



Untersuchungsbericht

Dyckerhoff GmbH
- Geschäftsleitung -
Postfach 2247
65012 Wiesbaden

Revision am 23.Okt. 2017.
Austausch der Seite 13
Bezugsquelle durigid durch
durcrete/Sagmeister

Verantwortlich im WDI: Frank Parker
Telefon: 0611/676-1714
Auftragseingang: 29.09.2014
Bezug: Vertriebsunterstützung Nanodur-Compound 5941
Auftraggeber: Anfrage von Herrn Dr. Sagmeister September 2014 und
E-Mail vom 1. Oktober 2014

Fragestellung:

Entwicklung einer Betonmischung mit hohem E-Modul für Maschinenbetten auf Basis Nanodur-Compound 5941grau.

Zusammenfassung:

Es konnten geeignete Beton-Rezepturen, auf Basis der Gesteinskörnung DURIGRID RG/DR, erarbeitet werden, die die angestrebten Materialeigenschaften hinsichtlich des statischen Elastizitätsmoduls erfüllen.

Darüber hinaus wurden die mechanischen Eigenschaften der Nanodur-Betonmischungen deutlich verbessert.

Die Betonrezepturen orientierten sich an dem in der Dyckerhoff Nanodur Compound Informationsschrift angeführten Rezepturbeispiel „Grobkornmischung“, ohne Stahlfaserzugabe.

Die grundsätzliche Beurteilung bzw. Eignung der Betonrezepturen in der jeweiligen Anwendung erfolgt durch den Auftraggeber.

Eine Liste der zu diesem Auftrag gehörenden Proben finden Sie nachfolgend.

Datum:
01.06.15

Stichworte:
Nanodur, Elastizitätsmodul

Bearbeiter(in):
Frank Parker



Liste der zu den Haupt-Untersuchungen herangezogenen Proben:

Proben-Nr. WDI Proben-Nr. Kunde	Material Handelsname	Lieferant Hersteller	Probenahmedatum Probennahmestelle	Eingang WDI
14/1926	Fließmittel Master Glenium ACE 454	BASF Construction Chemicals GmbH	29.04.2014 BASF Const. Chem., Trostberg	05.06.2014
	Charge : 45724			
14/2681	Nanodur Compound 5941 grau	Werk Neuwied Werk Neuwied	 Werk Neuwied	19.08.2014
15/0297	Zuschlag DURIGRID RG/DR 1-3mm	Durcrete GmbH	09.01.2015 WDI/Dyckerhoff GmbH	30.01.2015
	Datenblatt siehe Anlage			
15/0298	Zuschlag DURIGRID RG/DR 3-6mm	Durcrete GmbH	09.01.2015 WDI/Dyckerhoff GmbH	30.01.2015
	Datenblatt siehe Anlage			

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns zur Verfügung gestellten untersuchten Proben. Sie sind nach den geltenden Regelwerken und Normen ermittelt worden. Dabei ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik berücksichtigt worden.

Unsere Prüfungen unterliegen einer Qualitätssicherung in Anlehnung an DIN EN ISO/IEC 17025. Die Messunsicherheit sowie die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der verwendeten Prüfverfahren teilen wir Ihnen gerne auf Anfrage mit.

Die Veröffentlichung und Vervielfältigung unserer Prüfberichte und Gutachten – auch auszugsweise – bedürfen in jedem Fall ausdrücklich unserer schriftlichen Genehmigung.

