

Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für zwei AKR-Schnelltests

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Straßenbautechnik Heft S 87

bast

Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für zwei AKR-Schnelltests

Durchführung und Auswertung

von

Christoph Müller
Maik Seidel
Matthias Böhm

Forschungsinstitut der Zementindustrie - Betontechnik
Düsseldorf

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbautechnik Heft S 87

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 89.0260/2011:
Durchführung und Auswertung von Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für zwei AKR-Schnelltests

Fachbetreuung
Sabine Hulan
Ursula Blume

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-95606-200-1

Bergisch Gladbach, Oktober 2015

Kurzfassung – Abstract

Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für zwei AKR-Schnelltests

Für die in Teil 3 der Alkali-Richtlinie des DAfStb (Ausgabe 2007) beschriebenen AKR-Schnelltests (Referenzprüfverfahren, Alternativverfahren) liegen bisher keine Präzisionswerte vor. Daher ließen sich die mit diesen beiden Verfahren erzielten Prüfergebnisse im Hinblick auf die Unterscheidung von Material- und Prüfstreuungen nicht zuverlässig bewerten. Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beauftragte daher das Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ) mit Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für die beiden o. g. Schnelltests.

Im Rahmen der Auswertung wurden vorhandene Ergebnisse (Einzelwerte der Dehnung) aus Ringversuchen der Jahre 2005, 2006, 2008, 2009, 2010 und 2011 mit dem Referenzprüfverfahren gesammelt und in die Ermittlung von Präzisionswerten einbezogen. Die Ergebnisse zu den o. g. Ringversuchen wurden von der Universität Hamburg-Harburg bereitgestellt.

In 2012 koordinierte das FIZ Untersuchungen zur Bestimmung von Präzisionswerten nach der Normenreihe DIN ISO 5725 für beide Schnelltests nach Alkali-Richtlinie. Im Rahmen der Untersuchungen wurden in fünf Labors jeweils eine Untersuchung je Prüfverfahren mit drei Gesteinskörnungen (G1, G2, G3) und in drei Labors jeweils vier weitere Untersuchungen je Prüfverfahren mit zwei Gesteinskörnungen (G1, G2) durchgeführt. Ein Teil der Untersuchungen in 2012 wurde unter Wiederholbedingungen durchgeführt. Durch Kombination der Präzisionswerte unter Wiederholbedingungen mit den Präzisionswerten unter Zwischenbedingungen wurden Präzisionswerte unter Vergleichbedingungen ermittelt.

Für das Alternativverfahren lagen keine Ermittlungsergebnisse aus Ringversuchen vergangener Jahre vor. Die Präzisionswerte für das Alternativverfahren wurden allein auf Basis der Ergebnisse aus den Vergleichsuntersuchungen 2012 ermittelt.

Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen mit dem Referenzprüfverfahren sind die Präzisionswerte für das Prüfalter von 13 Tagen (derzeitiger

Bewertungszeitpunkt). Für die unter Zwischenbedingungen ermittelte Dehnung der Ringversuche 2005 bis 2011 wurden nach 13 Tagen Prüfdauer Variationskoeffizienten v_L zwischen rd. 15 und rd. 30 % ermittelt. In den Untersuchungen in 2012 mit 5 Labors lagen die Variationskoeffizienten unter Zwischenbedingungen v_L zwischen rd. 4 und rd. 19 %.

Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen mit dem Alternativverfahren sind die Präzisionsdaten für das Prüfalter von 28 Tagen (derzeitiger Bewertungszeitpunkt). In den Untersuchungen in 2012 mit 3 bzw. 5 Labors lagen die Variationskoeffizienten v_L für die Dehnungen im Alter von 28 Tagen zwischen rd. 7 und rd. 14 %.

Investigations for determination of precision values of two ASR-rapid test methods

For the accelerated mortar bar tests (reference method, alternative method) stipulated in Part 3 of the Alkali Guidelines issued by the German Committee for Structural Concrete (DAfStb) no precision values are available yet. Therefore, the test results gained with these two tests concerning the differentiation of material and test deviations could not be assessed reliably. Thus, the Federal Highway Research Institute (BASt) commissioned the Research Institute of the Cement Industry (FIZ) to carry out investigations regarding the determination of precision values for the aforementioned tests.

In the years 2005, 2006, 2008, 2009, 2010 and 2011 for the German Institute for Building Engineering (DIBt) ring tests were carried out with the reference method. These results were made available by the University of Hamburg-Harburg.

In 2012 the Research Institute of the Cement Industry coordinated tests for both test methods in order to determine precision values in accordance with the series of standards DIN ISO 5725 conforming to the Alkali Guidelines. Within these tests in five laboratories an accelerated mortar bar test for every test method was carried out with three aggregates (G1, G2, G3). In three laboratories four

additional accelerated mortar bar tests for each test method with two aggregates (G1, G2) were carried out. A part of the tests in 2012 was carried out under repeating conditions. By combining precision values under repeatability conditions with the precision values under intermediate conditions the precision values were determined under comparative conditions.

For the alternative test method no results from ring tests of past years were available. The precision values for the alternative test method were determined solely on the basis of the results gained from comparative investigations in 2012.

In particular, the precision values for the testing age of 13 days (current assessment period) are important for the assessment of the alkali sensitivity of aggregates with the reference method. For the expansion of ring tests measured under interim conditions starting from 2005 until 2011 coefficients of variation between approx. 15 and approx. 30% were determined after 13 days of test age. Within the investigations carried out in 2012 with 5 laboratories the coefficients of variation under interim conditions were between approx. 4 and approx. 19%.

In the alternative method for the assessment of the alkali sensitivity of aggregates, in particular, precision values for the test age of 28 days are decisive (current assessment period). In the investigations carried out in 2012 with 3 and/or 5 laboratories the coefficients of variation for the expansions at the age of 28 days were between approx. 7 and approx. 14%.

Inhalt

Abkürzungen und Formeln	6	4	Alternativverfahren 2012	31
1 Allgemeines	7	4.1	Frischmörtelprüfung	31
1.1 Sachlage	7	4.2	Dehnungsverlauf	31
1.2 Ziel und Nutzen des Forschungsvorhabens	7	4.3	Präzisionswerte nach DIN ISO 5725-2	33
1.3 Vorgehensweise	8	4.3.1	Auswertung der Rohdaten	33
1.3.1 Ringversuche mit dem Referenzprüfverfahren 2005 bis 2011	8	4.3.2	Übersicht über die Präzisionswerte ...	34
1.3.2 Untersuchungen mit dem Referenzprüf- und Alternativverfahren in 2012	9	4.3.3	Funktionale Beziehung zwischen Präzisionswerten und dem arithmetischen Gesamtmittelwert der Dehnung	35
2 Referenzprüfverfahren (Ringversuche 2005-2011)	14	5	Zusammenfassung	38
2.1 Allgemeines	14	5.1	Allgemeines	38
2.2 Dehnungsverlauf	14	5.2	Untersuchungen mit dem Referenzprüfverfahren 2005-2012	39
2.3 Präzisionswerte nach DIN ISO 5725-2	16	5.3	Untersuchungen mit dem Alternativverfahren 2012	41
2.3.1 Auswertung der Rohdaten	16	5.4	Vergleich der Präzisionswerte mit etablierten Prüfverfahren	41
2.3.2 Übersicht über die Präzisionswerte ...	16	5.5	Zusammenfassende Wertung der Präzisionswerte	42
2.3.3 Funktionale Beziehung zwischen Präzisionswerten und dem arithmetischen Gesamtmittelwert der Dehnung	17	6	Literatur	46
3 Referenzprüfverfahren 2012	23	7	Anhang	47
3.1 Frischmörtelprüfung	23	7.1	Referenzprüfverfahren (Ringversuche 2005 bis 2011) – Rohdaten (Serien- mittelwerte = Labormittelwerte der Dehnung)	47
3.2 Dehnungsverlauf	23	7.2	Referenzprüfverfahren in 2012 – Rohdaten, statistische Tests, Präzisionswerte	53
3.3 Präzisionswerte nach DIN ISO 5725-2	26	7.2.1	Gesteinskörnung G1	53
3.3.1 Auswertung der Rohdaten	26	7.2.2	Gesteinskörnung G2	59
3.3.2 Übersicht über die Präzisionswerte ...	26	7.2.3	Gesteinskörnung G3	65
3.3.3 Funktionale Beziehung zwischen Präzisionswerten und dem arithmetischen Gesamtmittelwert der Dehnung	27	7.3	Alternativverfahren in 2012 – Rohdaten, statistische Tests, Präzisionswerte	69
		7.3.1	Gesteinskörnung G1	69
		7.3.2	Gesteinskörnung G2	73
		7.3.3	Gesteinskörnung G3	77

Abkürzungen und Formeln

		RPV	Referenzprüfverfahren (oder R)
A	Bestimmungsgrenze	s	Standardabweichung (Stichprobenstandardabweichung, absoluter Fehler, absolute Abweichung)
a	Index für statistische Kennwerte unter Bestimmungsbedingungen	s ²	Varianz
AL	Zwischengrenze	v	Variationskoeffizient (relativer Fehler, relative Abweichung)
AlRi	Alkali-Richtlinie (z. B. als Index verwendet)		
AV	Alternativverfahren (oder A)		
B	Prüfgröße im Zusammenhang mit dem Ausreißertest nach GRUBBS		
C	Prüfgröße im Zusammenhang mit dem Ausreißertest nach COCHRAN (Cochran-Test)		
FA	Fastausreißer		
fett	Ausreißer oder Fastausreißer bzw. mit diesen Größen in direktem Zusammenhang stehenden Werte		
G	Gesteinskörnung (Nr.)		
GH Nr.	Mittelwert einer Serie von Mörtelprismen (Serienmittelwert der Dehnung)		
i	Index für Nr. des einzelnen Labors		
j	Index für das Merkmalniveau (hier das Prüfalter in Tagen)		
L	Index für statistische Kennwerte unter Zwischenbedingungen (Laboratoriumsbedingungen)		
L	Labor (Nr.)		
m	Mittelwert (arithmetisches Mittel = Ergebnis)		
m _j	Gesamtmittelwert		
n	Anzahl von Einzelwerten (Ermittlungswerte) bzw. Mittelwerten (Ermittlungsergebnisse) einer für die Auswertung relevanten Werte- bzw. Ergebnisreihe		
n. t.	nicht teilgenommen		
p	Anzahl der Labors		
R	Index für statistische Kennwerte unter Vergleichbedingungen		
r	Index für statistische Kennwerte unter Wiederholbedingungen		
R	Vergleichgrenze		
r	Wiederholgrenze		

1 Allgemeines

1.1 Sachlage

Zur Vermeidung von Schäden infolge einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) in Fahrbahndecken aus Beton werden derzeit verschiedene Regelungen bei Neubaumaßnahmen getroffen. Eine dieser Regelungen ist, dass für bestimmte Gesteinskörnungen in einem Gutachten die Eignung der Gesteine für diesen Zweck sowie eine gutachterliche Stellungnahme hinsichtlich der AKR für den vorgesehenen Beton vorzulegen sind. Grundlage einer solchen Stellungnahme sind momentan AKR-Performance-Prüfungen, mit denen das AKR-Schädigungspotenzial der vorgesehenen projektspezifischen Betonzusammensetzung ermittelt wird. Die Umwelteinwirkungen werden bei dieser Prüfung durch einen periodischen Wechsel von unterschiedlichen Feuchte- und Temperaturbedingungen sowie einer Zufuhr von Taumitteln bzw. einer NaCl-Lösung zeittraffend nachgestellt. Aufgrund der erforderlichen Zyklenanzahl, die hierfür angesetzt werden muss, liegt die Dauer für die Durchführung von AKR-Performance-Prüfungen bei etwa sechs Monaten. Wegen dieser langen Prüfdauer ist die AKR-Performance-Prüfung daher häufig nicht innerhalb des praxisüblichen Zeitvorlaufs bei Straßenbauvorhaben durchführbar. In diesen Fällen können nur solche Gesteinskörnungen verwendet werden, deren Unbedenklichkeit hinsichtlich einer schädigenden AKR gutachterlich bereits zweifelsfrei festgestellt wurde [12].

Um solcherlei Situationen in Zukunft zu vermeiden, ist vorgesehen, die prinzipielle Eignung von Gesteinskörnungen im Hinblick auf eine AKR unabhängig vom konkreten Bauvorhaben in einer WS-spezifischen Betonzusammensetzung zu untersuchen. Zur Realisierung einer derartigen Vorgehensweise wurde vom FGSV-Arbeitskreis 8.2.3 das Arbeitspapier „WS-Grund- und Bestätigungsprüfung zur Beurteilung der Eignung von groben Gesteinskörnungen für die Feuchtigkeitsklasse WS“ entworfen [11]. In diesem Arbeitspapier wird das Prozedere aller hierfür erforderlichen Prüfungen beschrieben. Die Prüfungen beinhalten in einem ersten Teil (WS-Grundprüfung) die Durchführung eines der in Teil 3 der Alkali-Richtlinie 2007 [1] aufgeführten Schnelltests (Referenzprüf- oder Alternativverfahren) für alle in Fahrbahndecken aus Beton zur Verwendung kommenden Lieferkörnungen der Gewinnungsstätte. Auf diesen Ergebnissen aufbauend erfolgen die mineralogische/

petrografische Charakterisierung sowie die Prüfung mittels WS-Betonversuch für ausgewählte Lieferkörnungen. Je nach gewünschtem Einsatz der Lieferkörnung im Beton wird zwischen einer WS-Grundprüfung für Beton mit einem Größtkorn von 8 mm und mit einem Größtkorn > 8 mm unterschieden. Für die ausgewählte Betonzusammensetzung erfolgt die Prüfung der Alkaliempfindlichkeit im WS-Betonversuch mittels eines für die AKR-Performance-Prüfung vorgesehenen Prüfverfahrens (60-°C-Betonversuch mit Alkalizufuhr oder FIB-Klimawechsellagerung). In einem zweiten Teil muss die Eignung der Gesteinskörnung(en) für den vorgesehenen Zweck vor Beginn eines Bauvorhabens bestätigt werden (WS-Bestätigungsprüfung). Dies erfolgt durch die Prüfung der Alkaliempfindlichkeit der Gesteinskörnungsprobe(n) einer aktuellen Probencharge mittels des bereits in der WS-Grundprüfung verwendeten Schnelltests nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie und bei Bedarf deren mineralogischer/petrografischer Charakterisierung. Ziel der WS-Bestätigungsprüfung ist, durch einen Vergleich der aktuellen Ergebnisse mit den Ergebnissen der WS-Grundprüfung die Eignung der Gesteinskörnung(en) der aktuellen Probencharge bestätigen zu können. Für die Beurteilung der Prüfergebnisse sowie die Bewertung von nach oben auftretenden Abweichungen der ermittelten Dehnungen sind Informationen über die Präzision der beiden Schnelltests erforderlich. Hierüber liegen derzeit keine Angaben vor [12].

1.2 Ziel und Nutzen des Forschungsvorhabens

Für die in Teil 3 der Alkali-Richtlinie 2007 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) beschriebenen AKR-Schnelltests (Schnellprüfverfahren = Referenzprüfverfahren, Mörtelschnelltest = Alternativverfahren) liegen bisher keine Präzisionswerte vor. Daher können die mit diesen beiden Verfahren erzielten Prüfergebnisse im Hinblick auf die Unterscheidung von Material- und Prüfstreuungen nicht zuverlässig bewertet werden.

Auf Basis der aus den Untersuchungen ermittelten Präzisionswerte sollte es möglich sein, zulässige Grenzwerte für nach oben auftretende Abweichungen für die Prüfergebnisse in der WS-Bestätigungsprüfung festzulegen. Diese Festlegung ist Voraussetzung für die Anwendbarkeit des Systems der WS-Grund- und Bestätigungsprüfung [11].

Werden die hierin beschriebenen Regelungen angewendet, so ist ein deutlicher Zeitgewinn für die Untersuchung und Bewertung der Eignung von Gesteinskörnungen bzw. Betonzusammensetzungen in Bezug auf die Vermeidung einer schädigenden AKR zu erwarten. Je höher die Anzahl der positiv bewerteten Gesteinskörnungen, desto breiter wird die Auswahl für die Verwendung im Straßenbau. Durch einen erhöhten Nutzungsgrad regional verfügbarer Ressourcen erhöht sich die Effizienz der Betonbauweise im Straßenbau. Die geringeren Transportentfernungen ermöglichen die Schonung der Umwelt.

1.3 Vorgehensweise

- I. Auswertung veröffentlichter oder anderweitig vorhandener Ergebnisse der beiden Schnelltests nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie [1] (Referenzprüf- bzw. Alternativverfahren) im Hinblick auf die Verfahrensgenauigkeit,
- II. Durchführung und Koordination von Untersuchungen an Gesteinskörnungen der gleichen Probencharge durch fünf Institute für die Ermittlung von Vergleich- und Wiederholgenauigkeit,
- III. statistische Auswertung der Daten aller unter Punkt II durchgeführten Untersuchungen und Berichterstellung.

Mit Schreiben vom 9. November 2011 beauftragte die Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach (BASt) das Forschungsinstitut der Zementindustrie Düsseldorf (FIZ) mit Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für die beiden o. g. AKR-Schnelltests.

Veröffentlichte oder anderweitig vorhandene Ergebnisse von Schnelltests (Referenzprüfverfahren, Alternativverfahren) waren im Hinblick auf die Verfahrensgenauigkeit auszuwerten. In 2012 waren Untersuchungen mit mehreren Labors unter Verwendung beider Schnelltests durchzuführen und statistisch auszuwerten.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden eine Gesteinskörnung mit einer zu erwartenden Dehnung unterhalb des Grenzwerts, eine Gesteinskörnung mit einer zu erwartenden Dehnung geringfügig über dem Grenzwert und eine Gesteinskörnung mit einer zu erwartenden Dehnung über dem Grenzwert der Alkali-Richtlinie ausgewählt.

1.3.1 Ringversuche mit dem Referenzprüfverfahren 2005 bis 2011

Im ersten Schritt wurden bereits vorhandene Ergebnisse (Einzelwerte der Dehnung) aus Ringversuchen der Jahre 2005, 2006, 2008, 2009, 2010 und 2011 gesammelt. Die Ergebnisse der Ringversuche wurden von der TU Hamburg-Harburg zur Verfügung gestellt.

Für die Jahre 2005 bis 2011 lagen Einzelwerte der Dehnung für verschiedene Prüfalter zwischen 1 und 20 Tagen vor. Für das Jahr 2005 lagen anstelle der 13-Tageswerte (derzeit der Beurteilungszeitpunkt) Einzelwerte nach 14 Tagen vor. Für das Alternativverfahren lagen keine Daten von Ringversuchen vergangener Jahre vor.

Im Rahmen der Ringversuche in den Jahren 2005 bis 2011 wurde von jedem teilnehmenden Labor jeweils eine Prüfung mit dem Referenzprüfverfahren durchgeführt. Die Versuche wurden nicht mehrfach durchgeführt (wiederholt). Daher konnten die Präzisionswerte nicht unter Wiederholbedingungen ermittelt werden, sondern wurden unter intermediären Bedingungen (Zwischenbedingungen) ermittelt (siehe Kapitel 2).

Die Einzelwerte wurden seinerzeit vom Koordinator der Ringversuche daraufhin untersucht, inwiefern sie das Kriterium der Alkali-Richtlinie bzgl. der maximalen Abweichung des Einzelwerts vom Mittelwert (max. 0,1 mm/m Abweichung bei Dehnungen < 1 mm/m, max. 10 % Abweichung bei Dehnungen ≥ 1 mm/m) einhalten. In einem Fall (siehe Tabelle 25 im Anhang) wurde ein Mittelwert von der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

In jedem Ringversuch wurde von jedem teilnehmenden Labor jeweils eine Untersuchung je Gesteinskörnung durchgeführt. Eine Aussage über die Präzision innerhalb eines Labors wurde nicht getroffen. Die Einzelwerte der Dehnung der einzelnen Serien (eine Serie besteht aus 3 Mörtelprismen) wurden bzgl. ihrer Präzisionswerte unter Zwischenbedingungen untersucht. Diese Präzisionswerte liefern eine Aussage über die Abweichungen, die bedingt durch Einflüsse aus unterschiedlicher Aufbereitung der Ausgangsstoffe (Brechen, Teilen der Probe) und Herstellung der Mörtelprismen resultieren.

Die Mittelwerte der Dehnung wurden einem Ausreißertest nach GRUBBS gemäß DIN ISO 5725-2 unterzogen. Mit dem Cochran-Test nach DIN ISO

1	2	3	4	5
Ringversuch	als Teilnehmer angemeldet	keine oder nicht verwendbare Ergebnisse	verwendbare Serien	Anhang
Jahr	Labor Nr.	Labor Nr.	Anzahl Labors	Tabelle Nr.
2005	1 bis 18	10	17	Tabelle 21
2006	1 bis 24	21 ²⁾	23	Tabelle 22
2008	1 bis 30	3	29	Tabelle 23
2009	1 bis 33	1, 12, 17, 31	29	Tabelle 24
2010	1 bis 34	17, 26 ¹⁾ , 31	31	Tabelle 25
2011	1 bis 29	-	29	Tabelle 26

¹⁾ zu hohe Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert
²⁾ stark abweichende Ergebnisse

Tab. 1: Ergebnis der Ausreißertests der Ringversuche 2005 bis 2011

5725-2 wurde untersucht, inwiefern sich die Varianzen der Mittelwerte unterschieden. Die Ergebnisse des Grubbs-Tests und des Cochran-Tests wurden von der Universität Hamburg-Harburg zur Verfügung gestellt und sind in diesem Bericht nicht dargestellt. Wurde ein Ausreißer gefunden, so wurden die entsprechenden Mittelwerte nicht in die weitere Auswertung mit aufgenommen. Von den Ringversuchen 2009 und 2010 lagen nicht für alle als Teilnehmer geführten Labors Ergebnisse vor. Daher konnte nur jeweils die in Tabelle 1 aufgeführte maximale Anzahl von Dehnungswerten (Serienmittelwerte) ausgewertet werden.

1.3.2 Untersuchungen mit dem Referenzprüf- und Alternativverfahren in 2012

Zur Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichgenauigkeit von zwei AKR-Schnelltests wurden Untersuchungen an Gesteinskörnungen ein und derselben Charge einer Probenahme von mehreren Instituten (Labors) durchgeführt und durch das Forschungsinstitut der Zementindustrie koordiniert und statistisch ausgewertet.

An den Untersuchungen beteiligten sich insgesamt fünf Institute:

- Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm) an der Technischen Universität München,
- F.A.Finger-Institut für Baustoffkunde an der Bauhaus-Universität in Weimar (FIB),
- Forschungsinstitut der Zementindustrie Düsseldorf (FIZ),
- GfB Baustoffprüfstelle ERFT-Labor GmbH Euskirchen (ERF),

- Materialprüfanstalt (MFPA) an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus (BTU).

Die Untersuchungen wurden gemäß der in der Beschreibung in Kapitel 1.3 aufgeführten beiden Schwerpunkte durchgeführt und ausgewertet:

Untersuchungen zur Vergleichgenauigkeit zwischen den Prüfinstituten

Durchführung der beiden Schnelltests (Referenzprüfverfahren, Alternativverfahren) in fünf Instituten mit jeweils drei Gesteinskörnungen unterschiedlicher Alkaliempfindlichkeit, insgesamt 30 Prüfungen. Im Grunde wurde mit jeweils einer Prüfsérie jedes Labors die Prüfung unter Zwischenbedingungen durchgeführt. In Verbindung mit den jeweils bis zu vier Untersuchungen unter Wiederholbedingungen wurden die Präzisionswerte unter Vergleichbedingungen ermittelt (siehe Erläuterungen in Kapitel 1.3.2.1).

Untersuchungen zur Wiederholgenauigkeit innerhalb der Prüfinstitute

Durchführung von jeweils vier (zusätzlich zu der einen unter Vergleichbedingungen durchgeführten) Prüfungen mit den beiden Schnelltests (Referenzprüfverfahren, Alternativverfahren) an zwei der drei Gesteinskörnungen (jeweils mit neuer Aufbereitung) in drei Instituten, insgesamt 48 Prüfungen.

1.3.2.1 Ausgangsstoffe und Untersuchungsprogramm

Die mit dem Referenzprüfverfahren und dem Alternativverfahren geprüften Mörtel wurden mit folgenden Gesteinskörnungen hergestellt und untersucht:

- Gesteinskörnung 1:
Granulit, gebrochene Gesteinskörnung in der Fraktion 8/16 mm (Mitteldeutschland),
- Gesteinskörnung 2:
Rhyolith, gebrochene Gesteinskörnung in der Fraktion 8/16 (Mitteldeutschland),
- Gesteinskörnung 3:
Grauwacke, gebrochene Gesteinskörnung in der Fraktion 8/16 (Westdeutschland).

Die Untersuchungen der Gesteinskörnungen mit dem Alternativverfahren erfolgten unter zusätzlicher Verwendung von Natursand 0,1/0,5 mm (Mitteldeutschland).

Die drei zu untersuchenden groben Gesteinskörnungen und der Sand wurden im Labor des Koordinators für die Vergleichsuntersuchungen angeliefert (Tabelle 2). Hier wurden die Gesteinskörnungen (gebrochene und feine Gesteinskörnung) in Anlehnung an DIN EN 932 in jeweils rd. 10 kg große Teilmengen geteilt, verpackt und an die teilnehmenden Labors verschickt. Für jeden Versuch (Referenzprüf- bzw. Alternativverfahren) wurde von den Teilnehmern die entsprechende Probemenge aus einer jeweils neuen 10-kg-Probe der gebrochenen Gesteinskörnung entnommen. Das heißt, aus jeder der 10-kg-Proben war nur einmal eine Materialprobe zu entnehmen und zu untersuchen. Für die Un-

Gesteinskörnung	Wiederholbedingungen		Vergleichbedingungen	
	Referenz	Alternativ	Referenz	Alternativ
1	2	3	4	5
G1	L1, L2, L3		L1, L2, L3, L4, L5	
G2				
G3	n. d.			
G Gesteinskörnung Nr. L Labor Nr. R Referenzprüfverfahren A Alternativverfahren n. d. nicht durchgeführt				

Tab. 2: Verteilung der Versuche über die einzelnen Labors

Gesteinskörnungen	Verfahren	Labors	Anzahl der Untersuchungen	Summe
3	2	5	1	30
2	2	3	4	48
Untersuchungen insgesamt				78

Tab. 3: Anzahl der Untersuchungen mit den beiden Schnelltests

tersuchungen mit beiden AKR-Schnelltests wurde ein CEM I 42,5 R mit einem Na₂O-Äquivalent von 1,08 M.-% verwendet. Der Zement wurde aus den Beständen des FIZ entnommen und allen Labors zur Verfügung gestellt. Gemäß Alkali-Richtlinie war der Alkaligehalt des Zements in beiden AKR-Schnelltests während der Verarbeitung zu Mörtel in jedem Labor durch Zugabe von K₂SO₄ auf ein Na₂O-Äquivalent von 1,3 M.-% aufzudotieren. Auch das Kaliumsulfat wurde vom FIZ den anderen Teilnehmern zur Verfügung gestellt.

Die Aufschlüsselung der Gesamtanzahl der Untersuchungen ist in Tabelle 3 dargestellt.

1.3.2.2 Statistische Auswertung nach DIN ISO 5725-2:2002-12

Begriffe

Die folgenden ausgewählten Begriffe aus der Statistik werden in Anlehnung an die Definitionen in DIN ISO 5725-1:1997-11 bzw. DIN ISO 5725-2:2002-12 verwendet.

- Dehnung ϵ
auf einen Meter Länge bezogene Längenänderung in mm/m
- Ringversuch R
Versuch unter Beteiligung mehrerer Labors, z. B. zur Ermittlung der Präzision oder Richtigkeit eines Messverfahrens nach der Normenreihe DIN ISO 5725
- Vergleichsuntersuchung¹
Vergleichende Untersuchungen in 2012 mit drei bis fünf Labors und drei Gesteinskörnungen. Die Anforderungen aus ISO 5725-2 an Ringversuche wurden bei der Durchführung und Auswertung der Vergleichsuntersuchungen beachtet.
- Labor L
Stelle, an der die Prüfungen ausgeführt werden
- Präzision
Ausmaß der Annäherung zwischen einem Ermittlungsergebnis und dem anerkannten Bezugswert

In Bezug auf die zu ermittelnden Präzisionswerte heißt es in DIN ISO 5725: „Maße für die Prä-

¹ Eigene Begriffsdefinition im Rahmen dieses Forschungsvorhabens

zision eines vereinheitlichten Messverfahrens sind im Allgemeinen die Standardabweichungen der unter Wiederholbedingungen, Zwischenbedingungen oder Vergleichbedingungen gewonnenen Messwerte. Aus dem Präzisionsmaß Standardabweichung kann man auch die früher häufig benutzten speziellen Präzisionsmaße Wiederholgrenze r und Vergleichgrenze R als „kritische Differenzbeträge“ berechnen. Diese sind im Vergleich mit den Standardabweichungen um einen angebbaren Faktor größere Beträge, unter denen oder höchstens gleich denen der Betrag der Differenz zweier Einzelergebnisse (gemessen unter den betreffenden Bedingungen) mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit P erwartet werden kann. Für diese Wahrscheinlichkeit wird bei Abwesenheit anderer Festlegungen oder Vereinbarungen $P = 95\%$ eingesetzt. Der genannte Faktor hängt von der gewählten oder vorgegebenen Wahrscheinlichkeit ab und hat bei $P = 95\%$ den Zahlenwert 2,8. Dieser Faktor ergibt sich aus dem auf 2,0 gerundeten Quantil $u_{97,5\%} = 1,96$ sowie aus \sqrt{n} mit $n = 2$.

Dem Anwender der Norm (beispielsweise einem Normenausschuss) ist es nach wie vor prinzipiell freigestellt, ob er als Präzisionsmaß eines vereinheitlichten Messverfahrens

- die Wiederholstandardabweichung, Zwischenstandardabweichung und Vergleichstandardabweichung oder
- Wiederholgrenze, Zwischengrenze und Vergleichgrenze

angibt.“

- Mittelwert m

Aus drei bestimmten Einzelwerten ε der Dehnung ε (in der Norm Ermittlungswert genannt und in den Untersuchungen mit Index i bezeichnet) wurde zu den entsprechenden Prüfzeitpunkten (Index j) das arithmetische Mittel (Normbegriff Ermittlungsergebnis) in mm/m bestimmt. Das arithmetische Mittel (Ermittlungsergebnis) wird im Folgenden vereinfachend Mittelwert m (Formel 1) genannt.

Formel 1 (arithmetisches Mittel = Mittelwert)

$$m_j = \overline{y_{ij}} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{ij}} y_{ijk}}{n} \quad [\text{mm/m}]$$

mit

n_{ij} = Anzahl der Ermittlungsergebnisse (Mittelwerte jeweils einer Serie) für das Labor i auf dem Merkmalsniveau j (Prüfalter)

y_{ijk} = eines dieser Ermittlungsergebnisse (Mittelwerte) ($k = 1, 2, \dots, n_{ij}$)

- Serienmittelwert m_k

jeweils aus drei Einzelwerten (eine Serie = 3 Probekörper) berechnete Mittelwerte der Dehnung

- Labormittelwert m_i

Mittelwert aller Serienmittelwerte der Dehnung am gleichen Material innerhalb eines Labors

- Gesamtmittelwert m_j

Für jedes Merkmalsniveau j (Prüfalter) wurde der (als Schätzwert für den Erwartungswert dienende) Gesamtmittelwert m_j ermittelt (Formel 2).

Formel 2 (Gesamtmittelwert)

$$m_{ges,j} = \overline{y_j} = \frac{\sum_{i=1}^p n_{ij} \overline{y_{ij}}}{\sum_{i=1}^p n_{ij}} \quad [\text{mm/m}] \quad \text{mit} \quad p = \text{Anzahl der Labors}$$

- Standardabweichung s

– hier Stichprobenstandardabweichung (s), Schätzwert der Standardabweichung (σ) für die Grundgesamtheit in mm/m

– auch absoluter Fehler, absolute Abweichung genannt (siehe Formel 3)

– Im Folgenden wird vereinfachend von Standardabweichung s gesprochen. Sie wird in mm/m angegeben.

Formel 3 (Standardabweichung)

$$s_{ij} = \sqrt{\frac{1}{n_{ij} - 1} \sum_{k=1}^{n_{ij}} (y_{ijk} - \overline{y_{ij}})^2} \quad [\text{mm/m}]$$

- Variationskoeffizient v

– Verhältniswert zwischen Standardabweichung und Mittelwert und in Prozent angegeben (siehe Formel 4)

– berücksichtigt, dass eine Standardabweichung bei einem kleinen Mittelwert ein ande-

res „Gewicht“ hat als bei einem großen Mittelwert

- auch relativer Fehler, relative Abweichung genannt

Formel 4 (Variationskoeffizient)

$$v_{ij} = \frac{s_{ij}}{m_{ij}} \cdot 100 [\%]$$

- Wiederholbedingungen

Bedingungen bei der Gewinnung voneinander unabhängiger Ermittlungsergebnisse unter Verwendung desselben Verfahrens (am identischen Untersuchungsobjekt im selben Labor durch denselben Bearbeiter mit derselben Geräteausrüstung in kurzen Zeitabständen)

- Vergleichbedingungen

Bedingungen voneinander unabhängiger Ermittlungsergebnisse bei Verwendung desselben Verfahrens an identischen Untersuchungsobjekten in verschiedenen Labors durch verschiedene Bearbeiter mit verschiedenen Geräteausrüstungen

- Zwischenbedingungen

Bedingungen, die weder den Wiederhol- noch den Vergleichbedingungen entsprechen. Von n Untersuchungsbedingungen ist mindestens eine, sind aber maximal (n-1) Bedingungen voneinander verschieden (z. B. die Geräteausrüstung, da in verschiedenen Labors gearbeitet wurde)

- Bestimmungsbedingungen

Bedingungen, unter denen die eigentlichen Messungen ablaufen. Abweichungen aus der Aufbereitung der Ausgangsstoffe und der Herstellung der Probekörper fließen an dieser Stelle in die Messergebnisse nicht mit ein. Nach [6] ist die Varianz von Einzelwerten, aus denen nach Prüfvorschrift durch Mittelung das Prüfergebnis zu bestimmen ist (Bestimmungsbedingungen), die Bestimmungsvarianz.

- Varianz s^2

Ein Maß für die Breite der Verteilung von Ermittlungsergebnissen ist die Varianz. Sie wird unter Wiederholbedingungen gemäß DIN ISO 5725-2 berechnet nach

Formel 5 (Varianz unter Wiederholbedingungen)

$$s_{rj}^2 = \frac{\sum_{i=1}^p (n_{ij} - 1) * s_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p (n_{ij} - 1)}$$

Die Varianz unter Zwischenbedingungen wird laut DIN ISO 5725-2 wie folgt ermittelt:

Formel 6 (Varianz unter Zwischenbedingungen)

$$s_{Ij}^2 = \frac{p \sum y_{ij}^2 - (\sum \bar{y}_{ij})^2}{p(p-1)} - \frac{s_{rj}^2}{n_{ij}}$$

Aus der Varianz unter Wiederholbedingungen und der Varianz unter Zwischenbedingungen wird die Varianz unter Vergleichbedingungen gemäß DIN ISO 5725-2 nach der Formel 7 berechnet:

Formel 7 (Varianz unter Vergleichbedingungen)

$$s_{Rj}^2 = s_{rj}^2 + s_{Ij}^2$$

- Wiederholgrenze

Die Wiederholgrenze r ist ein Maß für den Betrag, um den zwei unter Wiederholbedingungen gewonnene Ermittlungsergebnisse mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % maximal differieren (Formel 8).

Formel 8 (Wiederholgrenze)

$$r = 1,96\sqrt{2} * s_r \text{ [mm/m]}$$

- Vergleichgrenze

Die Vergleichgrenze R ist ein Maß für den Betrag, um den zwei unter Vergleichbedingungen gewonnene Ermittlungsergebnisse mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % maximal differieren (Formel 9).

Formel 9 (Vergleichgrenze)

$$R = 1,96\sqrt{2} * s_R \text{ [mm/m]}$$

- Zwischengrenze

Für die Zwischengrenze L gilt sinngemäß dieselbe Definition wie für die Wiederhol- bzw. Vergleichgrenze. Sie wird durch dieselbe Beziehung aus der Standardabweichung unter Zwischenbedingungen errechnet.

1.3.2.3 Statistische Auswertung der Ergebnisse

Im Rahmen der Untersuchungen mit den beiden Schnelltests wurde die Dehnung an Mörtelprismen bestimmt. Das Ziel der Untersuchungen bestand darin herauszufinden, wie präzise mit den beiden Schnelltests die Dehnung an den Mörtelprismen infolge der speziellen Lagerungsbedingungen bestimmt werden kann, wenn die Labors nach der in der Alkali-Richtlinie beschriebenen Vorgehensweise arbeiten.

