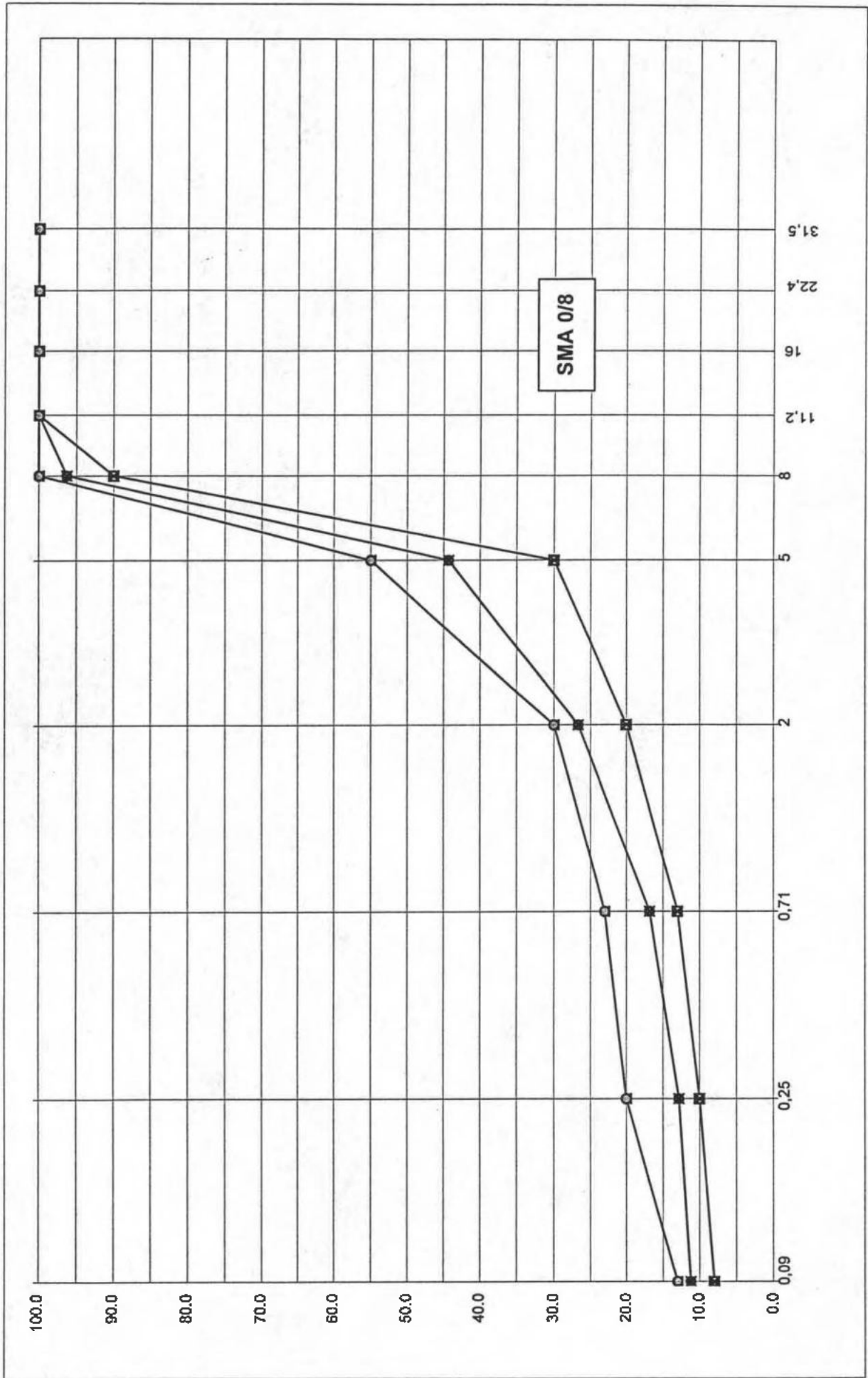
SMA 8 MO Diagramm 1



FA Kalkhydrat, SMA 0/8, Variante Basalt vom 30.01.98

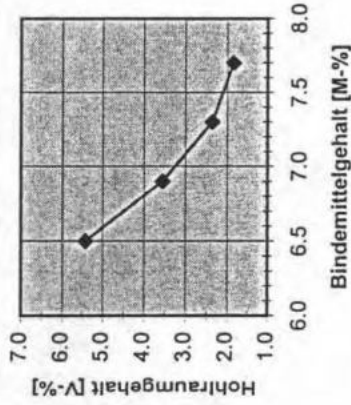
Anteile	9.0	18.0	14.0	59.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13	zus.
KGV	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	11.2
Mineralstoff	BF	EBS	2/5	5/8	8/11	11/16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.2	11.2
< 0,09	100.0	12.3																1.6	12.8
0,09 - 0,25		9.0																4.0	16.8
0,25 - 0,71		21.6	0.6															9.9	26.7
0,71 - 2,0		50.7	4.0	0.3														17.6	44.3
2,0 - 5,0		6.4	93.2	5.7														52.0	96.3
5,0 - 8,0			2.2	87.7														3.7	100.0
8,0 - 11,2				6.3															
11,2 - 16,0																			
16,0 - 22,4																			
22,4 - 31,5																			
Summen	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
Filler																			11.2
Sand																			15.5
Splitt																			73.3

SMA 8 BA Diagramm 1



Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Splittmasixasphalt 0/8 mit Moräne

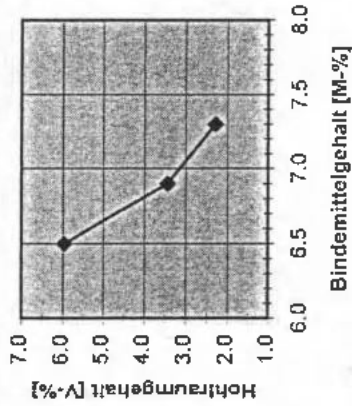
Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte
59.0	Moräne-Edelsplitt 5/8	2950	2.704
14.0	Moräne-Edelsplitt 2/5	700	2.710
18.0	Moräne-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	900	2.694
0.0	Kalkhydrat Nr.1		2.720
0.0	Bentonit		2.650
9.0	Kalksteinmehl (Dotternhausen)	450	2.699
100.0		5000	2.703



Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r,bit	Roha	Hbit
1-1	6.5	6.95	B 65	1.030	2.445	2.312	5.4
1-2	6.9	7.41	B 65	1.030	2.430	2.344	3.6
1-3	7.3	7.87	B 65	1.030	2.416	2.359	2.4

Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Splittmastixasphalt 0/8 mit Moräne

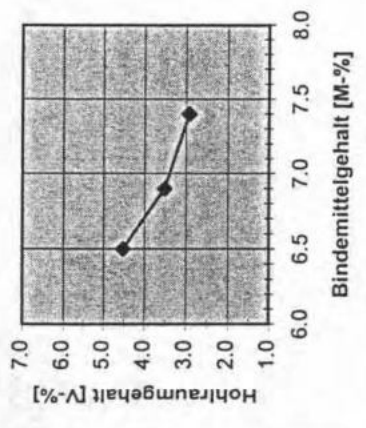
Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte
59.0	Moräne-Edelsplitt 5/8	2950	2.704
14.0	Moräne-Edelsplitt 2/5	1700	2.710
18.0	Moräne-Edeibrechsand 0/2, gewaschen	900	2.694
2.0	Kalkhydrat Nr. 1	100	2.720
3.0	Bentonit	150	2.650
4.0	Kalksteinmehl (Dotterhausen)	200	2.699
100.0		5000	2.701



Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh-B	Rohd r/bit	Roha	Hbit
1-1	6.5	6.95	B 65	1.030	2.444	2.298	6.0
1-2	6.9	7.41	B 65	1.030	2.429	2.346	3.4
1-3	7.3	7.87	B 65	1.030	2.415	2.360	2.3

Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Splittmastixasphalt 0/8 mit Moräne