Durchgeführte Arbeiten:

- Vor- und Hauptversuche hinsichtlich einer geeigneten Gesteinskörnung zur Darstellung einer Nanodur-Betonrezeptur mit hohem E-Modul
- Herstellung von Nanodur-Betonmischungen und die Bestimmung der Frischbeton-Eigenschaften
- Herstellung der Prüfkörper und deren Lagerung bis zum Prüftermin
- Prüfung der Festbeton-Eigenschaften
 - Betonrohddichte
 - Biegezug- und Druckfestigkeiten
 - Dynamischer und statischer E-Modul
 - Prüfung der Längenänderung in Anlehnung an DIN 52450, Prüfverfahren nach Graf Kaufmann, ohne und mit Warmbehandlung
 - Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit, der volumenbezogenen Wärmekapazität und des linearen Ausdehnungskoeffizienten
 - Prüfung der Haftzugfestigkeit gemäß DIN 1048-2
 - Bestimmung des logarithmischen Dämpfungsdekrements, (externe Vergabe an die Hochschule Reutingen)

Vor- und Hauptversuche hinsichtlich einer geeigneten Gesteinskörnung zur Darstellung einer Nanodur-Betonrezeptur mit hohem E-Modul.

Herstellung von Nanodur-Betonmischungen und die Bestimmung der Frischbeton-Eigenschaften.

Auf Basis einer vom WDI empfohlenen Auswahl an Gesteinskörnungen wurden in Tastversuchen 1-Liter-Betonmischungen zur Bestimmung der Frischeigenschaften durchgeführt und Normprismen 160x40x40mm hergestellt. Die Betonrezepturen orientierten sich an dem in der Dyckerhoff Nanodur Compound Informationsschrift angeführten Rezepturbeispiel „Grobkornmischung“, ohne Stahlfaserzugabe.

An den Normprismen erfolgte die zerstörungsfreie Bestimmung des Elastizitätsmoduls, nach dem Prinzip der Resonanz- bzw. Eigenfrequenzmessung mit einem Messgerät vom Typ GRINDOSONIC MK 5 "Industrial" der Firma J.W. LEMMENS-Elektronika/Belgien (siehe Bild 1), und im Anschluss die Biegezug- und Druckprüfung.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurden zwei Betonrezepturen (siehe Tabelle 2) zur Untersuchung der Frisch- und Festeigenschaften ausgewählt.

Tab. 1: Reindichte der eingesetzten Gesteinskörnungen

Durigrd RG/DR 1-3mm	3,49	[g/cm ³]
Durigrd RG/DR 3-6mm	3,63	[g/cm ³]
Basaltsplitt 2/5	2,97	[g/cm ³]

Hinweis zur Reindichtebestimmung:

Eingesetztes Meßgerät vom Typ AccuPyc 1330 Helium Pyknometer der Firma Micromeritics / D-52072 Aachen. Meßprinzip: Gasverdrängung

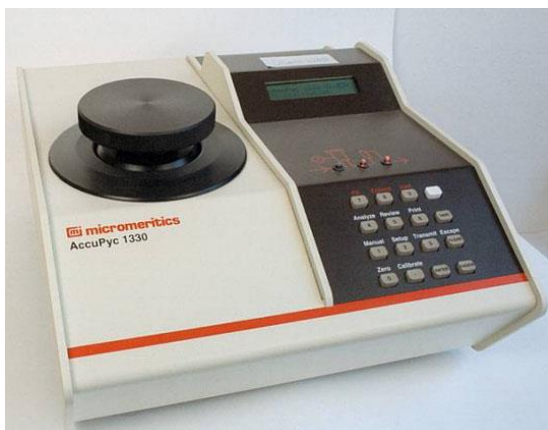


Bild 1:

Helium Pyknometer der Firma Micromeritics

Tab. 2: Betonrezepturen

	Rezeptur A	Rezeptur B	
Nanodur-Compound 5941 grau	1050,0	1050,0	[kg/m ³]
Durigrd RG/DR 1-3mm	723,5	1193,0	[kg/m ³]
Durigrd RG/DR 3-6mm	365,5	430,0	
Basaltsplitt 2/5	459,0	-	[kg/m ³]
PCE-Fließmittel (MasterGlenium ACE 454, BASF)	17,0	17,0	[kg/m ³] (1,62 % b. a. NC5941)
Frischwasser	149,0	149,0	[kg/m ³]
W/Z-Wert	0,26	0,26	[-]

In einem Zyklus- Zwangsmischer wurden 12 Liter-Chargen der Betonmischungen mit folgendem Mischregime hergestellt.

