

Ermittlung und Anwendung der Einwanderungskinetik von Wasser, Schmutz-Wasser und Heizöl in Porenbetone

Von der Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und
Stadtplanung der Brandenburgischen Technischen Universität
Cottbus zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-
Ingenieurs genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur

Werner, Klaus Schuster

aus Naunhof-Erdmannshain, Muldentalkreis, Sachsen

Gutachter:	Prof. Dr. rer. nat., habil. Ing. Reinhard Frey
Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Bauer
Gutachter:	Doz. Dr.-Ing. habil. Andrzej Ubysz

Tag der Disputation: 06. Juli 2006

Vorwort

Die vorliegende Arbeit beinhaltet die wissenschaftliche Ermittlung der Einwanderungskinetik von Wasser, Schmutz-Wasser und Heizöl in Porenbetone. Ein ergänzender Teil widmet sich der Frost-Tau-Beständigkeit von beschichteten Porenbetonen und Porenbeton-Schadensfällen.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. rer. nat., habil. Ing. R. Frey für seine Unterstützung und wohlwollende Förderung der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit, für seine nachhaltige Einweisung in die Einwanderungskinetik und für seine vielfältigen Anregungen und Ratschläge.

Dem inzwischen leider verstorbenen Herrn Prof. Dr. Ing. habil E. Kothe gebührt mein besonderer Dank für seine zahlreichen Hinweise und Vorschläge zur Durchführung der Arbeit.

Für die stete Diskussionsbereitschaft, für die Beratungen bei der Durchführung der Laboruntersuchungen sowie für die Hilfe bei den röntgenografischen und elektronenmikroskopischen Analysen danke ich ganz besonders Herrn Dr.-Ing. Petke und Herrn Dr. rer. nat. Hüniger.

Zudem danke ich insbesondere Herrn Höver für die Überlassung von Frost-Tau-Versuchsergebnissen und Herrn Dawidowski sowie Frau Riedel für die Überlassung von einigen Langzeit-Einwanderungs-Messdaten (zur Überprüfung der eigenen Versuchsergebnisse), die sie unter meiner Anleitung für ihre Diplomarbeiten ermittelten.

Für die Mithilfe bei der Erstellung der grafischen und tabellarischen Darstellungen bedanke ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Kienitz aufrichtig.

Sehr dankbar bin ich meiner Frau Gabriele, meiner Tochter Maria und meinem Sohn Sören, sowie meiner Mutter, ohne deren Verständnis und Unterstützung die Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Inhaltsverzeichnis	I
Tabelle 1: Verwendetes Steinmaterial	VIII
Tabelle 2: Übersicht über die Versuchsserien	X
Vorwort	
0. Inhalt	1
1. Einleitung und Problemstellung	2
2. Baustoff und Bausystem	4
2.1. Herstellung und Verarbeitung	4
2.1.1. Historische Entwicklung	4
2.1.2. Grundstoffe	7
2.1.2.1. Quarzsand, Gesteinskörnung (Zuschläge)	7
2.1.2.2. Zement, Kalk, Anhydrit und Gips	8
2.1.2.3. Aluminiumpaste	9
2.1.2.4. Wasser	10
2.1.3. Grundlagen der Dampfhärtung	11
2.1.3.1. Reaktionen beim Treiben	11
2.1.3.2. Reaktionen beim Abbinden	12
2.1.3.3. Reaktionen bei der Dampfhärtung	13
2.1.3.4. Gefüge und Eigenschaften	14
2.1.3.5. Einflussfaktoren	17
2.1.4. Produktion	19
2.1.4.1. Aufbereitung der Rohstoffe	19
2.1.4.2. Dosieren, Mischen und Gießen	19
2.1.4.3. Schneiden	20
2.1.4.4. Dampfhärtung	21
2.1.4.5. Verpackung und Lagerung	22
2.1.4.6. Herstellung von Montagebauteilen	23
2.2. Bauteile, Bausysteme und Konstruktionen – Stoffliche Eigenschaften	24
2.2.1. Plansteine und Planelemente	24

2.2.1.1.	Dichte und Porosität	24
2.2.1.2.	Wärmeleitfähigkeit und Wärmedämmung	24
2.2.1.3.	Wärmespeicherung	26
2.2.1.4.	Feuchteverhalten	26
2.2.1.5.	Druckfestigkeit	27
2.2.1.6.	Elastizitätsmodul	28
2.2.1.7.	Schwindmaß	28
2.2.1.8.	Wärmeausdehnungskoeffizient/Wärme- dehnzahl	30
2.2.1.9.	Kriechzahl	31
2.2.1.10.	Relaxation	32
2.2.1.11.	Hygroskopische Verformungen	33
2.2.2.	Fertig-Stürze	33
2.2.3.	Wandtafeln und Elemente	34
2.2.4.	Deckenplatten	34
2.2.5.	Dachplatten	34
2.2.6.	Mineraldämmplatten	35
2.2.7.	Sonstige Bauelemente	35
3.	Ermittlung und Anwendung der Einwanderungskinetik von Wasser, Schmutz-Wasser und Heizöl in Poren- betone	36
3.1.	Eigene Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton	36
3.1.1.	Gesetzmäßigkeits-Erstellung mittels Grundlagenversuchen	36
3.1.2.	Anwendung der eigenen mathematischen Gesetzmäßigkeit auf Porenbetonkörper unterschiedlicher Form und Größe	39
3.1.2.1.	Flüssigkeitseinwanderung in eine Platte	40
3.1.2.2.	Flüssigkeitseinwanderung in einen Zylinder oder in eine Kugel	40
3.1.3.	Eigene baupraktische mathematische An- näherungs-Gesetzmäßigkeit	41
3.1.3.1.	Bezug auf Flüssigkeitsmengen	43
3.1.4.	Zulässigkeitsuntersuchungen der eigenen mathematischen Annäherungs-Gesetz-	

	mäßigkeiten	44
3.1.5.	Verwendetes Steinmaterial	46
3.2.	Vorversuche /Trocknungsversuche	47
3.2.1.	Folgerungen	49
3.3.	Versuchsdurchführung der Einwanderungsversuche	50
3.4.	Versuchsserien (vgl. S. VIII)	52
3.5.	Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 1	55
3.5.1.	Auswertung / Versuchsserie V 1	58
3.5.1.1.	Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse	64
3.6.	Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 2	70
3.6.1	Auswertung / Versuchsserie V 2	74
3.6.1.1.	Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse	79
3.7.	Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 3	85
3.7.1	Auswertung / Versuchsserie V 3	88
3.7.1.1.	Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse	94
3.8.	Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 4	100
3.8.1	Auswertung / Versuchsserie V 4	105
3.8.1.1.	Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse	108
3.9.	Versuchsergebnisse / Versuchsserie V5	111
3.9.1.	Auswertung / Versuchsserie V 5	116
3.9.1.1.	Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse	119
3.10.	Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 6	122
3.10.1	Auswertung / Versuchsserie V 6	128
3.10.1.1.	Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse	130

3.11.	Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 7	134
3.11.1.	Auswertung / Versuchsserie V 7	137
3.11.1.1.	Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeits- klasse	143
3.12.	Versuchsergebnisse / Versuchsserie V8	149
3.12.1.	Auswertung / Versuchsserie V 8	152
3.12.1.1.	Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeits- klasse	158
3.13.	Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 9	163
3.13.1.	Auswertung / Versuchsserie V 9	167
3.13.1.1.	Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeits- klasse	170
3.14.	Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 10	173
3.14.1	Auswertung / Versuchsserie V 10	174
3.14.1.1.	Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeits- klasse	177
3.15.	Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 11	181
3.15.1.	Auswertung / Versuchsserie V 11	182
3.15.1.1.	Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeits- klasse	186
3.16.	Zusammenfassung der Ergebnisse Versuchsserien V 1 bis V 11	189
3.16.1 .	Versuchsserien-Übersicht	189
3.16.2.	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	191
3.16.2.1.	Versuchsserie V 1	191
3.16.2.2.	Versuchsserie V 2	192
3.16.2.3.	Versuchsserie V 3	193
3.16.2.4.	Versuchsserie V 4	194
3.16.2.5.	Versuchsserie V 5	194
3.16.2.6.	Versuchsserie V 6	195
3.16.2.7.	Versuchsserie V 7	195
3.16.2.8.	Versuchsserie V 8	196
3.16.2.9.	Versuchsserie V 9	197
3.16.2.10.	Versuchsserie V 10	198
3.16.2.11.	Versuchsserie V 11	198

3.17.	Auswirkung unterschiedlicher Körperformen/Porenbetone PPW 2 und PPW 4	199
3.17.1	Relatives Gewichtsverhältnis Prisma / Würfel bei allseitiger Öleinwanderung	199
3.17.2.	Eindringtiefen-Geschwindigkeitsverhältnis Prisma / Würfel bei stirnseitiger bzw. einseitiger Öleinwanderung	204
3.17.3.	Eindringtiefen-Geschwindigkeitsverhältnis Prisma /Würfel bei stirnseitiger bzw. einseitiger Wassereinwanderung	206
3.17.4.	Eindringtiefen-Geschwindigkeitsverhältnis Prisma / Würfel bei stirnseitiger bzw. einseitiger Schmutz-Wassereinwanderung	208
3.18.	Auswirkung unterschiedlicher Einwanderungsarten bei Prismen/Porenbetone PPW 2 und PPW 4	210
3.18.1.	Geschwindigkeits-Verhältnis von Eindringtiefe zu Gewicht bei allseitiger Öleinwanderung in Prismen/ Anfangszeitbereich	210
3.18.2.	Geschwindigkeits-Verhältnis von Eindringtiefe zu Gewicht bei allseitiger Wassereinwanderung in Prismen/ Anfangszeitbereich	212
3.18.3.	Geschwindigkeits-Verhältnis von stirnseitiger zu allseitiger Öl-Eindringtiefe in Prismen	214
3.18.4.	Geschwindigkeits-Verhältnis von stirnseitiger zu allseitiger Wasser-Eindringtiefe in Prismen	216
3.18.5.	Geschwindigkeits-Verhältnis von stirnseitiger zu allseitiger Schmutz-Wasser-Eindringtiefe in Prismen	218
3.18.6.	Verhältnis von „kapillarer“ zu allseitiger Öl-Eindringtiefe in Prismen	220
3.18.7.	Verhältnis von „kapillarer“ zu allseitiger Wasser-Eindringtiefe in Prismen	222
3.18.8.	Geschwindigkeits-Verhältnis von „kapillarer“ zu stirnseitiger Öl-Eindringtiefe in Prismen	224

3.18.9.	Geschwindigkeits-Verhältnis von „kapillarer“ zu stirnseitiger Wasser-Eindringtiefe in Prismen	226
3.18.10.	Geschwindigkeits-Verhältnis und relatives Gewichtsverhältnis von „kapillarer“ zu allseitiger Öleinwanderung	228
3.18.11.	Geschwindigkeits-Verhältnis und relatives Gewichtsverhältnis von „kapillarer“ zu allseitiger Wassereinwanderung	233
3.19.	Einseitige und allseitige Eindringtiefe von Wasser und Öl und von Wasser-Öl-Gemischen in Würfel/ Anfangszeitbereich – Porenbetone PPW 2 und PPW 4	238
3.20.	Einfluss von Putz/ Würfel-Porenbetone PPW 2 und PPW 4	240
3.21.	Zusammenfassung/Einwanderungsversuche (Kap. 3.1. bis Kap. 3.21.)	242
3.21.1.	Einwanderung von Öl und Wasser in Prismen und Würfel	242
3.21.2.	Auswirkung unterschiedlicher Körperformen/Porenbetone PPW 2 und PPW 4	246
3.21.3.	Auswirkungen unterschiedlicher Einwanderungsarten bei Prismen/Porenbetone PPW 2 und PPW 4	247
3.21.4.	Einseitige und allseitige Eindringtiefe von Wasser und Öl und von Wasser-Öl-Gemischen in Würfel/Anfangszeitbereich-Porenbetone PPW 2 und PPW 4	250
3.21.5.	Einfluss von Putz/ Würfel-Porenbetone PPW 2 und PPW 4	251
4.	Einfluss gesteigerter Frost-Tau-Belastungen auf beschichtete Porenbetone	252
4.1.	Problemstellung	252
4.2.	Erläuterungen zu den Beschichtungen	252

4.2.1.	System Remmers	252
4.2.2.	System Deitermann	253
4.2.3.	System Hey´di	254
4.3.	Versuchsdurchführung	254
4.4.	Versuchsergebnisse	256
4.4.1.	Übersicht	256
4.4.2.	Nullprobe	270
4.4.3.	Rasterelektronenmikroskopische Auswertung	270
4.5.	Folgerungen	274
5.	Gesamt-Zusammenfassung/ Einwanderungsversuche	275
5.1.	Ergebnisse/Flüssigkeits-Einwanderungs- versuche	277
	Anlage A.: Auswertung von Schadens- Gutachten	279
A.1.	Übersicht	280
A.2.	Gesamtverteilung der Risse an den Ge- werken	282
A.3.	Mängel an Außenwänden und Außenputz	283
A.4.	Mängel an Decken	284
A.5.	Mängel an Innenwänden und Innenputz	285
A.6.	Mängel durch Feuchte	286
A.7.	Sonstige Mängel	287
A.8.	Auswertung des prozentualen Anteils aller Mängel bezogen auf den Zeitraum nach Fertigstellung des Bauwerkes	289
A.9.	Zusammenfassung und Folgerungen	290
	Literaturverzeichnis	291

Tabelle 1

Verwendetes Steinmaterial

Angaben zum verwendeten Porenbeton-Steinmaterial							
Steinart und Festigkeitsklasse	PPW2	PPW4			PPW6	PPW8	Di- men- sion
Steindruckfestigkeit im Mittel	2,5	5,0			7,5	10,0	N/ mm²
Rohdichteklasse	0,40	0,50	0,60	0,70	0,65	0,80	
Rohdichte max.	400	500	600	700	650	800	kg/m ³
Wärmeleitfähigkeit λ_R	0,10	0,12	0,16	0,18	0,16	0,21	W/ (mK)
Rechenwert für Eigenlast Mauerwerk (Fuge 1mm)	5	6	7	8	7,5	9	kN/m ³
Elastizitätsmodul E_0	1250	1750	2250	2750	2500	3250	N/ mm ²
Wärmedehnungskoeffizient α_T	8	8	8	8	8	8	10 ⁻⁶ /K
Schwindmaß ϵ_1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	mm/m

Steinart, Festigkeitsklassen und Rohdichte		
Verwendete Kennzeichnung	Steinart und Festigkeitsklasse	Rohdichteklasse
PPW 2	PPW 2	0,40
PPW 4	PPW 4	0,50
PPW 6	PPW 6	0,65
PPW 8	PPW 8	0,80

Tabelle 2

Übersicht über die Versuchsserien				
Versuchsserie	Probenform	Einwande- rungsart	Flüssigkeit	Ermittlungs- kenngroße
V 1 (PPW 2, PPW 4)	Würfel	allseitig	Öl	Gewicht
V 2 (PPW 2, 4, 6 und PPW 8)	Prisma	allseitig	Wasser	Gewicht
V 3 (PPW 2, 4, 6 und PPW 8)	Prisma	allseitig	Öl	Gewicht
V 4 (PPW 2, PPW 4)	Würfel	einseitig	Öl Wasser Spree - Wasser	Eindringtiefe
V 5 (PPW 2, PPW 4)	Prisma	allseitig	Öl Wasser Spree- Wasser	Eindringtiefe
V 6 (PPW 2, PPW 4)	Prisma	stirnseitig	Öl Wasser Spree- Wasser	Eindringtiefe
V 7 (PPW 2, 4, 6 und PPW 8)	Prisma	„kapillar“	Wasser	Gewicht

Versuchsserie	Probenform	Einwanderungsart	Flüssigkeit	Ermittlungskenngröße
V 8 (PPW 2, 4, 6 und PPW 8)	Prisma	„kapillar“	Öl	Gewicht
V 9 (PPW 2,4,6 und PPW 8)	Prisma	„kapillar“	Öl Wasser	Steighöhe
V 10 (PPW 2, PPW 4)	Würfel	allseitig	<u>Gemisch</u> Öl / Wasser	Eindringtiefe
V 11 (PPW 2, PPW 4)	Würfel mit Kalk- Zement- Putz	einseitig	<u>Gemisch</u> Öl / Wasser	Eindringtiefe

0. Inhalt

Zur zuverlässigen Einstufung des Ausmaßes der Beeinträchtigung eines Porenbetones durch einwanderndes Wasser, Schmutzwasser und Heizöl benötigt man die wissenschaftlich abgesicherten Kenntnisse, welche Menge der Flüssigkeit sich je nach ihrer Einwanderungsart in einem Porenbeton-Bauteil einer bestimmten Geometrie bereits angereichert hat, bzw. noch anreichern wird. Weil diese Kenntnisse bzw. die entsprechenden Gesetzmäßigkeiten bisher der Baupraxis fehlten, wurde die vorliegende Arbeit erstellt.

Die vorliegende Arbeit vermittelt die entsprechenden selbst entwickelten mathematischen Anwendungen auf die unterschiedlichen Einwanderungen der Flüssigkeiten in geometrisch unterschiedliche Porenbeton-Körper. Zudem wird nachgewiesen, dass man mittels der Gesetzmäßigkeiten bereits mittels wenigen Versuchen das Einwanderungsverhalten zuverlässig einstufen kann.

Kennzeichnend für die Gesetzmäßigkeiten ist, dass sie nur wenige Hilfsgrößen enthalten, nämlich nur Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte und maximale Flüssigkeitsanreicherungs-Angaben.

Dadurch verfügt nunmehr die Baupraxis über eine einfache und übersichtliche, wissenschaftlich abgesicherte Methode zur Einstufung der Auswirkung der Flüssigkeitseinwanderungen in Porenbetone.

Die Arbeit beinhaltet zudem auch die Auswirkung von Porenbeton-Beschichtungen auf die Frost-Tau-Beständigkeit. Umfangreiche Schadensanalysen zeigen, dass Porenbetone außer den abträglichen Flüssigkeitseinwirkungen mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit auch anderen schädigenden Einflüssen unterliegen können.

1. Einleitung und Problemstellung

Der Baustoff „Porenbeton“, früher als „Gasbeton“ bezeichnet, hat sich in den letzten Jahrzehnten in der BRD und auch international äußerst bewährt. Dies wird offensichtlich, wenn man die Einsatzmengen der letzten 10 Jahre berücksichtigt.

Produktion von Block-/Plansteinen und Dach- und Deckenplatten aus Porenbeton in der BRD [1.1]:

Produktionszahlen für Porenbeton	
Jahr	Menge Block und Plansteine in 1000 m ³
1994	5.302
1995	3.641
1996	3.212
1997	2.890
1998	2.878
1999	4.236
2000	3.963
2001	3.426
2002	3.542
2003	3.809

Entsprechend der immer zunehmenden Verwendung von Porenbeton-Elementen, -Steinen und -Platten fanden in den letzten Jahrzehnten immer öfter bei Rohbauten aus Porenbetonmaterialien abträgliche Wassereinwirkungen statt. In nicht verputzte Porenbetonwände eingedrungenes Heizöl erwies sich als äußerst schädlich.

Zur angemessenen Schadensbehebung fehlte der Baupraxis bisher allerdings die zuverlässige Einschätzungsmöglichkeit, welche Menge Wasser bzw. Heizöl bereits in den Porenbeton-Bauteil eingewandert war.

Um derartige Gesetzmäßigkeiten für den Baustoff Porenbeton abzuklären, wurden die Ergebnisse von Versuchen mit Porenbetonmaterialien verschiedener Porenbeton-Festigkeitsklasse, Form und Größe ausgewertet, welche in Behältern einseitig bzw. allseitig Wasser und Heizöl ausgesetzt worden waren.

Mittels der selbst ermittelten Gesetzmäßigkeiten besteht jetzt die Möglichkeit, Wasser- und Heizöl-Einwanderungen in Porenbetone abschätzen zu können.

Es war bisher abgeklärt, dass wasserhaltiger Porenbeton eine hohe Frost-Tau-Anfälligkeit besitzt. Nicht abgeklärt war dagegen das entsprechende Verhalten von beschichtetem Porenbetonmaterial. Daher wurden ergänzende Frost-Tau-Untersuchungen in die vorliegende Arbeit einbezogen.

Bei der Beurteilung der Schädigung von Porenbeton-Elementen, -Steinen und -Platten durch Wasser und Heizöl müssen auch andere Schädigungsmöglichkeiten berücksichtigt werden. Daher erstellte man auch eine allgemeine Analyse von Porenbeton-Schadensfällen.

2. Baustoff und Bausystem

2.1. Herstellung und Verarbeitung

2.1.1. Historische Entwicklung

Porenbeton ist im Vergleich zu anderen traditionellen Baumaterialien, wie Holz, Naturstein, Ziegel oder Beton ein noch junger Baustoff.

Lassen sich die ersten Anwendungen anderer betonähnlicher Gemische bis in die Antike zurückverfolgen, so datiert die Entwicklung der dampfgehärteten Baustoffe in das vergangene Jahrhundert.

Mit den Versuchen von W. Michaelis, Bausteine aus wasserarmem Kalk, Sand und Mörtel in hochgespanntem Wasserdampf zu härten, wofür er 1880 ein Patent [2.1] erhielt, wird die Entwicklung von Kalksandstein, Faserzement und Gasbeton eingeleitet.

Die Technologie, das Gefüge eines erhärtenden Bindemittels zur Erzeugung einer größeren Porosität aufzublähen, geht auf E. Hoffmann zurück.

1889 wird das Verfahren zur Herstellung von hochporigem Zement und Gips durch Verwendung gasbildender Komponenten (verdünnte Salzsäure und Kalksteinmehl) patentiert [2.2].

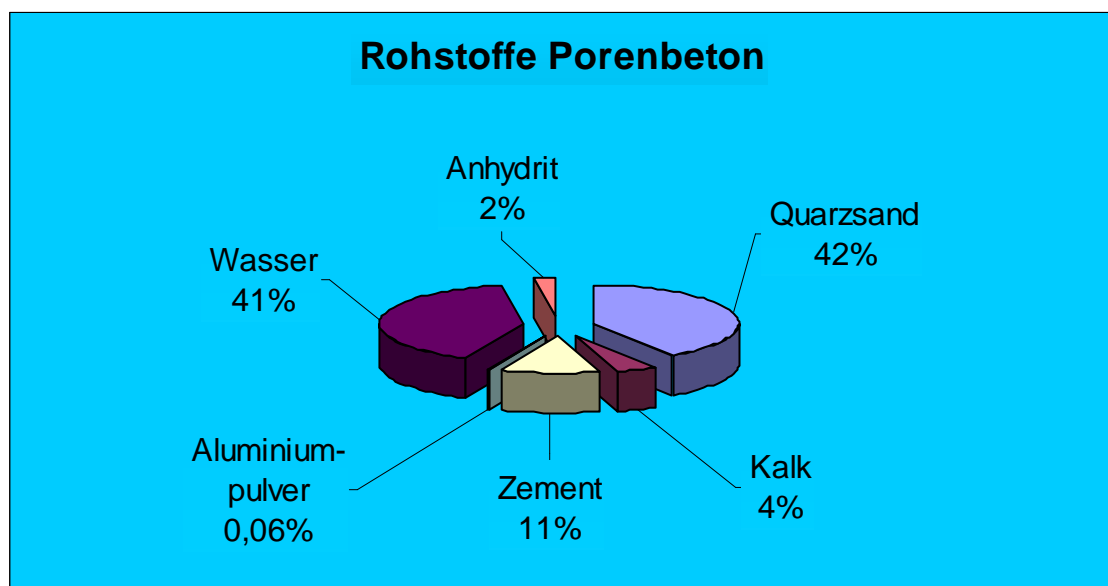
Im Jahr 1914 erhielten J. W. Aylsworth [2.3] und F. A. Dyre in den USA ein Patent über ein Verfahren zur Herstellung zementgebundener Gasbetone unter Verwendung von 0,1 bis 0,5 % Aluminiumpulver oder von 2 - 3 % Zinkpulver. Infolge der Reaktion von Kalk und Wasser mit dem Metallpulver wird gasförmiger, porenbildender Wasserstoff freigesetzt.

J. A. Eriksson [2.4.] produzierte als erster 1924 Porenbeton, indem er das Verfahren von Aylsworth und Dyre mit der Dampfdruckhärtung kombinierte. Nach der Verbreitung des Verfahrens von Eriksson, wurden gasgeblähte Leichtbaustoffe unter Verwendung von Portlandzement anstelle des hydraulischen Kalkes hergestellt. Dabei verzichtete man anfänglich auf die Dampfhärtung.

Die Ergebnisse blieben jedoch hinter den Erwartungen zurück. Insbesondere zeigte sich, dass die starke Rissbildung des Materials nur durch Hochdruckdampfhärtung zu beseitigen war.

Auf der Grundlage der Entwicklungen von H. Kühl [2.5.] und K.J.A. Eklund [2.6] in Schweden und in Anlehnung an Eriksson wurde ein gasgeblähter, autoklavisierter Leichtstein entwickelt, der unter dem Namen „Siporex“ bekannt wurde.

1945 wurde in Deutschland ein Verfahren entwickelt, mit dem das eben standfeste Material vor der Dampfhärtung mit Hilfe straff gespannter Stahldrähte geschnitten wird. Damit waren die Voraussetzungen für die Serienfertigung großformatiger und schließlich auch stahlbewehrter Bauteile aus Porenbeton gegeben. Diese wurden hauptsächlich hergestellt mittels Wasser, Quarzsand, Kalk und Zement.



Dabei werden gegenüber anderen Produktionsverfahren folgende besondere Vorteile erzielt:

- Vergleichsweise preisgünstiger Einsatz von reichlich vorhandenen Rohstoffen;
- Kostengünstiges, die Umwelt nicht belastendes Produktionsverfahren: Die Herstellung von Porenbeton ist im Vergleich zu vielen anderen Baustoffen weniger energieaufwendig. Pro-

duktionskreisläufe sichern die Rückführung von Energie und Wasser bei der Porenbetonherstellung.

- Produktionsabfälle sind voll recyclingfähig, z. B. mittels der Weiterverarbeitung zu Granulaten und deren Verwendung im Umweltschutz.
- Porenbeton besitzt bauphysikalische Eigenschaften, die auch zukünftigen Anforderungen und Vorschriften gerecht werden.
- Bautechnische, einfache, rationelle Verarbeitung und vielseitige, sowie wirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten sind gegeben.

Nachfolgend einige Beispiele für die Rezeptur von Porenbeton angegeben bezogen auf die jeweils angestrebte Rohdichte [2.7]:

Rezepturen von Porenbeton			
Rohdichte [kg/m³]	500	500	600
Rohstoffe			
Quarzhaltiger Sand [kg]	350	330	420
Kalk [kg]	100	35	110
Zement [kg]	25	90	30
Aluminiumpulver [kg]	0,5	0,5	0,4
Wasser [l]	330	330	440
Anhydrit [kg]	-	20	-

2.1.2. Grundstoffe

2.1.2.1. Quarzsand

Dampfgehärtete Baustoffe können eine große Anzahl von Zuschlägen aufweisen. In Abhängigkeit vom mineralischen Verhalten unterscheidet man zwischen aktiven und inerten Zuschlägen.

Die Zuschläge bilden das Stützskelett und stellen, wie o. a., die mengenmäßig größte Komponente dar. Oft ist deshalb der Zuschlag-Gewinnungsort gleichzeitig der Standort der Produktion.

Nach Gundlach [2.8] sind aktive Zuschläge aufgrund ihrer chemischen und mineralogischen Zusammensetzung fähig, an der Hydrothermalsynthese der Neubildung in dampfgehärteten Baustoffen teilzunehmen. In erster Linie sind dies die verschiedenen Formen des Silikates des quarzhaltigen Sandes. Das Silikat (SiO_2) kommt in der Natur fast ausschließlich in Form des Tiefquarzes vor. Quarz übersteht wegen seiner hohen chemischen und mechanischen Widerstandsfähigkeit eine geologische Zerstörung.

Quarzsande finden sich in der Regel weit ab von ihrer primären Lagerstätte: Durch Wind, Wasser und Eis sind sie oft über weite Strecken umgelagert worden. In ihrer äußeren Form spiegeln sich dabei die während der Umlagerung aufgetretenen Beanspruchungen wieder.

Beurteilung des Zuschlags nach seiner chemischen Zusammensetzung, bzw. nach seinem SiO_2 -Gehalt:

Beurteilung des Quarzsandes	
95 % SiO_2	Sehr gut
70 –95 % SiO_2	Gut
30 –70 % SiO_2	Noch brauchbar
30 % SiO_2	Unbrauchbar

Silikatische Minerale und Gesteine kommen als Zuschlag in Betracht, wenn ihre Verunreinigung nicht zu groß und damit ihr Anteil an SiO_2 entsprechend nicht zu niedrig ist.

An die Zuschläge werden folgende zusätzliche Anforderungen gestellt:

- Anteil an Tonmineralen unter 10 Gew.-%,
- frei von organischen Bestandteilen,
- Quarzsande mit breitem Kornband.

2.1.2.2. Zement, Kalk, Anhydrit und Gips

Den „Bindemitteln“ kommen nach Gundlach [2.8] mehrere Funktionen zu. Die wichtigste Funktion ist die Bildung von bestimmten Hydratphasen, welche die Zuschlagsstoffkörner zu einem festen Monolith verbinden. Darüber hinaus füllen sie die Hohlräume des Zuschlagstoffgerüsts. Ausschließlich wirken die Bindemittel wegen ihrer hohen Dispersität bei der Formgebung als Schmiermittel und unterstützen die Bindung im Rohling. Kalk kommt in der Dampfhärtung sowohl als Branntkalk als auch als Kalkhydrat zum Einsatz. Bei höheren Rohdichten wird der Branntkalkanteil an den Bindemitteln erhöht.

ZEMENT

Der Zementanteil an den „Bindemitteln“ ist rohdichteabhängig. Mit fallender Rohdichte steigt die Zementdominanz. Für die Herstellung von Porenbeton wird Zement wie folgt verwendet:

Portlandzement CEM I 42,5 R, DIN 1164

Der Zement unterliegt einer Fremdüberwachung.

Das Erstarrungsverhalten ist nach DIN EN 196 T3 geregelt.

2.1.2.3. Aluminiumpaste

In der Porenbetonherstellung wurde früher Aluminiumpulver als Gasbildner eingesetzt.

Die Gasbildung entsteht durch Bildung von Wasserstoffgas bei der chemischen Reaktion von Aluminium mit Calciumhydroxid oder Alkalien und Wasser.

Hierbei bewirkt die Gasblasen-Wasserstoffbildung das Aufschäumen der Rohmasse.

Aluminium reagiert wegen seiner für den Produktionsprozess erforderlichen feinsten Korngröße und wegen seines hohen Reinheitsgrades sehr schnell. Zur Vermeidung von abträglichen Umsetzungen vor dem Produktionsprozess ist es erforderlich, das Aluminiumpulver in hermetisch abgeschlossenen Behältern zu transportieren und zu lagern. Die Beachtung der Verarbeitungsvorschriften ist für den Herstellungsprozess mit großen Aufwendungen verbunden.

Seit 1975 werden im Hebel-Verfahren Aluminiumpasten auf wässriger Basis eingesetzt. Die Einführung wässriger Pasten wurde durch die zementdominierten Rezepturen begünstigt. Für kalkreiche Rezepturen stehen zur Zeit noch keine „Wasserpasten“ zur Verfügung. Das Aluminiumpulver wird als Paste in Diethylenglykol/Wasser/Testbenzin in verschiedenen Feinheiten transportiert und gelagert. Der Nachteil einer begrenzten Lagerfähigkeit wird durch deren höhere Handhabungssicherheit aufgewogen.

Ausgangsstoffe sind Aluminium-Späne, die in Kugelmöhlen feinteilig oder zu Folienkörnern gemahlen werden. Zwei verschiedene Mahltechnologien (lösungsmittelfreier Trockenmahlprozess oder ein Nassmahlprozess) werden zur Herstellung von Aluminiumpulver bzw. -paste angewendet. In beiden Technologien dienen Fettsäuren als Schmiermittel. Häufig wird Stearin eingesetzt, um das Zusammenschweißen des Metalls zu verhindern. Die Trockenmahl-Technologie liefert Aluminium-Pulver. Der Nassmahlungsprozess liefert einen „Filterkuchen“. Das Mahlgut wird auf ein passendes Maschensieb gegeben, um die „unerwünschten“ Späne abzutrennen. Durch eine Filterpresse entsteht ein „Kuchen“ mit geringen

flüchtigen Bestandteilen. Der letzte Herstellungs-Schritt beider Technologien bezieht das Homogenisieren des "Filterkuchens" oder des Pulvers unter Zugabe von Lösungsmitteln und Emulgatoren ein. Für alle Produkte ist der Emulgator gleich. Er aktiviert die verschiedenen Aluminium-Pasten in entsprechenden Wasseranteilen. Die Auswahl der richtigen Menge des Emulgators ist wichtig, weil ansonsten die spätere Porenbildung gestört werden könnte. Die Wärmebehandlung der beschichteten Aluminium-Späne unter Stickstoff führt zu wasserlöslichem Aluminium-Pulver.

Die unterschiedlichen Aluminiumfeinheiten ermöglichen bei abgestimmter Zumischung die genaue Aufschäumung und Herstellung der geforderten Rohdichten und Festigkeiten. Die Pasten werden so abgestimmt, dass der Gasbildungsprozess 1-2 Minuten nach dem Mischen beginnt und nach etwa 16-20 Minuten beendet ist.

2.1.2.4. Wasser

Möglichst reines Wasser ist bei der Dampfhärtung sowohl Reaktionspartner, als auch Reaktionsmedium.

Das Wasser für die Rohmischungen sollte als Frischwasser möglichst mittelhart bis hart sein. Weiches Wasser würde im Produktionsprozess dem Kalk und Zement CaO entziehen.

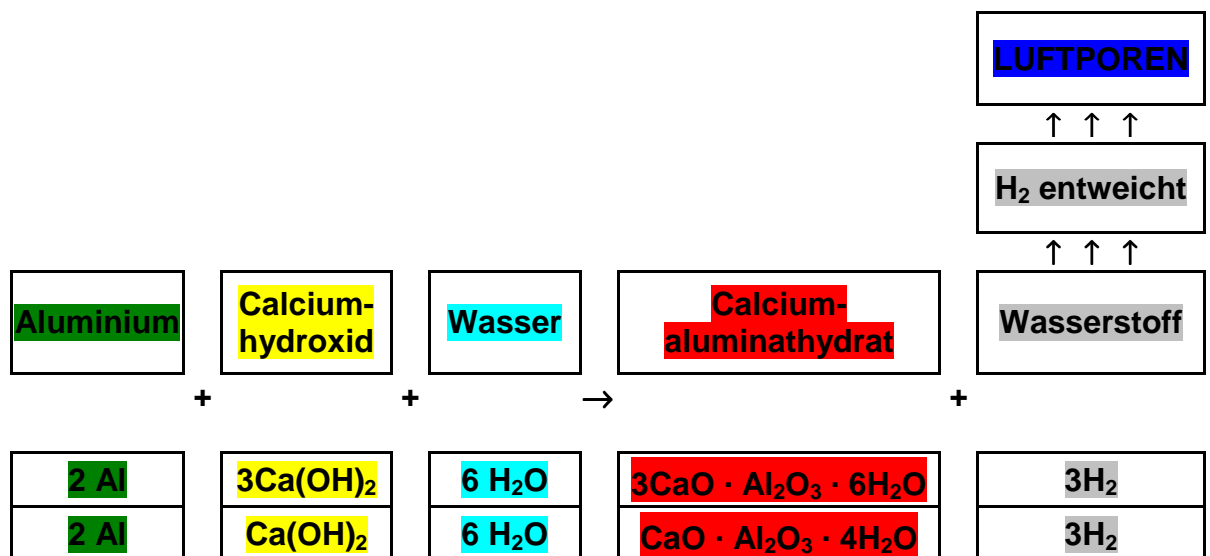
2.1.3. Grundlagen der Dampfhärtung

2.1.3.1. Reaktionen beim Treiben

Gundlach [2.8] beschäftigte sich ausführlich mit den chemischen Grundlagen dampfgehärteter Baustoffe. Erst die Herausarbeitung stofflicher und technologischer Zusammenhänge schaffte die Voraussetzung für ein besseres Verständnis der Vorzüge dieser Baustoffe.

Die Gasbildung ist der erste chemische Prozess im Herstellungsverfahren des Gasbetons. Sie kommt dadurch zustande, dass das Aluminium mit Calciumhydroxid oder Alkalien und Wasser unter Abscheidung von Wasserstoffgas reagiert. Der Verlauf der Gasbildung wird vor allem von der Korngrößenverteilung der Aluminiumpaste bestimmt.

Chemische Reaktionen (Treiben)



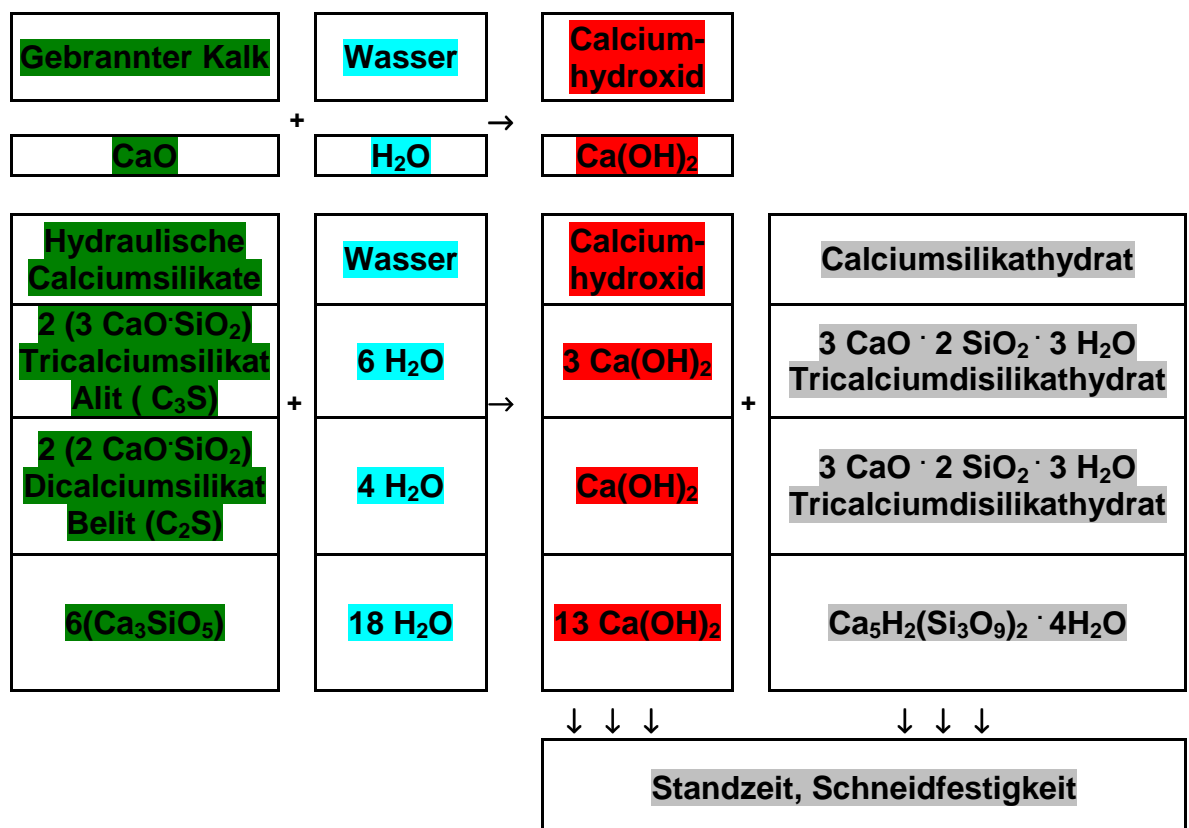
2.1.3.2. Reaktionen beim Abbinden

Bei der Formgebung des Gasbetons ist erforderlich den Erstarungsprozess, der durch die gewählten Bindemittel einen bestimmten Verlauf nimmt, zu beeinflussen.

Das erfolgt durch den Einsatz von Lösch- und Abbindeverzögerern. Ein umfassendes Wirkungsspektrum besitzt Gips. Bereits kleine Mengen des Halbhydrats ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) verzögern den Löschbeginn und verändern das Löschverhalten.

Die genaue Einstellung des Zeitpunktes der Hydratation sichert die optimale Stand- und Schneidfähigkeit der Gasbetonrohlinge.

Chemische Reaktionen (Abbinden)



Tricalciumsilikat als Hauptträger der Erhärtung sorgt für eine schnelle Erhärtung, eine hohe Festigkeit und eine hohe Hydratationswärme.

Dicalciumsilikat als Hauptträger der Nachhärtung sorgt für eine langsame Erhärtung, eine hohe Endfestigkeit und eine niedrige Reaktionswärme.

Tricalciumaluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) sorgt für eine schnelle Anfangserhärtung und schnelles Erstarren, bringt jedoch nur eine geringe Festigkeit und erzeugt eine hohe Hydrationswärme.

2.1.3.3. Reaktionen bei der Dampfhärtung

Wie schon aus der Bezeichnung „Dampfhärtung“ hervorgeht, ist die Einwirkung von gespanntem Satttdampf auf die geformten Rohlinge das wesentlichste Kennzeichen des Herstellungs-Prozesses dieser Baustoffe.

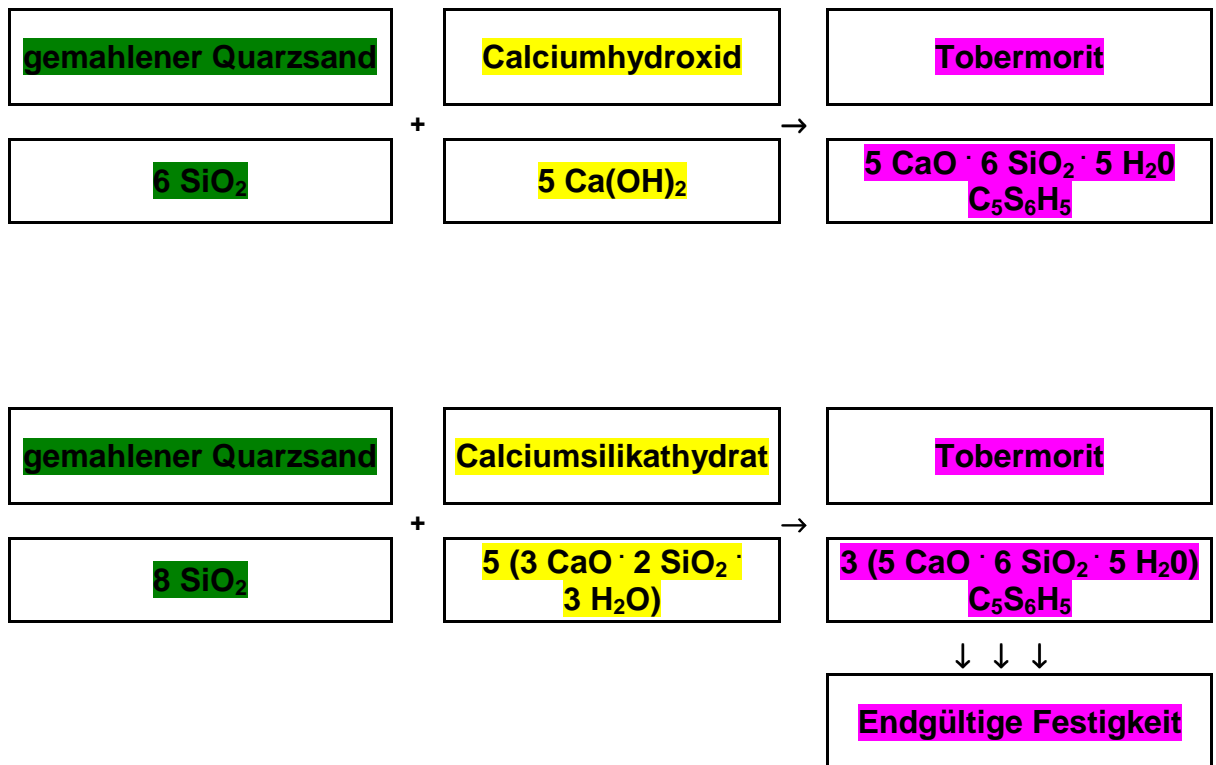
Der Wasserdampf erfüllt dabei mehrere Funktionen:

Er liefert die benötigte Reaktionswärme, er bildet in Form des Kondensats das Reaktionsmedium und schließlich verhindert er das Austrocknen der Rohlinge.

Nachfolgend soll ein vereinfachter Überblick über die Hydrothermalreaktionen gegeben werden. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Reaktionen nicht bis zur Erreichung eines Gleichgewichtszustandes führen, sondern Übergangsphasen darstellen.

So werden bei der Herstellung von Porenbeton Temperaturen von nicht höher als $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Drücke unter 20 bar verwendet. Andere Bedingungen sind im technischen Maßstab für eine Massenproduktion wirtschaftlich nicht zu realisieren.

Gleichwohl wurde durch eine Reihe von Untersuchungen nachgewiesen, dass in Gegenwart von überhitztem Dampf bei wesentlich höheren Temperaturen noch weitere Calciumsilikat-hydrate, vor allem Xonolit, entstehen können.

Chemische Reaktionen (Dampfhärtung)**2.1.3.4. Gefüge und Eigenschaften**

Das System $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ ist für die Baustoffe auf Kalk- und Zementbasis von großer Bedeutung, da die meisten der zur Erhärtung dieser Baustoffe führenden Reaktionen in diesem System ablaufen. Gundlach [2.8.] verweist in seinem Buch auf die Beschreibungen der Phasen durch H. F.W. Taylor.

Das System $\text{MgO-H}_2\text{O}$ entsteht durch das Vorhandensein von Magnesiumoxid in den Rohmischungen.

Magnesiumoxid tritt in der Natur in Form des seltenen Minerals Periklas, als oktaedrische, meist unregelmäßige oder rundliche Körner auf. Es ist jedoch in mehr oder minder großer Menge in den meisten gebrannten Kalken vorhanden. Kalke sind wesentlicher Bestandteil der Rohmischungen für Gasbeton. Deshalb ist die Kenntnis auch dieses Systems für die Herstellung von Interesse.

Nach einem langsam verlaufenden Prozess der Hydratation entsteht



in Form hexagonaler Täfelchen oder in faseriger Ausbildung.

Beim Herstellungsprozess von Porenbetonen entstehen dadurch Magnesiumsilikathydrate. Das entstehende Magnesiumsilikathydrat zeichnet sich durch eine hohe Beständigkeit gegenüber feuchtem CO_2 aus.

Unter Carbonatisierungsbedingungen, bei denen Calciumsilikathydrate völlig zerstört wurden, verhielt sich Magnesiumsilikathydrat praktisch resistent. Liegen bei der Dampfhärtung sowohl $\text{Ca}(\text{OH})_2$ als auch $\text{Mg}(\text{OH})_2$ vor, bilden sich in erster Linie Calciumsilikathydrate. Erst nach vollständiger Bindung des $\text{Ca}(\text{OH})_2$ entstehen Magnesiumsilikathydrate.

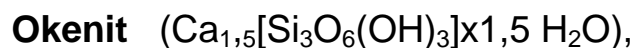
Da in den zementhaltigen Rohmischungen aluminathaltige Verbindungen enthalten sind und weil durch die Aluminium-Paste reines Aluminium zugesetzt wird, entstehen Verbindungen, die dem System



zuzuordnen sind. Je nach dem Verhältnis $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ entstehen auch hier verschiedene Phasen.

Das System $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}/5 \text{CaO} \cdot 6 \text{SiO}_2 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ kommt einem in der Natur vorhandenen Mineral, dem Tobermorit sehr nahe.

Tobermorit ($\text{Ca}_2\text{H}_2 [\text{Si}_3\text{O}_9]_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$) ist ein Fasermineral mit rhombischen Kristallen und gehört innerhalb der Silikate zu der Wollastonit-Gruppe. Dieser Gruppe werden weiterhin Minerale mit ähnlichen Strukturen und Eigenschaften zugeordnet, wie z.B.:



mit triklinen, weißlichen, feinfasrigen Kristallen.

Okenit- Kristalle



Pektolith ($\text{Ca}_2\text{Na}[\text{Si}_3\text{O}_8\text{OH}]$)

mit triklinen, radialstrahligen Kristallen

Pektolith-Kristalle



Pektolith wird in natürlicher, durch äußere Einflüsse nicht veränderter Form „Berghaar“ genannt. In gedrückter Form bezeichnet man es umgangssprachlich auch als „Bergleder“.

Zudem wird auch zugeordnet

Cavanasit $(\text{Ca}[\text{VO}/\text{Si}_4\text{O}_{10}] \times 6 \text{H}_2\text{O})$

mit rhombischen, grünlichblauen, prismatischen und radialstrahligen Kristallen.

Cavanasit-Kristalle



Cavanasit kommt in Basalten und Tuffen, z.B. im US-Bundesstaat Oregon vor.

2.1.3.5. Einflussfaktoren

Die bei der Dampfhärtung ablaufenden Hydrothermalreaktionen nehmen eine bestimmte Zeit in Anspruch.

Die Zeit kann, wenn ein Gleichgewichtszustand erreicht werden soll, sehr lang werden. Damit ist die wirtschaftliche Herstellung von Baustoffen bei Einbeziehung der Reaktionsdauer bis zum Gleichgewichtszustand nicht möglich. Die Dampfhärtung wird des-

halb nur so lange durchgeführt, bis der Baustoff bestimmte Eigenschaften, Rohdichten und Festigkeiten erreicht.

Die Hydrothermalreaktionen verlaufen naturgemäß auch nicht einheitlich. Mit zunehmender Härtungsdauer nimmt der Anteil an freiem CaO ab, der Anteil an löslichem SiO₂ zu.

Voraussetzung für die Dampfhärtung ist das Vorhandensein von gesättigtem Wasserdampf in allen Poren der Rohmischung. Erst unter diesen Umständen ist die Festigkeitsbildung aus gleichen und verschiedenartigen Kriställchen und die Entstehung eines Kristallverbandes möglich.

Die Besonderheit gegenüber der Betonhärtung ist die Tatsache, dass der gemahlene Quarzsand aktiv an der Erhärtung beteiligt ist. Er ist nämlich nicht ausschließlich in der Rolle einer inerten Gesteinskörnung, wie beim Zementbeton, sondern er wird zum Bestandteil des Zementsteines, zum Kittstoff selbst [2.9].

Die Temperaturerhöhung im Autoklaven beeinflusst sowohl die Löslichkeiten der Reaktionspartner (z.B. CaO), als auch die Autoprotolyse, d.h. Dissoziation des Wassers in H⁺ und OH⁻.

Es entstehen igelartige Neubildungen aus Calciumsilikathydrat-Phasen an der Oberfläche der Quarzkörner.

Durch die Umsetzung mit Quarzsand wird das Ca(OH)₂, das bei der Herstellung der Porenbetonmischung entsteht, vollständig gebunden. Der Korrosionsschutz von Bewehrungen ist damit nicht gesichert und muss durch zusätzliche Maßnahmen gewährleistet werden.

2.1.4. Produktion

2.1.4.1. Aufbereitung der Rohstoffe

Folgende Verfahren zur Herstellung von Porenbetonbauteilen werden angewandt:

- Hebel Verfahren
- Durox Verfahren
- Ytong Verfahren
- Siporex Verfahren

Nachfolgend wird die Herstellung von Porenbeton am Beispiel des Porenbetonwerkes Alzenau in Unterfranken dargestellt [2.10]. Die Abläufe gleichen oder ähneln sich im Wesentlichen bei allen Porenbetonwerken. Sie unterscheiden sich oft nur im Grad der Automatisierung. Die Aufbereitung der Gesteinskörnungs-/Sand-schlammkomponente, erfolgt in Einkammernassrohmühlen mit Austragsschlitzwand. Der An- und Abfahrprozess sowie die Anlagenüberwachung erfolgen automatisch. Das Kondensat wird in den Mahlprozess zurückgeführt.

2.1.4.2. Dosieren, Mischen und Gießen

Dosieren und Mischen erfolgen ebenfalls in einer weitgehend automatisch gesteuerten Anlage.

Einfüllen der Porenbetonmasse



Hierbei ist das Vorhalten der 5 Trockenkomponenten Kalk, Zement, Kalkhydrat Unterkorn, Anhydrit und der Aluminiumpasten möglich. Es erfolgt die automatische Dichtemessung der Rückgutkomponente und die Korrektur der Feststoffeinwaage.

Der gütebezogene Ablauf des Dosier- und Mischbetriebes erfolgt im Automatikbetrieb.

Die anschließende Temperaturregelung erfolgt in 3 Reifetunneln.

Reifetunnel



2.1.4.3. Schneiden

Die Formgebung der Steine erfolgt mittels Schneiddraht und Messerleiste. Dabei wird eine optimale Schneidqualität durch den jeweiligen sortimentsbezogenen Anlageneinsatz gewährleistet.

Die Unternutmaschine sichert die höchste Qualität der Formbodenprofilierung.

Die Querschneidemaschine gewährleistet den millimetergenauen Zuschnitt der Steinhöhe. Die Längsschneidemaschine sorgt für verschiedene Wanddicken. Dabei erfolgt ein automatisches Ein-

messen des Kopfschneidedrahtes und des Absaugbereiches. Die Tischreinigung erfolgt durch drehende Bürstenwalzen.

Absetzen eines Blockes auf den Schneidtable



2.1.4.1. Dampfhärtung

Die Festigkeitsbildung des aufgeschäumten Porenbetons erfolgt durch Autoklavieren.

Die sortimentsabhängige Steuerung des Autoklavregimes, Vakuumierens, Auf-, Ab- und Überdampfens, sowie der Druckhaltezeit wird im Automatikbetrieb durchgeführt.

In der Produktion wird ein ressourcenschonender Prozess durch ein Überstromverfahren und eine Restwärmenutzung gewährleistet.

Der gleich bleibende Härteindruck wird durch automatischen Druckausgleich gesichert. Der Porenbeton erlangt nach der Dampfhärtung seine endgültigen Eigenschaften.

Im Anschluss an die Damfhärtung erfolgt die Trennung der noch auf dem Formboden befindlichen Bauteile.

Autoklave unter Druck



2.1.4.2. Verpackung und Lagerung

Auch in diesem Produktionsabschnitt verlaufen die Prozesse von der Zuführung der Steine bis zum Verpacken vollautomatisch. Nach der Zuführung aus den Autoklaven erfolgen die Qualitätskontrolle mit anschließendem Einfräsen der Griffhilfen, das Palettieren, das Signieren und das Verpacken.

Die Pakete werden dann mit Schrumpffolie eingeschweißt und mit folgenden Angaben versehen:

- Bezeichnung der Steine
- Zulassungsnummer
- Stirnflächenausbildung
- Festigkeitsklasse
- Rohdichteklasse
- Herstellerwerk

Jede Liefereinheit (z.B. Steinpaket) muss auf der Verpackung oder einem mindestens A4 großen Beipackzettel mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) nach den Übereinstimmungszeichen-Verordnungen der Länder gekennzeichnet sein.

Verpackungsautomat



2.1.4.6. Herstellung von Montagebauteilen

Für die Produktion von Montagebauteilen ist die Herstellung entsprechender Bewehrungs-Matten, -Stähle und -Körbe erforderlich. Die Bewehrungsfertigung umfasst den Zuschnitt, die Mattenfertigung, die Korbherstellung, die Herstellung des Stahl-Korrosionsschutzes im Tauchverfahren, die Längenbegrenzung der Formen und den Bewehrungseinbau.

Als Stahl-Korrosionsschutz benutzt man eine universell einsetzbare Grundierung, wasserverdünnbar und lufttrocknend.

Weiter sind für die Herstellung von Montagebauteilen (MBT) die Arbeitsschritte Fräsen, Sägen, Etikettierung, Verpackung und die jeweilige Auftraggeber-Angabe (Kommissionierung) notwendig.

2.2. Bauteile, Bausysteme und Konstruktionen aus Porenbeton – Stoffliche Eigenschaften

2.2.1. Plansteine und Planelemente

2.2.1.1. Dichte und Porosität

Bei der Auswahl vieler Baustoffe findet ein Abwägen zwischen erwünschten Eigenschaften und Nachteilen statt. Das führt häufig zu Verbundkonstruktionen, wobei unterschiedliche Baustoffe aufgrund ihrer jeweils konkreten und individuellen Eigenschaften erst in Kombination die erwünschten Ergebnisse erzielen.

Porenbeton kann jedoch wegen seiner Eigenschaften viele Funktionen gleichzeitig übernehmen. Plansteine und Planelemente erfüllen die statischen Anforderungen an massive Außenwände, an tragende und aussteifende Innenwände und an Brandwände ab 240 mm Wanddicke.

Porenbetonsteine sind vorteilhaft für Ausfachungen für Skelettbauten und für Holzfachwerke.

Die Reindichte des Porenbetons beträgt ca. 2.500 kg/m^3 . Aufgrund seiner Struktur ergibt sich dabei eine Rohdichte von 300 bis 1.000 kg/m^3 . Dieses Verhältnis zeigt eine hohe Porosität von 60 bis 90 Volumen-% je nach Dosierung von Treib- und Bindemitteln während der Herstellung. Für die Anwendung ergeben sich dabei wichtige Vorteile. Die Kombination von niedriger Rohdichte und hoher Festigkeit ist das wesentlichste Merkmal von Porenbeton.

2.2.1.2. Wärmeleitfähigkeit und Wärmedämmung

Die Wärmeleitfähigkeit und damit die Wärmedämmung von Porenbeton sind weitgehend von seiner Rohdichte abhängig. Schon mit Wanddicken von ca. 175 mm ist ein ausreichender Wärmeschutz entsprechend der Wärmeschutzverordnung gegeben. Porenbeton hat aufgrund seiner niedrigen Rohdichte und trotz seiner Massivität ähnliche wärmedämmende Eigenschaften wie ein

Wärmedämmstoff. Die rechnerische Wärmeleitfähigkeit λ_R liegt derzeit zwischen 0,09 und 0,27 W/(m·K).

Damit erfüllen die Porenbeton-Plansteine alle Voraussetzungen für die Ausführung einschaliger, monolithischer Konstruktionen. Dies gilt ebenso für bewehrte Wandplatten.

Das „W“ der Plansteine steht für „wärmedämmtechnisch fremdüberwacht“. Durch eine verschärfte Form der Qualitätsüberwachung wird eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit gesichert, als in DIN 4108-4 angegeben. Die besseren Wärmedämmeigenschaften werden aufgrund von Bescheiden/ Übereinstimmungsnachweisen nach der Bauregelliste nachgewiesen.

Geschossdecken aus Porenbeton-Deckenplatten, z.B. über unbeheizten Kellern, können ebenfalls ohne Zusatzdämmung ausgeführt werden.

Für Dächer aus Porenbeton-Montagebauteilen ist bei Gebäuden mit normalen Innentemperaturen eine Zusatzdämmung erforderlich, bei Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen im Regelfall jedoch nicht [2.7].

