

**Sanierung von Rohrverbindungen
in nicht begehbaren Abwasserkanälen**

- Entwicklung und Erprobung eines Reparaturverfahrens
mit elastischem und expandierbarem Sanierungsmaterial -

Von der Fakultät für Bauingenieurwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Daniel Humpohl

Berichter: Universitätsprofessor Dr.-Ing. Rainard Osebold
 Universitätsprofessor Dr.-Ing. Volkhard Franz
 Universitätsprofessor Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf

Tag der mündlichen Prüfung: 09.07.2010

Schriftenreihe des
Lehrstuhls für Baubetrieb und Projektmanagement
ibb - Institut für Baumaschinen und Baubetrieb

Daniel Humpohl

**Sanierung von Rohrverbindungen in
nicht begehbaren Abwasserkanälen**

- Entwicklung und Erprobung eines Reparaturverfahrens mit
elastischem und expandierbarem Sanierungsmaterial -

Shaker Verlag
Aachen 2010

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2010)

Herausgeber:

Univ.-Professor Dr.-Ing. Rainard Osebold

für die Gesellschaft zur Förderung des Baubetriebs Aachen e.V.

Copyright Shaker Verlag 2010

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9526-4

ISSN 1612-2798

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Inspektionen des öffentlichen Kanalisationsnetzes belegen, dass die Reparaturbedürftigkeit insbesondere im Bereich kleiner Durchmesser aus Steinzeug- oder Betonrohren häufig aus undichten Rohrverbindungen resultiert. Davon sind insbesondere Kanäle aus der Bauzeit vor 1960 betroffen, da bis dahin werkseitig in die Rohre integrierte Dichtungen aus verrottungsresistenten Elastomeren auf Polyuretanbasis mit hoher Kompressionswirkung noch nicht verbreitet waren.

Als Alternative zur Erneuerung derartig geschädigter Kanäle entwickelt Herr Dr. Humpohl ein Reparaturverfahren, das sich im Qualitätsmaßstab an den Eigenschaften werkseitiger Kompressionsdichtungen heutiger Rohre orientiert. Um das anspruchsvolle Ziel der dauerhaften Abdichtungsqualität zu erreichen, bedarf es einer besonderen Verfahrens- und Materialkombination. Die Entwicklung umfasst eine Kanalroboter-Verfahrenstechnik und deren Abstimmung auf ein neuartiges Sanierungsmaterial, das als zweikomponentiges PUR-System mit pastöser Konsistenz in den Muffenspalt eingebracht werden kann. Die hohe Abdichtungswirkung wird einerseits durch die Adhäsion des Dichtstoffs, andererseits durch Kompression erreicht, indem integrierte Mikrokugeln über eine speziell entwickelte Mikrowelle zur Expansion gebracht werden.

Umfangreiche Versuchsreihen und Einsatztests bestätigen die relevanten Materialkennwerte, deren Dauerhaftigkeit, das Funktionieren der Gerätetechnik und den praktischen Sanierungserfolg. Es bleibt zu wünschen, dass sich das neuartige Reparaturverfahren im Bereich muffengeschädigter Kanalisationsstrecken als kostengünstige Alternative durchsetzen wird.

Aachen, im September 2010

Universitätsprofessor Dr. Ing. Rainard Osebold

Meiner Frau Christiane

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis.....	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	4
2 Dichtungen in der Kanalisation	6
2.1 Technische Entwicklung von Rohrverbindungen	6
2.1.1 Rohrverbindungen bei Steinzeugrohren.....	7
2.1.2 Rohrverbindungen bei Betonrohren	12
2.2 Beurteilung der Entwicklung / Stand der Technik bei Rohrverbindungen .	17
3 Sanierungsverfahren für Rohrverbindungen.....	21
3.1 Definition und Abgrenzung.....	21
3.2 Übersicht der bestehenden Reparaturverfahren	23
3.2.1 Ausbesserungsverfahren.....	23
3.2.2 Injektionsverfahren.....	24
3.2.3 Abdichtungsverfahren.....	25
3.2.4 Unberücksichtigte Verfahren	25
3.2.5 Tabellarische Übersicht	26
3.3 Bewertung der bestehenden Reparaturverfahren	33
3.4 Ansatz für ein neues Reparaturverfahren.....	39
3.4.1 Auswahl der Dichtzone	40
3.4.2 Auswahl der Verfahrenstechnik	42
3.4.3 Auswahl des Materials	42
3.4.4 Gewählter Ansatz.....	43