- Die Gesteinskörnung und das Nanodur-Compound 5941 wurden im Mischertrog trocken vorgelegt.
- Mit Mischbeginn erfolgte die Frischwasserzugabe, wobei dem Wasser vorab das PCE- Fließmittel zugegeben wurde.
- Die Gesamtmischzeit betrug 8 Minuten.

Nach Beendigung des Mischvorganges wurde die Frischbetontemperatur und das Setzfließmaß in Anlehnung an die DIN EN 12350-5 bestimmt (kegelstumpfförmige Metallform auf einer trockenen Ausbreitplatte). Dabei wurde nach 30 und nach 60 Sekunden das Fließmaß ohne Schlag gemessen.

Die ermittelten Werte sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3: Frischbetoneigenschaften

	A _{30 sec}	A _{60 sec}	T _{Beton} [°C]
Betonrezeptur A	545 mm	615 mm	28,3
Betonrezeptur B	550 mm	620 mm	27,6

Herstellung der Prüfkörper und Lagerungsbedingungen bis zum Prüftermin

Unmittelbar nach der Bestimmung der Beton-Frischeigenschaften wurden die vorbereiteten Formen für die Herstellung von Prüfkörpern gefüllt.

Nach ca. 20 Stunden wurden die erhärteten Probekörper ausgeschalt und anschließend der vorgesehen Lagerung bis zum Prüftermin überstellt, siehe Tabelle 4, 5 und 6.

Tab. 4: Lagerungsbedingungen der Prismen zur Bestimmung der Längenänderung

Normklima bei 20°C/65%r.F.
Unter Wasser bei 20°C
Warmbehandlung im Klimaschrank bei 60°C und 90°C bei >98% relativer Luftfeuchte. Nach der 48 stündigen Warmbehandlung erfolgte eine stufenweise Abkühlung auf Raumtemperatur und die weitere Lagerung im Normklima bei 20°C/65%r.F.

Hinweis:

Im Rahmen der Prüfung der Längenänderung (Schwind-/Dehnverhalten in Anlehnung an DIN 52450, Prüfverfahren nach Graf Kaufmann) wurde an den Normprismen mit Schwindzapfen die Ausgangsmessung durchgeführt, bevor diese unter den aufgeführten Bedingungen bis zu den Folgeprüfterminen eingelagert wurden.

Tab. 5: Lagerungsbedingungen der Prüfkörper zur Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeiten, des Elastizitätsmoduls, der Wärmeleitfähigkeit, der spezifischen Wärmekapazität und des logarithmischen Dämpfungsdekrements.

Unter Wasser bei 20°C

Tab. 6: Lagerungsbedingungen der Prüfplatten zur Ermittlung der Haftzugfestigkeit

Normklima bei 20°C/65%r.F.

Prüfung der Festbeton-Eigenschaften

Die Prüfungen erfolgten gemäß

- DIN EN 196-1: Druckfestigkeit von Zementmörtelprismen
- DIN EN 12390-3: Druckfestigkeit von Betonzylindern
- DIN EN 12390-5: Biegezugprüfung von Prismen und Betonbalken
- DIN EN 12390-7: Rohdichte durch Unterwasserwägung
- DIN 1048-Teil 2: Haftzugfestigkeit
- DIN 1048-Teil 5: Statischer E-Modul an zylindrischen Prüfkörpern
- DIN 52450: Längenänderung nach Graf Kaufmann

Die Prüfung der thermischen Leitfähigkeit und der volumenbezogenen Wärmekapazität erfolgte auf der Schalungsseite der Platten zur Bestimmung der Haftzugfestigkeit mit dem Heat Transfer Analyzer ISOMET Modell 2104 der Fa. Applied Precision Ltd.. Die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit beruht bei dem ISOMET 2104 auf der periodischen Analyse der Temperaturänderung der zu untersuchenden Probe nach einem induzierten Wärmeimpuls. Als Kennwerte wurden die thermische Leitfähigkeit λ (W/m·K) und die volumenbezogene Wärmekapazität c_p (J/m³·K) erfasst.