Die aus jeweils drei Einzelwerten berechneten Mittelwerte der Dehnung (Serienmittelwerte) bzw. die Mittelwerte der Serienmittelwerte je Labor (Labormittelwerte) stellen die eigentlichen Ergebnisse der beiden Schnelltests dar. Daher standen diese Größen im Zentrum der statistischen Auswertung.

Mithilfe von Ausreißertests nach GRUBBS gemäß DIN ISO 5725-2 wurde untersucht, ob der jeweilige Minimal- bzw. Maximalwert der Labormittelwerte der Dehnung zum jeweiligen Prüfzeitpunkt so stark von den Mittelwerten der anderen Labors abwich, dass er das Kriterium nach GRUBBS für einen statistischen Ausreißer erfüllte. Jeder statistische Ausreißer (Labormittelwert) wurde von der Berechnung der Präzisionswerte ausgeschlossen (Ergebnisse siehe Anhang).

Ergänzend dazu wurden die Varianzen der Labormittelwerte um den Gesamtmittelwert (Mittelwert aus den Labormittelwerten zum jeweiligen Prüfzeitpunkt) berechnet und mithilfe des Cochran-Tests gemäß DIN ISO 5725-2 untersucht, inwiefern die jeweils kleinste bzw. jeweils größte Varianz von den Varianzen der anderen Labors so weit abwich, dass das Kriterium für einen Fastausreißer bzw. für einen Ausreißer erfüllt wurde. Wurde das Kriterium für einen Fastausreißer erfüllt, so wurden – wie im FGSV-Merkblatt [4] festgelegt – die der Berechnung der Varianz zugrunde liegenden Labormittelwerte der Dehnung für die weitere Auswertung weiterverwendet. War das Kriterium für einen Ausreißer erfüllt, so wurden die entsprechenden Dehnungen von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Wurden Ausreißer ermittelt, so erfolgte nach deren Ausschluss ein wiederholter Ausreißertest. Wurden keine weiteren Ausreißer identifiziert, so wurden die Präzisionswerte auf der Basis der von den Ausreißern bereinigten Ergebnisse berechnet.

In der fünfmaligen Untersuchung der Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung G1 bzw. G2 in den Labors

L1 bis L3 unter Wiederholbedingungen (viermalige Wiederholung der jeweils ersten Prüferserie mit je drei Mörtelprismen) sind die Abweichungen aus der Aufbereitung und Teilung der Ausgangsstoffe (insbesondere der Gesteinskörnung), der Herstellung der Probekörper sowie aus dem eigentlichen Prüfungsvorgang enthalten. Mit den ggf. von statistischen Ausreißern bereinigten Ergebnissen wurden die Präzisionswerte in Anlehnung an DIN ISO 5725-2: 2002-12 für die Dehnung der Mörtelprismen mit den Gesteinskörnungen G1 bzw. G2 unter Wiederholbedingungen ermittelt.

Zusätzlich wurden die Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung G1 bzw. G2 in den Labors L4 und L5 jeweils einmal geprüft. Mit den Ergebnissen dieser beiden Labors wurde die Datenbasis für Untersuchungen unter Zwischenbedingungen verbreitert. Dadurch flossen Abweichungen aus der Herstellung und Prüfung der Mörtelprismen in fünf Labors in die Varianz Zwischenbedingungen s_L^2 (mit fünf Labors ermittelt) mit ein. Aus der Varianz unter Wiederholbedingungen s_R^2 (mit drei Labors ermittelt) und der Varianz unter Zwischenbedingungen s_L^2 wurde die Varianz unter Vergleichbedingungen s_R^2 ermittelt.

Die Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G3 wurden in allen fünf Labors nur einmal geprüft. G3 ist als Gesteinskörnung mit hoher Alkaliempfindlichkeit bekannt. Die Dehnungen von Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G3 liegen erfahrungsgemäß deutlich über dem Grenzwert der beiden Schnelltests. Sie wurden untersucht, um die Präzision auch für höhere Dehnungen zu ermitteln. Mit Gesteinskörnung G3 wurden ausschließlich Untersuchungen unter Zwischenbedingungen durchgeführt.

Wenn die jeweils untersuchte Gesteinskörnung aus demselben Produktionsprozess stammt, kann im Sinne der DIN ISO 5725-2 eine funktionale Beziehung zwischen den Präzisionswerten und dem arithmetischen Gesamtmittelwert bestehen. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden zwei gemäß Norm oft zutreffende Beziehungen zwischen der Standardabweichung bzw. dem Variationskoeffizient und dem arithmetischen Gesamtmittelwert unter Wiederhol- bzw. Vergleichbedingungen (G1 bzw. G2) bzw. unter Zwischenbedingungen (G3) untersucht.

I: $s = a + b \cdot m$
(Gerade mit einem positiven Achsenabschnitt),

II: $v = C \cdot m^d$ mit $d \leq 1$
(Exponentialfunktion).

Die Regressionsgeraden bzw. Regressionskurven wurden für alle untersuchten Gesteinskörnungen getrennt dargestellt.

2 Referenzprüfverfahren (Ringversuche 2005-2011)

2.1 Allgemeines

In den Jahren 2005 bis 2011 wurden Ringversuche mit dem Referenzprüfverfahren durchgeführt, an denen bis zu 34 Labors zur Teilnahme aufgerufen waren. Die Ringversuche wurden von der TU Hamburg-Harburg koordiniert. Aufgrund von Nichtteilnahme bzw. signifikant abweichender Ergebnisse lagen für die einzelnen Jahre schlussendlich minimal 15 und maximal 32 mit dem Referenzprüfverfahren ermittelte Ergebnisreihen zur statistischen Auswertung vor.

2.2 Dehnungsverlauf

Die Dehnungsverläufe der Mörtelprismen (Serienmittelwerte) der Jahre 2005 bis 2011 (siehe Bild 1 bis Bild 3) wurden den von der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TU) zur Verfügung gestellten Dateien entnommen.

Die Mittelwerte der Dehnung aus den drei Einzelwerten (Prisma 1, Prisma 2 und Prisma 3) sind in Tabelle 21 bis Tabelle 26 (Anhang) dargestellt. Die Einzel- bzw. Mittelwerte der Dehnung wurden von den einzelnen Labors im Prüfaller von 1 bis 13 Tagen (zum Teil auch darüber hinaus) bestimmt.

Die Dehnungsverläufe von je drei Mörtelprismen (Serienmittelwerte) pro Labor sind für die Jahre 2005, 2006, 2008, 2009, 2010 und 2011 in Bild 1 bis Bild 3 grafisch dargestellt. Die Labornummer wurde mit „L“ + Nr. bzw. nur mit Nr. bezeichnet. Zur besseren Übersicht wurden die Dehnungsverläufe über mehrere Diagramme pro Ringversuch verteilt.

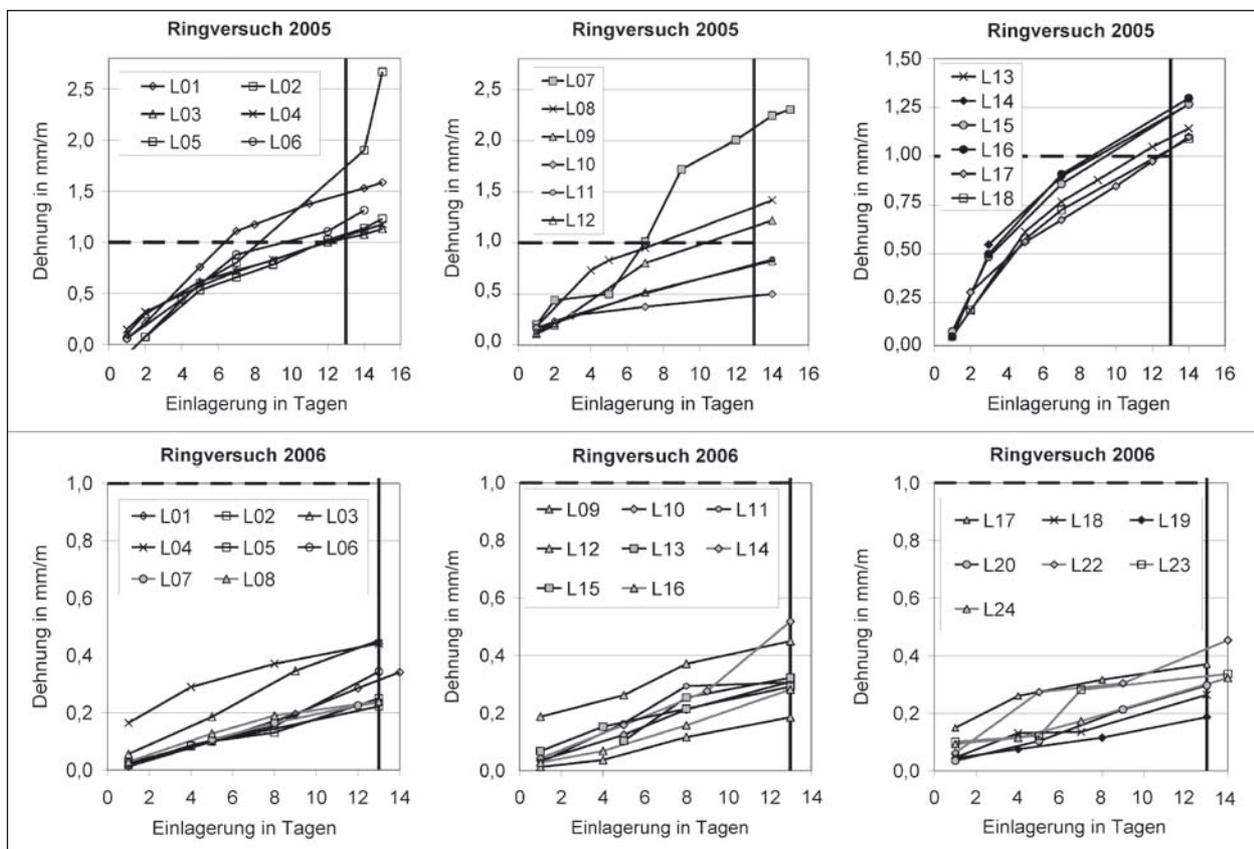


Bild 1: Dehnungsverläufe der Mörtelprismen aus den Ringversuchen in 2005 und 2006

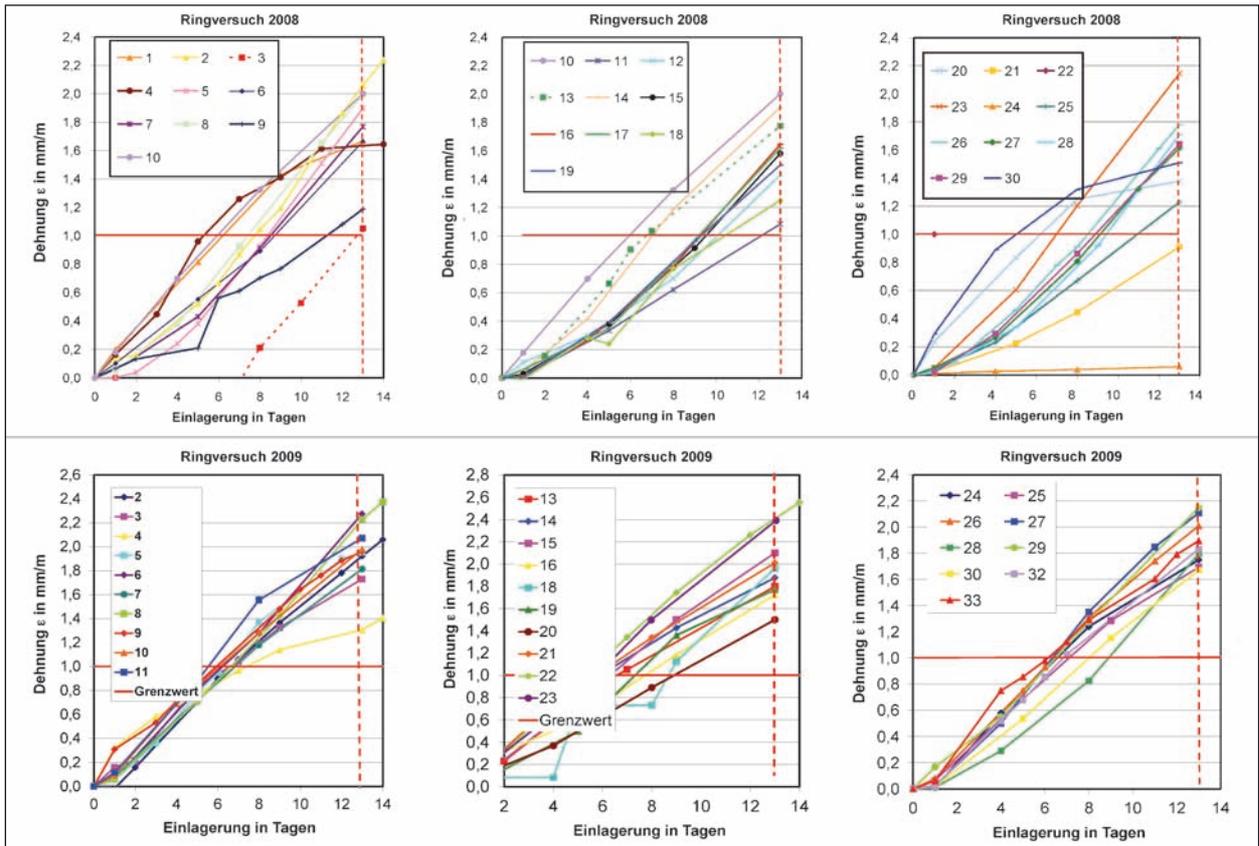


Bild 2: Dehnungsverläufe der Mörtelprismen aus den Ringversuchen in 2008 und 2009

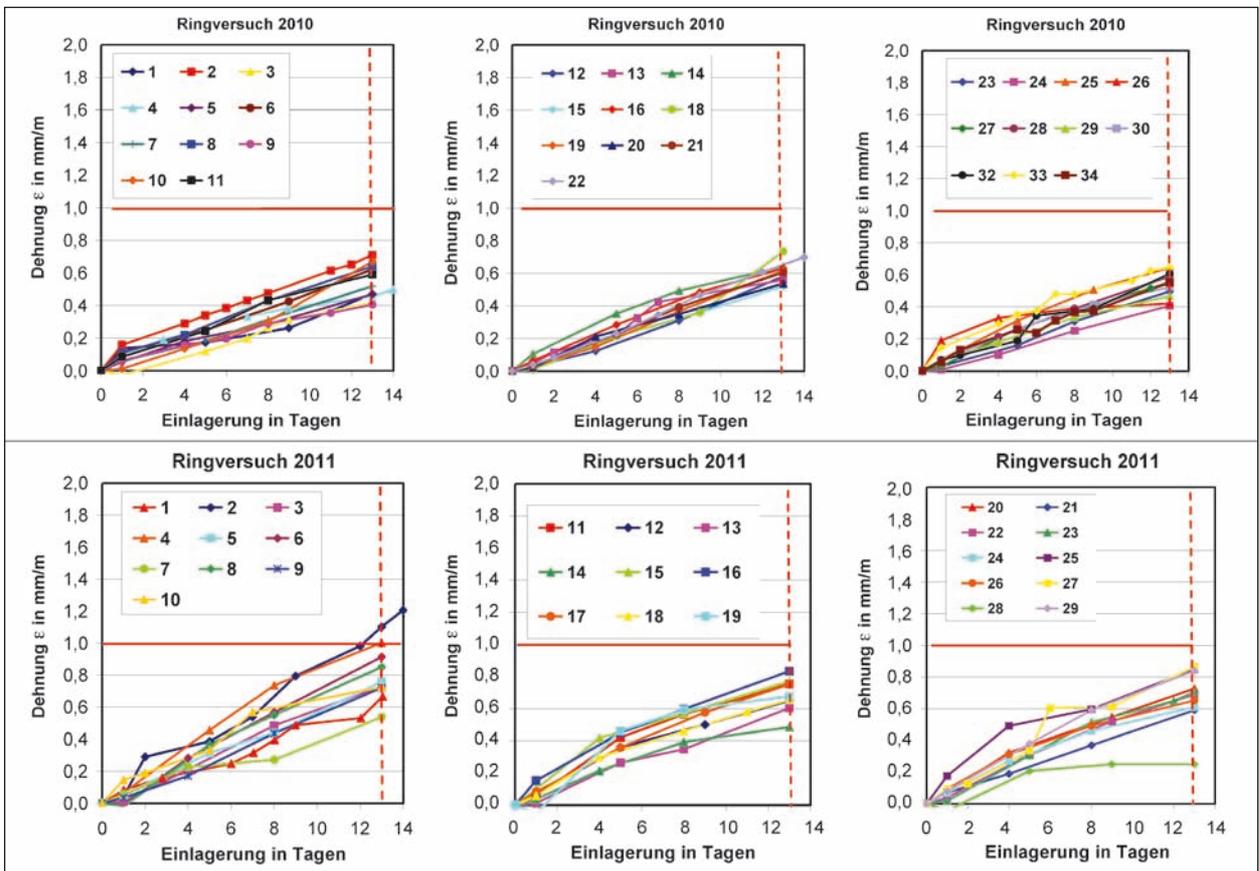


Bild 3: Dehnungsverläufe der Mörtelprismen aus den Ringversuchen in 2010 und 2011

2.3 Präzisionswerte nach DIN ISO 5725-2

2.3.1 Auswertung der Rohdaten

In den Ringversuchen 2005 bis 2011 wurde in jedem teilnehmenden Labor jeweils eine Prüfung mit dem Referenzprüfverfahren durchgeführt. Für die unter Zwischenbedingungen ermittelten Serienmittelwerte (= Labormittelwerte m_L) der Dehnung wurden die Präzisionswerte mit einer Statistiksoftware ermittelt, die für die Berechnungen nach DIN ISO 5725-2 ausgelegt ist. Im Ringversuch von 2005 wurde nicht nach 13 Tagen, sondern nach 14 Tagen geprüft.

2.3.2 Übersicht über die Präzisionswerte

Wie in DIN ISO 5725-2 vom Dezember 2002 empfohlen, sind neben dem Gesamtmittelwert m_j die Zwischenstandardabweichung s_L und die Zwischengrenze L angegeben. In Tabelle 4 wurden nur die Präzisionswerte der Gesamtmittelwerte für die Prüfzeitpunkte nach Alkali-Richtlinie (Stand Februar 2007), d. h. nach 1, 4, 5, 8, 9 und 13 Tagen Lagerung, zusammengefasst.

Zusätzlich wurde der Zwischenvariationskoeffizient v_L angegeben. Mit dieser Größe wird berücksichtigt, dass eine große Standardabweichung bei kleinem Mittelwert ein anderes Gewicht hat als bei einem großen Mittelwert. Sie ist ein Maß für den relativen Fehler unter Zwischenbedingungen. Der Variationskoeffizient lag unter Zwischenbedingungen im Bereich von rd. 15 bis rd. 30 %.

Bezeichnung		Jahr	Tage						Einheit
			1	4	5	8	9	13	
Gesamtmittelwert	m_j	2005	0,117	0,586	0,615	1,175	0,827	1,237 ¹⁾	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,046	0,206	0,103	n. b.	0,040	0,388 ¹⁾	mm/m
Zwischengrenze	L		0,128	0,572	0,284	n. b.	0,110	1,074 ¹⁾	mm/m
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		39,5	35,2	16,7	n. b.	4,8	31,3 ¹⁾	%
Gesamtmittelwert	m_j	2006	0,058	0,130	0,147	0,214	0,267	0,314	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,052	0,083	0,058	0,088	0,063	0,094	mm/m
Zwischengrenze	L		0,145	0,230	0,160	0,244	0,174	0,262	mm/m
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		89,4	64,0	39,4	41,2	23,5	30,1	%
Gesamtmittelwert	m_j	2008	0,068	0,356	0,471	0,857	1,114	1,606	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,076	0,228	0,228	0,302	0,278	0,300	mm/m
Zwischengrenze	L		0,211	0,633	0,632	0,837	0,770	0,831	mm/m
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		111,1	64,1	48,4	35,3	25,0	18,7	%
Gesamtmittelwert	m_j	2009	0,093	0,526	0,753	1,225	1,317	1,873	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,085	0,208	0,115	0,227	0,24	0,274	mm/m
Zwischengrenze	L		0,235	0,577	0,32	0,629	0,664	0,759	mm/m
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		90,9	39,6	15,3	18,5	18,2	14,6	%
Gesamtmittelwert	m_j	2010	0,065	0,199	0,242	0,362	0,395	0,558	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,048	0,070	0,063	0,071	0,070	0,090	mm/m
Zwischengrenze	L		0,133	0,195	0,174	0,197	0,195	0,249	mm/m
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		74,2	35,4	25,9	19,6	17,8	16,1	%
Gesamtmittelwert	m_j	2011	0,059	0,283	0,374	0,496	0,568	0,718	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,054	0,095	0,093	0,108	0,191	0,161	mm/m
Zwischengrenze	L		0,149	0,263	0,257	0,298	0,528	0,447	mm/m
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		91,4	33,5	24,8	21,7	33,6	22,5	%

¹⁾ im Ringversuch 2005 nach 14 anstatt nach 13 Tagen bestimmt

Tab. 4: Präzisionswerte aus den Ringversuchen 2005-2011 mit dem Referenzprüfverfahren

2.3.3 Funktionale Beziehung zwischen Präzisionswerten und dem arithmetischen Gesamtmittelwert der Dehnung

Die Labormittelwerte, die Standardabweichungen und die Variationskoeffizienten sind für das entsprechende Prüfalter für die unter Zwischenbedingungen ermittelten Dehnungen in Tabelle 5 bis Tabelle 7 tabellarisch zusammengefasst. (Die Verteilung der Anzahl der zur Präzisionswertbestimmung verwendeten Ergebnisse ist in Bild 4 dargestellt.)

Mit diesen Größen wurde nach DIN ISO 5725-2 [3] untersucht, inwiefern zwischen den Präzisionswerten s bzw. v und dem Merkmal Dehnung eine funktionale Beziehung besteht. Die funktionale

Beziehung zwischen Standardabweichung s_L und Labormittelwert der Dehnung m_L wurde – wie in [3] beschrieben – als linear angenommen (Regressionsgerade). Die funktionale Beziehung zwischen Variationskoeffizient v_L und Labormittelwert der Dehnung m_L wurde in Anlehnung an [3] als Exponentialfunktion angenommen (Regressionskurve). Die Regressionsgeraden bzw. Regressionskurven sind in Bild 5 bis Bild 11 abgebildet. Ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 1,0$ zeigt eine starke funktionale Beziehung zwischen den Größen an. Ein Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0$ weist auf eine vollständige Unabhängigkeit beider Größen hin. Das heißt, die Stärke der untersuchten Beziehung nimmt mit der Größe des Bestimmtheitsmaßes zu.

Tage	2005				2006				
	EW ¹⁾	m_L	s_L	v_L	Tage	EW ¹⁾	m_L	s_L	v_L
-	-	mm/m	mm/m	%	-	-	mm/m	mm/m	%
1	14	0,117	0,046	39,5	1	23	0,058	0,052	89,4
2	11	0,246	0,093	37,8	4	10	0,130	0,083	64,0
4	4	0,455	0,112	24,6	5	14	0,147	0,058	39,4
5	2	0,586	0,206	35,2	7	4	0,218	0,076	34,6
6	10	0,615	0,103	16,7	8	15	0,214	0,088	41,2
7	18	0,770	0,185	24,0	9	5	0,267	0,063	23,5
8	1	1,175	n. b.	n. b.	12	2	0,256	0,043	16,9
9	5	0,827	0,040	4,8	13	19	0,314	0,094	30,1
10	1	0,846	n. b.	n. b.	14	4	0,335	0,008	2,4
11	6	1,026	0,047	4,5					
12	18	1,237	0,388	31,3					
13	6	1,682	0,653	38,8					
14	3	2,034	0,378	18,6	13	28	1,873	0,274	14,6
15	1	2,238	n. b.	n. b.	14	4	2,099	0,505	24,1

¹⁾ Anzahl Einzelwerte ohne Ausreißer

Tab. 5: Labormittelwerte, Standardabweichung und Variationskoeffizient der Dehnung unter Zwischenbedingungen aus den Ringversuchen 2005, 2006

2008					2009				
Tage	EW ¹⁾	m _L	s _L	v _L	Tage	EW ¹⁾	m _L	s _L	v _L
-	-	mm/m	mm/m	%	-	-	mm/m	mm/m	%
1	28	0,068	0,076	111,1	1	28	0,093	0,085	90,9
2	6	0,118	0,046	39,3	2	3	0,202	0,039	19,2
4	12	0,356	0,228	64,1	3	3	0,492	0,114	23,2
5	19	0,471	0,228	48,4	4	11	0,526	0,208	39,6
6	4	0,466	0,428	92,0	5	20	0,753	0,115	15,3
7	8	0,787	0,394	50,1	6	6	0,924	0,043	4,7
8	22	0,857	0,302	35,3	7	7	1,088	0,122	11,2
9	8	1,114	0,278	25,0	8	16	1,225	0,227	18,5
10	1	0,527	n. b.	n. b.	9	13	1,317	0,240	18,2
11	4	1,524	0,147	9,6	10	1	1,646	n. b.	n. b.
12	4	1,480	0,436	29,5	11	4	1,738	0,101	5,8
13	27	1,606	0,300	18,7	12	5	1,924	0,196	10,2
14	3	2,034	0,378	18,6	13	28	1,873	0,274	14,6
15	1	2,238	n. b.	n. b.	14	4	2,099	0,505	24,1
20	1	2,394	n. b.	n. b.	15	1	2,183	n. b.	n. b.
					16	1	2,300	n. b.	n. b.
					19	1	2,725	n. b.	n. b.

¹⁾ Anzahl Einzelwerte ohne Ausreißer

Tab. 6: Labormittelwerte, Standardabweichung und Variationskoeffizient der Dehnung unter Zwischenbedingungen aus den Ringversuchen 2008, 2009

2008					2009				
Tage	EW ¹⁾	m _L	s _L	v _L	Tage	EW ¹⁾	m _L	s _L	v _L
-	-	mm/m	mm/m	%	-	-	mm/m	mm/m	%
1	32	0,065	0,048	74,2	1	29	0,059	0,054	91,4
2	4	0,108	0,021	19,6	2	3	0,272	0,075	27,7
3	1	0,192	n. b.	n. b.	3	1	0,158	n. b.	n. b.
4	13	0,199	0,070	35,4	4	12	0,283	0,095	33,5
5	21	0,242	0,063	25,9	5	16	0,374	0,093	24,8
6	6	0,310	0,076	24,4	6	2	0,429	0,260	60,4
7	7	0,361	0,093	25,9	7	3	0,475	0,139	29,3
8	21	0,362	0,071	19,6	8	21	0,496	0,108	21,7
9	12	0,395	0,070	17,8	9	8	0,568	0,191	33,6
11	3	0,511	0,138	27,1	11	1	0,580	n. b.	n. b.
12	4	0,600	0,059	9,8	12	3	0,720	0,233	32,4
13	31	0,558	0,090	16,1	13	28	0,718	0,161	22,5
14	2	0,598	0,141	23,7	14	1	1,206	n. b.	n. b.
					19	1	0,954	n. b.	n. b.
					22	1	1,072	n. b.	n. b.
					25	1	1,219	n. b.	n. b.
					28	1	1,355	n. b.	n. b.

¹⁾ Anzahl Einzelwerte ohne Ausreißer

Tab. 7: Labormittelwerte, Standardabweichung und Variationskoeffizient der Dehnung unter Zwischenbedingungen aus den Ringversuchen 2010, 2011

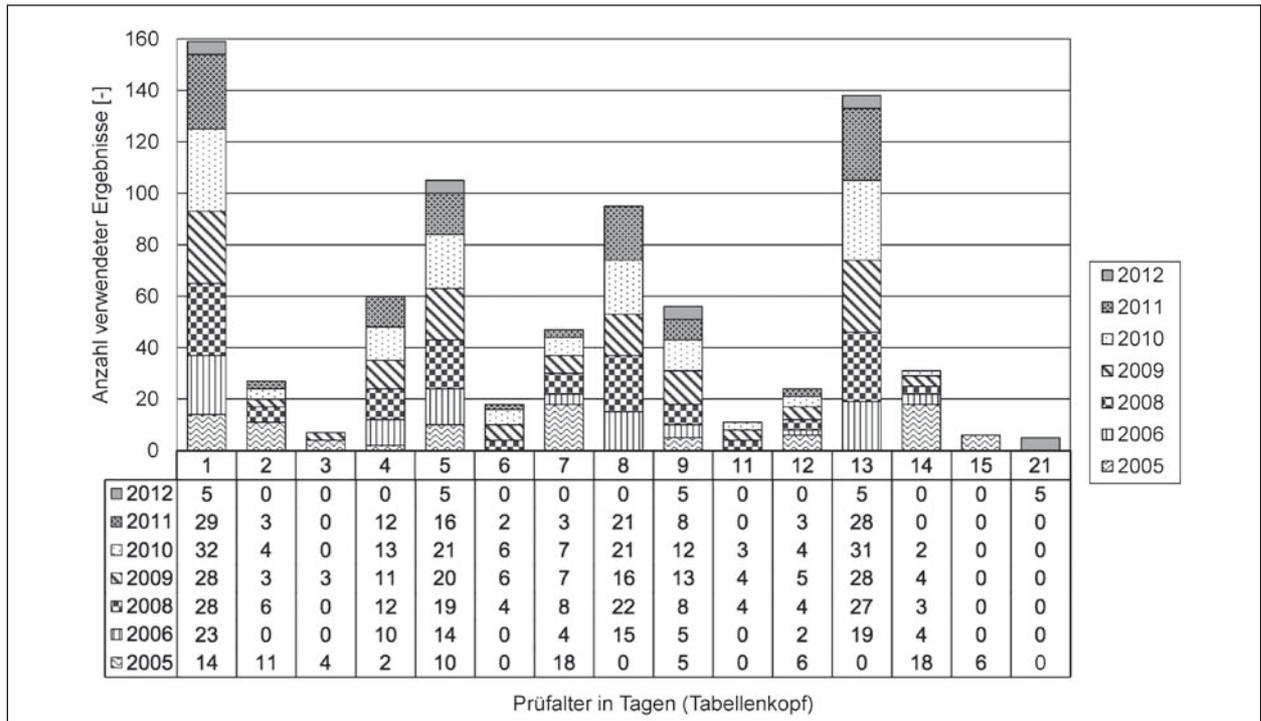


Bild 4: Anzahl der aus den Ringversuchen 2005-2011 und den Vergleichsuntersuchungen 2012 für das jeweilige Prüfalter zur Berechnung von Präzisionsdaten verwendeten Ergebnisse (Serienmittelwerte der Dehnung)

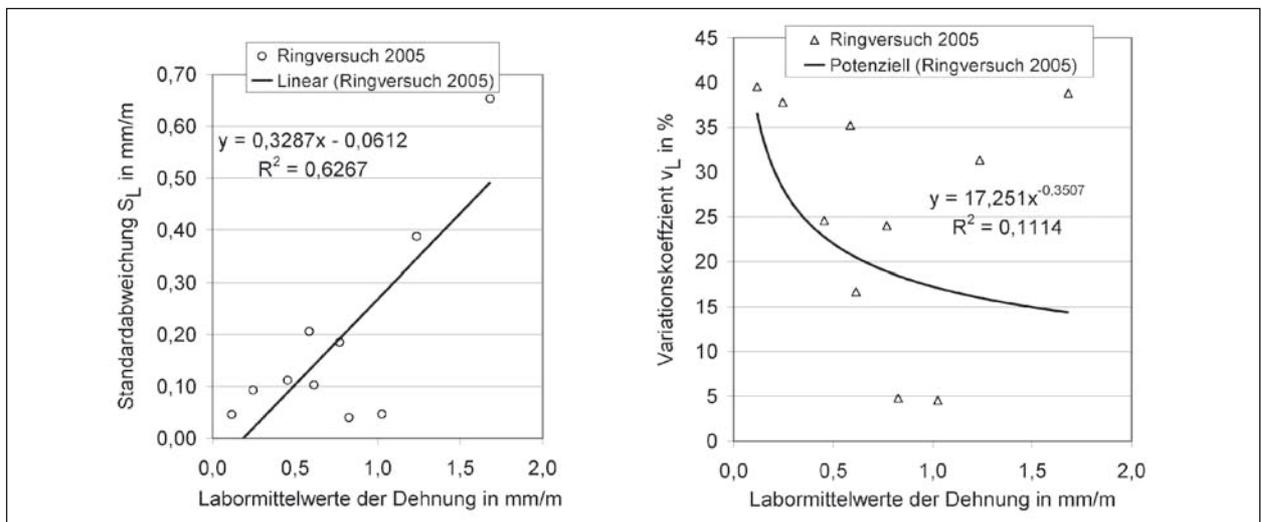


Bild 5: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten – aufgetragen über die Dehnung unter Zwischenbedingungen (Ringversuch 2005)

Bild 5 stellt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen den im Ringversuch in 2005 unter Zwischenbedingungen ermittelten Labormittelwerten der Dehnung und den Präzisionswerten Standardabweichung s_L (linkes Diagramm) bzw. Variationskoeffizient v_L (rechtes Diagramm) dar.

Bild 6 stellt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen den im Ringversuch in 2006 unter Zwischenbedingungen ermittelten Labormittelwerten der Dehnung und den Präzisionswerten

Standardabweichung s_L (linkes Diagramm) bzw. Variationskoeffizient v_L (rechtes Diagramm) dar. Das geringe Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,04$) deutet darauf hin, dass die Standardabweichung von der ermittelten Dehnung unabhängig ist. Der Variationskoeffizient ist hingegen stärker von der Dehnung abhängig. Das Bestimmtheitsmaß ist deutlich größer ($R^2 = 0,51$).

Bild 7 stellt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen den im Ringversuch in 2008

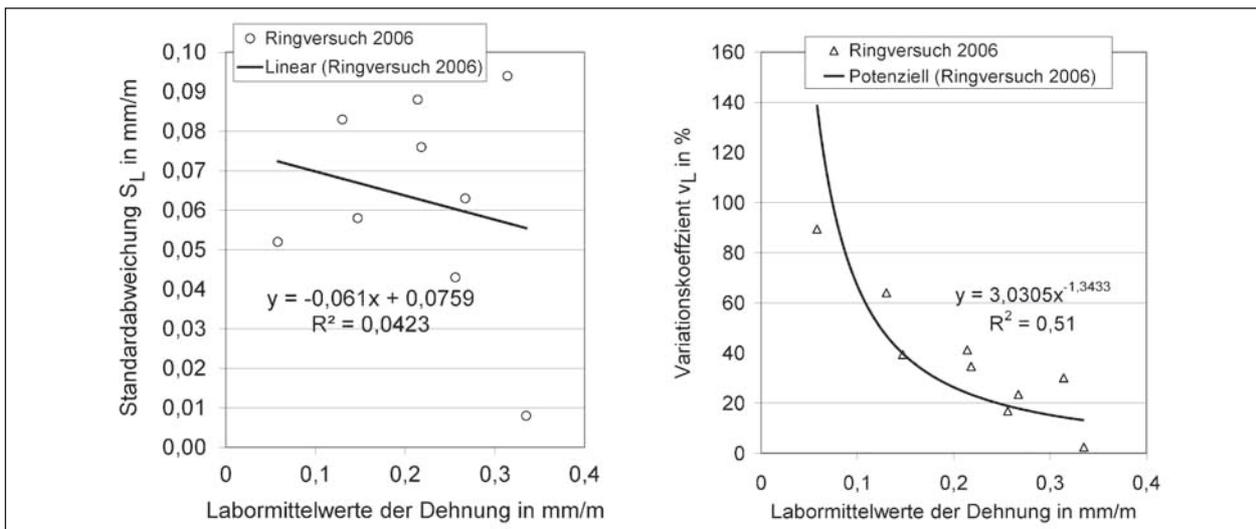


Bild 6: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten – aufgetragen über die Dehnung unter Zwischenbedingungen (Ringversuch 2006)

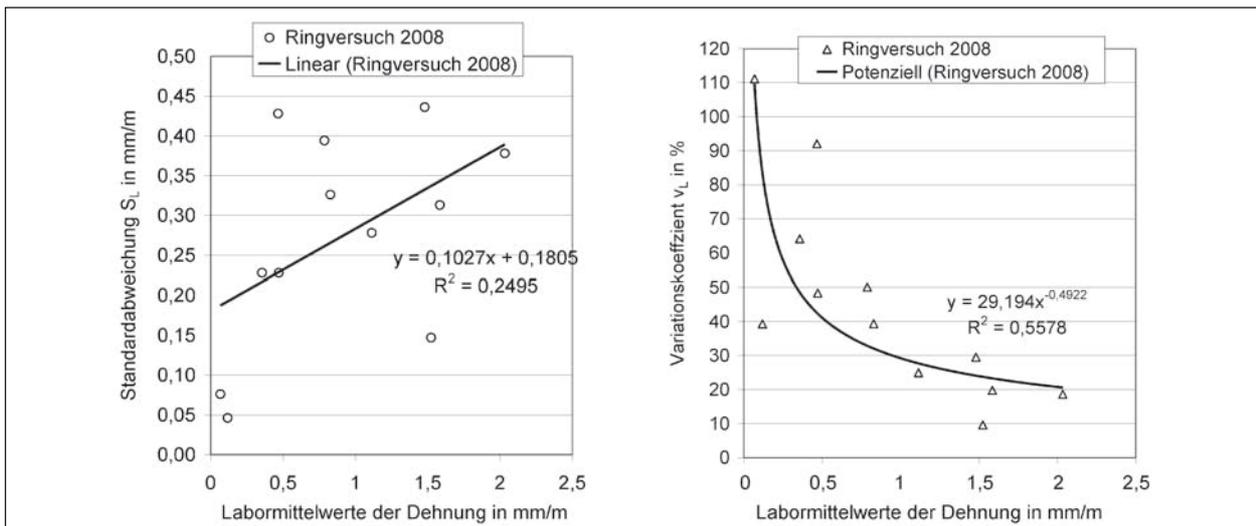


Bild 7: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten – aufgetragen über die Dehnung unter Zwischenbedingungen (Ringversuch 2008)

unter Zwischenbedingungen ermittelten Labormittelwerten der Dehnung und den Präzisionswerten Standardabweichung s_L (linkes Diagramm) bzw. Variationskoeffizient v_L (rechtes Diagramm) dar. Das eher geringe Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,25$) deutet darauf hin, dass die Standardabweichung von der ermittelten Dehnung eher unabhängig ist. Der Variationskoeffizient ist hingegen deutlich stärker von der Dehnung abhängig. Das Bestimmtheitsmaß ist signifikant größer ($R^2 = 0,56$).