4	Isotrop expandierbarer Dichtstoff	44
4.1	Anforderungsprofil	44
4.2	Umsetzung des Anforderungsprofils.....	46
4.3	Materialzusammensetzung und Reaktion	48
4.3.1	Polyurethan	48
4.3.2	Isotrop expandierbares Sanierungsmaterial	52
4.4	Materialeigenschaften	58
4.4.1	Topfzeit / Vernetzung	58
4.4.2	E-Modul	59
4.4.3	Druckfestigkeit.....	63
4.4.4	Härte.....	67
4.4.5	Verformung.....	70
4.5	Abdichtwirkung	72
4.5.1	Theoretische Betrachtung der Funktionsweisen	72
4.5.2	Wirkweise des neuen Sanierungsmaterials	76
5	Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit.....	86
5.1	Spannungsrelaxation.....	86
5.2	Druckverformungsrest.....	94
5.3	Thermische Belastungen	99
5.4	Umweltverträglichkeit	103
6	Erwärmungsverfahren zur Expansion der Mikrokugeln.....	106
6.1	Randbedingungen der Erwärmungsverfahren	106
6.2	Erwärmung durch Heißluft	109
6.3	Infrarotstrahlung (IR) zur Erwärmung	110
6.4	Erwärmung durch UV-Bestrahlung	112
6.5	Erwärmung mittels Wasserdampf.....	113
6.6	Mikrowellenerwärmung	114
6.7	Bewertung der Erwärmungsverfahren	118

7	Entwicklung einer geeigneten Mikrowelle.....	120
7.1	Grundlagen der Mikrowellenerwärmung.....	120
7.2	Arbeitssicherheitsrelevante Rahmenbedingungen.....	123
7.3	Charakterisierung der beteiligten Materialien	124
7.3.1	Theoretische Grundlagen	124
7.3.2	Praktische Ermittlung der Parameter	125
7.4	Applikatorkonzeptionierung.....	129
7.4.1	Reflektionen	129
7.4.2	Leckstrahlung	133
7.4.3	Absorption	136
7.4.4	Ergebnis der Applikatorkonzeptionierung.....	138
7.5	Applikatorentwurf.....	139
7.5.1	Wahl der Betriebsfrequenz	139
7.5.2	Applikator	140
7.5.3	Elektrische Versorgung des Magnetrons	141
7.5.4	Kühlung des Magnetrons.....	143
7.5.5	Ergebnis des Applikatorentwurfs.....	144
8	Realisierung und Erprobung einer praxistauglichen Verfahrenstechnik	145
8.1	Mischtechnik.....	145
8.1.1	Dynamische Mischer.....	146
8.1.2	Statik-Mischer.....	148
8.2	Einbringen des Sanierungsmaterials.....	151
8.2.1	Kanalroboter mit Spachtelwerkzeug.....	151
8.2.2	Kanalroboter mit Schalung	153
8.3	Erwärmen des Sanierungsmaterials mittels Mikrowelle.....	155
8.3.1	Mikrowellentechnik.....	155
8.3.2	Trägerfahrzeug.....	158
8.3.3	Mikrowellenroboter.....	160

9	Reparatur von Rohrverbindungen	163
9.1	Versuchsaufbau.....	163
9.1.1	Reparatur einzelner Rohrverbindungen	163
9.1.2	Reparatur praxisnaher Kanaltteststrecken.....	166
9.2	Durchführung eines Reparaturzyklus	168
9.2.1	Vorbereitende Arbeiten für die Reparatur	168
9.2.2	Einbringen des Sanierungsmaterials.....	169
9.2.3	Sanierungsmaterial erwärmen und expandieren	169
9.2.4	Nacharbeiten der Reparatur	172
9.3	Beurteilung der Reparaturergebnisse.....	174
9.3.1	Optische Begutachtung der Reparaturen.....	174
9.3.2	Dichtheitsprüfung der Reparaturen	176
9.4	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen aus den Reparaturen.....	183
9.4.1	Erkenntnisse zu den Einsatzgrenzen	183
9.4.2	Materialerkennnisse aus den Reparaturen	185
9.4.3	Zur Verfahrenstechnik: Beurteilung und Optimierungsansätze	186
10	Zusammenfassung und Ausblick.....	189
11	Literatur- und Quellenverzeichnis	192
11.1	Literatur.....	192
11.2	Gesetze, Normen und Regelwerke.....	201
11.3	Firmeninformationen und Internetquellen	203
	Anhang.....	207