Die Bestimmung des linearen Ausdehnungskoeffizienten α erfolgte an den Prismen die für 48 Stunden eine Warmbehandlung bei 90°C erfahren haben. Nach dieser Warmbehandlung kann man davon ausgehen, dass bei diesen Prüfkörpern die Längenänderung durch die Zementhydratation weitgehend abgeschlossen ist.

Für die Ermittlung der relativen Längenänderung pro Grad Temperaturänderung wurden die Prismen in einem PE-Beutel im Trockenschrank vier Stunden von 20°C auf 25°C sowie von 25°C auf 30°C (erneut für 4 Stunden) erwärmt. Für die Messung wurde ebenfalls die Prüfeinrichtung nach Graf-Kaufmann eingesetzt.

Die Bestimmung des dynamischen E-Moduls erfolgte wie bei den Tastversuchen mit einem Messgerät vom Typ GRINDOSONIC MK 5.

Der im WDI ermittelte dynamische E-Modul an Beton kann zurzeit nur als Hinweis und Ergänzung zu den Ergebnissen nach DIN 1048 herangezogen werden.

Die Ergebnisse der Prüfungen sind in den Tabelle 7 und 8 dargestellt.

Tab. 7: Ergebnisse der Festbeton-Eigenschaften

Rezeptur A		Prisma 40*40*160mm							Balken 100x100x500mm		
Lagerung der Prüfkörper bis zum Prüftermin	Betonroh-dichte	3-Punkt Biegezug-Festigkeit		σ	Druck-Festigkeit		σ	dynamischer E-Modul	4-Punkt Biegezug-Festigkeit		σ
	[kg/dm³]	[MPa]			[MPa]			[GPa]	[MPa]		
6 Tage unter Wasser	-	20,8	N=3	0,3	162,9	N=6	3,0	-	-	-	-
27 Tage unter Wasser	2,74	22,6	N=6	1,0	185,7	N=12	5,6	-	17,4	N=4	1,3
55Tage unter Wasser	-	21,7	N=3	1,2	186,2	N=6	4,3	76,6	-	-	-
89Tage unter Wasser	-	21,7	N=3	0,7	197,8	N=6	8,8	-	-	-	-
Rezeptur B		Prisma 40*40*160mm							Balken 100x100x500mm		
Lagerung der Prüfkörper bis zum Prüftermin	Betonroh-dichte	3-Punkt Biegezug-Festigkeit		σ	Druck-Festigkeit		σ	dynamischer E-Modul	4-Punkt Biegezug-Festigkeit		σ
	[kg/dm³]	[MPa]			[MPa]			[GPa]	[MPa]		
6 Tage unter Wasser	-	24,4	N=3	0,8	176,1	N=6	4,7	-	-		-
27 Tage unter Wasser	2,79	24,8	N=6	0,8	200,7	N=12	5,2	-	18,8	N=4	0,6
55Tage unter Wasser	-	24,8	N=3	0,2	196,3	N=6	6,9	91,5	-		-
89Tage unter Wasser	-	26,2	N=3	0,3	200,5	N=6	7,5	-	-		-

Rezeptur A		Balken 100x100x500mm			Balken 100x100x400mm für die Hochschule Reutlingen			Zylinder Ø150xH300mm					
Lagerung der Prüfkörper bis zum Prüftermin		4-Punkt Biegezug-Festigkeit		σ	dynamischer E-Modul		σ	Druck		σ	statischer E-Modul		σ
		[MPa]			[GPa]			[MPa]			[GPa]		
9 Tage unter Wasser		-	-	-	79,6	-	-	-	-	-	-	-	-
27 Tage unter Wasser		17,4	N=4	1,3	-	-	-	155,6	N=5	12,8	72,3	N=4	3,1
Rezeptur B		Balken 100x100x500mm			Balken 100x100x400mm für die Hochschule Reutlingen			Zylinder Ø150xH300mm					
Lagerung der Prüfkörper bis zum Prüftermin		4-Punkt Biegezug-Festigkeit		σ	dynamischer E-Modul		σ	Druck		σ	statischer E-Modul		σ
		[MPa]			[GPa]			[MPa]			[GPa]		
9 Tage unter Wasser		-	-	-	89,6	-	-	-	-	-	-	-	-
27 Tage unter Wasser		18,8	N=4	0,6	-	-	-	158,0	N=4	18,9	84,5	-	5,7