Bild 8 stellt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen den im Ringversuch in 2009 unter Zwischenbedingungen ermittelten Labormittelwerten der Dehnung und den Präzisionswerten Standardabweichung s_L (linkes Diagramm) bzw. Variationskoeffizient v_L (rechtes Diagramm) dar. Die beiden Bestimmtheitsmaße ($R^2 = 0,45$ bzw.

$0,42$) deuten darauf hin, dass die Standardabweichung bzw. der Variationskoeffizient von der ermittelten Dehnung mäßig stark abhängig sind.

Bild 9 stellt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen den im Ringversuch in 2010 unter Zwischenbedingungen ermittelten Labormittelwerten der Dehnung und den Präzisionswerten Standardabweichung s_L (linkes Diagramm) bzw. Variationskoeffizient v_L (rechtes Diagramm) dar. Die beiden Bestimmtheitsmaße ($R^2 = 0,48$ bzw. $0,49$) deuten darauf hin, dass die Standardabweichung bzw. der Variationskoeffizient von der ermittelten Dehnung mäßig stark abhängig sind.

Bild 10 stellt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen den im Ringversuch in 2011 unter Zwischenbedingungen ermittelten Labormit-

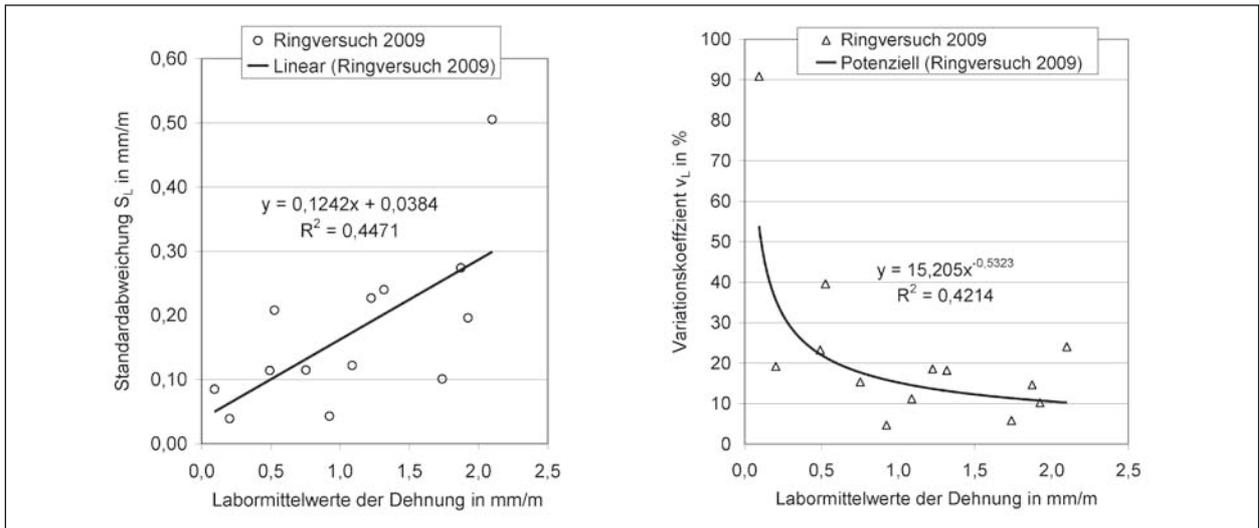


Bild 8: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten – aufgetragen über die Dehnung unter Zwischenbedingungen (Ringversuch 2009)

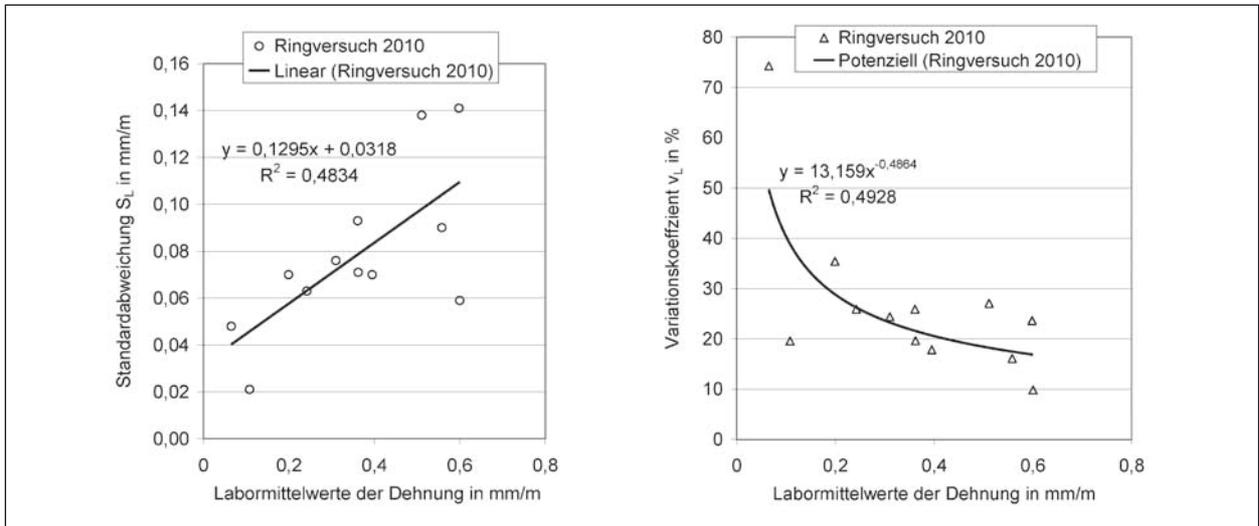


Bild 9: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten – aufgetragen über die Dehnung unter Zwischenbedingungen (Ringversuch 2010)

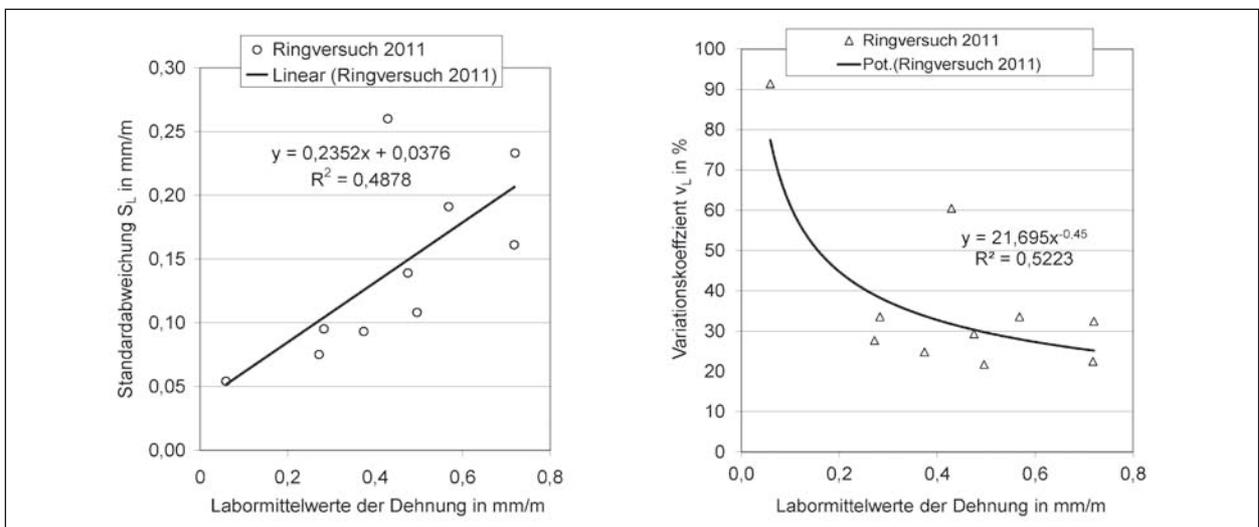


Bild 10: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten aufgetragen über die Dehnung unter Zwischenbedingungen (Ringversuch 2011)

telwerten der Dehnung und den Präzisionswerten Standardabweichung s_L (linkes Diagramm) bzw. Variationskoeffizient v_L (rechtes Diagramm) dar. Die beiden Bestimmtheitsmaße ($R^2 = 0,49$ bzw. $0,52$) deuten darauf hin, dass die Standardabweichung bzw. der Variationskoeffizient von der ermittelten Dehnung mäßig stark abhängig sind.

Um eine Aussage über die Präzision des Referenzprüfverfahrens über alle Ringversuche zu treffen, wurden alle unter Zwischenbedingungen ermittelten Labormittelwerte (= Serienmittelwerte) der Dehnung der Jahre 2005 bis 2011 gemeinsam untersucht. Auf Basis der Labormittelwerte wurden die Gesamtmittelwerte pro Jahr ermittelt (siehe Tabelle 4). Bild 11 stellt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen den Gesamtmittelwerten der Dehnung und den Präzisionswerten der Deh-

nung – der Standardabweichung s_L (linkes Diagramm) bzw. dem Variationskoeffizienten v_L (rechtes Diagramm) – dar. Die beiden Bestimmtheitsmaße ($R^2 = 0,62$ bzw. $0,58$) deuten darauf hin, dass die Standardabweichung bzw. der Variationskoeffizient von der ermittelten Dehnung mittel bis stark abhängig sind.

Bei der Validierung von Prüfverfahren wurde in der Vergangenheit in der Regel die Präzision am Grenzwert verglichen. Der jeweils am Grenzwert der maximal zulässigen Dehnung ermittelte Präzisionswert v_L (Variationskoeffizient unter Zwischenbedingungen) ist in Tabelle 8 dargestellt. Der Variationskoeffizient v_L zwischen den Labors aus den Ringversuchen 2005-2011 beträgt am Grenzwert der maximal zulässigen Dehnung (1,0 mm/m) rd. 20 % (Bild 11).

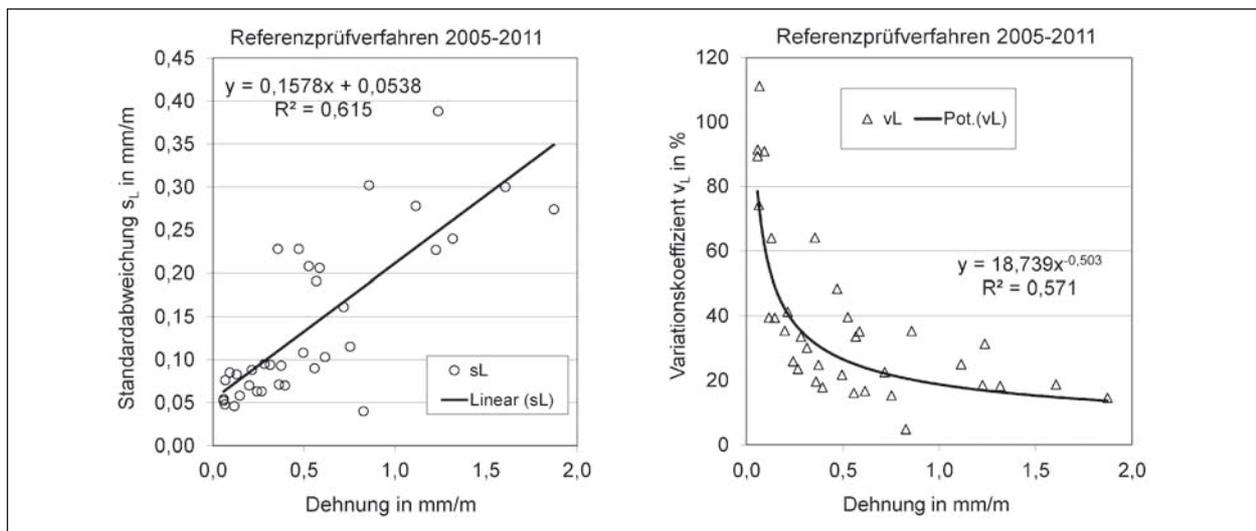


Bild 11: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten unter Zwischenbedingungen aufgetragen über die Gesamtmittelwerte aus den Ringversuchen 2005 bis 2011

Jahr der Untersuchung	Bezeichnung des Sediment- bzw. Festgesteins	Art der Gesteinskörnung	Grenzwert der Dehnung	v_L in %
2005	Kies	natürlich	1,0 mm/m (SPV)	17,3
2006	Granit	gebrochen		n. bb.
2008	Rhyolith	gebrochen		29,2
2009	Kies	natürlich		15,2
2010	Granodiorit	gebrochen		n. bb.
2011	Gemisch aus Kies/Granodiorit	natürlich/gebrochen		
2005-2011	-	-		18,7

n. bb.: nicht bestimmbar, da 1,0 mm/m nicht im Wertebereich eingeschlossen

Tab. 8: Variationskoeffizient unter Zwischenbedingungen der Ringversuche am Grenzwert von 1,0 mm/m

3 Referenzprüfverfahren 2012

Mit dem Schnellprüfverfahren (Referenzprüfverfahren) nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie des DAfStb [1] wurde die Alkaliempfindlichkeit von drei Gesteinskörnungen 8/16 mm (siehe Kapitel 1.3.2.1) unterschiedlicher Alkaliempfindlichkeit untersucht. Dazu wurde die Längenänderung von jeweils drei Mörtelprismen über die in der Alkali-Richtlinie festgelegte 13-tägige Lagerung hinaus bis zur 21-tägigen Lagerung in $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$ heißer 1-molarer NaOH-Lösung bestimmt.

3.1 Frischmörtelprüfung

Die Zusammensetzung, Herstellung, Lagerung und Prüfung der Mörtel für die Untersuchung mit dem Referenzprüfverfahren erfolgten gemäß den Festlegungen in Teil 3 der Alkali-Richtlinie 2007.

Die mit dem Hägermantisch ermittelten Ausbreitmaße der geprüften Mörtel sind in Tabelle 9 aufgeführt. Zusätzlich wurde erfasst, ob zum Erreichen des Zielkonsistenzbereichs Fließmittel (FM) eingesetzt wurde.

3.2 Dehnungsverlauf

In den Labors L1 bis L3 wurde mit den Gesteinskörnungen G1 und G2 jeweils fünfmal eine Untersuchung mit dem Referenzprüfverfahren durchgeführt. Im Labor L4 und Labor L5 wurde jede Gesteinskörnung einmal untersucht.

In Bild 12 bis Bild 20 ist der mittlere Dehnungsverlauf für jede Serie (3 Prismen) dargestellt. In Labor L1, L2 und L3 ermittelte Dehnungen wurden einzeln (Bild 12 bis Bild 14, Bild 16 bis Bild 18), die in Labor L4 und L5 ermittelten Dehnungen jeweils in einem Diagramm gemeinsam dargestellt (Bild 15, Bild 19).

Die Gesteinskörnung G3 wurde in jedem Labor einmal untersucht. Daher wurden alle ermittelten Dehnungen in einem Diagramm zusammengefasst (Bild 20).

In Labor L3 wurde die Dehnung nach einem Tag nicht bestimmt (Bild 14 bzw. Bild 18). Die Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung G1 zeigten mit dem Referenzprüfverfahren eine über dem Grenzwert liegende Dehnung.

GK	Prüfung	Labor									
		1		2		3		4		5	
		a [mm]	FM	a [mm]	FM						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
G1	1	125	nein	140	nein	n. b.	nein	127	nein	140	ja
	2	124		125		121	nein				
	3	126		130		130	ja				
	4	125		128		126	nein				
	5	124		130		126	nein				
G2	1	130	ja	130	ja	126	ja	130	ja	125	ja
	2	133		120		124					
	3	133		122		124					
	4	130		125		126					
	5	130		120		120					
G3	1	122	ja	125	nein	130	ja	124	nein	125	ja

Tab. 9: Ausbreitmaße und Fließmitteleinsatz (Referenzprüfverfahren)

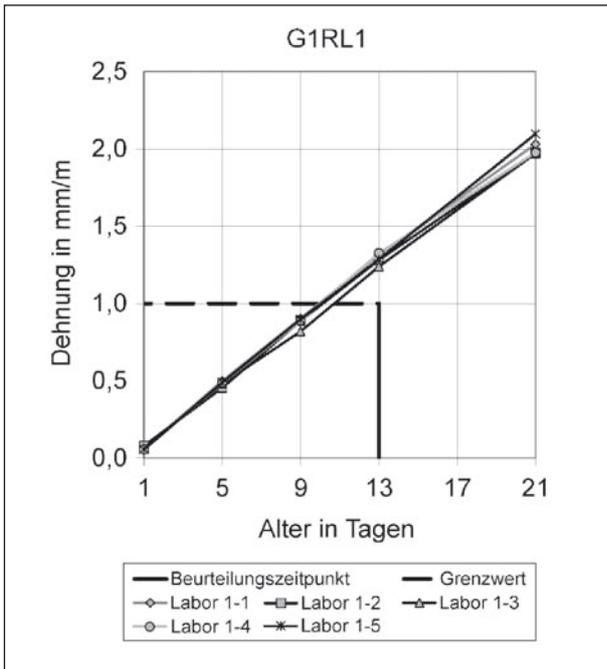


Bild 12: Dehnungsverlauf Labor 1 mit Gesteinskörnung G1 mit dem Referenzprüfverfahren

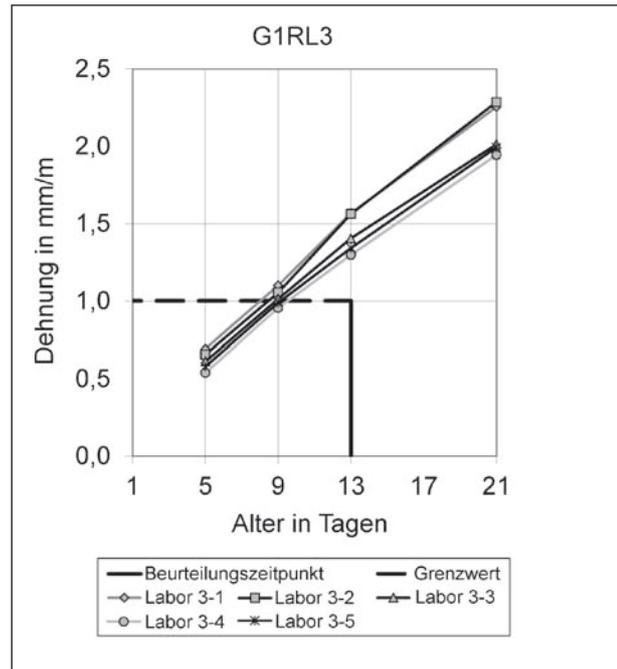


Bild 14: Dehnungsverlauf Labor 3 mit Gesteinskörnung G1 mit dem Referenzprüfverfahren

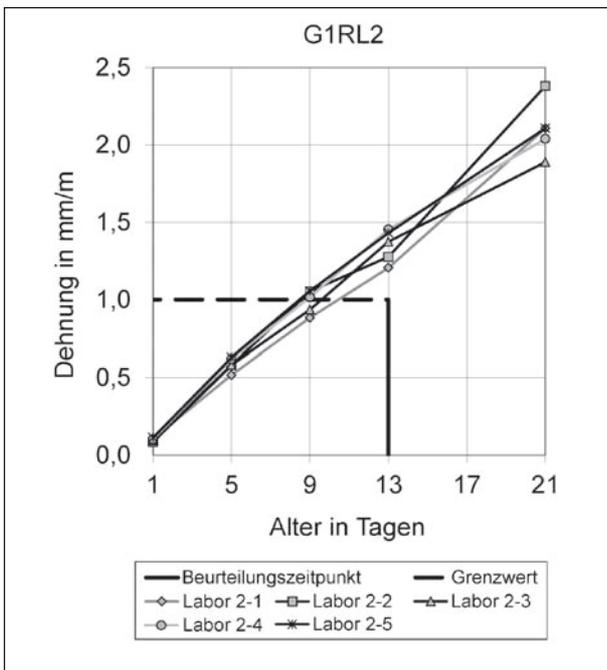


Bild 13: Dehnungsverlauf Labor 2 mit Gesteinskörnung G1 mit dem Referenzprüfverfahren

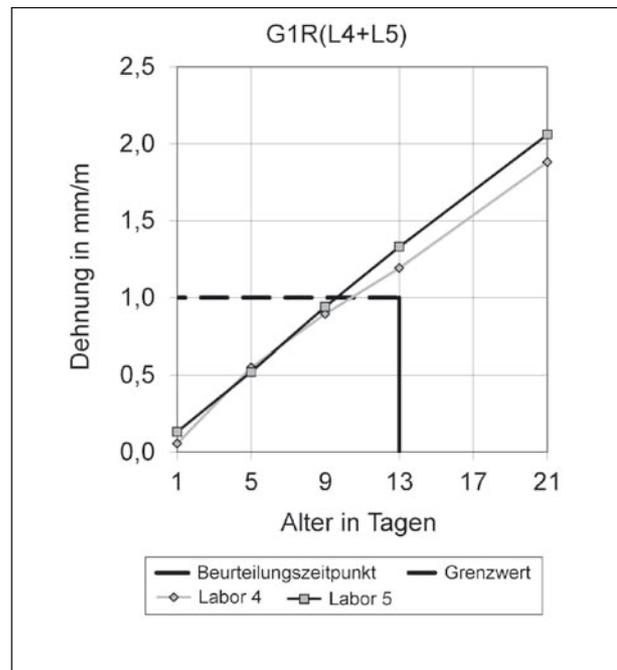


Bild 15: Dehnungsverlauf Labor 4 und 5 mit Gesteinskörnung G1 mit dem Referenzprüfverfahren

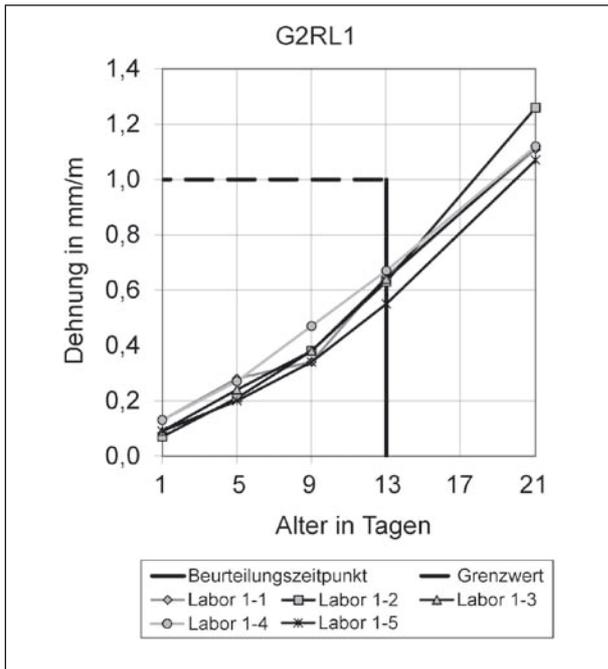


Bild 16: Dehnungsverlauf Labor 1 mit Gesteinskörnung G2 mit dem Referenzprüfverfahren

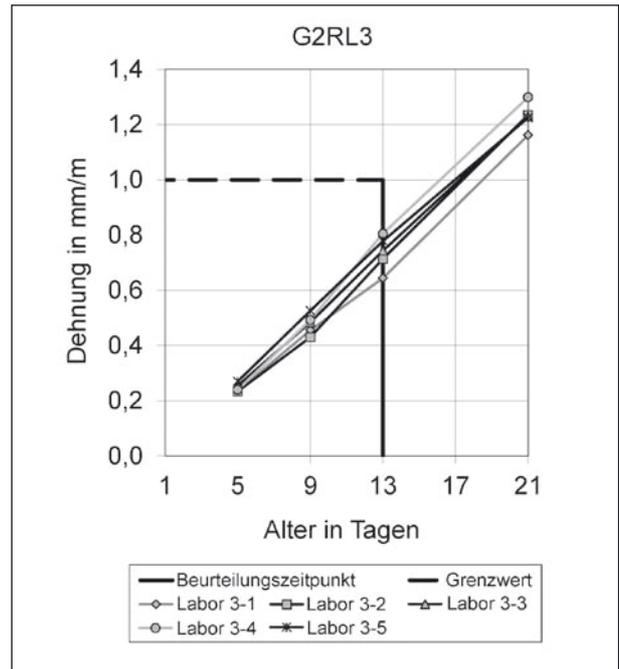


Bild 18: Dehnungsverlauf Labor 3 mit Gesteinskörnung G2 mit dem Referenzprüfverfahren

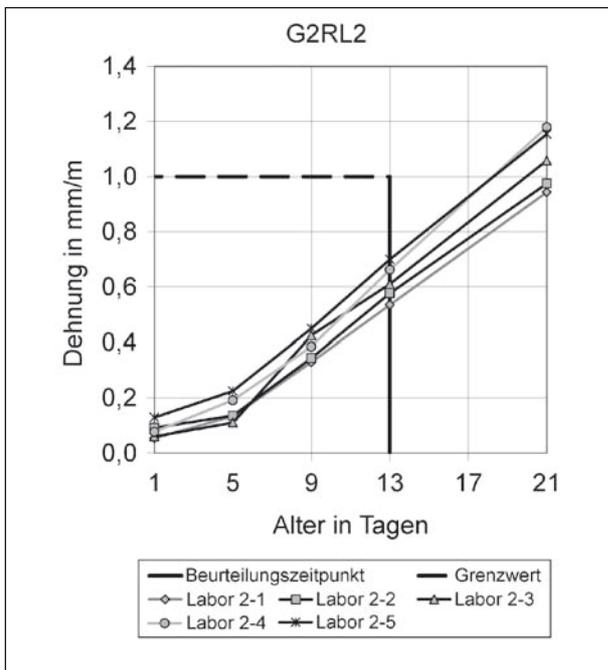


Bild 17: Dehnungsverlauf Labor 2 mit Gesteinskörnung G2 mit dem Referenzprüfverfahren

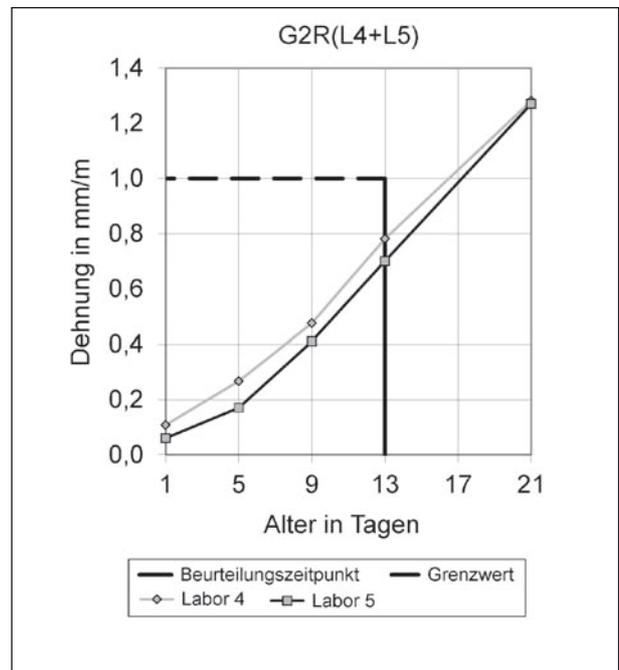


Bild 19: Dehnungsverlauf Labor 4 und 5 mit Gesteinskörnung G2 mit dem Referenzprüfverfahren

Die Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung G2 zeigten mit dem Referenzprüfverfahren nach 13 Tagen eine deutlich unter dem Grenzwert liegende Dehnung (siehe Bilder 16 bis 19).

Die Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung G3 zeigten mit dem Referenzprüfverfahren eine deutlich über dem Grenzwert liegende Dehnung (siehe Bild 20).

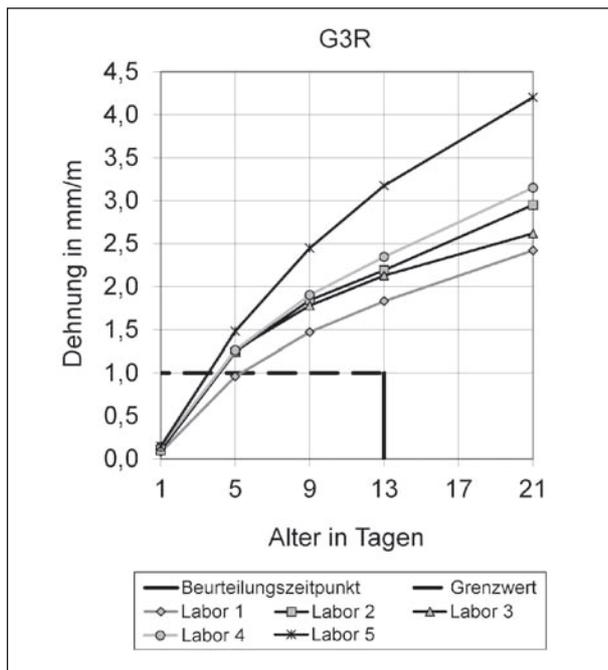


Bild 20: Dehnungsverlauf Labor 1 bis 5 mit Gesteinskörnung G3 mit dem Referenzprüfverfahren

3.3 Präzisionswerte nach DIN ISO 5725-2

3.3.1 Auswertung der Rohdaten

Zu Beginn der statistischen Auswertung der Untersuchungen in 2012 wurden die Mittelwerte der Dehnung mit dem Ausreißertest nach GRUBBS auf statistische Ausreißer hin untersucht. Dabei wurde für jedes Merkmalsniveau (Prüfalter) geprüft, ob ein Minimal- bzw. Maximalwert als statistischer Ausreißer anzusehen ist (siehe Anhang – Tabelle 48, Tabelle 58, Tabelle 67 bzw. Tabelle 75).

Mit dem Cochran-Test wurde jeweils die minimale bzw. maximale Varianz der Mittelwerte pro Merkmalsniveau auf Ausreißer untersucht. Im Anhang dieses Berichts ist tabellarisch der Weg von den Rohdaten (Einzelwerte der Dehnung) bis zu den Präzisionswerten dargestellt. Die in den Tabellen im Anhang zusammengefassten Ergebnisse für die Präzisionswerte werden an dieser Stelle kurz anhand der Ergebnisse der mit Gesteinskörnung G1 hergestellten und mit dem Referenzprüfverfahren untersuchten Mörtelproben erläutert. Die Berechnung der Präzisionswerte mit den anderen Gesteinskörnungen erfolgte analog dazu.

Von jedem der drei Mörtelprismen P1, P2 und P3 wurden in Labor L1 bis L5 die Einzelwerte der

Dehnung bestimmt (siehe Tabelle 27). Für die jeweils drei Einzelwerte pro Prüfzeitpunkt wurden die Standardabweichungen ermittelt (Einzelwertstandardabweichungen in Tabelle 28). Aus den Einzelwerten wurden die Mittelwerte jeder Serie berechnet (Serienmittelwerte in Tabelle 29). (Im Labor L3 wurde die Dehnung am ersten Tag nicht bestimmt.)

Danach erfolgte die Berechnung der Standardabweichungen der Serienmittelwerte (Serienmittelwertstandardabweichungen in Tabelle 30). Als Nächstes erfolgte die Untersuchung der Labormittelwerte auf statistische Ausreißer mit dem Ausreißertest nach GRUBBS in Anlehnung an DIN ISO 5725-2 (Ergebnisse siehe Tabelle 31). Mit dem Test nach COCHRAN in Anlehnung an DIN ISO 5725-2 wurde untersucht, inwiefern sich die Varianzen der Serienmittelwerte der Labors L1 bis L3 voneinander unterscheiden (Ergebnisse siehe Tabelle 32).

Gab es keine signifikanten Unterschiede in den Varianzen, so wurden die Mittelwerte der Serien je Labor ermittelt (Labormittelwerte in Tabelle 33).

Wurden Ausreißer gefunden (Grubbs-Test bzw. Cochran-Test), so wurden diese von der Auswertung ausgeschlossen. Die Ausreißertests wurden nach Ausschluss der Ausreißer wiederholt. Gefundene Fastausreißer (Cochran-Test) wurden in die weitere Auswertung mit einbezogen. Wurden keine statistischen Ausreißer gefunden, so erfolgte in der jeweils nächsten Tabelle die Berechnung der statistischen Kennwerte gemäß DIN ISO 5725-2 (Tabelle 34). Mit einer für die Berechnung von Präzisionswerten nach DIN ISO 5725-2 entwickelten Statistiksoftware (PRO LAB Smart) wurden die berechneten Präzisionswerte verifiziert (Tabelle 35).

3.3.2 Übersicht über die Präzisionswerte

Die Gesamtmittelwerte der Dehnung sowie die Präzisionswerte, mit denen die Präzision vereinheitlichter Messverfahren gemäß DIN ISO 5725-2 beschrieben wird, sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Für die Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G1 bzw. G2 sind folgende Präzisionswerte für den Gesamtmittelwert nach 1, 5, 9, 13 bzw. 21 Tagen dargestellt:

- Wiederholstandardabweichung,
- Zwischenstandardabweichung,

Bezeichnung	Symbol	GK	Tage					Einheit
			1	5	9	13	21	
Gesamtmittelwert	m_j	G1	0,084	0,557	0,958	1,346	2,059	mm/m
Wiederholstandardabweichung	s_r		0,010	0,044	0,059	0,096	0,142	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,029	0,057	0,062	0,058	0,000 ¹⁾	mm/m
Vergleichstandardabweichung	s_R		0,031	0,073	0,085	0,112	0,142	mm/m
Wiederholgrenze	r		0,028	0,123	0,162	0,266	0,392	mm/m
Zwischengrenze	L		0,081	0,161	0,170	0,160	0,000	mm/m
Vergleichgrenze	R		0,085	0,203	0,236	0,312	0,392	mm/m
Wiederholvariationskoeffizient	v_r		11,9	8,0	6,1	7,2	6,9	%
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		34,8	10,3	6,4	4,3	0,0	%
Vergleichvariationskoeffizient	v_R		36,8	13,2	8,9	8,4	6,9	%
Gesamtmittelwert	m_j	G2	0,091	0,215	0,419	0,67	1,158	mm/m
Wiederholstandardabweichung	s_r		0,031	0,035	0,047	0,059	0,079	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,0001)	0,044	0,044	0,060	0,077	mm/m
Vergleichstandardabweichung	s_R		0,031	0,056	0,064	0,084	0,111	mm/m
Wiederholgrenze	r		0,079	0,076	0,124	0,153	0,172	mm/m
Zwischengrenze	L		0,000	0,062	0,138	0,169	0,157	mm/m
Vergleichgrenze	R		0,079	0,097	0,184	0,228	0,233	mm/m
Wiederholvariationskoeffizient	v_r		33,4	16,5	11,2	8,8	6,8	%
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		0,0	20,3	10,4	9,0	6,7	%
Vergleichvariationskoeffizient	v_R		33,4	26,0	15,2	12,5	9,6	%
Gesamtmittelwert	m_j	G3	0,115	1,238	1,940	2,386	3,130	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,034	0,187	0,290	0,452	0,635	mm/m
Zwischengrenze	L		0,094	0,517	0,803	1,251	1,758	mm/m
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		29,2	15,0	14,9	18,9	20,3	%

¹⁾ s_L gemäß Empfehlung aus [13] zu Null gesetzt, da die Varianz $s^2 \leq 0$ war

Tab. 10: Präzisionswerte für die mit dem Referenzprüfverfahren 2012 untersuchten Mörtelprismen

- Vergleichstandardabweichung,
- Wiederholgrenze,
- Zwischengrenze,
- Vergleichgrenze.