Abbildungsverzeichnis

Abbildung	1: Zustandsklassifizierung der Kanalisation 2004	1
Abbildung	2: Exfiltration (links) und Infiltration (rechts) bei Kanalrohren	2
Abbildung	3: Muffendichtung mit mineralischem Material	8
Abbildung	4: Muffendichtung mit Heißverguss	9
Abbildung	5: Konusdichtung an Steinzeugrohren	9
Abbildung	6: Steinzeugrohre mit Steckmuffe K	10
Abbildung	7: Steinzeugrohre mit Steckmuffe L	11
Abbildung	8: Steinzeugrohre mit Steckmuffe S	11
Abbildung	9: Mörteldichtung von Betonrohren (links Stumpfstoß, rechts Falzverbindung).....	13
Abbildung	10: Einbau plastisches Dichtband in Falzrohren (Links vor, rechts nach dem Zusammenschieben)	14
Abbildung	11: Funktionsprinzip der Rollringdichtung	15
Abbildung	12: Glockenmuffe mit profiliertem Spitzende und Rollring mit Nase und Einkerbung	15
Abbildung	13: Funktionsprinzip der Gleitringdichtung	16
Abbildung	14: Überblick über die Entwicklung bei Rohrverbindungen	17
Abbildung	15: Abhängigkeit zwischen undichten Rohrverbindungen und dem verwendeten Dichtungsmaterial	18
Abbildung	16: Verfahren zur baulichen Sanierung	22
Abbildung	17: Reparaturverfahren	23
Abbildung	18: Einsatzgrenzen von Injektionsmitteln in Abhängigkeit der Korngröße.....	24
Abbildung	19: Übersicht über Injektionsverfahren bei Rohrverbindungen.....	25
Abbildung	20: Dichtzonen (links Muffen-, rechts Falzverbindung)	40
Abbildung	21: Industrielle Herstellung von Alkoholen	49
Abbildung	22: Reaktionsschema Isocyanatherstellung	50
Abbildung	23: Reaktionsschema Polyaddition	50
Abbildung	24: Zugfestigkeit und Bruchdehnung von Elastomeren	52
Abbildung	25: Polybutadien (chemisch).....	52
Abbildung	26: Benzol (chemisch).....	53
Abbildung	27: Diphenylmethandiisocyanat (MDI) (chemisch).....	54
Abbildung	28: MDI-Isomere (chemisch).....	54
Abbildung	29: Zugfestigkeit und Bruchdehnung eines amorphen Thermoplasten ..	55
Abbildung	30: Prinzipielle Funktionsweise der Mikrokugeln.....	56
Abbildung	31: Chemische Reaktion der Komponenten A und B.....	56
Abbildung	32: Zeitlicher Verlauf der Vernetzung (qualitativ)	59
Abbildung	33: Spannungs-Dehnungs-Diagramm	60
Abbildung	34: Entwicklung des E-Moduls über die Zeit	61