Im Rahmen der bisherigen Wärmeschutzverordnungen war die Wärmedämmung der verwendeten Baustoffe das ausschlaggebende Kriterium. Mit der neuen Energieeinsparverordnung (EnEV), die ab 1. Februar 2002 in Kraft getreten ist, kommen jetzt vor allem zwei weitere Kriterien hinzu, welche die Wärmebrücken der Konstruktionen und die Luftdichtheit einbeziehen. Porenbeton und Konstruktionen aus Porenbeton erfüllen diese wesentlichen Forderungen, ohne dass es zusätzlicher Maßnahmen bedarf [2.11].

Mit dem Planstein PPW 2 - 0,35, dem zurzeit auf dem Wandbaustoffsektor hochwertigsten Produkt, wurde ein Porenbeton mit weiter verbesserten Wärmedämmeigenschaften und guter Tragfähigkeit entwickelt. Der Stein entspricht der DIN 4165 und benötigt demzufolge keine besondere Zulassung.

Der Planstein PPW 2 – 0,35 besitzt eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_R = 0,09$ W/(m·K) und eine mittlere Steindruckfestigkeit von 2,5 N/mm².

2.2.1.3. Wärmespeicherung

Die temperatenausgleichende Wirkung der Wärmespeicherung ist vor allem im Innenbereich für die Stabilisierung der Raumtemperatur, für Behaglichkeit und sparsame Energieverwendung wichtig.

Die gespeicherte Wärmemenge Q_s liegt bei Porenbetonplansteinen mit ca. 182 kJ/m²K, bei Porenbeton-Wandplatten mit 125 kJ/m²K zwischen denen des Leichtbaues (z.B. Holztafelbauweise mit ca. 50 kJ/m²K) und denen des Massivbaues (z.B. Mauerwerk oder Stahlbeton mit ca. 650 kJ/m²K).

2.2.1.4. Feuchteverhalten

Von großer Bedeutung, sowohl für die Wärmedämmung, als auch für das Raumklima und die Sicherheit vor Schäden, ist das Feuchteverhalten.

Die kapillare Wasseraufnahme erfolgt bei Porenbeton über Mikroporen. Diese ermöglichen die Kapillarleitung des Wassers und die Wasserdampfdiffusion im Baustoff, bestimmen also sein Saugverhalten und auch seine Austrocknungsgeschwindigkeit. Dieser Feuchteausgleich im Wechselspiel mit der jeweils in der Luft vorhandenen Feuchtigkeit wird als Wasserdampfsorption bezeichnet.

Die Wasserdampfdiffusions-Widerstandszahl μ von Porenbeton ist aufgrund der porösen Struktur niedrig und liegt bei Werten zwischen $\mu = 5$ und $\mu = 10$.

Eine Übersicht der Vergleichswerte zur Dampfdurchlässigkeit von Baustoffen findet sich in DIN 4108-4.

Porenbeton besitzt einen hohen Anteil von Restfeuchte aus der Produktion. Weitere Quellen für Feuchtigkeit sind Kleber, Putze, Estriche und Niederschläge während der Bauzeit.

Schließlich entsteht während der Nutzung der Gebäude ständig Feuchtigkeit durch Kochen, Waschen und durch Feuchtigkeitsabgabe der Menschen, Pflanzen und Tiere.

Die ungenügende Abfuhr dieser Feuchtigkeit führt regelmäßig zur Schimmelpilzbildung und zu Bauschäden.

Feuchte kann in den Bauteilen sowohl in flüssiger Form, sowie als Wasserdampf transportiert werden.

Früher wurden deshalb Wohngebäude „trockengewohnt“. Heute geht man davon aus, dass sich die Ausgleichsfeuchte nach ca. 2-3 Jahren einstellt. Der Feuchtegehalt von Porenbeton erreicht dann Werte zwischen 1,5 – 3,5 Vol.-%. In der Praxis stellt sich bei genutzten Wohngebäuden im Porenbeton ein Feuchtegehalt von $u_m = 4 \text{ M-}\%$ ein.

2.2.1.5. Druckfestigkeit

Porenbetonbauteile werden in unterschiedlichen Festigkeitsklassen hergestellt.

Die Mittelwerte der Druckfestigkeit β_D liegen, in Abhängigkeit von Porengehalt und Feuchte, zwischen 2,5 und 10 N/mm². Dadurch ist theoretisch die Errichtung tragender Bauteile für Gebäude mit bis zu neun Geschossen möglich.

Die Zugfestigkeit beträgt etwa 10 %, die Biegezugfestigkeit etwa 20% der jeweiligen Würfeldruckfestigkeit.

2.2.1.6. Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul E ist eine der wichtigsten Kenngrößen für das Beurteilen der Verformungen von Baustoffen und deren Auswirkungen.

Er gibt das Verhältnis von Spannung zu Verformung im elastischen Bereich des Mauerwerkes an.

Der Elastizitätsmodul E_b für Porenbeton liegt zwischen 1000 und

3250 N/mm² und ist abhängig von der jeweiligen Rohdichte, er bestimmt den Grad der elastischen Verformung.

$$E_b = \sigma / \epsilon_{el}$$

Die Werte für den Elastizitätsmodul E_b , die in der einschlägigen Literatur für Porenbeton angegeben werden, wurden nach der Formel

$$E_b = 5x(\text{Rohdichte [kg/m}^3] - 150)$$

gemäß Zulassung berechnet.

Nachfolgend einige Werte für E_b [2.12]:

E-Module für Porenbeton							
Rohdichteklasse	0,35	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	
Rohdichte max.	350	400	500	600	700	800	kg/m ³
Elastizitätsmodul	1000	1250	1750	2250	2750	3250	N/mm ²

2.2.1.7. Schwindmaß

Die Verformungen durch den Austrocknungsprozess (Schwinden) sind immer mit einer Verkürzung des betroffenen Bauteiles verbunden. Der umgekehrte Prozess, Volumen- und Längenzunahme durch Feuchtaufnahme, wird als Quellen bezeichnet.

Das Schwinden wird durch das sog. Schwindmaß (ϵ_s) des Baustoffes in mm/m angegeben. Das Schwindmaß ist eine Kennziffer für eine lastunabhängige Formänderung.

Der Rechenwert des Schwindmaßes ist, da nach DIN 1053 Teil 1 kein Messverfahren angegeben wird, nur von statistischer Bedeutung und stellt keine Qualitätsanforderung dar.

Bei sehr feuchten, bzw. nassen Steinen kann das Schwindmaß

$$\varepsilon_s = 0,6 \text{ mm/m betragen,}$$

bei üblichem Material liegt es bei

$$\varepsilon_s = 0,2 \text{ mm/m.}$$

Im Rahmen der Vergabe des Qualitätszeichens „DIN plus“ an die Porenbetonhersteller, die Mitglieder im Bundesverband Porenbeton sind, wird ein sehr geringes Schwindmaß gewährleistet [2.7].

In Abhängigkeit seiner Zusammensetzung, der Porenverteilung und der Feuchte (im allgemeinen weniger als 70 % relative Feuchte) beträgt das maximale Schwindmaß ε_f nach

$$\text{DIN EN 680} - 0,25 \text{ mm/m.}$$

Einflüsse auf den zeitlichen Verlauf und die Endwerte des Schwindens werden durch die Art des Baustoffes, die Anfangs-/ Einbaufeuchte und den Endfeuchtegehalt bestimmt. Mit zunehmender Anfangsfeuchte und abnehmender Endfeuchte vergrößert sich das Schwinden.

Von Bedeutung sind außerdem die relative Luftfeuchte, die Stärke der Luftbewegungen, die Bauteilgröße und der Anteil des Mauersteins zum Mörtel. In der Regel schwindet Mauermörtel wesentlich mehr als der Mauerstein. Beim Einsatz von Porenbeton und der Verwendung von Dünnbettmörtel ist dieser Einflussfaktor weitgehend zu vernachlässigen.

Durch behindertes Schwinden entstehen Zugspannungen. Diese sind wegen der geringen Zugfestigkeit von Porenbeton besonders rissgefährdend. Durch behindertes Quellen entstehende Druckspannungen sind wegen der höheren Druckfestigkeit von Poren-

beton in der Regel nicht rissgefährdet. Die Bedeutung des Quellens ist deshalb für Schäden am Porenbetonmauerwerk üblicherweise gering.

2.2.1.8. Wärmeausdehnungskoeffizient/Wärmedehnzahl

Die Wärmedehnung eines Baustoffes ist die Volumen- bzw. Längenänderung infolge Temperatureinwirkung (ΔT):

$$\varepsilon_T = \alpha_T \cdot \Delta T.$$

Porenbeton unterliegt einer thermischen Längenänderung mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von ca. $\alpha_T = 8 \times 10^{-6} /K$.

Eine thermische Längenänderung, also die Dilatation oder die Kontraktion des Porenbetons tritt im Regelfall an den Außenwänden im Verlauf eines Besonnungsvorganges auf.

Der Wärmeausdehnungskoeffizient wird auch umgangssprachlich als „Wärmedehnzahl“ bezeichnet. Die „Wärmedehnzahl“ gehört, wie auch das Schwindmaß, zu den Kennzahlen für lastunabhängige Formänderungen. Der Wärmeausdehnungskoeffizient ist im Temperaturbereich von $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ nahezu konstant. Er ändert sich jedoch in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Baustoffes. Mit zunehmendem Feuchtegehalt vergrößert sich α_T und damit die Wärmedehnung ε_T .

Der Wärmedehnungskoeffizient hat für Innenmauerwerk wegen der zumeist hohen Wärmedämmung nur nachrangige Bedeutung. Vor allem bei Außenbauteilen ist der Einfluss jedoch nicht zu unterschätzen.

Der Wärmedehnungskoeffizient vergrößert sich entsprechend der Farbgebung bei dunkleren Oberflächen wegen der größeren Absorption der Wärmestrahlung.

2.2.1.9. Kriechzahl

Die last- und zeitabhängige Verformung eines Baustoffes bezeichnet man als Kriechen:

$$\varphi = \varepsilon_k / \varepsilon_{el} .$$

Die Kriechdehnung eines Baustoffes ist von der Kriechzahl φ und der elastischen Dehnung ε_{el} abhängig und wird in mm/m angegeben:

$$\varepsilon_k = \varphi \cdot \varepsilon_{el} .$$

Die Kriechzahl des Porenbetons berücksichtigt den Umstand, dass sich bei unveränderter Last eine kurzzeitig eingetretene elastische Verkürzung ε_{el} im Laufe der Zeit um den Wert ε_k vergrößert, d.h. der lastbedingten Kurzzeitdehnung überlagert sich die lastbedingte Langzeitdehnung aus dem Kriechen.

Diese Vergrößerung wird durch die Kriechzahl φ angegeben, sie beträgt bei Porenbeton 1,5.

Über den zeitlichen Verlauf des Kriechens liegen nur sehr wenige Untersuchungen vor. Man schätzt ein, dass das Kriechen nach etwa 3 bis 5 Jahren weitgehend abgeschlossen ist [2.13].

2.2.1.10. Relaxation

Die Relaxation von Porenbeton beschreibt die zeitabhängige Abnahme der Spannungen unter einer aufgezwungenen Verformung.

Die Relaxationszahl Ψ ist das Verhältnis von Spannungsrelaxation zu Ausgangsspannung:

$$\Psi = \sigma_R / \sigma_{\infty} ,$$

der Wert für die Spannungsrelaxation σ_R beträgt:

$$\sigma_R = \sigma_0 - \sigma_\infty .$$

Die Relaxation ist insbesondere bei allen mit Bindemitteln hergestellten Baustoffen von großer Wichtigkeit, wenn es um die Folgenabschätzung bei aufgezwungenen Verformungen geht [2.14].

Die Relaxationsfähigkeit ist anfangs recht groß und nimmt mit zunehmendem Alter entsprechend der Festigkeitszunahme ab.

Bei Porenbeton-Mauerwerk kann davon ausgegangen werden, dass eine langsame Zugdehnung bis etwa 0,2 mm/m durch Spannungsrelaxation rissefrei aufgenommen werden kann [2.15].

Damit unterscheidet sich die Relaxation vom Kriechen grundsätzlich, steht jedoch in einem engen Zusammenhang. Während Kriechen die zeitabhängige Zunahme der Verformungen unter Spannungen bezeichnet, kennzeichnet die Relaxation die zeitabhängige Abnahme der Spannungen unter aufgezwungenen Verformungen.

2.2.1.11. Hygroskopische Verformungen

Für Porenbeton spielt, im Gegensatz zum Baustoff Holz, die hygroskopische Verformung nahezu keine Rolle, wenn man nur die Entstehung von Zwangskräften im Bauteil durch Feuchtigkeitsaufnahme aus der Atmosphäre betrachtet. Nur die hygroskopischen Eigenschaften von Holz, also das Quellen von Holzbalken in Dachstuhl und Holzbalkendecken, kann unter bestimmten Voraussetzungen Eigenspannungen in einzelnen Bauteilen oder der gesamten Konstruktion hervorrufen.

Diese Verformungen lassen sich jedoch rechnerisch kaum erfassen, da der Quellvorgang von Holz, je nach dem Wuchs, auch

Verdrehungen und Verbiegungen der betroffenen Holzbalken verursacht.

Alle diese betrachteten Zusammenhänge von Formänderungen und Spannungen beziehen sich auf den elastischen Bereich, in dem Spannungen und Dehnungen im Zeitpunkt der Belastung proportional sind oder zumindest so gerechnet werden. Steigen die Spannungen über den elastischen Bereich hinaus, so nehmen die Dehnungen überproportional zu, weil sich die Baustoffe plastisch verformen. Der plastische Verformungsanteil bleibt erhalten, wenn die auslösende Beanspruchung entfällt.

Im Zusammenhang mit Porenbeton-Bauschäden kommt den plastischen Formänderungen eine große Bedeutung zu. Neben der elastischen ist deshalb auch stets der plastische Bereich zu berücksichtigen.

2.2.2. Fertig-Stürze

Fertig-Stürze aus Porenbeton sind auf das massive Mauerwerk aus Porenbeton abgestimmt, d.h. insbesondere die bauphysikalischen Werte besitzen eine hohe Übereinstimmung. Damit weisen Wände und Stürze die gleichen Eigenschaften als Putzuntergrund auf, mit vergleichbaren Wärmedämmeigenschaften, Diffusions- und Formänderungsverhalten. Fertig-Stürze werden als Flachstürze (FST), tragende Stürze (TST), nichttragende Stürze (NST) und nichttragende Bogenstürze (NBST) angeboten.

2.2.3. Wandtafeln und Elemente

Wandtafeln und Elemente aus Porenbeton sind Montagebauteile für massive, wärmedämmende Wandkonstruktionen in vertikaler und horizontaler Verlegeweise. Unterschieden werden unbewehrte, nur mit leichter Transportbewehrung versehene und bewehrte Wandtafeln, die für den Einbau in Kellergeschossen oder in der

Geschoßbauweise für die Aufnahme von Windlasten vorgesehen sind.

2.2.4. Deckenplatten

Porenbeton-Deckenplatten sind einbaufertige, bewehrte, tragende großformatige Montagebauteile. In verschiedenen Dicken und Spannweiten gefertigt, eignen sie sich für alle Zwischen- und Abschlussdecken. Sie gibt es für unterschiedliche Tragfähigkeiten, bei entsprechender Bemessung können sie horizontale Lasten aufnehmen und eignen sich damit für die Gebäudeaussteifung.

2.2.5. Dachplatten

Dachplatten bestehen wie die Deckenplatten aus bewehrtem Porenbeton. Sie sind als einbaufertige Montagebauteile für massive Dächer im Wohn- und Wirtschaftsbau geeignet. Wie bei den Deckenplatten gibt es auch hier verschiedene Tragfähigkeiten. Anforderungen an einen wirtschaftlichen Wärmeschutz lassen sich leicht mittels einer Zusatzdämmung erfüllen.

Dachgeschosse mit Dachplatten sind völlig winddicht, ohne dass die Dampfdiffusion unterbrochen wird. Sie bieten damit den Wohnwert eines Vollgeschosses.

Wand- und Dachplatten können direkt vom Lieferfahrzeug ohne Zwischenlagerung an die Einbaustelle gehoben werden. Der Einbau erfolgt weitgehend witterungsunabhängig.

2.2.6. Minerale Dämmplatten

Minerale Dämmplatten haben als mineralische Wärmedämmplatte „Hebel Multipor 100/L“ eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erhalten. Durch die besondere Materialstruktur, auf Basis der gleichen Rohstoffe wie Porenbeton, ist ein Dämmstoff entstanden, der formstabil, dampfdurchlässig, nicht brennbar und gleichzeitig faserfrei ist.

Minerale Dämmplatten sind baubiologisch sowie mikrobiologisch unbedenklich und verfügen über eine Hemmwirkung gegen Pilze und Mikroorganismen. Die Formstabilität und leichte Verarbeitbarkeit sichern eine hohe Vielfalt in der Anwendung.

2.2.7. Sonstige Bauelemente

Von den sonstigen Bauelementen sind die U-Schalen als Schalungssteine für die Herstellung des Ringankers, für senkrechte Schlitze und Säulen von Bedeutung. Außerdem werden Treppenstufen als Blockstufen angeboten. Sie sind jedoch wegen der Frostempfindlichkeit nur für den Innenbereich zu verwenden.

Im Angebot befinden sich weiterhin Mantelsteine für Schornsteine und Abgasleitungen. Eine breite Verwendung haben diese jedoch nicht gefunden.

**3. Anwendung der Reaktionskinetik zur Einstufung
der Wasser- und Heizöl-Aufnahme von Porenbeton-W-Steinmaterial**

**3.1. Eigene Ermittlung der baupraktischen mathematischen
Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton**

Bei der Aufnahme einer Flüssigkeit durch einen Porenbeton wirken sich unterschiedliche, teilweise gegensätzliche Einflussgrößen (wie die Poren-Art, -Verteilung, -Luftverdrängungseigenschaft, -Oberflächenspannung, die Oberflächenadhäsion, die Oberflächen-desorption und die Flüssigkeits-Luftaufnahmefähigkeit) aus.

Für die baupraktische Anwendung von mathematischen Gesetzmäßigkeiten für die Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton dürfen diese Einflussgrößen allerdings nur wenige, übersichtliche und baupraktisch anwendbare Einflussgrößen enthalten, welche die unterschiedlichen, teilweise gegensätzlichen einzelnen Einflussgrößen zusammengefasst enthalten. Um derartige Gesetzmäßigkeiten für die eingesetzten Flüssigkeiten (Wasser, Schmutz-Wasser und Heizöl) zu ermitteln, führte man zuerst die nachfolgend angegebenen Grundlagenversuche durch.

3.1.1. Gesetzmäßigkeits-Erstellung mittels Grundlagenversuchen

Für Grundlagenversuche setzte man in Behältern allseitig sowie teilweise beschichtete sowie auch unbeschichtete Porenbetonkörper einseitig bzw. allseitig Wasser und Heizöl aus. Die Porenbetonkörper wiesen eine unterschiedliche Form und Größe auf, die Porenbetonkörper-Druckfestigkeiten waren verschieden.

Man ermittelte dann am Behälter die jeweilige Flüssigkeitshöhen-Abnahme sowie die jeweilige zeitliche gewichtsmäßige Abnahme der Flüssigkeitsmenge des Behälters. Zudem ermittelte man ge-

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

wichtsmäßig die entsprechende Flüssigkeitsgehalt-Zunahme des Porenbetons in Abhängigkeit von seiner Form, Größe und Druckfestigkeit bzw. Dichte.

Dadurch ergaben sich die nachfolgend angegebenen Grundlagen-Erkenntnisse:

- Steht die Unterseite eines unbeschichteten Porenbetons in einem Behälter in Wasser oder Heizöl oder ist ein unbeschichteter Porenbeton im Behälter allseitig, bzw. ein teilweise beschichteter Porenbeton einseitig den Flüssigkeiten ausgesetzt, **nimmt er die Flüssigkeit allmählich bis zu einem Höchstgehalt auf.**
- Hierbei bewirkt [z. B. gem. entsprechenden zeitlichen Eindringtiefen-Ermittlungen] die Porenstruktur des Porenbetons, dass sich (infolge seiner jeweiligen Poren-Größen und -Verteilungen) im Porenbeton (bei einer Flüssigkeitseinwanderung) mikroskopisch grundsätzlich keine „Pfropfströmung“ bildet, sondern ein „Wanderungsbereich“ mit einer örtlich geringen Flüssigkeitsanreicherung vor dem mittleren „Wanderungsbereich“ und mit einer höheren Flüssigkeitsanreicherung hinter dem mittleren „Wanderungsbereich“.
- Folglich liegt an einer Stelle im Prüfkörper (x) zu einem Zeitpunkt (t) einerseits eine gewisse Flüssigkeitsmenge bzw. Flüssigkeitskonzentration (C), andererseits ein räumliches Konzentrationsgefälle $\left[\left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)_t \right]$ vor.
- Die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsaufnahme $\left[\left(\frac{\partial C}{\partial t} \right)_x \right]$ nimmt allmählich ab, der entsprechende Flüssigkeitsgehalt entsprechend immer langsamer zu.
- Eine im Probekörper-Bereich $(\partial x)_t$ bereits vorliegende Flüssigkeits-Anreicherung $(\partial C)_t$ und somit das Konzentrationsgefälle im Prüfkörper $\left[\left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)_t \right]$ verändert sich deshalb immer langsamer.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Die zeitliche Flüssigkeitsaufnahme im Körper $\left[\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_x\right]$ erfolgt demnach stets umso langsamer, je weniger sich sein bereits vorliegendes Flüssigkeitsgehalt-Gefälle $\left[\left(\frac{\partial C}{\partial x}\right)_t\right]$ verändert.

Deshalb gilt für jeden Konzentrations-Bereich des Porenbetons der selbst ermittelte grundsätzliche mathematische Zusammenhang:

$$\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_x \sim \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial C}{\partial x}\right)_t .$$

Mittels des Einsatzes des **Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerts (A_i)** folgt:

$$\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_x = A_i \cdot \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}\right)_t . \quad \text{(Gl. 1)}$$

Hierbei erfasst der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert A_i sämtliche Einflussgrößen für die Flüssigkeitsaufnahme eines Konzentrations-Bereichs.

Weiterhin folgt aus den Untersuchungen, dass die **o. a. Gesetzmäßigkeit [Gl. (1)] der Flüssigkeitsaufnahme für größere Zeitbereiche** eines baupraktischen Porenbetonkörpers **jeweils einheitlich verläuft**.

Bei **anfänglichen** Einwirkungszeiten finden (wie o. a.) hierbei schnellere Flüssigkeitsaufnahmen statt, danach folgend langsamere Flüssigkeitsaufnahmen bis zur höchsten aufnehmbaren Flüssigkeitsmenge.

Für einen kleineren Porenbetonkörper vereinfacht sich der Vorgang auf einen einzigen Anfangs-Einwirkungszeitraum und auf einen einzigen Folgezeitraum.

Dadurch ergibt sich für **kleinere Untersuchungskörper** gem.
Gl. (1):

$$\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_x = A_{i(1 \text{ oder } 2)} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}\right)_t \quad \text{(Gl. 2)}$$

- mit dem jeweiligen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert

A_1 nur für die Anfangszeit-Einwirkung und

A_2 nur für die Folgezeit-Einwirkung.

- **Für größere Probekörper könnten evtl. weitere o. a. Annäherungsgleichungen erforderlich werden.**

3.1.2. Anwendung der eigenen mathematischen Gesetzmäßigkeit auf Porenbetonkörper unter- schiedlicher Form und Größe

Für die baupraktische Anwendung muss die selbst ermittelte partielle Differentialgleichung (2) für die Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton-Körpern auf die jeweilige kennzeichnende Probenkörperform bezogen und gelöst werden.

Derartige Gleichungen auf der Grundlage der Gleichung (2) entsprechen mathematisch auch Diffusionsgleichungen, falls man bei diesen den jeweiligen Diffusionskoeffizienten durch den jeweiligen Flüssigkeitsaufnahme-Koeffizienten (A_i) ersetzt. Deshalb kann für die baupraktische Anwendung der mathematischen Gesetzmäßigkeit (2) mit Bezug auf verschiedene Porenbeton-Körperformen auf entsprechende spezifizierte Diffusionsgleichungen zurückgegriffen werden [3.1].

3.1.2.1. Flüssigkeitseinwanderung in eine Platte

Für die Flüssigkeitseinwanderung in eine (ursprünglich flüssigkeitsfreie) **Platte** gilt bei einem jeweils einheitlichen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (A_i) die nachfolgend angegebene mathematische Gesetzmäßigkeit [3.1] mit Bezug auf die (**maximale**) **Endkonzentration** C_{\max} einer Flüssigkeit und auf die jeweilige Flüssigkeitskonzentration C in der **gesamten Platte** der Dicke h .

$$\frac{C - C_{\max}}{[-C_{\max}]} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{v=0}^{\infty} \frac{1}{(2v+1)^2} \exp \left\{ - \left[\frac{(2v+1)\pi}{h} \right]^2 A_i t \right\}. \quad (\text{Gl. 3})$$

Für längere Zeiten folgen die gleichwertigen Annäherungen [3.1]:

$$\frac{C - C_{\max}}{[-C_{\max}]} \approx \frac{8}{\pi^2} \exp \left(- \frac{t}{\tau_i} \right), \quad \text{mit } \tau_i = \frac{h^2}{\pi^2 A_i} \quad (\text{Gl. 4})$$

$$\ln \frac{C - C_{\max}}{[-C_{\max}]} \approx (\text{const.}) - \left(\frac{t}{\tau_i} \right) \quad (\text{Gl. 5})$$

3.1.2.2. Flüssigkeitseinwanderung in einen Zylinder oder in eine Kugel

Für die Flüssigkeitskonzentration C bei der **radialen Flüssigkeitseinwanderung** in einen (ursprünglich flüssigkeitsfreien) **Zylinder** mit dem Radius r_0 gilt unter Einsatz des Parameters ξ_v und des Höchstwertes C_{\max} für einen jeweils einheitlichen Kennwert A_i [3.1]:

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

$$\frac{C - C_{\max}}{[-C_{\max}]} = \sum_{v=1}^{\infty} \frac{4}{\xi_v^2} \exp\left(-\frac{\xi_v^2 A_i t}{r_0^2}\right) \quad (\text{Gl. 6})$$

Für längere Zeiten folgt demnach [3.1]:

$$\frac{C - C_{\max}}{[-C_{\max}]} \approx \frac{4}{(2,405)^2} \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right), \quad \text{mit } \tau_i = \frac{r_0^2}{(2,405)^2 A_i} \quad (\text{Gl. 7})$$

Als entsprechende Lösung für eine **Kugel** gilt [3.1]:

$$\frac{C - C_{\max}}{[-C_{\max}]} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{v=1}^{\infty} \frac{1}{v^2} \exp\left(-\frac{v^2 \pi^2 A_i}{r_0^2} t\right) \quad (\text{Gl. 8})$$

Demnach folgt für längere Zeiten die mathematische Beziehung:

$$\frac{C - C_{\max}}{[-C_{\max}]} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right), \quad \text{mit } \tau_i = r_0^2 / \pi^2 A_i \quad (\text{Gl. 9})$$

3.1.3. Eigene baupraktische mathematische Annäherungs-Gesetzmäßigkeit

Entsprechend den o. a. mathematischen grundsätzlichen spezifischen Lösungsgleichungen [Gl. (3) bis (9)] der selbst **aufgestellten Gleichung (2)** folgte man, unter Einbeziehung der spezifischen Lösungsgleichungen **(4), (5) und (9)**, für die baupraktische Einstufung der Einwanderung von Wasser und Heizöl in einen **Labor-Porenbetonkörper einer beliebigen Geometrie den eigenen**

verallgemeinerten mathematischen Annäherungs-Zusammenhang:

$$\left[1 - \frac{C}{C_{\max}}\right] = V_i \cdot e^{-(k_j \cdot A_i) \cdot t} \quad \text{(Gl. 10)}$$

- mit **C** : Konzentration der Flüssigkeit im Prüfkörper
- C_{max}** : Höchstgehalt der Flüssigkeit im Porenbeton-Körper
- V_{i=1,2}** : exponentieller Vorfaktor
- k_{j=p,w}** : spezifischer Körper-Kennwert
(_p: Prisma, _w: Würfel)
- A_{i=1,2}** : Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert
(spezifischer geometrischer Kennwert)
- S_{ji}=(k_{j=p,w} · A_{i=1,2})** : **spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert**
- **wobei**
 - i = 1** : **Anfangszeitbereich**
 - i = 2** : **Folgezeitbereich**

Der exponentielle Vorfaktor V_i kennzeichnet hierbei den Kennwert, falls die Annäherungsgleichung mit C = 0 bereits zur entsprechenden Anfangszeit (t = 0) zutreffen würde.

Im Anfangszeitbereich liegt der Vorfaktor (V₁) demnach meistens im Bereich von 1 bzw. von 100 % [vgl. **Gl. (4)**, **Gl. (7)** und **Gl. (9)**]. Im Folgezeitbereich wird sein Wert (V₂) durch die Zusammenhänge der Gl. (10) bestimmt.

3.1.3.1. Bezug auf Flüssigkeitsmengen

Durch den Bezug auf eine jeweils **aufgenommene (gewichtsmäßige) Flüssigkeitsmenge (DG)** und die jeweils **höchstens aufnehmbare Flüssigkeitsmenge (DG_{max})** folgt für jeden der Zeitbereiche (bzw. sowohl nur für den Anfangs- als auch nur für den Folge-Zeitraum) der Flüssigkeits-Einwanderung für einen kleineren Porenbetonkörper einer gewissen Größe und Form (j):

$$\left[1 - \left(\frac{DG}{DG_{\max}} \right) \right] = V_i \cdot e^{-(k_j \cdot A_i) \cdot t} \quad (\text{Gl. 11})$$

bzw.

$$\ln \left[1 - \left(\frac{DG}{DG_{\max}} \right) \right] = -(k_j \cdot A_i) \cdot t + \ln(V_i) \quad (\text{Gl. 12})$$

bzw.

$$DG = DG_{\max} [1 - V_i \cdot e^{-(k_j \cdot A_i) \cdot t}] \quad (\text{Gl. 13})$$

bzw. für den gesamten Zeitbereich:

$$\frac{DG}{DG_{\max}} = \sum_{i=1}^2 \alpha_i [1 - V_i \cdot e^{-(k_j \cdot A_i) \cdot t}] \quad (\text{Gl. 14})$$

- mit $\alpha_1 = 1$ und $\alpha_2 = 0$ für den Anfangszeitbereich, wobei $V_i = V_1$, und
- mit $\alpha_2 = 1$ und $\alpha_1 = 0$ für den Folgezeitbereich, wobei $V_i = V_2$,

- und mit dem spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert $S_{ji} = (k_{j=p,w} \cdot A_{i=1,2})$.

Mittels der zeitlichen Differentiation der Gl. (14) wird offensichtlich, dass (wie o. a.) durch eine Flüssigkeitseinwanderung übergeordnet grundsätzlich zuerst eine einheitliche zeitliche anfängliche und dann eine einheitliche zeitliche nachfolgende Verfüllung von Poren bzw. von Poren-Anteilen eines kleineren Prüfkörper-Porenbetons eintritt.

Mit zunehmendem spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert $S_{ji}=(k_j \cdot A_i)$ erfolgt die Flüssigkeitsanreicherung im jeweiligen Zeitbereich schneller.

Entsprechend der Herleitung der obigen Gleichungen können analoge Gesetzmäßigkeiten auch auf andere Verhältnisgrößen (wie die Eindringtiefe oder die Steighöhe) angewendet werden. Je nach den Verhältnisgrößen erhält man folglich die jeweiligen spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte.

3.1.4. Zulässigkeitsuntersuchungen der eigenen mathematischen Annäherungs-Gesetzmäßigkeiten

Die Überprüfung der Anwendbarkeit der selbst ermittelten obigen mathematischen Gleichungen (11 bis 14) auf die Flüssigkeitsaufnahme (Wasser und Heizöl) von geometrisch unterschiedlichen kleineren Porenbetonkörpern (auch unterschiedlicher Druckfestigkeit) bestätigte die zulässige Anwendbarkeit der Gleichungen zur baupraktischen Einstufung der Wasser- und Heizöl-Einwanderung in kleinere Porenbeton-Prüfkörper.

Entsprechend den stofflich vorgegebenen „Anlauf-Abweichungen“ [vgl. die Gleichungen (3), (6) und (8)] und den nur ungenau möglichen Anfangs-Messwert-Ermittlungen lag der Vorfaktor (V_1), wie

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

o. a., beim Einwanderungs-Anfangsverlauf im (gespreizteren) Bereich von 1.

Weil die grundsätzlichen zeitlichen Vorgänge von Flüssigkeits-Einwirkungen (wie o. a.) auch für Eindringtiefen und kapillare Steighöhen (bis zu ihrem jeweiligen Höchstwert) zutreffen (vgl. Kap. 3.1.1.), konnte man die grundsätzlichen Zusammenhänge der obigen Gleichungen (11 bis 14) auch zur entsprechenden baupraktischen Einstufung von einseitigen und „kapillaren“ Flüssigkeitsaufnahmen (Wasser und Heizöl) verwenden.

Wie nachfolgend nachgewiesen wird, **ermöglichen die selbst abgeleiteten Gleichungen**, dass man **in der Baupraxis bereits mittels weniger Messgrößen die Einwanderung von Flüssigkeiten wie Wasser und Öl in Porenbetone abschätzen kann.**

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

3.1.5. Verwendetes Steinmaterial/Versuchsdatenermittlung

Zur Untersuchung setzte man das jeweils am häufigsten verwendete Porenbeton – Steinmaterial / Planstein (Hebel AG) mit den nachfolgend angegebenen kennzeichnenden Daten ein:

Angaben zum verwendeten Porenbeton-Steinmaterial							
Steinart und Festigkeitsklasse	PPW2	PPW4			PPW6	PPW8	Dimension
Steindruckfestigkeit im Mittel	2,5	5,0			7,5	10,0	N/mm²
Rohdichteklasse	0,40	0,50	0,60	0,70	0,65	0,80	
Rohdichte max.	400	500	600	700	650	800	kg/m ³
Wärmeleitfähigkeit λ_R	0,10	0,12	0,16	0,18	0,16	0,21	W/(mK)
Rechenwert für Eigenlast Mauerwerk (Fuge 1mm)	5	6	7	8	7,5	9	kN/m ³
Elastizitätsmodul E_0	1250	1750	2250	2750	2500	3250	N/mm ²
Wärmedehnungskoeffizient α_T	8	8	8	8	8	8	10 ⁻⁶ /K
Schwindmaß ϵ_1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	mm/m

Steinart, Festigkeitsklassen und Rohdichte		
Verwendete Kennzeichnung	Steinart und Festigkeitsklasse	Rohdichteklasse
PPW 2	PPW 2	0,40
PPW 4	PPW 4	0,50
PPW 6	PPW 6	0,65
PPW 8	PPW 8	0,80

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Die nachfolgend angegebenen Diagramme enthalten insbesondere im Langzeitbereich auch einige Messdaten, welche zur Überprüfung der eigenen Messungen unter der Anleitung und Betreuung des Verfassers der vorliegenden Arbeit von Diplomanden für deren Diplomarbeiten ermittelt wurden [3.2., 3.3.]

3.2. Vorversuche /Trocknungsversuche

Nachfolgend werden einige beispielhafte Trocknungsversuche angegeben (vgl. Diagramm 3.2.1. bis Diagramm 3.2.4.):

- Würfel (14cm x 14cm x 14cm) nach Heizöllagerung
- Prismen (4 cm x 4 cm x 16 cm) nach Wasserlagerung

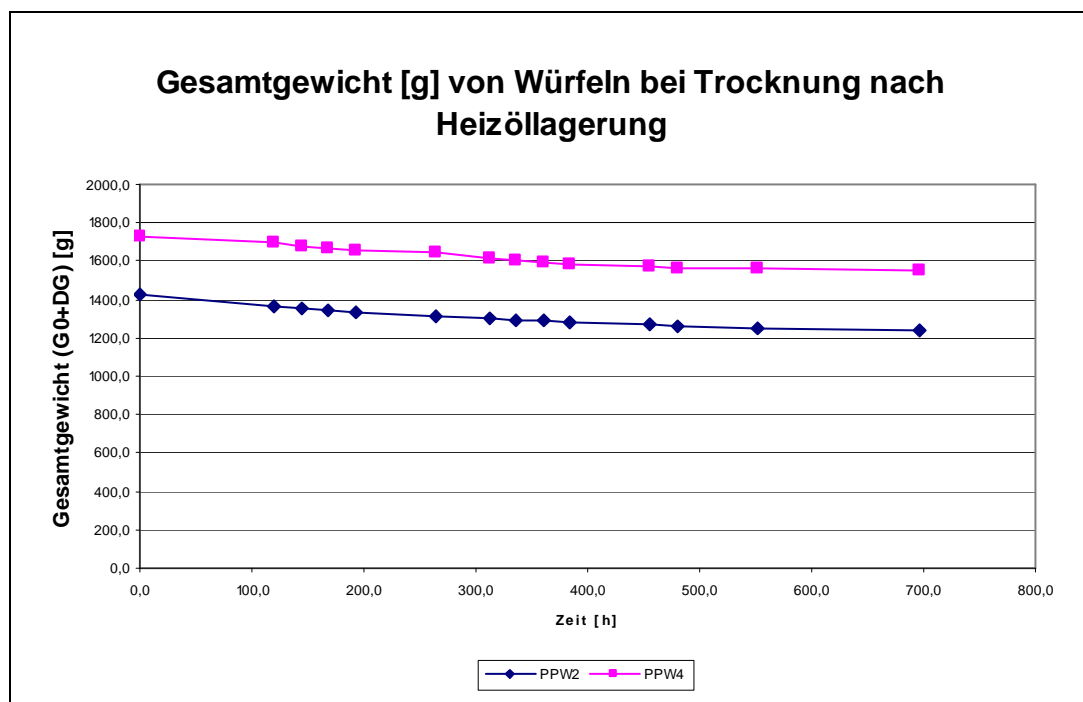


Diagramm 3.2.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

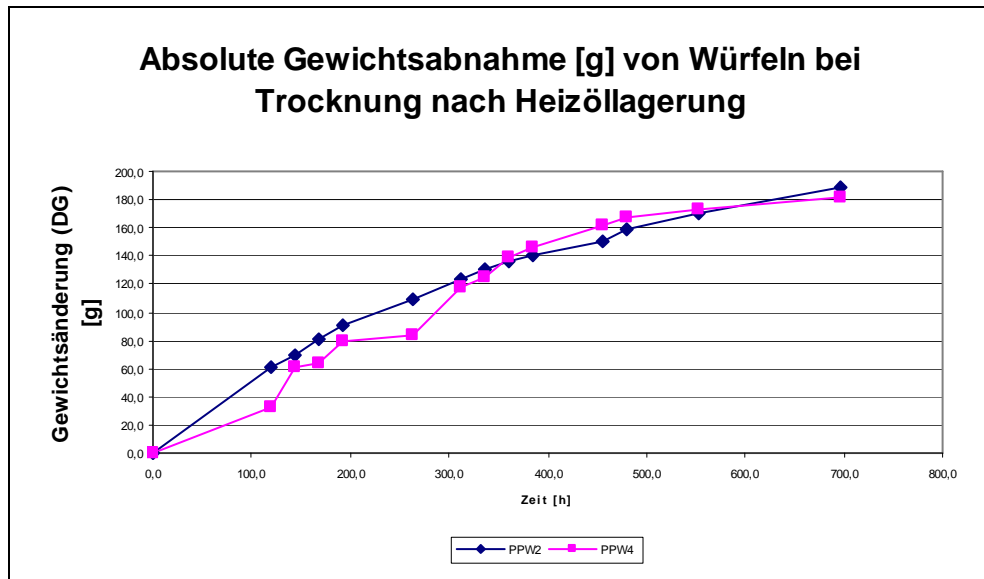


Diagramm 3.2.2.

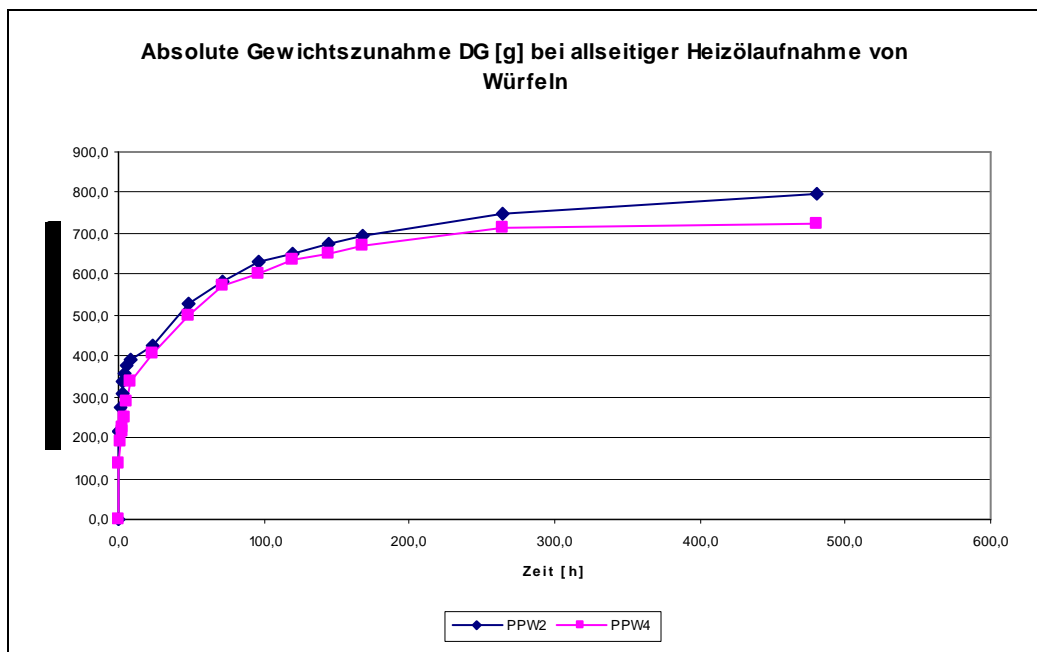


Diagramm 3.2.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

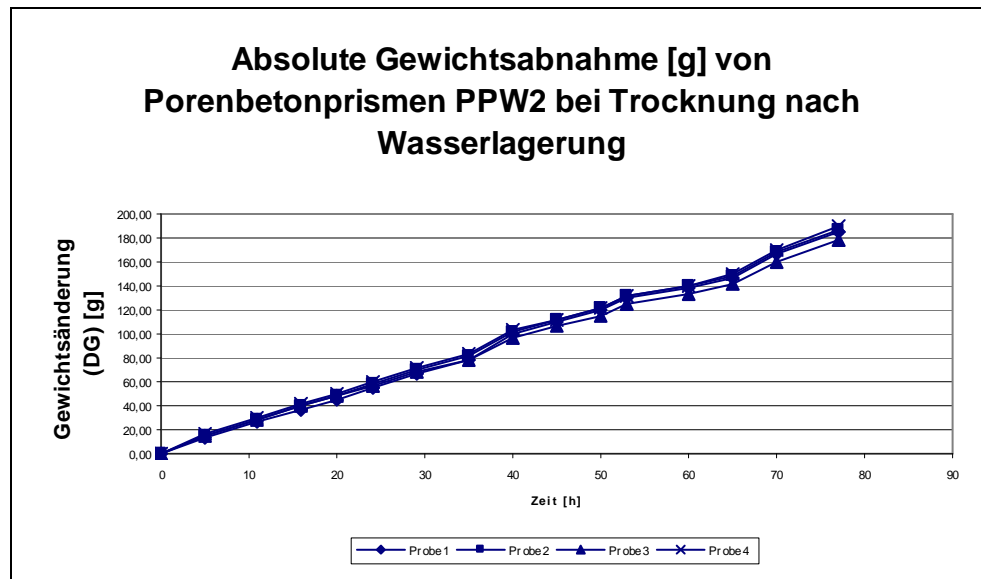


Diagramm 3.2.4.

3.2.1. Folgerungen

Aus den Trocknungsversuchen nach einer Heizöllagerung geht hervor, dass in einen Porenbeton eingewandertes Heizöl mindestens mehrere Monate bis zu seiner Auswanderung benötigt.

Weil auch nur geringe Heizöl-Anteile insbesondere gesundheits-schädliche Auswirkungen beinhalten können, ist für baupraktische Sanierungsmaßnahmen die Kenntnis entscheidend, ob höhere Mengen von Heizöl in einen Porenbeton bereits eingewandert sind oder nicht. Auch zur Beurteilung von Wasserschäden an Porenbeton benötigt man die Kenntnis, welche Flüssigkeitsmengen innerhalb einer Zeitspanne in einen Porenbeton bereits eingedrungen sind. Das baupraktische Trocknungsverhalten wird bei Innenräumen durch die jeweilige Innentemperatur und den jeweiligen Raum-Umluftaustausch bestimmt, bei Außenbauteilen durch die jeweiligen spezifischen Umweltbedingungen. Um demnach die baupraktisch entscheidenden Kenntnisse der Flüssigkeitseinwanderung zu erhalten, befasste sich die vorliegende Arbeit lediglich mit dem Eindringverhalten von Wasser, Schmutz-Wasser und Heizöl in Porenbeton.

3.3. Versuchsdurchführung der Einwanderungsversuche

Mit den Versuchsmaterialien führte man die nachfolgend angegebenen Untersuchungsserien durch:

Prüfkörperform:

- **Würfel: 14cm x 14cm x 14cm**
- **Prismen: 4cm x 4cm x 16cm**

Einwanderungs-Flüssigkeiten:

- **Heizöl**
- **Wasser (Leitungs-Wasser)**
- **Schmutzwasser (Spree-Wasser)**

Einwanderungsart:

- **allseitig:**
 - Prüfkörper $\geq 5\text{cm}$ unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche und (mittels jeweils 4 Kunststoffpfropfen) $\geq 5\text{cm}$ oberhalb des Flüssigkeitsgefäß-Bodens
- **stirnseitig / einseitig:**
 - Prüfkörperoberfläche (Würfel/14cmx14cm; Prisma/4cmx16cm) 0,1cm oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche
 - **Nur 1 Körperseite bzw. nur 1 Stirnseite flüssigkeitsdurchlässig (Würfel/14cmx14cm; Prisma/ 4cmx4cm)**

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Prüfkörper (mittels jeweils 4 Kunststoffpfropfen) \geq 5cm oberhalb des Flüssigkeitsgefäß-Bodens

- **„kapillar“:**
 - Prisma unbeschichtet
 - senkrecht 0,2cm tief in der Flüssigkeit stehend
 - unterhalb des Prüfkörpers (mittels jeweils 4 Kunststoffpfropfen) \geq 5cm Abstand zum Flüssigkeitsgefäß-Boden

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

3.4. Versuchsserien

Nachfolgend wird auf die durchgeführten Versuchsserien verwiesen (vgl. Tabelle 3.4.1. und Tabelle 3.4.2.):

Übersicht über die Versuchsserien				
Versuchsserie	Probenform	Einwande- rungsart	Flüssig- keit	Ermittlungs- kenngröße
V 1 (PPW 2,PPW 4)	Würfel	allseitig	Öl	Gewicht
V 2 (PPW 2,4,6 und PPW 8)	Prisma	allseitig	Wasser	Gewicht
V 3 (PPW 2,4,6 und PPW 8)	Prisma	allseitig	Öl	Gewicht
V 4 (PPW 2,PPW 4)	Würfel	einseitig	Öl Wasser Spree- Wasser	Eindringtiefe
V 5 (PPW 2,PPW 4)	Prisma	allseitig	Öl Wasser Spree- Wasser	Eindringtiefe
V 6 (PPW 2,PPW 4)	Prisma	stirnseitig	Öl Wasser Spree- Wasser	Eindringtiefe

Tabelle 3.4.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Übersicht über die Versuchsserien				
Versuchsserie	Probenform	Einwanderungsart	Flüssigkeit	Ermittlungskenngröße
V 7 (PPW 2,4,6 und PPW 8)	Prisma	„kapillar“	Wasser	Gewicht
V 8 (PPW 2,4,6 und PPW 8)	Prisma	„kapillar“	Öl	Gewicht
V 9 (PPW 2,4,6 und PPW 8)	Prisma	„kapillar“	Öl Wasser	Steighöhe
V 10 (PPW 2,PPW 4)	Würfel	allseitig	<u>Gemisch</u> Öl / Wasser	Eindringtiefe
V 11 (PPW 2,PPW 4)	Würfel mit Kalk- Zement- Putz	einseitig	<u>Gemisch</u> Öl / Wasser	Eindringtiefe

Tabelle 3.4.2.

Die allseitige Einwanderung (vgl. die Versuchsserien V 1 bis V 3, V 5 und V 10) erfasst die allseitigen Einwirkungen von Wasser und Öl, z. B. in eine Gebäude-Innenwand oder –Außenwand aus unbeschichtetem Porenbeton.

Die einseitige bzw. stirnseitige Einwanderung (vgl. die Versuchsserien V 4 und V 6) erfasst die einseitige bzw. stirnseitige Einwirkung

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

von Wasser und Öl z.B. in eine Innen- oder Außenwand mit einer Beschichtung gegenüber der Eindringfläche.

Die „kapillare“ Einwanderung (vgl. die Versuchsserien V 7 bis V 9) erfasst z.B. die Einwirkung von aufsteigendem Wasser und Öl in einen Porenbetonwand-Durchbruch.

Die Einwanderungswirkungen beim Vorliegen eines Kalk-Zementputzes werden mittels der Versuchsserie V 11 erfasst.

Ermittelt werden relative maximale Gewichtszunahmen und Flüssigkeitsaufnahme - Kennwerte, welche (wie o. a.) mit zunehmendem Wert eine jeweilige schnelle Flüssigkeitsaufnahme kennzeichnen (vgl. Kap. 3.1.3.1.).

3.5. Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 1

Nachfolgend werden die Messwerte der Versuchsserie V 1 wiedergegeben (allseitige Ölaufnahme von Würfeln):

- Diagramm 3.5.1.: Gesamtgewicht [g] bei allseitiger Heizölaufnahme von Würfeln
- Diagramm 3.5.2.: Absolute Gewichtszunahme DG [g] bei allseitiger Heizölaufnahme von Würfeln
- Diagramm 3.5.3.: Relative Gewichtszunahme DG/G_0 [%] bei allseitiger Heizölaufnahme von Würfeln
- Diagramm 3.5.4.: Relative Gewichtszunahme DG/DG_{Max} [%] bei allseitiger Heizölaufnahme von Würfeln
- Diagramm 3.5.5.: $[1-(DG / DG_{Max})]$ [%] bei allseitiger Heizölaufnahme von Würfeln bis 24 h [x= Zeit [h]]
- Diagramm 3.5.6.: $[1-(DG / DG_{Max})]$ [%] bei allseitiger Heizölaufnahme von Würfeln ab 24 h [x= Zeit [h]]

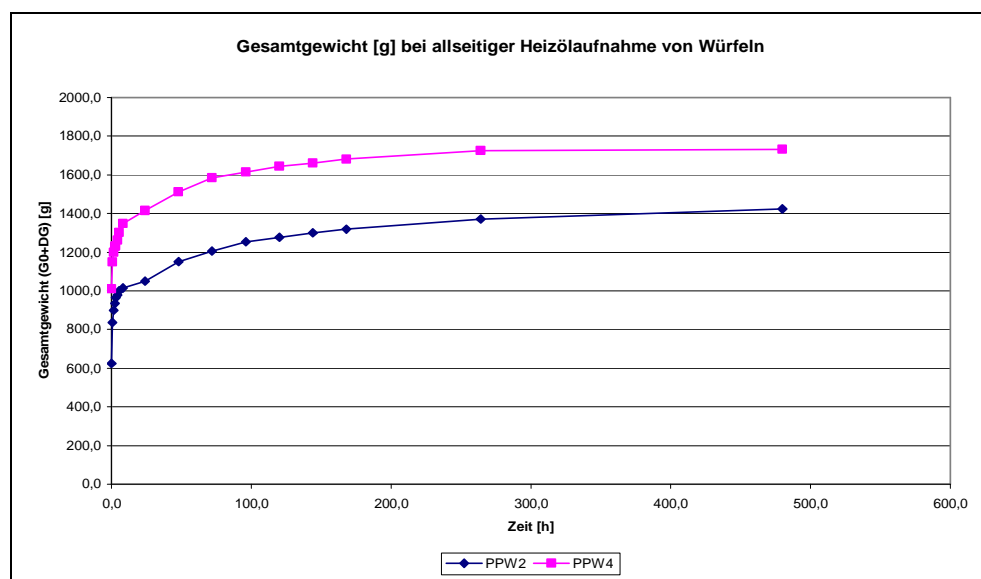


Diagramm 3.5.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

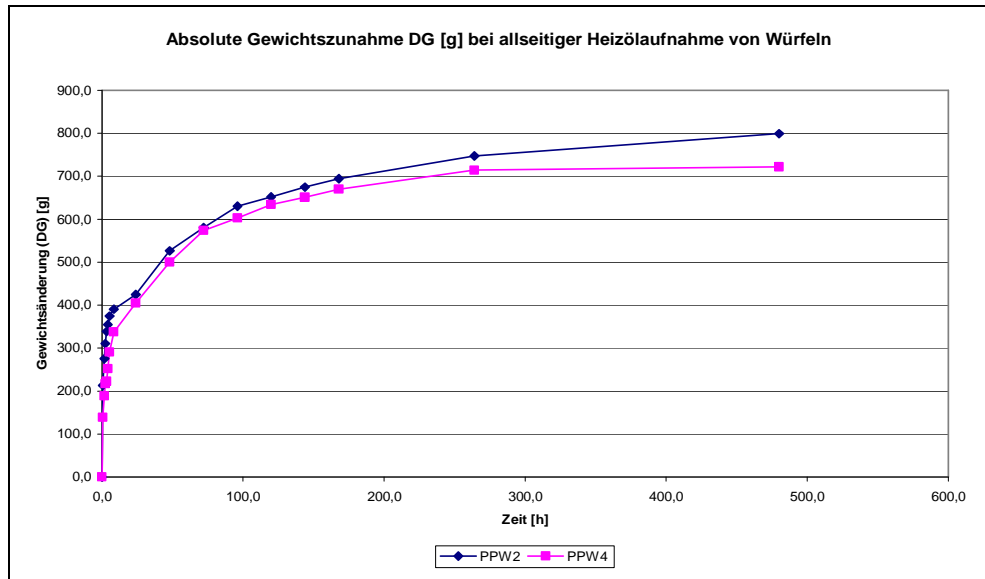


Diagramm 3.5.2.

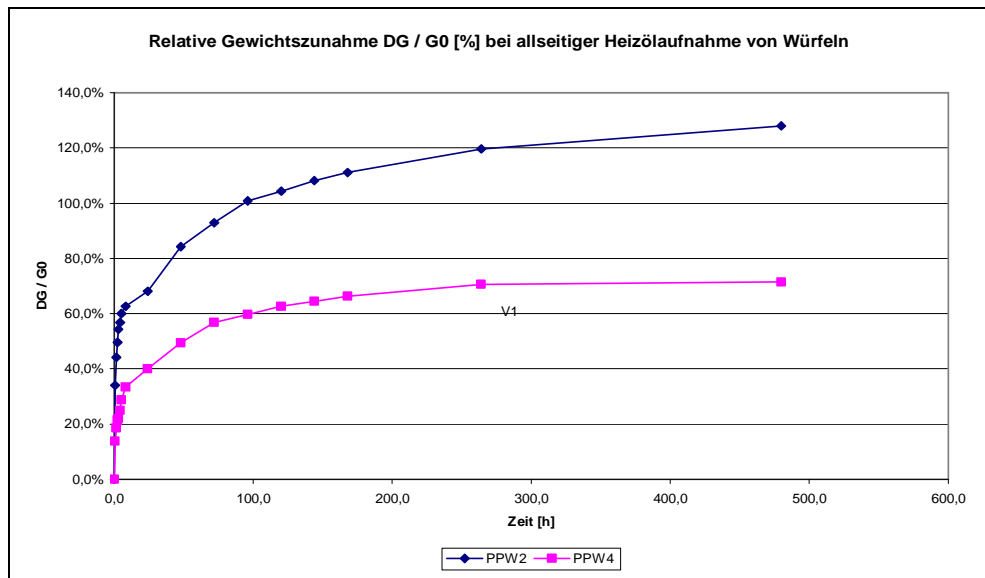


Diagramm 3.5.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

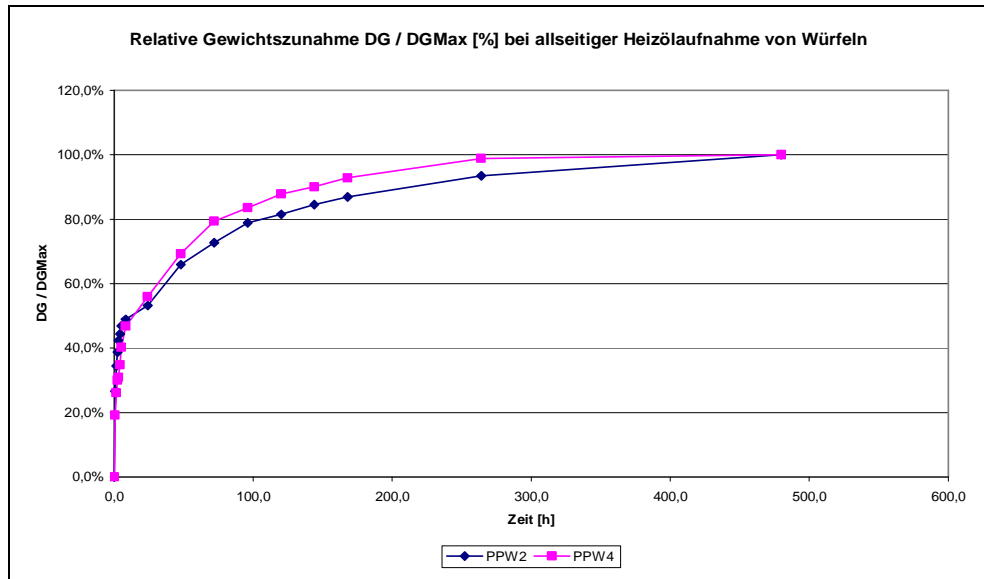


Diagramm 3.5.4.