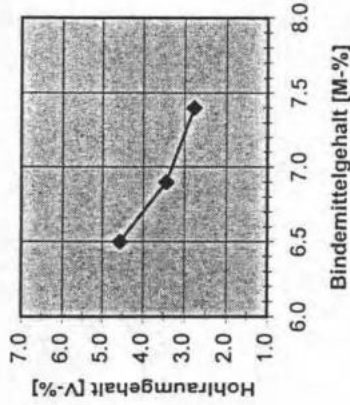
Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte
59.0	Moräne-Edelsplitt 5/8	2950	2.704
14.0	Moräne-Edelsplitt 2/5	700	2.710
18.0	Moräne-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	900	2.694
0.0	Kalkhydrat Nr. 1		2.720
0.0	Bentonit		2.650
9.0	Kalksteinmehl (Dotterhausen)	450	2.699
100.0		5000	2.703



Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r/bit	Roha	Hbit
1-1	6.5	6.95	PmB 65	1.030	2.445	2.334	4.5
1-2	6.9	7.41	PmB 65	1.030	2.430	2.345	3.5
1-3	7.4	7.99	PmB 65	1.030	2.413	2.342	2.9

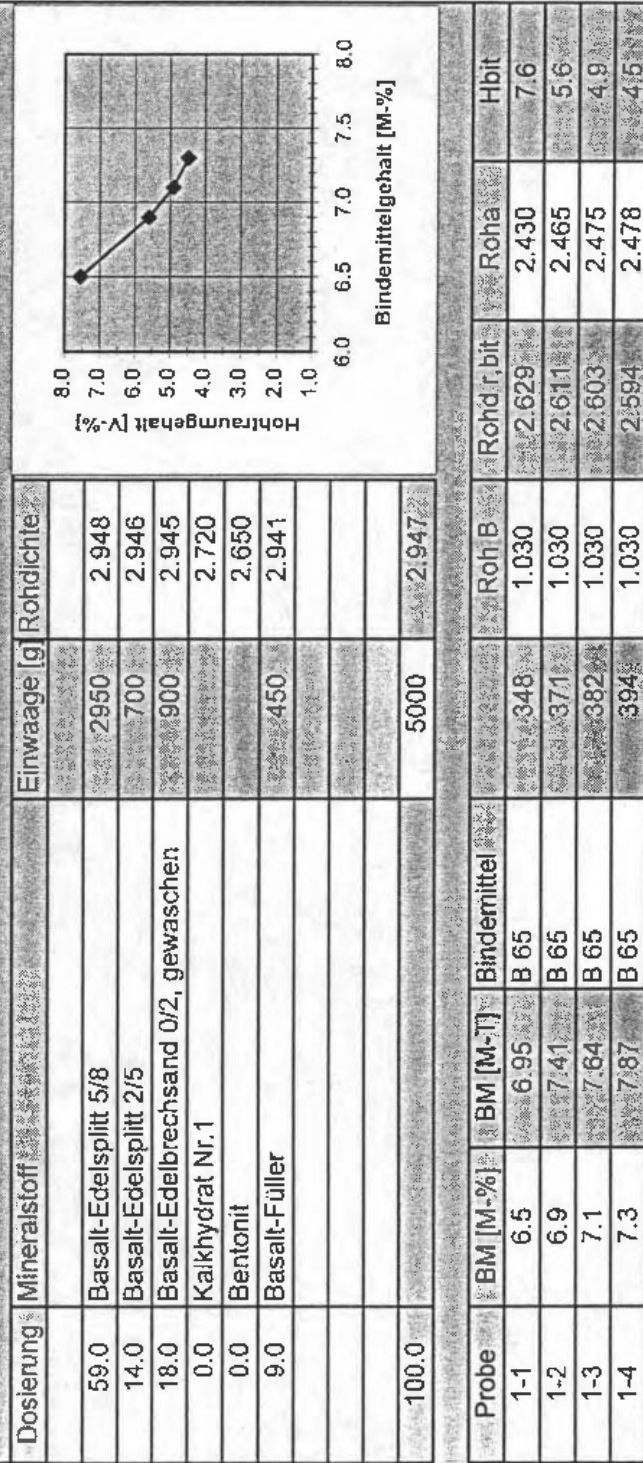
Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Splittmastixasphalt 0/8 mit Moräne

Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte
59.0	Moräne-Edelsplitt 5/8	2950	2.704
14.0	Moräne-Edelsplitt 2/5	700	2.710
18.0	Moräne-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	900	2.694
2.0	Kalkhydrat Nr. 1	100	2.720
3.0	Bentonit	150	2.650
4.0	Kalksteinmehl (Dotternhausen)	200	2.699
100.0		5000	2.701



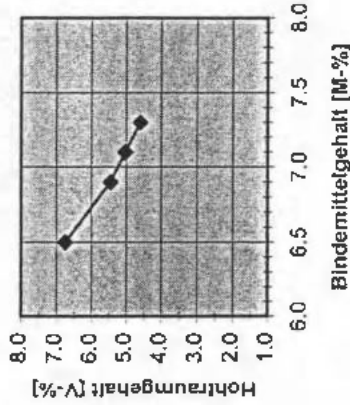
Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r, bit	Roha	Hbit
1-1	6.5	6.95	B 65	348	2.444	2.332	4.6
1-2	6.9	7.41	B 65	371	2.429	2.346	3.4
1-3	7.4	7.99	B 65	400	2.412	2.345	2.8

Stufe 4: Einfluß von Kalhydrat auf die Zugfestigkeit von Splittmastixasphalt 0/8 mit Basalt



Stufe 4: Einfluss von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Splittmastixasphalt 0/8 mit Basalt

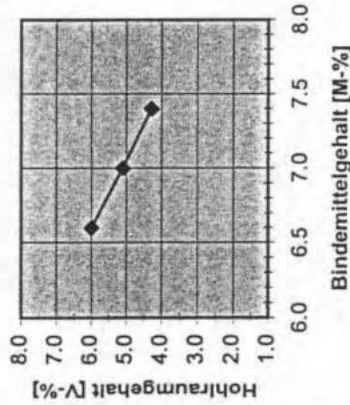
Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte
59.0	Basalt-Edelsplitt 5/8	2950	2.948
14.0	Basalt-Edelsplitt 2/5	700	2.946
18.0	Basalt-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	900	2.945
2.0	Kalkhydrat Nr. 1	100	2.720
3.0	Bentonit	150	2.650
4.0	Basalt-Füller	200	2.941
100.0		5000	2.932



Probe	BM [M-%]	BM [M-IT]	Bindemittel	Roh B	Rohd r/bit	Roha	Hbit
1-1	6.5	6.95	B 65	1.030	2.618	2.441	6.8
1-2	6.9	7.41	B 65	1.030	2.601	2.459	5.4
1-3	7.1	7.64	B 65	1.030	2.592	2.462	5.0
1-4	7.3	7.87	B 65	1.030	2.584	2.465	4.6

Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Splittmastixasphalt 0/8 mit Basalt

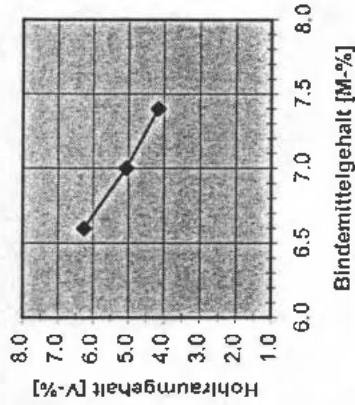
Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte
59.0	Basalt-Edelsplitt 5/8	2950	2.948
14.0	Basalt-Edelsplitt 2/5	700	2.946
18.0	Basalt-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	900	2.945
0.0	Kalkhydrat Nr. 1		2.720
0.0	Bentonit		2.650
9.0	Basalt-Füller	450	2.941
100.0		5000	2.947



Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r _{bit}	Roha	Hbit
1-1	6.6	7.07	PmB 65	1.030	2.624	2.467	6.0
1-2	7.0	7.53	PmB 65	1.030	2.607	2.474	5.1
1-3	7.4	7.99	PmB 65	1.030	2.590	2.479	4.3

Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Splittmastixasphalt 0/8 mit Basalt

Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte
59.0	Basalt-Edelsplitt 5/8	2950	2.948
14.0	Basalt-Edelsplitt 2/5	700	2.946
18.0	Basalt-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	900	2.945
2.0	Kalkhydrat Nr.1	100	2.720
3.0	Bentonit	150	2.650
4.0	Basalt-Füller	200	2.941
100.0		5000	2.932



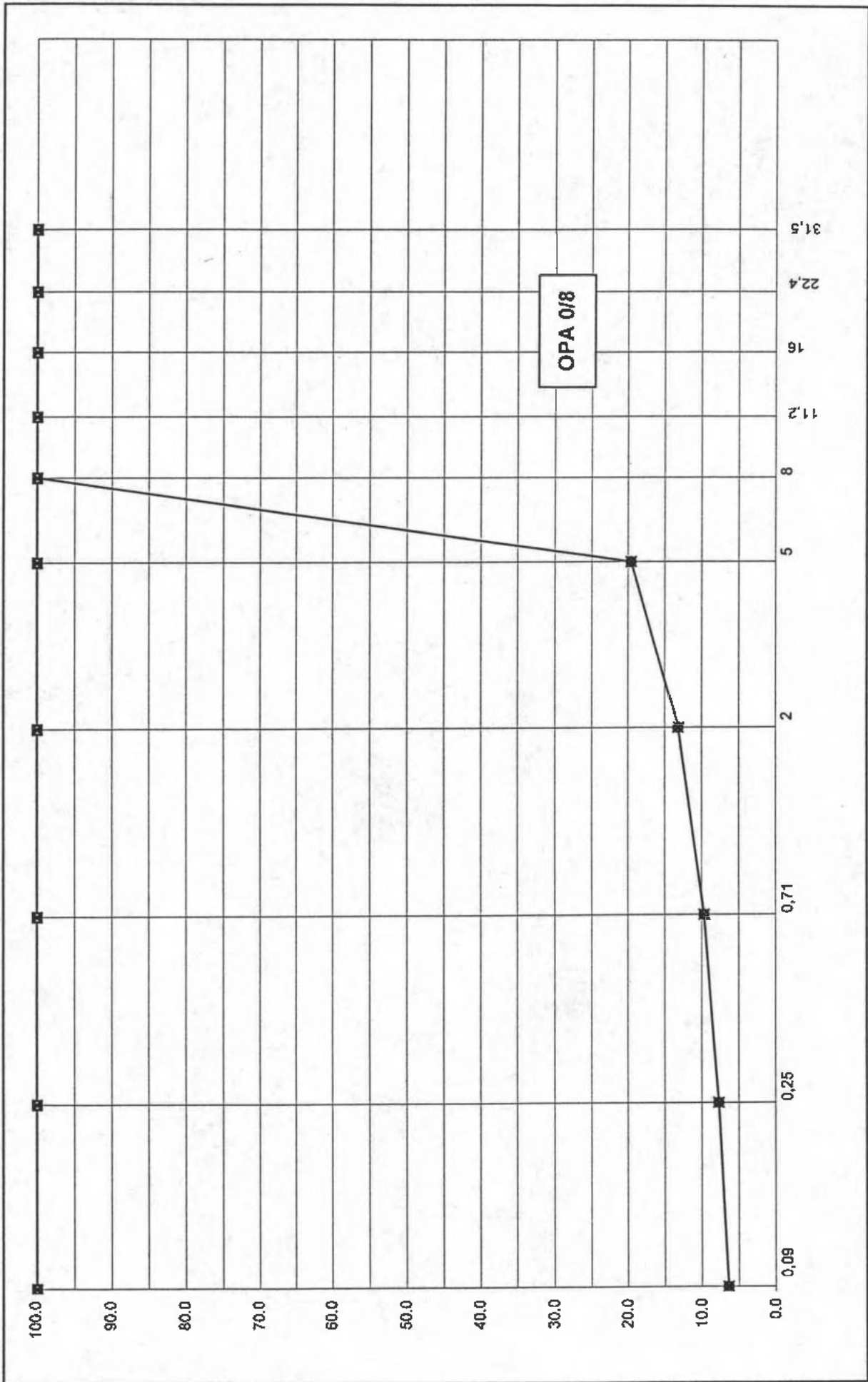
Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r, bit	Roha	Hbit
1-1	6.6	7.07	PmB 65	1.030	2.614	2.450	6.3
1-2	7.0	7.53	PmB 65	1.030	2.596	2.465	5.1
1-3	7.4	7.99	PmB 65	1.030	2.580	2.472	4.2