Abbildung 35: Vergleich der E-Moduln-Entwicklung ohne und mit Erwärmung.....	61
Abbildung 36: Vergleich der E-Modul-Entwicklung ohne und mit Erwärmung (bis ca. 1 Tag)	62
Abbildung 37: Vergleich E-Moduln expandierter und nicht expandierter Proben	62
Abbildung 38: Spannungs-Dehnungsdiagramm bei 25 % Stauchung	64
Abbildung 39: Zyklische Druckbelastung an nicht expandierten Probekörpern.....	65
Abbildung 40: Zyklische Druckbelastung an expandierten Probekörpern	65
Abbildung 41: Messeinrichtung Shore A und Shore D	67
Abbildung 42: Einfluss der Ablesezeit auf die Shore-Härte	68
Abbildung 43: Shore-Härte A ausgewählter Probekörper	69
Abbildung 44: Shore-Härte A Entwicklung (zeitlich)	70
Abbildung 45: Prinzipielle Möglichkeiten zur Abdichtung von Flächen	72
Abbildung 46: Dichtwirkung durch Anpressdruck	73
Abbildung 47: Physikalische, chemische und mechanische Adhäsion	74
Abbildung 48: Haftzugprüfung	77
Abbildung 49: Prüfergebnisse zur Haftzugfestigkeit	78
Abbildung 50: Versuchsaufbau zur Bestimmung von Ausdehnung und Anpressdruck	79
Abbildung 51: Ergebnis der Dehnungsmessversuche mit verschiedenen Wartezeiten	80
Abbildung 52: Maximal- und Enddehnung in Abhängigkeit von der Wartezeit	80
Abbildung 53: Ergebnis der Spannungsmessversuche mit verschiedenen Wartezeiten	81
Abbildung 54: Spannungsmessversuch ohne Mikrokugelexpansion	82
Abbildung 55: Änderung des E-Moduls zu verschiedenen Versuchszeitpunkten ...	83
Abbildung 56: Maximal- und Endspannung in Abhängigkeit von der Wartezeit	83
Abbildung 57: Versuchsaufbau Rohfuge mit Druckmessfolie	84
Abbildung 58: Verfärbung der Druckmessfolie nach Expansion des Sanierungs- materials	85
Abbildung 59: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Spannungsrelaxation	88
Abbildung 60: Spannungsrelaxation bei Prüfkörpern im Alter von einer Woche	90
Abbildung 61: Anfangsrückstellkräfte bei Prüfkörpern im Alter von einer Woche....	90
Abbildung 62: Spannungsrelaxation bei Prüfkörpern im Alter von 0,5 Jahren	92
Abbildung 63: Anfangsrückstellkräfte bei Prüfkörpern im Alter von 0,5 Jahren	92
Abbildung 64: Verlauf der Rückstellkräfte über die Zeit	93
Abbildung 65: Prüfapparatur zur Bestimmung des Druckverformungsrests	95
Abbildung 66: Gültigkeit der Prüfungen zum Druckverformungsrest	96
Abbildung 67: Auswertung Druckverformungsrest (Alter eine Woche)	97
Abbildung 68: Auswertung Druckverformungsrest (Alter 0,5 Jahre)	98
Abbildung 69: Shore-Härte A vor und nach Alterung	100
Abbildung 70: Entwicklung der Shore-Härte A bei zwei künstlichen Alterungen ...	101

Abbildung 71: Shore-Härte A vor und nach Kälteeinwirkung	102
Abbildung 72: Versuchsskizze Erwärmung mit Heißluftgerät	109
Abbildung 73: Versuchsaufbau Erwärmung durch IR-Strahler	110
Abbildung 74: Grafische Darstellung des Temperatur- und Expansionsverlaufes bei einer IR-Erwärmung	111
Abbildung 75: UV-Strahler zur Inlineraushärtung	112
Abbildung 76: Versuchsaufbau Erwärmung durch Mikrowellen	114
Abbildung 77: Räumliches Anordnungsschema der Temperatursensoren	115
Abbildung 78: Temperaturverteilung bei Erwärmung mit dem Mikrowellen- generator	115
Abbildung 79: Geglättete Temperaturverteilung bei Erwärmung mit dem Mikrowellengenerator	116
Abbildung 80: Längs- und Querschnitt durch den von oben mit MW erwärmten Probekörper	117
Abbildung 81: Bereich der Mikrowellen innerhalb des Frequenzbandes	121
Abbildung 82: Elektromagnetische Welle	122
Abbildung 83: Eingesetztes Microstrip-Ringresonator Messsystem	126
Abbildung 84: REHL vor Beton (links), und vereinfachte Impedanzbeschreibung (rechts)	129
Abbildung 85: Möglichkeiten zur Reduzierung des Reflektionsfaktors; Kapazitiver Stift (links), Teflon-Block (rechts)	132
Abbildung 86: Längsschnitt durch simuliertes elektrisches Feld, Aufbau (oben) Feldverteilung (unten)	133
Abbildung 87: Längsschnitt durch simuliertes elektrisches Feld mit Fallen, Aufbau (oben) Feldverteilung (unten)	135
Abbildung 88: Querschnitt eines abgerundeten Mikrowellenapplikators	135
Abbildung 89: Räumliches Modell des Applikators	141
Abbildung 90: Heizspannung in Abhängigkeit von der einfachen Kabellänge	141
Abbildung 91: Elektrische Versorgung des Magnetrons (Prinzipskizze)	142
Abbildung 92: Magnetrontemperatur (800 W) ohne und mit Luftkühlung	143
Abbildung 93: Mischhaken	146
Abbildung 94: Mischer eines Kanalroboter-Sanierungsfahrzeugs	147
Abbildung 95: Auspressvorrichtung für die Sanierungsmaterial-Behältnisse	148
Abbildung 96: Geometrie eines Kenics-Mischers	148
Abbildung 97: Radiale Vermischung im Kenics-Mischer	149
Abbildung 98: Modifizierte Zweikomponenten-Auspressvorrichtung	150
Abbildung 99: Vorratsbehältnis Kanalroboter (Schema)	152