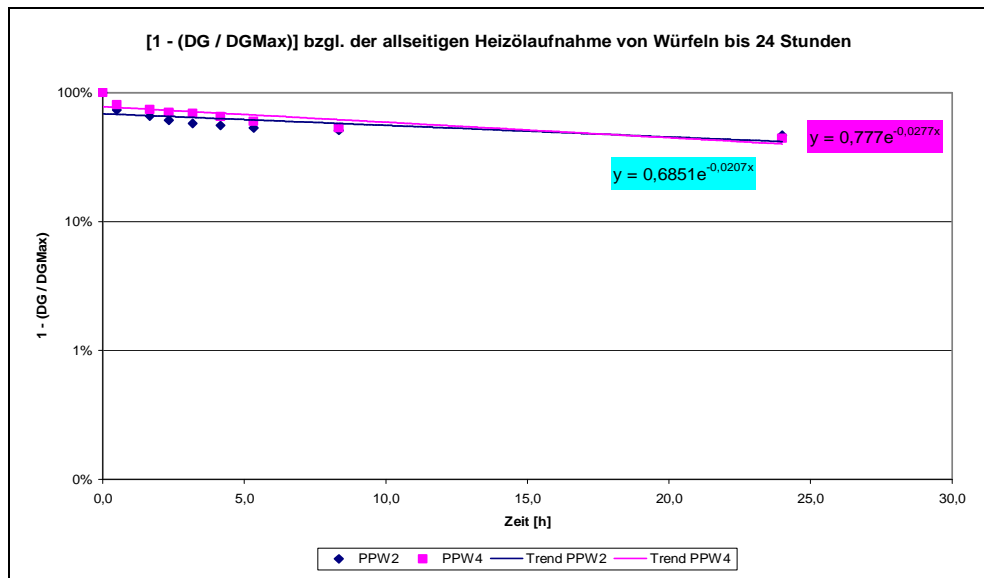


Diagramm 3.5.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

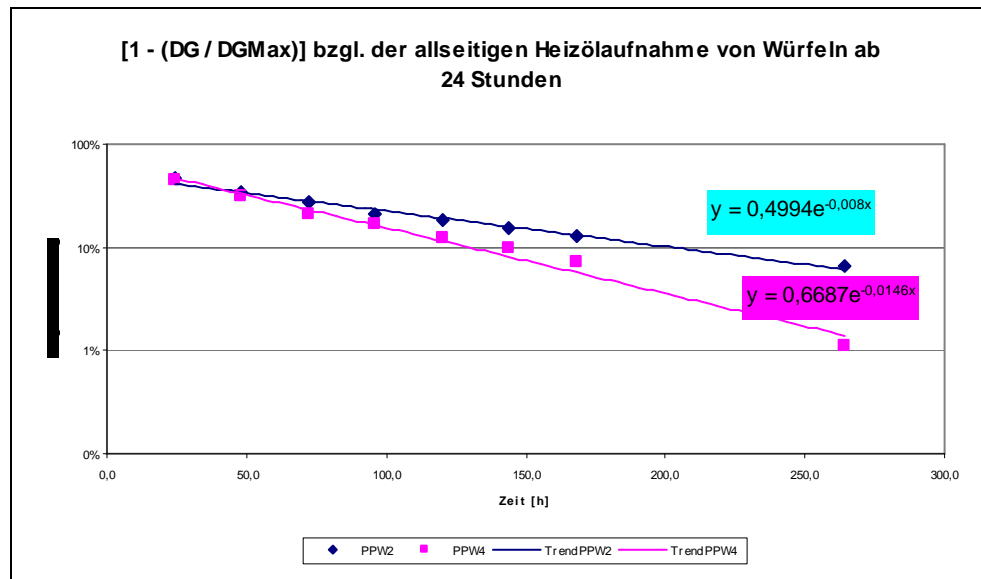


Diagramm 3.5.6.

3.5.1. Auswertung / Versuchsserie V 1

Die nachfolgenden graphischen Zusammenfassungen enthalten folgende Zuordnungen:

- Diagramm 3.5.1.1.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 24h: DG/GO [%] von Würfeln in Heizöl
- Diagramm 3.5.1.2.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 24h: -Exp./x=t [%] von Würfeln in Heizöl
- Diagramm 3.5.1.3.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 24h : Vorfaktor [%] von Würfeln in Heizöl
- Diagramm 3.5.1.4.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme >24h: DG/GO [%] von Würfeln in Heizöl
- Diagramm 3.5.1.5.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme >24h: -Exp./x=t [%] von Würfeln in Heizöl

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Diagramm 3.5.1.6.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme >24h: Vorfaktor [%] von Würfeln in Heizöl

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie : Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 24h

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Öl	2	68,1	2,1	68,5	24,0
		4	40,0	2,8	77,7	24,0

Tabelle 3.5.1.1.

Versuchsserie : Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 24h

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Öl	2	127,9	0,8	49,9	264,0
		4	71,4	1,5	66,9	264,0

Tabelle 3.5.1.2.

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 1 insbesondere:

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Relative Gewichtszunahme (DG/G₀) bzgl. des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs:
 - PPW 2 ~ 70 %; schließlich ~128%
 - PPW 4 ~ 40 %; schließlich ~ 71 %
 - Erreichen der maximalen Gewichtszunahme beim PPW 2 nach ~ 600 [h] ~25 Tage ~3,6 Wochen und beim PPW 4 ~300 [h] ~1,8 Wochen
- Spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) bzgl. des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs:
 - PPW 2 ~ 2 %; schließlich 0,8 %
 - PPW 4 ~3 %; schließlich 1,5 %
- Die Summe beider Vorfaktoren einer Porenbeton-Festigkeitsklasse liegt im Größenordnungsbereich von 100 %.

Zusammengefasst gilt insbesondere:

- Mit zunehmender Druckfestigkeit bzw. Rohdichte eines Porenbetons nimmt
 - die relative Gewichtszunahme ab,
 - der spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert zu.
-
- **Der Porenbeton PPW 4 reichert sich insgesamt schneller mit weniger Öl an, als der Porenbeton PPW 2 mit mehr Öl.**

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

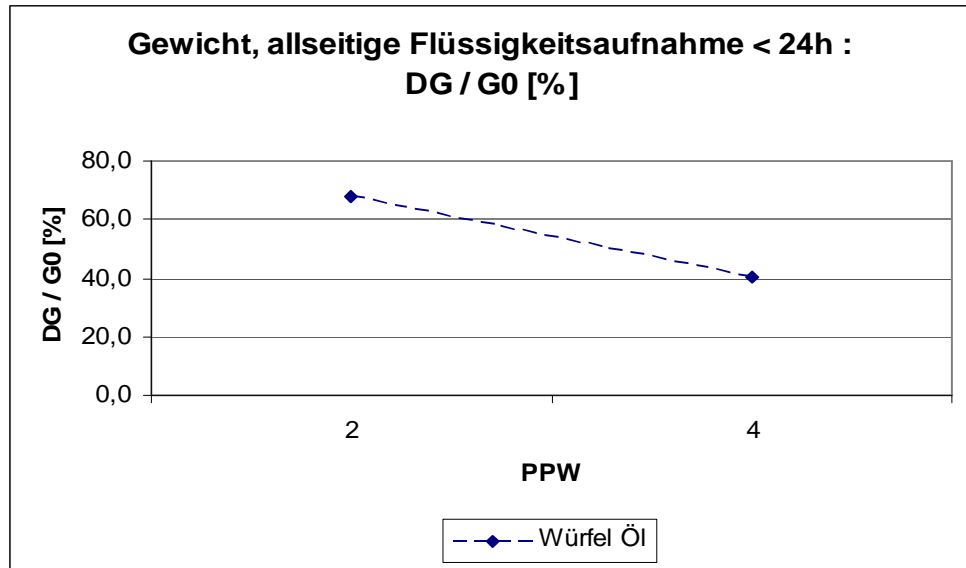


Diagramm 3.5.1.1.

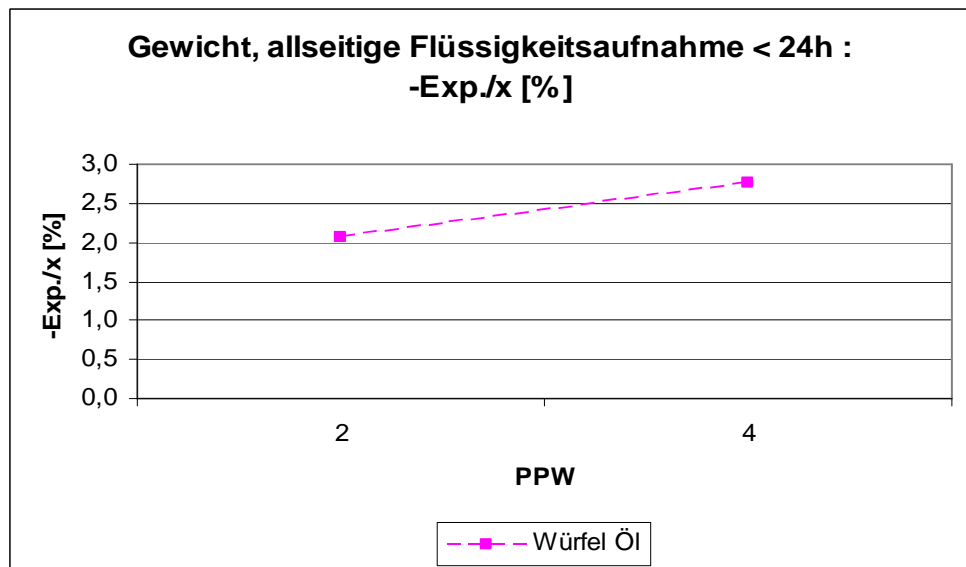


Diagramm 3.5.1.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

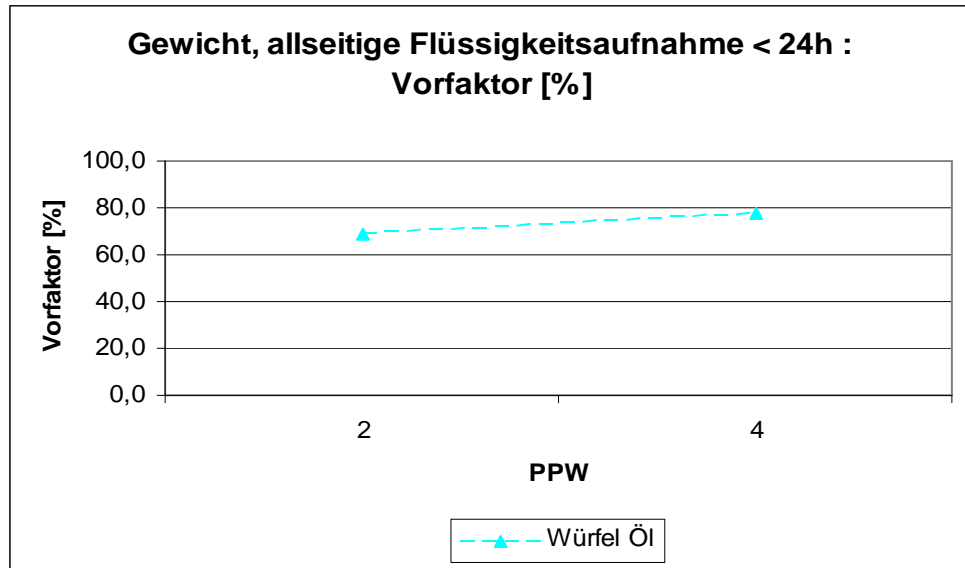


Diagramm 3.5.1.3.

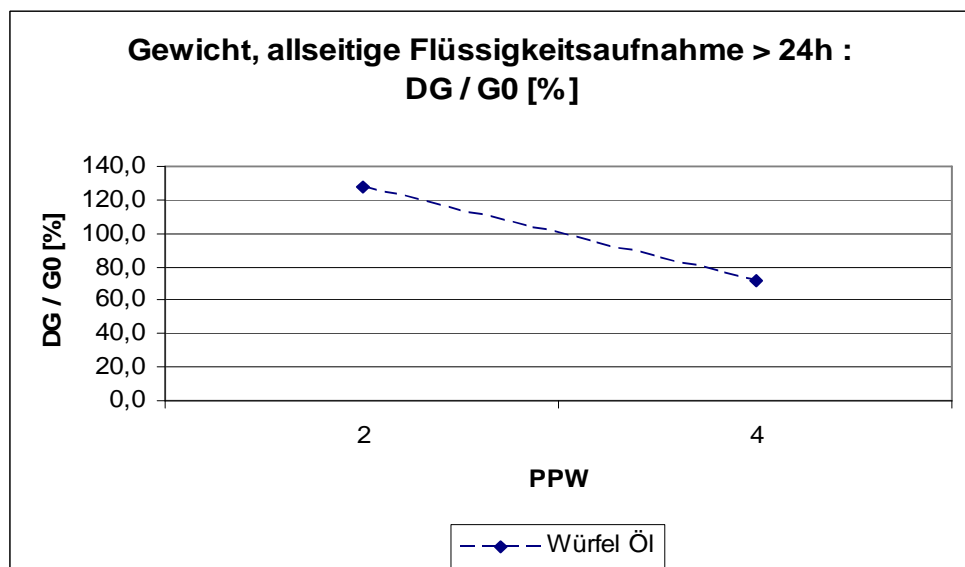


Diagramm 3.5.1.4.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

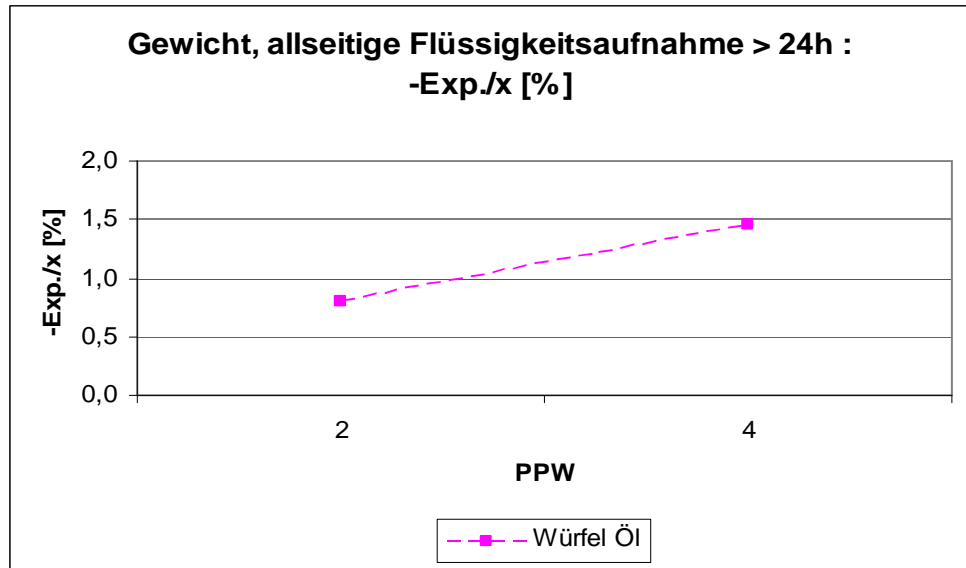


Diagramm 3.5.1.5.

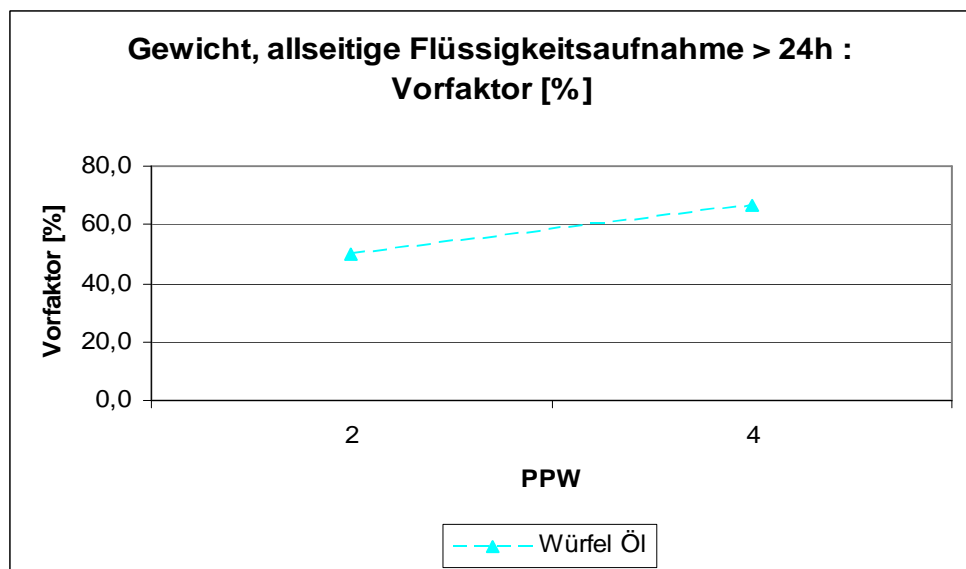


Diagramm 3.5.1.6.

3.5.1.1. Bezug auf die niedrigste PPW Festigkeitsklasse

Die obig angegebenen Verhältnisse werden noch offensichtlicher, falls auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse Bezug genommen wird, vgl. die nachfolgenden Diagramme:

- Diagramm 3.5.1.1.1.: Bezogenes Gewicht , allseitige Flüssigkeitsaufnahme <24 h: DG/G_0 [%] von Heizöl in Würfeln
- Diagramm 3.5.1.1.2.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme <24h: $-Exp./x=t$ [%] von Heizöl in Würfeln
- Diagramm 3.5.1.1.3.: Bezogenes Gewicht , allseitige Flüssigkeitsaufnahme <24 h: Vorfaktor [%] von Heizöl in Würfeln
- Diagramm 3.5.1.1.4.: Bezogenes Gewicht , allseitige Flüssigkeitsaufnahme >24 h: DG/G_0 [%] von Heizöl in Würfeln
- Diagramm 3.5.1.1.5.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme >24h: $-Exp./x=t$ [%] von Heizöl in Würfeln
- Diagramm 3.5.1.1.6.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme >24h: Vorfaktor [%] von Heizöl in Würfeln

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Versuchsserie :
Bezogen. Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 24h

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			bezogen auf ÖI PPW 2			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	ÖI	2	100,0	100,0	100,0	24,0
		4	58,8	133,8	113,4	24,0

Tabelle 3.5.1.1.1.

Versuchsserie :
Bezogen. Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 24h

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			bezogen auf ÖI PPW 2			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	ÖI	2	100,0	100,0	100,0	264,0
		4	55,8	182,5	133,9	264,0

Tabelle 3.5.1.1.2.

Man erkennt hinsichtlich der Versuchsserie V 1 insbesondere:

- Bezogen auf den Porenbeton **ÖI-PPW 2 [100%]** liegt beim Porenbeton PPW 4
 - die relative Gewichtszunahme (DG/G0) des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs
 - bei ~ 60 % und bei ~ 60 %

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- der spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs

- bei ~134 % und bei ~182 %

- der Vorfaktor des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs

- bei ~113 % und bei ~134 %

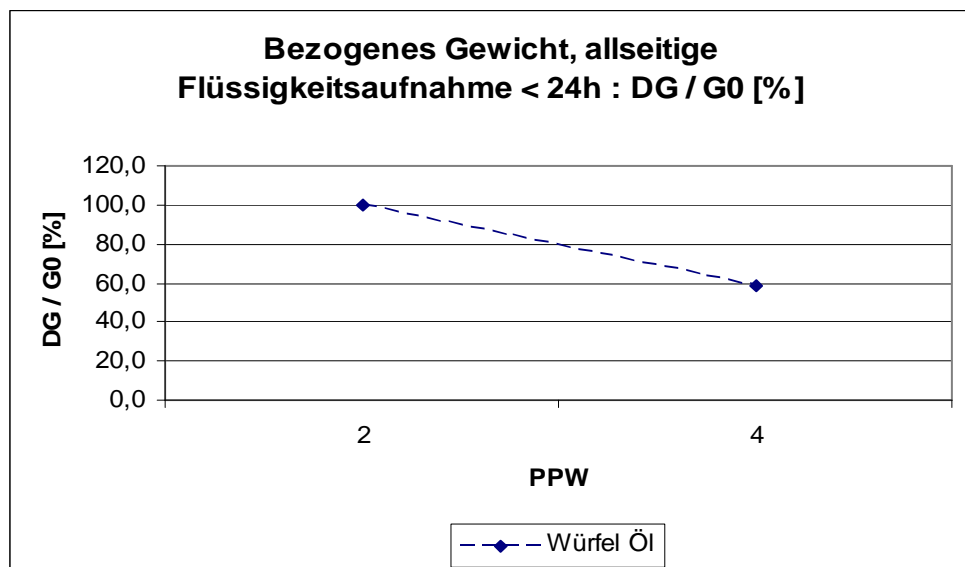


Diagramm 3.5.1.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

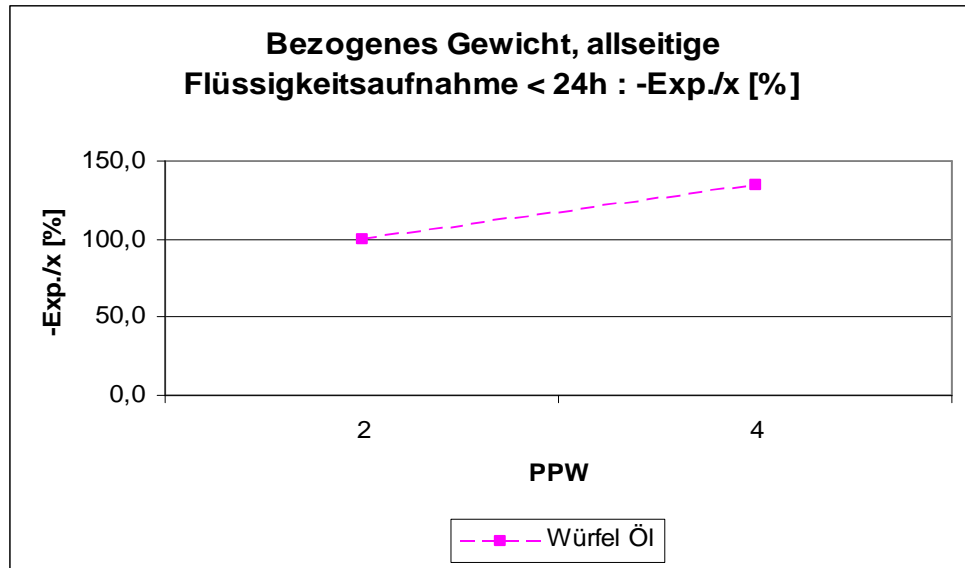


Diagramm 3.5.1.1.2.

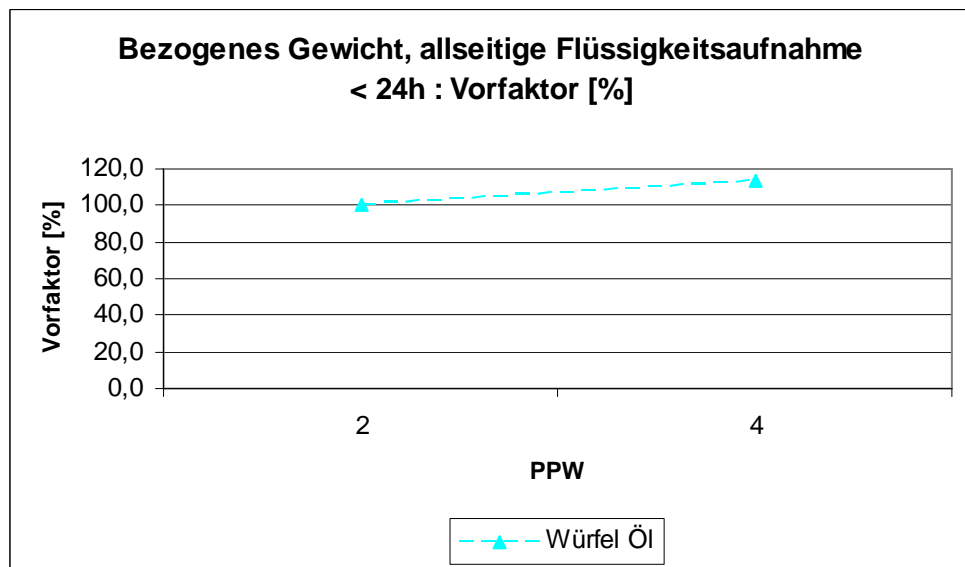


Diagramm 3.5.1.1.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

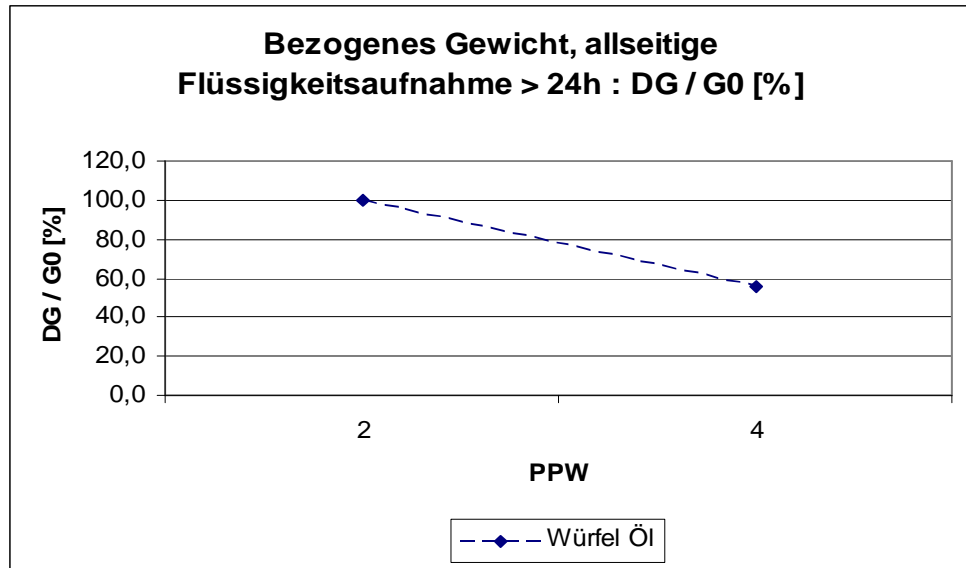


Diagramm 3.5.1.1.4.

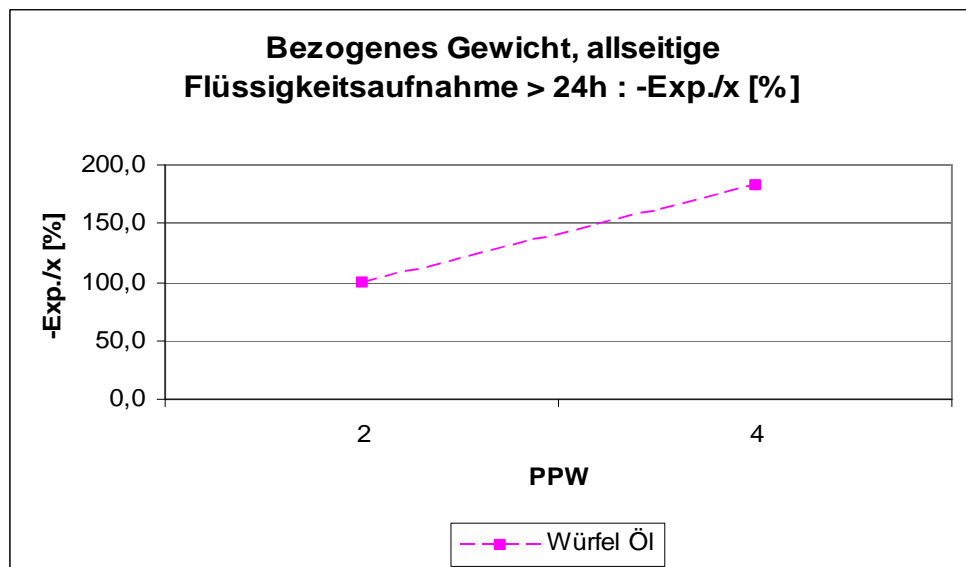


Diagramm 3.5.1.1.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

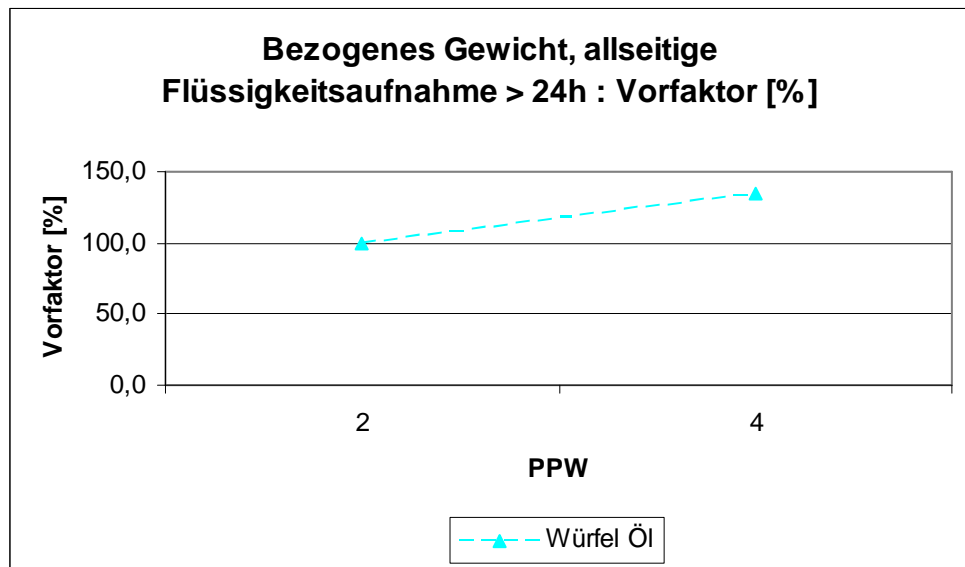


Diagramm 3.5.1.1.6.

3.6. Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 2

Nachfolgend werden die Messwerte der Versuchsserie V 2 wiedergegeben (allseitige Wasseraufnahme von Prismen):

- Diagramm 3.6.1.: Gesamtgewicht [g] bei allseitiger Wasseraufnahme von Prismen
- Diagramm 3.6.2.: Absolute Gewichtszunahme DG [g] bei allseitiger Wasseraufnahme von Prismen
- Diagramm 3.6.3.: Relative Gewichtszunahme DG / G_0 [%] bei allseitiger Wasseraufnahme von Prismen
- Diagramm 3.6.4.: Relative Gewichtszunahme DG / DG_{Max} [%] bei allseitiger Wasseraufnahme bei Prismen
- Diagramm 3.6.5.: $[1-(DG / DG_{Max})]$ bei allseitiger Wasseraufnahme von Prismen bis 2 h [x= Zeit [h]]
- Diagramm 3.6.6.: $[1-(DG / DG_{Max})]$ [%] bei allseitiger Wasseraufnahme von Prismen ab 2 h [x= Zeit [h]]

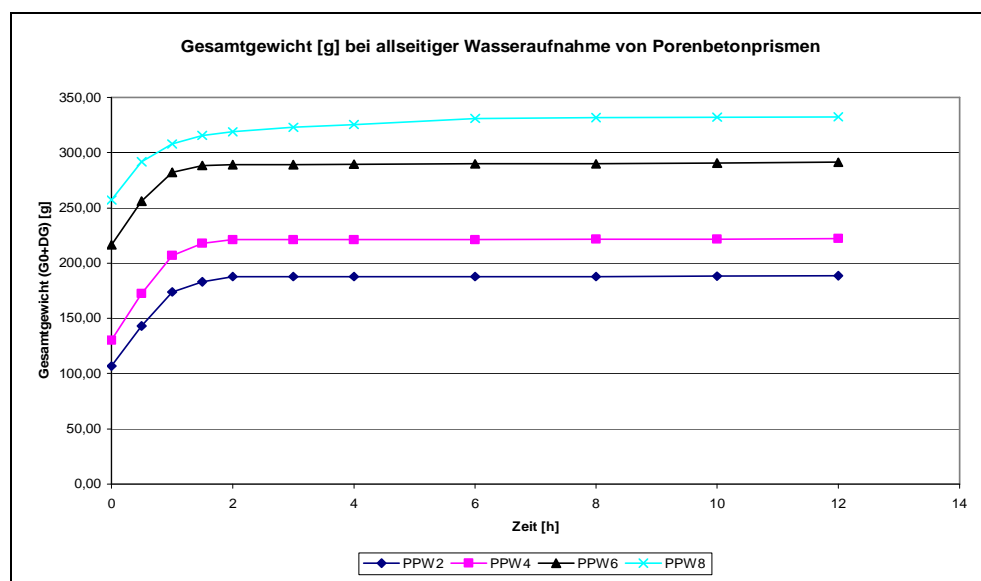


Diagramm 3.6.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

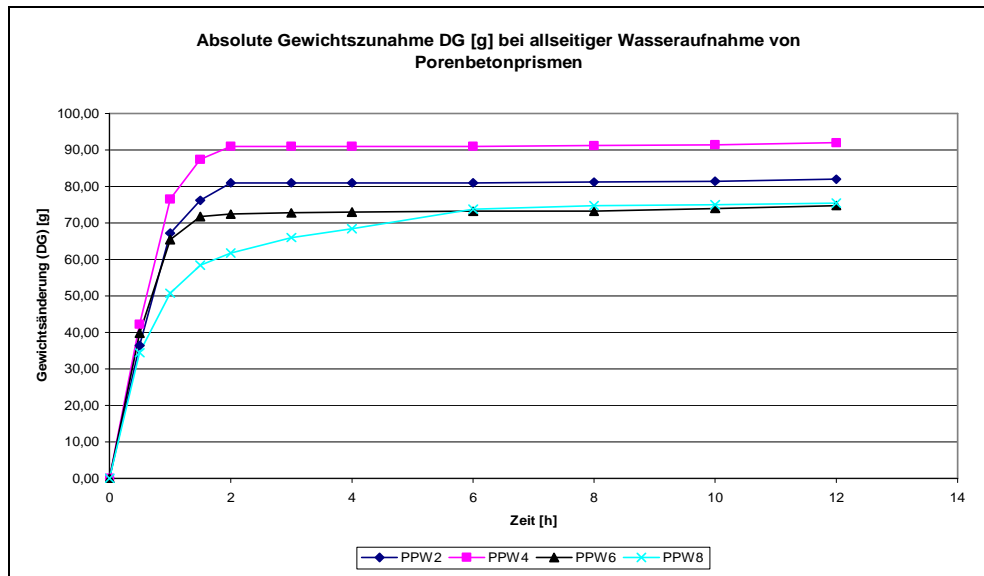


Diagramm 3.6.2.

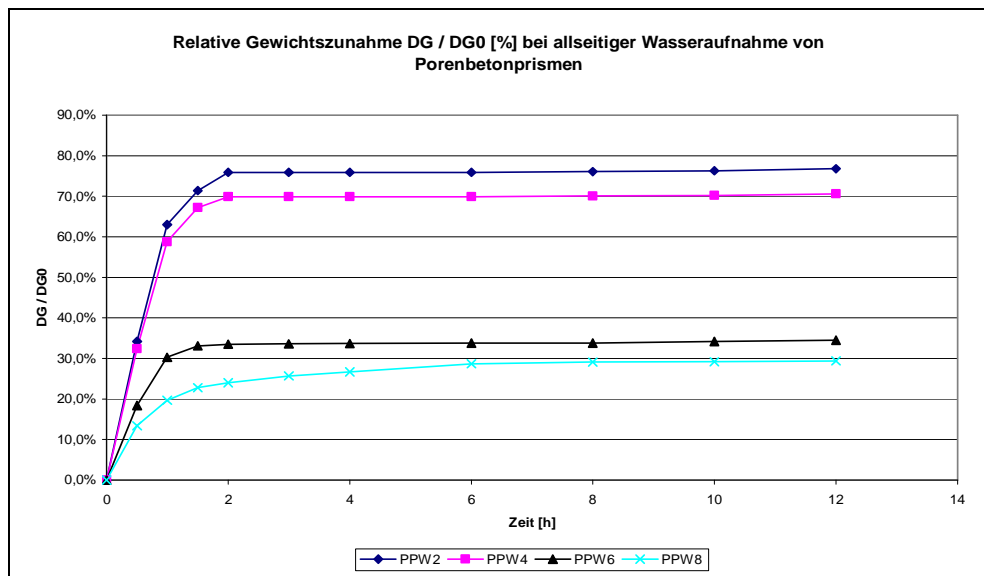


Diagramm 3.6.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

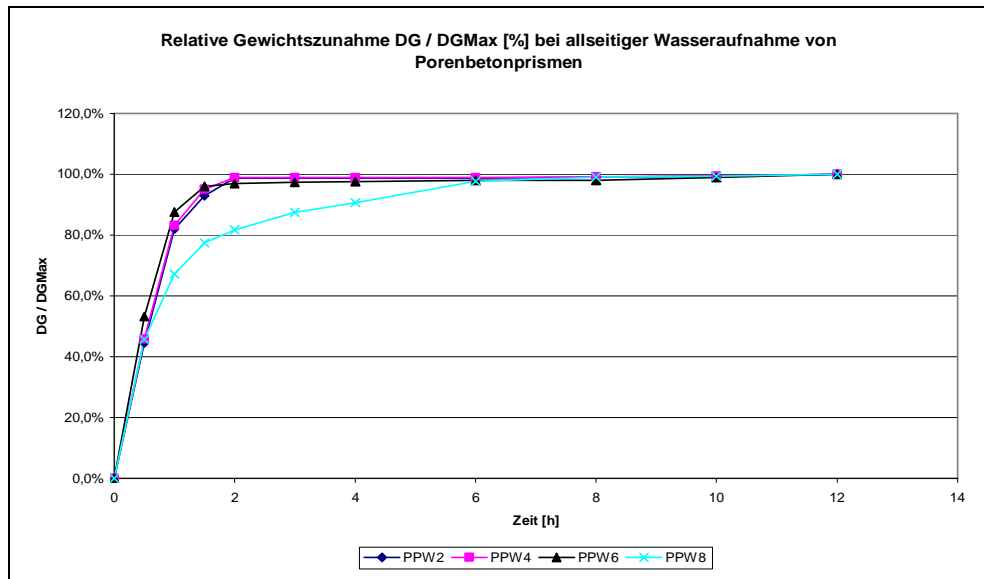


Diagramm 3.6.4.

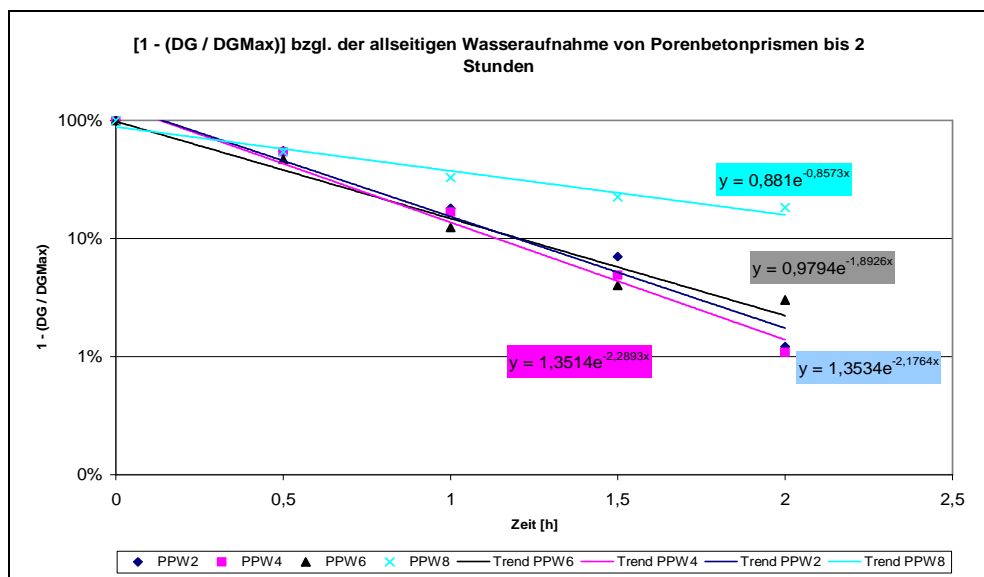


Diagramm 3.6.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

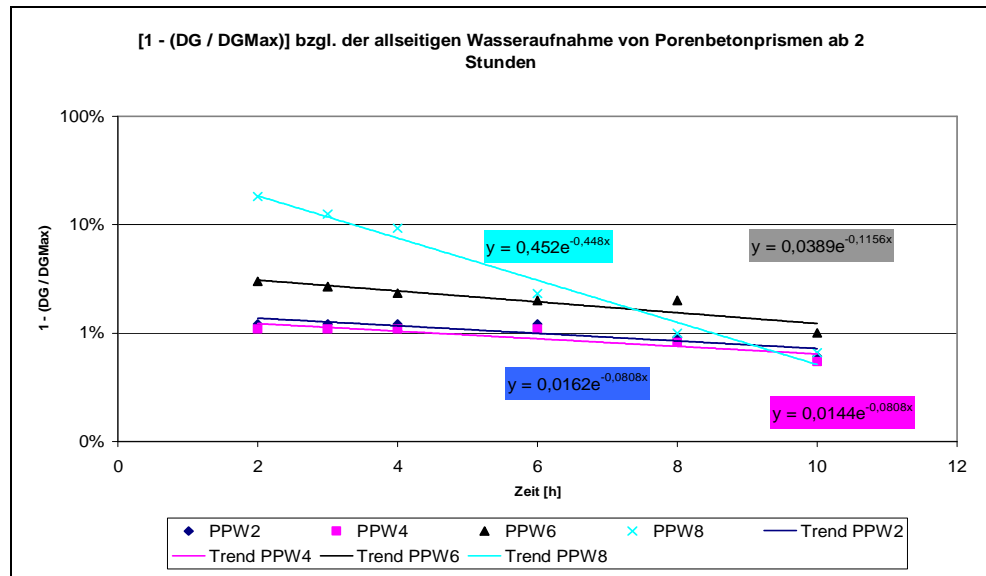


Diagramm 3.6.6.

3.6.1 Auswertung / Versuchsserie V 2

Die nachfolgenden graphischen Zusammenfassungen enthalten folgende Zuordnungen:

- Diagramm 3.6.1.1.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h: DG / G_0 [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.6.1.2.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h: $-Exp./x=t$ [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.6.1.3.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h: Vorfaktor [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.6.1.4.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h: DG / G_0 [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.6.1.5.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h: $-Exp./x=t$ [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.6.1.6.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h: Vorfaktor [%] von Prismen in Wasser

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie : Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			DG / G_0 [%]	$-Exp./x=t$ [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	75,9	217,6	135,3	2,0
		4	69,9	228,9	135,1	2,0
		6	33,5	189,3	97,9	2,0
		8	24,0	85,7	88,1	2,0

Tabelle 3.6.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Versuchsserie : Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	76,8	8,1	1,6	10,0
		4	70,6	8,1	1,4	10,0
		6	34,5	11,6	3,9	10,0
		8	29,4	44,8	45,2	10,0

Tabelle 3.6.1.2.

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 2 insbesondere:

- Relative Gewichtszunahme (DG/G0) bzgl. des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs:
 - PPW 2 ~76 %; schließlich, nach etwa 10 Stunden ~77 %
 - PPW 4 ~70 %; schließlich, nach etwa 10 Stunden ~71 %
 - PPW 6 ~33 %; schließlich, nach etwa 10 Stunden ~34 %
 - PPW 8 ~24 %; schließlich, nach etwa 10 Stunden ~29 %

- Spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert bzgl. des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs:
 - PPW 2 ~218 %; schließlich ~ 8 %
 - PPW 4 ~229 %; schließlich ~ 8 %

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- PPW 6 ~189 %; schließlich ~12 %
- PPW 8 ~ 86 %; schließlich ~45 %
- Die Summe beider Vorfaktoren einer Porenbeton-Festigkeitsklasse liegt [gem. Kap. 3.1.3.] im Größenordnungsbereich von 100 %.

Zusammengefasst gilt insbesondere:

- Mit zunehmender Druckfestigkeit bzw. Rohdichte eines Porenbetons nimmt
 - die relative Gewichtszunahme ab,
 - der spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert im Anfangszeitbereich ab, im Fortsetzungsbereich zu.
- **Der Porenbeton PPW 8 reichert sich insgesamt langsamer mit weniger Wasser an, als die anderen Porenbetone mit mehr Wasser.**

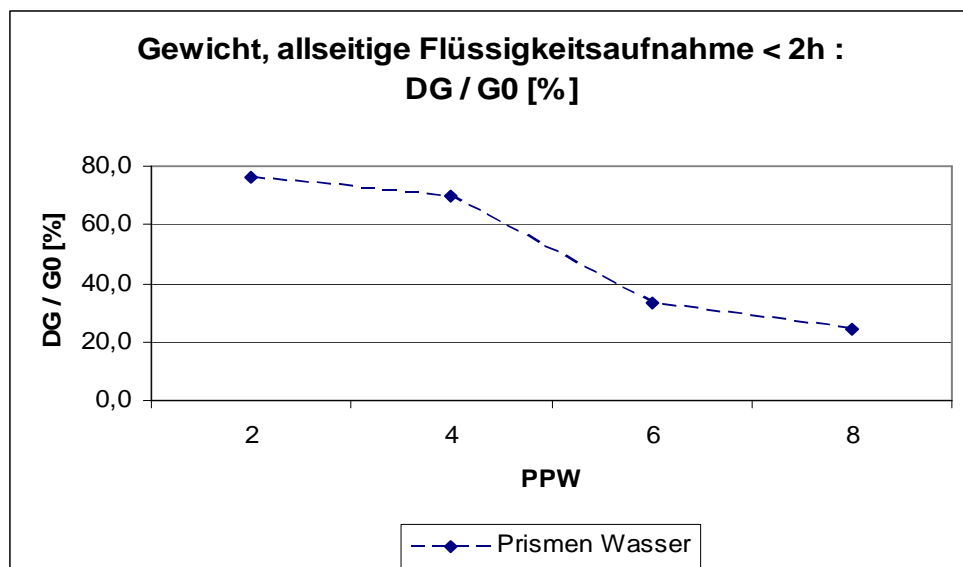


Diagramm 3.6.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

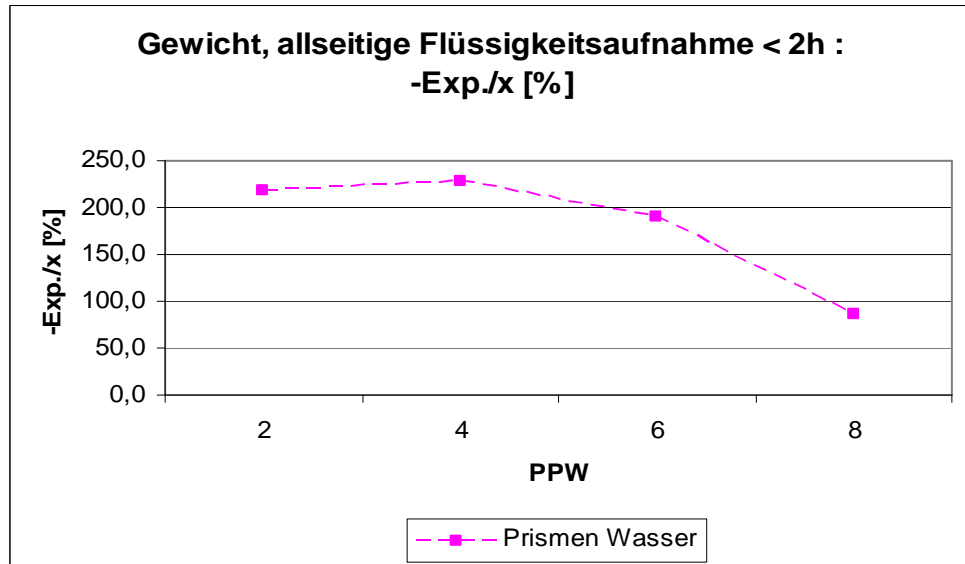


Diagramm 3.6.1.2.

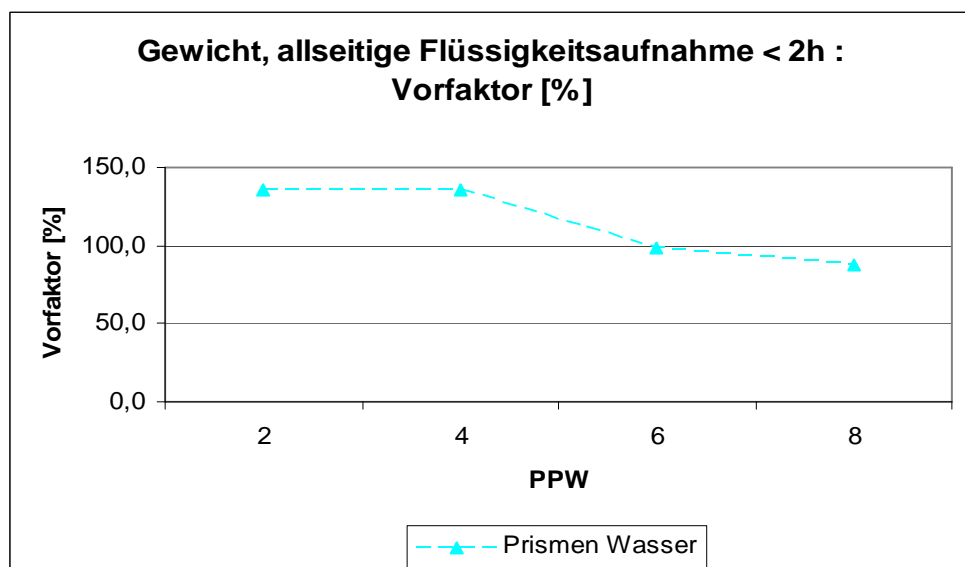


Diagramm 3.6.1.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

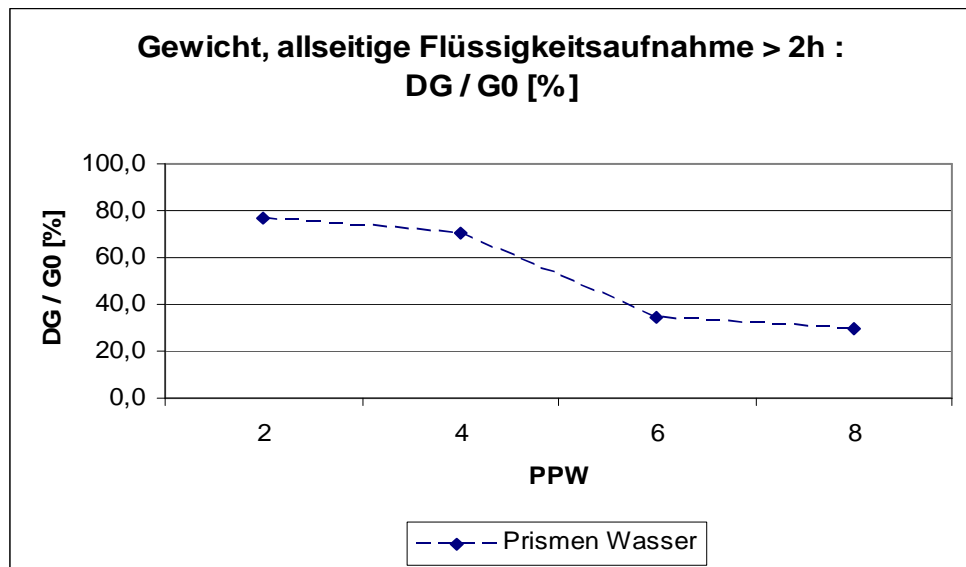


Diagramm 3.6.1.4.

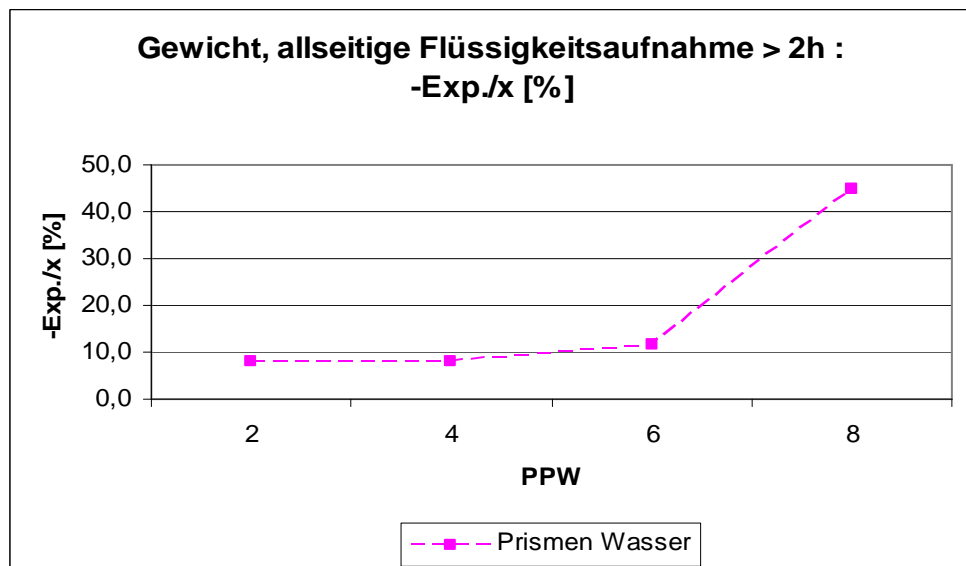


Diagramm 3.6.1.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

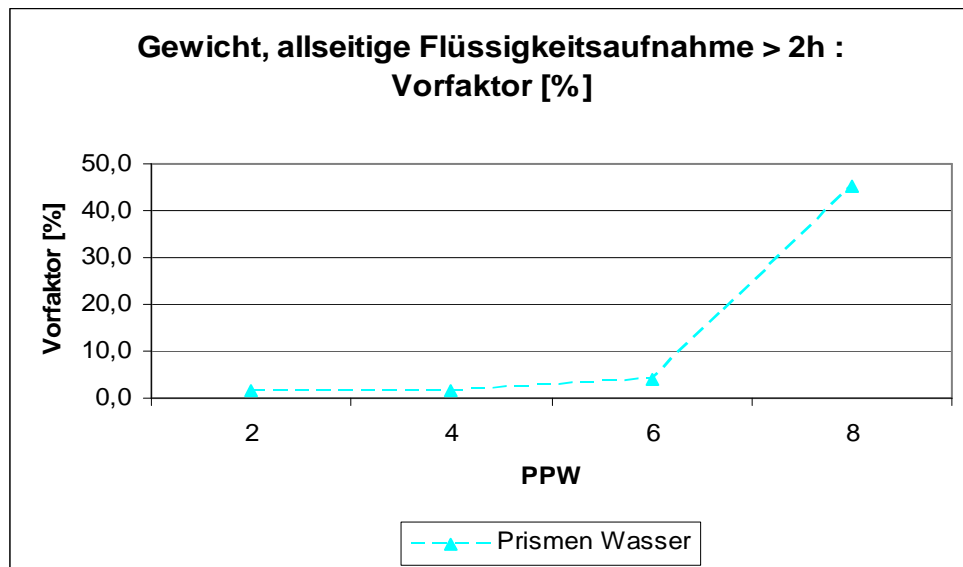


Diagramm 3.6.1.6.

3.6.1.1. Bezug auf niedrigste PPW-Festigkeitsklasse

Die oben angegebenen Verhältnisse werden noch offensichtlicher, falls auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse Bezug genommen wird, vgl. die nachfolgenden Diagramme:

- Diagramm 3.6.1.1.1.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h: DG / G_0 [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.6.1.1.2.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h: $-Exp./x=t$ [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.6.1.1.3.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h: Vorfaktor [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.6.1.1.4.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h: DG / G_0 [%] von Prismen in Wasser

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Diagramm 3.6.1.1.5.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h: -Exp./x=t [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.6.1.1.6.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h: Vorfaktor [%] von Prismen in Wasser

Versuchsserie : Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			bezogen auf Wasser PPW 2			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	100,0	100,0	100,0	2,0
		4	92,1	105,2	99,9	2,0
		6	44,1	87,0	72,4	2,0
		8	31,7	39,4	65,1	2,0

Tabelle 3.6.1.1.1.

Versuchsserie : Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			bezogen auf Wasser PPW 2			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	100,0	100,0	100,0	10,0
		4	92,0	100,0	88,9	10,0
		6	44,9	143,1	240,1	10,0
		8	38,2	554,5	2790,1	10,0

Tabelle 3.6.1.1.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt hinsichtlich der Versuchsserie V 2 insbesondere;

- Bezogen auf den Porenbeton **Wasser- PPW 2 [100%]** liegt beim Porenbeton PPW 8
 - die relative Gewichtszunahme (DG/G_0) des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs
bei ~ 32 % und bei ~ 38 %
 - der spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x [%]) des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs
bei ~ 39 % und bei ~ 554 %
 - der Vorfaktor des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs
bei 65 % und bei 2.790 %

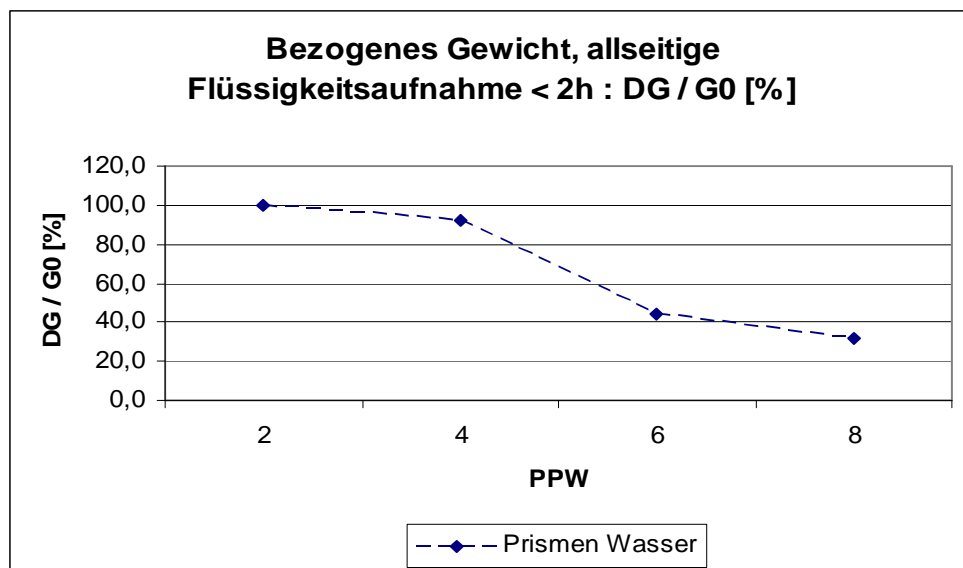


Diagramm 3.6.1.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

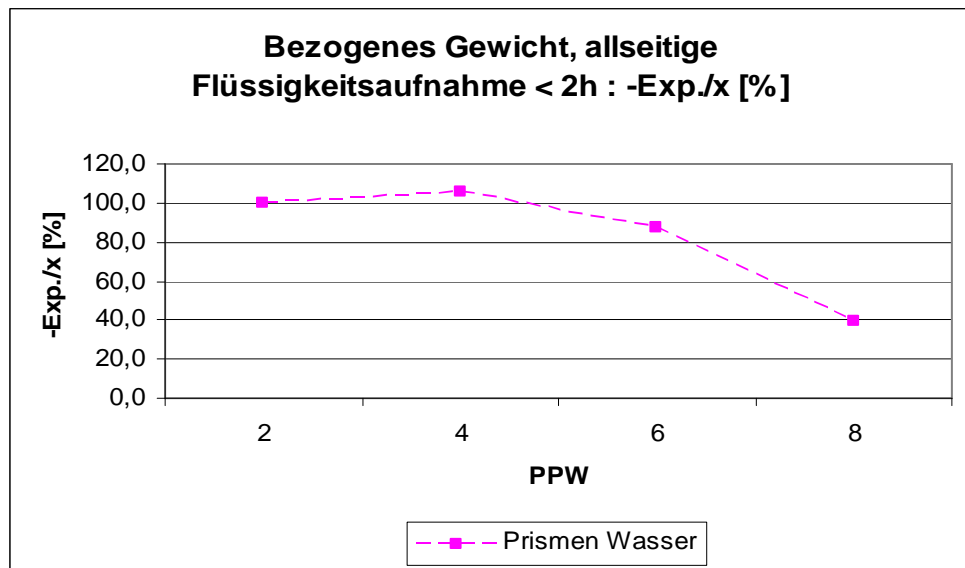


Diagramm 3.6.1.1.2.