FA Kalkhydrat, OPA 0/8, Variante Moräne vom 24.04.98

Anteile	6.0	8.0	0.0	86.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
KGV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	resultierende KGV			
Mineralstoff	KS	EBS	2/5	5/8	8/11	11/16	0	0	0	0	0	0	0	einzel	zus.		
< 0,09	92.2	9.4												6.4	6.4		
0,09 - 0,25	7.4	11.8												1.3	7.7		
0,25 - 0,71	0.4	24.9												2.0	9.7		
0,71 - 2,0		44.3	1.2											3.5	13.2		
2,0 - 5,0		9.6	98.8	6.5										6.4	19.6		
5,0 - 8,0				93.5										80.4	100.0		
8,0 - 11,2																	
11,2 - 16,0																	
16,0 - 22,4																	
22,4 - 31,5																	
Summen	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0		

Filler 6.4
 Sand 6.8
 Splitt 86.8

OPA 8 MO Diagramm 2



17

72

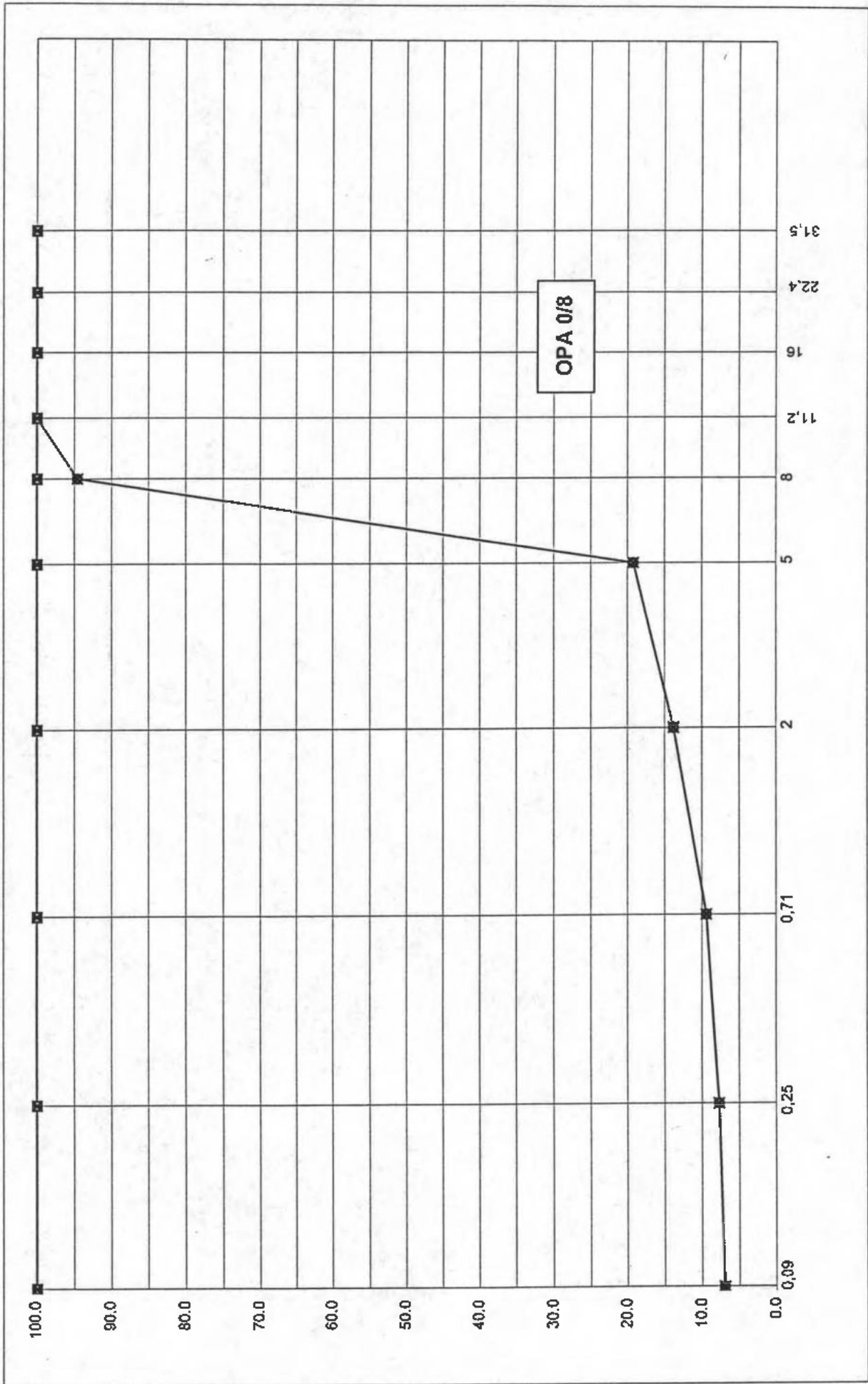
OPA 8 BA

FA Kalkhydrat, OPA 0/8, Variante Basalt vom 24.04.98

Anteile	6.0	8.0	0.0	0.0	86.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	BF	EBS	2/5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	resultierende KGV			
Mineralstoff	100.0	12.3					11/16								einzel	zus.		
< 0,09		9.0													7.0	7.0		
0,09 - 0,25		21.6	0.6												0.7	7.7		