Für die Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G3 sind folgende Präzisionswerte für den Gesamtmittelwert nach 1, 5, 9, 13 bzw. 21 Tagen dargestellt:

- Zwischenstandardabweichung,
- Zwischengrenze.

Zusätzlich ist in Tabelle 10 der Variationskoeffizient unter Wiederhol-, Zwischen- und Vergleichbedingungen angegeben.

3.3.3 Funktionale Beziehung zwischen Präzisionswerten und dem arithmetischen Gesamtmittelwert der Dehnung

Wenn die jeweils untersuchte Gesteinskörnung aus demselben Produktionsprozess stammt, kann gemäß der DIN ISO 5725-2 eine funktionale Beziehung zwischen den Präzisionswerten und dem arithmetischen Gesamtmittelwert bestehen. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden folgende gemäß Norm oftmals zutreffenden Beziehungen für den arithmetischen Gesamtmittelwert unter Wiederhol- bzw. Vergleichbedingungen (G1 bzw. G2) bzw. unter Zwischenbedingungen (G3) untersucht.

$$l: s = a + b \cdot m$$

(Gerade mit einem positiven Achsenabschnitt),

II: $v = C \cdot m^d$ mit $d \leq 1$ (Exponentialfunktion).

In Bild 21 bis Bild 23 sind die mit den Gesteinskörnungen G1 bis G3 unter Wiederhol- und Vergleichbedingungen (G1 bzw. G2) bzw. unter Zwischenbedingungen (G3) ermittelten Standardabweichungen und Variationskoeffizienten über die Dehnung aufgetragen.

Bild 21 zeigt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen der in den Vergleichsuntersuchungen 2012 unter Wiederholbedingungen bzw. unter Vergleichbedingungen ermittelten Dehnung mit Gesteinskörnung G1 und den entsprechenden Präzisionswerten (Standardabweichung s_r , bzw. s_R bzw. Variationskoeffizient v_r bzw. v_R). Das hohe Bestimmtheitsmaß der Regressionskurven (R^2) deutet darauf hin, dass sowohl die Standardabweichung als auch der Variationskoeffizient von der Höhe der Dehnung abhängig ist.

Bild 22 zeigt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen der im Ringversuch 2012 unter Wiederholbedingungen bzw. unter Vergleichbedingungen ermittelten Dehnung mit Gesteinskörnung G2 und den entsprechenden Präzisionswerten (Standardabweichung s_r , bzw. s_R bzw. Variationskoeffizient v_r bzw. v_R). Das hohe Bestimmtheitsmaß der Regressionskurven (R^2) deutet darauf hin, dass sowohl die Standardabweichung als auch der Variationskoeffizient von der Höhe der Dehnung abhängig ist.

Bild 23 zeigt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen der in den Vergleichsuntersuchungen 2012 unter Zwischenbedingungen ermit-

telten Dehnung mit Gesteinskörnung G3 und den Präzisionswerten Standardabweichung s_L bzw. Variationskoeffizient v_L . Das hohe Bestimmtheitsmaß der Regressionskurve (R^2) deutet darauf hin, dass die Standardabweichung von der Höhe der Dehnung abhängig ist (siehe linkes Diagramm). Der funktionale Zusammenhang zwischen der Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G3 und dem Variationskoeffizient v_L ist hingegen eher mäßig ausgeprägt (siehe rechtes Diagramm).

Die Präzision von Prüfverfahren sollte im Grunde unabhängig von der zu untersuchenden Stoffeigenschaft sein. Um diesbezüglich eine Aussage zur Präzision der mit dem Referenzprüfverfahren unter Wiederhol- bzw. Vergleichbedingungen ermittelten Dehnung zu erhalten, wurde ergänzend zu den nach Gesteinskörnung getrennten Untersuchungen die funktionale Beziehung zwischen s_r , bzw. v_r und s_R bzw. v_R und m_j für die Gesteinskörnungen G1 und G2 gemeinsam untersucht (Bild 24).

Bild 24 zeigt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen den unter Wiederholbedingungen bzw. unter Vergleichbedingungen mit den Gesteinskörnungen G1 und G2 in den Vergleichsuntersuchungen 2012 ermittelten Dehnungen und den Präzisionswerten (Standardabweichung s_r bzw. s_R bzw. Variationskoeffizient v_r bzw. v_R).

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Präzision der Dehnungen aus den Untersuchungen in 2012 mit den Ringversuchen der Jahre 2005 bis 2011 wurde die funktionale Beziehung der Präzisionswerte und der unter Zwischenbedingungen ermittelten Dehnung der Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung

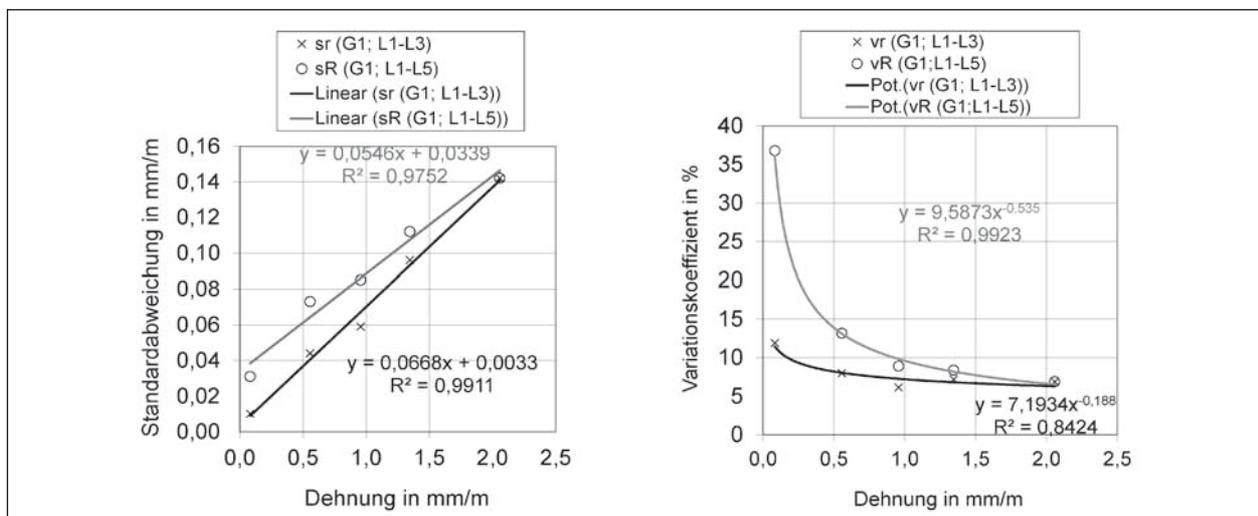


Bild 21: Standardabweichungen (linkes Diagramm) bzw. Variationskoeffizienten (rechtes Diagramm) unter Wiederhol- bzw. Vergleichbedingungen – aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G1

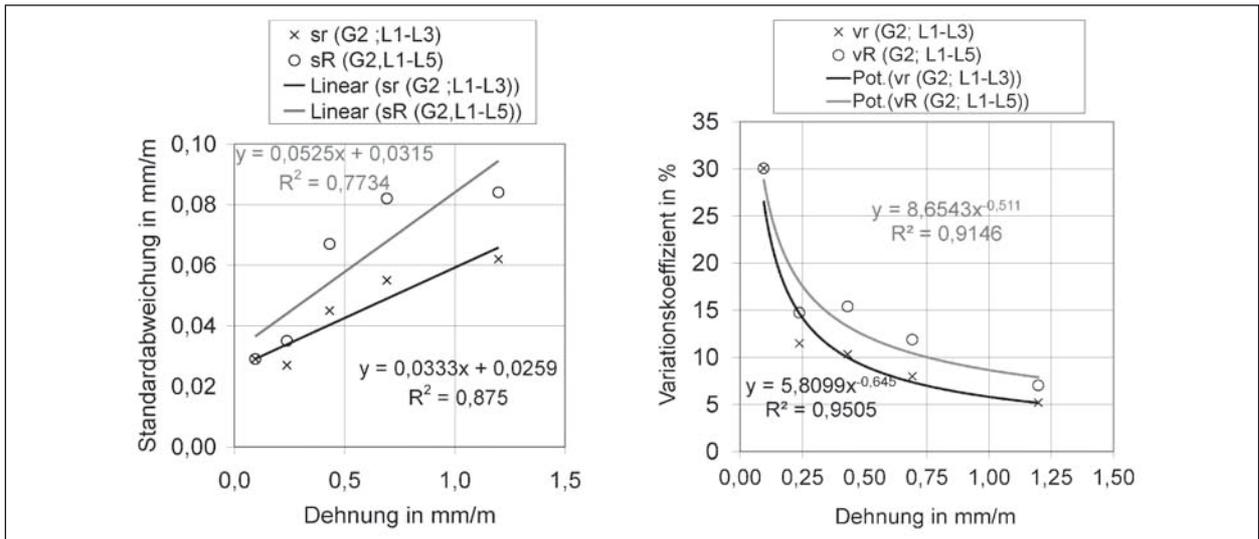


Bild 22: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten unter Wiederhol- bzw. Vergleichbedingungen – aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G2

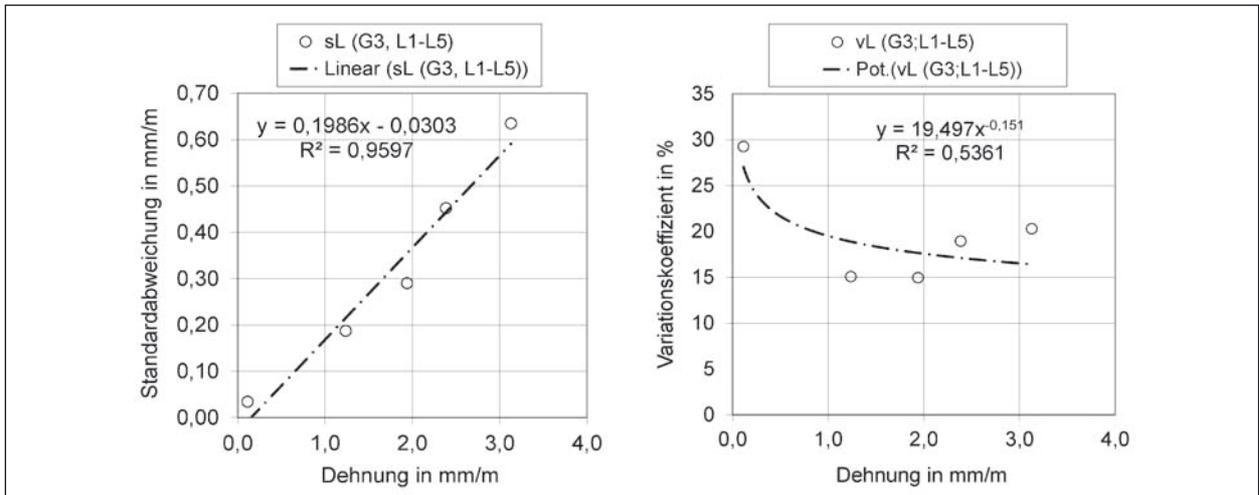


Bild 23: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten unter Zwischenbedingungen – aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G3

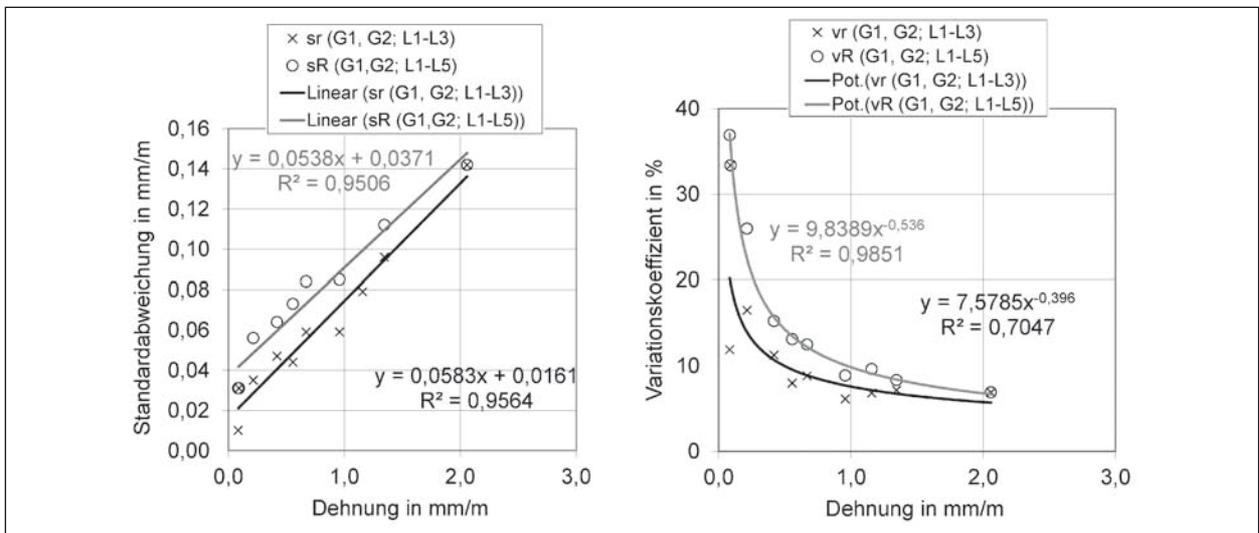


Bild 24: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten unter Wiederhol- bzw. Vergleichbedingungen – aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnungen G1 bzw. G2 gemeinsam ausgewertet

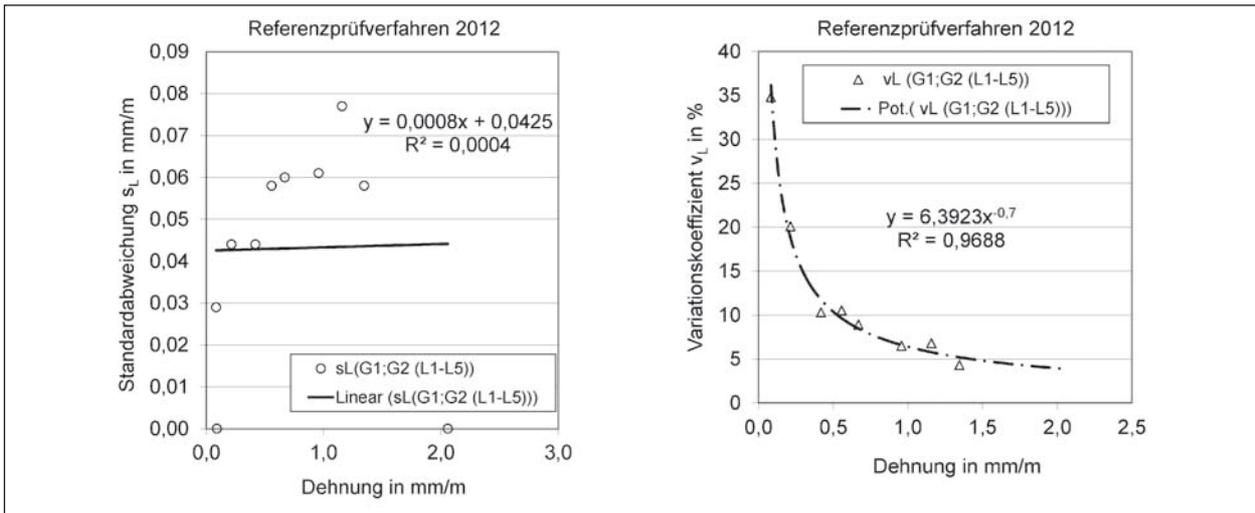


Bild 25: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten unter Zwischenbedingungen – aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen mit den Gesteinskörnungen G1 bzw. G2 (gemeinsam ausgewertet)

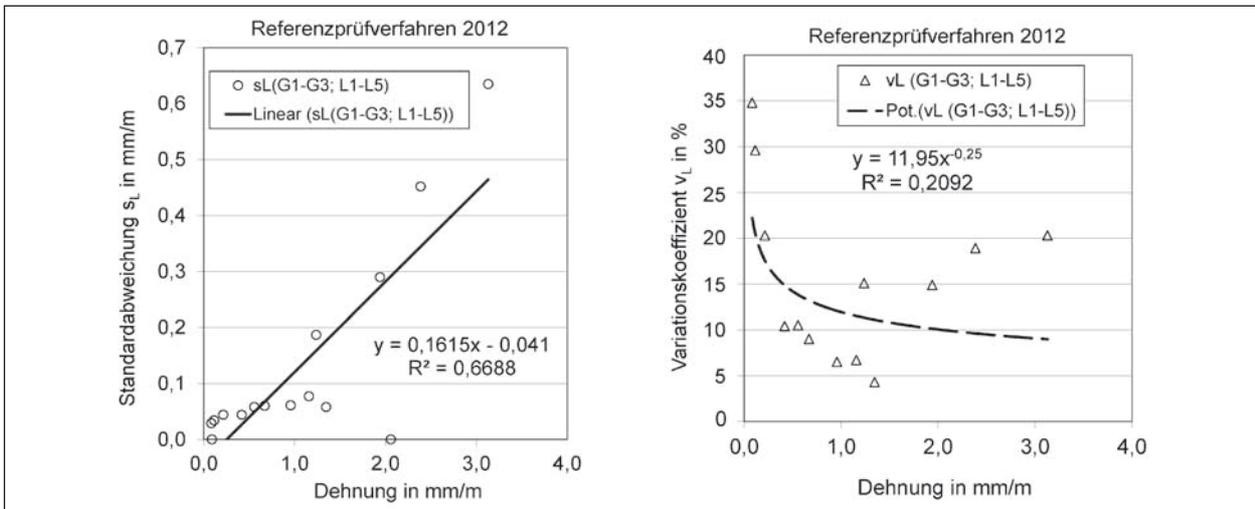


Bild 26: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten unter Zwischenbedingungen – aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen mit den Gesteinskörnungen G1, G2 bzw. G3 (gemeinsam ausgewertet)

G1 und den Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung G2 gemeinsam ermittelt (Bild 25). Die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen der Dehnung und den Präzisionswerten ist durch eine sehr geringe Standardabweichung (s_L) und ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß (v_L) gekennzeichnet. Bild 26 zeigt einen vergleichsweise starken Zusammenhang zwischen der Standardabweichung und dem Serienmittelwert der Dehnung, wenn die Ergebnisse der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G3 berücksichtigt werden ($R^2 = 0,67$). Der Zusammenhang zwischen Variationskoeffizienten und Dehnung wird bei Berücksichtigung der Dehnung mit Gesteinskörnung G3 deutlich schwächer ($R^2 = 0,21$).

Zusammenfassend ist in Tabelle 11 der Variationskoeffizient dargestellt, der für die mit dem Referenzprüfverfahren unter Wiederhol-, Zwischen-

Gesteinskörnung ¹⁾	bei Dehnung	v_r in %	v_L in %	v_R in %
G1	1,0 mm/m	7,2	n. b.	9,6
G2		5,8		8,7
G3		n. bb.	19,5	n. bb.
G1 + G2		7,6	6,4	9,8
G1 + G2 + G3		n. b.	11,9	n. b.

n. bb. nicht bestimmbar, da nur ein Serienmittelwert je Labor
¹⁾ Einzelauswertung bzw. gemeinsame Auswertung der Ergebnisse

Tab. 11: Variationskoeffizient unter Wiederhol-, Zwischen- bzw. Vergleichbedingungen der Untersuchungen in 2012 am Grenzwert von 1,0 mm/m

renzüfverfahren unter Wiederhol-, Zwischen- bzw. Vergleichbedingungen bestimmten Dehnungen ermittelt wurde.

4 Alternativverfahren 2012

Mit dem Alternativverfahren nach Teil 3 der Alkali-Richtlinie des DAfStb [1] wurde die Alkaliempfindlichkeit der gebrochenen Gesteinskörnungen 8/16 mm untersucht. Als zusätzliche Alkaliquelle wurde im Zugabewasser Natriumhydroxid (NaOH) gelöst. Die Längenänderung von drei Mörtelprismen wurde bestimmt, die 28 Tage lang in einem Behälter über Wasser lagerten, der in einem Trockenschrank mit einer Temperatur von (70 ± 2) °C beaufschlagt wurde.

4.1 Frischmörtelprüfung

Die Zusammensetzung, Herstellung, Lagerung und Prüfung der Mörtel für die Untersuchung mit dem Alternativverfahren erfolgten gemäß den Festlegungen in Teil 3 der Alkali-Richtlinie [1].

Die mit dem Hägermantisch ermittelten Ausbreitmaße der geprüften Mörtel sind in Tabelle 12 aufgeführt. Zusätzlich wurde erfasst, ob zum Erreichen des Zielkonsistenzbereichs Fließmittel eingesetzt wurde.

4.2 Dehnungsverlauf

In den Labors L1 bis L3 wurde mit der Gesteinskörnung G1 bzw. G2 jeweils fünfmal eine Untersuchung mit dem Alternativverfahren durchgeführt.

Im Labor L4 und Labor L5 wurde jede Gesteinskörnung einmal untersucht.

In Bild 27 bis Bild 35 ist der mittlere Dehnungsverlauf für jede Serie (3 Prismen) dargestellt. In Labor L1, L2 und L3 ermittelten Dehnungen wurden einzeln (Bild 27 bis Bild 29, Bild 31 bis Bild 33), die in Labor L4 und L5 ermittelten Dehnungen jeweils in einem Diagramm gemeinsam dargestellt (Bild 30, Bild 34).

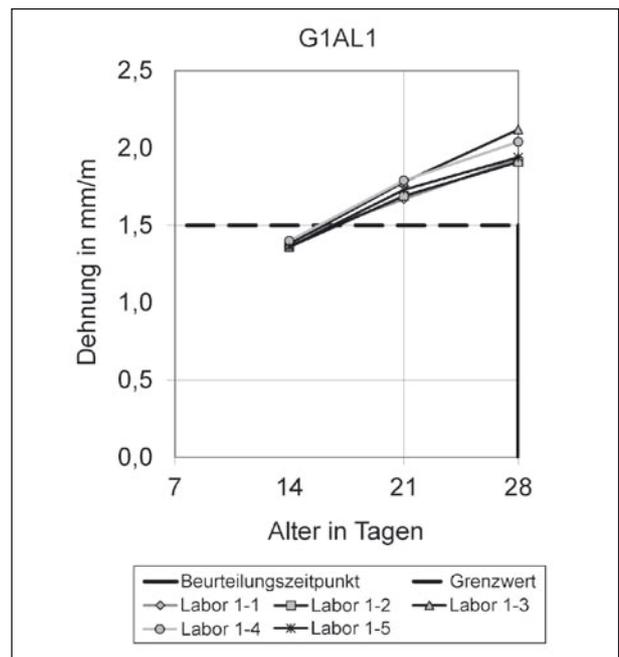


Bild 27: Dehnungsverlauf Labor 1 mit Gesteinskörnung G1 mit dem Alternativverfahren

G	Prüfung	Labor									
		1		2		3		4		5	
		A [mm]	FM	A [mm]	FM	A [mm]	FM	A [mm]	FM	A [mm]	FM
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1			105				117	nein	124	ja
	2			105							
	3	n. b.	n. b.	k. A.	nein	n. b.	nein				
	4			k. A.							
	5			k. A.							
2	1			110				114	nein	120	ja
	2			100							
	3	n. b.	n. b.	100	nein	n. b.	nein				
	4			100							
	5			100							
3	1	n. b.	n. b.	105	nein	n. b.	nein	116	nein	132	ja

Tab. 12: Ausbreitmaße und Fließmitteleinsatz (Alternativverfahren)

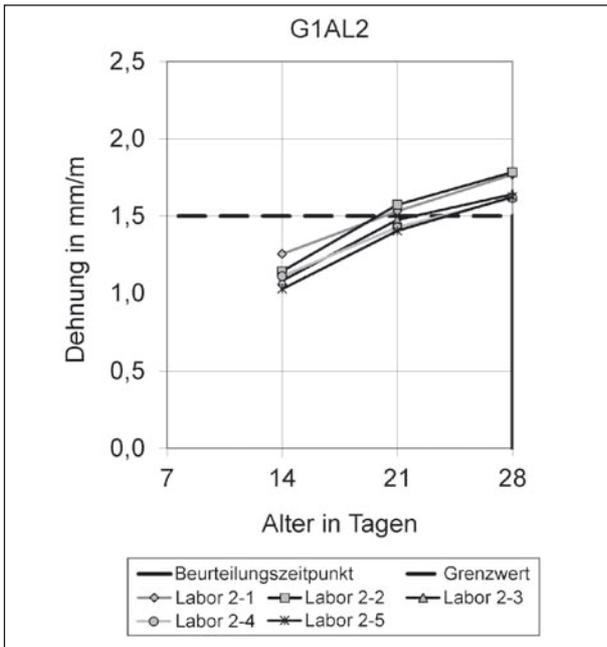


Bild 28: Dehnungsverlauf Labor 2 mit Gesteinskörnung G1 mit dem Alternativverfahren

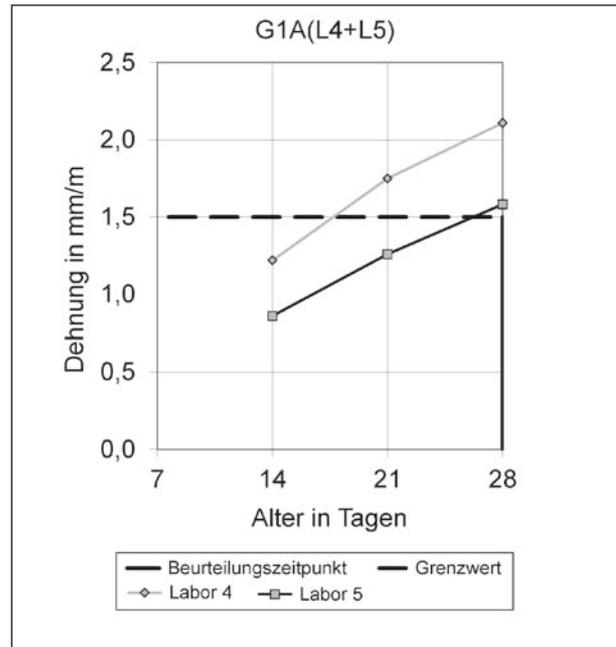


Bild 30: Dehnungsverlauf Labor 4 und 5 mit Gesteinskörnung G1 mit dem Alternativverfahren

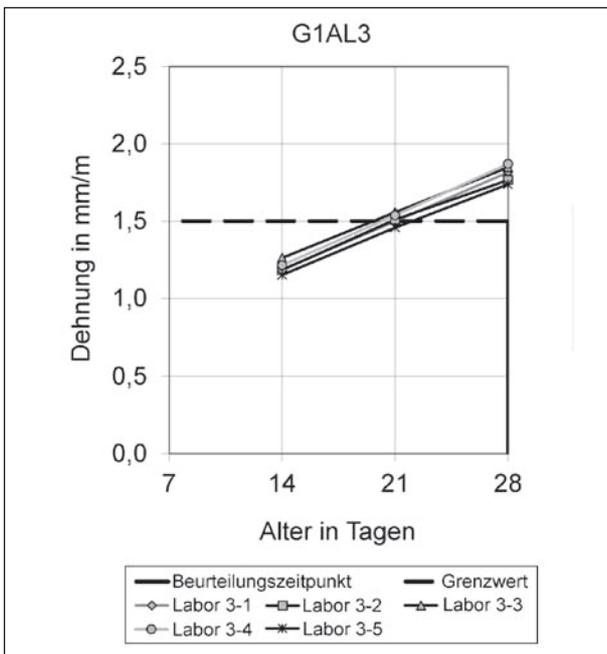


Bild 29: Dehnungsverlauf Labor 3 mit Gesteinskörnung G1 mit dem Alternativverfahren

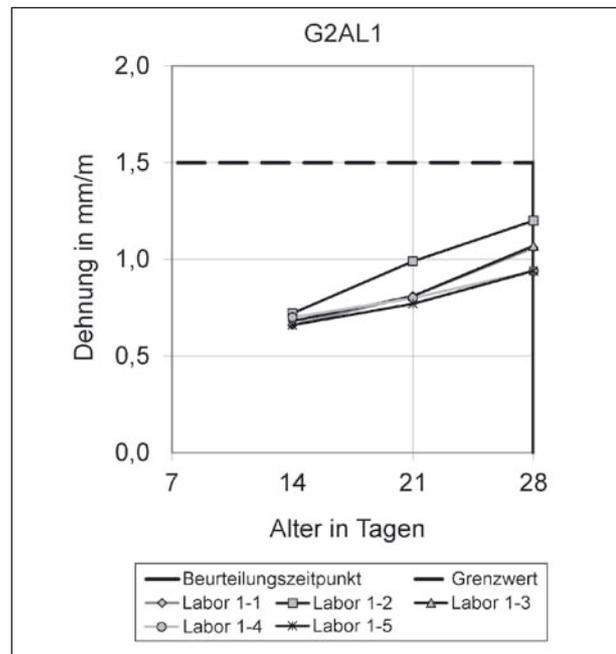


Bild 31: Dehnungsverlauf Labor 1 mit Gesteinskörnung G2 mit dem Alternativverfahren

Die Gesteinskörnung G3 wurde in jedem Labor einmal untersucht (Bild 35).

Die in jedem Labor ermittelten Dehnungen der Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung G1 lagen nach 28 Tagen (zum Beurteilungszeitpunkt) ausnahmslos über dem Grenzwert der maximal zulässigen Dehnung von 1,5 mm/m.

Die in jedem Labor ermittelten Dehnungen der Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung G2 lagen nach

28 Tagen (zum Beurteilungszeitpunkt) ausnahmslos unter dem Grenzwert der maximal zulässigen Dehnung von 1,5 mm/m (siehe Bild 31 bis Bild 34).

Die in jedem Labor ermittelten Dehnungen der Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung G3 lagen nach 28 Tagen (zum Beurteilungszeitpunkt) ausnahmslos deutlich über dem Grenzwert der maximal zulässigen Dehnung von 1,5 mm/m (siehe Bild 35).

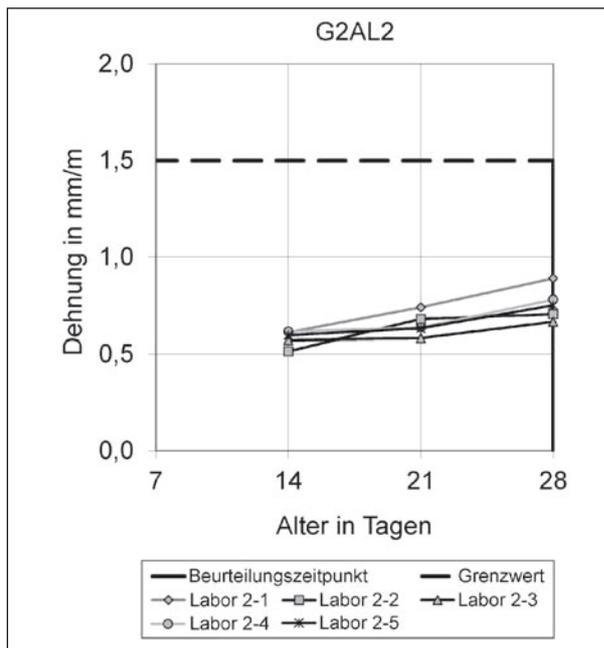


Bild 32: Dehnungsverlauf Labor 2 mit Gesteinskörnung G2 mit dem Alternativverfahren

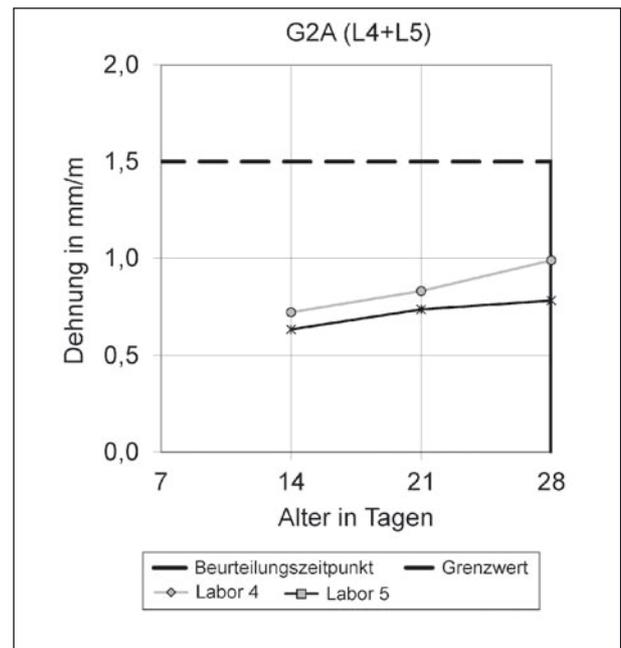


Bild 34: Dehnungsverlauf Labor 4 und 5 mit Gesteinskörnung G2 mit dem Alternativverfahren

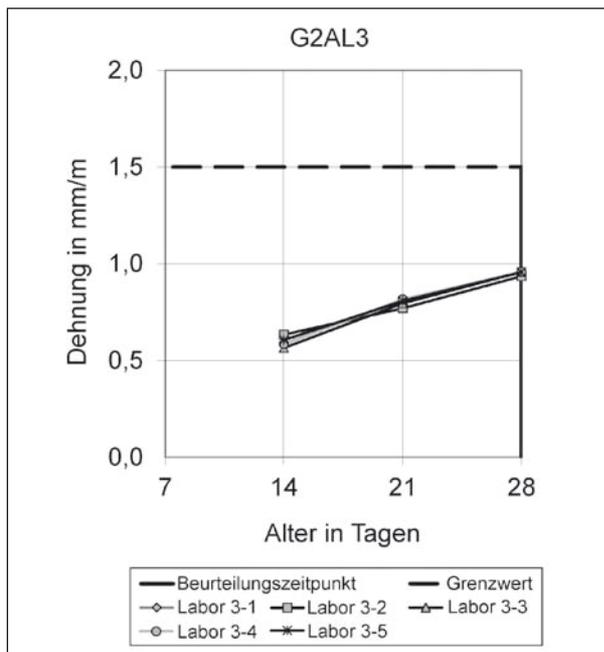


Bild 33: Dehnungsverlauf Labor 3 mit Gesteinskörnung G2 mit dem Alternativverfahren

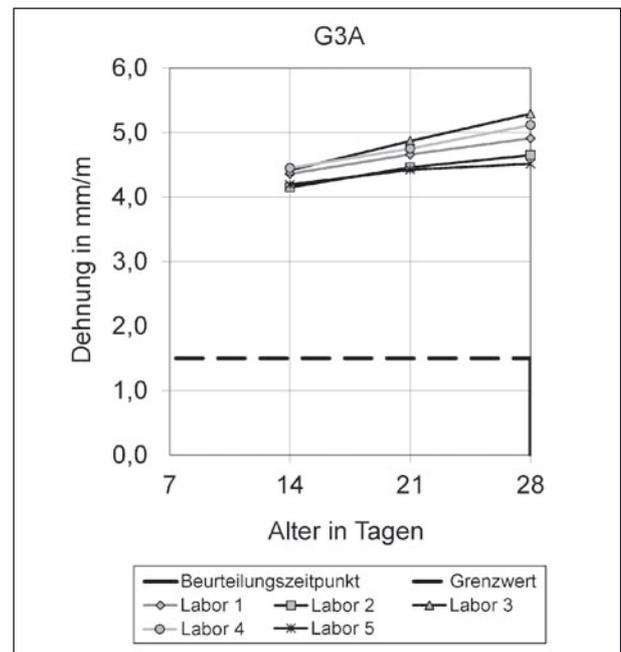


Bild 35: Dehnungsverlauf Labor 1 bis 5 mit Gesteinskörnung G3 mit dem Alternativverfahren

4.3 Präzisionswerte nach DIN ISO 5725-2

4.3.1 Auswertung der Rohdaten

Zu Beginn der statistischen Auswertung der Untersuchungen in 2012 wurden die Mittelwerte der Dehnung mit dem Ausreißertest nach GRUBBS auf statistische Ausreißer hin untersucht. Dabei wurde für

jedes Merkmalsniveau (Prüfalter) geprüft, ob ein Minimal- bzw. Maximalwert als statistischer Ausreißer anzusehen ist (siehe Anhang).

Mit dem Cochran-Test wurde jeweils die minimale bzw. maximale Varianz der Mittelwerte pro Merkmalsniveau auf Ausreißer untersucht. Die in den Tabellen im Anhang zusammengefassten Ergebnisse für die Präzisionswerte werden an dieser Stelle

kurz anhand der Ergebnisse der mit Gesteinskörnung G1 hergestellten und mit dem Alternativverfahren untersuchten Mörtelproben dargestellt. Die Berechnung der Präzisionswerte mit den anderen Gesteinskörnungen erfolgte analog dazu.

Im Anhang dieses Berichts ist tabellarisch der Weg von den Rohdaten (Einzelwerte der Dehnung) bis zu den Präzisionswerten dargestellt. Im Folgenden werden exemplarisch die Ergebnisse der Berechnungsschritte für die Untersuchungen mit der Gesteinskörnung G1 mit dem Alternativverfahren beschrieben.