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns zur Verfügung gestellten untersuchten Proben. Sie sind nach den geltenden Regelwerken und Normen ermittelt worden. Dabei ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik berücksichtigt worden.

Unsere Prüfungen unterliegen einer Qualitätssicherung in Anlehnung an DIN EN ISO/IEC 17025. Die Messunsicherheit sowie die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der verwendeten Prüfverfahren teilen wir Ihnen gerne auf Anfrage mit.

Die Veröffentlichung und Vervielfältigung unserer Prüfberichte und Gutachten – auch auszugsweise – bedürfen in jedem Fall ausdrücklich unserer schriftlichen Genehmigung.

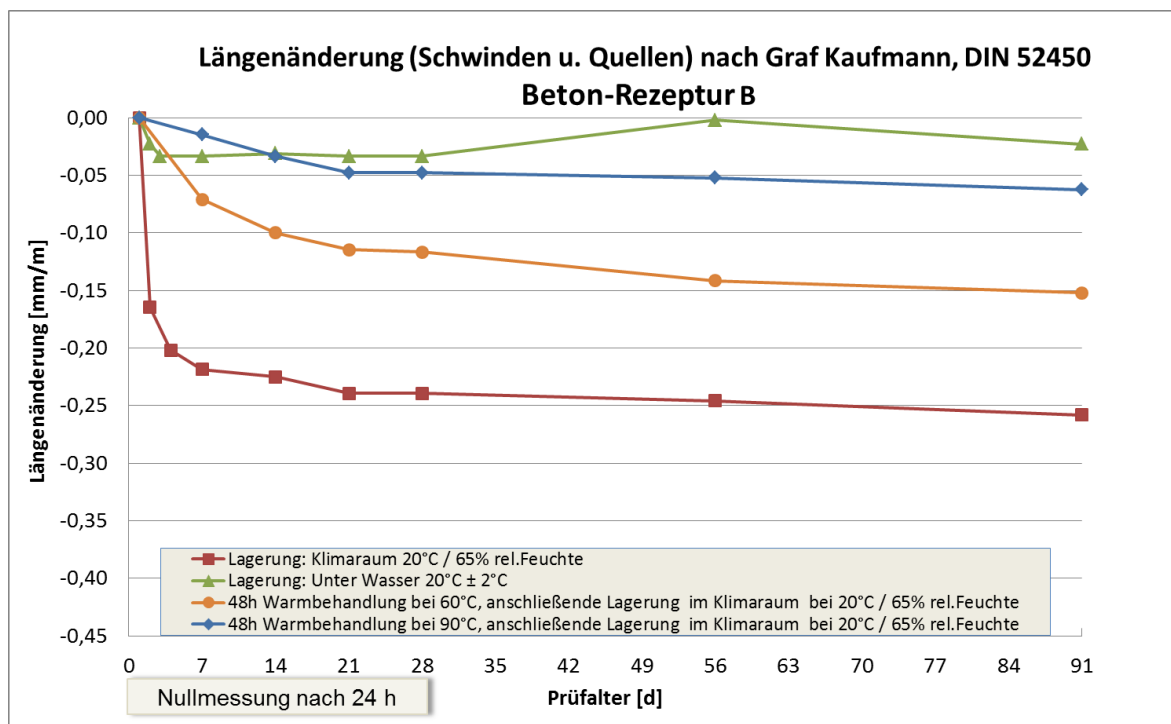
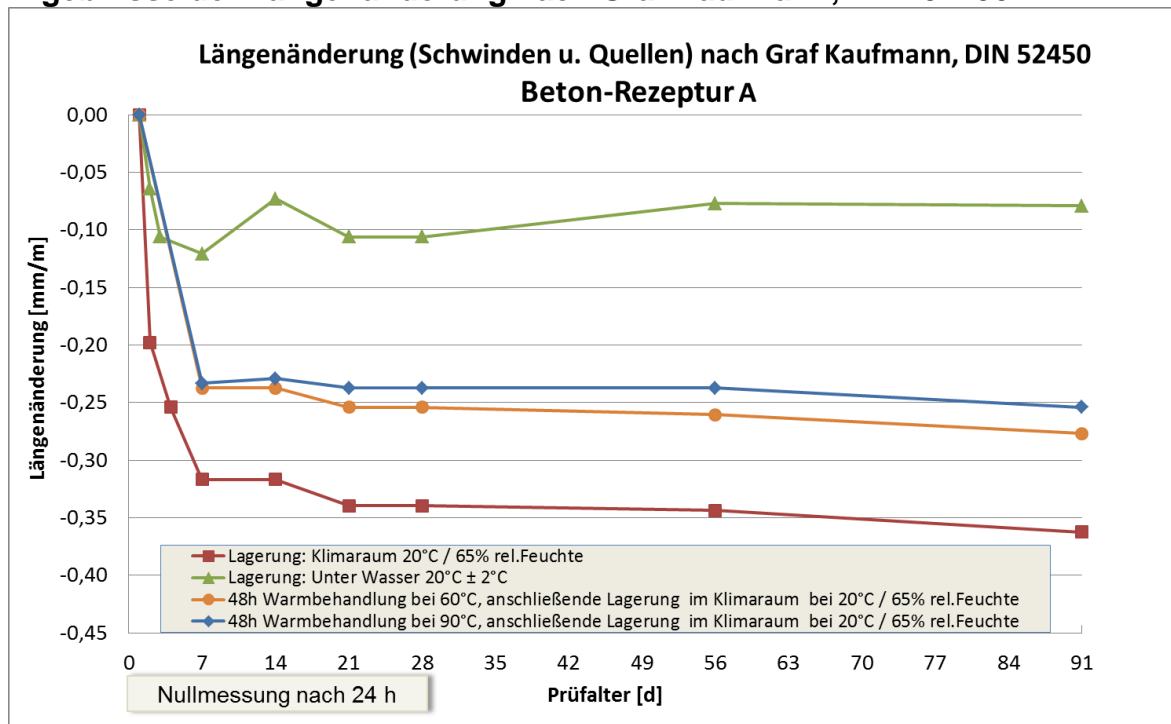
Tab. 8: Ergebnisse der Festbeton-Eigenschaften