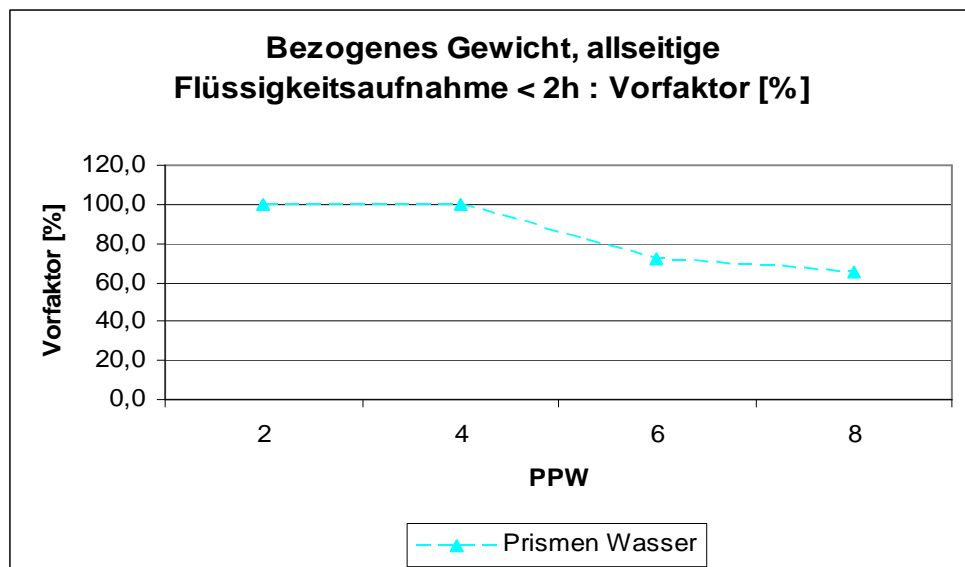


Diagramm 3.6.1.1.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

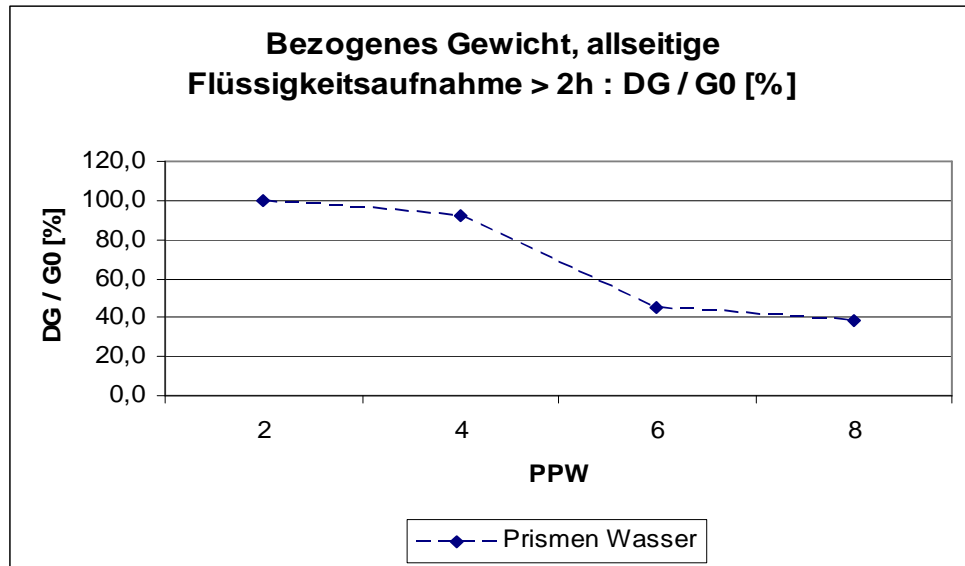


Diagramm 3.6.1.1.4.

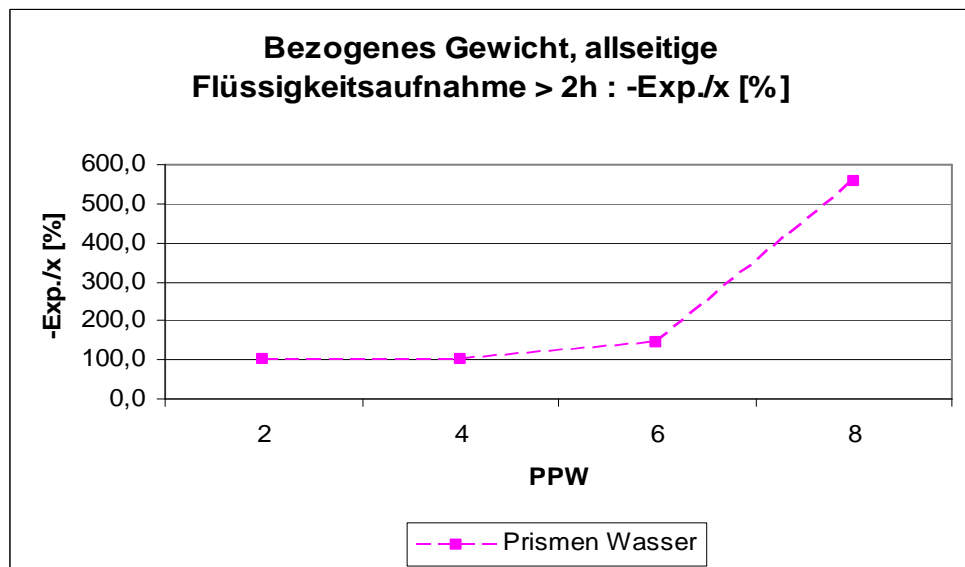


Diagramm 3.6.1.1.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

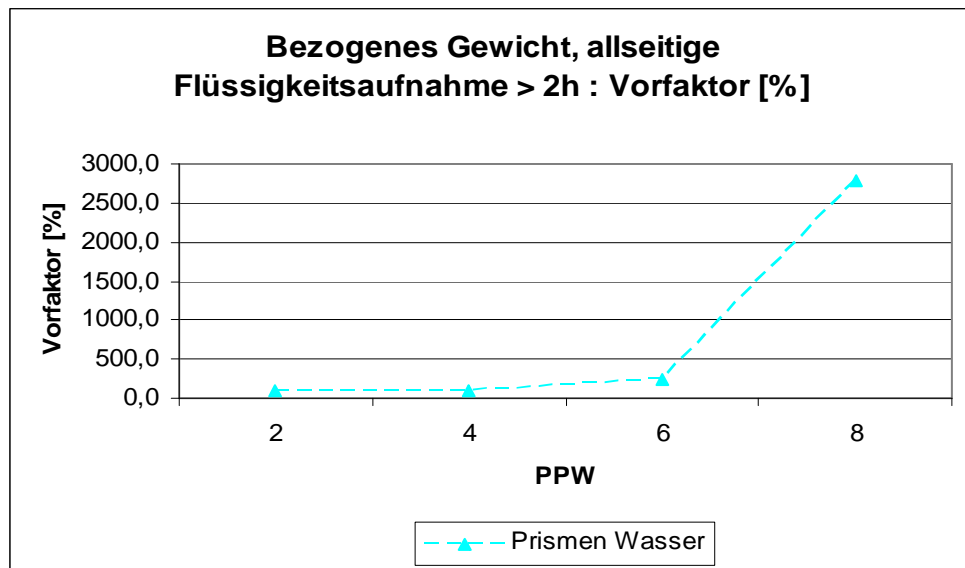


Diagramm 3.6.1.1.6.

3.7. Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 3

Nachfolgend werden die Messwerte der Versuchsserie V 3 wiedergegeben (allseitige Ölaufnahme von Prismen):

- Diagramm 3.7.1.: Gesamtgewicht [g] von Prismen in Heizöl
- Diagramm 3.7.2.: Absolute Gewichtszunahme DG [g] von Prismen in Heizöl
- Diagramm 3.7.3.: Relative Gewichtszunahme DG / G_0 [%] von Prismen in Heizöl
- Diagramm 3.7.4.: Relative Gewichtszunahme DG / DG_{Max} [%] von Prismen in Heizöl
- Diagramm 3.7.5.: $[1 - (DG / DG_{Max})]$ bis 2 h von Prismen in Heizöl [x= Zeit [h]]
- Diagramm 3.7.6.: $[1 - (DG / DG_{Max})]$ ab 2 h von Prismen in Heizöl [x= Zeit [h]]

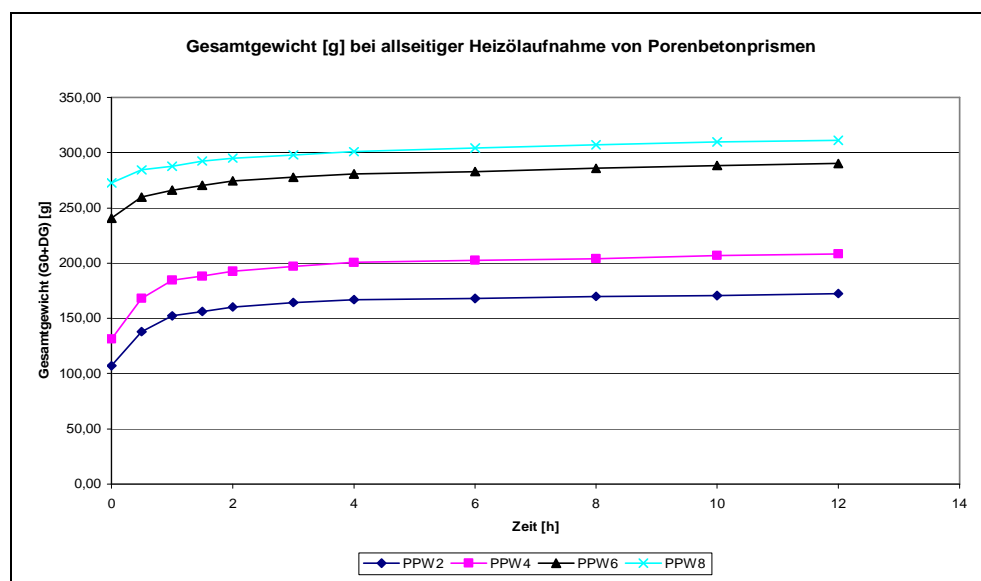


Diagramm 3.7.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

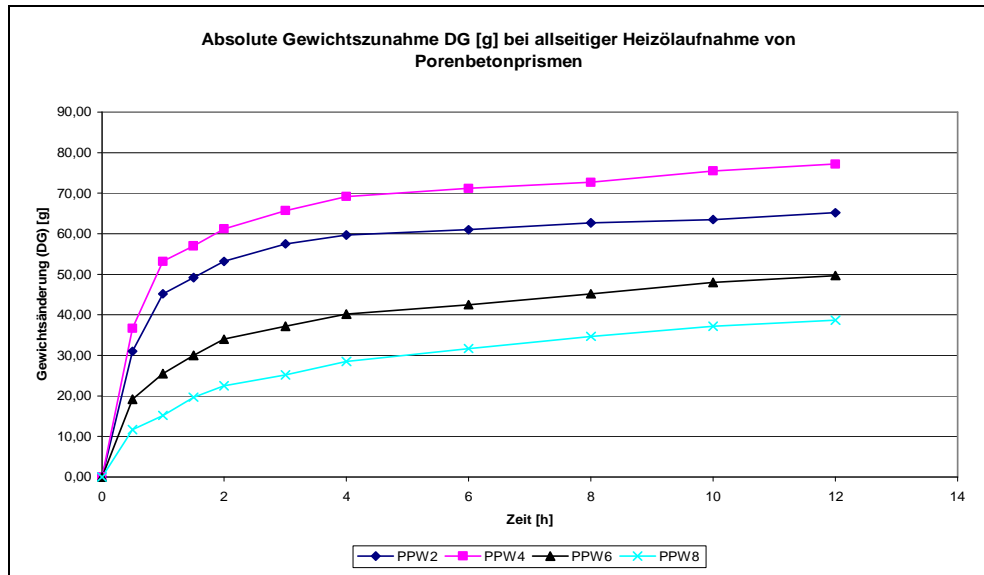


Diagramm 3.7.2.

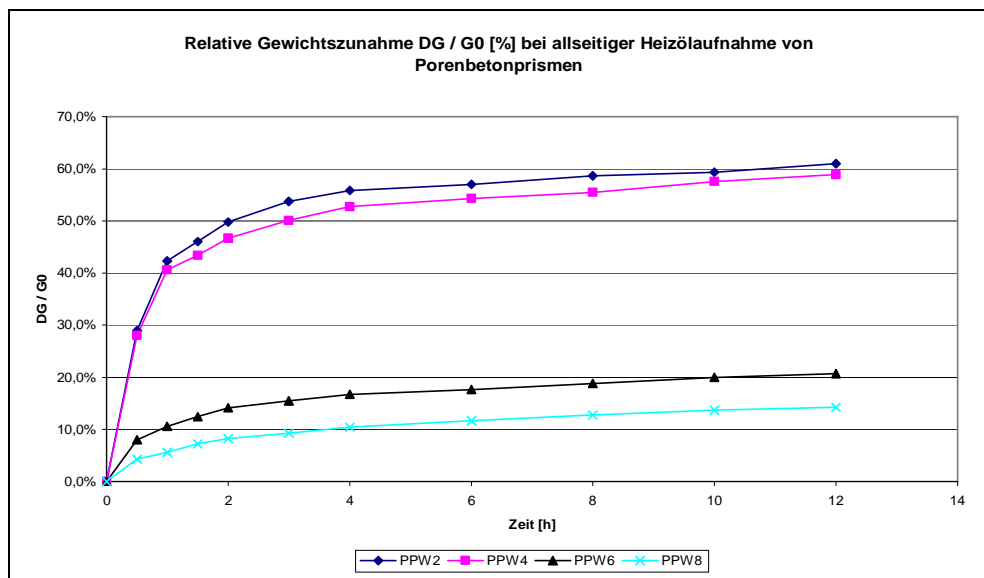


Diagramm 3.7.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

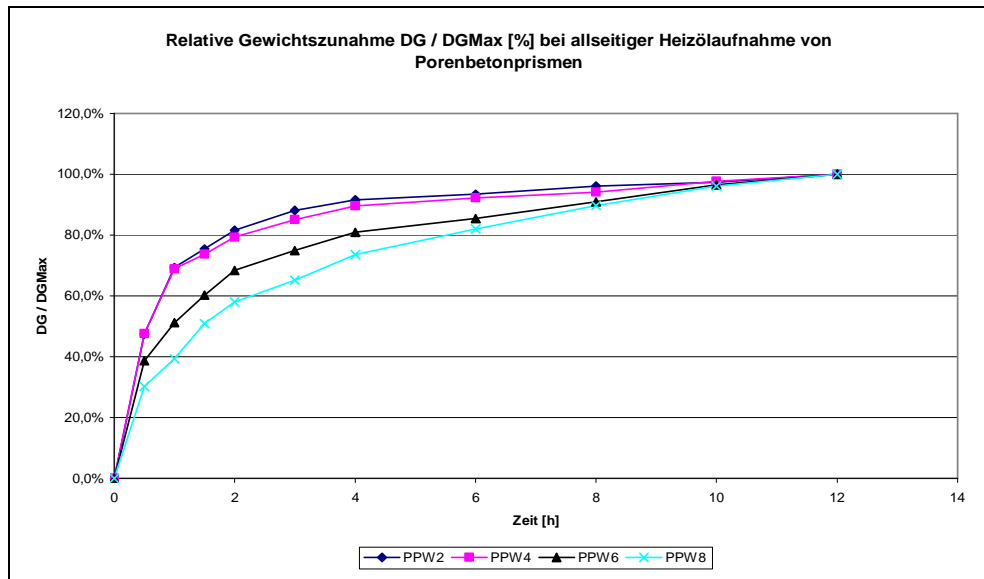


Diagramm 3.7.4.

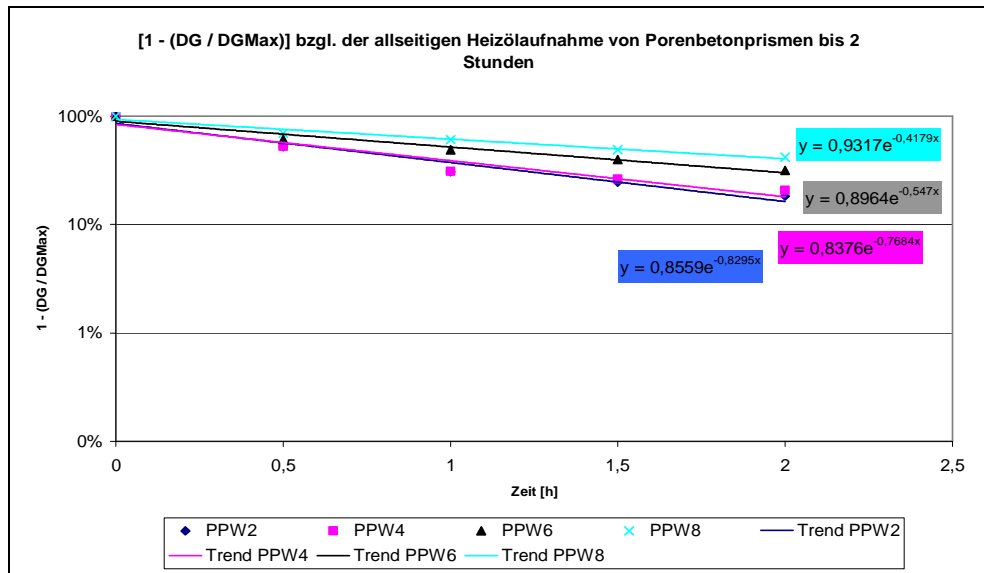


Diagramm 3.7.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

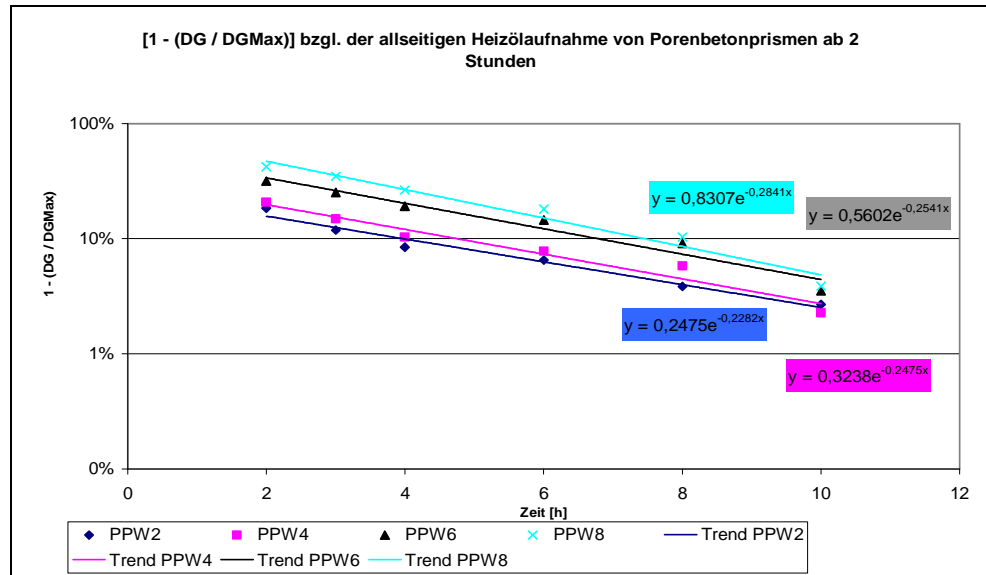


Diagramm 3.7.6.

3.7.1 Auswertung / Versuchsserie V 3

Die nachfolgenden graphischen Zusammenfassungen enthalten folgende Zuordnungen:

- Diagramm 3.7.1.1.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h: DG / G0 [%] von Prismen in Öl
- Diagramm 3.7.1.2.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h: -Exp./x=t [%] von Prismen in Öl
- Diagramm 3.7.1.3.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h: Vorfaktor [%] von Prismen in Öl
- Diagramm 3.7.1.4.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h: DG / G0 [%] von Prismen in Öl

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Diagramm 3.7.1.5.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h: -Exp./x=t [%] von Prismen in Öl
- Diagramm 3.7.1.6.: Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h: Vorfaktor [%] von Prismen in Öl

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie : Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Öl	2	49,8	83,0	85,6	2,0
		4	46,7	76,8	83,8	2,0
		6	14,1	54,7	89,6	2,0
		8	8,3	41,8	93,2	2,0

Tabelle 3.7.1.1.

Versuchsserie : Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Öl	2	61,0	22,8	24,8	10,0
		4	58,9	24,8	32,4	10,0
		6	20,7	25,4	56,0	10,0
		8	14,2	28,4	83,1	10,0

Tabelle 3.7.1.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 3 insbesondere:

- Relative Gewichtszunahme (DG/G₀) bzgl. des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs:
 - PPW 2 ~ 50 %; schließlich ~ 61 %
 - PPW 4 ~ 47 %; schließlich ~ 59 %
 - PPW 6 ~ 14 %; schließlich ~ 21 %
 - PPW 8 ~ 8 %; schließlich ~ 14 %
 - **Von allen Porenbetonen wird die schließliche Gewichtszunahme nach etwa 10 h erreicht.**
- Spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) bzgl. des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs:
 - PPW 2 ~ 83 %; schließlich ~ 23 %
 - PPW 4 ~ 77 %; schließlich ~ 25 %
 - PPW 6 ~ 55 %; schließlich ~ 25 %
 - PPW 8 ~ 42 %; schließlich ~ 28 %
- Die Summe beider Vorfaktoren einer Porenbeton-Festigkeitsklasse PPW 4 bis PPW 6 liegt im Größenordnungsreich von 100 %

Zusammengefasst gilt insbesondere:

- Mit zunehmender Druckfestigkeit bzw. Rohdichte eines Porenbetons nimmt
 - die relative Gewichtszunahme ab,
 - der spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert im Anfangsbereich ab, im Fortsetzungsbereich etwas zu.
- **Der Porenbeton PPW 8 reichert sich insgesamt genauso schnell mit weniger Öl an, als die anderen Porenbetone mit mehr Öl.**

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

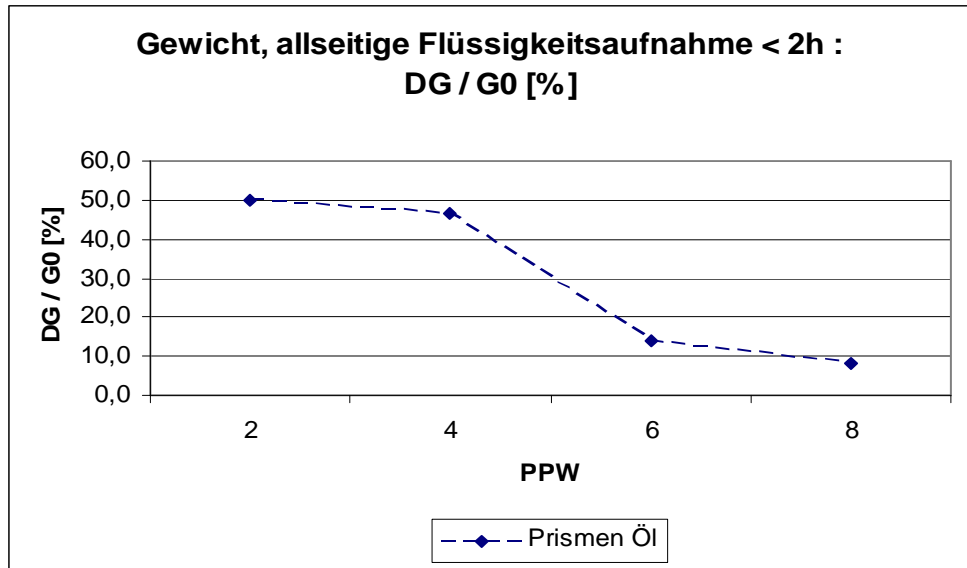


Diagramm 3.7.1.1.

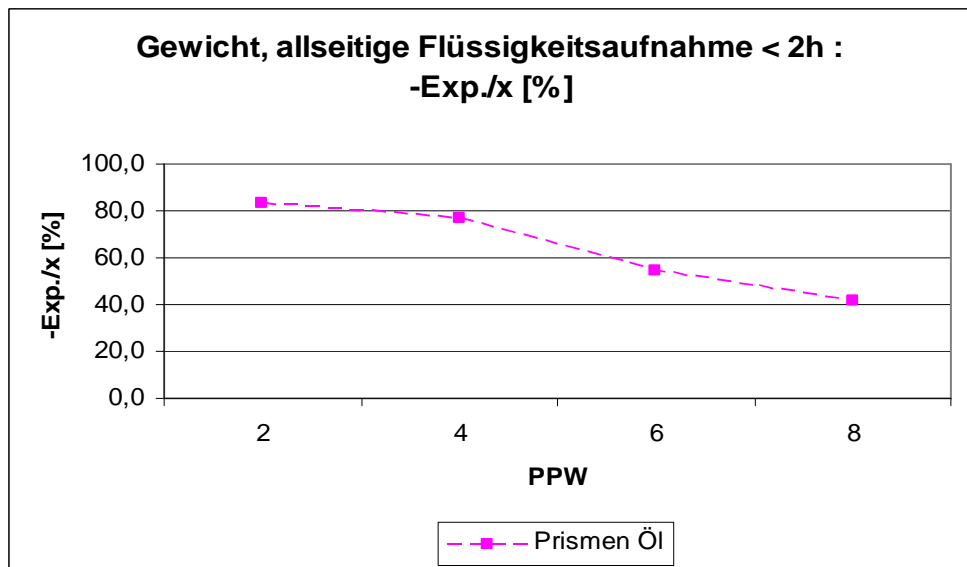


Diagramm 3.7.1.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

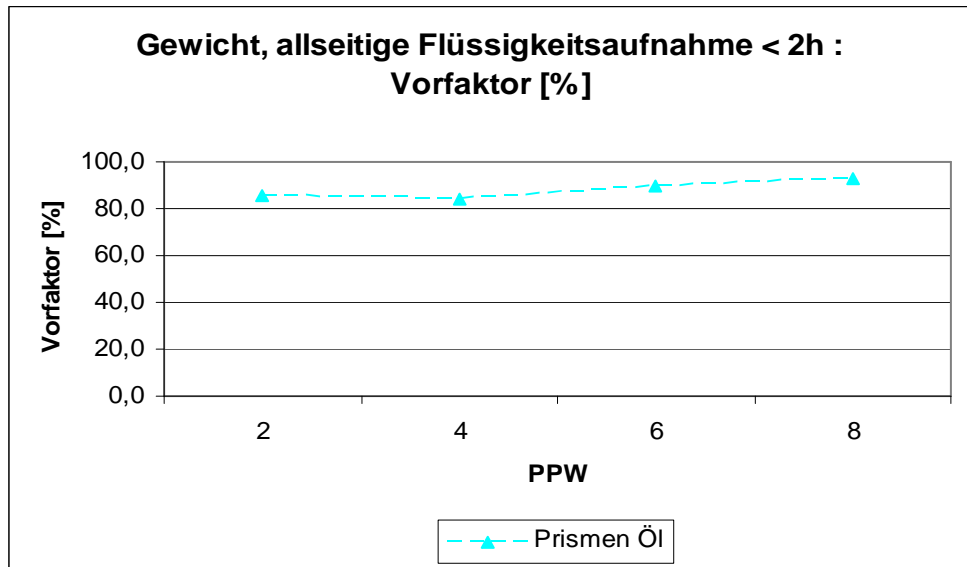


Diagramm 3.7.1.3.

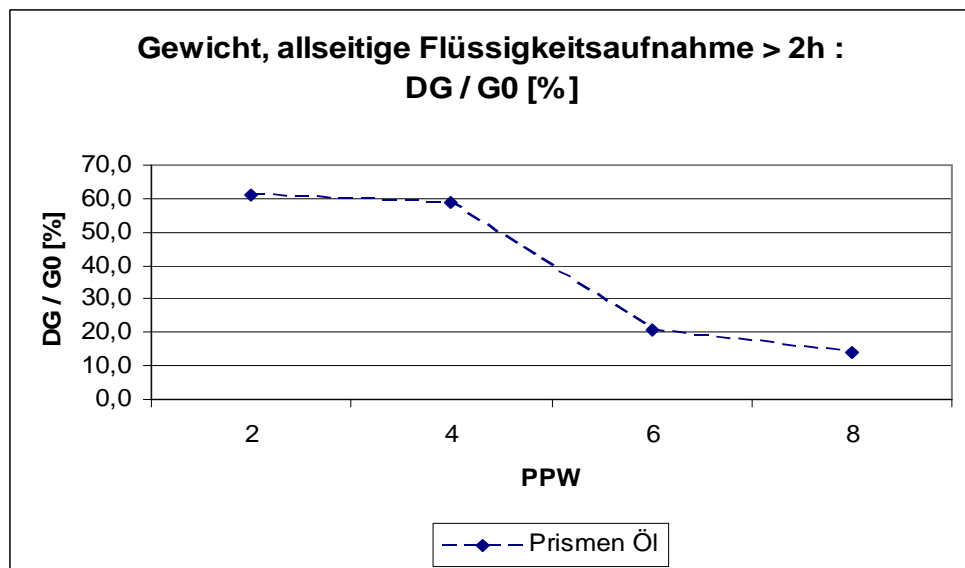


Diagramm 3.7.1.4.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

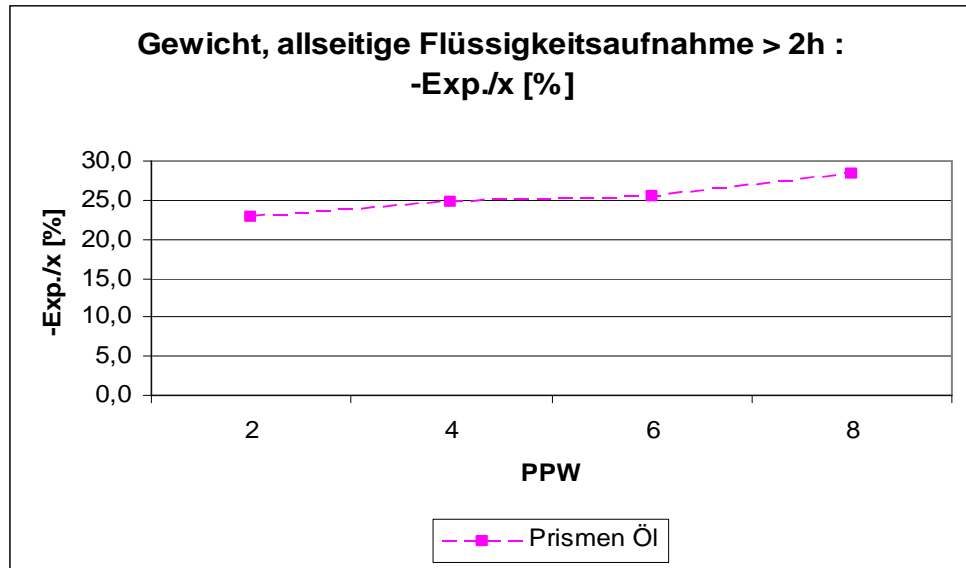


Diagramm 3.7.1.5.

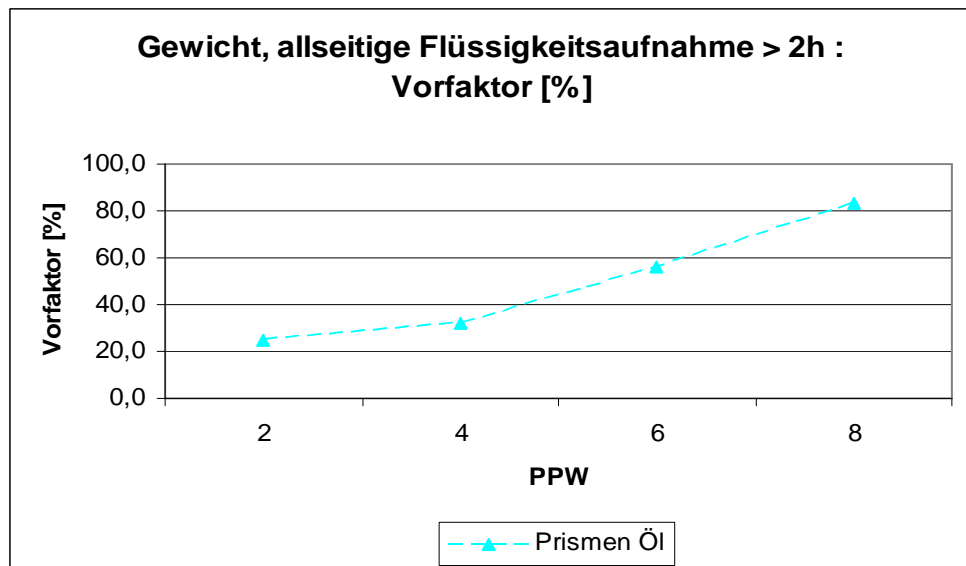


Diagramm 3.7.1.6.

3.7.1.1. Bezug auf die niedrigste PPW- Festigkeitsklasse

Die obig angegebenen Verhältnisse werden noch offensichtlicher, falls auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse Bezug genommen wird, vgl. die nachfolgenden Diagramme:

- Diagramm 3.7.1.1.1.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h: DG / G_0 [%] von Prismen in Öl
- Diagramm 3.7.1.1.2.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h: $-Exp./x=t$ [%] von Prismen in Öl
- Diagramm 3.7.1.1.3.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h: Vorfaktor [%] von Prismen in Öl
- Diagramm 3.7.1.1.4.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h: DG / G_0 [%] von Prismen in Öl
- Diagramm 3.7.1.1.5.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h: $-Exp./x=t$ [%] von Prismen in Öl
- Diagramm 3.7.1.1.6.: Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h: Vorfaktor [%] von Prismen in Öl

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Versuchsserie :
Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			bezogen auf Wasser PPW 2			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Öl	2	65,6	38,1	63,2	2,0
		4	61,5	35,3	61,9	2,0
		6	18,6	25,1	66,2	2,0
		8	10,9	19,2	68,8	2,0

Tabelle 3.7.1.1.1.

Versuchsserie :
Bezogenes Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			bezogen auf Wasser PPW 2			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Öl	2	79,4	282,4	1527,8	10,0
		4	76,6	306,3	1998,8	10,0
		6	26,9	314,5	3458,0	10,0
		8	18,5	351,6	5127,8	10,0

Tabelle 3.7.1.1.2.

Man erkennt hinsichtlich der Versuchsserie V 3 insbesondere:

- Bezogen auf den Porenbeton **Wasser-PPW 2 [100%]** liegt vor
 - die relative Gewichtszunahme (DG/G0) des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs beim

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- PPW 2 ~66 %; dann ~79 %,
- PPW 8 ~11 %; dann ~18 %,

- der spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs beim

- PPW 2 ~38 %; dann ~282 %,
- PPW 8 ~19 %; dann ~351 %,

- der Vorfaktor des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs beim

- PPW 2 ~63 %; dann ~1.528 %,
- PPW 8 ~69 %; dann ~5.128 %,

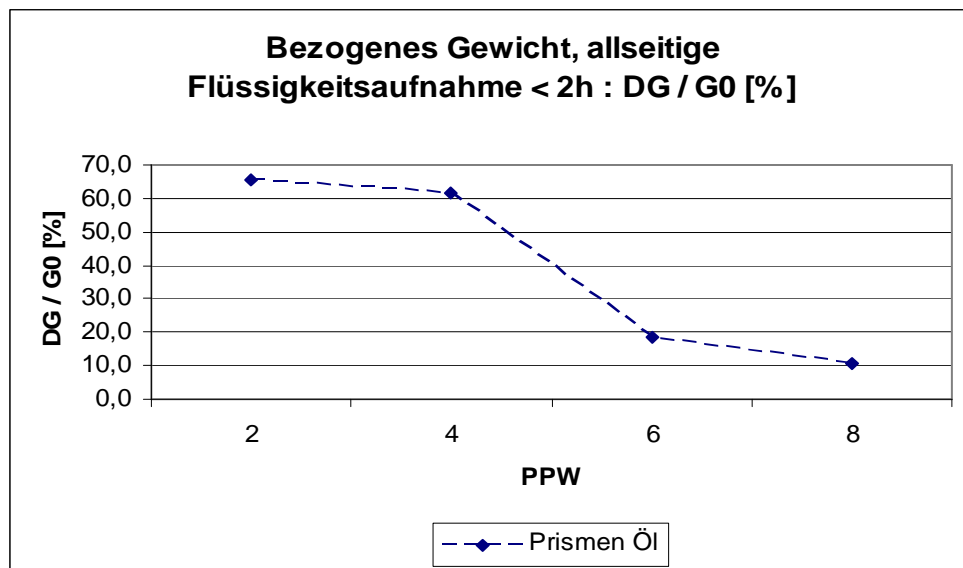


Diagramm 3.7.1.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

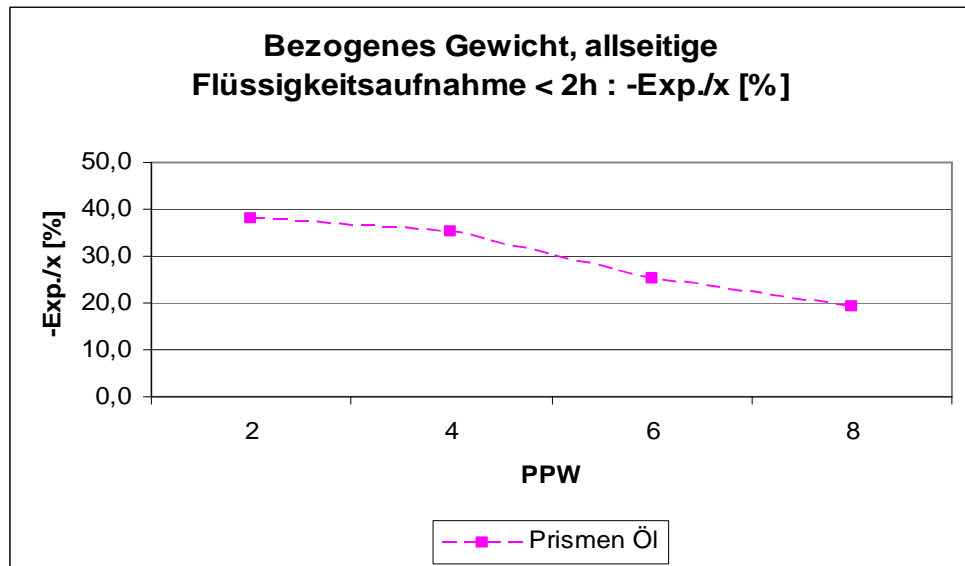


Diagramm 3.7.1.1.2.

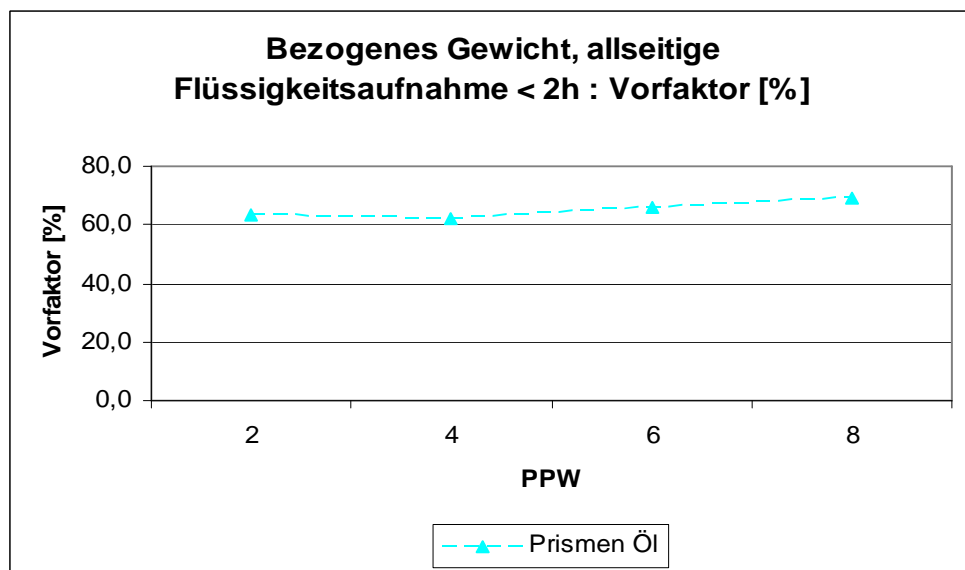


Diagramm 3.7.1.1.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

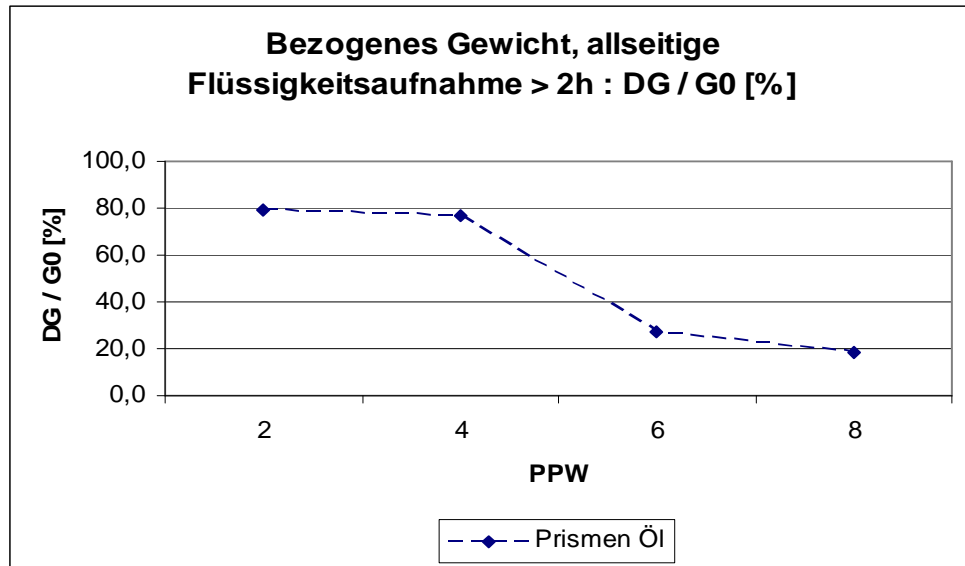


Diagramm 3.7.1.1.4.

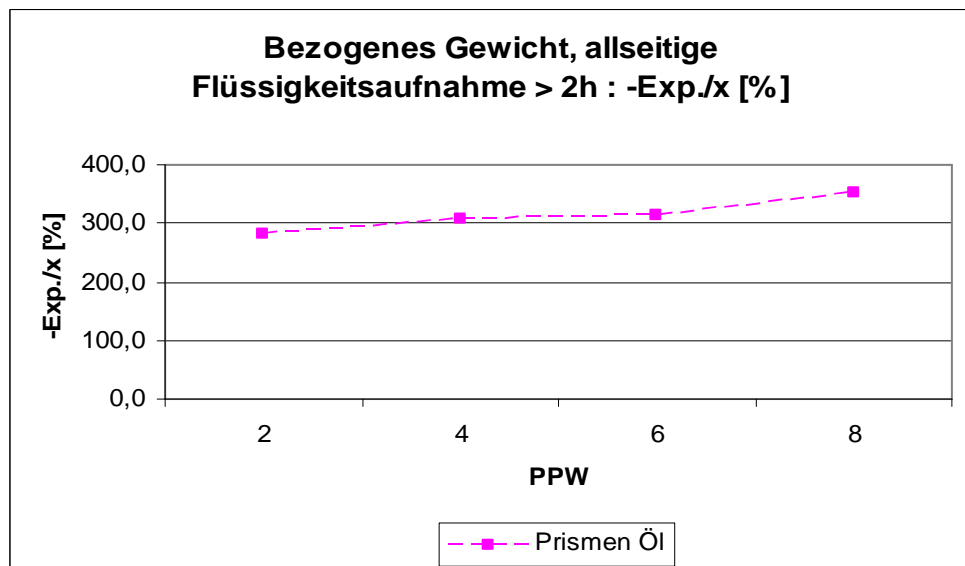


Diagramm 3.7.1.1.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

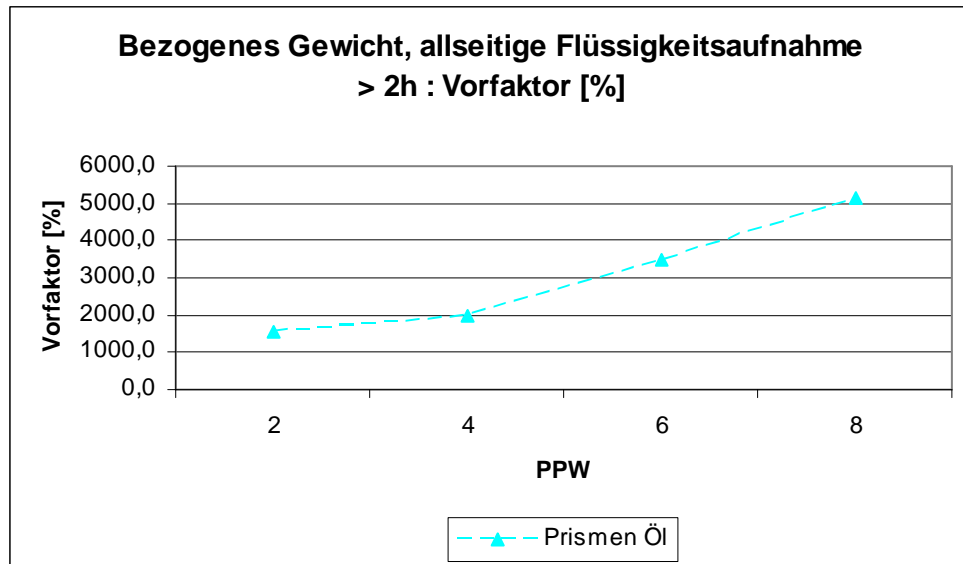


Diagramm 3.7.1.1.6.

3.8. Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 4

Nachfolgend werden die Messwerte der Versuchsserie V 4 wiedergegeben:

- Diagramm 3.8.1.: Eindringtiefe h [cm] von Wasser in Würfel
- Diagramm 3.8.2.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] von Wasser in Würfel [x= Zeit [h]]
- Diagramm 3.8.3.: Eindringtiefe h [cm] von Schmutz-Wasser in Würfel
- Diagramm 3.8.4.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] von Schmutz-Wasser in Würfel [x= Zeit [h]]
- Diagramm 3.8.5.: Eindringtiefe h [cm] von Heizöl in Würfel
- Diagramm 3.8.6.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] von Heizöl in Würfel [x= Zeit [h]]

Maximale Eindringtiefe: Würfellänge (14cm)

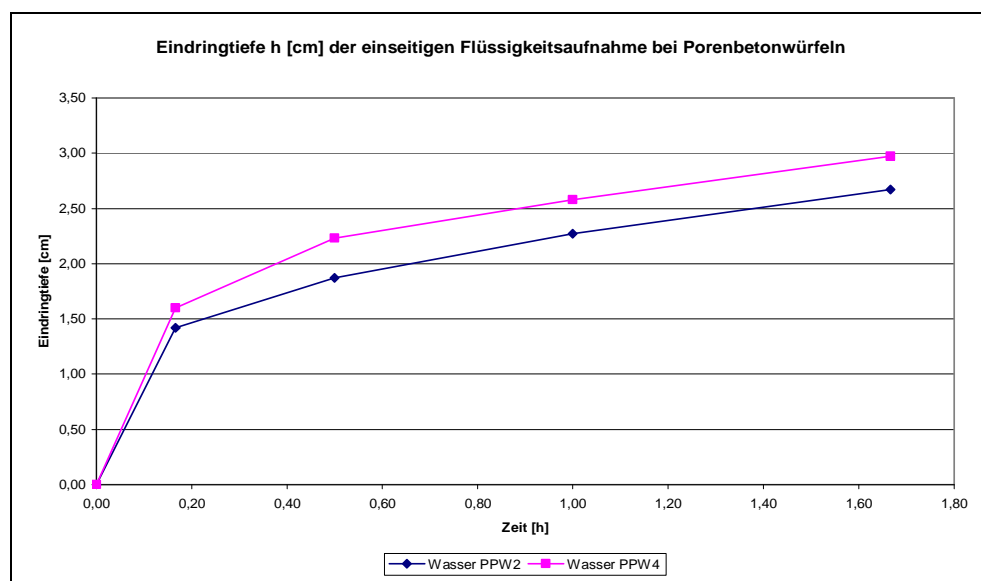


Diagramm 3.8.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

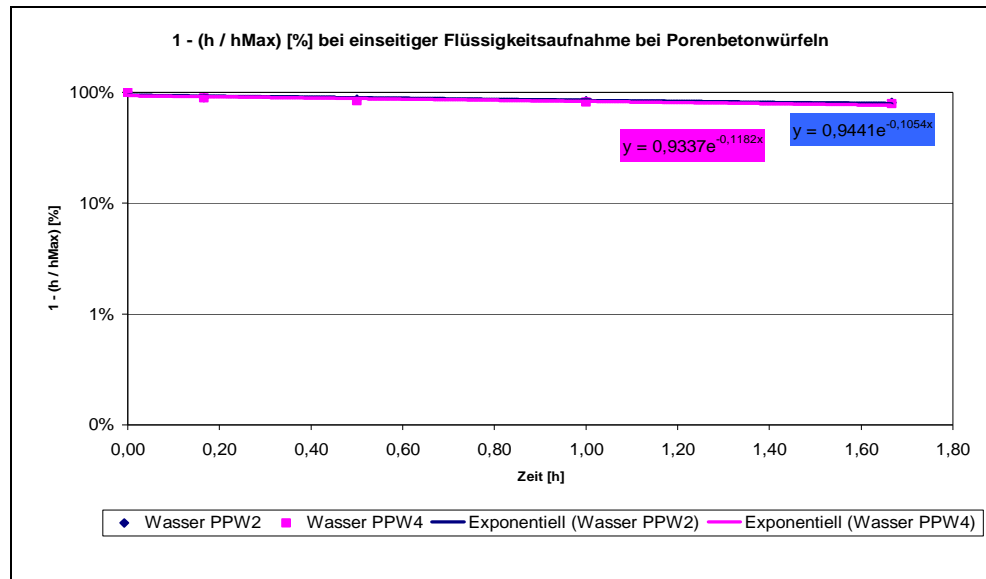


Diagramm 3.8.2.

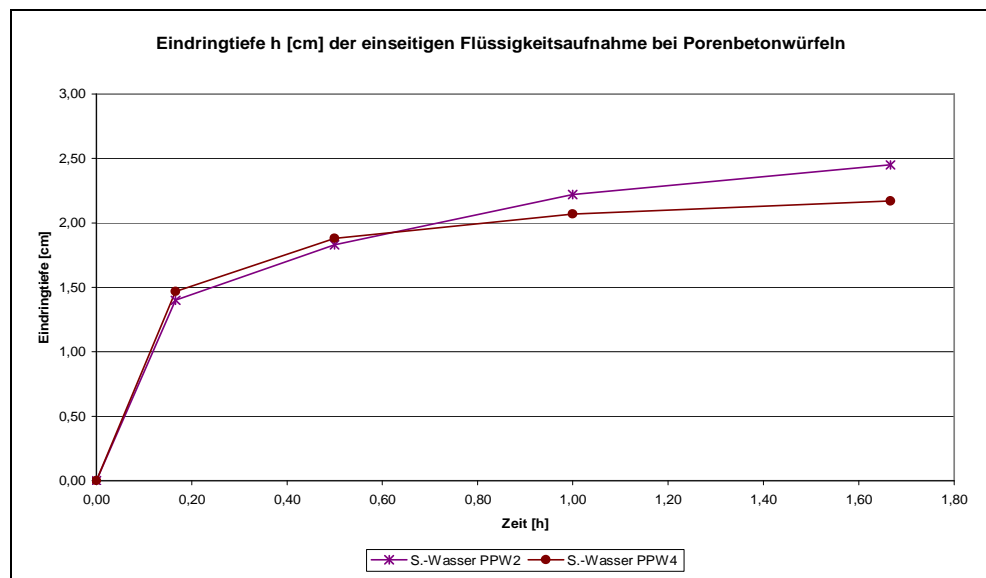


Diagramm 3.8.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

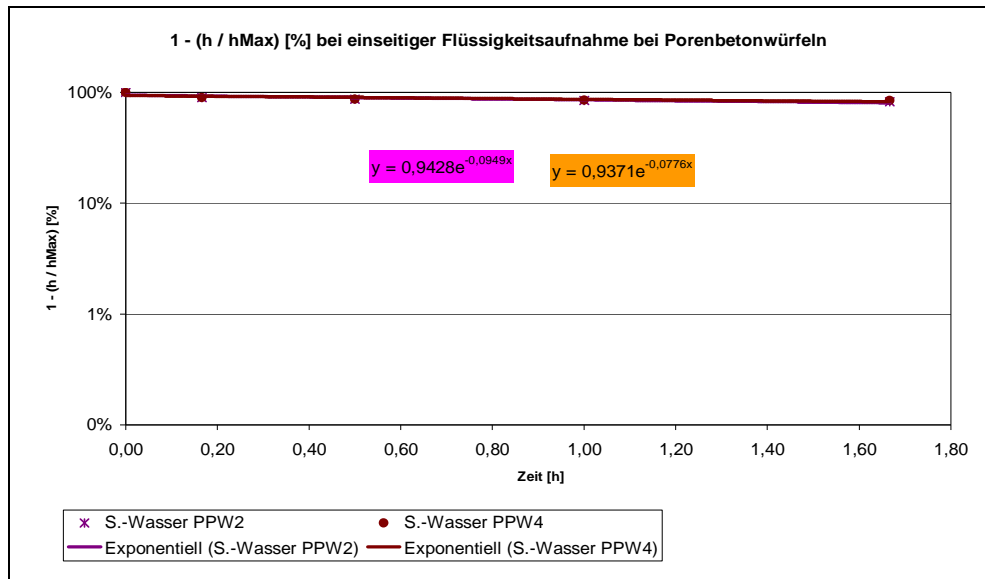


Diagramm 3.8.4.

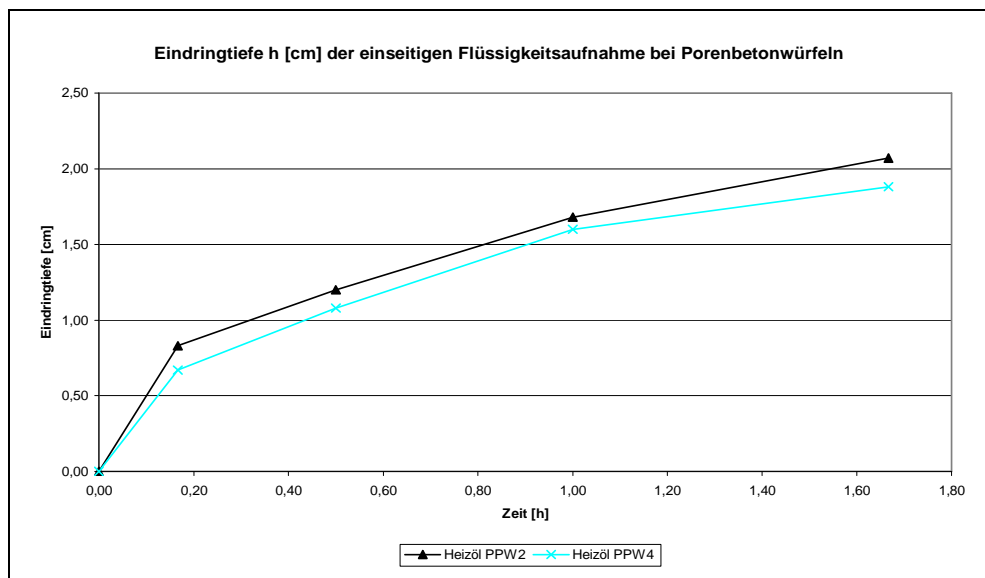


Diagramm 3.8.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

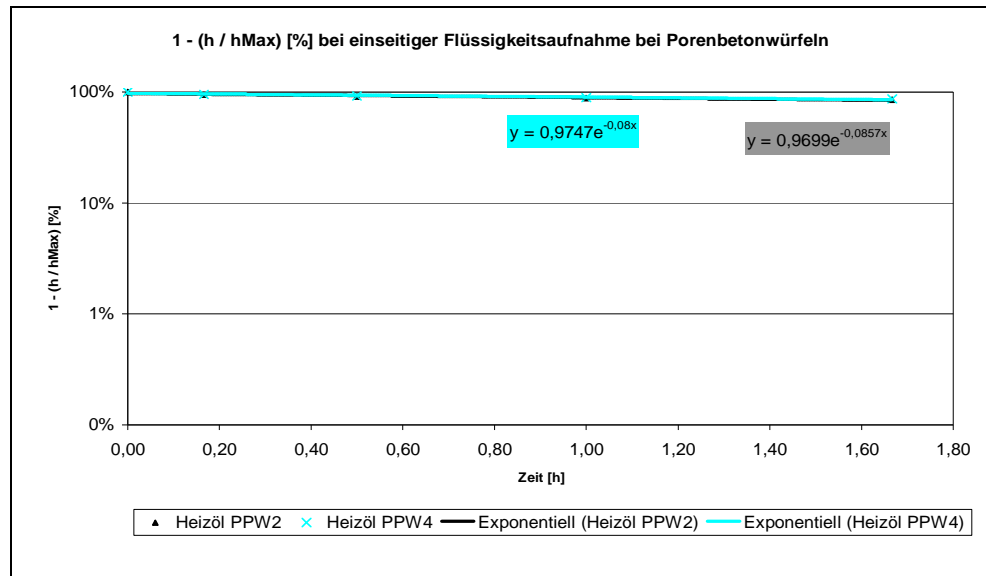


Diagramm 3.8.6.

Nachfolgend werden die Versuchsergebnisse bzgl. sämtlicher Flüssigkeiten zusammengefasst angegeben.

- Diagramm 3.8.7.: Eindringtiefe h [cm] der Flüssigkeiten
- Diagramm 3.8.8.: [1-(h / hMax)] [%] der Flüssigkeiten [x= Zeit [h]]

Maximale Eindringtiefe: Würfellänge (14cm)

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

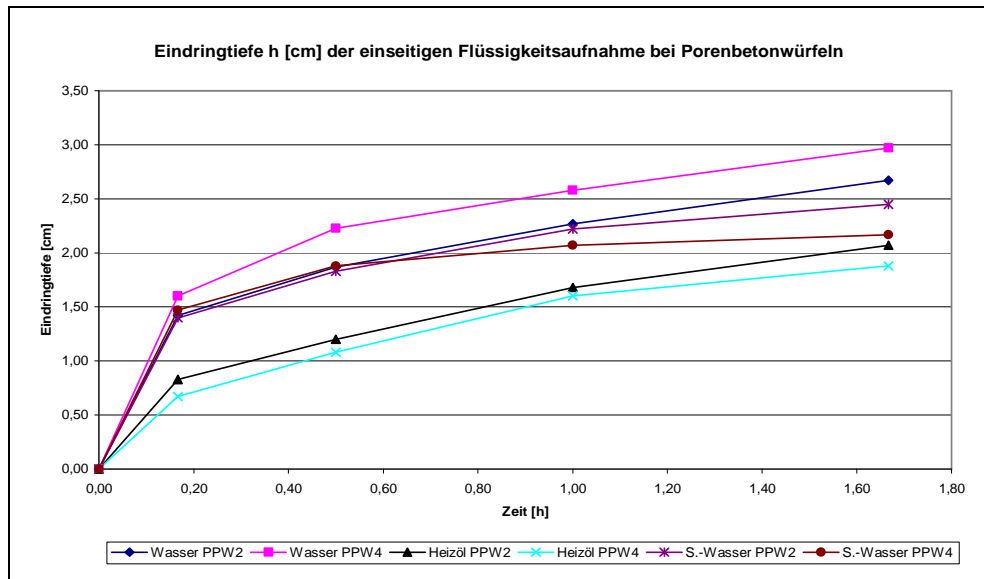


Diagramm 3.8.7.