Von jedem der drei Mörtelprismen P1, P2, und P3 wurden in Labor L1 bis L5 die Einzelwerte der Dehnung bestimmt (Tabelle 54 und Tabelle 55). Für die jeweils drei Einzelwerte pro Prüfzeitpunkt wurden die Standardabweichungen ermittelt (Einzelwertstandardabweichungen in Tabelle 56). Aus den Einzelwerten wurden die Mittelwerte jeder Serie berechnet (Serienmittelwerte in Tabelle 56).

Danach erfolgte die Berechnung der Standardabweichungen der Serienmittelwerte (Serienmittelwertstandardabweichungen in Tabelle 57). Als Nächstes erfolgte die Untersuchung der Labormittelwerte auf statistische Ausreißer mit dem Ausreißertest nach GRUBBS in Anlehnung an DIN ISO 5725-2 (Ergebnisse siehe Tabelle 58). Mit dem Test nach COCHRAN in Anlehnung an DIN ISO 5725-2 wurde untersucht, inwiefern sich die Varianzen der Serienmittelwerte der Labors L1 bis L3 voneinander unterscheiden (Ergebnisse siehe Tabelle 59).

Gab es keine signifikanten Unterschiede in den Varianzen, so wurden die Mittelwerte der Serien je Labor ermittelt (Labormittelwerte in Tabelle 60).

Wurden Ausreißer gefunden (Grubbs-Test bzw. Cochran-Test), so wurden diese von der Auswertung ausgeschlossen. Die Ausreißertests wurden nach Ausschluss der Ausreißer wiederholt. Gefundene Fastausreißer (Cochran-Test) wurden in die weitere Auswertung mit einbezogen. Wurden keine statistischen Ausreißer gefunden, so erfolgte in der jeweils nächsten Tabelle die Berechnung der statistischen Kennwerte gemäß DIN ISO 5725-2 (Tabelle 61). Mit einer für die Berechnung von Präzisionswerten nach DIN ISO 5725-2 entwickelten Statistiksoftware wurden die berechneten Präzisionswerte verifiziert (Tabelle 62).

Für das Alternativverfahren wurden in Anlehnung an DIN ISO 5725-2 die Präzisionswerte für die Merkmalsniveaus 14, 21 und 28 Tage Prüfdauer er-

mittelt. Der Ausreißertest nach GRUBBS wurde nur für einen ausreißerverdächtigen Minimal- bzw. Maximalwert pro Merkmalsniveau (Prüfalter) ermittelt. Mit dem Cochran-Test wurde jeweils eine minimale bzw. maximale Varianz der Mittelwerte auf Ausreißer untersucht.

Tabelle 13 zeigt statistische Kennwerte für die unter Wiederholbedingungen bzw. unter Vergleichbedingungen mit dem Alternativverfahren nach Alkali-Richtlinie in drei bzw. fünf Labors durchgeführten Untersuchungen an Mörteln (Mörtelschnelltests), die unter Verwendung der Gesteinskörnungen G1, G2 bzw. G3 hergestellt wurden.

Für die Gesteinskörnung G3 wurden keine Präzisionswerte unter Wiederholbedingungen berechnet. Unter der Annahme, dass der relative Fehler (Variationskoeffizient) unter Wiederholbedingungen für die Untersuchungen an Mörteln mit der Gesteinskörnung G3 nicht größer ist als der maximale relative Fehler bei den Untersuchungen mit der Gesteinskörnung G1 bzw. G2, wurden ausgehend vom Mittelwert unter Vergleichbedingungen die Standardabweichung s und damit die Varianz s^2 für die Wiederholbedingungen ermittelt. Mit diesen Präzisionswerten und den Präzisionswerten unter Zwischenbedingungen wurden die Präzisionswerte für die Mörtel mit Gesteinskörnung G3 unter Vergleichbedingungen ermittelt.

4.3.2 Übersicht über die Präzisionswerte

Die Gesamtmittelwerte der Dehnung sowie die Präzisionswerte, mit denen die Präzision vereinheitlichter Messverfahren gemäß DIN ISO 5725-2 beschrieben wird, sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Für die Mörtel mit Gesteinskörnung G1 bzw. G2 sind folgende Präzisionswerte für den Gesamtmittelwert nach 14, 21 bzw. 28 Tagen dargestellt:

- Wiederholstandardabweichung,
- Zwischenstandardabweichung,
- Vergleichstandardabweichung,
- Wiederholgrenze,
- Zwischengrenze,
- Vergleichgrenze.

Für die Mörtel mit Gesteinskörnung G3 sind folgende Präzisionswerte für den Gesamtmittelwert nach 14, 21 bzw. 28 Tagen dargestellt.

Bezeichnung	Symbol	GK	Tage			Einheit
			14	21	28	
Gesamtmittelwert	m_j	G1	1,211	1,568	1,830	mm/m
Wiederholstandardabweichung	s_r		0,056	0,056	0,076	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,152	0,156	0,166	mm/m
Vergleichstandardabweichung	s_R		0,162	0,166	0,183	mm/m
Wiederholgrenze	r		0,154	0,154	0,211	mm/m
Zwischengrenze	L		0,421	0,433	0,461	mm/m
Vergleichgrenze	R		0,450	0,458	0,508	mm/m
Wiederholvariationskoeffizient	v_r		4,6	3,5	4,2	%
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		12,6	10,0	9,1	%
Vergleichsvariationskoeffizient	v_R		13,4	10,6	10,0	%
Gesamtmittelwert	m_j	G2	0,625	0,765	0,914	mm/m
Wiederholstandardabweichung	s_r		0,035	0,064	0,083	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,047	0,081	0,129	mm/m
Vergleichstandardabweichung	s_R		0,059	0,103	0,153	mm/m
Wiederholgrenze	r		0,096	0,177	0,229	mm/m
Zwischengrenze	L		0,132	0,224	0,356	mm/m
Vergleichgrenze	R		0,164	0,286	0,423	mm/m
Wiederholvariationskoeffizient	v_r		5,5	8,4	9,0	%
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		7,6	10,5	14,1	%
Vergleichsvariationskoeffizient	v_R		9,5	13,5	16,7	%
Gesamtmittelwert	m_j	G3	4,234	4,575	4,822	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,199	0,221	0,358	mm/m
Zwischengrenze	L		0,552	0,611	0,991	mm/m
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		4,7	4,8	7,4	%

Tab. 13: Präzisionswerte für die mit dem Alternativverfahren 2012 untersuchten Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G1, G2 bzw. G3

- Zwischenstandardabweichung,
- Zwischengrenze.

Zusätzlich ist in Tabelle 13 der Variationskoeffizient unter Wiederhol-, Zwischen- bzw. Vergleichbedingungen angegeben.

4.3.3 Funktionale Beziehung zwischen Präzisionswerten und dem arithmetischen Gesamtmittelwert der Dehnung

Wenn die jeweils untersuchte Gesteinskörnung aus demselben Produktionsprozess stammt, kann im übertragenen Sinn der DIN ISO 5725-2 eine funktionale Beziehung zwischen den Präzisionswerten und dem arithmetischen Gesamtmittelwert beste-

hen. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden folgende gemäß Norm in der Regel zutreffende Arten von Beziehungen für den arithmetischen Gesamtmittelwert unter Wiederhol- bzw. Vergleichbedingungen (G1 bzw. G2) bzw. unter Zwischenbedingungen (G3) untersucht:

$$I: s = a + b \cdot m$$

(Gerade mit einem positiven Achsenabschnitt),

$$II: v = C \cdot m^d \text{ mit } d \leq 1 \text{ (Exponentialfunktion).}$$

In Bild 36 bis Bild 38 sind die mit den Gesteinskörnungen G1 bis G3 unter Wiederhol- und Vergleichbedingungen (G1 bzw. G2) bzw. unter Zwischenbedingungen (G3) ermittelten Standardabweichungen und Variationskoeffizienten über die Dehnung aufgetragen.

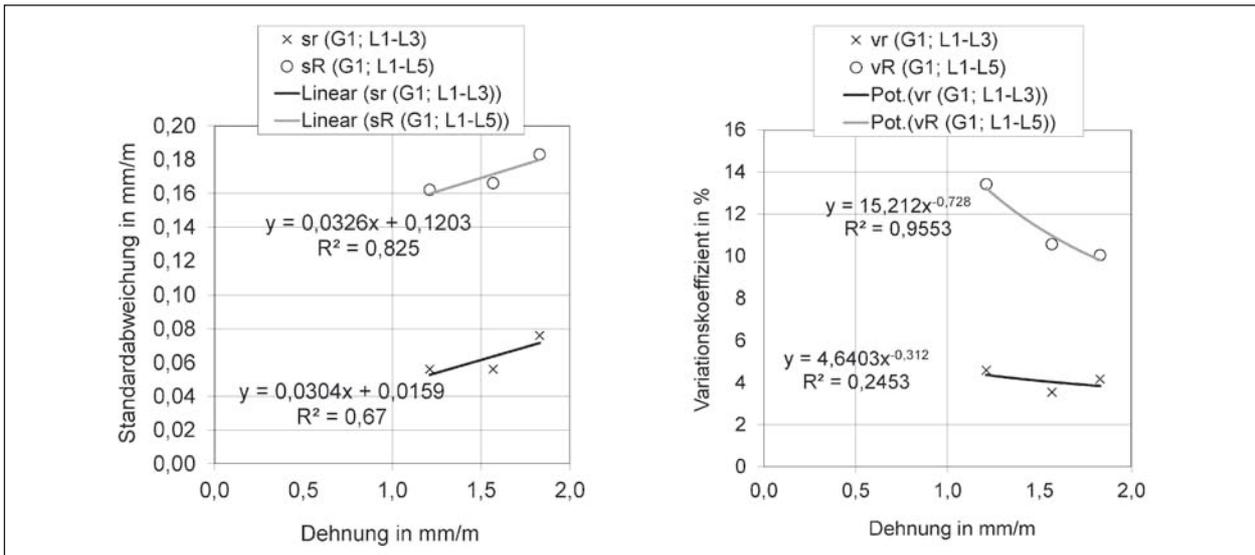


Bild 36: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten unter Wiederhol- bzw. Vergleichbedingungen – aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G1

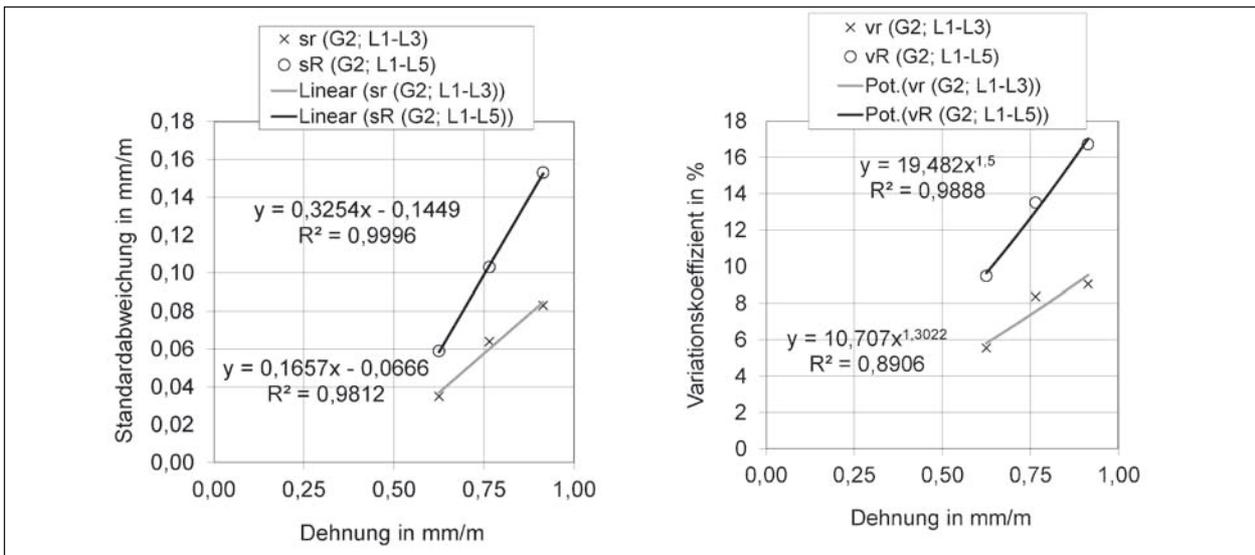


Bild 37: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten unter Wiederhol- bzw. Vergleichbedingungen – aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G2

Das hohe Bestimmtheitsmaß der Regressionsgeraden (R^2) deutet darauf hin, dass die Standardabweichung von der Höhe der Dehnung abhängig ist (jeweils linkes Diagramm). Daher wurde untersucht, ob Gleiches auch für den Variationskoeffizienten gilt (jeweils rechtes Diagramm).

Bild 36 zeigt die Qualität der funktionalen Beziehung zwischen der unter Wiederhol- bzw. unter Vergleichbedingungen ermittelten Dehnung aus den Untersuchungen in 2012 mit Gesteinskörnung G1 und den Präzisionswerten (Standardabweichung s_r bzw. s_R bzw. Variationskoeffizient v_r bzw. v_R).

Bild 37 zeigt die Qualität der funktionalen Beziehung zwischen der unter Wiederhol- bzw. unter Ver-

gleichbedingungen ermittelten Dehnung aus den Untersuchungen in 2012 mit Gesteinskörnung G2 und den Präzisionswerten (Standardabweichung s_r bzw. s_R bzw. Variationskoeffizient v_r bzw. v_R). Das hohe Bestimmtheitsmaß deutet darauf hin, dass die Standardabweichung bzw. der Variationskoeffizient von der ermittelten Dehnung abhängig sind.

Bild 38 zeigt die Qualität der funktionalen Beziehung zwischen der unter Zwischenbedingungen ermittelten Dehnung aus den Untersuchungen in 2012 mit Gesteinskörnung G3 und den Präzisionswerten (Standardabweichung s_r bzw. s_R bzw. Variationskoeffizient v_r bzw. v_R). Das hohe Bestimmtheitsmaß deutet darauf hin, dass die Standardab-

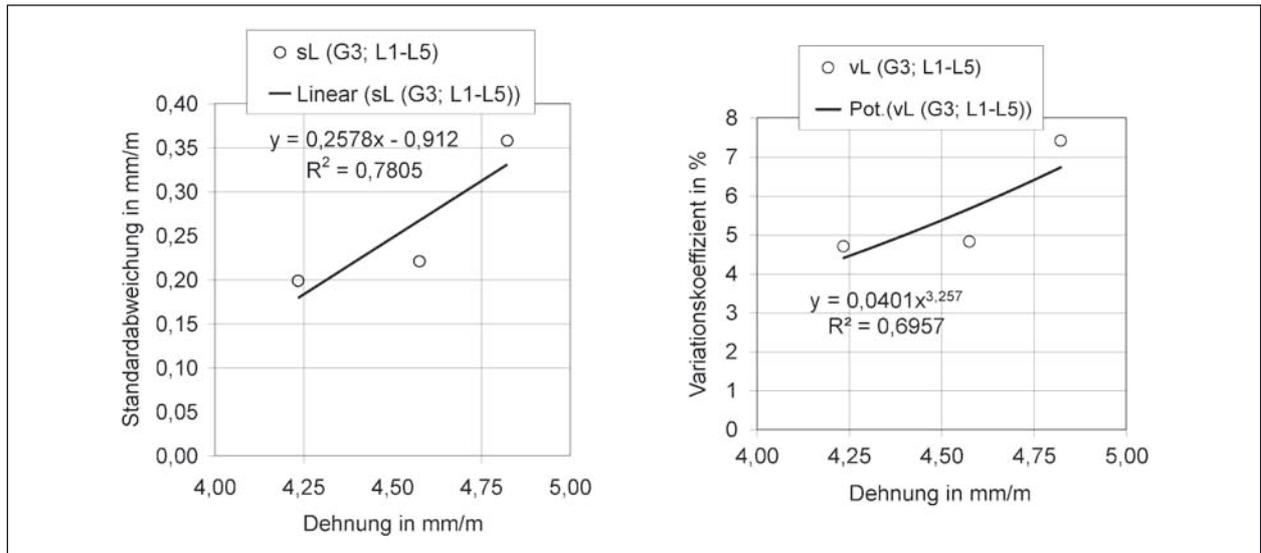


Bild 38: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten unter Zwischenbedingungen – aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G3

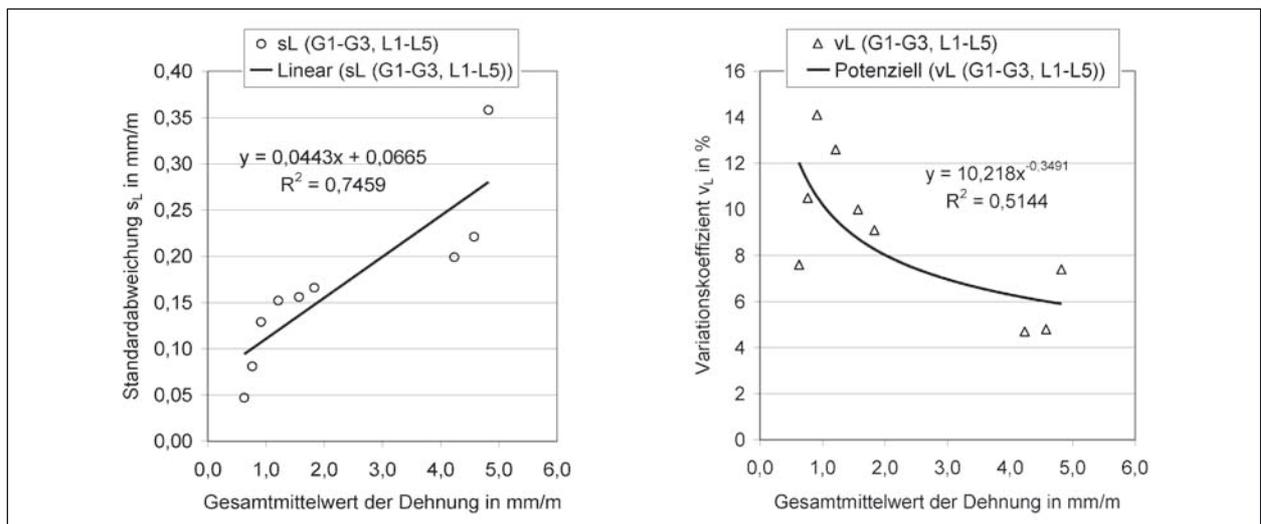


Bild 39: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten unter Zwischenbedingungen – aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G1 bis G3 gemeinsam ausgewertet

weichung bzw. der Variationskoeffizient von der ermittelten Dehnung abhängig sind.

Bild 39 zeigt die Qualität der funktionalen Beziehung zwischen der unter Zwischenbedingungen ermittelten Dehnung aus den Untersuchungen in 2012 mit Gesteinskörnung G1-G3 und den Präzisionswerten (Standardabweichung s_f bzw. s_R bzw. Variationskoeffizient v_f bzw. v_R). Das relativ hohe Bestimmtheitsmaß deutet darauf hin, dass die Standardabweichung von der ermittelten Dehnung relativ stark abhängig ist (siehe linkes Diagramm). Der Variationskoeffizient scheint hingegen nicht so stark von der Dehnung abhängig zu sein (siehe rechtes Diagramm).

Bild 40 zeigt die Qualität der funktionalen Beziehung zwischen der unter Wiederhol- bzw. Vergleichbedingungen ermittelten Dehnung aus den Untersuchungen in 2012 mit Gesteinskörnung G1 bis G2 und den Präzisionswerten (Standardabweichung s_f bzw. s_R bzw. Variationskoeffizient v_f bzw. v_R). Das sehr geringe Bestimmtheitsmaß der Regressionskurve zeigt, dass in diesem Fall die funktionale Beziehung zwischen Variationskoeffizient und Dehnung unter Vergleichbedingungen im Grunde nicht vorhanden ist. In Tabelle 14 sind exemplarisch die errechneten Präzisionswerte für den Grenzwert der maximal zulässigen Dehnung (für das Alternativverfahren 1,5 mm/m) dargestellt.

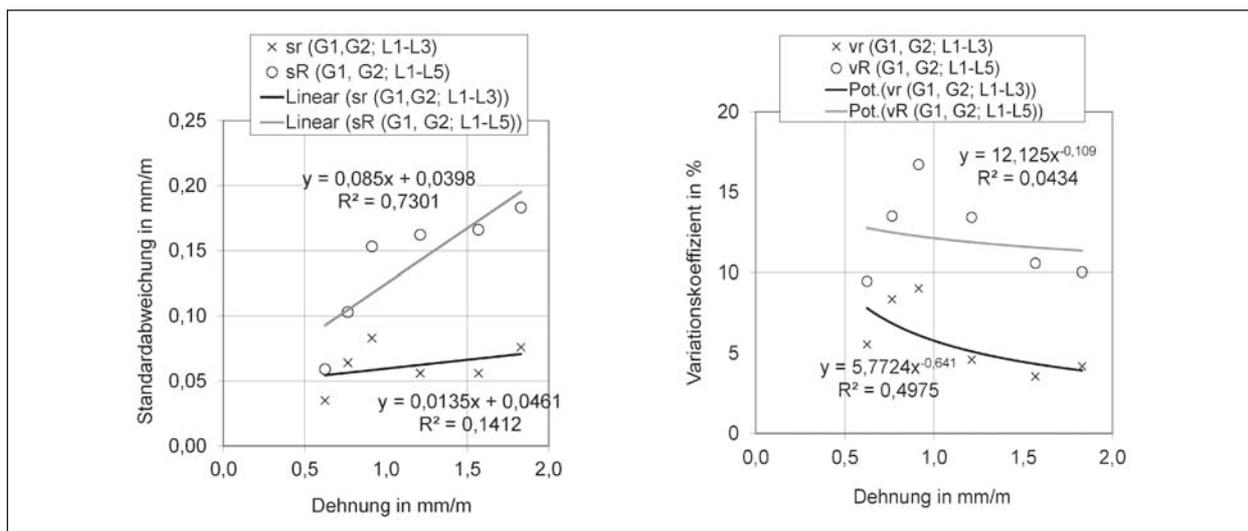


Bild 40: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten unter Wiederhol- bzw. Vergleichbedingungen – aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G1 bzw. G2 gemeinsam ausgewertet

Gesteinskörnung ¹⁾	bei Dehnung	v _r in %	v _L in %	v _R in %
G1	1,5 mm/m	4,1	n. b.	11,3
G2		n. bb.		
G3		n. bb.		
G1 + G2		4,5	10,6	11,6
G1 + G2 + G3		n. bb. ^{*)}	8,9	n. bb. ^{*)}

n. bb. Nicht bestimmbar, da 1,5 mm/m nicht im Wertebereich eingeschlossen
n. bb.^{*)} Nicht bestimmt, da von G3 nur jeweils ein Serienmittelwert je Labor vorliegt
1) Einzelauswertung bzw. gemeinsame Auswertung der Ergebnisse

Tab. 14: Variationskoeffizient unter Wiederhol-, Zwischen- bzw. Vergleichbedingungen der Untersuchungen in 2012 am Grenzwert von 1,5 mm/m

5 Zusammenfassung

5.1 Allgemeines

Für die in Teil 3 der Alkali-Richtlinie des DAfStb (Ausgabe 2007) [1] beschriebenen AKR-Schnelltests (Referenzprüfverfahren, Alternativverfahren) liegen bisher keine Präzisionswerte vor. Daher ließen sich die mit diesen beiden Verfahren erzielten Prüfergebnisse im Hinblick auf die Unterscheidung von Material- und Prüfstreuungen nicht zuverlässig bewerten. Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beauftragte daher das Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ) mit Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für die beiden o. g. Schnelltests.

Im Rahmen der Auswertung wurden vorhandene Ergebnisse (Einzelwerte der Dehnung) aus Ringversuchen der Jahre 2005, 2006, 2008, 2009, 2010 und 2011 mit dem Referenzprüfverfahren gesammelt und in die Ermittlung von Präzisionswerten einbezogen. Die Ergebnisse zu den o. g. Ringversuchen wurden von der Universität Hamburg-Harburg bereitgestellt.

In 2012 koordinierte das FIZ Untersuchungen zur Bestimmung von Präzisionswerten nach der Normreihe DIN ISO 5725 für beide Schnelltests nach Alkali-Richtlinie. Im Rahmen der Untersuchungen wurden in fünf Labors jeweils eine Untersuchung je Prüfverfahren mit drei Gesteinskörnungen (G1, G2, G3) und in drei Labors jeweils vier weitere Untersuchungen je Prüfverfahren mit zwei Gesteinskörnungen (G1, G2) durchgeführt. Ein Teil der Untersuchungen in 2012 wurde unter Wiederholbedingungen durchgeführt. Durch Kombination der Präzisionswerte unter Wiederholbedingungen mit den Präzisionswerten unter Zwischenbedingungen wurden Präzisionswerte unter Vergleichbedingungen ermittelt.

Für das Alternativverfahren lagen keine Ermittlungsergebnisse aus Ringversuchen vergangener Jahre vor. Die Präzisionswerte für das Alternativverfahren wurden allein auf Basis der Ergebnisse aus den Vergleichsuntersuchungen 2012 ermittelt.

5.2 Untersuchungen mit dem Referenzprüfverfahren 2005-2012

Tabelle 15 zeigt eine Zusammenstellung der unter Zwischenbedingungen ermittelten Präzisionswerte aus den Ringversuchen der Jahre 2005 bis 2011 sowie den Vergleichsuntersuchungen aus 2012.

Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen mit dem Referenzprüfverfahren sind die Präzisionswerte für das Prüfalter von 13 Tagen (derzeitiger Bewertungszeitpunkt). Für die unter Zwischenbedingungen ermittelte Dehnung der Ringversuche 2005 bis 2011 wurden nach 13 Tagen Prüfdauer Varia-

Bezeichnung			Tage							Einheit
			1	4	5	8	9	13	21	
Gesamtmittelwert	m_j	2005	0,117	0,586	0,615	1,175	0,827	1,237 ¹⁾	n. b.	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,046	0,206	0,103	n. b.	0,040	0,388 ¹⁾	n. b.	
Zwischengrenze	L		0,128	0,572	0,284	n. b.	0,110	1,074 ¹⁾	n. b.	
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		39,5	35,2	16,7	n. b.	4,8	31,3 ¹⁾	n. b.	
Gesamtmittelwert	m_j	2006	0,058	0,13	0,147	0,214	0,267	0,314	n. b.	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,052	0,083	0,058	0,088	0,063	0,094	n. b.	
Zwischengrenze	L		0,145	0,230	0,160	0,244	0,174	0,262	n. b.	
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		89,4	64,0	39,4	41,2	23,5	30,1	n. b.	
Gesamtmittelwert	m_j	2008	0,068	0,356	0,471	0,857	1,114	1,606	n. b.	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,076	0,228	0,228	0,302	0,278	0,300	n. b.	
Zwischengrenze	L		0,211	0,633	0,632	0,837	0,770	0,831	n. b.	
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		111,1	64,1	48,4	35,3	25,0	18,7	n. b.	
Gesamtmittelwert	m_j	2009	0,093	0,526	0,753	1,225	1,317	1,873	n. b.	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,085	0,208	0,115	0,227	0,240	0,274	n. b.	
Zwischengrenze	L		0,235	0,577	0,32	0,629	0,664	0,759	n. b.	
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		90,9	39,6	15,3	18,5	18,2	14,6	n. b.	
Gesamtmittelwert	m_j	2010	0,065	0,199	0,242	0,362	0,395	0,558	n. b.	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,048	0,070	0,063	0,071	0,070	0,090	n. b.	
Zwischengrenze	L		0,133	0,195	0,174	0,197	0,195	0,249	n. b.	
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		74,2	35,4	25,9	19,6	17,8	16,1	n. b.	
Gesamtmittelwert	m_j	2011	0,059	0,283	0,374	0,496	0,568	0,718	n. b.	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,054	0,095	0,093	0,108	0,191	0,161	n. b.	
Zwischengrenze	L		0,149	0,263	0,257	0,298	0,528	0,447	n. b.	
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		91,4	33,5	24,8	21,7	33,6	22,5	n. b.	
Gesamtmittelwert	m_j	2012-G1	0,084	n. b.	0,557	n. b.	0,958	1,346	2,059	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,029	n. b.	0,058	n. b.	0,062	0,058	0,000	
Zwischengrenze	L		0,081	n. b.	0,162	n. b.	0,172	0,161	0,000	
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		34,8	n. b.	10,5	n. b.	6,5	4,3	n. b.	
Gesamtmittelwert	m_j	2012-G2	0,091	n. b.	0,215	n. b.	0,419	0,670	1,158	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,000	n. b.	0,043	n. b.	0,043	0,059	0,079	
Zwischengrenze	L		0,000	n. b.	0,120	n. b.	0,119	0,164	0,213	
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		n. b.	n. b.	20,1	n. b.	10,3	8,9	6,8	
Gesamtmittelwert	m_j	2012-G3	0,115	n. b.	1,238	n. b.	1,940	2,386	3,130	mm/m
Zwischenstandardabweichung	s_L		0,034	n. b.	0,187	n. b.	0,290	0,452	0,635	
Zwischengrenze	L		0,094	n. b.	0,517	n. b.	0,803	1,251	1,758	
Zwischenvariationskoeffizient	v_L		29,2	n. b.	15,0	n. b.	14,9	18,9	20,3	

¹⁾ im Ringversuch 2005 nach 14 anstatt nach 13 Tagen bestimmt

Tab. 15: Präzisionswerte der unter Zwischenbedingungen mit dem Referenzprüfverfahren durchgeführten Ringversuche (2005-2011) bzw. Vergleichsuntersuchungen (2012)

tionskoeffizienten v_L zwischen rd. 15 und rd. 30 % ermittelt. In den Untersuchungen in 2012 mit 5 Labors lagen die Variationskoeffizienten unter Zwischenbedingungen v_L zwischen rd. 4 und rd. 19 %.

Bild 41 zeigt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen der Standardabweichung bzw. dem Variationskoeffizienten und der Dehnung der mit dem Referenzprüfverfahren 2005 bis 2012 unter Zwischenbedingungen durchgeführten Untersuchungen. Das Bestimmtheitsmaß R^2 deutet auf eine mittelmäßig starke Abhängigkeit der Standardabweichung bzw. des Variationskoeffizienten von der Dehnung unter Zwischenlaborbedingungen hin.

Bild 42 zeigt die Qualität der funktionalen Beziehung zwischen der Standardabweichung bzw. dem Variationskoeffizienten und der unter Wiederhol-, Zwischen- bzw. Vergleichbedingungen ermittelten Dehnung. Das Bestimmtheitsmaß R^2 weist unter Wiederhol- und Vergleichbedingungen auf einen starken ($R^2 \approx 0,95/0,96$) Zusammenhang zwischen der Beobachtungsgröße (Dehnung) und den Präzisionswerten hin. Bei dieser Auswertung wurden nur Untersuchungsergebnisse mit den Gesteinskörnungen G1 bzw. G2 berücksichtigt, da mit Gesteinskörnung G3 keine Wiederholuntersuchungen durchgeführt wurden.

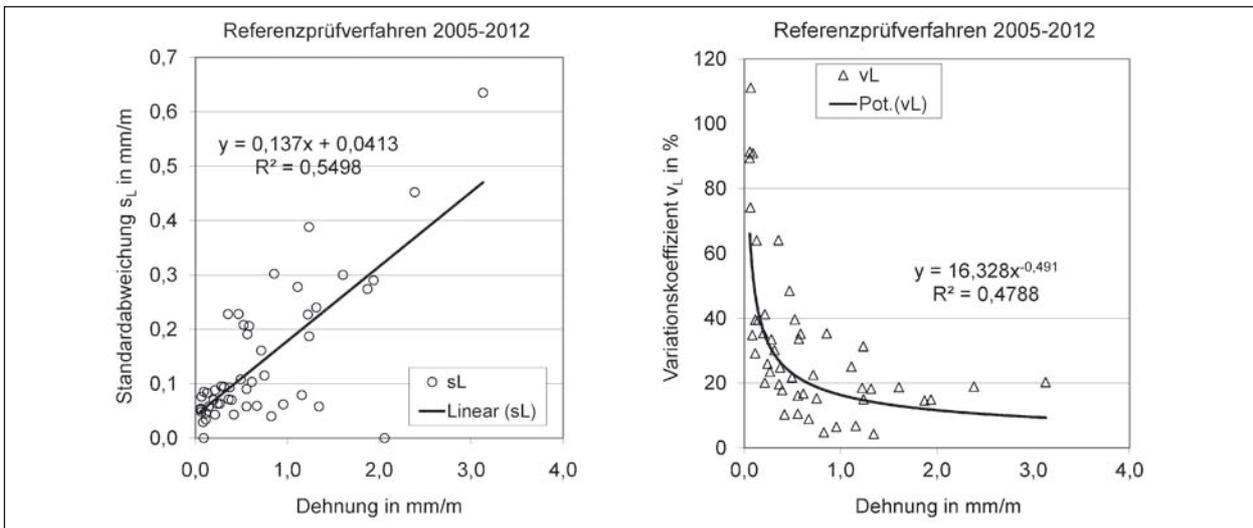


Bild 41: Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten – bestimmt mit dem Referenzprüfverfahren unter Zwischenbedingungen – aufgetragen über die Dehnungen aus den Untersuchungen 2005-2012

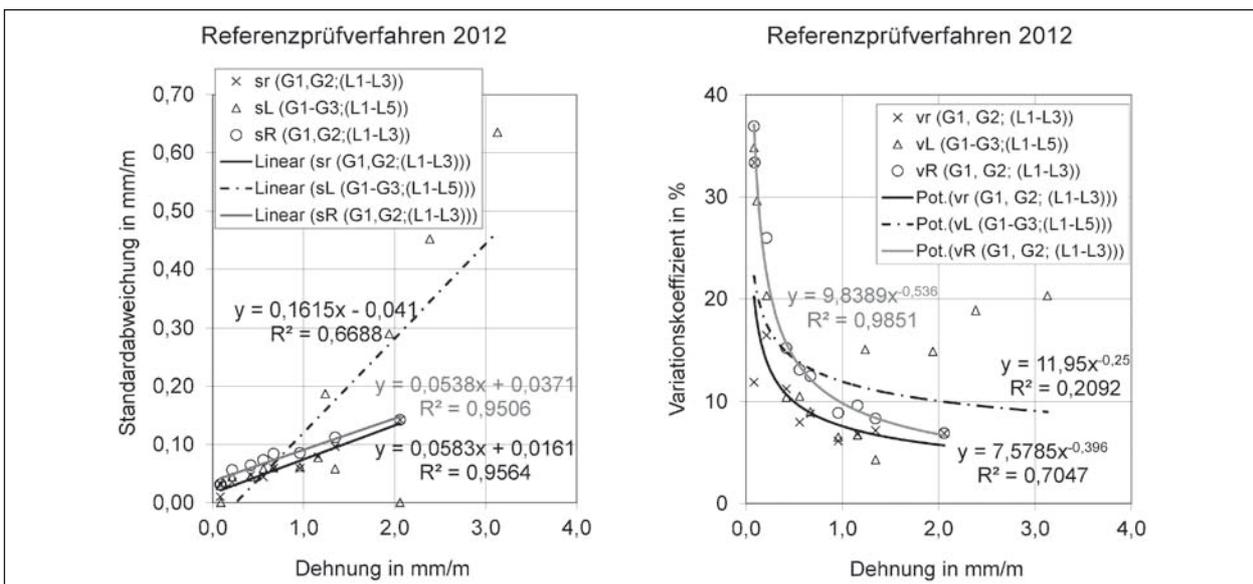


Bild 42: Standardabweichungen (linkes Diagramm) bzw. Variationskoeffizienten (rechtes Diagramm) unter Wiederhol-, Zwischen- bzw. Vergleichbedingungen – aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen (gemeinsame Auswertung der Ergebnisse mit Gesteinskörnungen G1 und G2 bzw. G1 bis G3)

Für die Untersuchung der funktionalen Beziehung zwischen den Präzisionswerten und der Dehnung unter Zwischenbedingungen wurden die Ergebnisse der Prüfungen mit Gesteinskörnung G1, G2 und G3 gemeinsam ausgewertet.

Das geringe Bestimmtheitsmaß für die Regressionskurve (Bild 42, rechtes Bild) von nur 0,21 zeigt, dass die funktionale Beziehung zwischen dem Variationskoeffizienten und der unter Zwischenbedingungen ermittelten Dehnung nur schwach ausgeprägt ist. Insbesondere bei einer Dehnung über rd. 1,8 mm/m steigt der Variationskoeffizient entgegen dem Kurvenverlauf wieder an. Es ist anzunehmen, dass es weitere starke Einflüsse auf die Dehnungsergebnisse gibt. Die daraus resultierende starke Streuung ist allein auf die Ergebnisse mit der Gesteinskörnung G3 zurückzuführen.

5.3 Untersuchungen mit dem Alternativverfahren 2012

Auch für das Alternativverfahren nach Alkali-Richtlinie wurden Präzisionswerte für unter Wiederhol-, Zwischen- und Vergleichbedingungen bestimmte Dehnungen in den Untersuchungen 2012 ermittelt.

Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen sind beim Alternativverfahren die Präzisionsdaten für das Prüfalter von 28 Tagen (derzeitiger Bewertungszeitpunkt). In den Untersuchungen in 2012 mit

3 bzw. 5 Labors lagen die Variationskoeffizienten v_L für die Dehnungen im Alter von 28 Tagen zwischen rd. 7 und rd. 14 % (siehe Tabelle 13).

Bild 43 zeigt die Qualität des funktionalen Zusammenhangs zwischen der Standardabweichung bzw. dem Variationskoeffizienten und der in den Vergleichsuntersuchungen 2012 mit dem Alternativverfahren unter Verwendung von Gesteinskörnung G1, G2 bzw. G3 unter Wiederhol-, Zwischen- bzw. Vergleichbedingungen ermittelten Dehnung.

5.4 Vergleich der Präzisionswerte mit etablierten Prüfverfahren

Im Rahmen dieser Auswertung wurden Präzisionswerte für das Referenzprüfverfahren (RPV) und das Alternativverfahren (AV) ermittelt. Die mit dem Referenzprüfverfahren im Rahmen der Ringversuche 2005 bis 2011 ermittelten Dehnungen an Mörtelprismen wurden unter Zwischenbedingungen bestimmt, sodass auch nur für diese Bedingungen Präzisionswerte ermittelt werden konnten.

Die Dehnungen aus den Untersuchungen in 2012 wurden unter Wiederhol- bzw. Zwischenbedingungen bestimmt (Gesteinskörnung G1 und G2). Die Dehnung der Prismen mit Gesteinskörnung G3 wurde unter Zwischenbedingungen ermittelt.

Ein Vergleich mit Frost-Tausalz-Prüfverfahren nach DIN CEN/TS 12390-9 für Beton, wie beispielsweise

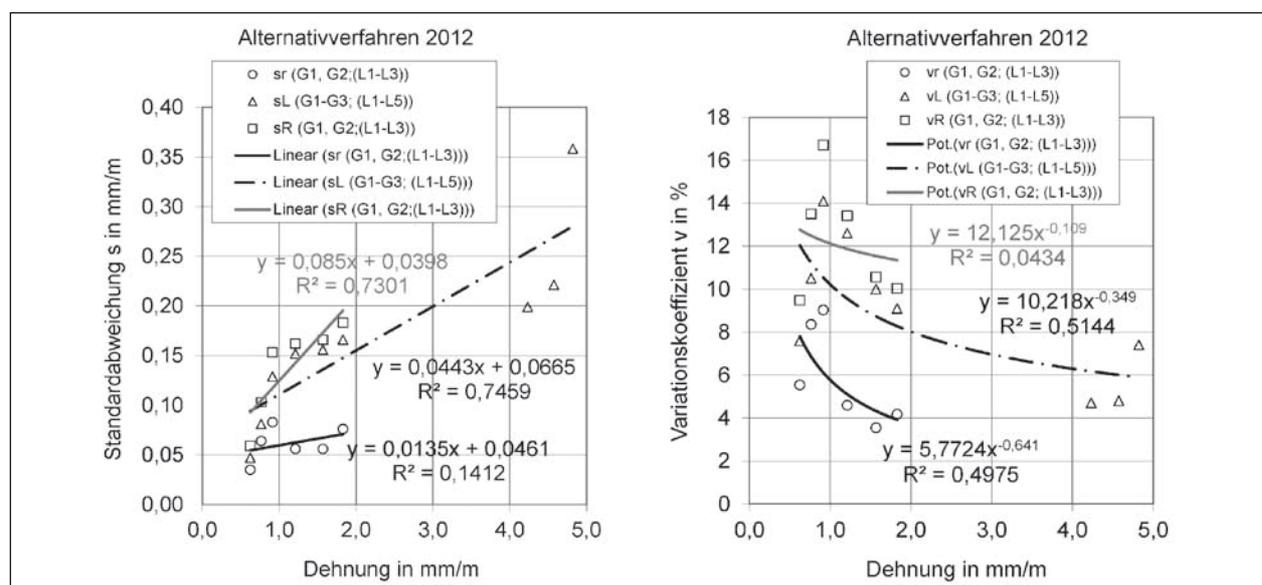


Bild 43: Standardabweichungen (linkes Diagramm) bzw. Variationskoeffizienten (rechtes Diagramm) unter Wiederhol-, Zwischen- und Vergleichbedingungen aufgetragen über die Dehnung der Mörtelprismen (mit Gesteinskörnungen G1 und G2 bzw. G1 bis G3 gemeinsam ausgewertet)

	RPV 2005-2011	RPV 2012		AV 2012	Slab-Test	Wüfel- verfahren	CDF- Verfahren
Grenzwert	Dehnung				Abwitterungsmenge		
	1,0 mm/m		1,5 mm/m		1,0 kg/m ²	5,0 M.-%	1,5 kg/m ²
v _R in %	n. b.	10 ¹⁾		12 ¹⁾	31	37	29
v _L in %	19 ³⁾	6 ¹⁾	12 ²⁾	11 ¹⁾ 9 ²⁾	n. bk.	n. bk.	n. bk.
v _r in %	n. b.	8 ¹⁾		5 ¹⁾	17	18	14

RPV Referenzprüfverfahren, AV Alternativverfahren
n. b. nicht bestimmt, n. bk. nicht bekannt
1) gemeinsame Auswertung von Ergebnissen mit den Gesteinskörnungen G1 und G2
2) gemeinsame Auswertung von Ergebnissen mit den Gesteinskörnungen G1, G2 und G3
3) gemeinsame Auswertung von Ergebnissen mit sechs unterschiedlichen Gesteinskörnungen

Tab. 16: Präzisionswerte der Schnelltests und dreier Frost-Tausalz-Prüfverfahren [5]

dem Plattenprüfverfahren (Slab-Test), dem Wüfelverfahren oder dem CDF-Verfahren, zeigt, dass die ermittelte Präzision des Referenzprüfverfahrens und des Alternativverfahrens in der Nähe des Grenzwerts im Grunde höher als die Präzision der beispielhaft betrachteten Frost-Tausalz-Prüfverfahren für Beton ist (siehe Tabelle 16).

5.5 Zusammenfassende Wertung der Präzisionswerte

Bezogen auf den Dehnungswert der Erstprüfung mit dem Referenzprüfverfahren sieht die Alkali-Richtlinie im Rahmen des Übereinstimmungsnachweises für die Gesteinskörnung eine zulässige Abweichung des Serienmittelwertes von maximal 0,10 mm/m nach oben vor. Dieser Wert gilt zunächst unabhängig von der Höhe der Dehnung (siehe Bild 44).

Die ermittelten Präzisionswerte der Untersuchungsergebnisse aus 2005-2011 bzw. 2012 können für die Festlegung einer maximal zulässigen Abweichung zwischen WS-Grund- und -Bestätigungsprüfung unterschiedlich gewertet werden. Entweder werden Grund- und Bestätigungsprüfung von ein und demselben Labor (Fall 1) oder von zwei unterschiedlichen Labors (Fall 2) durchgeführt.

Fall 1: WS-Grund- und Bestätigungsprüfung im selben Labor

Für den Fall, dass sowohl die Grund- als auch die Bestätigungsprüfung mit einem der beiden Schnelltests in ein und demselben Labor durchgeführt werden, sind die Abweichungen innerhalb des einzelnen Labors maßgebend. Das heißt, es ist sinnvoll,

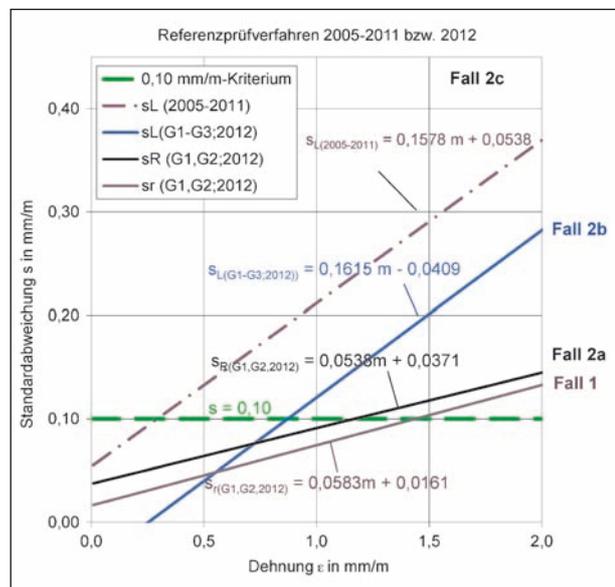


Bild 44: Zulässige maximale Abweichung des Serienmittelwertes (grüne Linie) vom Mittelwert der Erstprüfung gemäß [1] und in den Untersuchungen 2005-2011 bzw. 2012 unter Wiederhol-, Zwischen- bzw. Vergleichbedingungen ermittelte Standardabweichungen in Abhängigkeit von der Dehnung

die Präzision unter Wiederholbedingungen für die Bewertung der Genauigkeit eines Prüfverfahrens zu verwenden. Unter Wiederholbedingungen ermittelte Ergebnisse liegen allein aus den Vergleichsuntersuchungen 2012 (unter Verwendung der Gesteinskörnungen G1 bzw. G2) vor. Daher kann im Fall 1 für die Bestätigungsprüfung die maximal zulässige Abweichung des Dehnungswertes von dem Wert aus der Grundprüfung mit der Regressionsgerade für $s_r (G1, G2, 2012)$ (siehe Bild 44) abgeleitet werden. Die ermittelten Standardabweichungen zeigen, dass ab einer Dehnung von rd. 1,40 mm/m der Grenzwert der maximal zulässigen Abweichung höher als 0,10 mm/m angesetzt werden sollte.

Diese Aussage gilt für den untersuchten Wertebereich der Dehnung bis rd. 2,0 mm/m.

Fall 2: WS-Grund- und Bestätigungsprüfung in verschiedenen Labors

Für den Fall, dass die Grund- und die Bestätigungsprüfung mit einem der beiden Schnelltests in verschiedenen Labors durchgeführt werden, sind zur Bewertung der Präzision der Prüfverfahren zusätzlich zu den Abweichungen innerhalb eines jeden Labors die Abweichungen zwischen den einzelnen Labors einzubeziehen (Vergleichbedingungen).

Fall 2a: Auswertung mit „echten“ Vergleichsbedingungen (Untersuchungen 2012)

Wurden die Untersuchungen in jedem Labor mehrmals durchgeführt, kann die Genauigkeit eines Prüfverfahrens mithilfe der Präzisionswerte unter Vergleichsbedingungen bewertet werden. Unter „echten“ Vergleichsbedingungen ermittelte Ergebnisse liegen allein aus den Vergleichsuntersuchungen 2012 (unter Verwendung der Gesteinskörnungen G1 bzw. G2) vor. Daher kann die für die Bestätigungsprüfung maximal zulässige Abweichung der Dehnung vom Wert aus der Grundprüfung für Fall 2a mit der Regressionsgeraden für $s_R(G1, G2, 2012)$ (siehe Bild 44) abgeleitet werden. Diese Aussage gilt für den untersuchten Wertebereich der Dehnung bis rd. 2,0 mm/m.

Fall 2b: Auswertung unter Berücksichtigung einer Gesteinskörnung mit sehr hoher Dehnung

Mit der Gesteinskörnung G3 wurde in jedem Labor nur einmal geprüft. Daher können bei Verwendung der Gesteinskörnung G3 nur Präzisionswerte für die sogenannten Zwischenbedingungen ermittelt werden. Unter Verwendung der Ergebnisse mit den Gesteinskörnungen G1, G2 und G3 zeigt sich, dass die Standardabweichungen unter Zwischenbedingungen mit der Dehnung stärker zunehmen als unter Vergleich- bzw. Wiederholbedingungen (siehe $s_L(G1, G2, 2012)$ in Bild 44). Ab einer Dehnung von rd. 0,85 mm/m muss die maximal zulässige Abweichung zwischen der Dehnung in der Bestätigungsprüfung und der Dehnung aus der WS-Grundprüfung mindestens auf den Betrag aus der gefundenen funktionalen Beziehung erhöht werden. Bei einer Dehnung von 2,0 mm/m sollte demnach eine Standardabweichung von mindestens rd. 0,28 mm/m zugelassen werden.

Hinweis: Vermutlich sind die Grenzen des Referenzprüfverfahrens ab rd. 2 mm/m Dehnung erreicht. Nach bisherigen Erfahrungen des VDZ wurden AKR-Performance-Prüfungen mit Gesteinskörnungen, die mit dem Referenzprüfverfahren ähnlich große Dehnungen wie die Gesteinskörnung G3 zeigten, nicht bestanden.

Fall 2c: Auswertung unter Berücksichtigung historischer Werte

Für den Fall dass, die Bestätigungsprüfung von einem anderen Labor als die Grundprüfung durchgeführt wird, zeigen die Untersuchungsergebnisse aus den Ringversuchen 2005-2011, dass die festgelegte Grenzabweichung aus der Alkali-Richtlinie [1] ab einer Dehnung von rd. 0,25 mm/m Dehnung überschritten wird (siehe Strichpunktlinie Bild 44). In den Ringversuchen wurden gebrochene Gesteinskörnungen, Kiese und Gemische aus einer gebrochenen Gesteinskörnung und Kies verwendet. Bis zu rd. 30 Labors nahmen an den Untersuchungen teil.

Würden die Standardabweichungen der historischen Daten für die Festlegung der maximal zulässigen Abweichung in der Bestätigungsprüfung herangezogen werden, so sollte die Standardabweichung bereits ab 0,25 mm/m Dehnung ausgehend von einem Niveau von 0,10 mm/m mindestens auf den Betrag erhöht werden, der sich aus der Regressionsgeradengleichung ergibt. Bei einer Dehnung von 2,0 mm/m müsste demnach eine Standardabweichung von rd. 0,50 mm/m zugelassen werden. Die getroffenen Aussagen gelten für den untersuchten Wertebereich der Dehnung bis rd. 2,0 mm/m.

Die maximal mit dem Referenzprüfverfahren mögliche Präzision wurde mit den vorliegenden Ergebnissen mit Gesteinskörnung G1 bzw. G2 im Rahmen der Vergleichsuntersuchungen in 2012 ermittelt (Fall 1 bzw. Fall 2a). Ein Grund für die vergleichsweise hohe Präzision ist vermutlich in der Verwendung von Gesteinskörnungen zu sehen, deren Dehnungen im günstigen Wertebereich des Prüfverfahrens liegen. Ein weiterer Grund liegt vermutlich in der ausschließlichen Teilnahme von Labors mit besonders großer Erfahrung und Routine in der Durchführung des Referenzprüfverfahrens.

Gesteinskörnungen mit Dehnungen von mehr als 2,0 mm/m im Referenzprüfverfahren (wie bspw. G3) würden mit hoher Wahrscheinlichkeit die

AKR-Performance-Prüfungen nicht bestehen. In diesen Fällen wären diese Gesteinskörnungen nicht für die Verwendung von Beton für die Expositions-kategorie WS geeignet und würden diesbezüglich auch nicht zur Verwendung überwacht werden. Die Höhe der Präzision des Prüfverfahrens jenseits einer Dehnung von rd. 2,0 mm/m wäre demnach von untergeordneter Bedeutung.

Unter Beachtung der o. g. Gründe legen es die unter „echten“ Vergleichbedingungen ermittelten Präzisionswerte nahe, die maximal zulässige Abweichung (Grenzabweichung) für Bestätigungsprüfungen mit dem Referenzprüfverfahren bis zu einer Dehnung von 1,00 mm bei 0,10 mm/m zu belassen und darüber hinaus bis zu einer Dehnung von 2,00 mm/m auf 10 % des Serienmittelwertes anzuheben (siehe Vorschlag 1 in Bild 45).

Alternativ dazu wäre es denkbar, die Grenzabweichung für die Bestätigungsprüfungen mit dem Referenzprüfverfahren bis zu einer Dehnung von 1,00 mm/m auf 0,10 mm/m festzulegen und darüber hinaus bis zu einer Dehnung von 2,00 mm/m auf 0,15 mm/m anzuheben (siehe Vorschlag 2 in Bild 46). Damit kann nach den vorliegenden Erkenntnissen aus den o. g. Untersuchungen sichergestellt werden, dass die verfahrensbedingten Abweichungen allein nicht zu einer Fehlbewertung der Übereinstimmung der Gesteinskörnung in Bezug auf die Erstüberwachung führen.

Für das Alternativverfahren liegen nur Präzisionswerte aus den Vergleichsuntersuchungen aus 2012 vor. Auf Basis dieser Ergebnisse liegt es analog zum Referenzprüfverfahren für Bestätigungs-

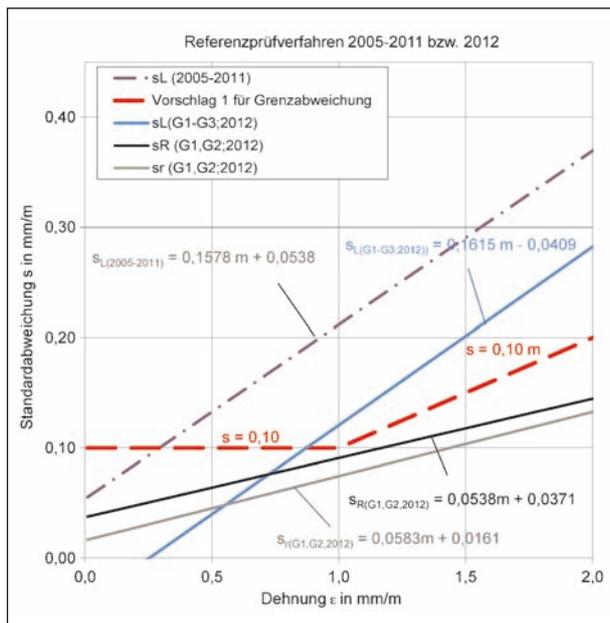


Bild 45: Vorschlag 1 für die vorläufige Festlegung der maximal zulässigen Abweichung des Serienmittelwertes der Dehnung für Bestätigungsprüfungen mit dem Referenzprüfverfahren

ϵ	s_{Vs1}	Einheit
0,00	0,10 ¹⁾	mm/m
1,00		
1,50	0,15 ²⁾	
2,00	0,20 ²⁾	

1) für $\epsilon \leq 1,00$ mm/m gilt $s = 0,10$ [mm/m]
 2) für $\epsilon > 1,00$ mm/m gilt $s = 0,10 \cdot \epsilon$ [mm/m]

Tab. 17: Werte für die Grafik in Bild 45

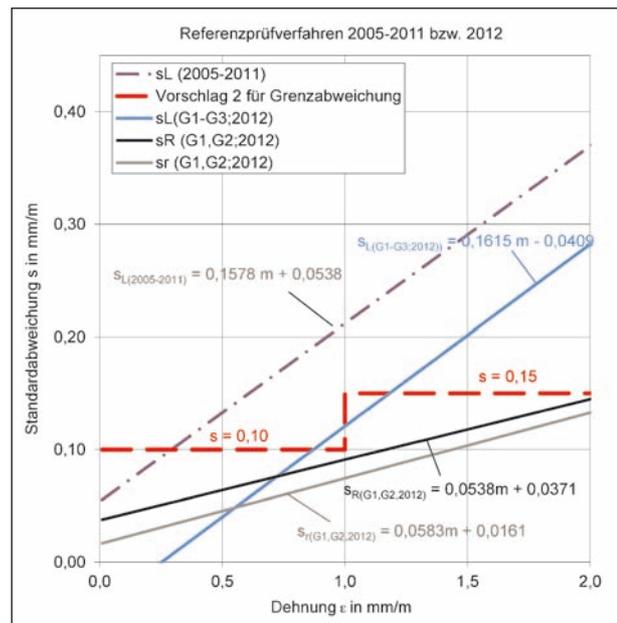


Bild 46: Vorschlag 2 für die vorläufige Festlegung der maximal zulässigen Abweichung des Serienmittelwertes der Dehnung für Bestätigungsprüfungen mit dem Referenzprüfverfahren

ϵ	s_{Vs1}	Einheit
0,00	0,10 ¹⁾	mm/m
1,00		
1,01	0,15 ²⁾	
2,00		

1) für $\epsilon \leq 1,00$ mm/m gilt $s = 0,10$ [mm/m]
 2) für $\epsilon > 1,00$ mm/m gilt $s = 0,15$ [mm/m]

Tab. 18: Werte für die Grafik in Bild 46

prüfungen mit dem Alternativverfahren nahe, die Grenzabweichung für Bestätigungsprüfungen bis zu einem Serienmittelwert von 1,50 mm/m auf 0,15 mm/m festzulegen und ab einer Dehnung von 1,50 mm/m auf 10 % des Serienmittelwerts der Dehnung zu erhöhen (siehe Vorschlag 1 in Bild 47). Damit kann nach den vorliegenden Erkenntnissen aus den o. g. Untersuchungen sichergestellt werden, dass die verfahrensbedingten Abweichungen allein nicht zu einer Fehlbewertung der Übereinstimmung der Gesteinskörnung in Bezug auf die Erstüberwachung führen (Bezug: Vergleichbedingungen).

Alternativ dazu wäre es zum Beispiel denkbar, die Grenzabweichung für Bestätigungsprüfungen mit dem Alternativverfahren bis zu einer Dehnung von 1,50 mm/m auf 0,15 mm/m festzulegen und ab einer Dehnung von 1,50 mm/m auf 0,25 mm/m anzuheben (siehe Vorschlag 2 in Bild 48).

Mit dieser Festlegung wäre bis zu einem Serienmittelwert von rd. 2,5 mm/m sichergestellt, dass die verfahrensbedingten Abweichungen allein nicht zu einer Fehlbewertung der Übereinstimmung der Gesteinskörnung in Bezug auf die Erstüberwachung führen (Bezug: Vergleichbedingungen).

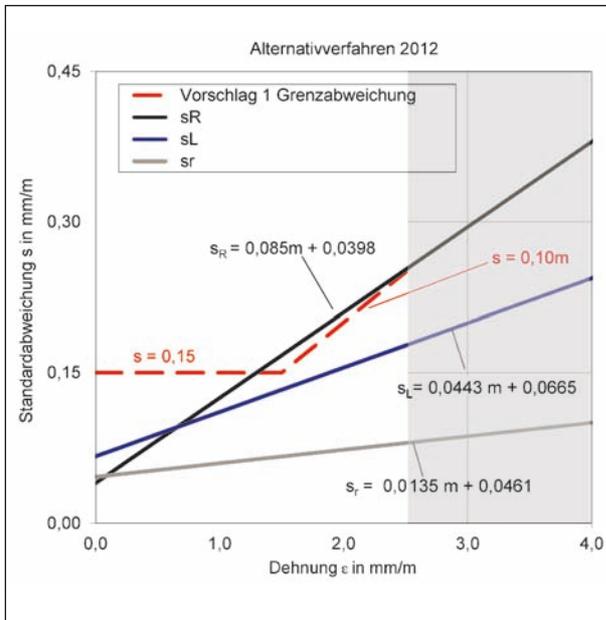


Bild 47: Vorschlag 1 für die vorläufige Festlegung der maximal zulässigen Abweichung des Serienmittelwerts der Dehnung für Bestätigungsprüfungen mit dem Alternativverfahren

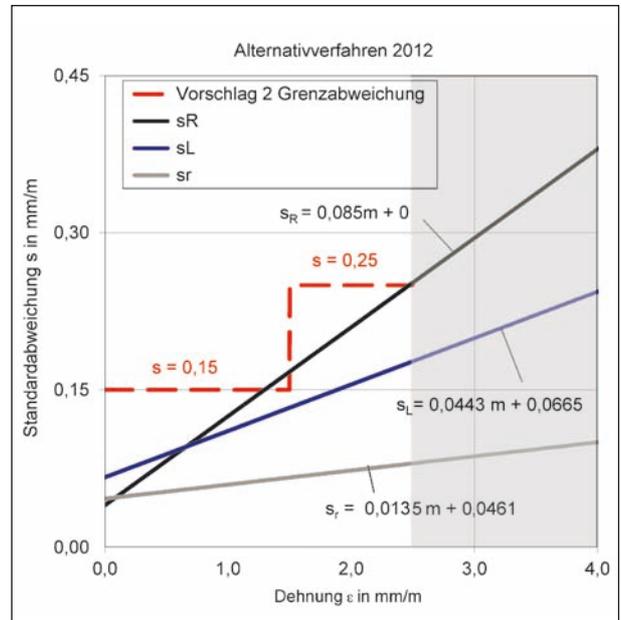


Bild 48: Vorschlag 2 für die vorläufige Festlegung der maximal zulässigen Abweichung des Serienmittelwerts der Dehnung für Bestätigungsprüfungen mit dem Alternativverfahren

ϵ	s_{vs1}	Einheit
0,00	0,15 ¹⁾	mm/m
1,50		
2,00	0,20 ²⁾	
3,00	0,30 ²⁾	
4,00	0,40 ²⁾	

1) für $\epsilon \leq 1,50$ mm/m gilt $s = 0,15$ [mm/m]
 2) für $\epsilon > 1,50$ mm/m gilt $s = 0,10 \cdot \epsilon$ [mm/m]

Tab. 19: Werte für die Grafik in Bild 47

ϵ	s_{vs2}	Einheit
0,00	0,15 ¹⁾	mm/m
1,50		
1,51	0,25 ²⁾	
2,00		

1) für $\epsilon \leq 1,50$ mm/m gilt $s = 0,15$ [mm/m]
 2) für $\epsilon > 1,50$ mm/m bis 2,5 mm/m gilt $s = 0,25$ [mm/m]

Tab. 20: Werte für die Grafik in Bild 48

6 Literatur

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb (Hrsg.): Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton: Alkali-Richtlinie. Berlin: Beuth, Februar 2007 (DAfStb-Richtlinie)
- [2] MÜLLER, C.; BORCHERS, I.; EICKSCHEN, E.: AKR-Prüfverfahren: Auf dem Weg zur Performance-Prüfung. In: Beton- und Stahlbetonbau 102 (2007) 8, S. 528-538
- [3] DIN ISO 5725-2:2002-12: Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen; Teil 2: Grundlegende Methode für die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens. Deutsche Norm, Beuth-Verlag, Berlin
- [4] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Sonderaufgaben (Hrsg): Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen; Teil 4: Auswertung von Ringversuchen und Errechnung von Prüffehlern; Ausgabe 1982. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1982
- [5] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb (Hrsg.): Sachstandsbericht (Heft 560) – Übertragbarkeit von Frost-Laborprüfungen auf Praxisverhältnisse. Berlin: Beuth, 2005
- [6] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Sonderaufgaben: Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen; Teil 1: Grundlagen zur Präzision von Prüfverfahren
- [7] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Sonderaufgaben: Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen; Teil 2: Erkennen und Behandeln von Ausreißern, Ausgabe 2003
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Sonderaufgaben: Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen; Teil 3: Planung, Organisation und Durchführung von Ringversuchen, Ausgabe 2006
- [9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Sonderaufgaben: Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen; Teil 4: Auswertung von Ringversuchen und Errechnen von Prüffehlern, Ausgabe 1982
- [10] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Sonderaufgaben: Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen; Teil 6: Bestimmung der geeigneten Stellenzahl für die Angabe von Prüfergebnissen und daraus abgeleiteter Kenngrößen, Ausgabe 1982
- [11] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitskreis 8.2.3 Alkali-Kieselsäure-Reaktion: Arbeitspapier „WS-Grund- und Bestätigungsprüfung zur Beurteilung der Eignung von groben Gesteinskörnungen für die Feuchtigkeitsklasse WS“ (Entwurf) Stand vom September 2011
- [12] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Projektbeschreibung 89.0260/2011 im Rahmen der Forschung „Straßenverkehrssicherheit, Straßenbau- und Verkehrstechnik“ mit Schreiben vom 28.07.2011 an den VDZ
- [13] Amtliche Sammlung § 35 LMBG: Überarbeitung des Abschnitts „Planung und statistische Auswertung von Ringversuchen“ des allgemeinen Teils der amtlichen Sammlung nach § 35 LMBG aus dem Jahr 1983 auf Grundlage der DIN ISO 5725-1:1997-11, DIN ISO 5725-2:2000-05 (Entwurf) und ISO 5725-6:2000-07, Beuth-Verlag 2003

7 Anhang

7.1 Referenzprüfverfahren (Ringversuche 2005 bis 2011) – Rohdaten (Serienmittelwerte = Labormittelwerte der Dehnung)

Labor	Prüfalter in Tagen												
	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	14	15
L2005-01	0,056	0,208	-	-	0,758	1,110	1,175	-	-	1,375	-	1,529	1,585
L2005-02	-0,100	-	-	-	0,600	0,800	-	-	-	-	-	1,900	2,667
L2005-03	0,104	0,298	-	-	0,616	0,724	-	0,824	-	-	1,001	1,076	1,131
L2005-04	0,148	0,319	-	-	0,571	0,713	-	0,827	-	-	1,007	1,119	1,176
L2005-05	-	0,073	-	-	0,530	0,657	-	0,780	-	-	1,023	1,137	1,230
L2005-06	0,060	-	-	0,440	-	0,880	-	-	-	-	1,107	1,313	-
L2005-07	0,200	0,440	-	-	0,500	1,010	-	1,720	-	-	2,007	2,243	2,303
L2005-08	0,181	-	-	0,732	0,831	0,950	-	-	-	-	-	1,416	-
L2005-09	0,111	0,194	-	-	-	0,803	-	-	-	-	-	1,219	-
L2005-10	0,167	-	0,292	-	-	0,375	-	-	-	-	-	0,500	-
L2005-11	0,127	0,237	-	-	-	0,507	-	-	-	-	-	0,837	-
L2005-12	0,120	0,217	-	-	-	0,517	-	-	-	-	-	0,823	-
L2005-13	0,075	0,208	-	-	0,612	0,766	-	0,877	-	-	1,048	1,142	-
L2005-14	-	-	0,546	-	-	0,896	-	-	-	-	-	1,265	-
L2005-15	0,100	-	0,483	-	-	0,857	-	-	-	-	-	1,267	-
L2005-16	0,073	-	0,497	-	-	0,907	-	-	-	-	-	1,297	-
L2005-17	-	0,302	-	-	0,558	0,673	-	-	0,846	-	0,973	1,098	-
L2005-18	-	0,211	-	-	0,574	0,724	-	-	-	-	-	1,089	-

Tab. 21: Labormittelwerte der Dehnung aus Ringversuch 2005 in mm/m

Labor	Prüfalter in Tagen								
	1	4	5	7	8	9	12	13	14
L2006-01	0,013	-	0,100	-	-	0,196	0,286	-	0,342
L2006-02	0,019	0,084	-	-	0,144	-	-	0,223	-
L2006-03	0,056	-	0,186	-	-	0,346	-	0,452	-
L2006-04	0,165	0,289	-	-	0,371	-	-	0,441	-
L2006-05	0,025	-	0,100	-	0,131	-	-	0,250	-
L2006-06	0,017	0,087	-	-	0,153	-	-	0,343	-
L2006-07	-	-	0,106	-	0,165	-	0,225	0,236	-
L2006-08	0,029	-	0,127	-	0,190	-	-	0,240	-
L2006-09	0,187	-	0,263	-	0,371	-	-	0,450	-
L2006-10	0,035	-	0,125	-	0,213	-	-	0,309	-
L2006-11	0,029	-	0,165	-	0,294	-	-	0,306	-
L2006-12	0,013	0,037	-	-	0,117	-	-	0,186	-
L2006-13	-0,019	-	0,104	-	0,254	-	-	0,323	-
L2006-14	0,044	-	0,158	-	-	0,277	-	0,519	-
L2006-15	0,068	0,153	-	-	0,215	-	-	0,292	-
L2006-16	0,029	0,069	-	-	0,158	-	-	0,282	-
L2006-17	0,150	0,260	-	-	0,317	-	-	0,371	-
L2006-18	0,046	0,131	-	0,135	-	-	-	0,264	-
L2006-19	0,045	0,075	-	-	0,115	-	-	0,187	-
L2006-20	0,035	-	0,104	-	-	0,213	-	0,297	-
L2006-21	0,062	-	0,274	-	-	0,305	-	-	0,454
L2006-22	0,101	-	0,122	0,282	-	-	-	-	0,337
L2006-23	0,101	-	0,122	0,282	-	-	-	-	0,337
L2006-24	0,094	0,115	-	0,173	-	-	-	-	0,323

Tab. 22: Labormittelwerte der Dehnung aus Ringversuch 2006 in mm/m

Labor	Prüfalter in Tagen														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	20
2008-01	0,198	-	-	-	0,815	-	-	-	1,429	-	-	1,667	-	-	-
2008-02	-	0,135	-	-	0,158	0,521	0,667	0,869	1,044	-	1,192	1,865	2,058	2,238	2,394
2008-04	0,163	-	0,446	-	0,958	-	1,258	-	1,410	1,613	-	-	1,644	-	-
2008-05	0,002	0,038	-	0,240	0,379	-	-	0,927	-	1,510	-	1,898	-	-	-
2008-06	0,100	-	-	-	0,553	-	-	0,889	-	-	-	1,664	-	-	-
2008-07	0,054	-	-	-	0,429	-	-	0,910	-	-	-	1,769	-	-	-
2008-08	0,050	-	-	0,375	-	-	0,925	-	-	1,650	-	1,994	-	-	-
2008-09	0,065	0,131	-	-	0,208	0,560	0,610	0,702	0,767	-	1,079	1,188	-	-	-
2008-10	0,177	-	-	0,698	-	-	-	1,323	-	-	-	2,000	-	-	-
2008-11	0,013	-	-	-	0,333	-	-	0,621	-	-	-	1,083	-	-	-
2008-12	0,110	-	-	0,298	-	-	-	0,699	-	-	-	1,430	-	-	-
2008-13	0,031	0,157	-	-	0,663	0,904	1,034	-	-	-	-	1,775	-	-	-
2008-14	0,052	-	-	0,416	-	-	-	1,188	-	-	-	1,906	-	-	-
2008-15	0,028	-	-	-	0,378	-	-	-	0,915	-	-	1,581	-	-	-
2008-16	0,012	-	-	0,265	-	-	-	0,785	-	-	-	1,646	-	-	-
2008-17	0,060	-	-	-	0,350	-	-	0,810	-	-	-	1,620	-	-	-
2008-18	-0,008	-	-	0,281	0,240	-	-	0,769	-	-	-	1,250	-	-	-
2008-19	0,010	-	-	-	0,392	-	-	-	0,960	-	-	1,500	-	-	-
2008-20	0,236	-	-	-	0,834	-	-	1,250	-	-	-	1,378	-	-	-
2008-21	0,021	-	-	-	0,225	-	-	0,444	-	-	-	0,910	-	-	-
2008-22	0,036	0,158	-	-	0,642	-	1,051	-	1,470	-	2,037	-	2,399	-	-
2008-23	0,050	-	-	-	0,604	-	-	1,204	-	-	-	2,146	-	-	-
2008-24	0,010	-	-	0,025	-	-	-	0,037	-	-	-	0,058	-	-	-
2008-25	0,040	-	-	0,230	-	-	-	0,670	-	-	-	1,230	-	-	-
2008-26	0,030	0,090	-	-	0,460	-	0,780	0,910	-	-	1,610	1,780	-	-	-
2008-27	0,050	-	-	0,267	-	-	-	0,808	-	1,323	-	1,615	-	-	-
2008-28	0,017	-	-	-	0,337	-	-	-	0,917	-	-	1,710	-	-	-
2008-29	0,019	-	-	0,292	-	-	-	0,863	-	-	-	1,642	-	-	-
2008-30	0,290	-	-	0,890	-	-	-	1,320	-	-	-	1,510	-	-	-