Abbildung 100: Sika-Kanalroboter zum Spachteln	153
Abbildung 101: KA-TE-Kanalroboter zum Spachteln.....	153
Abbildung 102: Realisierter Applikator mit Halterung / Mikrowellenkopf.....	155
Abbildung 103: Schema Versorgung / Schaltung der Mikrowelle	157
Abbildung 104: Steuerbox und Hochspannungs-Netzgerät	158
Abbildung 105: Bedieneinheit Fahrwagen	159
Abbildung 106: Kameravorsatz mit Beleuchtung.....	161
Abbildung 107: Versuchskasten	163
Abbildung 108: Eingesetzte Kanalrohre (DN 300).....	164
Abbildung 109: Versuche mit Wasserdruck	166
Abbildung 110: Kanalteststrecken.....	167
Abbildung 111: Mikrowellenroboter	169
Abbildung 112: Bedienerplatz und Mikrowellenroboter im Einsatz	170
Abbildung 113: Fräsroboter beim Entfernen von überstehendem Material	172
Abbildung 114: HD-Spüldüse und Spülfahrzeug	173
Abbildung 115: Optimal ausgefüllte Rohrverbindung	174
Abbildung 116: Unzureichend ausgefüllte Rohrverbindung	175
Abbildung 117: Wasserdichtheitsprüfung (Stahlkasten).....	178
Abbildung 118: Ergebnis der Dichtheitsprüfungen mit Betonfalzrohren	179
Abbildung 119: Undichte Betonfalzrohre.....	180
Abbildung 120: Ergebnis der Dichtheitsprüfungen mit Betonmuffenrohren	181
Abbildung 121: Ergebnis der Dichtheitsprüfungen mit Steinzeugrohren	182
Abbildung 122: Robotersanierung mit Schalung (KA-TE)	A-2
Abbildung 123: Robotersanierung durch Spachteln (Sika).....	A-2
Abbildung 124: Schematische Darstellung des Injektionsverfahrens von außen	A-3
Abbildung 125: Prinzipielle Darstellung eines Injektionsverfahrens von innen.....	A-4
Abbildung 126: Arbeitsablauf beim Posatryn-Verfahren.....	A-5
Abbildung 127: Zweiteiliger Packer für das Posatryn-Verfahren	A-6
Abbildung 128: Einteiliger Packer für das Seal-i-Tryn-Verfahren.....	A-6
Abbildung 129: Dreiteiliger Packer für das TelegROUT-System.....	A-7
Abbildung 130: Sanierung mit dem AMK-Verfahren.....	A-8
Abbildung 131: Schematische Darstellung des Cherne-Verfahrens	A-9
Abbildung 132: Schema MUSA-Verfahren.....	A-10
Abbildung 133: Schema Janßen-Verfahren	A-11
Abbildung 134: Schema Flutungsverfahren	A-12
Abbildung 135: Außenmanschette	A-13
Abbildung 136: Schrumpfschlauch.....	A-14
Abbildung 137: Innenmanschette.....	A-15
Abbildung 138: Installationsschema Kurzliner	A-15
Abbildung 139: Temperaturabhängigkeit der Wegaufnehmer bei Erwärmung.....	A-31