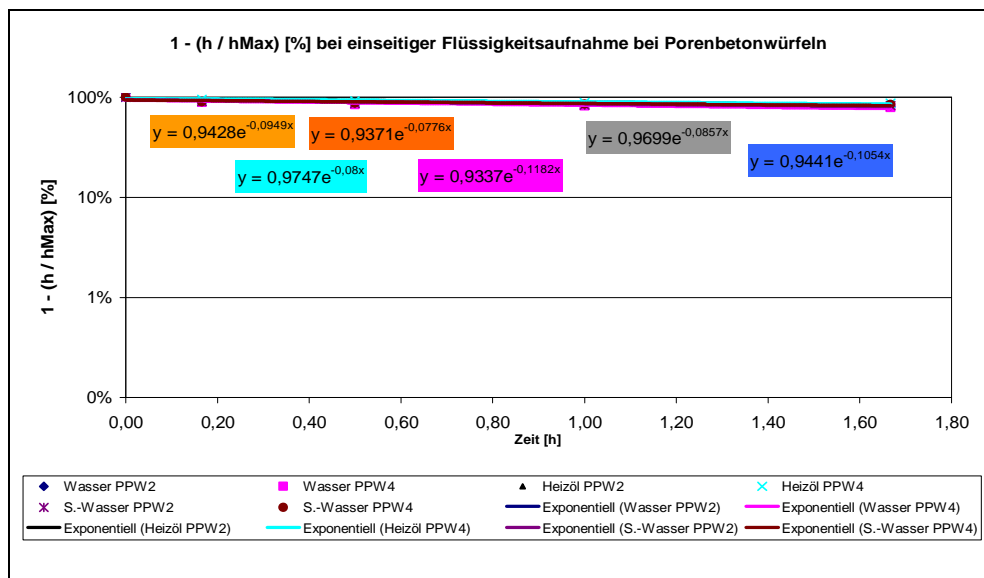


Diagramm 3.8.8.

3.8.1. Auswertung / Versuchsserie V 4

Die in den nachfolgenden graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden tabellarisch wiedergegeben.

- Diagramm 3.8.1.: Eindringtiefe, einseitige Flüssigkeitsaufnahme: $-Exp./x=t$ [%] bei Würfeln
- Diagramm 3.8.2.: Eindringtiefe, einseitige Flüssigkeitsaufnahme: Vorfaktor [%] bei Würfeln

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie : Eindringtiefe, einseitige Flüssigkeitsaufnahme

Körper	Medium	PPW	$-Exp./x=t$ [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Wasser	2	10,5	94,4	1,67
		4	11,8	93,4	1,67
Würfel	S.-Wasser	2	9,5	94,3	1,67
		4	7,8	93,7	1,67
Würfel	Öl	2	8,6	97,0	1,67
		4	8,0	97,5	1,67

Tabelle 3.8.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 4 insbesondere:

- Spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) bzgl. des Anfangsbereichs:
 - Wasser
 - PPW 2 ~10 %
 - PPW 4 ~12 %
 - Schmutz-Wasser
 - PPW 2 ~ 9 %
 - PPW 4 ~ 8 %
 - Öl
 - PPW 2 ~ 9 %
 - PPW 4 ~ 8 %
- Die Vorfaktoren liegen im Bereich von 100 %

Zusammengefasst gilt insbesondere:

- **Die Druckfestigkeitssteigerung PPW 4/PPW 2 wirkt sich auf den spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert nicht kennzeichnend aus.**

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

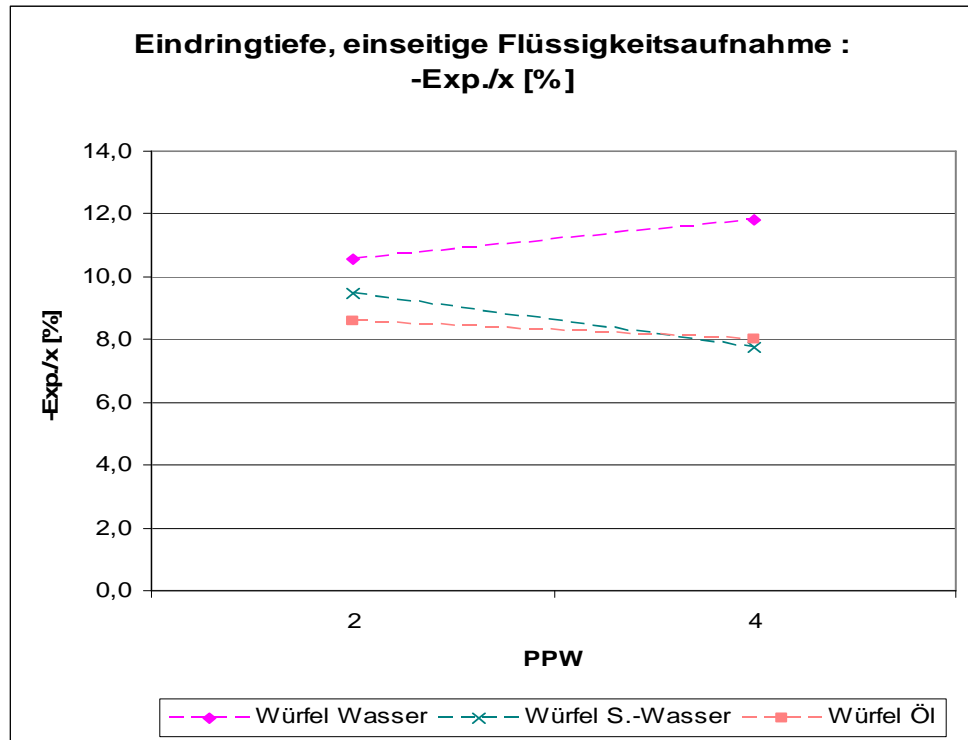


Diagramm 3.8.1.

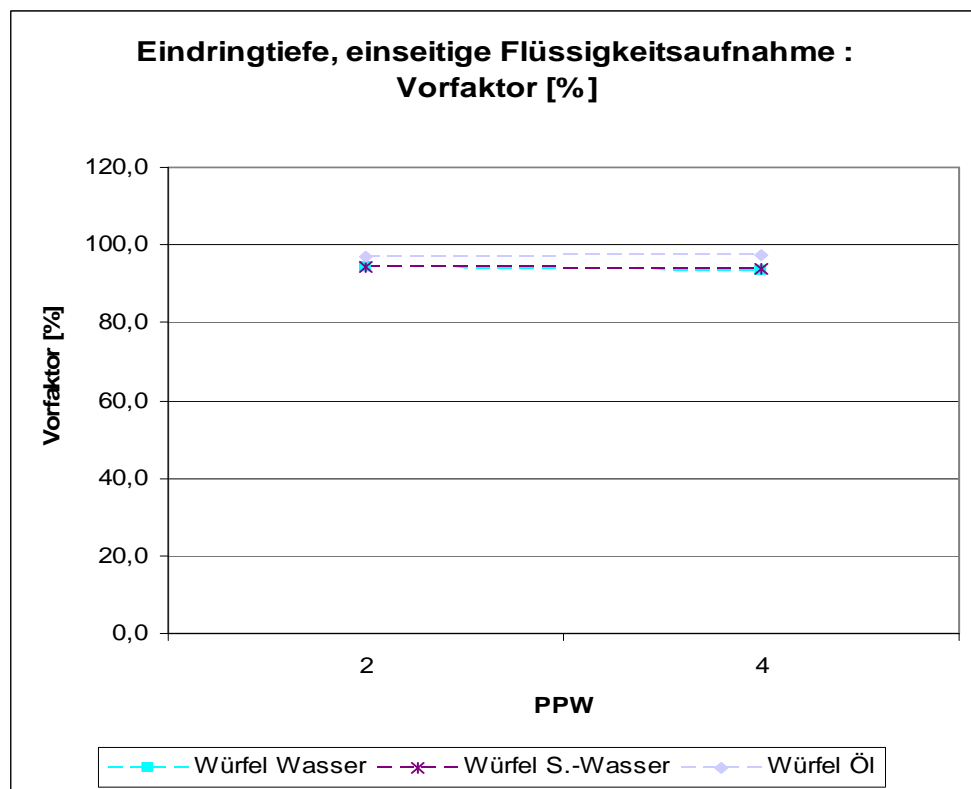


Diagramm 3.8.2.

3.8.1.1. Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse

Die obig angegebenen Verhältnisse werden noch offensichtlicher, falls auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse Bezug genommen wird.

- Diagramm 3.8.1.1.1.: Bezogene Eindringtiefe, einseitige Flüssigkeitsaufnahme: $-Exp./x=t$ [%] bei Würfeln
- Diagramm 3.8.1.1.2: Bezogene Eindringtiefe, einseitige Flüssigkeitsaufnahme: Vorfaktor [%] bei Würfeln

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie :
Bezog. Eindringtiefe, einseitige Flüssigkeitsaufnahme

Körper	Medium	PPW	bezogen auf Wasser PPW 2		
			-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel Wasser		2	100,0	100,0	1,67
		4	112,1	98,9	1,67
Würfel S.-Wasser		2	90,0	99,9	1,67
		4	73,6	99,3	1,67
Würfel Öl		2	81,3	102,7	1,67
		4	75,9	103,2	1,67

Tabelle 3.8.1.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt hinsichtlich der Versuchsserie V 4 insbesondere:

- Bezogen auf den Porenbeton **Wasser-PPW 2-Wert [100%]** gilt:
 - für den spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert
 - Wasser
 - $PPW\ 2/PPW\ 4 \sim 100/112\ \%$
 - Schmutz-Wasser
 - $PPW\ 2/PPW\ 4 \sim 90/74\ \%$
 - Öl
 - $PPW\ 2/PPW\ 4 \sim 81/76\ \%$
- Die Vorfaktoren liegen im Bereich von 100 %.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

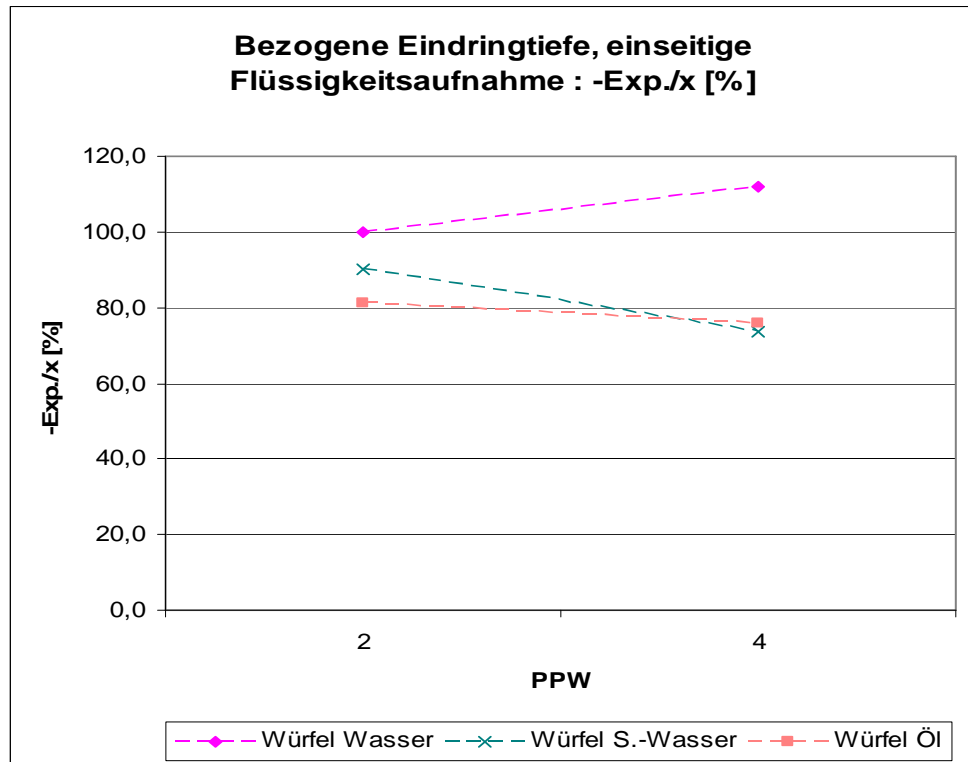


Diagramm 3.8.1.1.1.

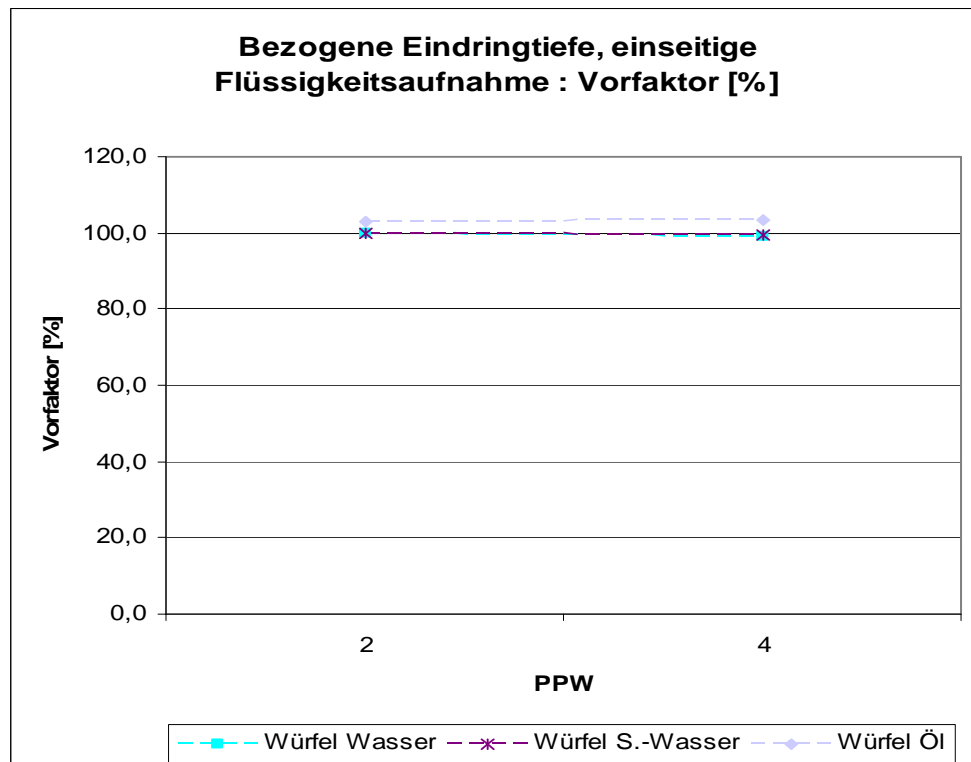


Diagramm: 3.8.1.1.2.

3.9. Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 5

Nachfolgend werden die Messwerte der Versuchsserie V 5 wiedergegeben (allseitige Flüssigkeitsaufnahme von Prismen):

- Diagramm 3.9.1.: Eindringtiefe h [cm] von Wasser bei der allseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Prismen
- Diagramm 3.9.2.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] von Wasser bei der allseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Prismen [x = Zeit [h]]
- Diagramm 3.9.3.: Eindringtiefe h [cm] von Schmutz-Wasser der allseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Prismen
- Diagramm 3.9.4.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] von Schmutz-Wasser bei der allseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Prismen [x = Zeit [h]]
- Diagramm 3.9.5.: Eindringtiefe h [cm] von Heizöl bei der allseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Prismen
- Diagramm 3.9.6.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] von Heizöl bei der allseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Prismen [x = Zeit [h]]

Maximale Eindringtiefe: $4/2 = 2\text{cm}$

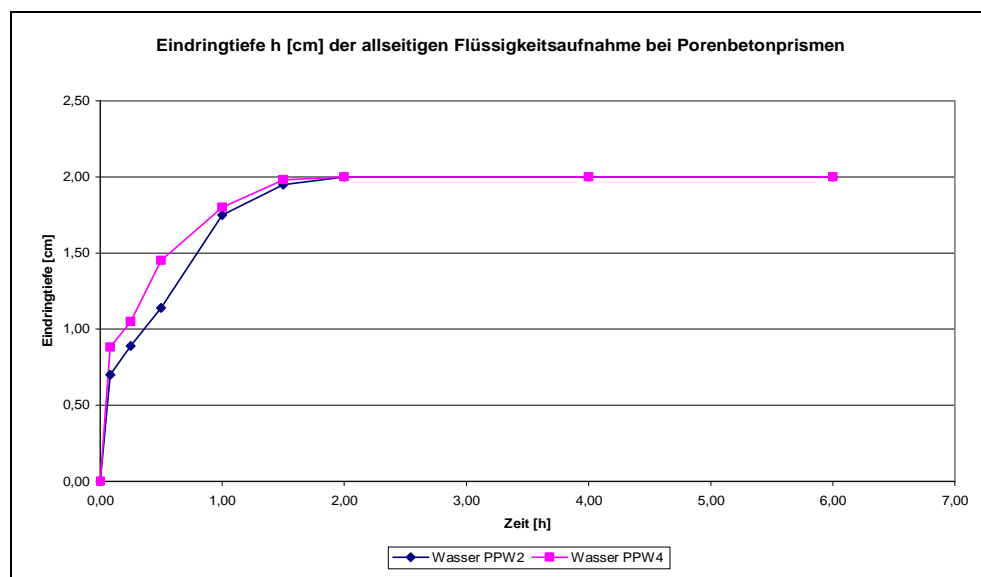


Diagramm 3.9.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

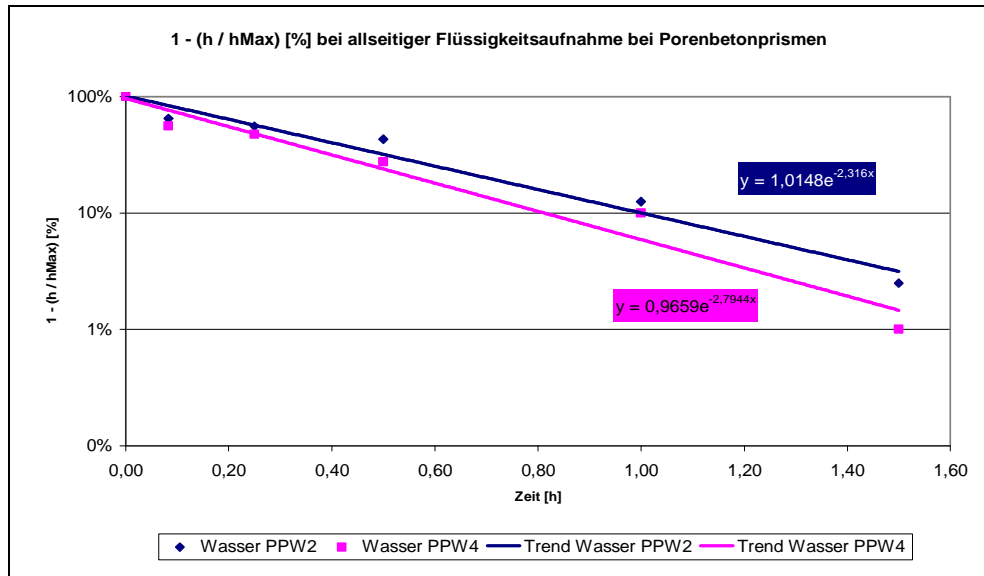


Diagramm 3.9.2.

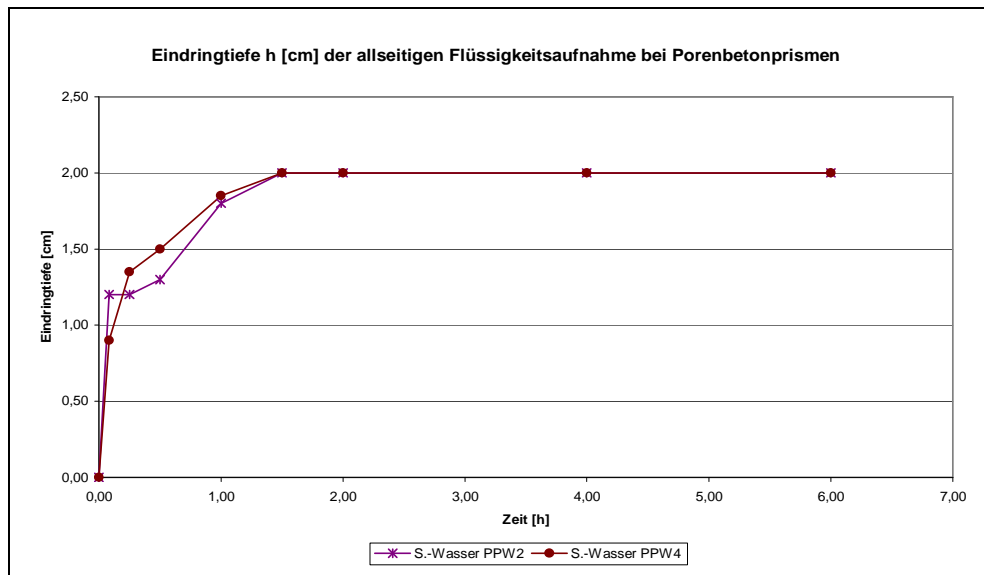


Diagramm 3.9.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

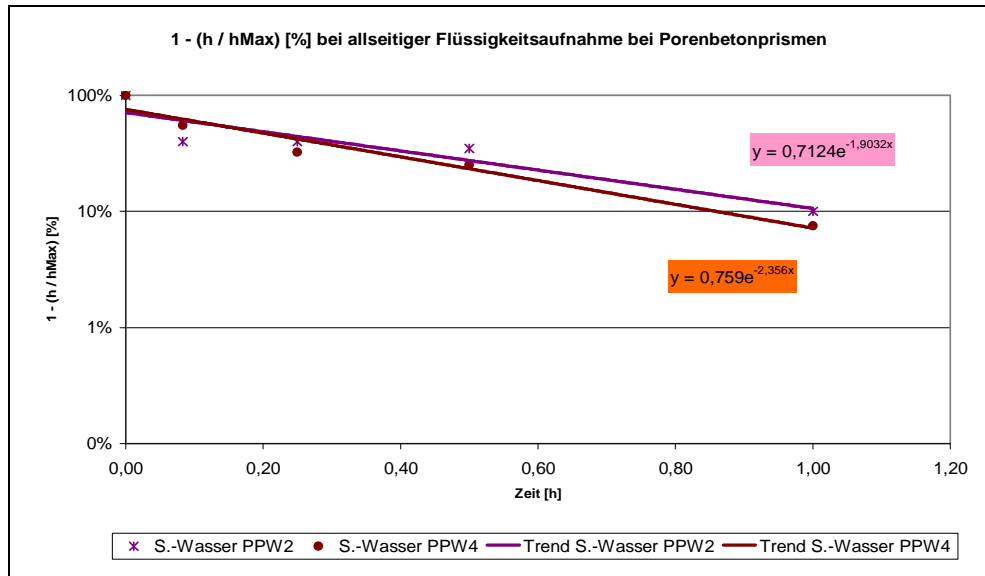


Diagramm 3.9.4.

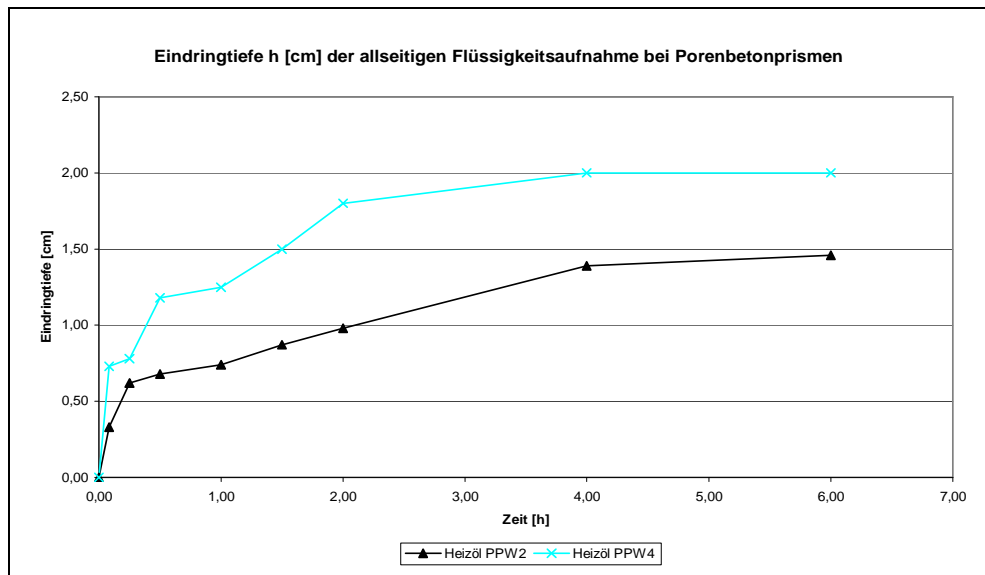


Diagramm 3.9.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

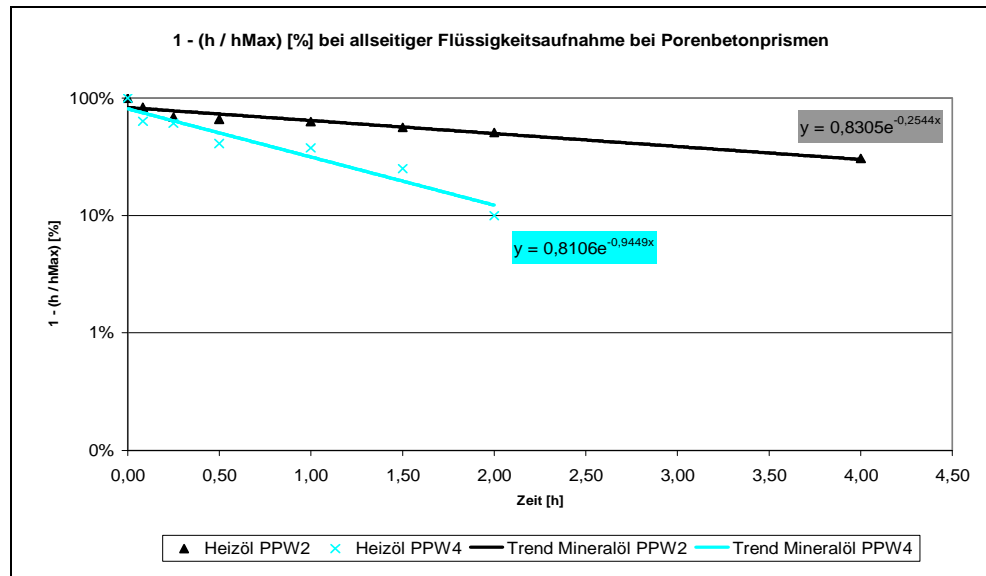


Diagramm 3.9.6.

Nachfolgend werden die Versuchsergebnisse bzgl. sämtlicher Flüssigkeiten zusammengefasst angegeben.

- Diagramm 3.9.7.: Eindringtiefe h [cm] der allseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Prismen
- Diagramm 3.9.8.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] der allseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Prismen [$x = \text{Zeit [h]}$]

Maximale Eindringtiefe: $4/2 = 2\text{cm}$

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

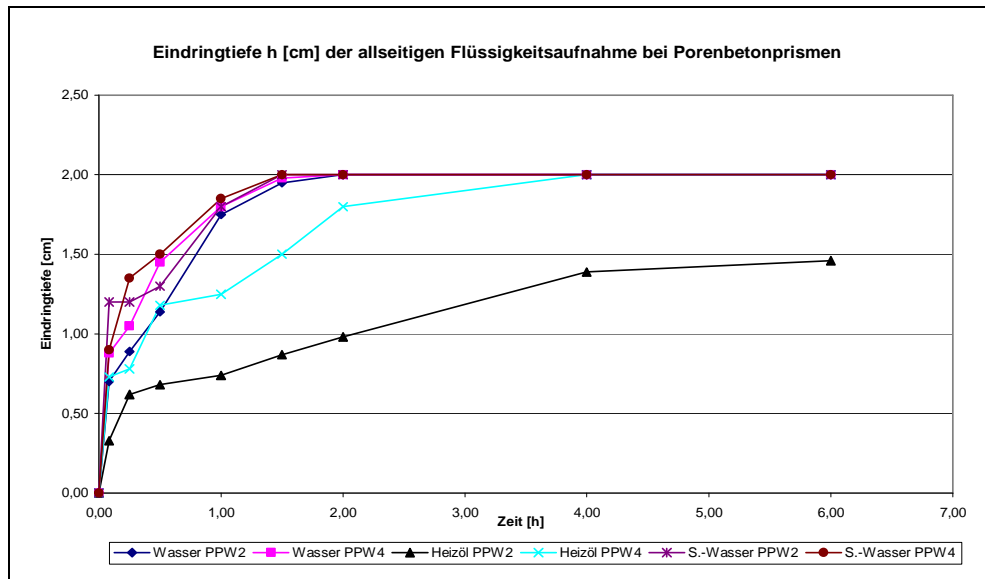


Diagramm 3.9.7.

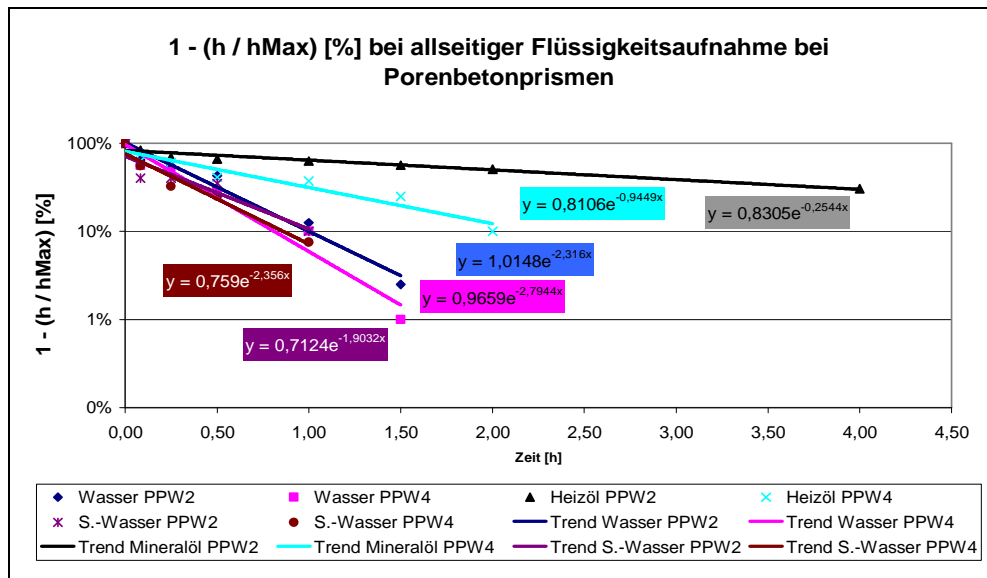


Diagramm 3.9.8.

3.9.1. Auswertung / Versuchsserie V 5

Die in den nachfolgenden graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden tabellarisch wiedergegeben:

- Diagramm 3.9.1.1.: Eindringtiefe, allseitige Flüssigkeitsaufnahme : -Exp./x=t [%] von Prismen
- Diagramm 3.9.1.2.: Eindringtiefe, allseitige Flüssigkeitsaufnahme : Vorfaktor [%] von Prismen

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie : Eindringtiefe, allseitige Flüssigkeitsaufnahme

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	231,6	101,5	6,0
		4	279,4	96,6	6,0
Prismen	S.-Wasser	2	190,3	71,2	6,0
		4	235,6	75,9	6,0
Prismen	Öl	2	25,4	83,1	6,0
		4	94,5	81,1	6,0

Tabelle 3.9.1.1.

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 5 insbesondere:

- Spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) bzgl. des Anfangsbereichs:

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Wasser

- PPW 2 ~ 232 %
- PPW 4 ~ 279 %

- Schmutz-Wasser

- PPW 2 ~ 190 %
- PPW 4 ~ 236 %

- Öl

- PPW 2 ~ 25 %
- PPW 4 ~ 94 %

- Die Vorfaktoren liegen im Bereich von 100 %.

Zusammengefasst gilt insbesondere:

- **Im Vergleich zum Wasser liegen die Schmutzwasser- Werte des spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwertes etwas niedriger, hinsichtlich des Öls erheblich niedriger.**
- **Mit zunehmender Festigkeitsklasse PPW 2/PPW4 nehmen die spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte zu und hinsichtlich des Öls erheblich zu.**

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

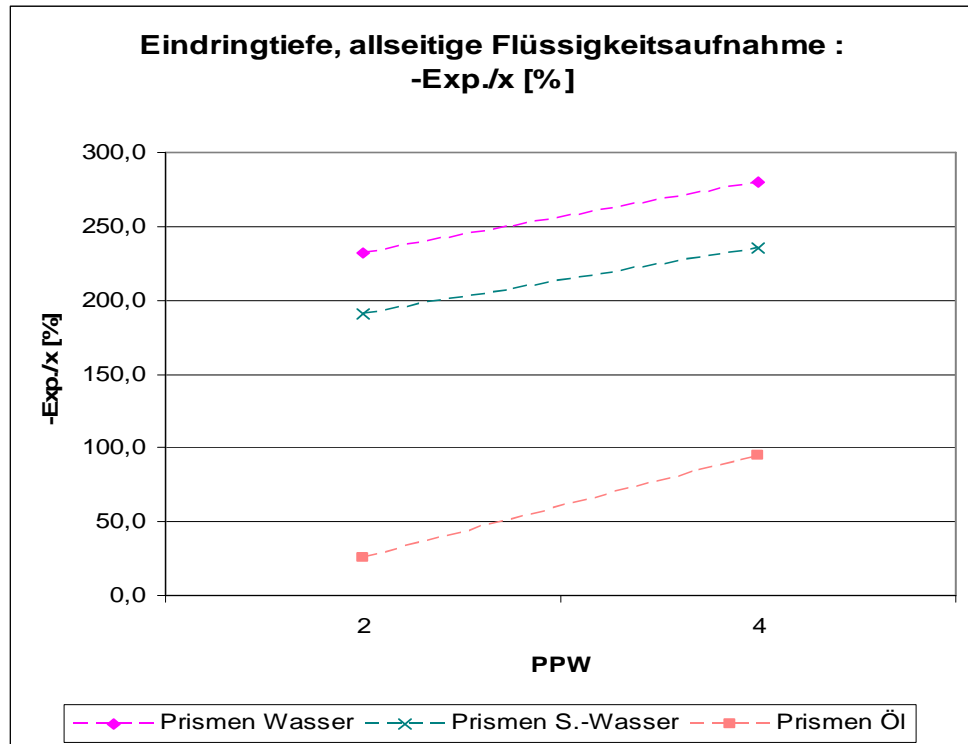


Diagramm 3.9.1.1.

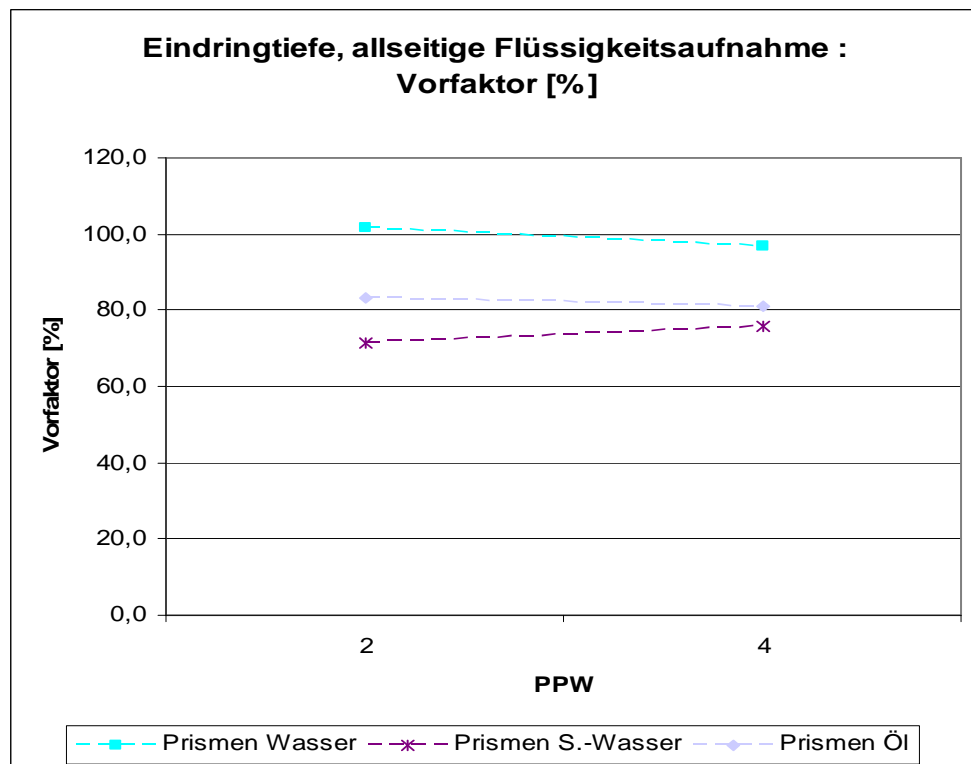


Diagramm 3.9.1.2.

3.9.1.1. Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse

Die oben angegebenen Verhältnisse werden noch offensichtlicher, falls auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse Bezug genommen wird, vgl. die die nachfolgenden Diagramme:

- Diagramm 3.9.1.1.1.: Bezogene Eindringtiefe, allseitige Flüssigkeitsaufnahme: -Exp./x=t [%] von Prismen
- Diagramm 3.9.1.1.2.: Bezogene Eindringtiefe, allseitige Flüssigkeitsaufnahme: Vorfaktor [%] von Prismen

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie : Bezog. Eindringtiefe, einseitige Flüssigkeitsaufnahme

Körper	Medium	PPW	bezogen auf Wasser PPW 2		
			-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	100,0	100,0	6,0
		4	120,7	95,2	6,0
Prismen	S.-Wasser	2	82,2	70,2	6,0
		4	101,7	74,8	6,0
Prismen	Öl	2	11,0	81,8	6,0
		4	40,8	79,9	6,0

Tabelle 3.9.1.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 5 insbesondere:

- Bezogen auf den **Wasser-PPW 2-Wert [100%]** gilt:
 - für den spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) des Anfangsbereichs:
 - Wasser
 - PPW 2 ~ 100 %
 - PPW 4 ~ 121 %
 - Schmutz-Wasser
 - PPW 2 ~ 82 %
 - PPW 4 ~ 102 %
 - Öl
 - PPW 2 ~ 11 %
 - PPW 4 ~ 41 %
- Die Vorfaktoren liegen im Bereich von 100 %

Mit zunehmender Festigkeitsklasse PPW 2/PPW 4 nimmt der spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert zu, hinsichtlich des Öls erheblich zu.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

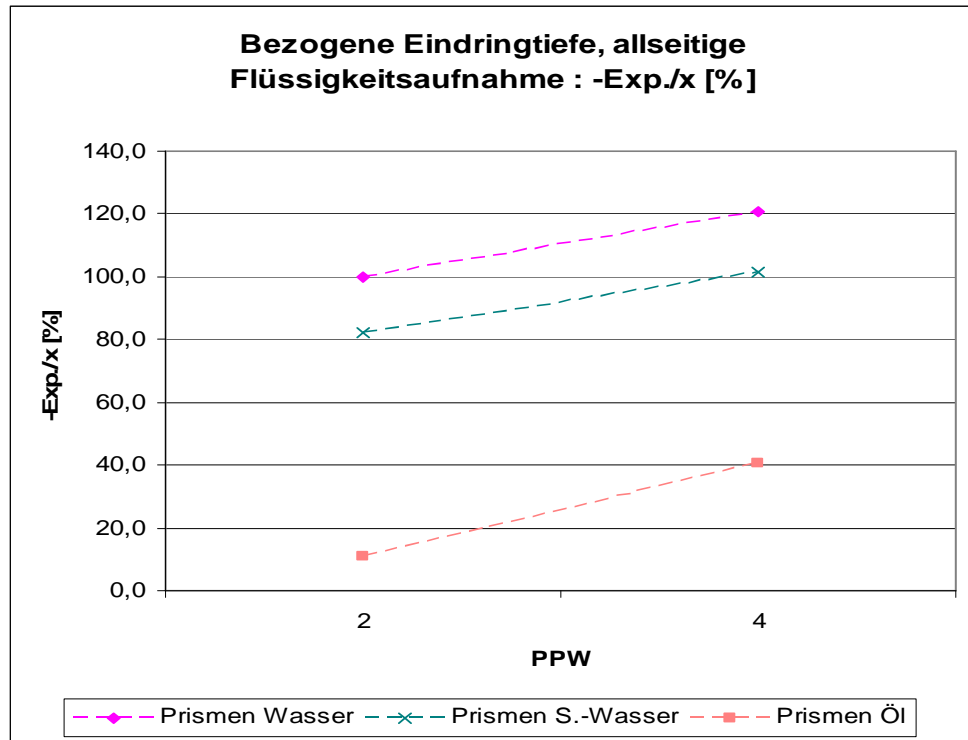


Diagramm 3.9.1.1.1.

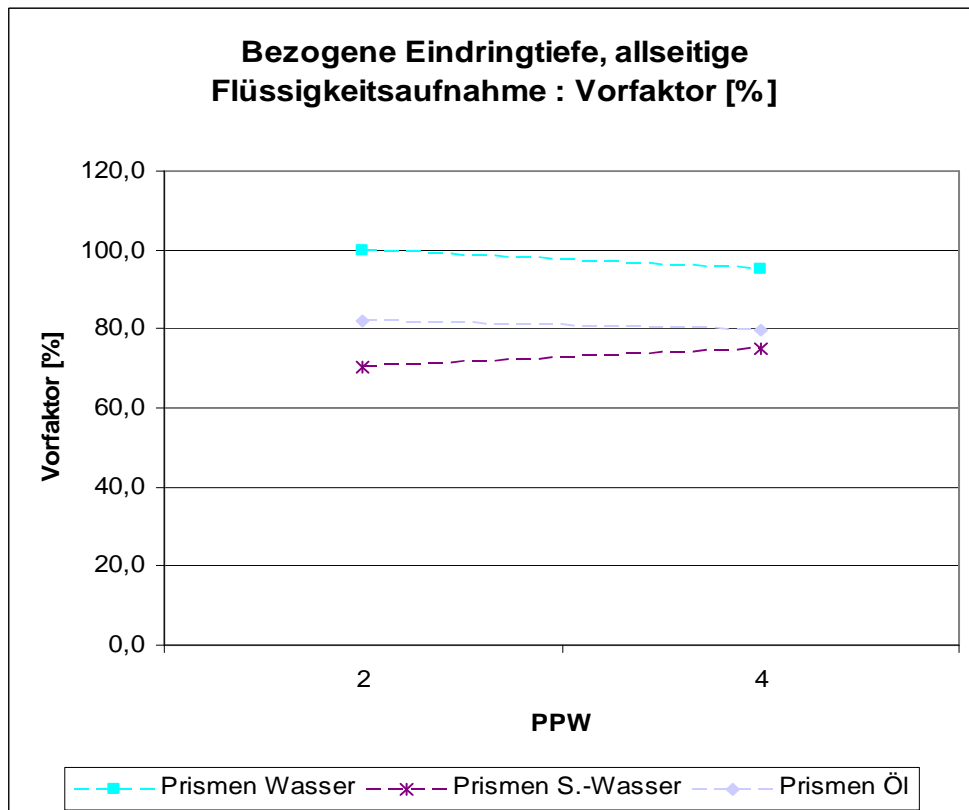


Diagramm 3.9.1.1.2.

3.10. Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 6

Nachfolgend werden die Messwerte der Versuchsserie V 6 wieder-
gegeben:

- Diagramm 3.10.1.: Eindringtiefe h [cm] von Wasser stirnsei-
tig in Prismen
- Diagramm 3.10.2.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] von Wasser stirnseitig
in Prismen [x = Zeit [h]]
- Diagramm 3.10.3.: Eindringtiefe h [cm] von Schmutz-Wasser
stirnseitig in Prismen
- Diagramm 3.10.4.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] von Schmutz-Wasser
stirnseitig in Prismen [x = Zeit [h]]
- Diagramm 3.10.5.: Eindringtiefe h [cm] von Heizöl stirnseitig
in Prismen
- Diagramm 3.10.6.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] von Heizöl stirnseitig
in Prismen [x = Zeit [h]]

Maximale Eindringtiefe: Prismenlänge (16cm)

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

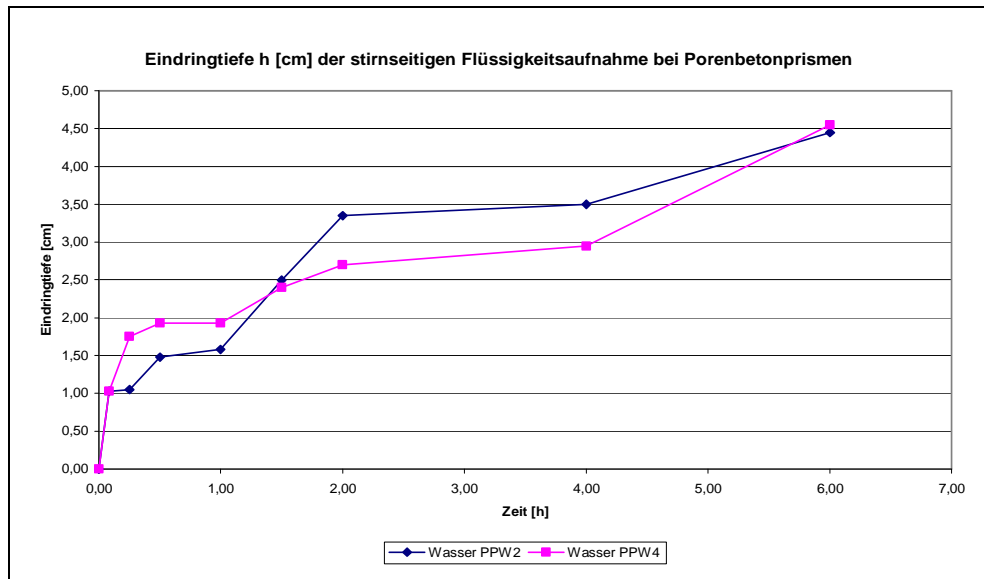


Diagramm 3.10.1.

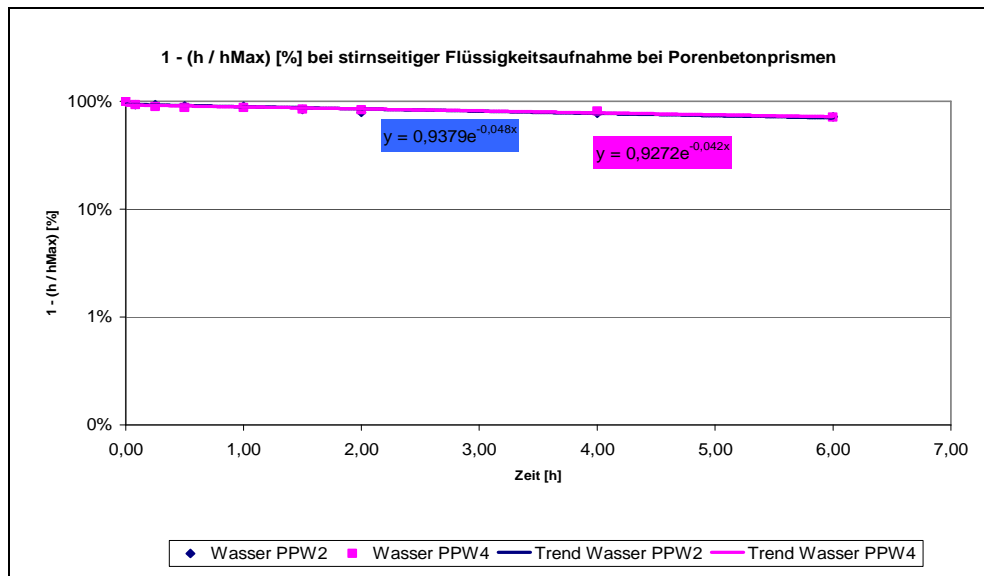


Diagramm 3.10.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

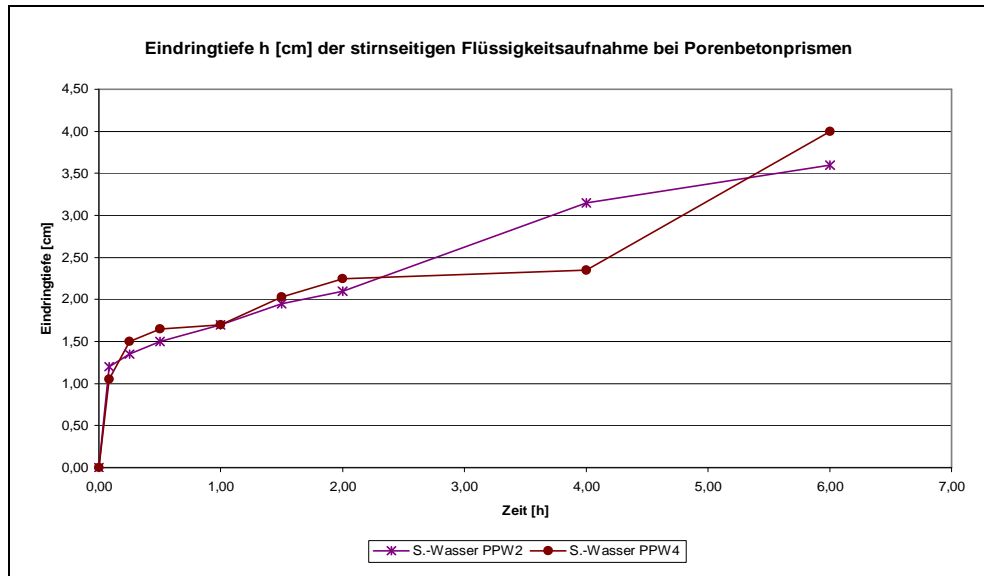


Diagramm 3.10.3.

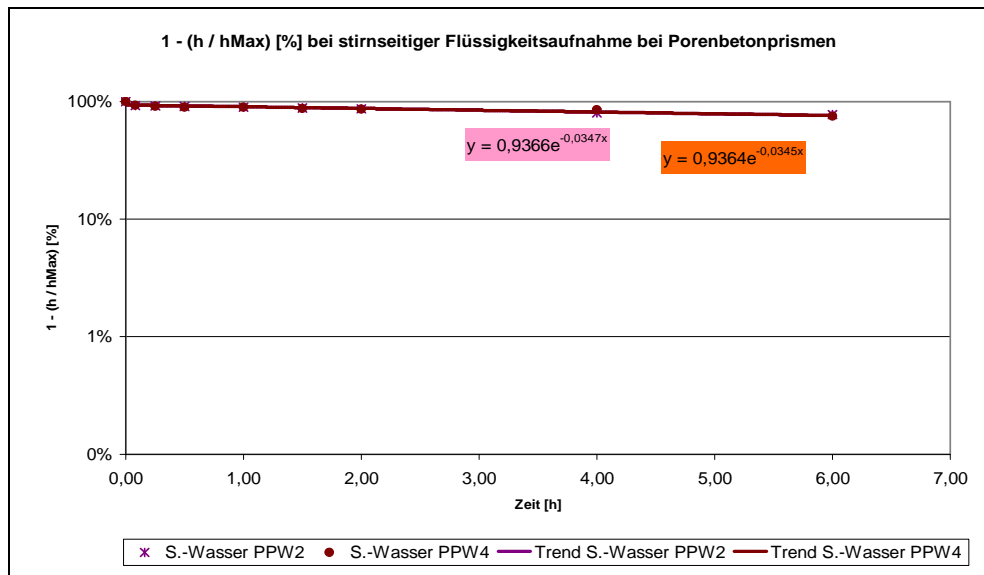


Diagramm 3.10.4.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

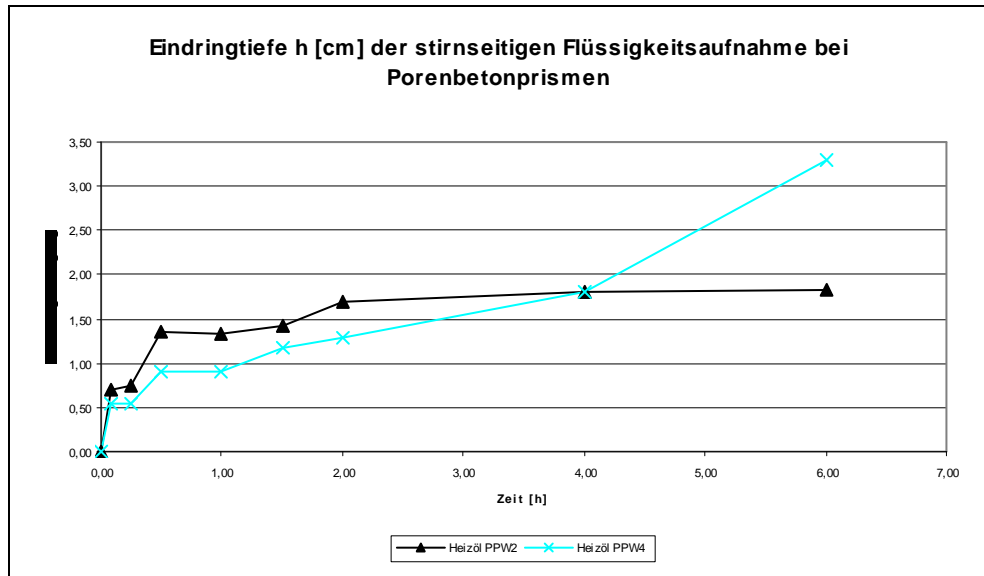


Diagramm 3.10.5.

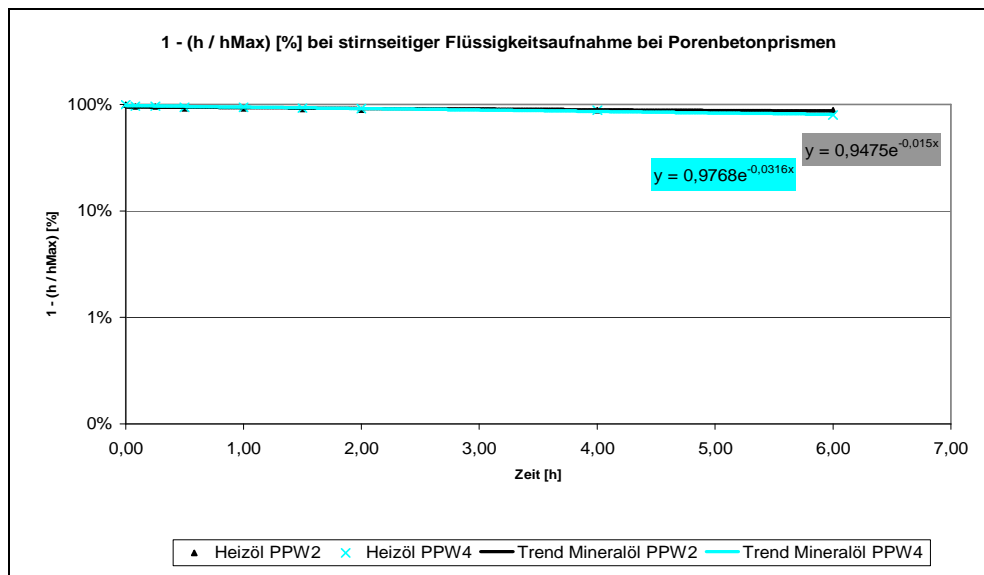


Diagramm 3.10.6.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Nachfolgend werden die Versuchsergebnisse bzgl. sämtlicher Flüssigkeiten zusammengefasst angegeben.

- Diagramm 3.10.7.: Eindringtiefe h [cm] der stirnseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Prismen
- Diagramm 3.10.8.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] der stirnseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Prismen [x = Zeit [h]]

Maximale Eindringtiefe: Prismenlänge (16cm)

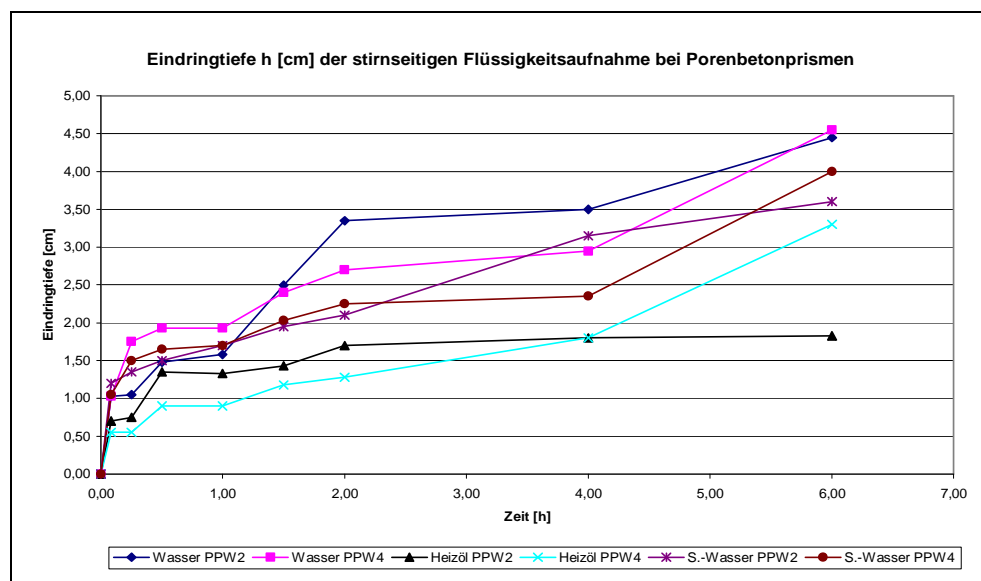


Diagramm 3.10.7.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

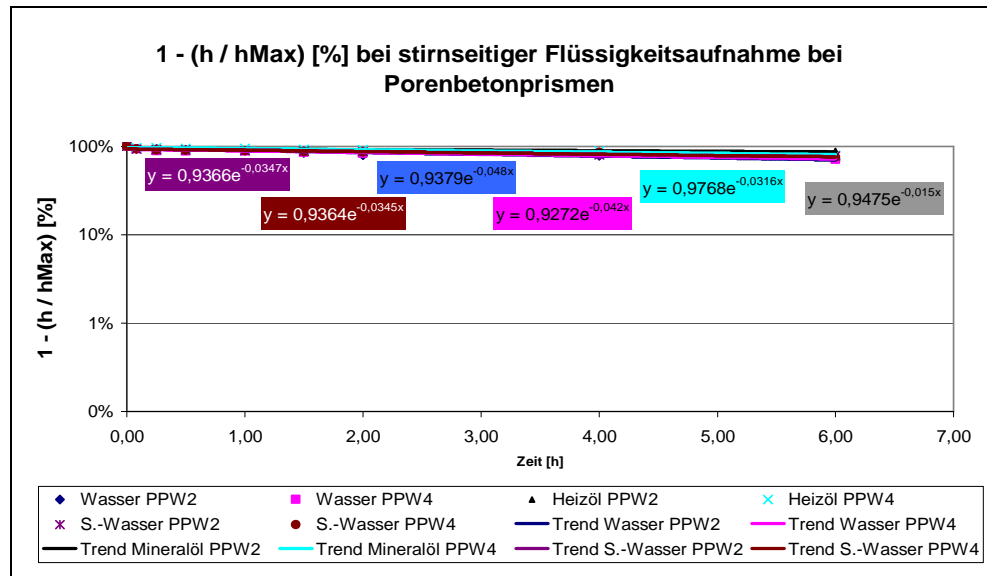


Diagramm 3.10.8.