Tab. 23: Labormittelwerte der Dehnung aus Ringversuch 2008 in mm/m

Labor	Prüfalter in Tagen																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	19
2009-02	-0,017	0,158	-	-	0,704	0,896	1,060	-	1,365	-	-	1,781	1,923	2,060	2,183	2,300	2,725
2009-03	0,161	0,217	-	-	0,834	-	1,042	1,192	1,326	-	-	-	1,730	-	-	-	-
2009-04	0,321	-	0,581	-	0,765	-	0,965	-	1,140	-	-	-	1,306	1,406	-	-	-
2009-05	0,058	-	0,363	-	0,777	0,952	-	1,367	-	-	-	1,900	1,956	-	-	-	-
2009-06	0,058	-	-	-	0,805	-	-	1,279	-	-	-	-	2,275	-	-	-	-
2009-07	0,081	-	-	-	0,715	-	-	1,179	-	-	-	-	1,815	-	-	-	-
2009-08	0,060	-	-	-	0,708	-	-	-	1,423	-	-	-	2,229	2,375	-	-	-
2009-09	0,308	-	0,531	0,708	0,854	-	-	-	1,479	1,646	1,760	1,885	1,958	-	-	-	-
2009-10	0,094	-	-	0,688	-	-	-	1,281	-	-	-	-	1,979	-	-	-	-
2009-11	0,117	-	-	-	0,877	-	-	1,556	-	-	-	-	2,073	-	-	-	-
2009-13	-0,026	0,231	-	-	-	0,931	1,052	-	-	-	-	-	1,799	-	-	-	-
2009-14	0,150	-	-	-	0,879	-	-	-	1,427	-	-	-	1,877	-	-	-	-
2009-15	0,070	-	-	-	0,760	-	-	-	1,500	-	-	-	2,100	-	-	-	-
2009-16	0,215	-	-	-	0,602	-	-	-	1,186	-	-	-	1,723	-	-	-	-
2009-18	-	-	-	0,083	0,083	-	-	0,731	0,731	-	-	-	1,125	-	-	-	-
2009-19	0,042	-	-	-	0,502	-	-	-	1,360	-	-	-	1,771	-	-	-	-
2009-20	0,100	-	-	0,370	-	-	-	0,890	-	-	-	-	1,500	-	-	-	-
2009-21	0,140	-	-	0,738	-	-	-	1,340	-	-	-	-	2,011	-	-	-	-
2009-22	0,092	-	-	-	0,946	-	1,342	-	1,744	-	-	2,261	-	2,554	-	-	-
2009-23	0,120	-	-	-	0,827	-	-	1,498	-	-	-	-	2,391	-	-	-	-
2009-24	0,010	-	-	0,580	-	-	-	1,240	-	-	-	-	1,750	-	-	-	-
2009-25	0,066	-	-	-	0,685	-	-	-	1,285	-	-	-	1,692	-	-	-	-
2009-26	0,080	-	-	-	0,750	0,930	-	1,310	-	-	1,740	-	2,010	-	-	-	-
2009-27	0,025	-	-	0,502	-	-	-	1,352	-	-	1,848	-	2,108	-	-	-	-
2009-28	0,013	-	-	0,292	-	-	-	0,825	-	-	-	-	1,796	-	-	-	-
2009-29	0,169	-	-	0,550	-	-	-	1,273	-	-	-	-	2,150	-	-	-	-
2009-30	0,019	-	-	-	0,536	-	-	-	1,152	-	-	-	1,671	-	-	-	-
2009-32	0,021	-	-	0,522	0,678	0,856	1,028	-	-	-	-	-	1,832	-	-	-	-
2009-33	0,063	-	-	0,750	0,854	0,979	1,125	1,292	-	-	1,604	1,792	1,896	-	-	-	-

Tab. 24: Labormittelwerte der Dehnung aus Ringversuch 2009 in mm/m

Labor	Prüfalter in Tagen													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	
2010-01	0,137	-	-	-	0,173	-	-	-	0,262	-	-	0,471	-	
2010-02	0,158	-	-	0,290	0,340	0,383	0,431	0,475	-	0,615	0,652	0,710	-	
2010-03	-0,027	-	-	-	0,119	-	0,198	0,265	0,313	-	-	0,419	-	
2010-04	0,100	-	0,192	-	0,254	-	0,333	-	0,383	-	-	0,456	0,498	
2010-05	0,054	-	-	0,181	-	-	-	0,285	-	-	-	0,470	-	
2010-06	0,114	-	-	-	0,249	-	-	-	0,425	-	-	0,623	-	
2010-07	0,060	-	-	-	0,181	-	-	0,315	-	-	-	0,519	-	
2010-08	0,110	-	-	0,220	-	-	-	0,430	-	-	-	0,640	-	
2010-09	0,063	-	-	0,156	-	0,198	-	0,292	-	0,354	-	0,406	-	
2010-10	0,013	-	-	0,135	-	-	-	0,302	-	-	-	0,671	-	
2010-11	0,085	-	-	-	0,244	-	-	0,433	-	-	-	0,590	-	
2010-12	0,029	-	-	0,123	-	-	-	0,310	-	-	-	0,581	-	
2010-13	0,047	0,115	-	-	0,219	0,324	0,423	-	-	-	-	0,559	-	
2010-14	0,104	-	-	-	0,352	-	-	0,492	-	-	-	0,640	-	
2010-15	0,030	-	-	-	0,210	-	-	-	0,360	-	-	0,520	-	
2010-16	0,063	-	-	-	0,283	-	-	-	0,485	-	-	0,629	-	
2010-18	0,008	-	-	-	0,212	-	-	-	0,358	-	-	0,733	-	
2010-19	0,031	-	-	0,148	-	-	-	0,367	-	-	-	0,615	-	
2010-20	0,021	-	-	0,212	-	-	-	0,350	-	-	-	0,537	-	
2010-21	0,033	-	-	-	0,223	-	-	0,392	-	-	-	0,604	-	
2010-22	0,038	0,084	-	-	0,228	-	0,346	-	0,465	-	0,606	-	0,698	
2010-23	0,031	-	-	-	0,160	-	-	0,308	-	-	-	0,496	-	
2010-24	0,008	-	-	0,102	-	-	-	0,250	-	-	-	0,406	-	
2010-25	0,071	-	-	-	0,314	-	-	-	0,507	-	-	0,644	-	
2010-26 ¹⁾	0,190	-	-	0,330	-	-	-	0,390	-	-	-	0,420	-	
2010-27	0,029	-	-	-	0,263	-	-	0,374	-	-	0,516	0,555	-	
2010-28	0,069	-	-	0,213	-	-	-	0,388	-	-	-	0,590	-	
2010-29	0,065	-	-	0,179	-	-	-	0,333	-	-	-	0,467	-	
2010-30	0,069	-	-	-	0,263	-	-	-	0,415	-	-	0,523	-	
2010-32	0,068	0,099	-	-	0,188	0,345	-	-	0,387	-	-	0,606	-	
2010-33	0,146	-	-	0,292	0,354	0,375	0,479	0,479	-	0,563	0,625	0,646	-	
2010-34	0,056	0,133	-	-	0,256	0,238	0,315	0,367	0,375	-	-	0,552	-	

¹⁾ Zu hohe Schwankungen der Einzelwerte (> 0,1 mm/m Abweichung vom Mittelwert), nicht zur Auswertung weiterverwendet (übernommen aus dem Datenbestand der TU Hamburg-Harburg)

Tab. 25: Labormittelwerte der Dehnung aus Ringversuch 2010 in mm/m

Labor	Prüfalter in Tagen												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14
L2011-01	0,083	-	0,158	-	-	0,246	0,315	0,396	0,488	-	0,531	0,667	-
L2011-02	0,044	0,290	-	-	0,385	-	0,540	-	0,794	-	0,981	1,102	1,206
L2011-03	0,010	-	-	0,210	-	-	0,485	-	-	-	-	0,730	-
L2011-04	0,067	-	-	-	0,456	-	-	0,735	-	-	-	1,002	-
L2011-05	0,052	-	-	-	0,314	-	-	0,440	-	-	-	0,758	-
L2011-06	-0,010	-	-	0,281	-	-	0,567	-	-	-	-	0,914	-
L2011-07	0,052	-	-	0,226	-	-	0,271	-	-	-	-	0,537	-
L2011-08	-0,017	-	-	-	0,367	-	-	0,550	-	-	-	0,850	-
L2011-09	0,035	-	-	0,171	-	-	0,436	-	-	-	-	0,721	-
L2011-10	0,147	0,189	-	-	0,332	-	0,569	-	-	-	-	0,726	-
L2011-11	0,054	-	-	-	0,421	-	-	0,565	-	-	-	0,754	-
L2011-12	0,070	-	-	-	0,360	-	-	-	0,500	-	-	0,650	-
L2011-13	0,012	-	-	-	0,265	-	-	0,348	-	-	-	0,604	-
L2011-14	0,038	-	-	0,215	-	-	-	0,392	-	-	-	0,485	-
L2011-15	0,100	-	-	0,417	-	-	-	0,569	-	-	-	0,771	-
L2011-16	0,152	-	-	-	0,449	-	-	0,596	-	-	-	0,833	-
L2011-17	0,083	-	-	-	0,358	-	-	-	0,577	-	-	0,752	-
L2011-18	0,059	-	-	0,298	-	-	0,460	-	0,580	-	-	0,655	-
L2011-19	-0,048	-	-	-	0,461	-	-	0,592	-	-	-	0,676	-
L2011-20	0,077	-	-	0,323	-	-	-	-	0,548	-	-	0,727	-
L2011-21	0,075	-	-	0,187	-	-	0,372	-	-	-	-	0,586	-
L2011-22	0,040	-	-	-	0,310	-	-	-	0,520	-	-	0,690	-
L2011-23	0,020	-	-	-	0,308	-	-	0,514	-	-	0,648	0,707	-
L2011-24	0,070	-	-	0,270	-	-	-	0,460	-	-	-	0,610	-
L2011-25	0,177	-	-	0,492	-	-	-	0,596	-	-	-	0,850	-
L2011-26	0,094	-	-	0,312	-	-	-	0,492	-	-	-	0,652	-
L2011-27	0,128	0,336	-	-	0,604	0,613	-	-	0,865	-	-	-	-
L2011-28	-0,042	-	-	-	0,208	-	-	-	0,250	-	-	0,250	-
L2011-29	0,080	-	-	-	0,380	-	-	0,590	-	-	-	0,840	-

Tab. 26: Labormittelwerte der Dehnung aus Ringversuch 2011 in mm/m

7.2 Referenzprüfverfahren in 2012 – Rohdaten, statistische Tests, Präzisionswerte

7.2.1 Gesteinskörnung G1

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen						
				1	5	9	13	21		
L1	G1	R1	P1	0,069	0,497	0,894	1,313	2,041		
			P2	0,063	0,497	0,900	1,300	2,000		
			P3	0,056	0,500	0,912	1,328	2,050		
		R2	P1	0,106	0,450	0,875	1,256	1,928		
			P2	0,078	0,453	0,897	1,306	2,013		
			P3	0,053	0,459	0,891	1,281	1,978		
		R3	P1	0,072	0,497	0,825	1,247	1,988		
			P2	0,056	0,466	0,809	1,216	1,919		
			P3	0,059	0,481	0,822	1,256	2,006		
		R4	P1	0,053	0,484	0,878	1,359	1,950		
			P2	0,047	0,478	0,884	1,316	2,000		
			P3	0,066	0,494	0,900	1,303	1,978		
		R5	P1	0,050	0,481	0,888	1,300	2,069		
			P2	0,050	0,484	0,894	1,300	2,103		
			P3	0,066	0,500	0,909	1,256	2,116		
		L2	G1	R1	P1	0,119	0,525	0,881	1,225	2,163
					P2	0,094	0,525	0,869	1,194	2,106
					P3	0,106	0,500	0,900	1,200	2,056
				R2	P1	0,075	0,569	1,019	1,263	2,350
					P2	0,100	0,600	1,081	1,313	2,438
					P3	0,081	0,569	1,063	1,256	2,356
R3	P1			0,125	0,588	0,994	1,419	1,881		
	P2			0,069	0,556	0,888	1,313	1,888		
	P3			0,100	0,600	0,925	1,394	1,900		
R4	P1			0,106	0,625	1,038	1,519	2,106		
	P2			0,125	0,619	1,006	1,438	2,031		
	P3			0,075	0,613	1,006	1,406	1,981		
R5	P1			0,094	0,613	1,044	1,419	2,069		
	P2			0,131	0,663	1,113	1,513	2,206		
	P3			0,113	0,613	1,013	1,363	2,050		

Tab. 27: Einzelwerte der Dehnung in mm/m, bestimmt an den Mörtelprismen P1 bis P3

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen				
				1	5	9	13	21
L3	G1	R1	P1	n. b.	0,705	1,120	1,598	2,291
			P2	n. b.	0,687	1,084	1,544	2,206
			P3	n. b.	0,680	1,096	1,562	2,267
		R2	P1	n. b.	0,663	1,076	1,532	2,227
			P2	n. b.	0,644	1,045	1,570	2,290
			P3	n. b.	0,658	1,040	1,584	2,342
		R3	P1	n. b.	0,656	1,019	1,393	2,006
			P2	n. b.	0,588	1,013	1,413	2,020
			P3	n. b.	0,588	1,006	1,407	2,013
		R4	P1	n. b.	0,522	0,944	1,290	1,925
			P2	n. b.	0,539	0,935	1,273	1,920
			P3	n. b.	0,552	0,984	1,329	1,987
		R5	P1	n. b.	0,578	0,986	1,350	2,003
			P2	n. b.	0,578	0,980	1,338	1,960
			P3	n. b.	0,578	0,998	1,337	2,016
L4	G1	R	P1	0,019	0,556	0,893	1,211	1,848
			P2	0,106	0,581	0,924	1,180	1,879
			P3	0,037	0,512	0,861	1,186	1,916
L5	G1	R	P1	0,138	0,513	0,944	1,294	2,075
			P2	0,069	0,494	0,913	1,281	2,025
			P3	0,188	0,550	0,969	1,419	2,088

Tab. 27: Fortsetzung

Bezeichnung			Prüfalter in Tagen				
			1	5	9	13	21
L1	G1	R1	0,006	0,002	0,010	0,014	0,027
		R2	0,027	0,005	0,011	0,025	0,042
		R3	0,008	0,016	0,008	0,021	0,046
		R4	0,010	0,008	0,011	0,030	0,025
		R5	0,009	0,010	0,011	0,025	0,024
L2	G1	R1	0,012	0,014	0,016	0,017	0,053
		R2	0,013	0,018	0,032	0,031	0,049
		R3	0,028	0,023	0,054	0,056	0,010
		R4	0,025	0,006	0,018	0,058	0,063
		R5	0,019	0,029	0,051	0,076	0,085
L3	G1	R1	n. b.	0,013	0,018	0,027	0,044
		R2	n. b.	0,010	0,020	0,027	0,058
		R3	n. b.	0,039	0,007	0,010	0,007
		R4	n. b.	0,015	0,026	0,029	0,037
		R5	n. b.	0,000	0,009	0,007	0,029
L4	G1	R	0,046	0,035	0,032	0,016	0,034
L5	G1	R	0,060	0,028	0,028	0,076	0,033

Tab. 28: Standardabweichungen der Einzelwerte in mm/m

Bezeichnung			Prüfalter in Tagen				
			1	5	9	13	21
L1	G1	R1	0,063	0,498	0,902	1,314	2,030
		R2	0,079	0,454	0,888	1,281	1,973
		R3	0,062	0,481	0,819	1,240	1,971
		R4	0,055	0,485	0,887	1,326	1,976
		R5	0,055	0,489	0,897	1,285	2,096
L2	G1	R1	0,106	0,517	0,883	1,206	2,108
		R2	0,085	0,579	1,054	1,277	2,381
		R3	0,098	0,581	0,935	1,375	1,890
		R4	0,102	0,619	1,017	1,454	2,040
		R5	0,113	0,629	1,056	1,431	2,108
L3	G1	R1	n. b.	0,691	1,100	1,568	2,255
		R2	n. b.	0,655	1,054	1,562	2,286
		R3	n. b.	0,611	1,013	1,404	2,013
		R4	n. b.	0,538	0,954	1,297	1,944
		R5	n. b.	0,578	0,988	1,342	1,993
L4	G1	R	0,054	0,550	0,893	1,192	1,881
L5	G1	R	0,132	0,519	0,942	1,331	2,063

Tab. 29: Serienmittelwerte der Dehnung in mm/m

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen				
				1	5	9	13	21
L1	G1	R		0,010	0,016	0,034	0,034	0,054
L2	G1	R		0,010	0,044	0,077	0,105	0,178
L3	G1	R		n. b.	0,061	0,057	0,125	0,160
L4	G1	R		n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
L5	G1	R		n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.

Tab. 30: Standardabweichungen der Serienmittelwerte in mm/m

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen				
	1	5	9	13	21
Gesamtmittelwert m_j	0,084	0,557	0,958	1,346	2,059
s	0,026	0,068	0,080	0,109	0,138
Min m	0,054	0,454	0,819	1,192	1,881
Max m	0,132	0,691	1,100	1,568	2,381
n	12	17	17	17	17
p für n	2,636	2,894	2,894	2,894	2,894
B für min m_i	1,129	1,515	1,738	1,412	1,295
B für max m_i	1,824	1,962	1,778	2,033	2,338
min Ausreißer?	korrekt	korrekt	korrekt	korrekt	korrekt
max Ausreißer?	korrekt	korrekt	korrekt	korrekt	korrekt

Tab. 31: Untersuchung der Serienmittelwerte auf statistische Ausreißer nach GRUBBS (Irrtumswahrscheinlichkeit 1 %)

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen				
	1	5	9	13	21
s^2 (L1)	0,000	0,0003	0,0012	0,0011	0,0030
s^2 (L2)	0,000	0,0020	0,0059	0,0110	0,0318
s^2 (L3)	n. b.	0,0037	0,0032	0,0156	0,0255
s^2_{\max}	0,0001	0,0037	0,0059	0,0156	0,0318
$\Sigma (s_i^2)$	0,0002	0,0059	0,0103	0,0277	0,0602
C	0,519	0,623	0,573	0,563	0,527
n	5	5	5	5	5
p	2	3	3	3	3
$C_{\text{krit}}(n, p)$ 5 %	0,906	0,746	0,746	0,746	0,746
$C_{\text{krit}}(n, p)$ 1 %	0,959	0,834	0,834	0,834	0,834
Ausreißer?	korrekt!	korrekt!	korrekt!	korrekt!	korrekt!

Tab. 32: Untersuchung der Serienmittelwerte auf ungleiche Varianzen mittels Cochran-Test (L1 bis L3)

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen				
				1	5	9	13	21
L1	G1	R		0,063	0,481	0,879	1,289	2,009
L2	G1	R		0,101	0,585	0,989	1,349	2,105
L3	G1	R		-	0,614	1,022	1,435	2,098
L4	G1	R		0,054	0,550	0,893	1,192	1,881
L5	G1	R		0,132	0,519	0,942	1,331	2,063

Tab. 33: Labormittelwerte der Dehnung in mm/m

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen					
	1	5	9	13	21	
p	2	3	3	3	3	-
n	5	5	5	5	5	-
m ₁	0,063	0,481	0,879	1,289	2,009	-
m ₂	0,101	0,585	0,989	1,349	2,105	-
m ₃	n. b.	0,614	1,022	1,435	2,098	-
m ₄	0,054	0,550	0,893	1,192	1,881	-
m ₅	0,132	0,519	0,942	1,331	2,063	-
$\Sigma (m_i^2)$	0,034	1,523	4,478	8,733	20,665	-
$\Sigma (m_i)^2$	0,092	5,353	15,696	31,002	72,393	-
$\Sigma (s_i)^2$	0,0002	0,006	0,010	0,028	0,060	-
m _j	0,084	0,557	0,958	1,346	2,059	mm/m
s _r ²	0,000	0,002	0,003	0,009	0,020	-
s _L ²	0,001	0,003	0,004	0,003	0,000	-
s _R ²	0,001	0,005	0,007	0,013	0,020	-
s _r	0,010	0,044	0,059	0,096	0,142	mm/m
s _L	0,029	0,057	0,062	0,058	0,042	mm/m
s _R	0,031	0,073	0,085	0,112	0,142	mm/m
v _r	11,9	8,0	6,1	7,1	6,9	%
v _L	34,8	10,3	6,4	4,3	0,0	%
v _R	36,8	13,0	8,9	8,4	6,9	%
$\gamma = s_R/s_r$	3,09	1,64	1,45	1,17	1,00	-
r	0,028	0,123	0,162	0,267	0,393	mm/m
R	0,085	0,201	0,236	0,312	0,393	mm/m

Tab. 34: Präzisionswerte für die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G1 mit dem Referenzprüfverfahren

Bezeichnung	Symbol	Prüfalter in Tagen					
		01	05	09	13	21	
L2012-01	m_1	0,063	0,481	0,879	1,289	2,009	mm/m
L2012-02	m_2	0,101	0,585	0,989	1,349	2,105	mm/m
L2012-03	m_3	n. b.	0,614	1,022	1,435	2,098	mm/m
L2012-04	m_4	0,054	0,550	0,893	1,192	1,881	mm/m
L2012-05	m_5	0,132	0,519	0,942	1,331	2,063	mm/m
Gesamtmittelwert	m_j	0,084	0,557	0,958	1,346	2,059	mm/m
Vergleich-Standardabweichung	s_R	0,031	0,073	0,085	0,112	0,142	mm/m
Wiederhol-Standardabweichung	s_r	0,01	0,044	0,059	0,096	0,142	mm/m
Vergleichsvariationskoeffizient	v_R	36,8	13,2	8,9	8,4	6,9	%
Wiederholvariationskoeffizient	v_r	11,9	8,0	6,1	7,2	6,9	%
Vergleichsgrenze, $R (2,77 \times s_R)$	R	0,085	0,203	0,236	0,312	0,392	mm/m
Wiederholgrenze, $r (2,77 \times s_r)$	r	0,028	0,123	0,162	0,266	0,392	mm/m
untere Toleranzgrenze		0,022	0,411	0,788	1,121	1,776	mm/m
obere Toleranzgrenze		0,145	0,704	1,128	1,571	2,343	mm/m
Anzahl A-Ausreißer		0	0	0	0	0	-
Anzahl B-Ausreißer		0	0	0	0	0	-
Anzahl C-Ausreißer		0	0	0	0	0	-
Anzahl Teilnehmer		4	5	5	5	5	-
Anzahl Einzelwerte		12	17	17	17	17	-
Anzahl Einzelwerte ohne Ausreißer		12	17	17	17	17	-
Standardfehler		0,015	0,029	0,031	0,036	0,037	mm/m
untere Konfidenzgrenze		0,054	0,5	0,895	1,274	1,986	mm/m
obere Konfidenzgrenze		0,113	0,614	1,021	1,418	2,132	mm/m
Erläuterung der Ausreißertypen (Software) A: Einzelausreißer (GRUBBS) B: abweichender Labormittelwert (GRUBBS) C: überhöhte Labor-Standardabweichung (COCHRAN)							

Tab. 35: Präzisionswerte für die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G1 mit dem Referenzprüfverfahren (ermittelt mit einer Statistiksoftware)

7.2.2 Gesteinskörnung G2

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen						
				1	5	9	13	21		
L1	G2	R1	P1	0,144	0,275	0,347	0,653	1,097		
			P2	0,131	0,284	0,341	0,653	1,103		
			P3	0,134	0,275	0,341	0,656	1,141		
		R2	P1	0,075	0,219	0,384	0,634	1,263		
			P2	0,066	0,200	0,384	0,628	1,256		
			P3	0,069	0,209	0,387	0,634	1,263		
		R3	P1	0,091	0,225	0,375	0,637	1,109		
			P2	0,087	0,247	0,384	0,647	1,119		
			P3	0,088	0,234	0,387	0,641	1,125		
		R4	P1	0,141	0,275	0,478	0,681	1,144		
			P2	0,131	0,266	0,459	0,662	1,094		
			P3	0,131	0,272	0,459	0,666	1,122		
		R5	P1	0,097	0,194	0,328	0,547	1,050		
			P2	0,088	0,209	0,347	0,553	1,059		
			P3	0,066	0,194	0,334	0,547	1,088		
		L2	G2	R1	P1	0,075	0,188	0,363	0,525	0,906
					P2	0,044	0,119	0,300	0,563	0,969
					P3	0,044	0,094	0,325	0,519	0,956
R2	P1			0,113	0,144	0,344	0,594	0,963		
	P2			0,087	0,138	0,350	0,550	0,981		
	P3			0,075	0,125	0,338	0,588	0,981		
R3	P1			0,063	0,131	0,438	0,600	1,100		
	P2			0,050	0,081	0,419	0,606	1,081		
	P3			0,069	0,119	0,419	0,625	0,994		
R4	P1			0,075	0,213	0,375	0,663	1,175		
	P2			0,069	0,213	0,394	0,675	1,213		
	P3			0,088	0,150	0,388	0,650	1,150		
R5	P1			0,106	0,231	0,431	0,669	1,156		
	P2			0,188	0,263	0,475	0,763	1,231		
	P3			0,094	0,181	0,444	0,669	1,075		

Tab. 36: Einzelwerte der Dehnung in mm/m, bestimmt an den Mörtelprismen P1 bis P3

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen				
				1	5	9	13	21
L3	G2	R1	P1	n. b.	0,233	0,460	0,668	1,165
			P2	n. b.	0,214	0,434	0,616	1,138
			P3	n. b.	0,258	0,472	0,648	1,183
		R2	P1	n. b.	0,244	0,438	0,738	1,226
			P2	n. b.	0,232	0,432	0,727	1,221
			P3	n. b.	0,225	0,419	0,676	1,258
		R3	P1	n. b.	0,236	0,465	0,726	1,197
			P2	n. b.	0,255	0,496	0,738	1,248
			P3	n. b.	0,274	0,491	0,765	1,243
		R4	P1	n. b.	0,235	0,477	0,802	1,304
			P2	n. b.	0,242	0,503	0,803	1,313
			P3	n. b.	0,242	0,497	0,810	1,281
		R5	P1	n. b.	0,274	0,530	0,797	1,231
			P2	n. b.	0,287	0,536	0,785	1,245
			P3	n. b.	0,249	0,511	0,753	1,200
L4	G2	R	P1	0,125	0,281	0,475	0,807	1,276
			P2	0,081	0,269	0,469	0,775	1,319
			P3	0,119	0,250	0,481	0,762	1,249
L5	G2	R	P1	0,050	0,144	0,375	0,662	1,256
			P2	0,069	0,181	0,400	0,700	1,263
			P3	0,062	0,181	0,469	0,731	1,281

Tab. 36: Fortsetzung

Bezeichnung			Prüfalter in Tagen				
			1	5	9	13	21
L1	G2	R1	0,007	0,005	0,004	0,002	0,024
		R2	0,005	0,009	0,002	0,004	0,004
		R3	0,002	0,011	0,007	0,005	0,008
		R4	0,005	0,005	0,011	0,010	0,025
		R5	0,016	0,009	0,010	0,004	0,020
L2	G2	R1	0,018	0,049	0,031	0,024	0,033
		R2	0,019	0,010	0,006	0,024	0,011
		R3	0,010	0,026	0,011	0,013	0,057
		R4	0,010	0,036	0,010	0,012	0,031
		R5	0,051	0,041	0,023	0,054	0,078
L3	G2	R1	n. b.	0,022	0,019	0,026	0,023
		R2	n. b.	0,010	0,010	0,033	0,020
		R3	n. b.	0,019	0,017	0,020	0,028
		R4	n. b.	0,004	0,014	0,004	0,017
		R5	n. b.	0,019	0,013	0,023	0,023
L4	G2	R	0,024	0,016	0,006	0,023	0,035
L5	G2	R	0,010	0,021	0,049	0,035	0,013

Tab. 37: Standardabweichungen der Einzelwerte in mm/m

Bezeichnung			Prüfalter in Tagen				
			1	5	9	13	21
L1	G2	R1	0,136	0,278	0,343	0,654	1,114
		R2	0,070	0,209	0,385	0,632	1,260
		R3	0,089	0,235	0,382	0,642	1,118
		R4	0,134	0,271	0,466	0,670	1,120
		R5	0,083	0,199	0,336	0,549	1,066
L2	G2	R1	0,054	0,133	0,329	0,535	0,944
		R2	0,092	0,135	0,344	0,577	0,975
		R3	0,060	0,110	0,425	0,610	1,058
		R4	0,077	0,192	0,385	0,663	1,179
		R5	0,129	0,225	0,450	0,700	1,154
L3	G2	R1	n. b.	0,235	0,455	0,644	1,162
		R2	n. b.	0,234	0,430	0,714	1,235
		R3	n. b.	0,255	0,484	0,743	1,229
		R4	n. b.	0,240	0,492	0,805	1,299
		R5	n. b.	0,270	0,526	0,778	1,225
L4	G2	R	0,108	0,267	0,475	0,781	1,281
L5	G2	R	0,060	0,169	0,415	0,698	1,267

Tab. 38: Serienmittelwerte der Dehnung in mm/m

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen				
				1	5	9	13	21
L1	G2	R		0,031	0,035	0,052	0,047	0,073
L2	G2	R		0,030	0,047	0,052	0,066	0,105
L3	G2	R		n. b.	0,016	0,037	0,062	0,049
L4	G2	R		n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
L5	G2	R		n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.

Tab. 39: Standardabweichung der Serienmittelwerte in mm/m

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen				
	1	5	9	13	21
Gesamtmittelwert m_j	0,091	0,215	0,419	0,670	1,158
Standardabweichung	0,030	0,052	0,061	0,079	0,105
Min m	0,054	0,110	0,329	0,535	0,944
Max m	0,136	0,278	0,526	0,805	1,299
n	12	17	17	17	17
p für n	2,636	2,894	2,894	2,894	2,894
B für min m_i	1,249	2,015	1,483	1,711	2,041
B für max m_i	1,530	1,212	1,761	1,709	1,346
min Ausreißer?	korrekt	korrekt	korrekt	korrekt	korrekt
max Ausreißer?	korrekt	korrekt	korrekt	korrekt	korrekt

Tab. 40: Untersuchung der Serienmittelwerte auf statistische Ausreißer nach GRUBBS (Irrtumswahrscheinlichkeit 1 %)

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen				
	1	5	9	13	21
s^2 (L1)	0,001	0,0013	0,0027	0,0022	0,0054
s^2 (L2)	0,001	0,0022	0,0027	0,0043	0,0109
s^2 (L3)	n. b.	0,0002	0,0013	0,0039	0,0024
s^2 max	0,0010	0,0022	0,0027	0,0043	0,0109
Σ (s_i^2)	0,0018	0,0038	0,0067	0,0104	0,0187
C	0,515	0,600	0,399	0,414	0,585
n	5	5	5	5	5
p	2	3	3	3	3
C_{krit} (n, p) 5 %	0,906	0,746	0,746	0,746	0,746
C_{krit} (n, p) 1 %	0,959	0,834	0,834	0,834	0,834
Ausreißer?	korrekt!	korrekt!	korrekt!	korrekt!	korrekt!

Tab. 41: Untersuchung der Serienmittelwerte auf ungleiche Varianzen mittels Cochran-Test (L1 bis L3)

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen				
				1	5	9	13	21
L1	G2	R		0,103	0,239	0,383	0,629	1,135
L2	G2	R		0,083	0,159	0,387	0,617	1,062
L3	G2	R		n. b.	0,247	0,477	0,737	1,230
L4	G2	R		0,108	0,267	0,475	0,781	1,281
L5	G2	R		0,060	0,169	0,415	0,698	1,267

Tab. 42: Labormittelwerte in mm/m

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen					
	1	5	9	13	21	
p	2	3	3	3	3	-
n	5	5	5	5	5	-
m ₁	0,103	0,239	0,383	0,629	1,135	mm/m
m ₂	0,083	0,159	0,387	0,617	1,062	mm/m
m ₃	n. b.	0,247	0,477	0,737	1,230	mm/m
m ₄	0,108	0,267	0,475	0,781	1,281	-
m ₅	0,060	0,169	0,415	0,698	1,267	-
Σ (mi ²)	0,033	0,243	0,921	2,417	7,177	mm/m
Σ (mi) ²	0,109	0,830	3,043	7,738	22,974	-
Σ (si) ²	0,002	0,004	0,007	0,010	0,019	-
m _j	0,091	0,215	0,419	0,670	1,158	mm/m
s _r ²	0,0009	0,001	0,002	0,003	0,006	-
s _L ²	0,000	0,002	0,002	0,004	0,006	-
s _R ²	0,001	0,003	0,004	0,007	0,012	-
s _r	0,030	0,035	0,047	0,059	0,079	mm/m
s _L	0,000	0,044	0,044	0,060	0,077	mm/m
s _R	0,030	0,056	0,064	0,084	0,111	mm/m
v _r	33,3	16,4	11,2	8,8	6,8	%
v _L	0,0	20,3	10,4	9,0	6,7	%
v _R	33,3	26,1	15,3	12,5	9,6	%
γ = s _R /s _r	1,00	1,59	1,36	1,43	1,40	-
r	0,084	0,098	0,131	0,163	0,219	mm/m
R	0,084	0,156	0,178	0,233	0,307	mm/m

Tab. 43: Präzisionswerte für die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G2 mit dem Referenzprüfverfahren

Bezeichnung	Symbol	Prüfalter in Tagen					
		01	05	09	13	21	
L2012-01	m_1	0,102	0,239	0,383	0,629	1,136	mm/m
L2012-02	m_2	0,082	0,159	0,387	0,617	1,062	mm/m
L2012-03	m_3	n. b.	0,247	0,477	0,737	1,230	mm/m
L2012-04	m_4	0,108	0,267	0,475	0,781	1,281	mm/m
L2012-05	m_5	0,060	0,169	0,415	0,698	1,267	mm/m
Gesamtmittelwert	m_j	0,091	0,215	0,419	0,670	1,158	mm/m
Vergleich-Standardabweichung	s_R	0,031	0,056	0,064	0,084	0,111	mm/m
Wiederhol-Standardabweichung	s_r	0,031	0,035	0,047	0,059	0,079	mm/m
Vergleichsvariationskoeffizient	v_R	33,4	26,0	15,2	12,5	9,6	%
Wiederholvariationskoeffizient	v_r	33,4	16,5	11,2	8,8	6,8	%
Vergleichsgrenze, $R (2,77 \times s_R)$	R	0,079	0,097	0,184	0,228	0,233	mm/m
Wiederholgrenze, $r (2,77 \times s_r)$	r	0,079	0,076	0,124	0,153	0,172	mm/m
untere Toleranzgrenze		0,038	0,168	0,299	0,528	1,030	mm/m
obere Toleranzgrenze		0,153	0,309	0,566	0,857	1,367	mm/m
Anzahl A-Ausreißer		0	0	0	0	0	-
Anzahl B-Ausreißer		0	0	0	0	0	-
Anzahl C-Ausreißer		0	0	0	0	0	-
Anzahl Teilnehmer		4	5	5	5	5	-
Anzahl Einzelwerte		12	17	17	17	17	-
Anzahl Einzelwerte ohne Ausreißer		12	17	17	17	17	-
Standardfehler		0,009	0,021	0,023	0,031	0,041	mm/m
untere Konfidenzgrenze		0,073	0,172	0,373	0,609	1,077	mm/m
obere Konfidenzgrenze		0,109	0,258	0,465	0,731	1,239	mm/m
Erläuterung der Ausreißertypen (Software) A: Einzelausreißer (GRUBBS) B: abweichender Labormittelwert (GRUBBS) C: überhöhte Labor-Standardabweichung (COCHRAN)							

Tab. 44: Präzisionswerte für die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G2 mit dem Referenzprüfverfahren (ermittelt mit einer Statistiksoftware)

7.2.3 Gesteinskörnung G3

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen				
				1	5	9	13	21
L1	G3	R1	P1	0,081	0,944	1,597	2,094	2,728
			P2	0,069	1,009	1,706	2,234	2,900
			P3	0,069	0,912	1,903	1,959	2,541
L2	G3	R2	P1	0,106	1,288	1,906	2,225	2,981
			P2	0,106	1,213	1,781	2,100	2,875
			P3	0,100	1,213	1,831	2,231	3,006
L3	G3	R3	P1	n. b.	1,257	1,765	2,114	2,590
			P2	n. b.	1,301	1,840	2,182	2,671
			P3	n. b.	1,220	1,729	2,091	2,593
L4	G3	R4	P1	0,112	1,305	1,910	2,366	3,202
			P2	0,119	1,236	1,823	2,309	3,090
			P3	0,187	1,242	1,966	2,359	3,158
L5	G3	R5	P1	0,125	1,462	2,444	3,181	4,200
			P2	0,138	1,445	2,389	3,090	4,109
			P3	0,175	1,531	2,506	3,256	4,300

Tab. 45: Einzelwerte der Dehnung in mm/m, bestimmt an den Mörtelprismen P1 bis P3

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen				
				1	5	9	13	21
L1	G3	R1		0,007	0,049	0,155	0,138	0,180
L2	G3	R2		0,003	0,043	0,063	0,074	0,070
L3	G3	R3		n. b.	0,041	0,057	0,047	0,046
L4	G3	R4		0,041	0,038	0,072	0,031	0,056
L5	G3	R5		0,026	0,046	0,059	0,083	0,096

Tab. 46: Standardabweichungen der Einzelwerte in mm/m

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen				
				1	5	9	13	21
L1	G3	R1		0,073	0,955	1,735	2,096	2,723
L2	G3	R2		0,104	1,238	1,839	2,185	2,954
L3	G3	R3		n. b.	1,259	1,778	2,129	2,618
L4	G3	R4		0,139	1,261	1,900	2,345	3,150
L5	G3	R5		0,146	1,479	2,446	3,176	4,203

Tab. 47: Serienmittelwerte der Dehnung in mm/m (gleichzeitig Labormittelwerte)

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen				
	1	5	9	13	21
Gesamtmittelwert m_j	0,116	1,239	1,940	2,386	3,130
Standardabweichung s	0,034	0,187	0,290	0,452	0,635
Min m_i	0,073	0,955	1,735	2,096	2,618
Max m_i	0,146	1,479	2,446	3,176	4,203
n	4	5	5	5	5
p für n	1,496	1,764	1,764	1,764	1,764
B für min m_i	1,259	1,519	0,705	0,643	0,806
B für max m_i	0,898	1,291	1,747	1,748	1,692
min m_i Ausreißer?	korrekt	korrekt	korrekt	korrekt	korrekt
max m_i Ausreißer?	korrekt	korrekt	korrekt	korrekt	korrekt