Rezeptur A		Platte L300xB300xH60mm		
		Wärmeleitfähigkeit	Volumenbezogene Wärmekapazität	Linearer Ausdehnungskoeffizient
		Mittelwert aus drei Einzelmessungen	Mittelwert aus drei Einzelmessungen	Mittelwert über zwei Temperaturänderung von 20°C => auf 25°C bzw. 30°C
		Prüfung auf der schalungsglatten Seite		
		[W/m*K]	[J/m³*K]	[K⁻¹]
		4,05	2,18E+06	6,98E-06
Rezeptur B		Platte L300xB300xH60mm		
		Wärmeleitfähigkeit	Volumenbezogene Wärmekapazität	Linearer Ausdehnungskoeffizient
		Mittelwert aus drei Einzelmessungen	Mittelwert aus drei Einzelmessungen	Mittelwert über zwei Temperaturänderung von 20°C => auf 25°C bzw. 30°C
		Prüfung auf der schalungsglatten Seite		
		[W/m*K]	[J/m³*K]	[K⁻¹]
		5,98	2,38E+06	7,19E-06
Rezeptur A		Platte L300xB300xH60mm		
		Haftzugfestigkeit		
		7,52 N/mm²	Versagensart	im Beton
		8,52 N/mm²	Versagensart	im Beton
		6,11 N/mm²	Versagensart	im Beton
		7,26 N/mm²	Versagensart	im Beton
		9,01 N/mm²	Versagensart	im Kleber
		Mittelwert der fünf Einzelmessungen		
		7,68 N/mm²		
Rezeptur B		Platte L300xB300xH60mm		
		Haftzugfestigkeit		
		8,59 N/mm²	Versagensart	im Beton
		8,36 N/mm²	Versagensart	im Kleber
		8,83 N/mm²	Versagensart	im Kleber
		7,99 N/mm²	Versagensart	im Kleber
		8,31 N/mm²	Versagensart	im Beton
		Mittelwert der fünf Einzelmessungen		
		8,42 N/mm²		