0,25 - 0,71		50.7	4.0	0.3											1.7	9.4		
0,71 - 2,0		6.4	93.2	5.7											4.4	13.8		
2,0 - 5,0			2.2	87.7											5.4	19.2		
5,0 - 8,0				6.3											75.4	94.6		
8,0 - 11,2															5.4	100.0		
11,2 - 16,0																		
16,0 - 22,4																		
22,4 - 31,5																		
Summen	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0		

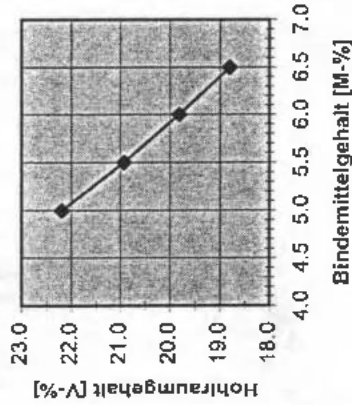
Filler 7.0
 Sand 6.8
 Splitt 86.2

OPA 8 BA Diagramm 2



Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Drainasplitt 0/8 mit Moräne

Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte
86.0	Moräne-Edelsplitt 5/8	4300	2.704
0.0	Moräne-Edelsplitt 2/5		2.710
8.0	Moräne-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	400	2.694
0.0	Kalkhydrat Nr. 1		2.720
0.0	Bentonit		2.650
6.0	Kalksteinmehl (Dotterhausen)	300	2.699
100.0		5000	2.703



Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r,bit	Roha	Hbit
1-1	5.0	5.26	B 65	1.030	2.500	1.945	22.2
1-2	5.5	5.82	B 65	1.030	2.481	1.962	20.9
1-3	6.0	6.38	B 65	1.030	2.463	1.975	19.8
1-4	6.5	6.95	B 65	1.030	2.445	1.985	18.8

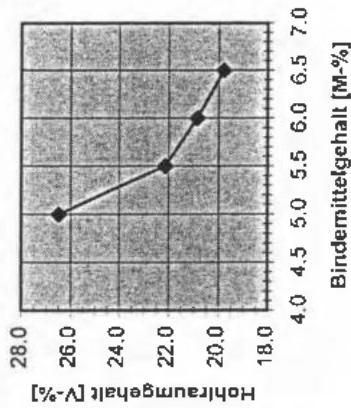
Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Drainspalt 0/8 mit Moräne

Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte	Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r,bit	Roha	Hbit
86.0	Moräne-Edelsplitt 5/8	4300	2.704	1-1	6.0	6.38	PmB 65	1.030	2.463	1.974	19.9
0.0	Moräne-Edelsplitt 2/5		2.710								
8.0	Moräne-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	400	2.694								
0.0	Kalkhydrat Nr.1		2.720								
0.0	Bentonit		2.650								
6.0	Kalksteinmehl (Dotternhausen)	300	2.699								
100.0		5000	2.703								

Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Drainspalt 0/8 mit Moräne									
Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte						
86.0	Moräne-Edelsplitt 5/8	4300	2.704						
0.0	Moräne-Edelsplitt 2/5		2.710						
8.0	Moräne-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	400	2.694						
2.0	Kalkhydrat Nr.1	100	2.720						
3.0	Bentonit	150	2.650						
1.0	Kalksteinmehl (Dotterhausen)	50	2.699						
100.0		5000	2.702						
Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r.bit	Roha	Hbit		
1-1	6.0	6.38	PmB 65	1.030	2.462	1.971	19.9		

Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Drainasplitt 0/8 mit Basalt

Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte
86.0	Basalt-Edelsplitt 5/8	4300	2.948
0.0	Basalt-Edelsplitt 2/5		2.946
8.0	Basalt-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	400	2.945
0.0	Kalkhydrat Nr. 1		2.720
0.0	Bentonit		2.650
6.0	Basalt-Füller	300	2.941
100.0		5000	2.947



Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r,bit	Roha	Hbit
1-1	5.0	5.26	B 65	1.030	2.696	1.982	26.5
1-2	5.5	5.82	B 65	1.030	2.674	2.082	22.1
1-3	6.0	6.38	B 65	1.030	2.651	2.098	20.9
1-4	6.5	6.95	B 65	1.030	2.629	2.109	19.8

Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Drainsphalt 0/8 mit Basalt									
Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte						
86.0	Basalt-Edelsplitt 5/8	4300	2.948						
0.0	Basalt-Edelsplitt 2/5		2.946						
8.0	Basalt-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	400	2.945						
2.0	Kalkhydrat Nr. 1	100	2.720						
3.0	Bentonit	150	2.650						
1.0	Basalt-Füller	50	2.941						
100.0		5000	2.933						
Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r, bit	Roha	Hbit		
1-1	6.0	6.38	B 65	319	2.640	2.066	21.7		

Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Drainspalt 0/8 mit Basalt

Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte
86.0	Basalt-Edelsplitt 5/8	4300	2.948
0.0	Basalt-Edelsplitt 2/5		2.946
8.0	Basalt-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	400	2.945
0.0	Kalkhydrat Nr.1		2.720
0.0	Bentonit		2.650
6.0	Basalt-Füller	300	2.941
100.0		5000	2.947

Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r, bit	Roha	Hbit
1-1	6.0	6.38	PmB 65	1.030	2.651	2.090	21.2

Stufe 4: Einfluß von Kalkhydrat auf die Zugfestigkeit von Drainspalt 0/8 mit Basalt									
Dosierung	Mineralstoff	Einwaage [g]	Rohdichte						
86.0	Basalt-Edelsplitt 5/8	4300	2.948						
0.0	Basalt-Edelsplitt 2/5		2.946						
8.0	Basalt-Edelbrechsand 0/2, gewaschen	400	2.945						
2.0	Kalkhydrat Nr. 1	100	2.720						
3.0	Bentonit	150	2.650						
1.0	Basalt-Füller	50	2.941						
100.0		5000	2.933						
Probe	BM [M-%]	BM [M-T]	Bindemittel	Roh B	Rohd r, bit	Roha	Hbit		
1-1	6.0	6.38	PmB 65	1.030	2.640	2.115	19.9		