Tab. 48: Untersuchung der Serienmittelwerte auf statistische Ausreißer nach GRUBBS (Irrtumswahrscheinlichkeit 1 %)

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen				
	1	5	9	13	21
s^2 (L1)	0,001	0,0348	0,0841	0,2039	0,4026
s^2 (L2)	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
s^2 (L3)	n. b.	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
s^2_{\max}	0,0011	0,0348	0,0841	0,2039	0,4026
$\Sigma (s_i^2)$	0,0011	0,0348	0,0841	0,2039	0,4026
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
n	4	5	5	5	5
p	1	1	1	1	1
$C_{\text{krit}}(n, p)$ 5 %	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
$C_{\text{krit}}(n, p)$ 1 %	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Ausreißer?	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
n. d. nicht durchführbar					

Tab. 49: Untersuchung der Serienmittelwerte auf ungleiche Varianzen mittels Cochran-Test mit nur einem Serienmittelwert pro Labor nicht durchführbar

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen				
				1	5	9	13	21
L1	G3	R1		0,073	0,955	1,735	2,096	2,723
L2	G3	R2		0,104	1,238	1,839	2,185	2,954
L3	G3	R3		n. b.	1,259	1,778	2,129	2,618
L4	G3	R4		0,139	1,261	1,900	2,345	3,150
L5	G3	R5		0,146	1,479	2,446	3,176	4,203

Tab. 50: Labormittelwerte der Dehnung in mm/m (gleichzeitig Serienmittelwerte)

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen				
				1	5	9	13	21
L1-L5	G3	R		0,034	0,187	0,290	0,452	0,635

Tab. 51: Standardabweichung der Labormittelwerte in mm/m

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen					
	1	5	9	13	21	
p	1	1	1	1	1	-
n	4	5	5	5	5	-
m_i^2	0,013	1,534	3,763	5,693	9,794	mm/m
$\Sigma (mi)^2$	0,013	1,534	3,763	5,693	9,794	mm/m
$\Sigma (mi)^2$	0,057	7,810	19,149	29,283	50,582	-
$\Sigma (si)^2$	0,001	0,035	0,084	0,204	0,403	-
m_j	0,116	1,239	1,940	2,386	3,130	mm/m
s_i^2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-
s_L^2	0,001	0,035	0,084	0,204	0,403	-
s_R^2	0,001	0,035	0,084	0,204	0,403	
s_f	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	mm/m
s_L	0,034	0,187	0,290	0,452	0,635	mm/m
s_R	0,034	0,187	0,290	0,452	0,635	mm/m
v_f	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	%
v_L	29,4	15,1	15,0	18,9	20,3	%
v_R	29,4	15,1	15,0	18,9	20,3	%
$\gamma = s_R/s_f$	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	-
r	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	mm/m
R	0,094	0,518	0,804	1,253	1,760	mm/m

Tab. 52: Präzisionswerte für die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G3 mit dem Referenzprüfverfahren

Bezeichnung	Symbol	Prüfalter in Tagen					
		1	5	9	13	21	
L2012-01	m_1	0,073	0,955	1,735	2,096	2,723	mm/m
L2012-02	m_2	0,104	1,238	1,839	2,185	2,954	mm/m
L2012-03	m_3	n. b.	1,259	1,778	2,129	2,618	mm/m
L2012-04	m_4	0,139	1,261	1,900	2,345	3,150	mm/m
L2012-05	m_5	0,146	1,479	2,446	3,176	4,203	mm/m
Gesamtmittelwert	m_j	0,115	1,238	1,940	2,386	3,130	mm/m
Zwischen-Standardabweichung	s_L	0,034	0,187	0,290	0,452	0,635	mm/m
Wiederhol-Standardabweichung	s_r	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	mm/m
Zwischenvariationskoeffizient	v_L	29,2	15,1	14,9	18,9	20,3	%
Wiederholvariationskoeffizient	v_r	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	%
Vergleichsgrenze, $R (2,77 \times s_R)$	R	0,094	0,517	0,803	1,251	1,758	mm/m
Wiederholgrenze, $r (2,77 \times s_r)$	r	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	mm/m
untere Toleranzgrenze		0,048	0,865	1,360	1,483	1,861	mm/m
obere Toleranzgrenze		0,183	1,611	2,519	3,290	4,399	mm/m
Anzahl A-Ausreißer		0	0	0	0	0	-
Anzahl B-Ausreißer		0	0	0	0	0	-
Anzahl C-Ausreißer		0	0	0	0	0	-
Anzahl Teilnehmer		4	5	5	5	5	-
Anzahl Einzelwerte		4	5	5	5	5	-
Anzahl Einzelwerte ohne Ausreißer		4	5	5	5	5	-
Standardfehler		0,017	0,083	0,130	0,202	0,284	mm/m
untere Konfidenzgrenze		0,082	1,072	1,680	1,982	2,562	mm/m
obere Konfidenzgrenze		0,149	1,405	2,199	2,790	3,697	mm/m
Erläuterung der Ausreißertypen (Software) A: Einzelausreißer (GRUBBS) B: abweichender Labormittelwert (GRUBBS) C: überhöhte Labor-Standardabweichung (COCHRAN)							

Tab. 53: Präzisionswerte für die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G3 mit dem Referenzprüfverfahren (ermittelt mit einer Statistiksoftware)

7.3 Alternativverfahren in 2012 – Rohdaten, statistische Tests, Präzisionswerte

7.3.1 Gesteinskörnung G1

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen		
				14	21	28
L1	G1	A1	P1	1,325	1,547	1,794
			P2	1,431	1,703	1,953
			P3	1,434	1,769	2,053
		A2	P1	1,403	1,663	1,953
			P2	1,334	1,734	1,956
			P3	1,341	1,669	1,822
		A3	P1	1,344	1,744	2,131
			P2	1,431	1,834	2,125
			P3	1,363	1,772	2,091
		A4	P1	1,325	1,728	2,028
			P2	1,469	1,888	2,103
			P3	1,406	1,756	2,003
		A5	P1	1,338	1,728	1,969
			P2	1,384	1,794	1,950
			P3	1,350	1,663	1,906
L2	G1	A1	P1	1,294	1,581	1,844
			P2	1,244	1,513	1,825
			P3	1,225	1,500	1,638
		A2	P1	1,106	1,606	1,806
			P2	1,144	1,525	1,763
			P3	1,175	1,588	1,781
		A3	P1	1,050	1,381	1,544
			P2	1,113	1,400	1,575
			P3	1,081	1,644	1,806
		A4	P1	1,119	1,413	1,606
			P2	1,169	1,519	1,700
			P3	1,044	1,350	1,544
		A5	P1	1,056	1,494	1,675
			P2	0,988	1,125	1,563
			P3	1,038	1,594	1,638

Tab. 54: Einzelwerte der Dehnung in mm/m, ermittelt an den Mörtelprismen P1 bis P3

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen		
				14	21	28
L3	G1	A1	P1	1,179	1,518	1,832
			P2	1,200	1,472	1,781
			P3	1,182	1,509	1,836
		A2	P1	1,152	1,480	1,732
			P2	1,201	1,528	1,760
			P3	1,196	1,523	1,807
		A3	P1	1,244	1,551	1,838
			P2	1,293	1,561	1,848
			P3	1,249	1,561	1,861
		A4	P1	1,200	1,515	1,863
			P2	1,226	1,548	1,870
			P3	1,217	1,551	1,879
		A5	P1	1,141	1,462	1,759
			P2	1,191	1,488	1,759
			P3	1,123	1,426	1,697
L4	G1	A	P1	1,138	1,716	2,052
			P2	1,332	1,824	2,135
			P3	1,183	1,706	2,141
L5	G1	A	P1	0,837	1,224	1,618
			P2	0,818	1,206	1,505
			P3	0,924	1,349	1,624

Tab. 54: Fortsetzung

Bezeichnung			Prüfalter in Tagen		
			14	21	28
L1	G1	A1	0,062	0,114	0,131
		A2	0,038	0,040	0,077
		A3	0,046	0,046	0,022
		A4	0,072	0,085	0,052
		A5	0,024	0,066	0,032
L2	G1	A1	0,036	0,044	0,114
		A2	0,034	0,043	0,022
		A3	0,031	0,146	0,143
		A4	0,063	0,085	0,079
		A5	0,036	0,247	0,057
L3	G1	A1	0,011	0,024	0,031
		A2	0,027	0,026	0,038
		A3	0,027	0,006	0,012
		A4	0,013	0,020	0,008
		A5	0,035	0,031	0,036
L4	G1	A	0,102	0,065	0,050
L5	G1	A	0,057	0,078	0,067

Tab. 55: Standardabweichungen der Einzelwerte in mm/m

Bezeichnung			Prüfalter in Tagen		
			14	21	28
L1	G1	A1	1,397	1,673	1,933
		A2	1,359	1,689	1,910
		A3	1,379	1,783	2,116
		A4	1,400	1,791	2,045
		A5	1,357	1,728	1,942
L2	G1	A1	1,254	1,531	1,769
		A2	1,142	1,573	1,783
		A3	1,081	1,475	1,642
		A4	1,110	1,427	1,617
		A5	1,027	1,404	1,625
L3	G1	A1	1,187	1,500	1,816
		A2	1,183	1,510	1,766
		A3	1,262	1,558	1,849
		A4	1,214	1,538	1,871
		A5	1,152	1,459	1,738
L4	G1	A	1,218	1,749	2,109
L5	G1	A	0,860	1,260	1,582

Tab. 56: Serienmittelwerte der Dehnung in mm/m

Bezeichnung			Prüfalter in Tagen		
			14	21	28
L1	G1	A	0,020	0,054	0,088
L2	G1	A	0,085	0,070	0,082
L3	G1	A	0,041	0,038	0,055

Tab. 57: Standardabweichung der Serienmittelwerte in mm/m

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen		
	14	21	28
Gesamtmittelwert m_j	1,211	1,567	1,830
Standardabweichung	0,146	0,148	0,166
Min m	0,860	1,260	1,582
Max m	1,379	1,749	2,109
n	17	17	17
p für n	2,894	2,894	2,894
B für min m_i	2,407	2,074	1,494
B für max m_i	1,154	1,221	1,683
min Ausreißer?	korrekt	korrekt	korrekt
max Ausreißer?	korrekt	korrekt	korrekt

Tab. 58: Untersuchung der Serienmittelwerte auf statistische Ausreißer nach GRUBBS (Irrtumswahrscheinlichkeit 1 %)

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen		
	14	21	28
s^2 (L1)	0,000	0,0029	0,0077
s^2 (L2)	0,007	0,0050	0,0067
s^2 (L3)	0,002	0,0014	0,0031
s^2_{max}	0,0072	0,0050	0,0077
$\Sigma (s_i^2)$	0,0093	0,0093	0,0174
C	0,772	0,535	0,440
n	5	5	5
p	3	3	3
$C_{krit}(n, p)$ 5 %	0,746	0,746	0,746
$C_{krit}(n, p)$ 1 %	0,834	0,834	0,834
Ausreißer?	FA!	korrekt!	korrekt!
FA! bedeutet „Fastausreißer“			

Tab. 59: Untersuchung der Serienmittelwerte auf ungleiche Varianzen mittels Cochran-Test (L1 bis L3)

Bezeichnung			Prüfalter in Tagen		
			14	21	28
L1	G1	A	1,379	1,733	1,989
L2	G1	A	1,123	1,482	1,687
L3	G1	A	1,200	1,513	1,808
L4	G1	A	1,218	1,749	2,109
L5	G1	A	0,860	1,260	1,582

Tab. 60: Labormittelwerte in mm/m

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen			
	14	21	28	
p	5	5	5	-
n	3	3	3	-
m_1^2	1,900	3,002	3,957	-
m_2^2	1,261	2,197	2,846	-
m_3^2	1,439	2,289	3,269	-
m_4^2	1,483	3,058	4,449	-
m_5^2	0,739	1,587	2,504	-
$\Sigma (mi^2)$	5,383	12,132	17,025	-
$\Sigma (mi)^2$	25,261	42,120	57,385	-
$\Sigma (si)^2$	0,038	0,135	0,082	-
m	1,211	1,567	1,830	mm/m
s_r^2	0,003	0,003	0,006	-
s_L^2	0,023	0,024	0,028	-
s_R^2	0,027	0,027	0,034	-
s_r	0,056	0,056	0,076	mm/m
s_L	0,153	0,156	0,167	mm/m
s_R	0,163	0,166	0,184	mm/m
v_r	4,6	3,5	4,2	%
v_L	12,6	10,0	9,1	%
v_R	13,4	10,6	10,0	%
$\gamma = s_R/s_r$	2,93	2,98	2,41	-
r	0,154	0,154	0,211	mm/m
R	0,451	0,459	0,509	mm/m

Tab. 61: Präzisionswerte für die Dehnung der Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung G1 mit dem Alternativverfahren

Bezeichnung	Symbol	Prüfalter in Tagen			
		14	21	28	
L2012-01	m_1	1,378	1,733	1,989	mm/m
L2012-02	m_2	1,123	1,482	1,687	mm/m
L2012-03	m_3	1,200	1,513	1,808	mm/m
L2012-04	m_4	1,218	1,749	2,109	mm/m
L2012-05	m_5	0,860	1,260	1,582	mm/m
Gesamtmittelwert	m_j	1,211	1,568	1,830	mm/m
Vergleich-Standardabweichung	s_R	0,162	0,166	0,183	mm/m
Wiederhol-Standardabweichung	s_r	0,056	0,056	0,076	mm/m
Vergleichsvariationskoeffizient	v_R	13,4	10,6	10,0	%
Wiederholvariationskoeffizient	v_r	4,6	3,5	4,2	%
Vergleichsgrenze, R ($2,77 \times s_R$)	R	0,450	0,458	0,508	mm/m
Wiederholgrenze, r ($2,77 \times s_r$)	r	0,154	0,154	0,211	mm/m
untere Toleranzgrenze		0,886	1,236	1,463	mm/m
obere Toleranzgrenze		1,536	1,899	2,197	mm/m
Anzahl A-Ausreißer		0	0	0	-
Anzahl B-Ausreißer		0	0	0	-
Anzahl C-Ausreißer		0	0	0	-
Anzahl Teilnehmer		5	5	5	-
Anzahl Einzelwerte		17	17	17	-
Anzahl Einzelwerte ohne Ausreißer		17	17	17	-
Standardfehler		0,07	0,071	0,077	mm/m
untere Konfidenzgrenze		1,071	1,425	1,676	mm/m
obere Konfidenzgrenze		1,350	1,710	1,985	mm/m
Erläuterung der Ausreißertypen (Software) A: Einzelausreißer (GRUBBS) B: abweichender Labormittelwert (GRUBBS) C: überhöhte Labor-Standardabweichung (COCHRAN)					

Tab. 62: Statistische Methodenkenwerte für die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G1 mit dem Alternativverfahren (ermittelt mit einer Statistiksoftware)

7.3.2 Gesteinskörnung G2

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen		
				14	21	28
L1	G2	A1	P1	0,656	0,837	1,063
			P2	0,669	0,809	1,078
			P3	0,647	0,775	1,034
		A2	P1	0,713	1,013	1,259
			P2	0,741	1,041	1,259
			P3	0,703	0,934	1,088
		A3	P1	0,672	0,816	1,044
			P2	0,706	0,831	1,122
			P3	0,663	0,788	1,053
		A4	P1	0,669	0,794	0,953
			P2	0,687	0,803	0,944
			P3	0,728	0,822	0,928
		A5	P1	0,656	0,766	0,922
			P2	0,650	0,787	0,922
			P3	0,575	0,734	0,919
L2	G2	A1	P1	0,644	0,775	0,894
			P2	0,606	0,744	0,894
			P3	0,581	0,700	0,881
		A2	P1	0,556	0,663	0,675
			P2	0,488	0,694	0,769
			P3	0,500	0,681	0,669
		A3	P1	0,550	0,556	0,625
			P2	0,581	0,588	0,663
			P3	0,581	0,600	0,706
		A4	P1	0,625	0,631	0,750
			P2	0,638	0,625	0,750
			P3	0,581	0,650	0,838
		A5	P1	0,588	0,644	0,788
			P2	0,625	0,631	0,719
			P3	0,575	0,619	0,744

Tab. 63: Einzelwerte der Dehnung in mm/m, bestimmt an den Mörtelprismen P1 bis P3

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen		
				14	21	28
L3	G2	A1	P1	0,617	0,774	0,931
			P2	0,687	0,813	0,976
			P3	0,597	0,723	0,899
		A2	P1	0,598	0,812	0,957
			P2	0,655	0,819	0,989
			P3	0,579	0,774	0,988
		A3	P1	0,548	0,775	0,946
			P2	0,592	0,825	0,989
			P3	0,555	0,788	0,939
		A4	P1	0,585	0,812	0,963
			P2	0,619	0,852	0,985
			P3	0,552	0,784	0,928
		A5	P1	0,604	0,825	0,982
			P2	0,635	0,824	0,981
			P3	0,579	0,774	0,906
L4	G2	A	P1	0,724	0,842	0,973
			P2	0,655	0,823	0,966
			P3	0,766	0,822	1,028
L5	G2	A	P1	0,606	0,731	0,781
			P2	0,657	0,762	0,800
			P3	0,631	0,712	0,762

Tab. 63: Fortsetzung

Bezeichnung			Prüfalter in Tagen		
			14	21	28
L1	G2	A1	0,011	0,031	0,022
		A2	0,020	0,055	0,099
		A3	0,023	0,022	0,043
		A4	0,030	0,014	0,013
		A5	0,045	0,027	0,002
L2	G2	A1	0,031	0,038	0,007
		A2	0,037	0,016	0,056
		A3	0,018	0,023	0,041
		A4	0,030	0,013	0,051
		A5	0,026	0,012	0,035
L3	G2	A1	0,047	0,045	0,039
		A2	0,040	0,024	0,018
		A3	0,024	0,026	0,027
		A4	0,034	0,034	0,029
		A5	0,028	0,029	0,044
L4	G2	A	0,056	0,011	0,034
L5	G2	A	0,026	0,025	0,019

Tab. 64: Standardabweichungen der Einzelwerte in mm/m

Bezeichnung			Prüfalter in Tagen		
			14	21	28
L1	G2	A1	0,657	0,807	1,058
		A2	0,719	0,996	1,202
		A3	0,680	0,811	1,073
		A4	0,695	0,806	0,942
		A5	0,627	0,762	0,921
L2	G2	A1	0,610	0,740	0,890
		A2	0,515	0,679	0,704
		A3	0,571	0,581	0,665
		A4	0,615	0,635	0,779
		A5	0,596	0,631	0,750
L3	G2	A1	0,634	0,770	0,935
		A2	0,611	0,802	0,978
		A3	0,565	0,796	0,958
		A4	0,585	0,816	0,959
		A5	0,606	0,808	0,956
L4	G2	A	0,715	0,829	0,989
L5	G2	A	0,631	0,735	0,781

Tab. 65: Serienmittelwerte der Dehnung in mm/m

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen		
				14	21	28
L1	G2	A	0,035	0,091	0,114	
L2	G2	A	0,041	0,059	0,086	
L3	G2	A	0,026	0,017	0,015	
L4	G2	A	n. b.	n. b.	n. b.	
L5	G2	A	n. b.	n. b.	n. b.	

Tab. 66: Standardabweichungen der Serienmittelwerte in mm/m

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen		
	14	21	28
Gesamtmittelwert m_j	0,625	0,765	0,914
Standardabweichung	0,055	0,077	0,127
Min m	0,581	0,653	0,758
Max m	0,715	0,837	1,039
n	17	17	17
p für n	2,894	2,894	2,894
B für min m_i	0,805	1,455	1,229
B für max m_i	1,636	0,934	0,982
min Ausreißer?	korrekt	korrekt	korrekt
max Ausreißer?	korrekt	korrekt	korrekt

Tab. 67: Untersuchung der Serienmittelwerte auf statistische Ausreißer nach GRUBBS (Irrtumswahrscheinlichkeit 1 %)

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen		
	14	21	28
s^2 (L1)	0,001	0,0083	0,0129
s^2 (L2)	0,002	0,0035	0,0074
s^2 (L3)	0,0007	0,0003	0,0002
s^2_{max}	0,0017	0,0083	0,0129
$\Sigma (s_i)^2$	0,0036	0,0121	0,0205
C	0,467	0,684	0,629
n	5	5	5
p	3	3	3
$C_{krit}(n, p)$ 5 %	0,746	0,746	0,746
$C_{krit}(n, p)$ 1 %	0,834	0,834	0,834
Ausreißer?	korrekt!	korrekt!	korrekt!

Tab. 68: Untersuchung der Serienmittelwerte auf ungleiche Varianz mittels Cochran-Test

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen		
				14	21	28
L1	G1	A	0,676	0,837	1,039	
L2	G1	A	0,581	0,653	0,758	
L3	G1	A	0,600	0,798	0,957	
L4	G1	A	0,715	0,829	0,989	
L5	G1	A	0,631	0,735	0,781	

Tab. 69: Labormittelwerte der Dehnung in mm/m

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen			
	14	21	28	
p	4	5	5	-
n	3	3	3	-
m_1^2	0,456	0,700	1,080	-
m_2^2	0,338	0,427	0,574	-
m_3^2	0,360	0,637	0,916	-
m_4^2	0,511	0,687	0,978	-
m_5^2	0,399	0,540	0,610	-
$\Sigma (mi^2)$	2,064	2,992	4,158	-
$\Sigma (mi)^2$	6,697	10,096	14,520	-
$\Sigma (si)^2$	0,004	0,012	0,020	-
m	0,625	0,765	0,914	mm/m
s_r^2	0,001	0,004	0,007	-
s_L^2	0,002	0,007	0,017	-
s_R^2	0,004	0,011	0,023	-
s_r	0,035	0,064	0,083	mm/m
s_L	0,048	0,081	0,129	mm/m
s_R	0,059	0,103	0,153	mm/m
v_r	5,5	8,3	9,0	%
v_L	7,7	10,6	14,1	%
v_R	9,5	13,5	16,8	%
$\gamma = s_R/s_r$	1,71	1,62	1,85	-
r	0,096	0,176	0,229	mm/m
R	0,164	0,286	0,425	mm/m

Tab. 70: Präzisionswerte für die Dehnung der Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung G2 mit dem Alternativverfahren

Bezeichnung	Symbol	Prüfalter in Tagen			
		14	21	28	
L2012-01	m_1	0,676	0,836	1,039	mm/m
L2012-02	m_2	0,581	0,653	0,758	mm/m
L2012-03	m_3	0,600	0,798	0,957	mm/m
L2012-04	m_4	0,715	0,829	0,989	mm/m
L2012-05	m_5	0,631	0,735	0,781	mm/m
Gesamtmittelwert	m_j	0,625	0,765	0,914	mm/m
Zwischen-Standardabweichung	s_L	0,059	0,103	0,153	mm/m
Wiederhol-Standardabweichung	s_r	0,035	0,064	0,083	mm/m
Zwischenvariationskoeffizient	v_L	9,5	13,5	16,7	%
Wiederholvariationskoeffizient	v_r	5,5	8,4	9,0	%
Vergleichsgrenze, $R (2,77 \times s_R)$	R	0,164	0,286	0,423	mm/m
Wiederholgrenze, $r (2,77 \times s_r)$	r	0,096	0,177	0,229	mm/m
untere Toleranzgrenze		0,507	0,558	0,609	mm/m
obere Toleranzgrenze		0,744	0,972	1,220	mm/m
Anzahl A-Ausreißer		0	0	0	-
Anzahl B-Ausreißer		0	0	0	-
Anzahl C-Ausreißer		0	0	0	-
Anzahl Teilnehmer		5	5	5	-
Anzahl Einzelwert		17	17	17	-
Anzahl Einzelwert ohne Ausreißer		17	17	17	-
Standardfehler		0,023	0,04	0,061	mm/m
untere Konfidenzgrenze		0,579	0,685	0,791	mm/m
obere Konfidenzgrenze		0,672	0,845	1,037	mm/m
Erläuterung der Ausreißertypen (Software) A: Einzelausreißer (GRUBBS) B: abweichender Labormittelwert (GRUBBS) C: überhöhte Labor-Standardabweichung (COCHRAN)					

Tab. 71: Präzisionswerte für die Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G2 mit dem Alternativverfahren (ermittelt mit einer Statistiksoftware)

7.3.3 Gesteinskörnung G3

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen		
				14	21	28
L1	G3	A	P1	4,022	4,469	4,634
			P2	3,928	4,319	4,494
			P3	3,941	4,334	4,484
L2	G3	A	P1	4,194	4,506	4,719
			P2	4,169	4,488	4,688
			P3	4,100	4,381	4,544
L3	G3	A	P1	4,361	4,774	5,336
			P2	4,475	4,901	5,320
			P3	4,401	4,931	5,218
L4	G3	A	P1	4,594	4,894	5,193
			P2	4,547	4,853	5,353
			P3	4,205	4,505	4,805
L5	G3	A	P1	4,076	4,295	4,395
			P2	4,162	4,468	4,555
			P3	4,342	4,504	4,592

Tab. 72: Einzelwerte der Dehnung in mm/m, bestimmt an den Mörtelprismen P1 bis P3

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen		
				14	21	28
L1	G1	A		0,051	0,082	0,084
L2	G1	A		0,049	0,068	0,093
L3	G1	A		0,058	0,083	0,064
L4	G1	A		0,212	0,214	0,282
L5	G1	A		0,136	0,112	0,105

Tab. 73: Standardabweichungen der Einzelwerte in mm/m

Bezeichnung				Prüfalter in Tagen		
				14	21	28
L1	G1	A		3,964	4,374	4,538
L2	G1	A		4,154	4,458	4,650
L3	G1	A		4,412	4,869	5,291
L4	G1	A		4,449	4,751	5,117
L5	G1	A		4,193	4,422	4,514

Tab. 74: Serienmittelwerte der Dehnung in mm/m (gleichzeitig Labormittelwerte)

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen		
	14	21	28
Mittelwert m_i	4,234	4,575	4,822
Standardabweichung	0,199	0,220	0,358
Min m	3,964	4,374	4,514
Max m	4,449	4,869	5,291
n	5	5	5
p für n	1,764	1,764	1,764
B für min m_i	1,359	0,911	0,860
B für max m_i	1,074	1,333	1,311
min Ausreißer?	korrekt	korrekt	korrekt
max Ausreißer?	korrekt	korrekt	korrekt

Tab. 75: Untersuchung der Serienmittelwerte auf statistische Ausreißer nach GRUBBS (Irrtumswahrscheinlichkeit 1 %)

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen		
	14	21	28
s^2 (L1)	n. d.	n. d.	n. d.
s^2 (L2)	n. d.	n. d.	n. d.
s^2 (L3)	n. d.	n. d.	n. d.
s^2 (L4)	n. d.	n. d.	n. d.
s^2 (L5)	n. d.	n. d.	n. d.
s^2_{\max}	n. d.	n. d.	n. d.
$\Sigma (s_i)^2$	n. d.	n. d.	n. d.
C	n. d.	n. d.	n. d.
n	n. d.	n. d.	n. d.
p	n. d.	n. d.	n. d.
$C_{\text{krit}}(n, p)$ 5 %	n. d.	n. d.	n. d.
$C_{\text{krit}}(n, p)$ 1 %	n. d.	n. d.	n. d.
Ausreißer?	n. d.	n. d.	n. d.
n. d.: nicht durchführbar, da nur ein Einzelwert pro Labor vorhanden			

Tab. 76: Untersuchung Serienmittelwerte auf ungleiche Varianzen mittels Cochran-Test

Bezeichnung	Prüfalter in Tagen			
	14	21	28	
p	5	5	5	-
n	3	3	3	-
m_1^2	15,710	19,132	20,589	-
m_2^2	17,258	19,877	21,626	-
m_3^2	19,469	23,704	27,998	-
m_4^2	19,791	22,569	26,184	-
m_5^2	17,584	19,557	20,376	-
$\Sigma (mi^2)$	89,812	104,838	116,773	-
$\Sigma (mi)^2$	269,578	314,667	350,538	-
$\Sigma (si)^2$	0,040	0,049	0,128	-
m	4,234	4,575	4,822	mm/m
s_r^2	n. b.	n. b.	n. b.	-
s_L^2	0,040	0,049	0,128	-
s_R^2	0,040	0,049	0,128	-
s_r	n. b.	n. b.	n. b.	mm/m
s_L	0,199	0,220	0,358	mm/m
s_R	0,199	0,220	0,358	mm/m
v_r	n. b.	n. b.	n. b.	%
v_L	4,7	4,8	7,4	%
v_R	4,7	4,8	7,4	%
$\gamma = s_R/s_r$	n. b.	n. b.	n. b.	-
r	n. b.	n. b.	n. b.	mm/m
R	0,553	0,611	0,992	mm/m

Tab. 77: Präzisionswerte für die Dehnung der Mörtelprismen mit der Gesteinskörnung G3 mit dem Alternativverfahren

Bezeichnung	Symbol	Prüfalter in Tagen			
		14	21	28	
L2012-01	m_1	3,964	4,374	4,538	mm/m
L2012-02	m_2	4,154	4,458	4,650	mm/m
L2012-03	m_3	4,412	4,869	5,291	mm/m
L2012-04	m_4	4,449	4,751	5,117	mm/m
L2012-05	m_5	4,193	4,422	4,514	mm/m
Gesamtmittelwert	m_j	4,234	4,575	4,822	mm/m
Zwischen-Standardabweichung	s_L	0,199	0,221	0,358	mm/m
Wiederhol-Standardabweichung	s_r	n. b.	n. b.	n. b.	mm/m
Zwischenvariationskoeffizient	v_L	4,7	4,8	7,4	%
Wiederholvariationskoeffizient	v_r	n. b.	n. b.	n. b.	%
Vergleichsgrenze, R ($2,77 \times s_R$)	R	0,552	0,611	0,991	mm/m
Wiederholgrenze, r ($2,77 \times s_r$)	r	n. b.	n. b.	n. b.	mm/m
untere Toleranzgrenze		3,836	4,133	4,106	mm/m
obere Toleranzgrenze		4,633	5,016	5,538	mm/m
Anzahl A-Ausreißer		0	0	0	-
Anzahl B-Ausreißer		0	0	0	-
Anzahl C-Ausreißer		0	0	0	-
Anzahl Teilnehmer		5	5	5	-
Anzahl Einzelwerte		5	5	5	-
Anzahl Einzelwerte ohne Ausreißer		5	5	5	-
Standardfehler		0,089	0,099	0,160	mm/m
untere Konfidenzgrenze		4,056	4,377	4,502	mm/m
obere Konfidenzgrenze		4,413	4,772	5,142	mm/m
Erläuterung der Ausreißertypen (Software) A: Einzelausreißer (GRUBBS) B: abweichender Labormittelwert (GRUBBS) C: überhöhte Labor-Standardabweichung (COCHRAN)					

Tab. 78: Präzisionswerte für die Gesamtmittelwerte der Dehnung der Mörtelprismen mit Gesteinskörnung G3 mit dem Alternativverfahren (ermittelt mit einer Statistiksoftware)

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

2005

S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50

S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50

S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

2006

S 38: Beschleunigung und Verzögerung im Straßenbau – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen am 27./28. September 2004 in Saarbrücken € 16,50

S 39: Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt
Renken, Büchler € 16,00

S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 17,50

S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben
Schröder € 13,50

S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymer-modifizierten Bitumen nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren und nach Rückgewinnung aus Asphalt
Wörner, Metz € 17,50

S 43: Eignung frostempfindlicher Böden für die Behandlung mit Kalk
Krajewski, Kuhl € 14,00

S 44: 30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund
Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann € 21,50

2007

S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen
Leutner, Lorenzl, Schmoeckel, Donath, Bald, Grätz, Riedl, Möller, Oeser, Wellner, Werkmeister, Leykauf, Simon € 21,00

S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen
Steinauer, Ueckermann, Maerschalk € 21,00

S 47: Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hase, Oelkers € 24,50

S 48: Verdichtbarkeit von Asphaltmischgut unter Einsatz des Walzsektor-Verdichtungsgerätes
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

2008

S 49: Zweischichtiger offenporiger Asphalt in Kompaktbauweise
Ripke € 12,50

S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der FGSV am 25./26. September 2006 in Tecklenburg-Leeden € 15,50

S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Killing, Hirsch € 14,50

S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hirsch € 16,00

S 53: Straßenrecht und Föderalismus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 24./25. September 2007 in Bonn € 15,50

S 54: Entwicklung langlebiger dünner Deckschichten aus Beton
Silwa, Roßbach, Wenzl € 12,50

S 55: Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSuB)
Leykauf, Birmann, Weller € 13,50

2009

S 56: Vergangenheit und Zukunft der deutschen Straßenverwaltung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 22./23. September 2008 in Bonn € 14,00

S 57: Vergleichende Untersuchung zweischichtiger offenporiger Asphaltbauweisen
Ripke € 13,50

S 58: Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt
Ludwig € 15,50

S 59: Bestimmung des adhäsiven Potentials von Bitumen und Gesteinsoberflächen mit Hilfe der Kontaktwinkelmessmethode
Hirsch, Friemel-Göttlich € 16,00

2010

S 60: Die Zukunftsfähigkeit der Planfeststellung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 21./22. September 2009 in Bonn € 15,50

S 61: Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes
Wolf, Fielenbach € 16,50

S 62: 41. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 18,50

S 63: Vergleichsuntersuchungen zum Frosthebungsversuch an kalkbehandelten Böden, RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten
Blume € 16,00

S 64: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA)
Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Rohleder, Kunz, Wasser, Pullwitt, Müller,
Ripke, Zöller, Pöppel-Decker € 23,00

S 65: Untersuchungen von Dübellagen zur Optimierung des Betondeckenbaus
Freudenstein, Birmann € 14,00

2011

S 66: Qualitätssicherung von Waschbetonoberflächen
Breitenbücher, Youn € 14,50

S 67: Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalerkennung im Rahmen des TP3
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Canzler, Winkler € 16,50

S 68: Lärmindernder Splittmastixasphalt
Ripke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 69: Untersuchung der Messunsicherheit und der Klassifizierungsfähigkeit von Straßenbelägen
Müller, Wasser, Germann, Kley € 14,50

S 70: Erprobungsstrecke mit Tragschichten ohne Bindemittel aus ziegelreichen RC-Baustoffen
Dieser Bericht liegt außerdem in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de](http://bast.opus.hbz-nrw.de) heruntergeladen werden.
Jansen, Kurz € 16,00

S 71: Enteignung für den Straßenbau – Verfahrensvereinheitlichung – Privatisierung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ im September 2010 in Bonn € 15,00

S 72: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten – Teil 2: Neue Baumaßnahmen
Jansen, Pöppel-Decker € 15,00

S 73: Längsebenenheitsauswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil“ – Weiterentwicklung der Längsebenenheitsbewertung der Zustandserfassung und -bewertung
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

2012

S 74: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr 2“ – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr 2“ € 30,50

S 75: Abschätzung der Risiken von Hang- und Böschungsrutschungen durch die Zunahme von Extremwetterereignissen
Krauter, Kumerics, Feuerbach, Lauterbach € 15,50

S 76: 42. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

S 77: Netzplanung – Netzbildung – Netzbereinigung
Durner € 16,50

S 78: Untersuchung des Einflusses der Grobtextur auf Messergebnisse mit dem SKM-Verfahren
Bürckert, Gauterin, Unrau € 16,50

2013

S 79: Gussasphalt ohne Abstreuung
Ripke € 9,00

S 80: Entwicklung einer neuen Versuchstechnik zur Bestimmung der Grenze zwischen halbfestem und festem Boden
Vogt, Birle, Heyer, Etz € 17,50

S 81: Das straßenrechtliche Nutzungsregime im Umbruch – Aktuelle Fragen des Planungsrechts
Durner € 15,00

2014

S 82: Qualitätskontrolle PWS – Wehner/Schulze Quality Control
Teil 1: Auswertung der Kenndaten der PWS Prüfung
Teil 2: Auswertung von Vergleichsuntersuchungen zur Prüfung der Poliereinheit mittels Schleifpapier
Jansen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 83: Die Stellung der Gemeinden im Straßenrecht – aktuelle Probleme des Umweltrechts – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 23./24. September 2013 in Bonn
Durner € 17,00

S 84: Anforderungen an die Erhaltung von Radwegen
Maerschalk, Oertelt € 19,00

S 85: Kornformbeurteilung mit dem optischen Partikelmessgerät Camsizer®
Kunz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2015

S 86: Einfluss des Asphaltgranulates auf die bemessungs- und ermüdungsrelevanten Materialeigenschaften einer zwangsgemischten, kaltgebundenen und bitumendominanten Tragschicht
Radenberg, Miljković, Schäfer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 87: Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für zwei AKR-Schnelltests Durchführung und Auswertung
Müller, Seidel, Böhm
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de