3.10.1. Auswertung / Versuchsserie V 6

Die in den nachfolgenden graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden tabellarisch wiedergegeben:

- Diagramm 3.10.1.1.: Eindringtiefe, stirnseitige Flüssigkeitsaufnahme: Vorfaktor [%] von Prismen

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie : Eindringtiefe, stirnseitige Flüssigkeitsaufnahme

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	4,8	93,8	6,0
		4	4,2	92,7	6,0
Prismen	S.-Wasser	2	3,5	93,7	6,0
		4	3,5	93,6	6,0
Prismen	Öl	2	1,5	94,8	6,0
		4	3,2	97,7	6,0

Tabelle 3.10.1.1.

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 6 insbesondere:

- Spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) bzgl. des Anfangsbereichs:

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Wasser

- PPW 2 ~ 5 %
- PPW 4 ~ 4 %

- Schmutz-Wasser

- PPW 2 ~ 3 %
- PPW 4 ~ 3 %

- Öl

- PPW 2 ~ 1 %
- PPW 4 ~ 3 %

- Die Vorfaktoren liegen im Bereich von 100 %

Zusammengefasst gilt insbesondere:

- **Der spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert/Wasser und Schmutz-Wasser bleibt hinsichtlich der Festigkeitsklasse PPW 2/PPW 4 ähnlich, beim Öl verdoppelt er sich dagegen.**

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

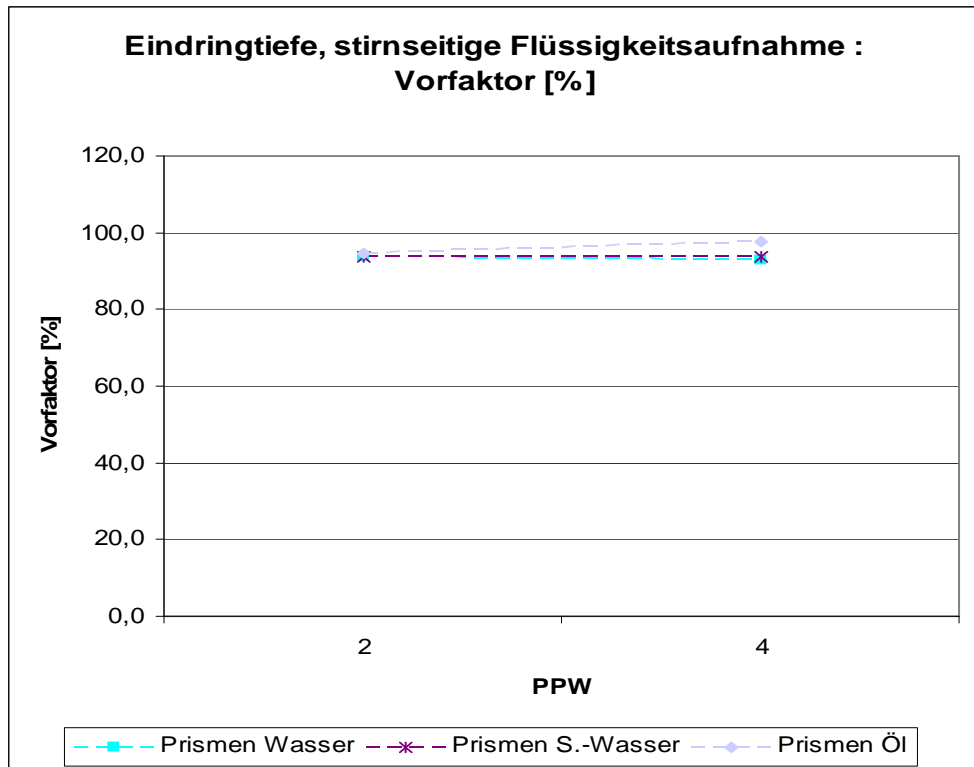


Diagramm 3.10.1.1.

3.10.1.1. Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse

Die oben angegebenen Verhältnisse werden noch offensichtlicher, falls auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse Bezug genommen wird, vgl. die nachfolgenden Diagramme:

- Diagramm 3.10.1.2.: Bezogene Eindringtiefe, stirnseitige Flüssigkeitsaufnahme: -Exp./x=t [%] bei Prismen
- Bezogene Eindringtiefe, stirnseitige Flüssigkeitsaufnahme: Vorfaktor [%] bei Prismen

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Versuchsserie : Bezog. Eindringtiefe, stirnseitige Flüssigkeitsaufnahme

Körper	Medium	PPW	bezogen auf Wasser PPW 2		
			-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	100,0	100,0	6,0
		4	87,5	98,9	6,0
Prismen	S.-Wasser	2	72,3	99,9	6,0
		4	71,9	99,8	6,0
Prismen	Öl	2	31,3	101,0	6,0
		4	65,8	104,1	6,0

Tabelle 3.10.1.1.1.

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 6 insbesondere bei Bezug auf den **Wasser-PPW 2-Wert [100%]**:

- Spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) bzgl. des Anfangsbereichs:
 - Wasser
 - PPW 2 ~ 100 %
 - PPW 4 ~ 87 %
 - Schmutz-Wasser
 - PPW 2 ~ 72 %
 - PPW 4 ~ 72 %

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Öl

- PPW 2 ~ 31 %
- PPW 4 ~ 66 %

- Die Vorfaktoren liegen im Bereich von 100 %.

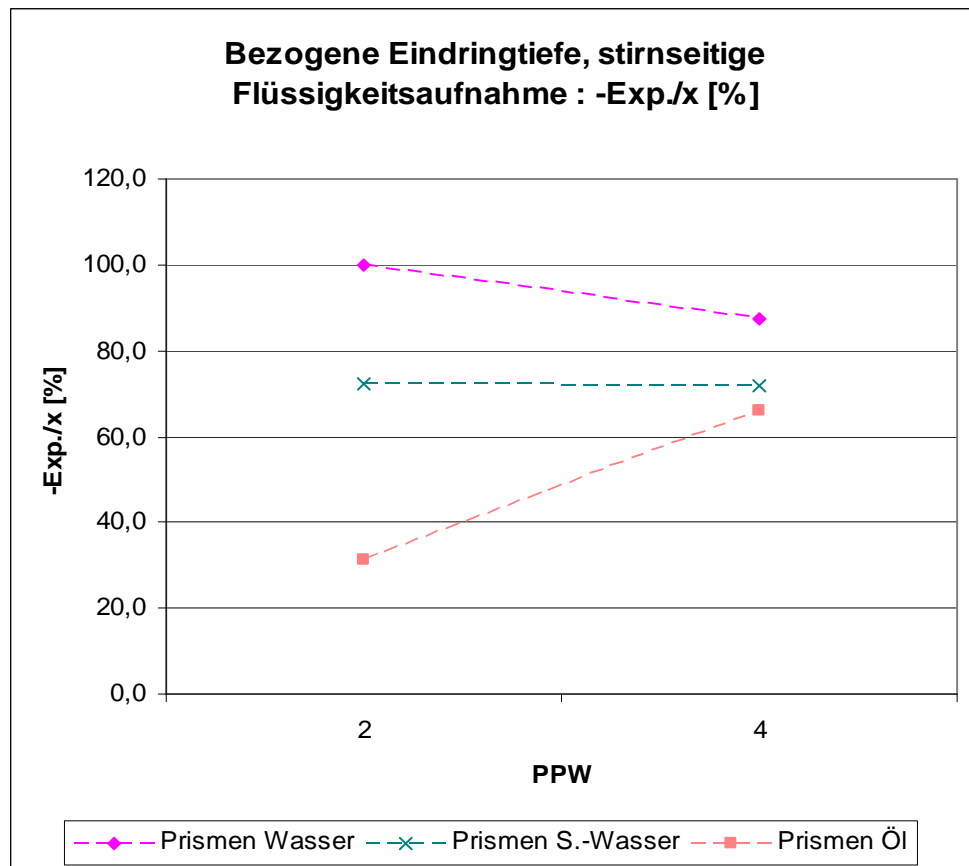


Diagramm 3.10.1.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

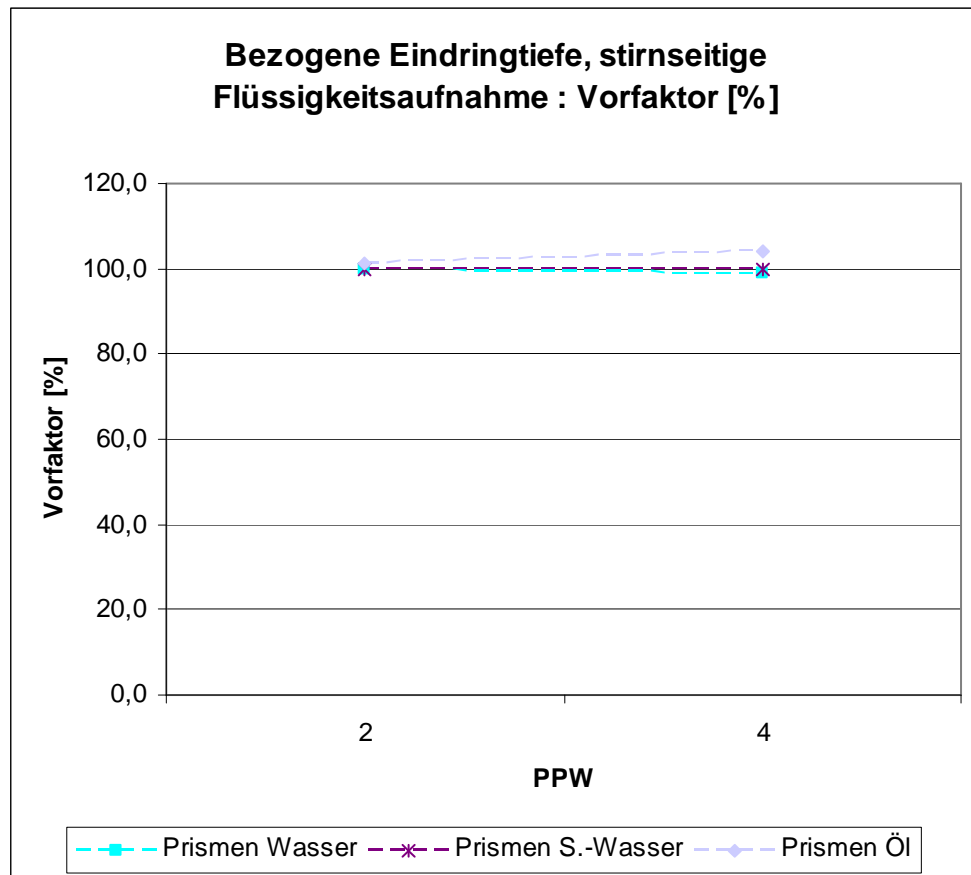


Diagramm 3.10.1.3.

3.11. Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 7

Nachfolgend werden die Messwerte der Versuchsserie V 7 wiedergegeben (kapillare Wasseraufnahme von Prismen):

- Diagramm 3.11.1.: Gesamtgewicht [g] bei kapillarer Wasseraufnahme von Prismen
- Diagramm 3.11.2.: Absolute Gewichtszunahme DG [g] bei kapillarer Wasseraufnahme von Prismen
- Diagramm 3.11.3.: Relative Gewichtszunahme DG / G_0 [%] bei kapillarer Wasseraufnahme von Prismen
- Diagramm 3.11.4.: Relative Gewichtszunahme DG / DG_{Max} [%] bei kapillarer Wasseraufnahme von Prismen
- Diagramm 3.11.5.: $[1 - (DG / DG_{Max})]$ [%] bei kapillarer Wasseraufnahme von Prismen bis 2 h
- Diagramm 3.11.6.: $[1 - (DG / DG_{Max})]$ [%] bei kapillarer Wasseraufnahme von Prismen ab 2 h

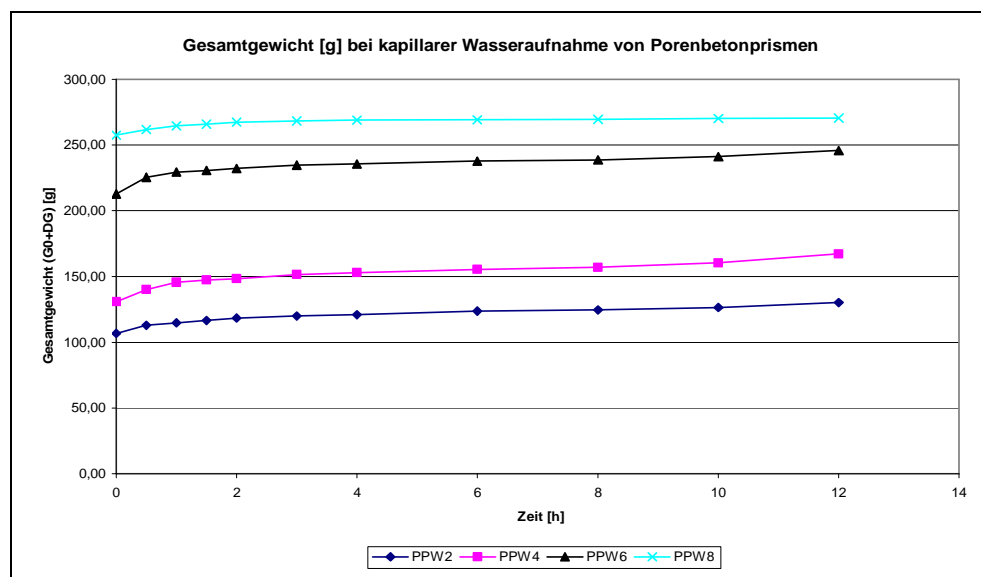


Diagramm 3.11.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

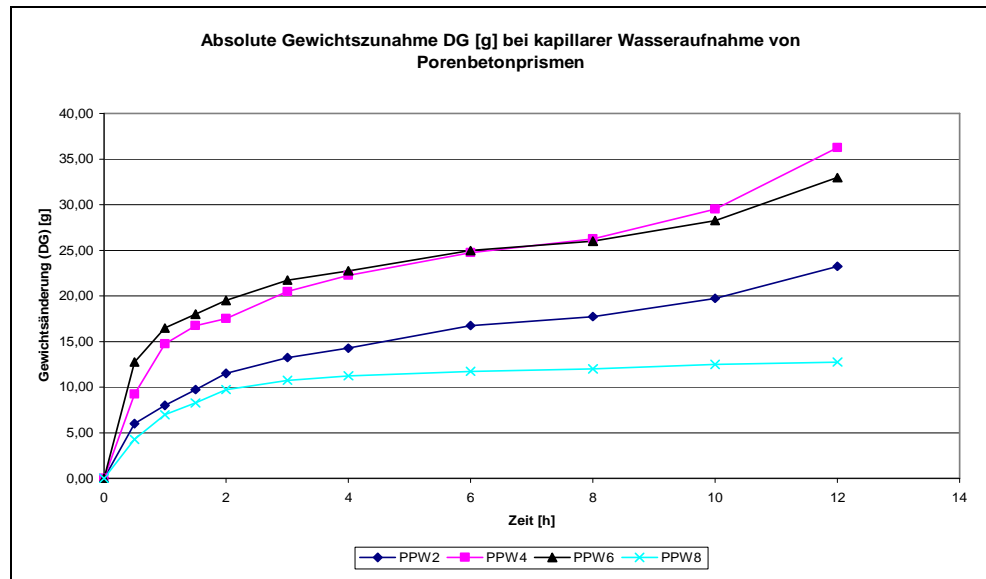


Diagramm 3.11.2.

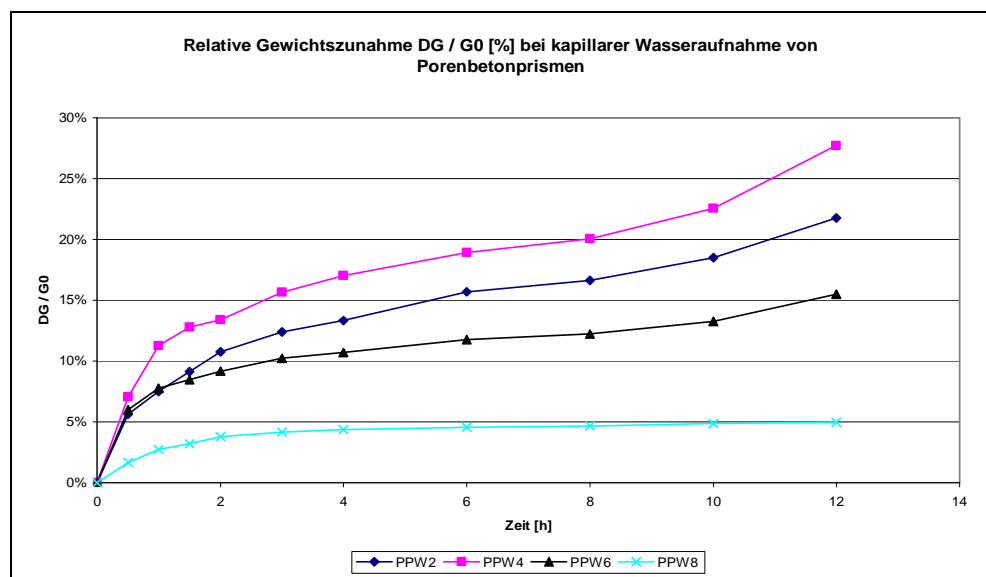


Diagramm 3.11.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

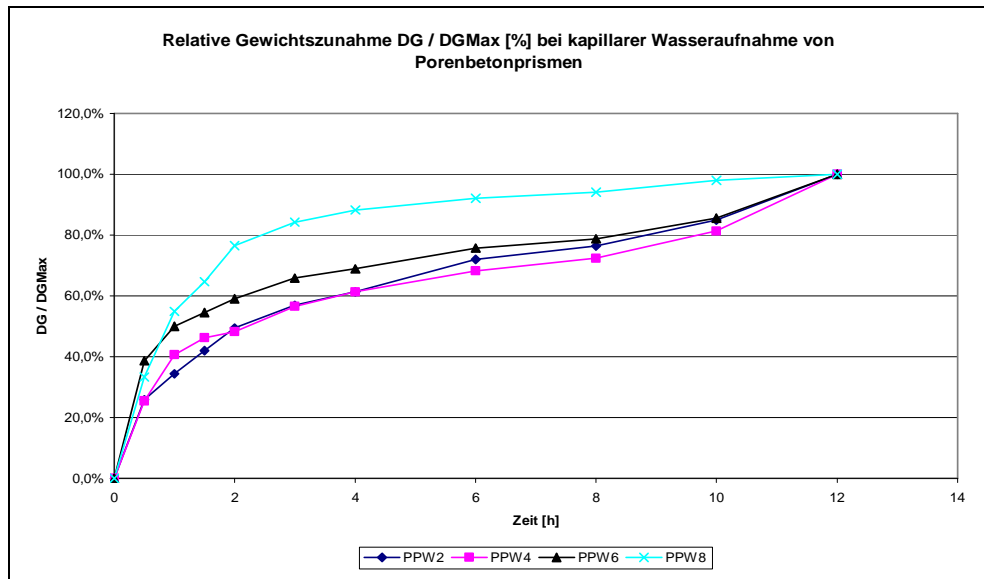


Diagramm 3.11.4.

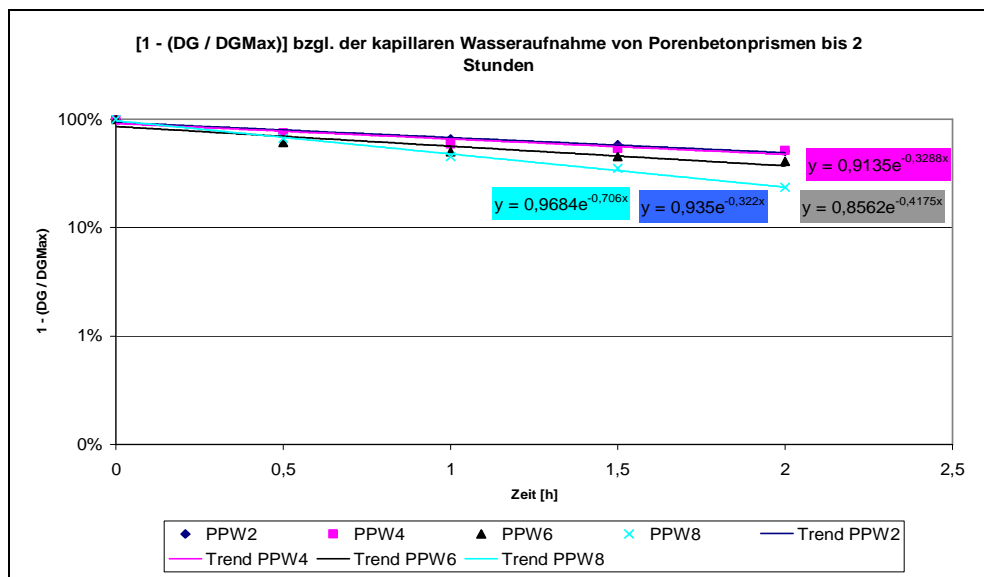


Diagramm 3.11.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

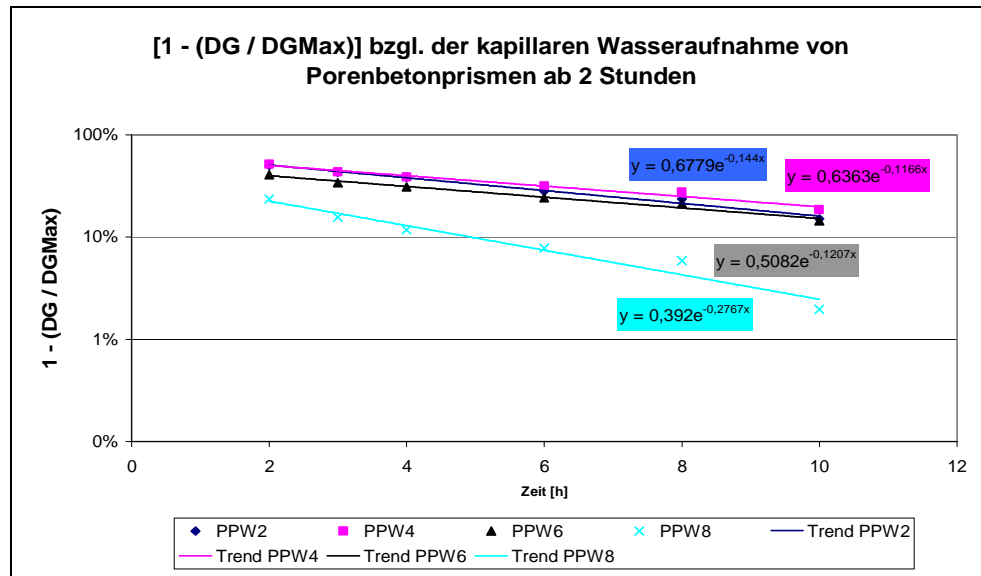


Diagramm 3.11.6.

3.11.1. Auswertung / Versuchsserie V 7

Die nachfolgenden graphischen Zusammenfassungen enthalten folgende Zuordnungen:

- Diagramm 3.11.1.1.: Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme < 2h: DG/G0 [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.11.1.2.: Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme < 2h: -Exp./x=t [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.11.1.3.: Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme < 2h: Vorfaktor [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.11.1.4.: Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme > 2h: DG/G0 [%] von Prismen in Wasser
- Diagramm 3.11.1.5.: Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme > 2h: -Exp./x [%] von Prismen in Wasser

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Diagramm 3.11.1.6.: Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme > 2h: Vorfaktor [%] von Prismen in Wasser

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie : Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme < 2h

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	10,8	32,2	93,5	2,0
		4	13,4	32,9	91,4	2,0
		6	9,2	41,8	85,6	2,0
		8	3,8	70,6	96,8	2,0

Tabelle 3.11.1.1.

Versuchsserie : Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme > 2h

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	21,8	14,4	67,8	10,0
		4	27,7	11,7	63,6	10,0
		6	15,5	12,1	50,8	10,0
		8	5,0	27,7	39,2	10,0

Tabelle 3.11.1.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 7 insbesondere:

- Relative Gewichtszunahme (DG/D0) bzgl. des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs:
 - PPW 2 ~ 11 %; schließlich, nach etwa 20 Stunden ~ 22 %
 - PPW 4 ~ 13 %; schließlich, nach etwa 20 Stunden ~ 28 %
 - PPW 6 ~ 9 %; schließlich, nach etwa 20 Stunden ~ 15 %
 - PPW 8 ~ 4 %; schließlich, nach etwa 10 Stunden ~ 5 %
- Spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert bzgl. des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs:
 - PPW 2 ~ 32 %; schließlich ~ 14 %
 - PPW 4 ~ 33 %; schließlich ~ 12 %
 - PPW 6 ~ 42 %; schließlich ~ 12 %
 - PPW 8 ~ 71 %; schließlich ~ 28 %
- Die Summe beider Vorfaktoren einer Porenbeton-Festigkeitsklasse liegt im Größenordnungsbereich von 100 %

Zusammengefasst gilt insbesondere:

- Mit zunehmender Druckfestigkeit bzw. Rohdichte eines Porenbetons nimmt
 - die relative Gewichtszunahme ab,
 - der spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert im An-

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

fangszeitbereich zu und im Fortsetzungsbereich zu.

- **Der Porenbeton PPW 8 reichert sich demnach insgesamt schneller mit weniger Wasser an, als die anderen Porenbetone mit mehr Wasser.**

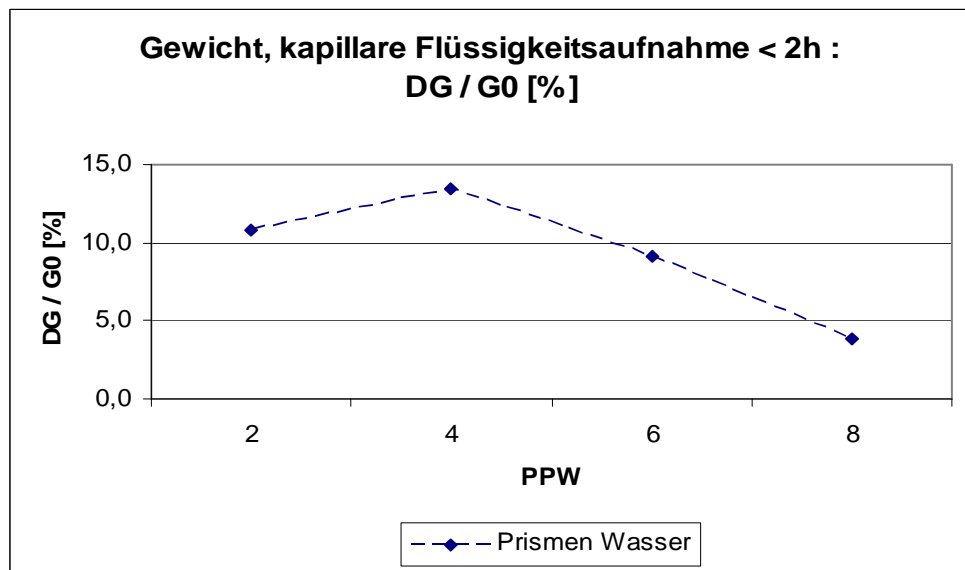


Diagramm 3.11.1.1.

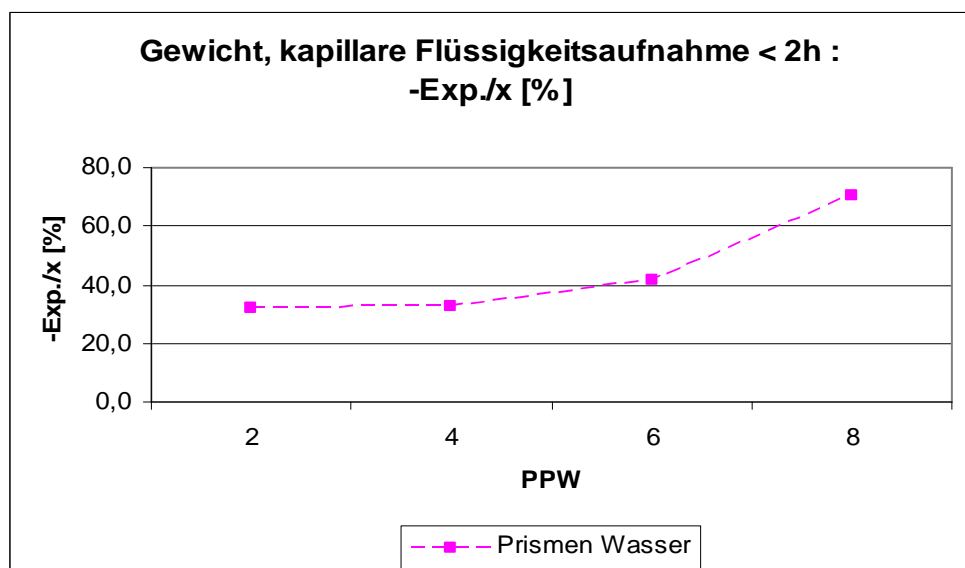


Diagramm 3.11.1.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

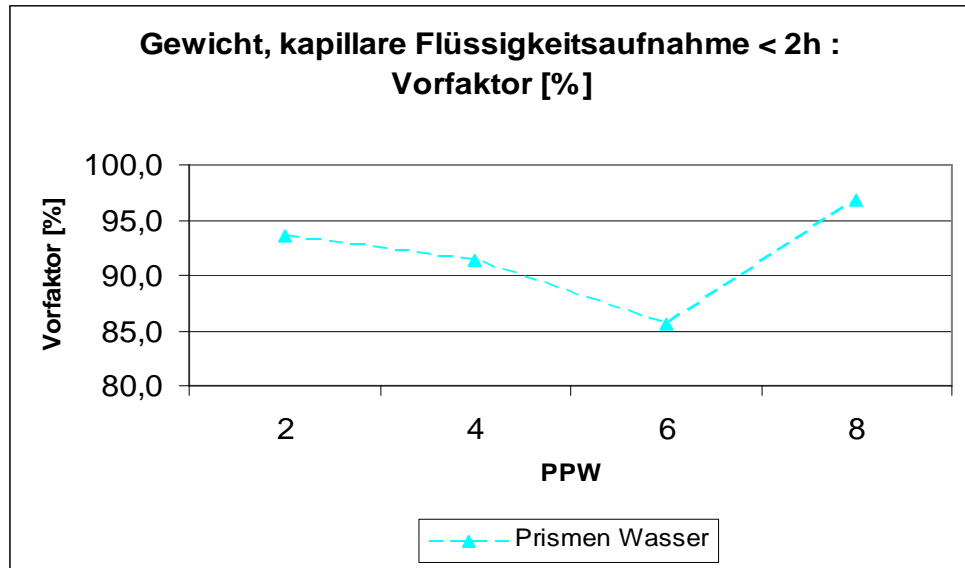


Diagramm 3.11.1.3.

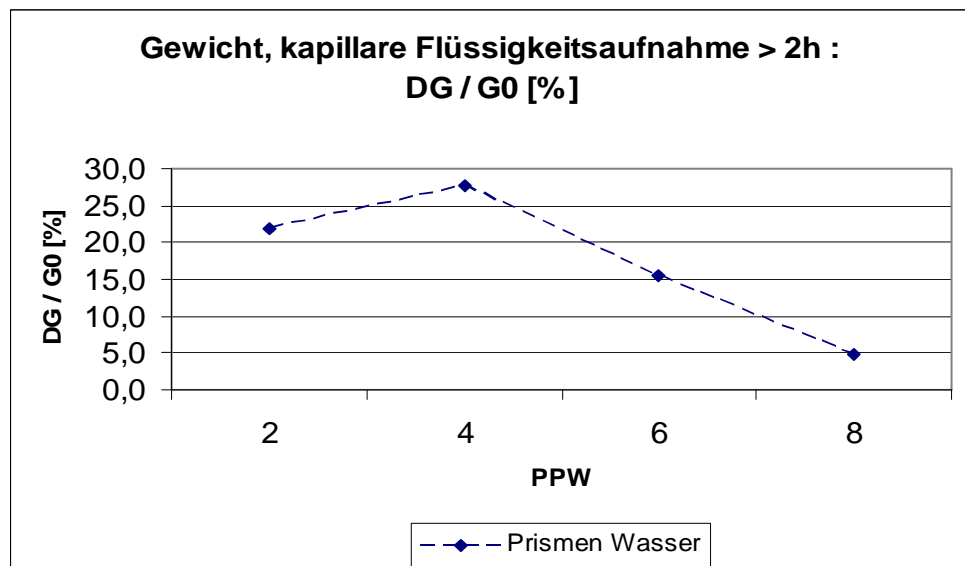


Diagramm 3.11.1.4.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

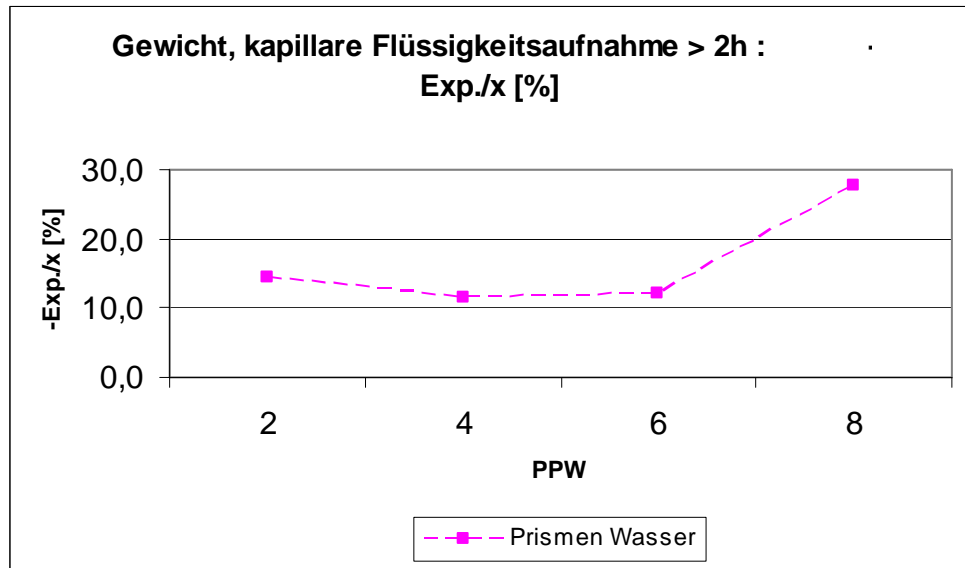


Diagramm 3.11.1.5.

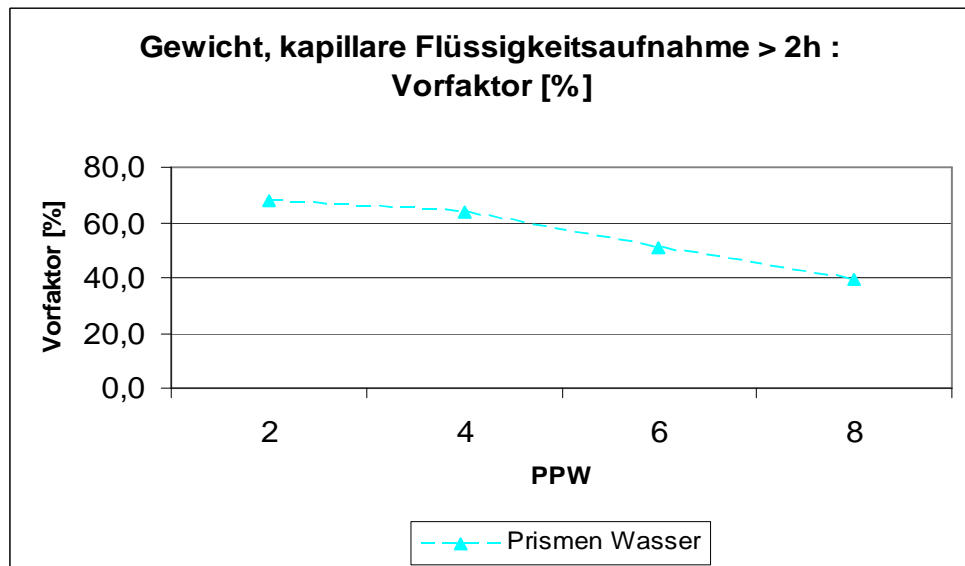


Diagramm 3.11.1.6.

3.11.1.1. Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse

Die obig angegebenen Verhältnisse werden noch offensichtlicher, falls auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse Bezug genommen wird, vgl. die nachfolgenden Diagramme:

- Diagramm 3.11.1.1.1.: Bezogenes Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme < 2h: DG/G_0 [%] von Prismen
- Diagramm 3.11.1.1.2.: Bezogenes Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme < 2h: -Exp./x [%] von Prismen
- Diagramm 3.11.1.1.3.: Bezogenes Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme < 2h: Vorfaktor [%] von Prismen
- Diagramm 3.11.1.1.4.: Bezogenes Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme > 2h: DG/G_0 [%] von Prismen
- Diagramm 3.11.1.1.5.: Bezogenes Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme > 2h: -Exp./x=t [%] von Prismen
- Diagramm 3.11.1.1.6.: Bezogenes Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme > 2h: Vorfaktor [%] von Prismen

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Versuchsserie :
Bezogenes Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme < 2h

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			bezogen auf Wasser PPW 2			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	100,0	100,0	100,0	2,0
		4	124,2	102,1	97,7	2,0
		6	85,1	129,7	91,6	2,0
		8	35,1	219,3	103,6	2,0

Tabelle 3.11.1.1.1.

Versuchsserie :
Bezogenes Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme > 2h

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			bezogen auf Wasser PPW 2			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	100,0	100,0	100,0	10,0
		4	127,3	81,0	93,9	10,0
		6	71,2	83,8	75,0	10,0
		8	22,7	192,2	57,8	10,0

Tabelle 3.11.1.1.2.

Man erkennt hinsichtlich der Versuchsserie V 7 insbesondere:

- Bezogen auf den Porenbeton **Wasser-PPW 2-Wert [100%]** liegt beim Porenbeton PPW 8

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- die relative Gewichtszunahme (DG/G_0) des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs

- bei ~ 35 %, dann bei ~ 23 %

- der spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./ $x=t$) des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs

- bei ~ 219 %, dann bei ~ 192 %

- der Vorfaktor des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs

- bei ~ 104 %, dann bei ~ 58 %.

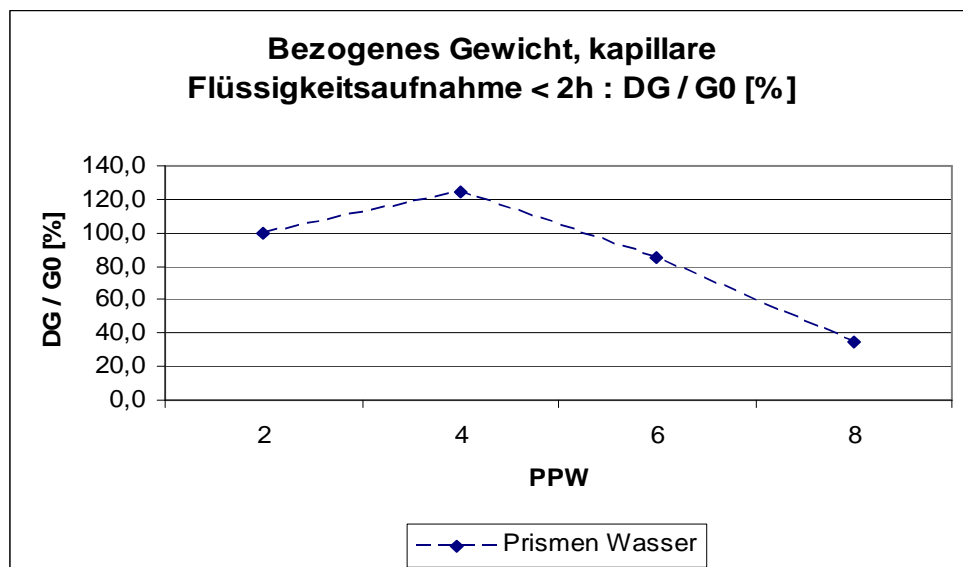


Diagramm 3.11.1.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

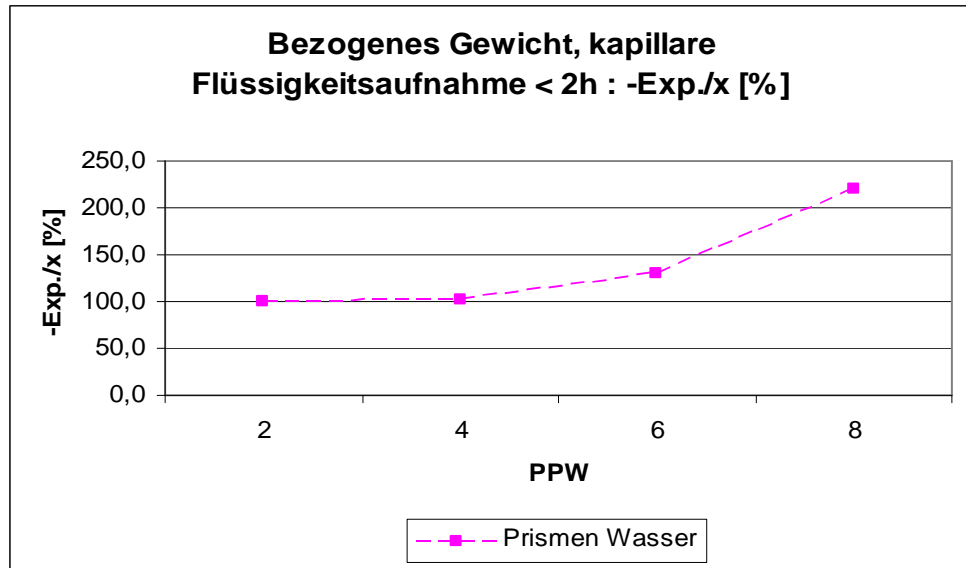


Diagramm 3.11.1.1.2.

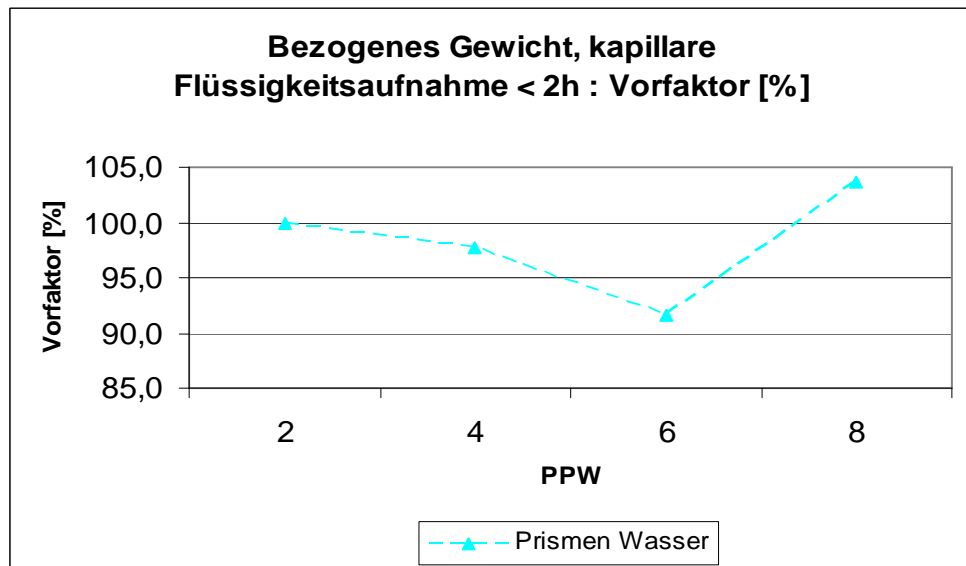


Diagramm 3.11.1.1.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

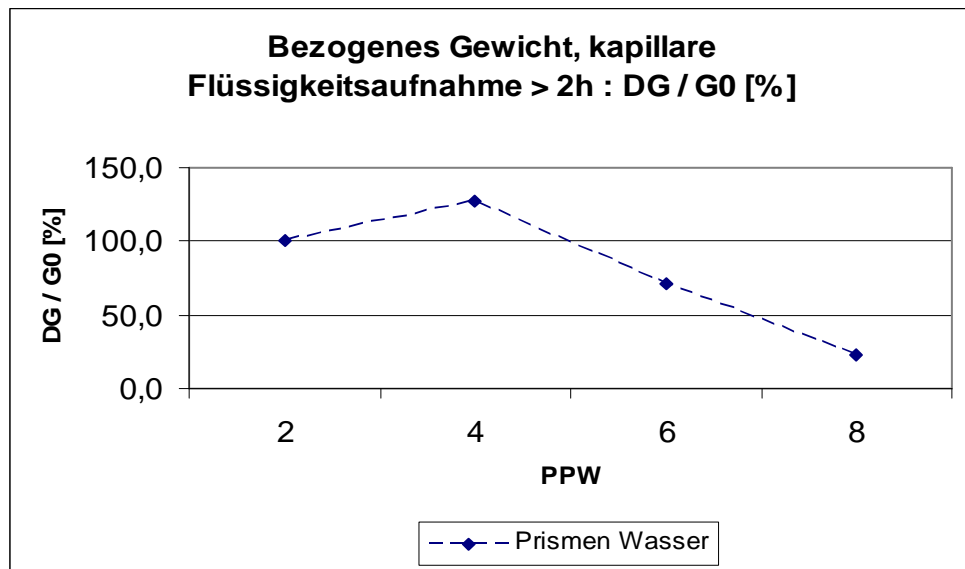


Diagramm 3.11.1.1.4.

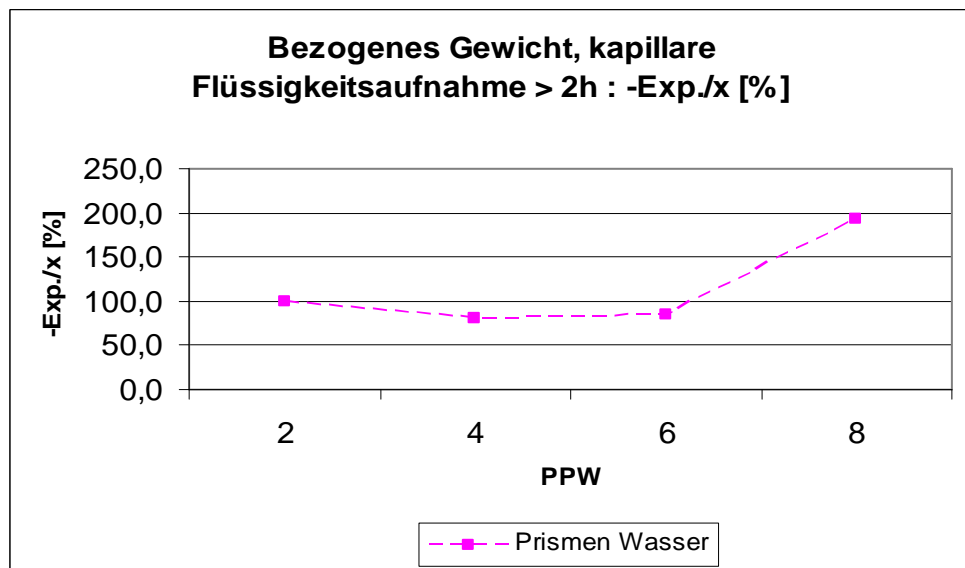


Diagramm 3.11.1.1.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

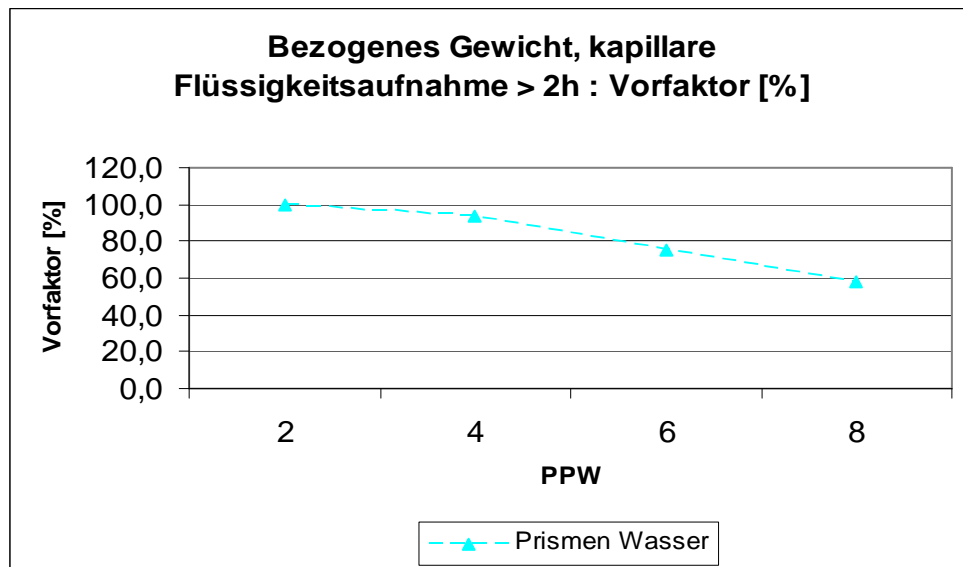


Diagramm 3.11.1.1.6.

3.12. Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 8

Nachfolgend werden die Messwerte der Versuchsserie V 8 wiedergegeben (kapillare Öleinwanderung in Prismen):

- Diagramm 3.12.1.: Gesamtgewicht [g] bei kapillarer Heizölaufnahme von Prismen
- Diagramm 3.12.2.: Absolute Gewichtszunahme DG [g] bei kapillarer Heizölaufnahme von Prismen
- Diagramm 3.12.3.: Relative Gewichtszunahme DG / G_0 [%] bei kapillarer Heizölaufnahme von Prismen
- Diagramm 3.12.4.: Relative Gewichtszunahme DG / DG_{Max} [%] bei kapillarer Heizölaufnahme von Prismen
- Diagramm 3.12.5.: $[1 - (DG / DG_{Max})]$ [%] bei kapillarer Heizölaufnahme von Prismen bis 2 Stunden [$x = \text{Zeit [h]}$]
- Diagramm 3.12.6.: $[1 - (DG / DG_{Max})]$ [%] bei kapillarer Heizölaufnahme von Prismen ab 2 Stunden [$x = \text{Zeit [h]}$]

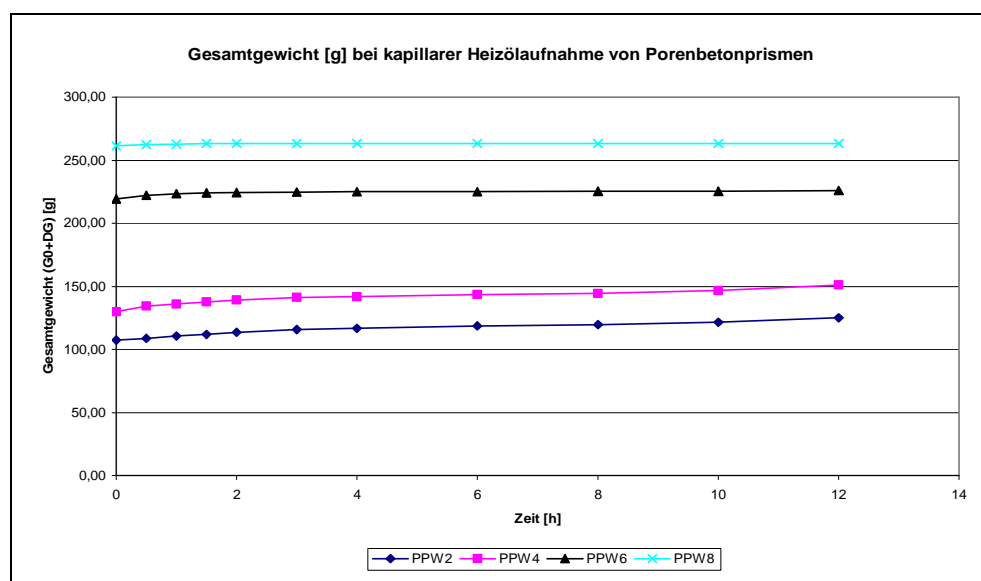


Diagramm 3.12.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

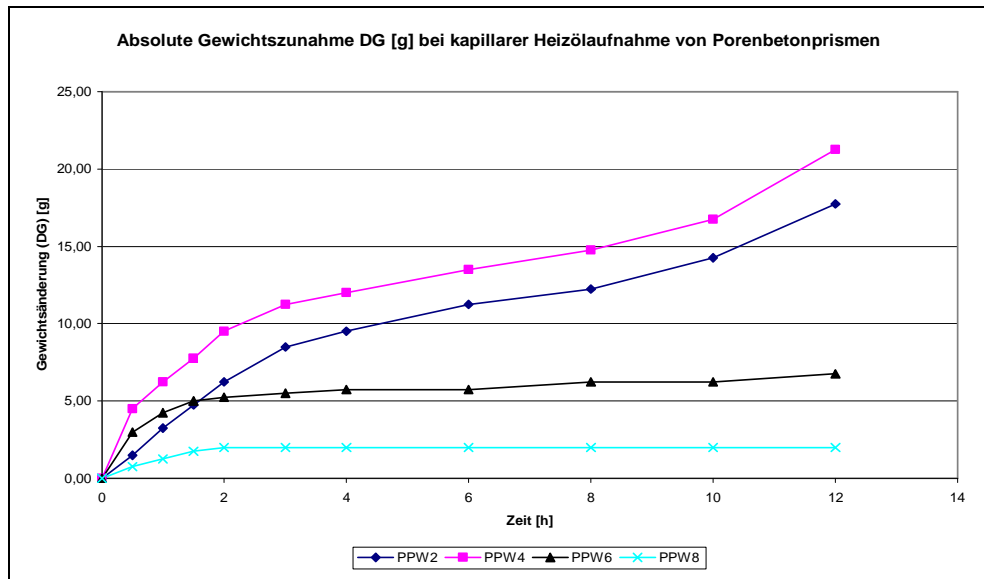


Diagramm 3.12.2.

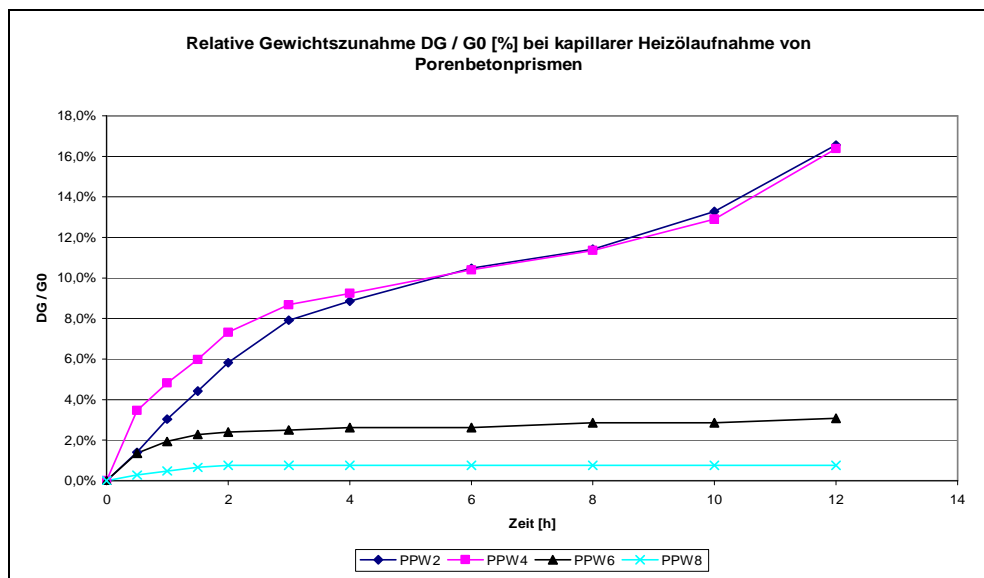


Diagramm 3.12.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

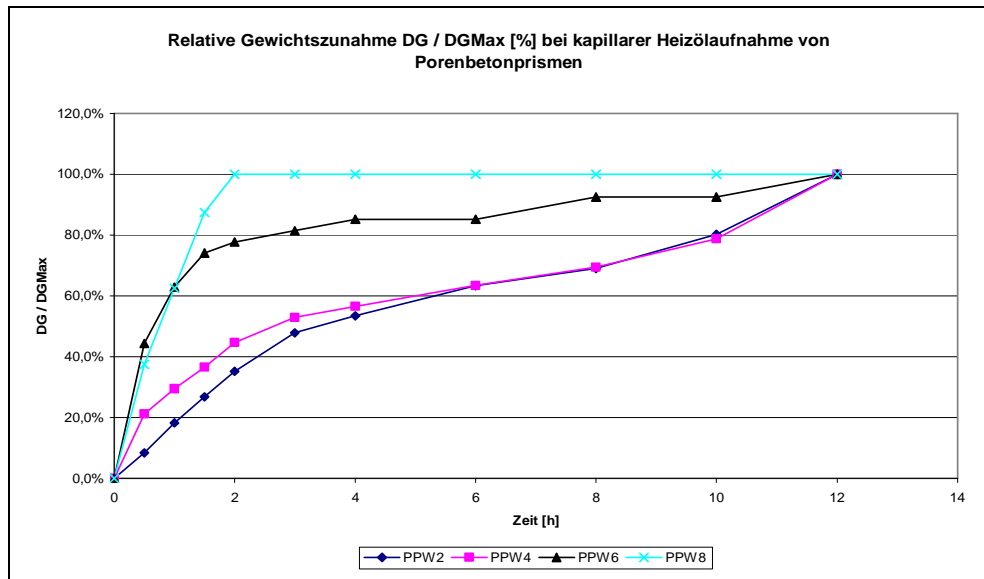


Diagramm 3.12.4.