Hinweis zur Bestimmung der Haftzugfestigkeit:

Nach einer Aushärtezeit des PMMA-Klebers von >4 Stunden wurde für die Prüfung der Haftzugfestigkeit die transportable Zugvorrichtung Typ DY-2-Familie, der Firma Proceq SA/Schweiz, eingesetzt.

Ergebnisse der Längenänderung nach Graf Kaufmann, DIN 52450



Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns zur Verfügung gestellten untersuchten Proben. Sie sind nach den geltenden Regelwerken und Normen ermittelt worden. Dabei ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik berücksichtigt worden.

Unsere Prüfungen unterliegen einer Qualitätssicherung in Anlehnung an DIN EN ISO/IEC 17025. Die Messunsicherheit sowie die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der verwendeten Prüfverfahren teilen wir Ihnen gerne auf Anfrage mit.

Die Veröffentlichung und Vervielfältigung unserer Prüfberichte und Gutachten – auch auszugsweise – bedürfen in jedem Fall ausdrücklich unserer schriftlichen Genehmigung.

Bestimmung des logarithmischen Dämpfungsdekrement Δ

Siehe Prüfbericht der Hochschule Reutlingen im Anhang

Rezeptur **A = V32**

Rezeptur **B = V34**

Schlussbemerkung

Für den Großeinsatz, z.B. zur Fertigung von Maschinenbetten, müssen die Verarbeitungseigenschaften der Betonrezepturen bei Bedarf noch angepasst werden.

Regelwerke

DIN 1048-T2:	<i>Prüfverfahren für Beton – Festbeton in Bauwerken und Bauteilen</i>
DIN 1048-T5:	<i>Prüfverfahren für Beton – Festbeton in Bauwerken und Bauteilen</i>
DIN EN 196-1:	<i>Prüfverfahren für Zement</i>
DIN EN 12390-3:	<i>Prüfung von Festbeton</i>
DIN EN 12390-5:	<i>Prüfung von Festbeton</i>
DIN EN 12390-7:	<i>Prüfung von Festbeton</i>
DIN 52450:	<i>Prüfung anorganischer nichtmetallischer Baustoffe</i>

Weiterführende Veröffentlichungen

„Prüfung der Oberflächenzugfestigkeit von Beton“. Oliver Mann, MPVA Neuwied,
in Fachzeitschrift: Beton 61(2011)Nr.1/2, ISSN: 0005-9846

Anhang:

- **Produktinformation DURGRID RG/DR (eine Seite)**
- **Prüfbericht der Hochschule Reutlingen (zwei Seiten)**

Produktinformation DURIGID RG/DR

Produktbeschreibung:

Durigid RG/DR ist ein industriell hergestellter Mineralstoff. Spezielle Gesteinskörnung wird gesichtet, bei über 1.400 °C gebrannt und anschließend in Fraktionen gebrochen und separiert. Das rein mineralische Gestein zeichnet sich durch eine hohe Rohdichte, Festigkeit und Härte aus. In polymer- und zementgebunden Mineralguss erhöht der Einsatz von DURIGID RG/DR als Austauschstoff für natürliches Hartgestein folgende technische Kennwerte:

- *Druckfestigkeit*
- *E-Modul*
- *Abriebbeständigkeit*
- *Feuerbeständigkeit*

Mit Durigid gibt es langjährige Erfahrung in zement- und asphaltgebundenen Mischungen. Vor dem Einsatz ist eine Eignungsprüfung erforderlich. Vor dem Einsatz in tragenden Anwendungen im Bauwesen sowie im Straßenbau sind vom Verwender die Nachweise für Materialeigenschaften sowie Überwachung nach den entsprechenden Richtlinien zu führen.