Abbildung 140: Kalibrierkurve Wegaufnehmer mit Rechenbeispiel	A-32
Abbildung 141: Temperatur- und Zeitabhängigkeit der Kraftmessdose.....	A-33
Abbildung 142: Kalibrierkurve Kraftmessdose mit Beispielmessung	A-34
Abbildung 143: Ablaufschema zur Bewertung von Bauprodukten hinsichtlich Boden- und Grundwasserschutz	A-35
Abbildung 144: Sieblinie des verwendeten Mauersandes.....	A-36
Abbildung 145: Schematischer Versuchsaufbau der Dichtheitsprüfung an einer einzelnen Rohrverbindung innerhalb einer Kanaltteststrecke	A-37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Materialien	124
Tabelle 2: Ergebnis für die dielektrischen Parameter des Sanierungsmaterials ...	126
Tabelle 3: Ergebnis für die dielektrischen Parameter von Steinzeug und Beton...	127
Tabelle 4: Dielektrische Parameter für Erdböden und Wasser	128
Tabelle 5: Impedanzen und Reflektionsfaktoren bei 2,45 GHz und 5,8 GHz	131
Tabelle 6: Ungefähre Abmessungen für die Anpassungselemente im REHL	132
Tabelle 7: Ergebnisse simulierter Absorptionen für zwei extreme Bodenvarianten	136
Tabelle 8: Ergebnisse der Erwärmungsmessungen im Labor.....	137
Tabelle 9: Vergleich Absorption aus Versuch und Simulation.....	138
Tabelle 10: Aspekte zur Wahl der Betriebsfrequenz	139
Tabelle 11: Variation des Mischungsverhältnisses der Komponenten A und B	145
Tabelle 12: Ergebnis der optischen Kontrolle	175
Tabelle 13: Dichtheitskriterien	177

Abkürzungsverzeichnis

Lateinische Großbuchstaben

A	Absorption
A	Fläche
Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
Aufl.	Auflage
ATV	Abwassertechnische Vereinigung
BauPG	Bauproduktengesetz
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BGFE	Berufsgenossenschaft für Feinmechanik und Elektrotechnik
DIBt	Deutsche Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
Diss.	Dissertation
DN	Durchmesser
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., heute DWA
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
E	Elastizitätsmodul (E-Modul)
E	elektrische Feldstärke
EB	Erweichungsbereich
EN	Europäische Norm
F	Kraft
FB	Fließbereich
FBS	Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V.
H	magnetische Feldstärke
HDS	Hochdruckwasserspülung
Hrsg.	Herausgeber
I	Strom
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IR	Infrarot
ISO	International Organization for Standardization (engl., dt.: Internationa- le Organisation für Normung)
ITHE	Institut für Theoretische Elektrotechnik der RWTH-Aachen
MBO	Musterbauordnung
MDI	Diphenylmethandiisocyanat
MW	Mikrowelle
Nr.	Nummer
NRW	Nordrhein Westfalen

P	Leistung
P	Volumenleistungsdichte
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
R	Reflektionsfaktor
R	organischer Rest
R	Widerstand
REHL	Rechteckhohlleiter
S.	Seite
SM	Sanierungsmaterial
T	Temperatur
U	Spannung
UV	ultraviolett
V	Volumen
Vgl.	Vergleiche
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
Z	Impedanz
ZB	Zersetzungsbereich
ZK	Zustandsklasse

Lateinische Kleinbuchstaben

bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
c	Lichtgeschwindigkeit
ca.	circa
d.h.	das heißt
dt.	deutsch
ebd.	ebenda
e.V.	eingetragener Verein
engl.	englisch
et al.	et alii (lat., dt.: und andere)
etc.	et cetera (lat., dt.: und so weiter)
evtl.	eventuell
f	Frequenz
f.	folgende
ff.	folgende(n)
ggf.	gegebenenfalls
i	Laufindex
ibb	Institut für Baumaschinen und Baubetrieb
i.d.R.	in der Regel

l	Länge
lat.	lateinisch
m	Masse
o.	ohne
o.J.	ohne Jahr
o.O.	ohne Ortsangabe
o.V.	ohne Verfasser
s.	siehe
t	Zeit
$\tan \delta$	dielektrischer Verlustfaktor
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
v. Chr.	vor Christus
z.B.	zum Beispiel
zugl.	zugleich
zul.	zulässig

Griechische Buchstaben

Δ	Differenz
ε	Dehnung
ε_0	elektrische Feldkonstante
ε_r	relative Permittivitätszahl
λ	Wellenlänge
ρ	Dichte
σ	Spannung

Einheiten

A	Ampere
cm	Zentimeter
g	Gramm
GHz	Gigahertz
h	Stunden
J	Joule
K	Kelvin
k	Kilo-
l	Liter
m	Meter
MHz	Megahertz
min	Minuten

mm	Millimeter
N	Newton
s	Sekunde
V	Volt
W	Watt
Ω	Ohm
μm	Mikrometer

Chemische Elemente

C	Kohlenstoff
Cl	Chlor
H	Wasserstoff
N	Stickstoff
O	Sauerstoff