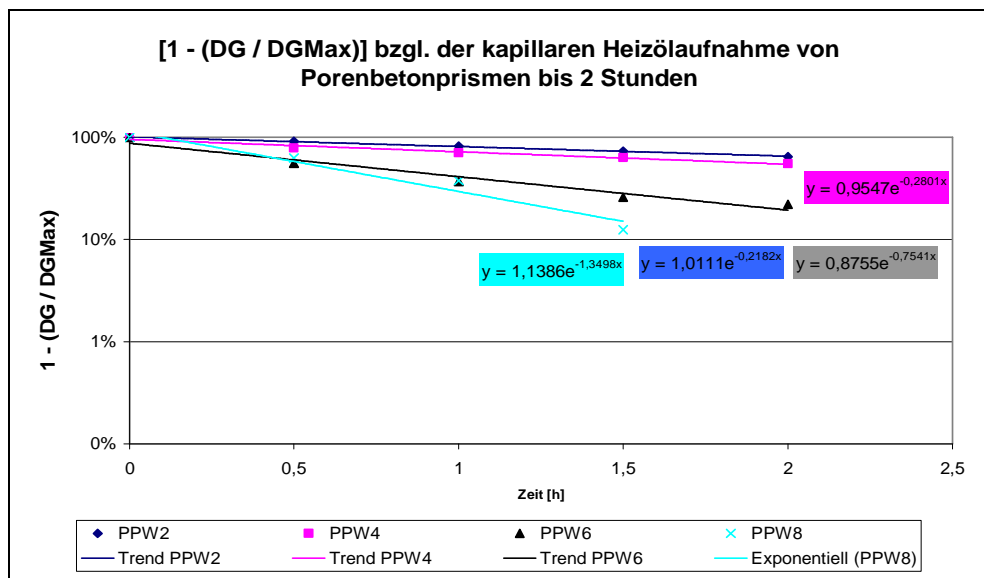


Diagramm 3.12.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

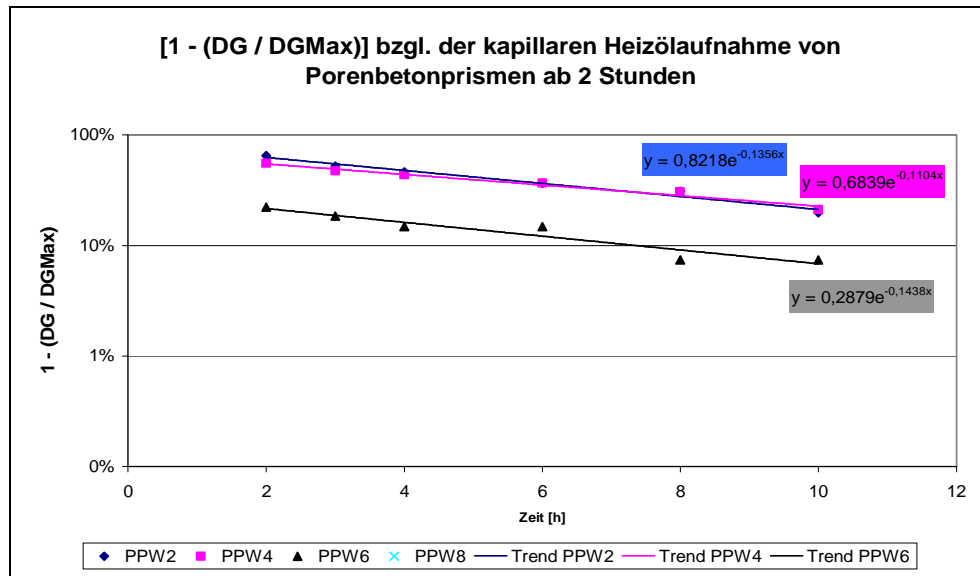


Diagramm 3.12.6.

3.12.1. Auswertung / Versuchsserie V 8

Die nachfolgenden graphischen Zusammenfassungen enthalten folgende Zuordnungen:

- Diagramm 3.12.1.1.: Gewicht, kapillare Ölaufnahme < 2h: DG / G0 [%] von Prismen
- Diagramm 3.12.1.2.: Gewicht, kapillare Ölaufnahme < 2h: -Exp./x=t [%] von Prismen
- Diagramm 3.12.1.3.: Gewicht, kapillare Ölaufnahme < 2h: Vorfaktor [%] von Prismen
- Diagramm 3.12.1.4.: Gewicht, kapillare Ölaufnahme > 2h: DG / G0 [%] von Prismen
- Diagramm 3.12.1.5.: Gewicht, kapillare Ölaufnahme > 2h: -Exp./x=t [%] von Prismen

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Diagramm 3.12.1.6.: Gewicht, kapillare Ölaufnahme > 2h: Vorfaktor [%] von Prismen

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie : Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme < 2h

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Öl	2	5,8	21,8	101,1	2,0
		4	7,3	28,0	95,5	2,0
		6	2,4	75,4	87,6	2,0
		8	0,8	135,0	113,9	1,5

Tabelle 3.12.1.1.

Versuchsserie : Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme > 2h

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Öl	2	16,6	13,6	82,2	10,0
		4	16,4	11,0	68,4	10,0
		6	3,1	14,4	28,8	10,0
		8	0,8	-	-	-

Tabelle 3.12.1.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 8 insbesondere:

- Relative Gewichtszunahme (DG/D0) bzgl. des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs:
 - PPW 2 ~ 6 %; schließlich, nach etwa 20 Stunden ~ 17 %
 - PPW 4 ~ 7 %; schließlich, nach etwa 20 Stunden ~ 16 %
 - PPW 6 ~ 2 %; schließlich, nach etwa 3 Stunden ~ 3 %
 - PPW 8 ~ 1 %; schließlich, nach etwa 3 Stunden ~ 1 %
- Spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t [%]) bzgl. des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs:
 - PPW 2 ~ 22 %; schließlich ~ 14 %
 - PPW 4 ~ 28 %; schließlich ~ 11 %
 - PPW 6 ~ 75 %; schließlich ~ 14 %
 - PPW 8 ~ 135 %; schließlich, ~ 0 %
- Die Summe beider Vorfaktoren einer Porenbeton-Festigkeitsklasse liegt im Größenordnungsbereich von 100 %.

Zusammengefasst gilt insbesondere:

- Mit zunehmender Druckfestigkeit bzw. Rohdichte eines Porenbetons nimmt die relative Gewichtszunahme ab und der spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert im Anfangszeitbereich zu und im Fortsetzungsbereich ab.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Die Porenbetone PPW 8 und PPW 6 reichern sich schneller mit weniger Öl an, als die anderen Porenbetone mit mehr Öl.

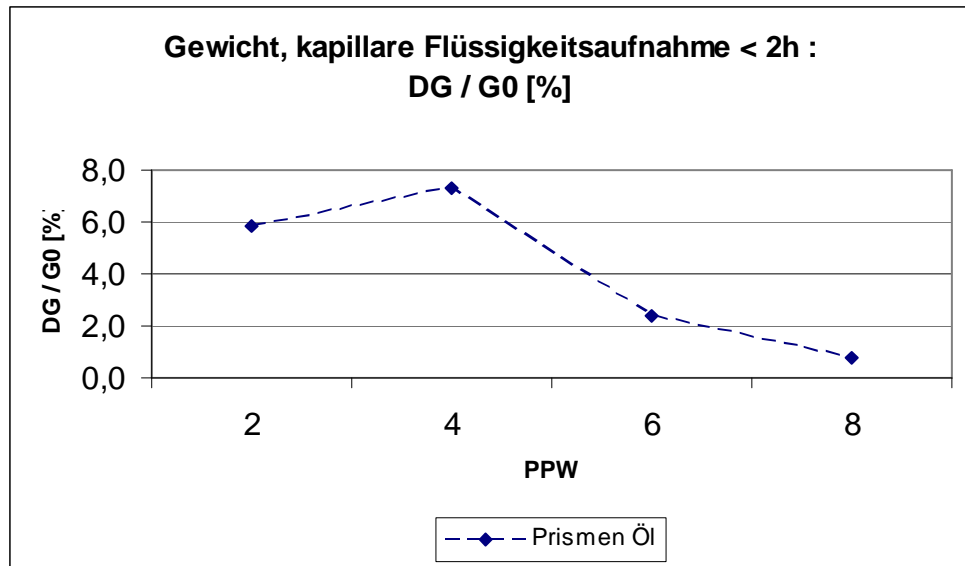


Diagramm 3.12.1.1.

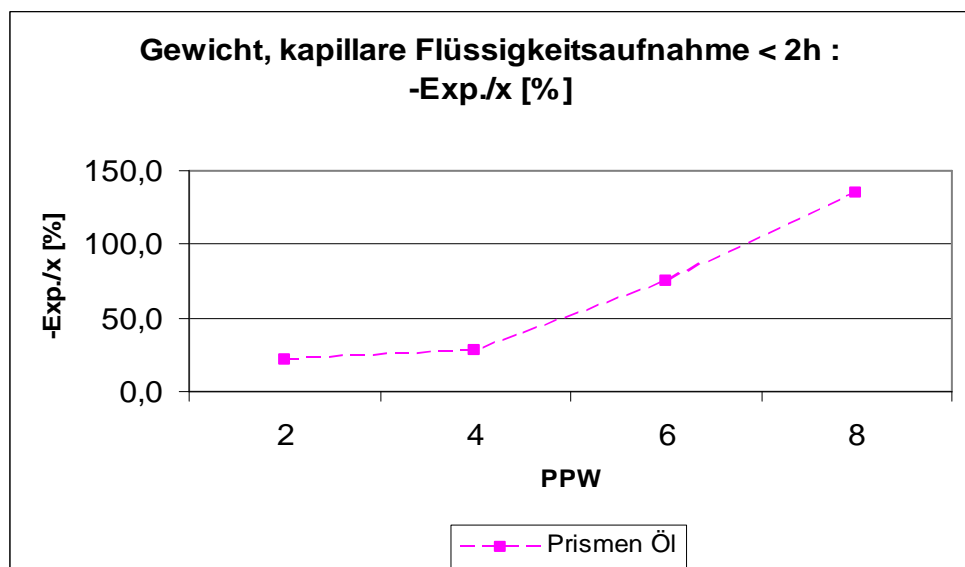


Diagramm 3.12.1.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

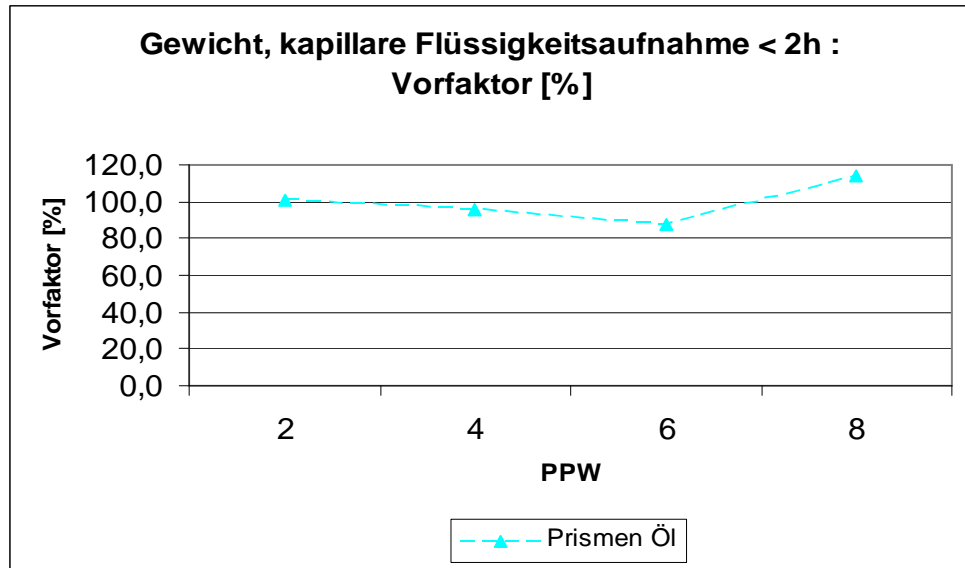


Diagramm 3.12.1.3.

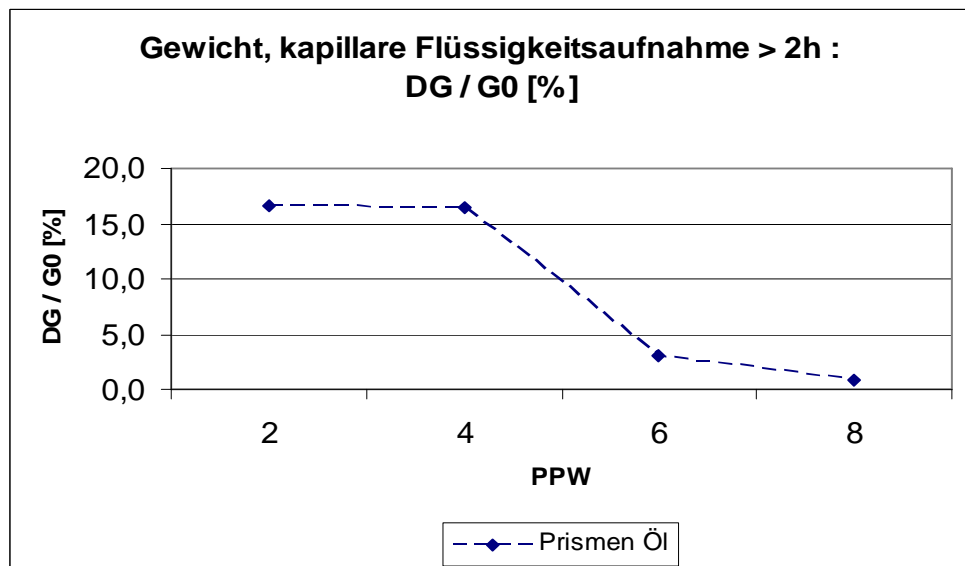


Diagramm 3.12.1.4.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

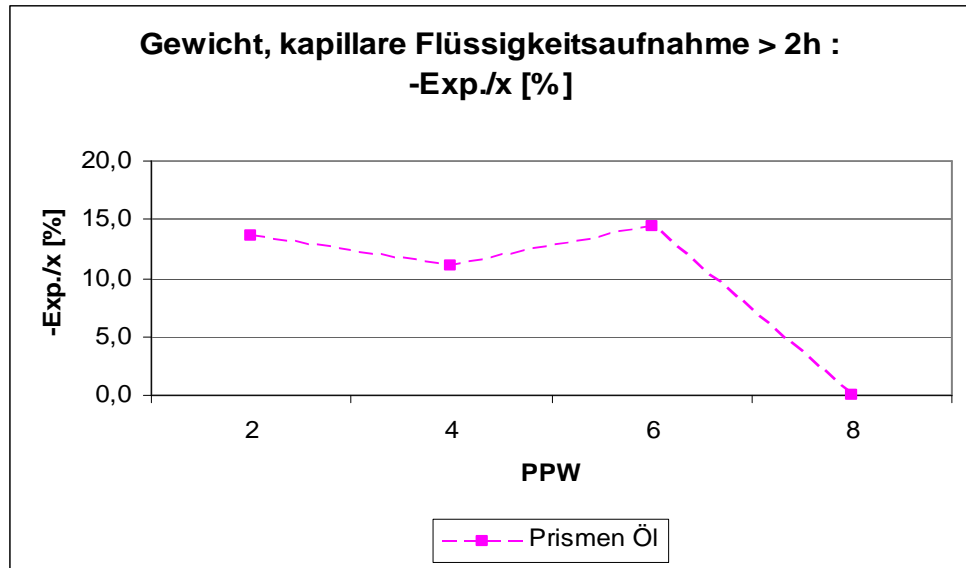


Diagramm 3.12.1.5.

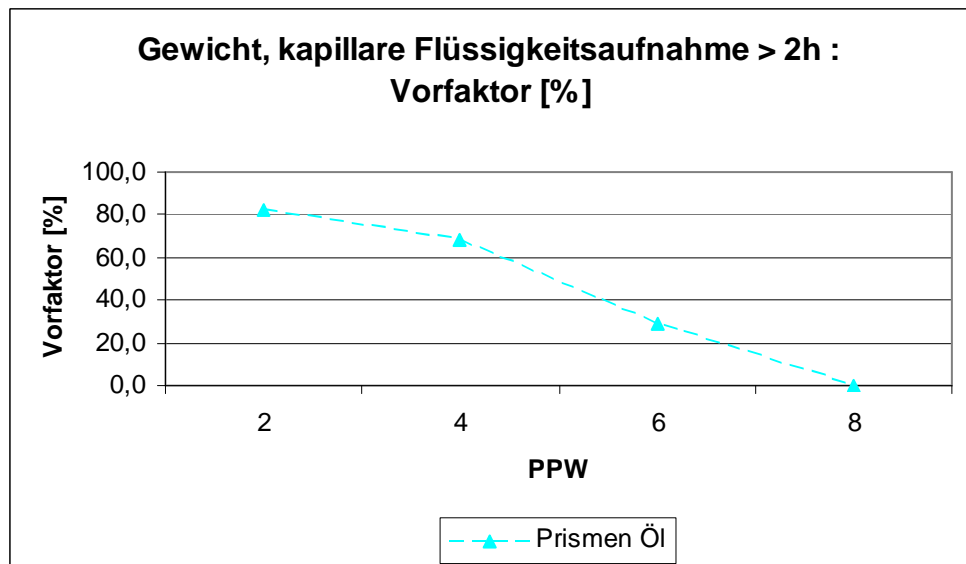


Diagramm 3.12.1.6.

3.12.1.1. Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse

Die oben angegebenen Verhältnisse werden noch offensichtlicher, falls auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse Bezug genommen wird, vgl. die nachfolgenden Diagramme:

- Diagramm 3.12.1.1.1.: Bezogenes Gewicht, kapillare Ölaufnahme < 2h: DG / G_0 [%] von Prismen
- Diagramm 3.12.1.1.2.: Bezogenes Gewicht, kapillare Ölaufnahme < 2h: $-Exp./x=t$ [%] von Prismen
- Diagramm 3.12.1.1.3.: Bezogenes Gewicht, kapillare Ölaufnahme < 2h: Vorfaktor [%] von Prismen
- Diagramm 3.12.1.1.4.: Bezogenes Gewicht, kapillare Ölaufnahme > 2h: DG / G_0 [%] von Prismen
- Diagramm 3.12.1.1.5.: Bezogenes Gewicht, kapillare Ölaufnahme > 2h: $-Exp./x=t$ [%] von Prismen
- Diagramm 3.12.1.1.6.: Bezogenes Gewicht, kapillare Ölaufnahme > 2h: Vorfaktor [%] von Prismen

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie :
Bezogenes Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme < 2h

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			bezogen auf Wasser PPW 2			
			DG / G ₀ [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Öl	2	54,1	67,8	108,1	2,0
		4	68,0	87,0	102,1	2,0
		6	22,2	234,2	93,6	2,0
		8	7,1	419,2	121,8	1,5

Tabelle 3.12.1.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Versuchsserie :
Bezogenes Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme > 2h

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			bezogen auf Wasser PPW 2			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Öl	2	76,0	94,2	121,2	10,0
		4	75,2	76,7	100,9	10,0
		6	14,1	99,9	42,5	10,0
		8	3,5	-	-	-

Tabelle 3.12.1.1.2.

Man erkennt hinsichtlich der Versuchsserie V 8 insbesondere:

- Bezogen auf den Porenbeton **Wasser-PPW 2-Wert [100%]** gilt
 - für die relative Gewichtszunahme (DG/G0) des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs
 - PPW 2 ~ 54 %, dann ~ 76 %,
 - PPW 8 ~ 7 %, dann ~ 4 %,
 - für den spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs
 - PPW 2 ~ 68 %, dann ~ 94 %,
 - PPW 8 ~ 419 %, dann ~ 0 %,
 - für den Vorfaktor des Anfangs- und Fortsetzungsbereichs
 - PPW 2 ~ 108 %, dann 121 %,
 - PPW 8 ~ 122 %, dann 0 %,

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

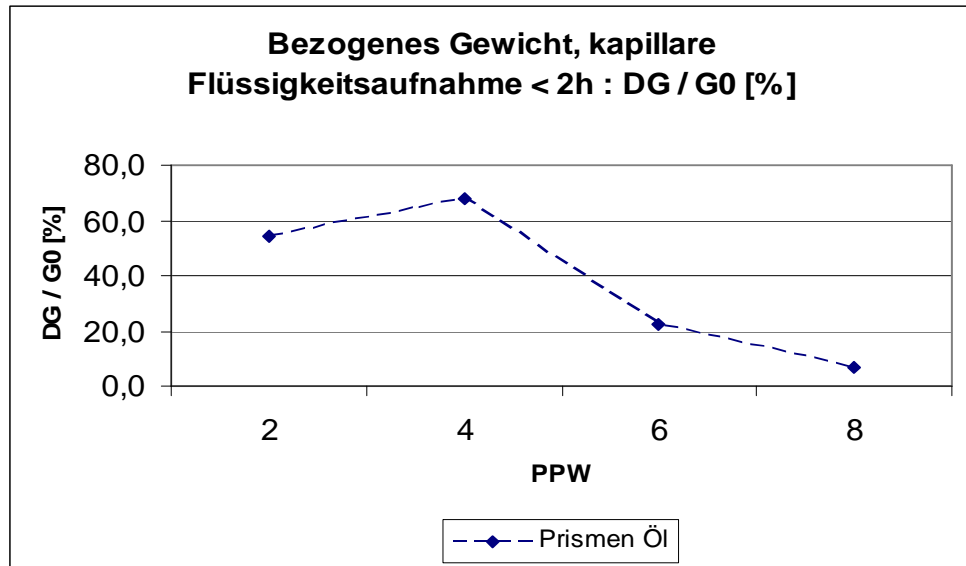


Diagramm 3.12.1.1.1.

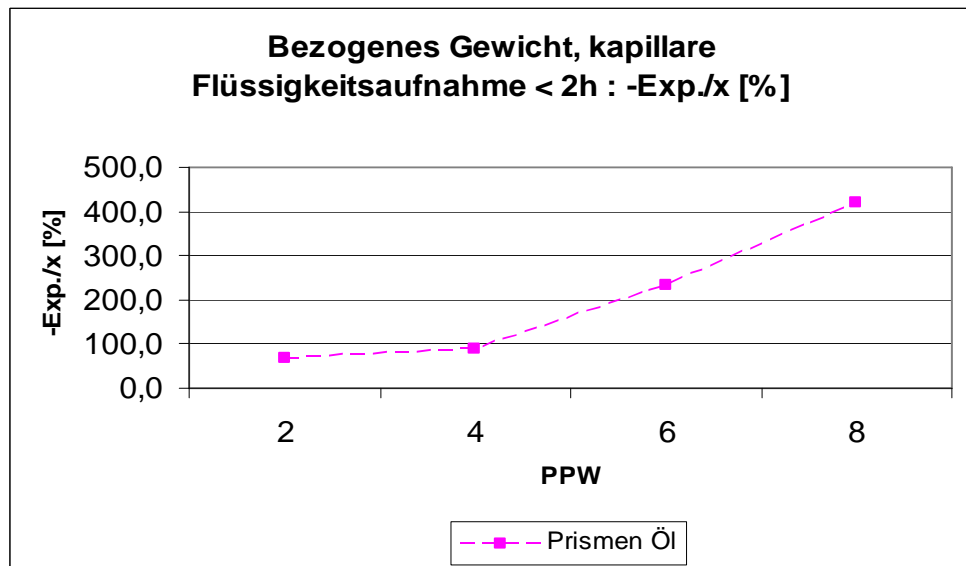


Diagramm 3.12.1.1.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

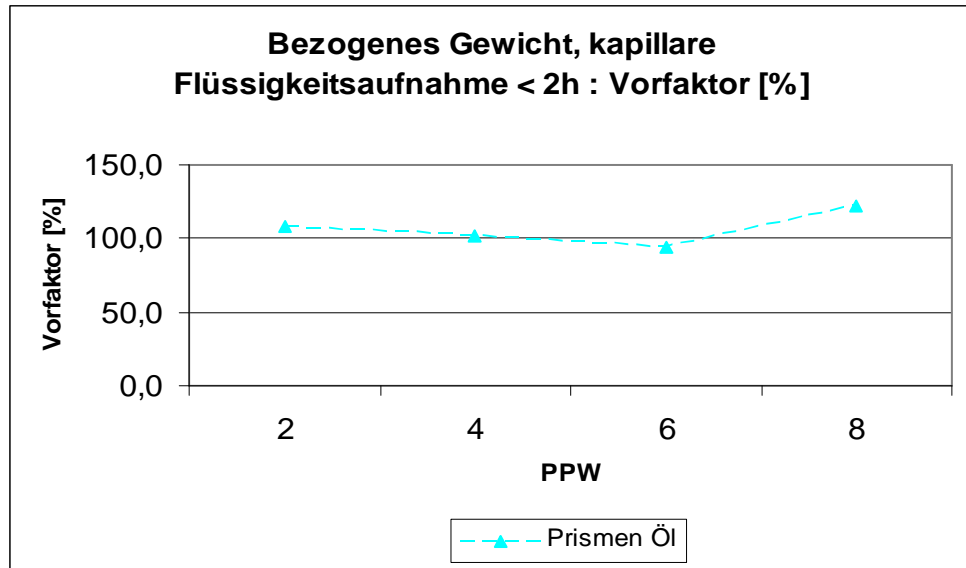


Diagramm 3.12.1.1.3.

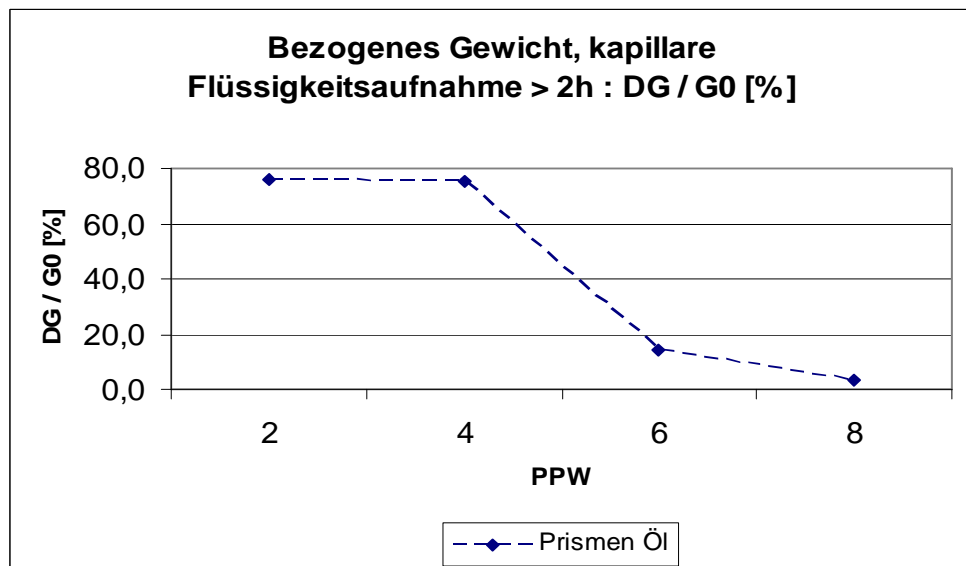


Diagramm 3.12.1.1.4.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

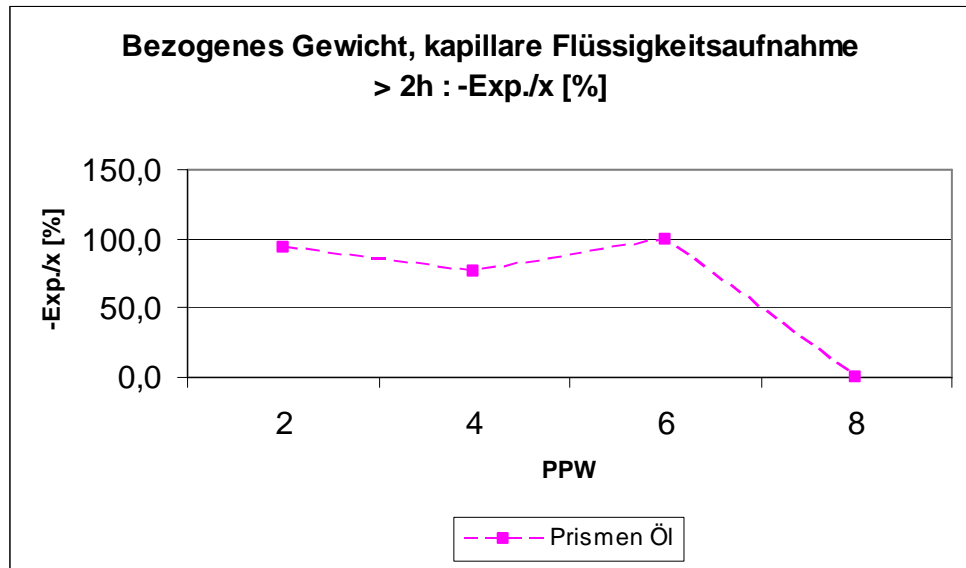


Diagramm 3.12.1.1.5.

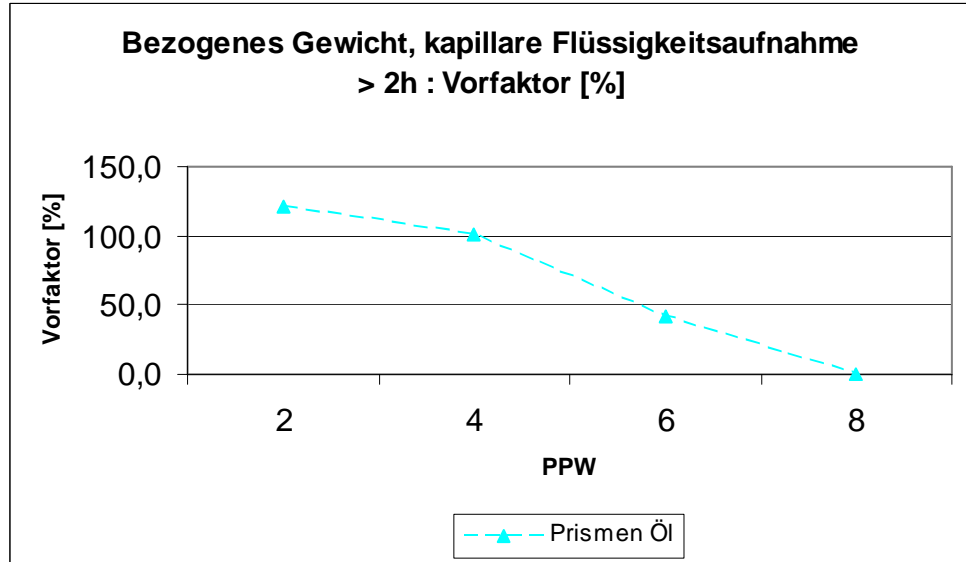


Diagramm 3.12.1.1.6.

3.13. Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 9

Nachfolgend werden die Messwerte der Versuchsserie V 9 wieder-
gegeben („kapillare“ Flüssigkeitsaufnahme von Prismen):

- Diagramm 3.13.1.: Steighöhe h Wasser [cm] der kapillaren Wasseraufnahme von Prismen
- Diagramm 3.13.2.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ Wasser [%] der kapillaren Wasseraufnahme von Prismen [x= Zeit [h]]
- Diagramm 3.13.3.: Steighöhe h Heizöl [cm] der kapillaren Heizölaufnahme von Prismen
- Diagramm 3.13.4.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ Heizöl [%] der kapillaren Heizölaufnahme von Prismen [x= Zeit [h]]
- Diagramm 3.13.5.: Steighöhe h [cm] der kapillaren Flüssigkeitsaufnahme von Prismen
- Diagramm 3.13.6.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] der kapillaren Flüssigkeitsaufnahme von Prismen [x= Zeit [h]]

Für die „kapillare“ maximale Steighöhe verwendete man den je-
weils ermittelten maximalen Steighöhen-Wert [h_{Max}].

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

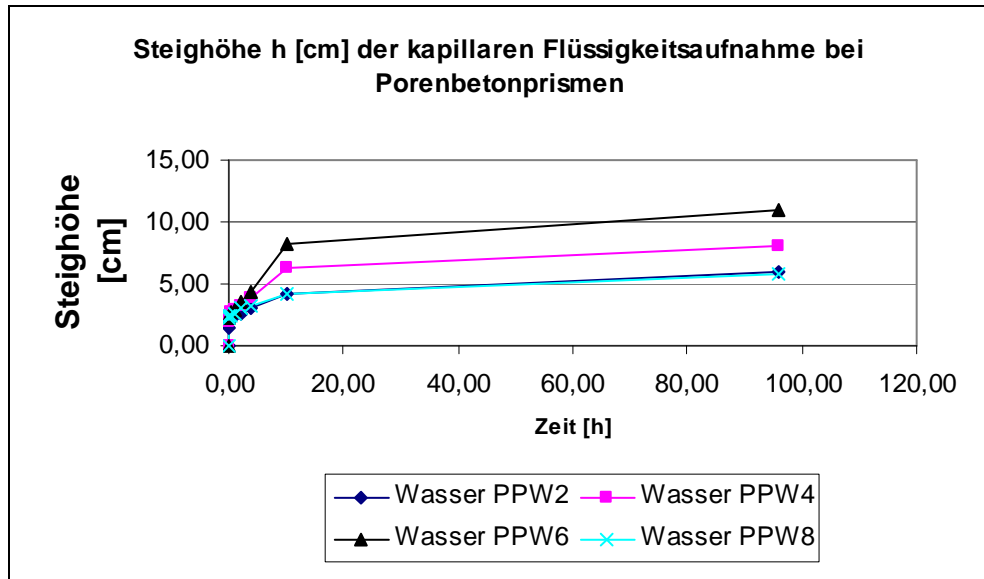


Diagramm 3.13.1.

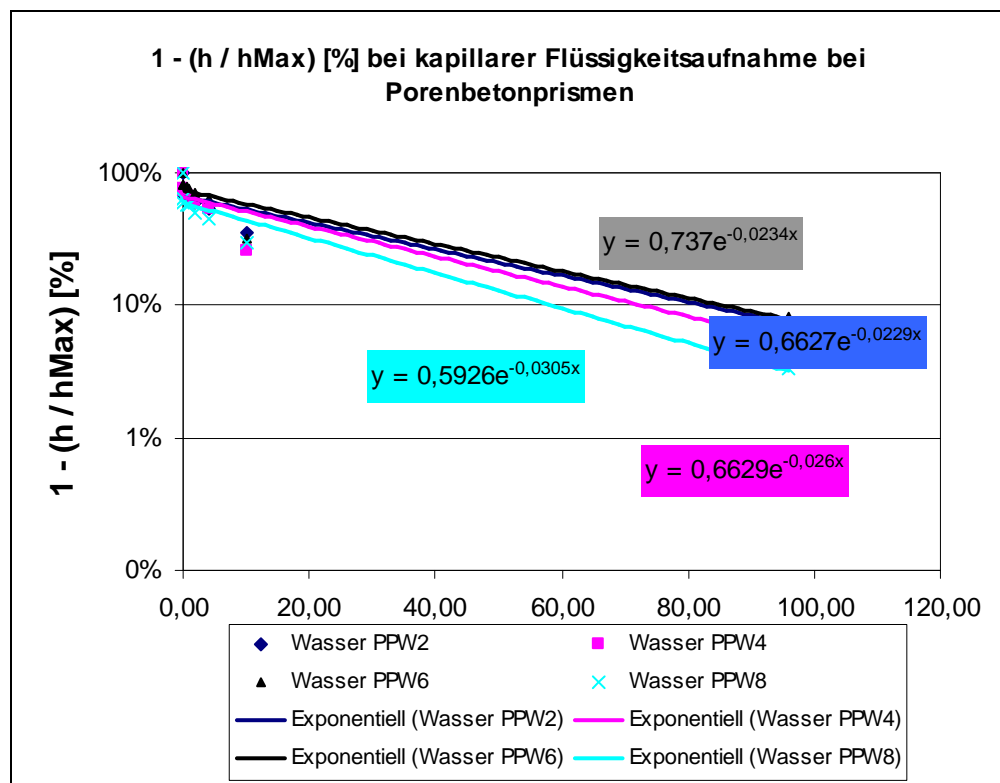


Diagramm 3.13.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

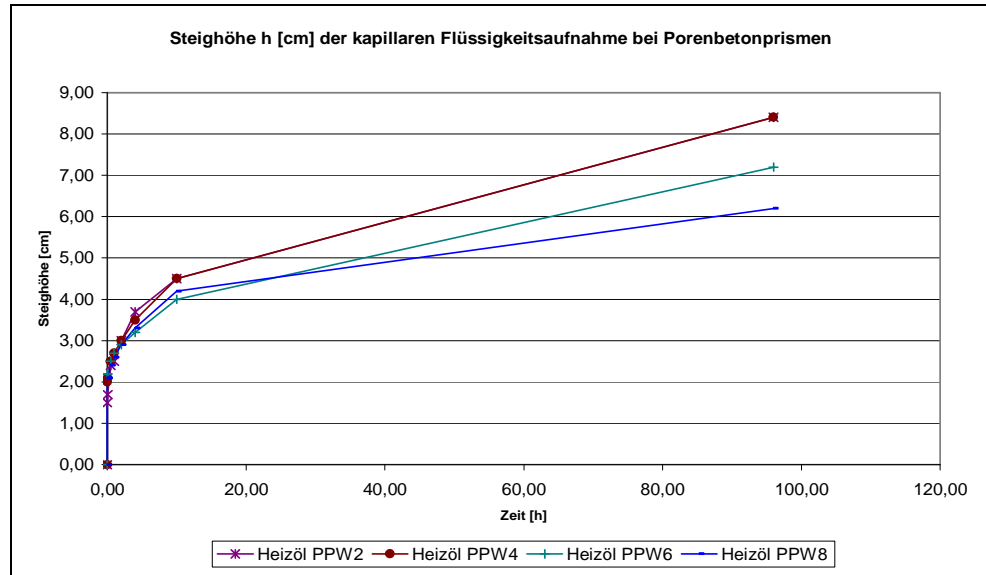


Diagramm 3.13.3.

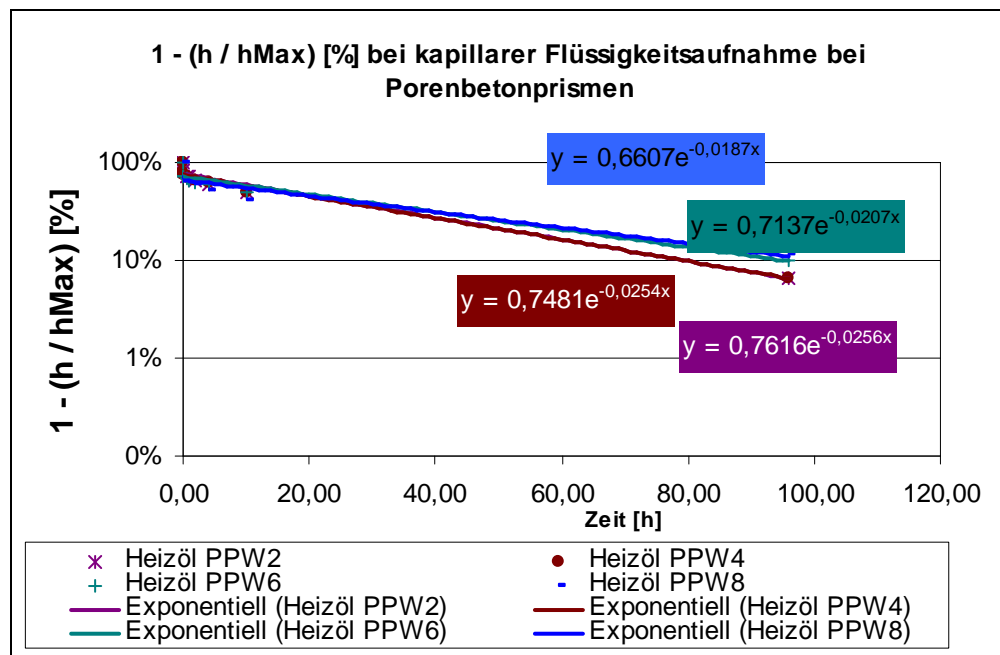


Diagramm 3.13.4.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Nachfolgend werden die Versuchsergebnisse bzgl. sämtlicher Flüssigkeiten zusammengefasst angegeben.

Für die „kapillare“ maximale Steighöhe verwendete man den jeweils ermittelten maximalen Steighöhen-Wert [hMax].

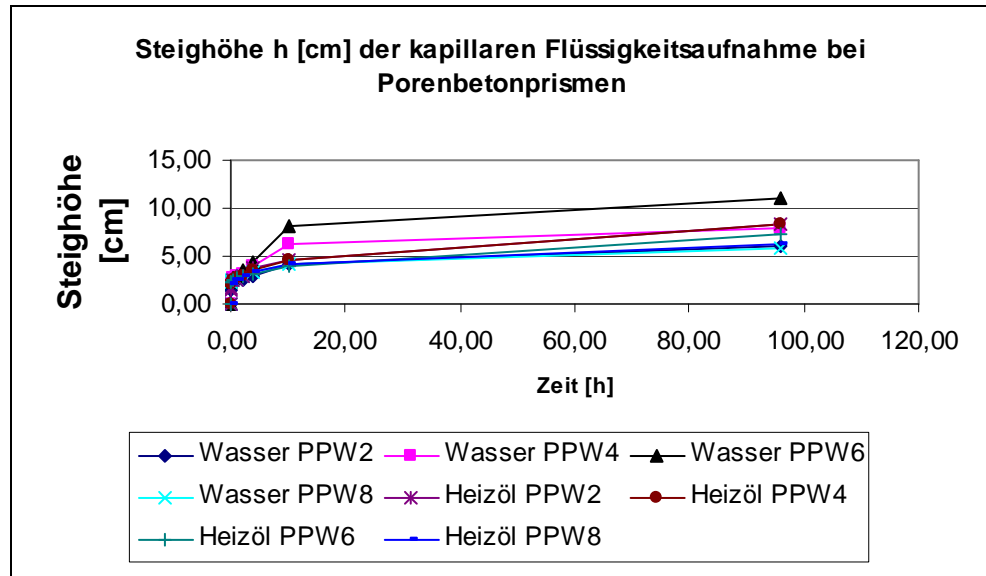


Diagramm 3.13.5.

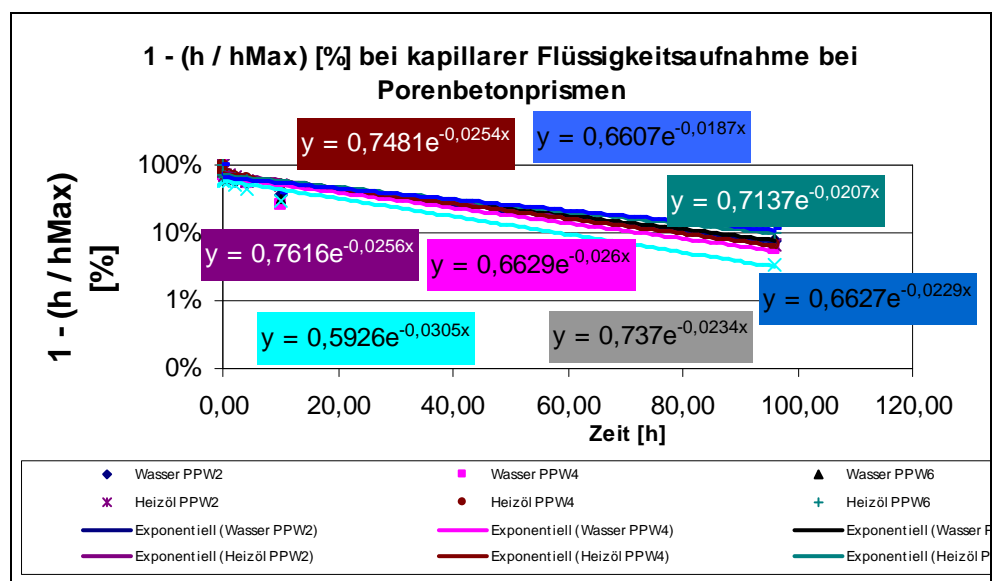


Diagramm 3.13.6.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

3.13.1. Auswertung / Versuchsserie V 9

Die nachfolgenden graphischen Zusammenfassungen enthalten folgende Zuordnungen:

- Diagramm 3.13.1.: Steighöhe, kapillare Flüssigkeitsaufnahme: -Exp./x=t [%] von Prismen
- Diagramm 3.13.2.: Steighöhe, kapillare Flüssigkeitsaufnahme: Vorfaktor [%] von Prismen

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie : Steighöhe, kapillare Flüssigkeitsaufnahme

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	2,3	66,3	96,0
		4	2,6	66,3	96,0
		6	2,3	73,7	96,0
		8	3,1	59,3	96,0
Prismen	Öl	2	2,6	76,2	96,0
		4	2,5	74,8	96,0
		6	2,1	71,4	96,0
		8	1,9	66,1	96,0

Tabelle 3.13.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 9 insbesondere:

- Spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) bzgl. des Anfangsbereichs:

- Wasser

- PPW 2 ~ 2 %
- PPW 4 ~ 3 %
- PPW 6 ~ 2 %
- PPW 8 ~ 3 %

- Öl

- PPW 2 ~ 3 %
- PPW 4 ~ 2 %
- PPW 6 ~ 2 %
- PPW 8 ~ 2 %

- Die Vorfaktoren liegen im Bereich von 100 %.

Zusammengefasst gilt insbesondere:

- **Spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (-Exp./x=t) liegen hinsichtlich der Steighöhe bei kapillarer Flüssigkeitsaufnahme für Wasser und Öl, unabhängig von der Porenbeton-Festigkeitsklasse, im selben Messbereich.**

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

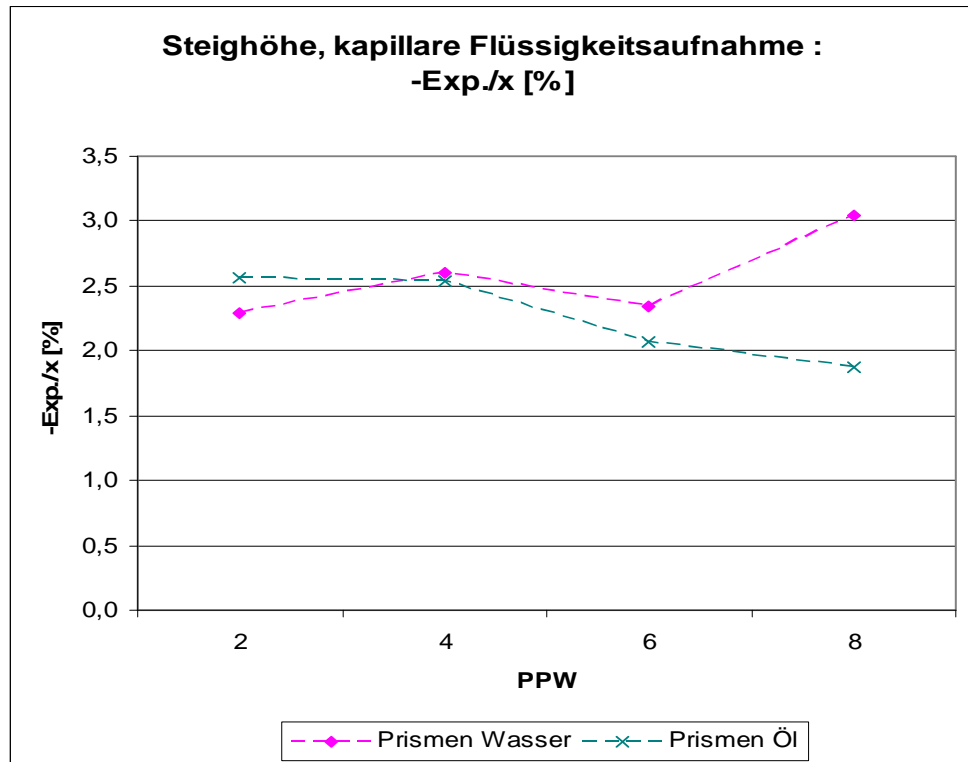


Diagramm 3.13.1.

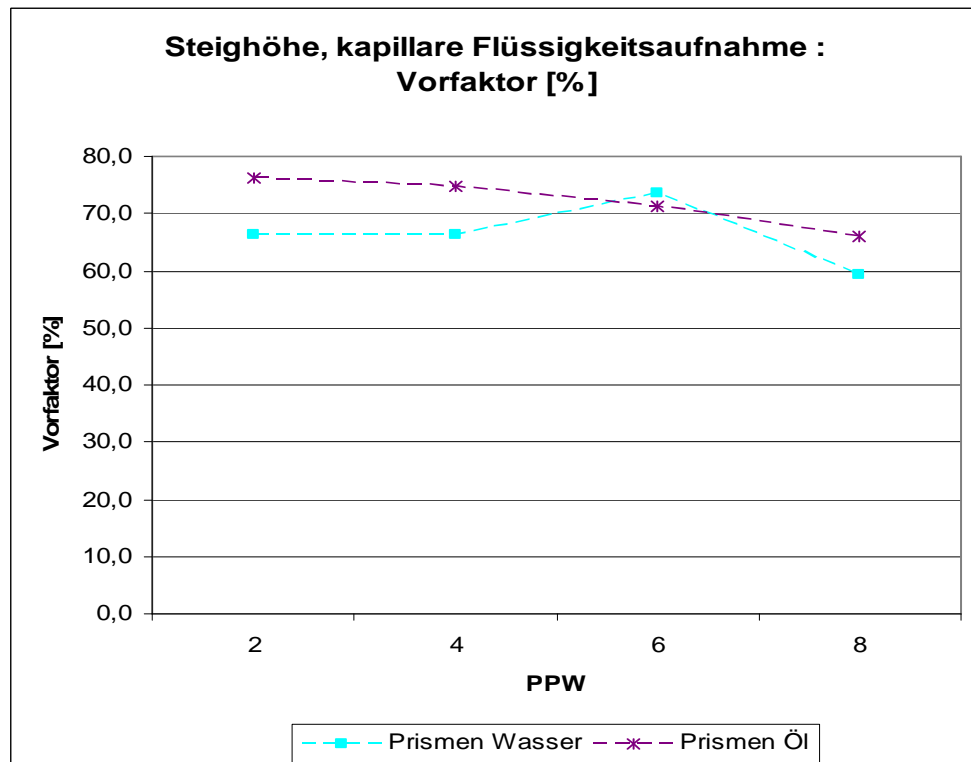


Diagramm 3.13.2.

3.13.1.1. Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse

Die oben angegebenen Verhältnisse werden noch offensichtlicher, falls auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse Bezug genommen wird.

- Diagramm 3.13.1.1.1.: Bezogene Steighöhe, kapillare Flüssigkeitsaufnahme von Prismen: -Exp./x=t [%]
- Diagramm 3.13.1.1.2.: Bezogene Steighöhe, kapillare Flüssigkeitsaufnahme von Prismen: Vorfaktor [%]

Versuchsserie : Bezogene Steighöhe, kapillare Flüssigkeitsaufnahme

Körper	Medium	PPW	bezogen auf Wasser PPW 2		
			-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	100,0	100,0	96,0
		4	113,5	100,0	96,0
		6	102,2	111,2	96,0
		8	133,2	89,4	96,0
Prismen	Öl	2	111,8	114,9	96,0
		4	110,9	112,9	96,0
		6	90,4	107,7	96,0
		8	81,7	99,7	96,0

Tabelle 3.13.1.1.1.

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 9 insbesondere:

- Bezogen auf den **Wasser-PPW 2-Wert [100%]** gilt:

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- für den spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) bzgl. des Anfangsbereichs:

- Wasser

- mit zunehmender Porenbeton-Festigkeitsklasse PPW 2/PPW 8 nimmt der Wert um 33 % zu

- Öl

- mit zunehmender Porenbeton-Festigkeitsklasse PPW 2/PPW 8 nimmt der Wert um 30 % ab

- Die Vorfaktoren liegen im Bereich von 100 %.

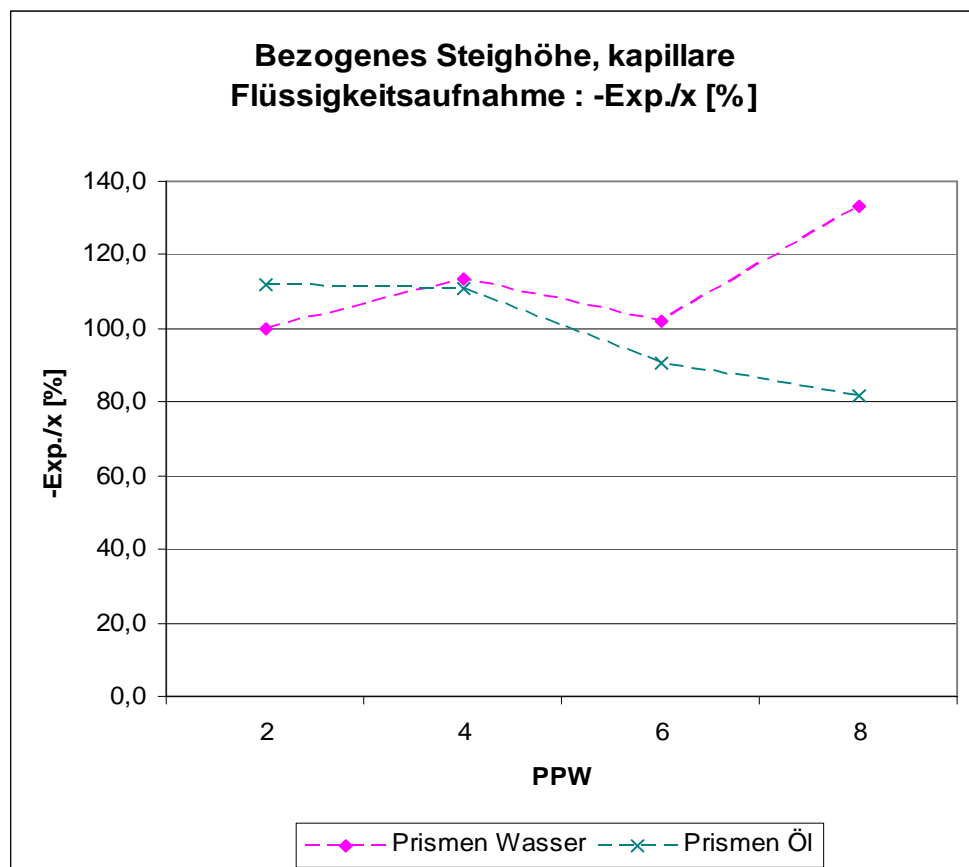


Diagramm 3.13.1.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

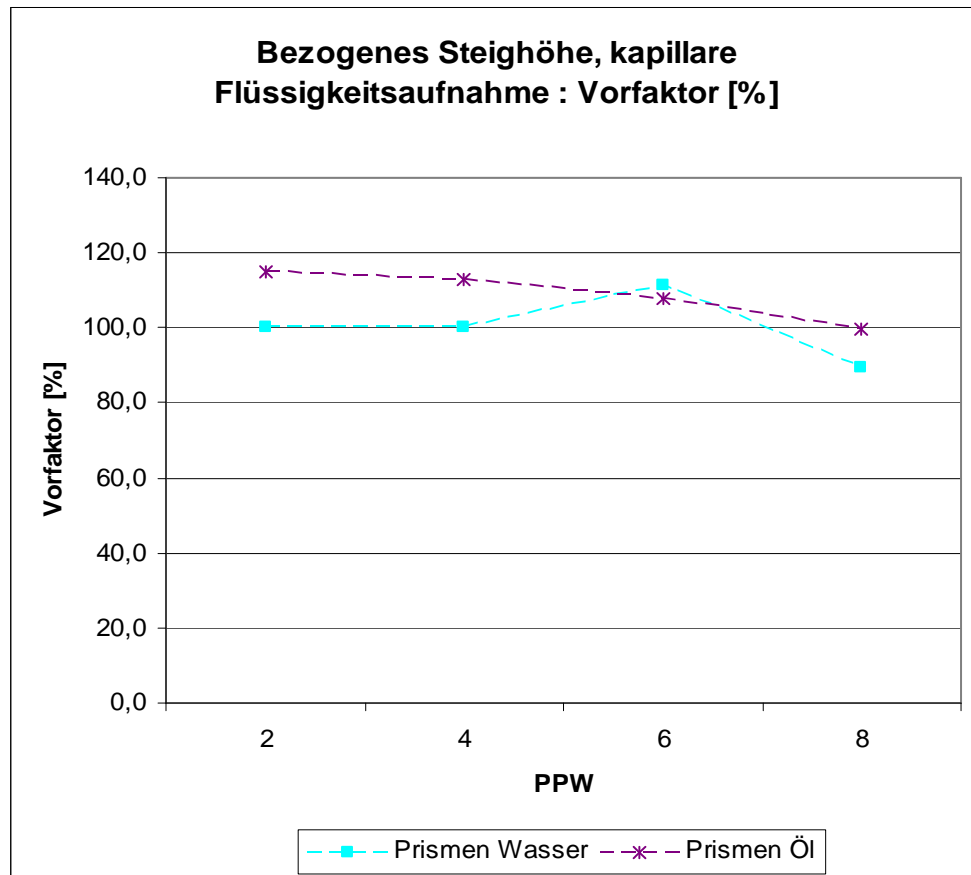


Diagramm 3.13.1.1.2.

3.14. Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 10

Nachfolgend werden die Messwerte der Versuchsserie V 10 wiedergegeben (allseitige Öl-Wasser-Gemisch-Einwanderung in Würfeln, gleiche Flüssigkeitshöhen Öl/Wasser):

- Diagramm 3.14.1.: Eindringtiefe h [cm] bei kombinierter und allseitiger Wasser-Heizöl-Aufnahme von Würfeln
- Diagramm 3.14.2.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] bei kombinierter und allseitiger Wasser-Heizöl-Aufnahme von Würfeln [x = Zeit [h]]

Die maximale Eindringtiefe h_{Max} entspricht der halben Würfellänge $14/2 = 7\text{cm}$.