Eigenschaften:

Eigenschaft		Wert
Rohdichte	ρ_c	3.200 kg/m ³
Farbe		dunkelgrau - beige
verfügbare Korngrößen		0/1mm 1/3mm 3/6mm

Bezugsquellen:

1) Muster, Einzelsäcke, Sackware, Palettenware

www.moertelshop.de

Backstein Engineering GmbH
Langgasse 21
D - 65510 Idstein
E-mail: Sven.Backstein@moertelshop.com

2) Mindestmengen ab 1 LKW (25 Tonnen)

Sackware, BigBags, Silofahrzeug oder auf offenem Kipper-LKW
Bezugsquelle bitte unter info@durcrete.de nachfragen

Prüfzeugnis

über die dynamischen Eigenschaften von Werkzeugmaschinen-Gestellwerkstoffen

Probenhersteller:

Fa. Dyckerhoff, Biebricher Straße 69, 65203 Wiesbaden

Untersuchungsgegenstand:

Werkstoffprobe V3214-00526

Probengeometrie: 400x100x100 mm

Messungen:

Gemessen wurde der Beton zu einem Zeitpunkt ca. 3 Wochen nach der Herstellung.

Die Messung erfolgte mit horizontal frei, in den Knoten der ersten Schwingungsform aufgehängter Probe mit Anregung durch Impulshammer und Aufnahme der Schwingungen durch einen hochempfindlichen Beschleunigungsaufnehmer.

Ergebnisse:

Die mit Hilfe des logarithmischen Dekrements ermittelte Dämpfung der ersten Eigenfrequenz betrug:

Log. Dämpfungsdekrement $\Lambda = 0,0226$ ($D=0,36\%$) und

Der dynamische E-Modul wurde aus den Messungen und den physikalischen Daten der Proben ermittelt zu:

dyn. E-Modul Probe 1 $E = 53.896 \text{ N/mm}^2$



Prof. Dr.-Ing. Helmut Nebeling
Professur Werkzeugmaschinen, Steuerungstechnik, Fertigungssysteme
Hochschule Reutlingen, Alteburgstraße 150, 72762 Reutlingen

Prüfzeugnis

über die dynamischen Eigenschaften von Werkzeugmaschinen-Gestellwerkstoffen

Probenhersteller:

Fa. Dyckerhoff, Biebricher Straße 69, 65203 Wiesbaden

Untersuchungsgegenstand:

Werkstoffprobe V3414-00526

Probengeometrie: 400x100x100 mm

Messungen:

Gemessen wurde der Beton zu einem Zeitpunkt ca. 3 Wochen nach der Herstellung.

Die Messung erfolgte mit horizontal frei, in den Knoten der ersten Schwingungsform aufgehängter Probe mit Anregung durch Impulshammer und Aufnahme der Schwingungen durch einen hochempfindlichen Beschleunigungsaufnehmer.

Ergebnisse:

Die mit Hilfe des logarithmischen Dekrements ermittelte Dämpfung der ersten Eigenfrequenz betrug:

Log. Dämpfungsdekrement $\Lambda = 0,0207$ ($D=0,33 \%$) und

Der dynamische E-Modul wurde aus den Messungen und den physikalischen Daten der Proben ermittelt zu:

dyn. E-Modul Probe 1 $E = 62.874 \text{ N/mm}^2$



Prof. Dr.-Ing. Helmut Nebeling
Professur Werkzeugmaschinen, Steuerungstechnik, Fertigungssysteme
Hochschule Reutlingen, Alteburgstraße 150, 72762 Reutlingen