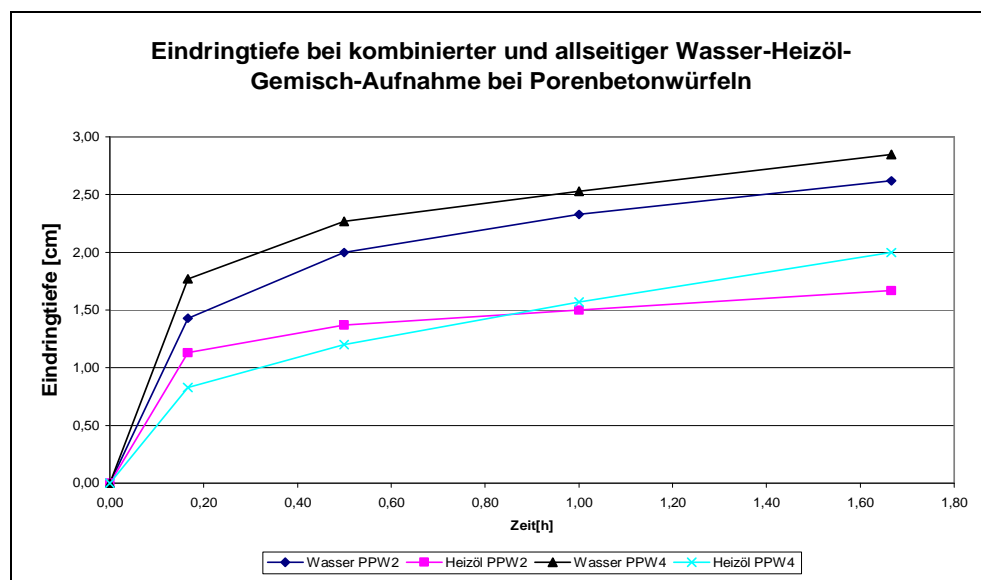


Diagramm 3.14.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

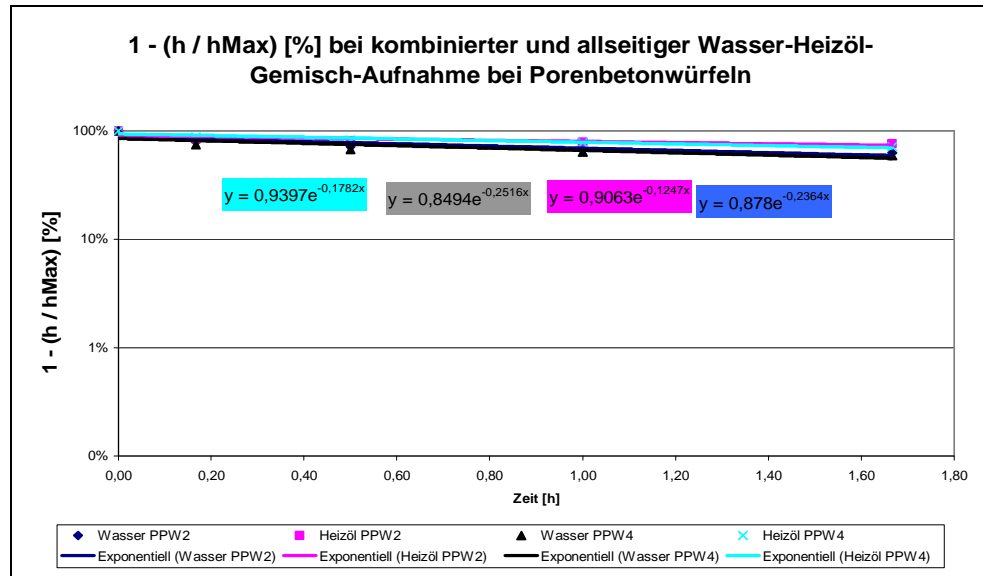


Diagramm 3.14.2.

3.14.1. Auswertung / Versuchsserie V 10

Die nachfolgenden graphischen Zusammenfassungen enthalten folgende Zuordnungen:

- Diagramm 3.14.1.1.: Eindringtiefe bei allseitiger Flüssigkeitsaufnahme Wasser-Heizöl-Gemisch von Würfeln: -Exp./x=t [%]
- Diagramm 3.14.1.2.: Eindringtiefe bei allseitiger Flüssigkeitsaufnahme Wasser-Heizöl-Gemisch von Würfeln: Vorfaktor [%]

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Versuchsserie : Eindringtiefe, allseitige Flüssigkeitsaufnahme/Gemisch

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel Wasser		2	23,6	87,8	1,67
		4	25,2	84,9	1,67
Würfel Öl		2	12,5	90,6	1,67
		4	17,8	94,0	1,67

Tabelle 3.14.1.1.

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 10 insbesondere:

- Spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) bzgl. des Anfangsbereichs:
 - Wasser
 - PPW 2 ~ 24 %
 - PPW 4 ~ 25 %
 - Öl
 - PPW 2 ~ 12 %
 - PPW 4 ~ 18 %
- Die Vorfaktoren liegen im Bereich von 100 %.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Zusammengefasst gilt insbesondere:

- Die spezifische Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (-Exp./x=t) der Porenbeton-Festigkeitsklassen PPW 2 und PPW 4 liegen im selben Größenordnungsbereich, die Wasser-Kennwerte liegen hierbei höher.

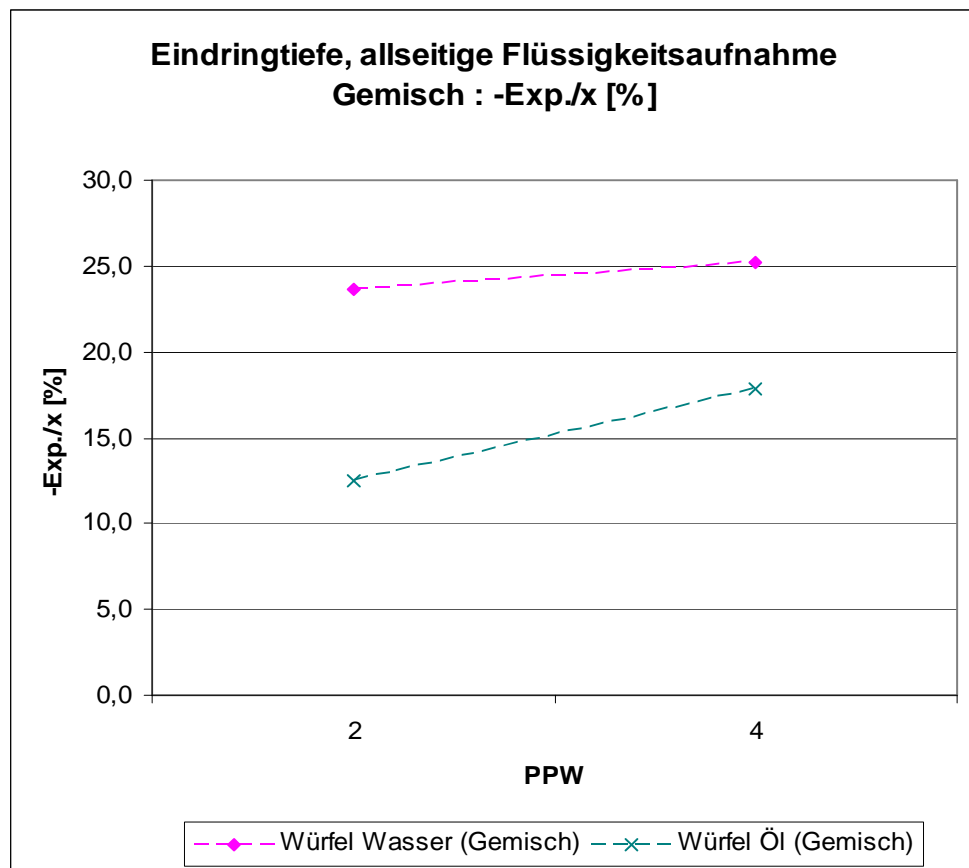


Diagramm 3.14.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

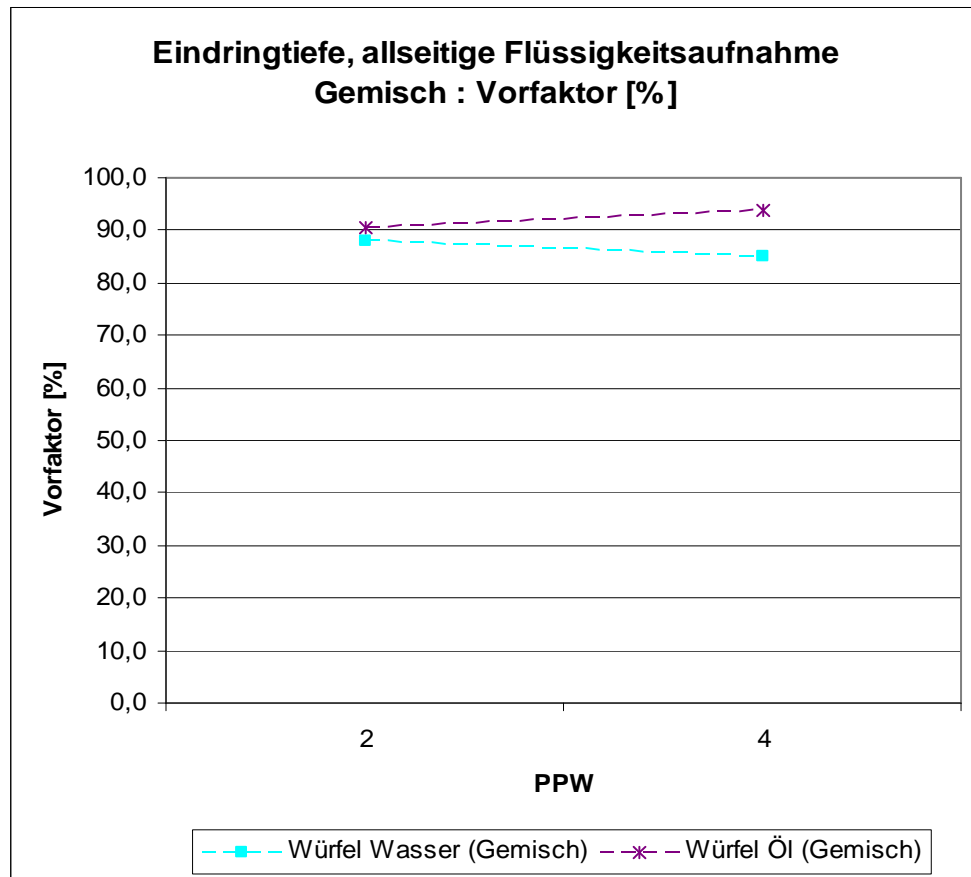


Diagramm 3.14.1.2.

3.14.1.1. Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse

Die oben angegebenen Verhältnisse werden noch offensichtlicher, falls auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse Bezug genommen wird.

- Diagramm 3.14.1.1.1.: Bezogene Eindringtiefe bei allseitiger **Wasser-Heizöl-Gemisch**aufnahme von **Würfeln**:
-Exp./x=t [%]
- Diagramm 3.14.1.1.2.: Bezogene Eindringtiefe bei allseitiger **Wasser-Heizöl-Gemisch**aufnahme von **Würfeln**:
Vorfaktor [%]

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie : Bezog. Eindringtiefe, allseitige Flüssigkeitsaufn. Gemisch

Körper	Medium	PPW	bezogen auf Wasser PPW 2		
			-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Wasser	2	100,0	100,0	1,67
		4	106,4	96,7	1,67
Würfel	Öl	2	52,7	103,2	1,67
		4	75,4	107,0	1,67

Tabelle 3.14.1.1.1.

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 10 insbesondere:

- Bezogen auf den **Wasser-PPW 2-Wert [100%]** gilt:
 - für den spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) bzgl. des Anfangsbereichs:

- Wasser

- PPW 2 ~ 100 %
- PPW 4 ~ 106 %

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Öl

- PPW 2 ~ 53 %
- PPW 4 ~ 75 %

- Die Vorfaktoren liegen im Bereich von 100 %

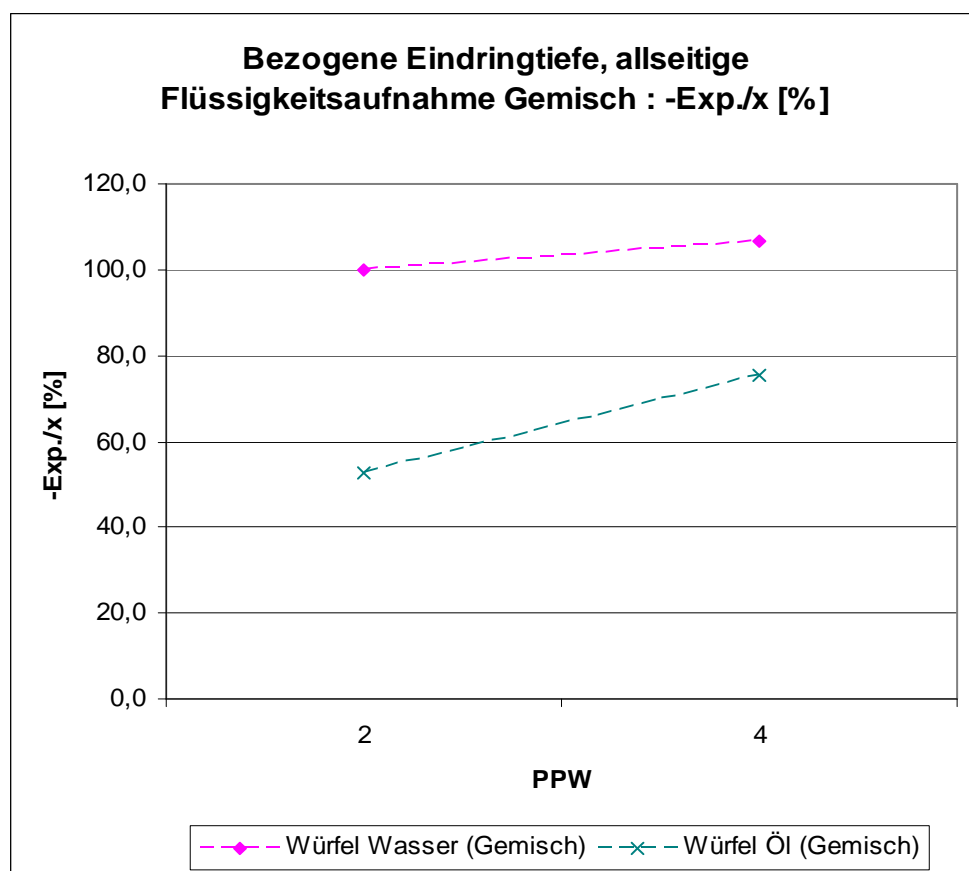


Diagramm 3.14.1.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

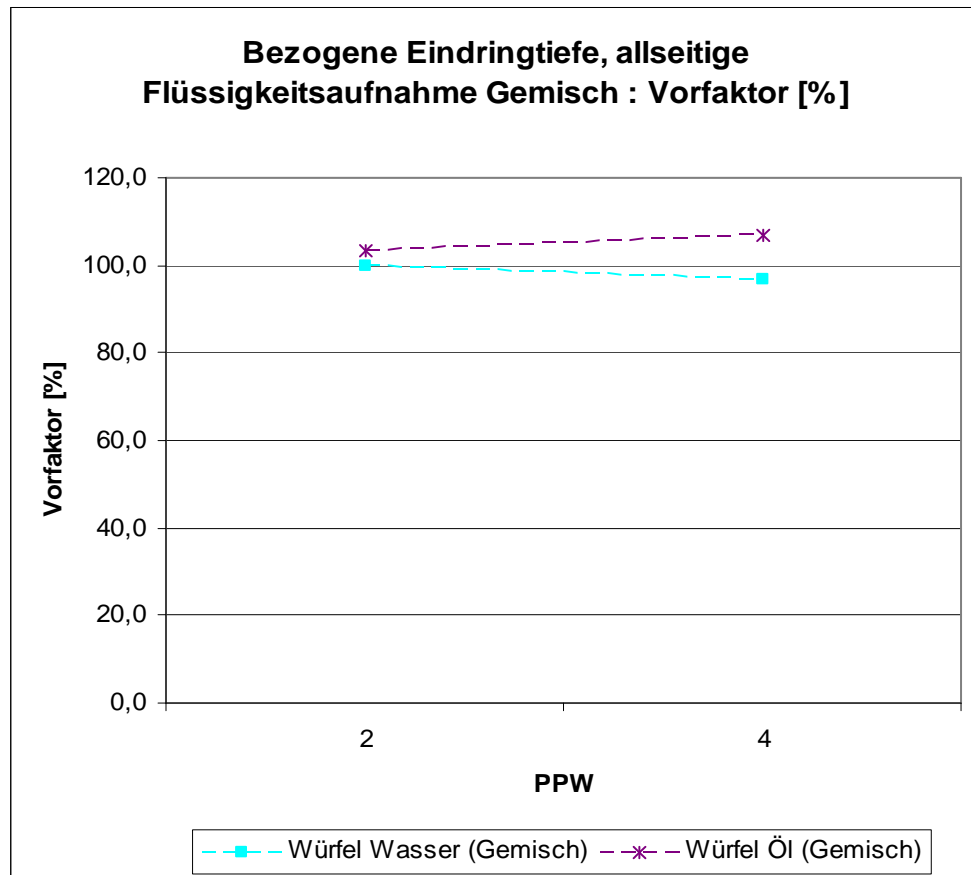


Diagramm 3.14.1.1.2.

3.15. Versuchsergebnisse / Versuchsserie V 11

Nachfolgend werden die Messwerte der Versuchsserie V 11 wiedergegeben (einseitige Öl-Wasser-Gemisch-Einwanderung in Würfel mit Kalk-Zementputz, gleiche Flüssigkeitshöhen Öl/Wasser):

- Diagramm 3.15.1.: Eindringtiefe h [cm] der einseitigen Wasser-Heizöl-Gemisch-Aufnahme von Porenbetonwürfeln mit Kalk-Zementputz
- Diagramm 3.15.2.: $[1-(h / h_{\text{Max}})]$ [%] der einseitigen Wasser-Heizöl-Gemisch-Aufnahme von Porenbetonwürfeln mit Kalk-Zementputz [x = Zeit [h]]

Maximale Eindringtiefe: Würfellänge (14cm)

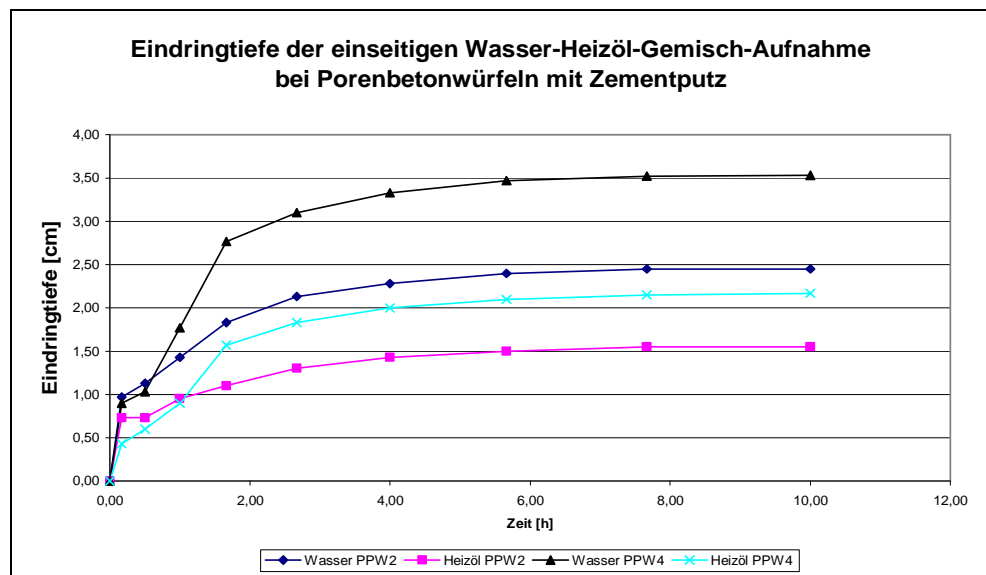


Diagramm 3.15.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

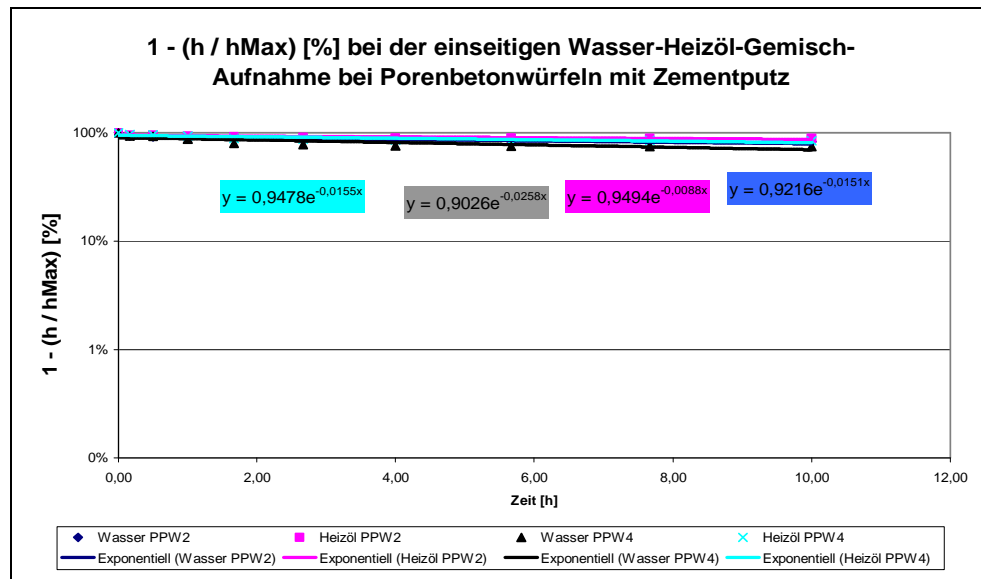


Diagramm 3.15.2.

3.15.1. Auswertung / Versuchsserie V 11

Die nachfolgenden graphischen Zusammenfassungen enthalten folgende Zuordnungen:

- Diagramm 3.15.1.1.: Eindringtiefe/Putz, einseitige Flüssigkeitsaufnahme: -Exp./x=t [%]
- Diagramm 3.15.1.2.: Eindringtiefe/Putz, einseitige Flüssigkeitsaufnahme: Vorfaktor [%]

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Versuchsserie : Eindringtiefe bei Kalk-Zementputz, einseitige Flüssigkeitsaufnahme/Gemisch

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Wasser	2	1,5	92,2	10,0
		4	2,6	90,3	10,0
Würfel	Öl	2	0,9	94,9	10,0
		4	1,6	94,8	10,0

Tabelle 3.15.1.1.

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 11 insbesondere:

- Spezifischer Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) bzgl. des Anfangsbereichs:
 - Wasser
 - PPW 2 ~ 1,5 %
 - PPW 4 ~ 3 %
 - Öl
 - PPW 2 ~ 1 %
 - PPW 4 ~ 2 %
- Die Vorfaktoren liegen im Bereich von 100 %.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Zusammengefasst gilt insbesondere:

- Die spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (-Exp./x=t) liegen bei den Porenbeton-Festigkeitsklassen PPW 2 und PPW 4 insgesamt im selben Wertebereich.

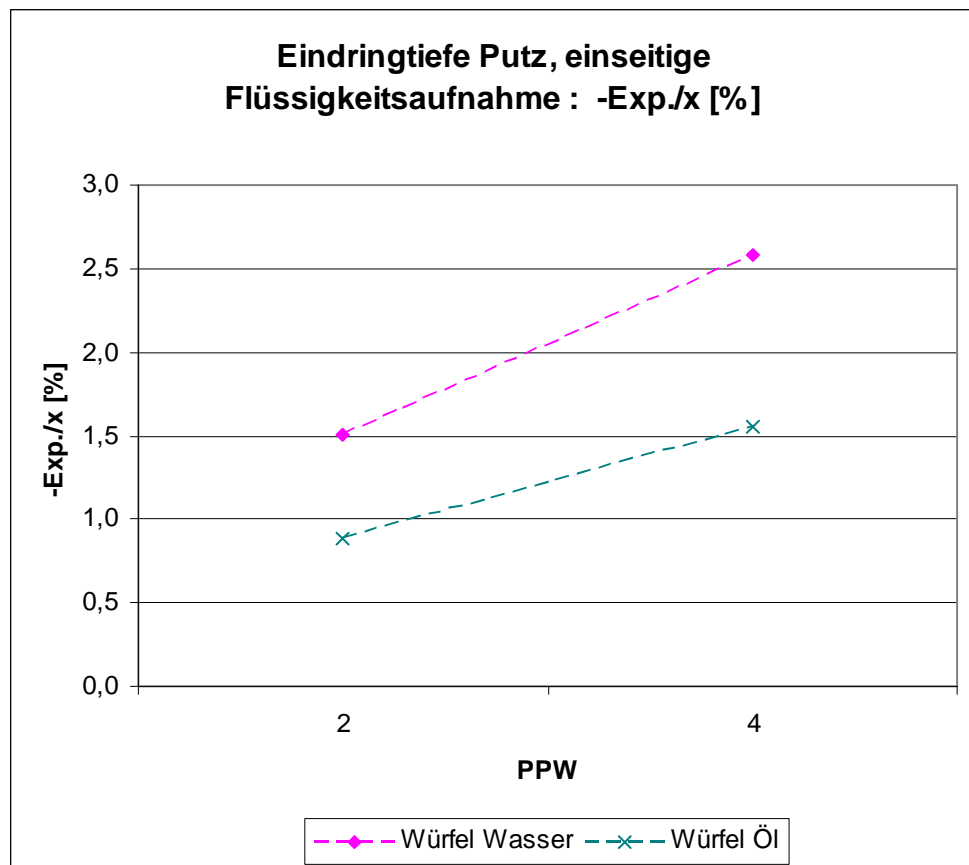


Diagramm 3.15.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

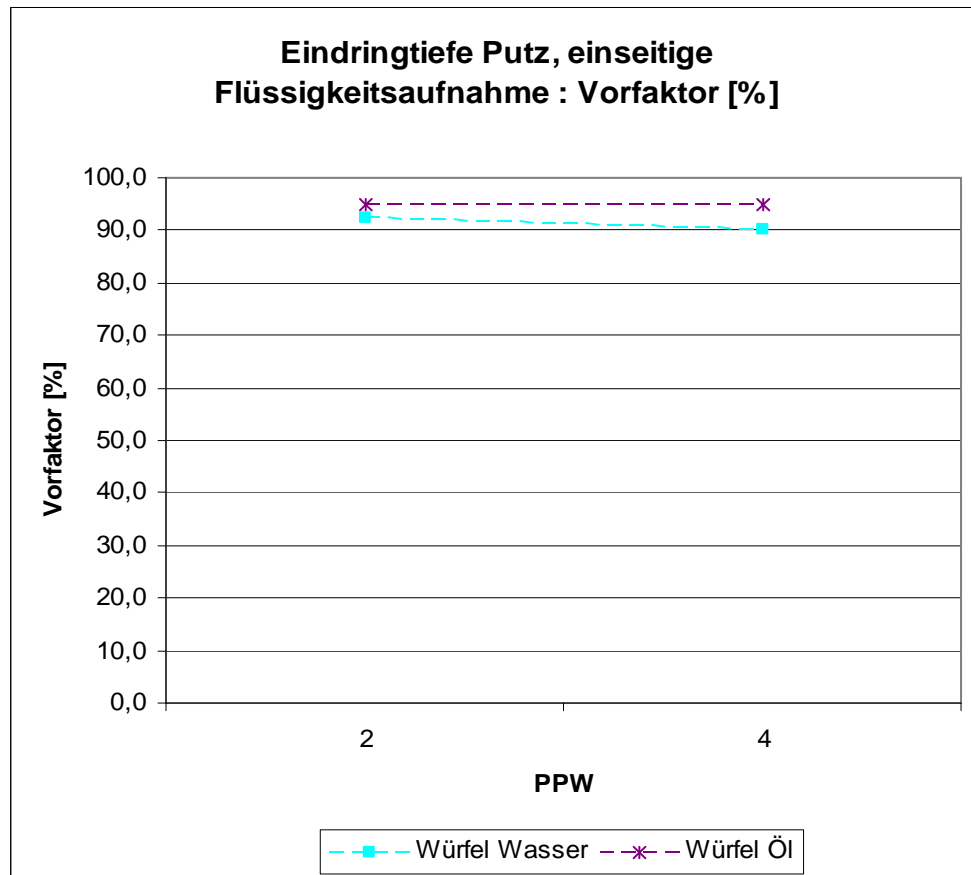


Diagramm 3.15.1.2.

3.15.1.1. Bezug auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse

Die obig angegebenen Verhältnisse werden noch offensichtlicher, falls auf die niedrigste PPW-Festigkeitsklasse Bezug genommen wird.

- Diagramm 3.15.1.1.1.: Bezogene Eindringtiefe bei Kalk-Zementputz, einseitige Flüssigkeitsaufnahme: $-Exp./x=t$ [%]
- Diagramm 3.15.1.1.2.: Bezogene Eindringtiefe bei Kalk-Zementputz, einseitige Flüssigkeitsaufnahme: Vorfaktor [%]

Die in den o. a. graphischen Zusammenfassungen enthaltenen Kenngrößen werden nachfolgend tabellarisch wiedergegeben.

Versuchsserie :
Bezogene Eindringtiefe bei Kalk-Zementputz, einseitige Flüssigkeitsaufnahme

Körper	Medium	PPW	bezogen auf Wasser PPW 2		
			$-Exp./x=t$ [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Wasser	2	100,0	100,0	10,0
		4	170,9	97,9	10,0
Würfel	Öl	2	58,3	103,0	10,0
		4	102,6	102,8	10,0

Tabelle 3.15.1.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt bzgl. der Versuchsserie V 10 insbesondere:

- Bezogen auf den **Wasser-PPW 2-Wert [100%]** gilt:
 - für den spezifischen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (-Exp./x=t) bzgl. des Anfangsbereichs:
 - Wasser
 - PPW 2 ~ 100 %
 - PPW 4 ~ 171 %
 - Öl
 - PPW 2 ~ 58 %
 - PPW 4 ~ 103 %
- Die Vorfaktoren liegen im Bereich von 100 %.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

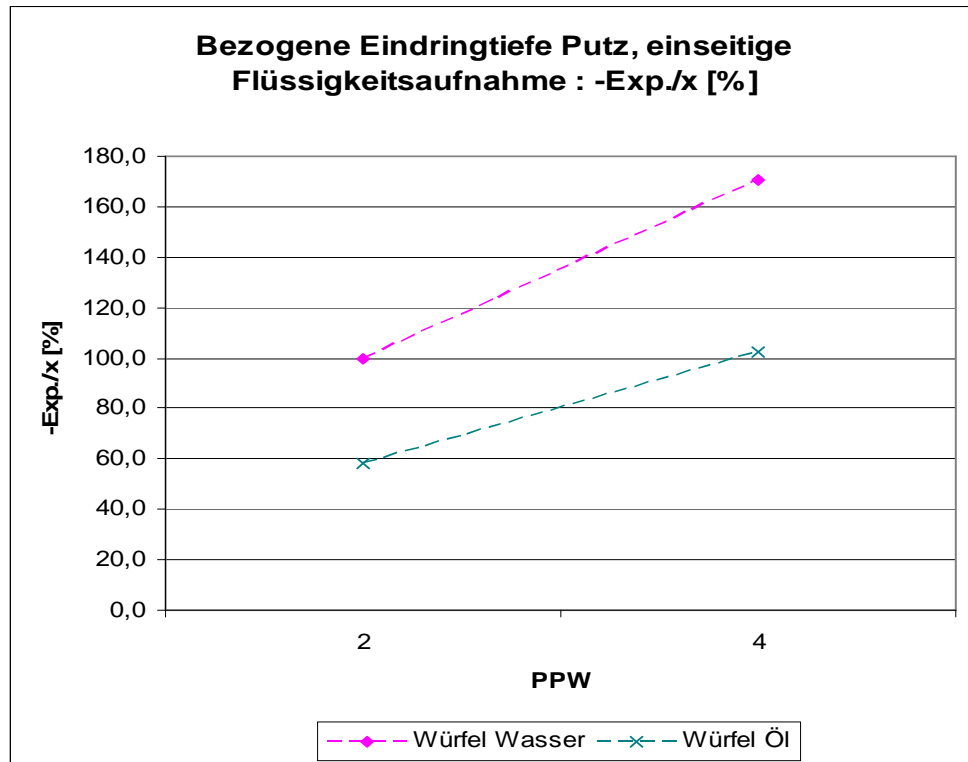


Diagramm 3.15.1.1.1.

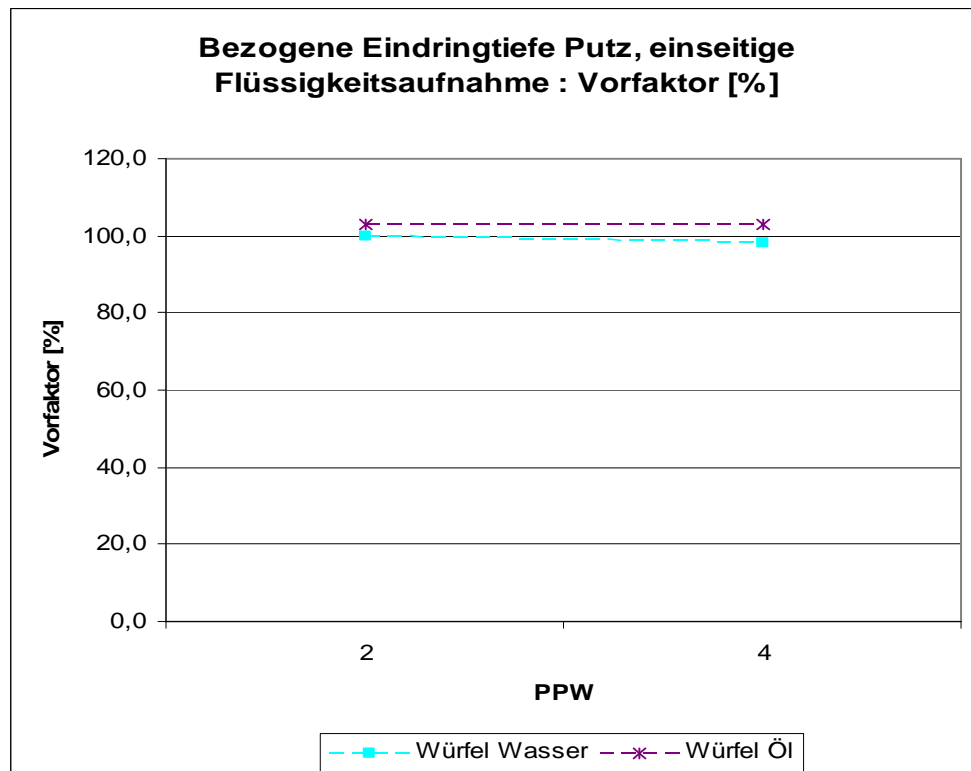


Diagramm 3.15.1.1.2.

3.16. Zusammenfassung der Versuchsergebnisse V 1 bis V 11

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Versuche V 1 bis V 11 zusammengefasst wiedergegeben.

3.16.1. Versuchsserien-Übersicht

Nachfolgend wird nochmals auf die durchgeführten Versuchsserien verwiesen (vgl. Kap. 3.4.):

Übersicht über die Versuchsserien				
Versuchsserie	Probenform	Einwanderungsart	Flüssigkeit	Ermittlungskenngröße
V 1	Würfel	allseitig	Öl	Gewicht
V 2	Prisma	allseitig	Wasser	Gewicht
V 3	Prisma	allseitig	Öl	Gewicht
V 4	Würfel	einseitig	Öl Wasser Spree- Wasser	Eindringtiefe
V 5	Prisma	allseitig	Öl Wasser Spree- Wasser	Eindringtiefe

Tabelle 3.16.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Übersicht über die Versuchsserien				
Versuchsserie	Probenform	Einwanderungsart	Flüssigkeit	Ermittlungskenngröße
V 6	Prisma	stirnseitig	Öl Wasser Spree- Wasser	Eindringtiefe
V 7	Prisma	„kapillar“	Wasser	Gewicht
V 8	Prisma	„kapillar“	Öl	Gewicht
V 6	Prisma	stirnseitig	Öl Wasser	Eindringtiefe
V 9	Prisma	„kapillar“	Öl Wasser	Steighöhe
V 10	Würfel	allseitig	<u>Gemisch</u> Öl / Was- ser (gleiche Flüssig- keits- Höhen)	Eindringtiefe
V 11	Würfel mit Kalk- Zement- Putz	einseitig	Gemisch Öl / Was- ser (gleiche Flüssig- keits- Höhen)	Eindringtiefe

Tabelle 3.16.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

3.16.2. Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Nachfolgend werden die Versuchsergebnisse der einzelnen Versuchsserien tabellarisch wiedergegeben.

3.16.2.1. Versuchsserie V1

**Versuchsserie :
Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 24h**

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Öl	2	68,1	2,1	68,5	24,0
		4	40,0	2,8	77,7	24,0

Tabelle 3.16.2.1.1.

**Versuchsserie :
Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 24h**

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Öl	2	127,9	0,8	49,9	264,0
		4	71,4	1,5	66,9	264,0

Tabelle 3.16.2.1.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

3.16.2.2. Versuchsserie V 2

**Versuchsserie :
Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h**

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	75,9	217,6	135,3	2,0
		4	69,9	228,9	135,1	2,0
		6	33,5	189,3	97,9	2,0
		8	24,0	85,7	88,1	2,0

Tabelle 3.16.2.2.1.

**Versuchsserie :
Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h**

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	76,8	8,1	1,6	10,0
		4	70,6	8,1	1,4	10,0
		6	34,5	11,6	3,9	10,0
		8	29,4	44,8	45,2	10,0

Tabelle 3.16.2.2.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

3.16.2.3. Versuchsserie V 3

**Versuchsserie :
Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme < 2h**

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Öl	2	49,8	83,0	85,6	2,0
		4	46,7	76,8	83,8	2,0
		6	14,1	54,7	89,6	2,0
		8	8,3	41,8	93,2	2,0

Tabelle 3.16.2.3.1.

**Versuchsserie :
Gewicht, allseitige Flüssigkeitsaufnahme > 2h**

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Öl	2	61,0	22,8	24,8	10,0
		4	58,9	24,8	32,4	10,0
		6	20,7	25,4	56,0	10,0
		8	14,2	28,4	83,1	10,0

Tabelle 3.16.2.3.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

3.16.2.4. Versuchsserie V 4

**Versuchsserie :
Eindringtiefe, einseitige Flüssigkeitsaufnahme**

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Wasser	2	10,5	94,4	1,67
		4	11,8	93,4	1,67
Würfel	S.-Wasser	2	9,5	94,3	1,67
		4	7,8	93,7	1,67
Würfel	Öl	2	8,6	97,0	1,67
		4	8,0	97,5	1,67

Tabelle 3.16.2.4.1.

3.16.2.5. Versuchsserie V 5

**Versuchsserie :
Eindringtiefe, allseitige Flüssigkeitsaufnahme**

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	231,6	101,5	6,0
		4	279,4	96,6	6,0
Prismen	S.-Wasser	2	190,3	71,2	6,0
		4	235,6	75,9	6,0
Prismen	Öl	2	25,4	83,1	6,0
		4	94,5	81,1	6,0

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Tabelle 3.16.2.5.1.

3.16.2.6. Versuchsserie V 6

Versuchsserie :
Eindringtiefe, stirnseitige Flüssigkeitsaufnahme

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	4,8	93,8	6,0
		4	4,2	92,7	6,0
Prismen	S.-Wasser	2	3,5	93,7	6,0
		4	3,5	93,6	6,0
Prismen	Öl	2	1,5	94,8	6,0
		4	3,2	97,7	6,0

Tabelle 3.16.2.6.1.

3.16.2.7. Versuchsserie V 7

Versuchsserie :
Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme < 2h

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	10,8	32,2	93,5	2,0
		4	13,4	32,9	91,4	2,0
		6	9,2	41,8	85,6	2,0
		8	3,8	70,6	96,8	2,0

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Tabelle 3.16.2.7.1.

**Versuchsserie :
Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme > 2h**

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	21,8	14,4	67,8	10,0
		4	27,7	11,7	63,6	10,0
		6	15,5	12,1	50,8	10,0
		8	5,0	27,7	39,2	10,0

Tabelle 3.16.2.7.2.

3.16.2.8. Versuchsserie V 8

**Versuchsserie :
Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme < 2h**

Körper	Medium	PPW	Anfang			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Öl	2	5,8	21,8	101,1	2,0
		4	7,3	28,0	95,5	2,0
		6	2,4	75,4	87,6	2,0
		8	0,8	135,0	113,9	1,5

Tabelle 3.16.2.8.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Versuchsserie :
Gewicht, kapillare Flüssigkeitsaufnahme > 2h

Körper	Medium	PPW	Fortsetzung			
			DG / G0 [%]	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Öl	2	16,6	13,6	82,2	10,0
		4	16,4	11,0	68,4	10,0
		6	3,1	14,4	28,8	10,0
		8	0,8	-	-	-

Tabelle 3.16.2.8.2.

3.16.2.9. Versuchsserie V 9

Versuchsserie :
Steighöhe, kapillare Flüssigkeitsaufnahme

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Prismen	Wasser	2	2,3	66,3	96,0
		4	2,6	66,3	96,0
		6	2,3	73,7	96,0
		8	3,1	59,3	96,0
Prismen	Öl	2	2,6	76,2	96,0
		4	2,5	74,8	96,0
		6	2,1	71,4	96,0
		8	1,9	66,1	96,0

Tabelle 3.16.2.9.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

3.16.2.10. Versuchsserie V 10

**Versuchsserie :
Eindringtiefe, allseitige Flüssigkeitsaufnahme/Gemisch**

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Wasser	2	23,6	87,8	1,67
		4	25,2	84,9	1,67
Würfel	Öl	2	12,5	90,6	1,67
		4	17,8	94,0	1,67

Tabelle 3.16.2.10.1.

3.16.2.11. Versuchsserie V 11

**Versuchsserie :
Eindringtiefe durch Putz, einseitige Flüssigkeitsaufnahme/Gemisch**

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Wasser	2	1,5	92,2	10,0
		4	2,6	90,3	10,0
Würfel	Öl	2	0,9	94,9	10,0
		4	1,6	94,8	10,0

Tabelle 3.16.2.11.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

3.17. Auswirkung unterschiedlicher Körperformen/ Porenbetone PPW 2 und PPW 4

Nachfolgend wird auf die Auswirkung unterschiedlicher Körperformen eingegangen.

3.17.1. Relatives Gewichtsverhältnis Prisma / Würfel bei allseitiger Öleinwanderung

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 3 und der Versuche V 1 (vgl. Kap. 3.7., 3.5. und 3.16.) erhielt man die nachfolgenden Angaben.

Vergleich : Verhältnis Prisma / Würfel [%] für Gewicht Öl allseitig

Anfang		$\frac{GV_{\text{Prisma}}}{GV_{\text{Würfel}}}$ [%]	$\frac{EXP_{\text{Prisma}}}{EXP_{\text{Würfel}}}$ [%]	$\frac{VF_{\text{Prisma}}}{VF_{\text{Würfel}}}$ [%]
PPW	2	73,1	4007,2	124,9
	4	116,6	2774,0	107,8

Tabelle 3.17.1.1.

Vergleich : Verhältnis Prisma / Würfel [%] für Gewicht Öl allseitig

Fortsetzung		$\frac{GV_{\text{Prisma}}}{GV_{\text{Würfel}}}$ [%]	$\frac{EXP_{\text{Prisma}}}{EXP_{\text{Würfel}}}$ [%]	$\frac{VF_{\text{Prisma}}}{VF_{\text{Würfel}}}$ [%]
PPW	2	47,7	2852,5	49,6
	4	82,4	1695,2	48,4

Tabelle 3.17.1.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.17.1.1. bis 3.17.1.6.):

- **Bei einer allseitigen Öleinwanderung reichert sich im Prisma eine geringere Ölmenge an, als beim Würfel.**
- **Hierbei erfolgt die Ölaufnahme beim Prisma zuerst sehr erheblich schneller, dann erheblich schneller als im Würfel.**
- **Dieser Vorgang nimmt mit der abnehmenden Festigkeitsklasse bzw. Rohdichte des Porenbetons zu.**
- **Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist ähnlich.**

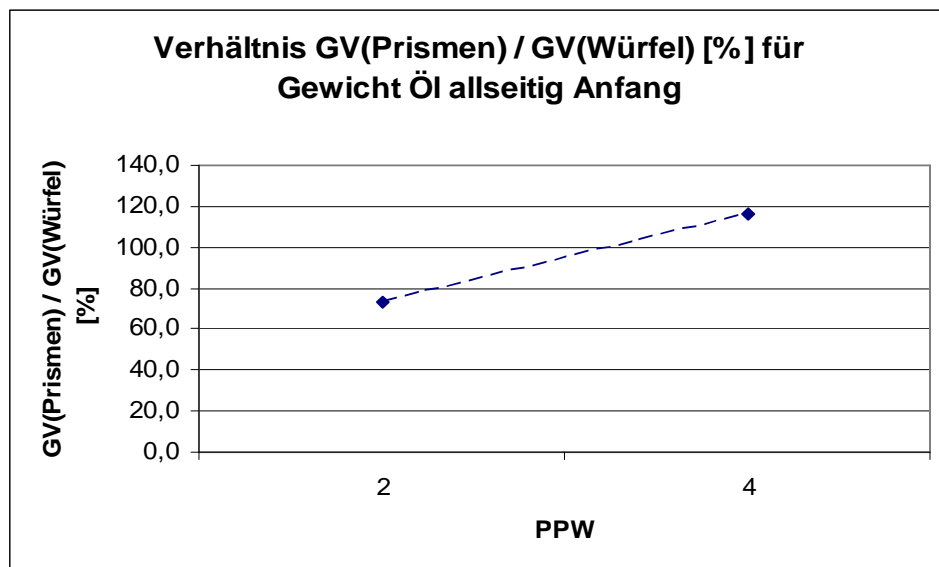


Diagramm 3.17.1.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

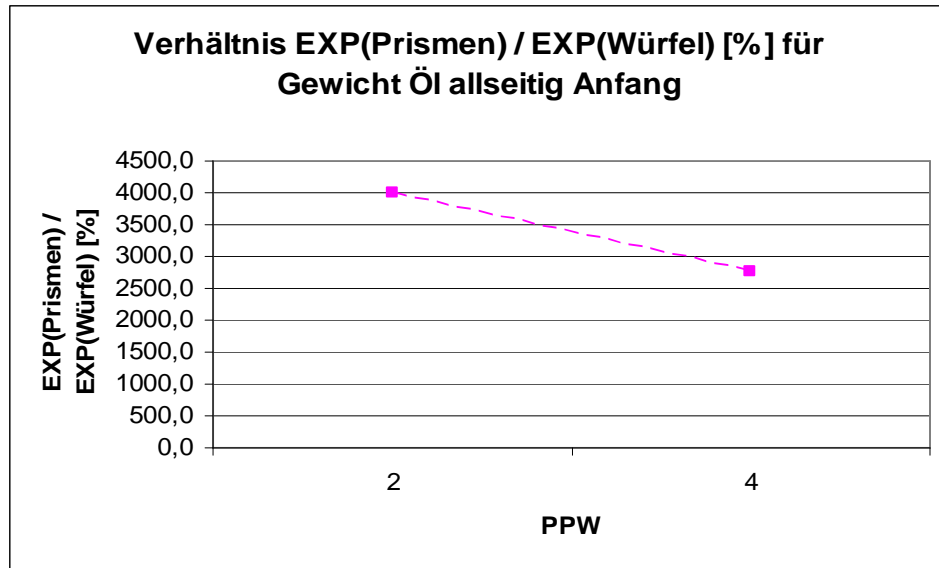


Diagramm 3.17.1.2.

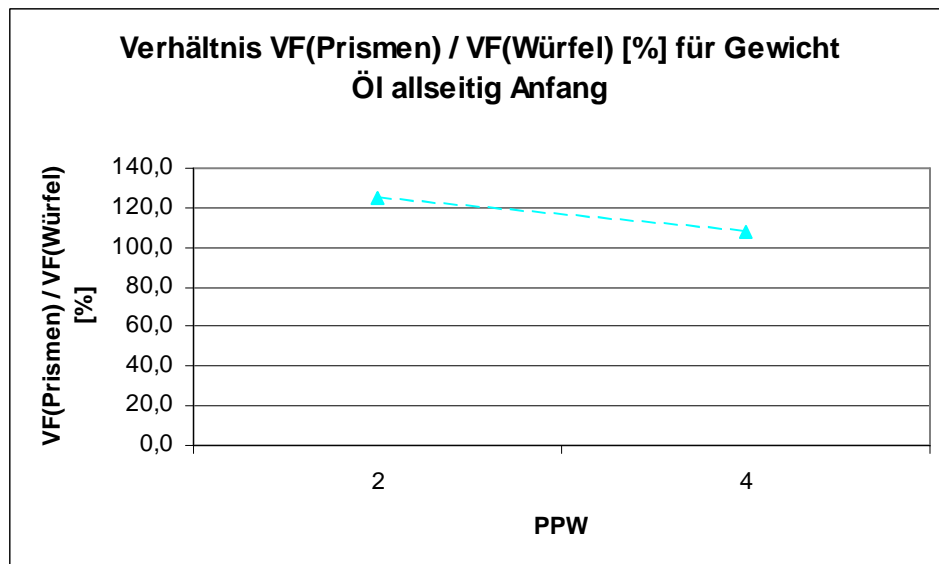


Diagramm 3.17.1.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

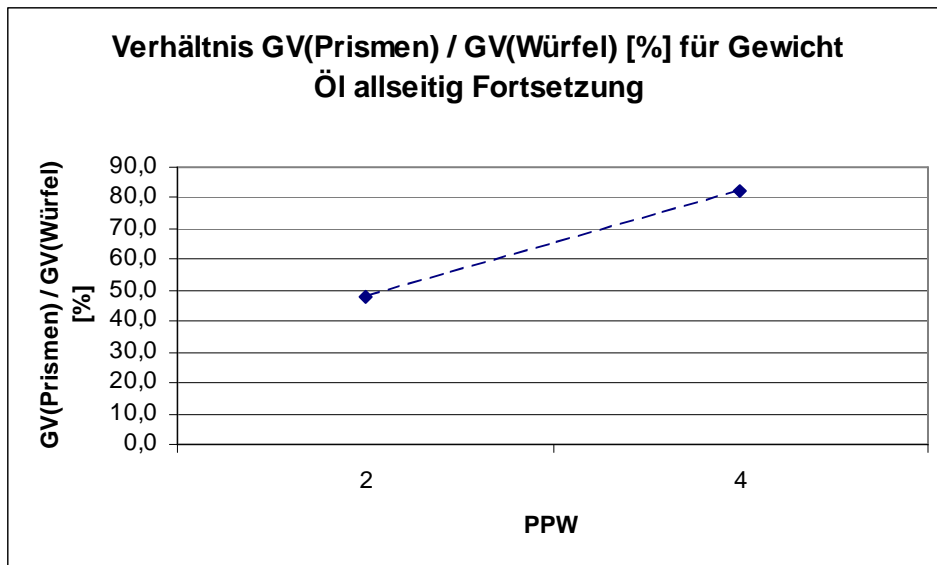


Diagramm 3.17.1.4.

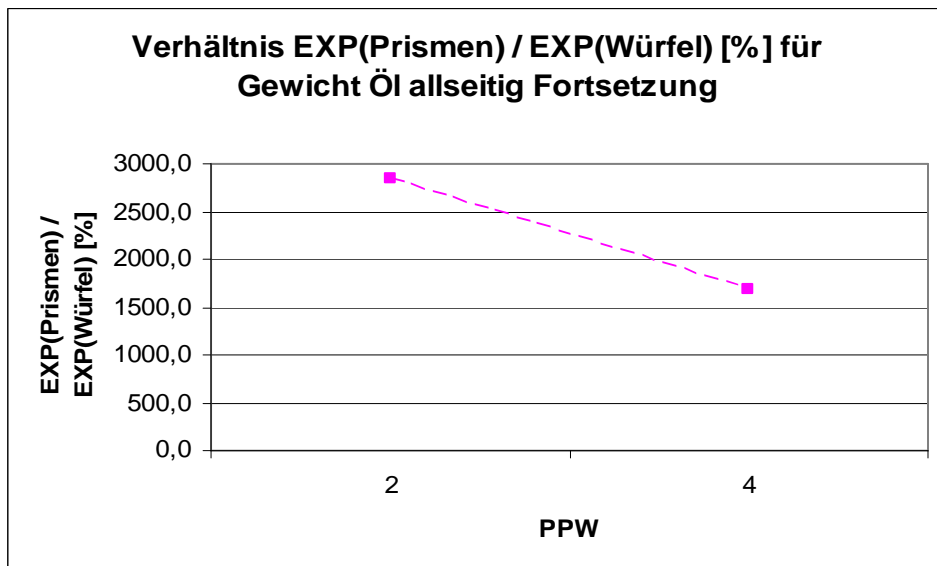


Diagramm 3.17.1.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

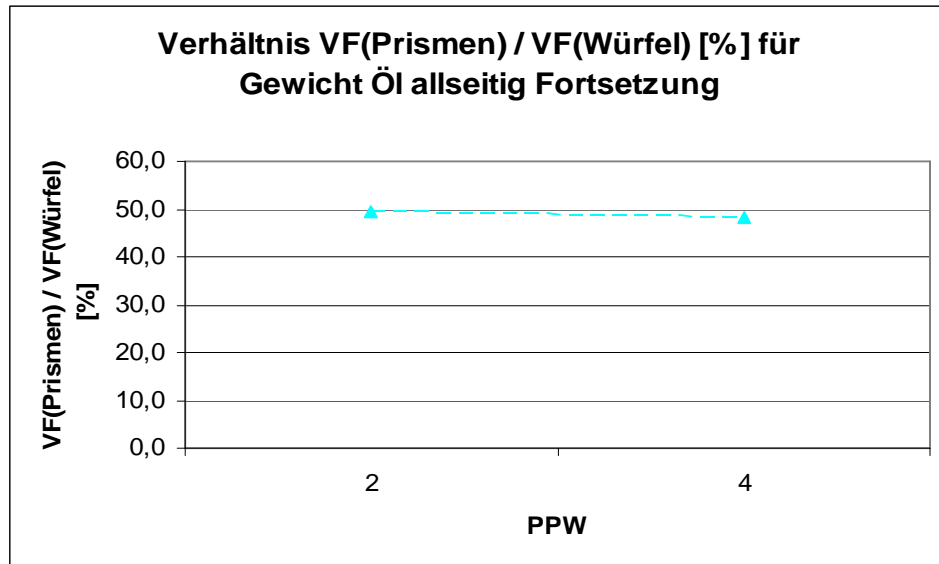


Diagramm 3.17.1.6.

3.17.2. Eindringtiefen-Geschwindigkeits-Verhältnis Prisma / Würfel bei stirnseitiger bzw. einseitiger Öleinwanderung

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 6 und der Versuche V 4 (vgl. Kap. 3.10., 3.8. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

Vergleich : Verhältnis Prismen / Würfel [%] für Eindringtiefe Öl stirnseitig

		EXP _{Prisma} / EXP _{Würfel} [%]	VF _{Prisma} / VF _{Würfel} [%]
PPW	2	17,5	97,7
	4	39,5	100,2

Tabelle 3.17.2.1.

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.17.2.1. und 3.17.2.2.):

- **Bei einer stirnseitigen bzw. einseitigen Öleinwanderung wandert die Eindringtiefe beim Prisma langsamer ein, als beim Würfel.**
- **Dieser Vorgang nimmt mit der abnehmenden Festigkeitsklasse bzw. Rohdichte des Porenbetons zu.**
- Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist ähnlich.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

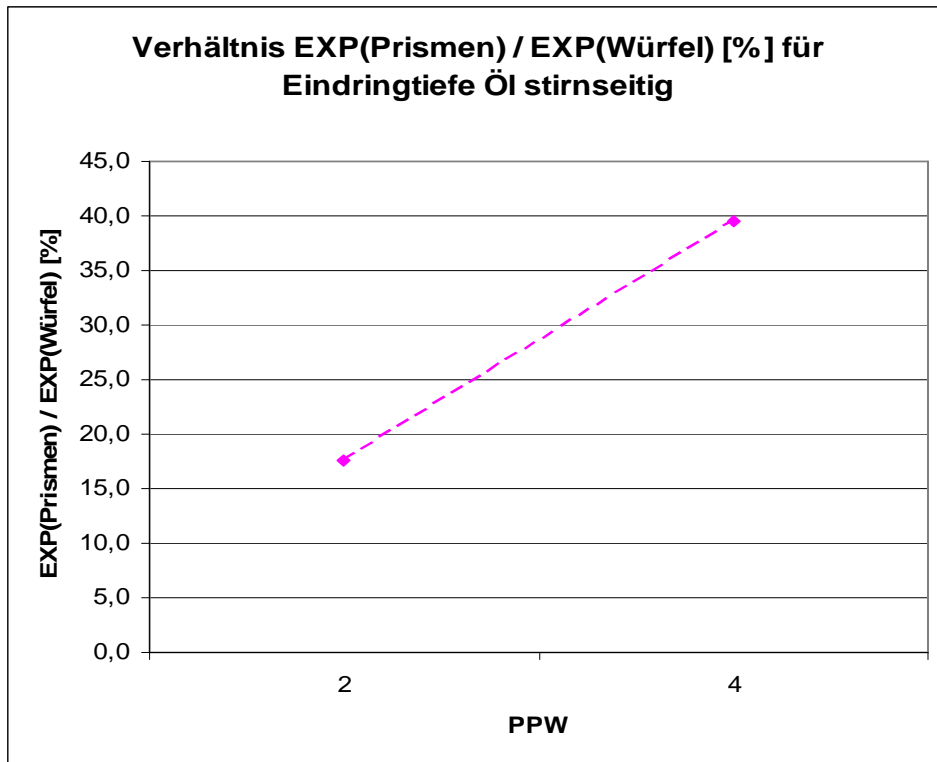


Diagramm 3.17.2.1.

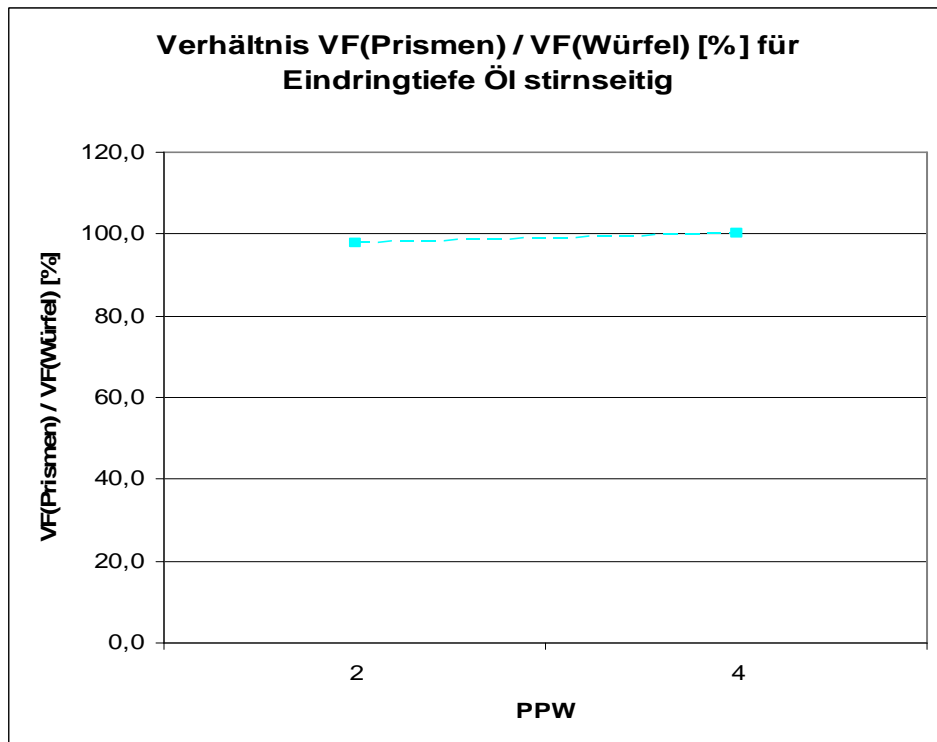


Diagramm 3.17.2.2.

3.17.3. Eindringtiefen-Geschwindigkeits-Verhältnis Prisma / Würfel bei stirnseitiger bzw. einseitiger Wassereinwanderung

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 6 und der Versuche V 4 (vgl. Kap. 3.10., 3.7. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

Vergleich : Verhältnis Prismen / Würfel [%] für Eindringtiefe Wasser stirnseitig

		$EXP_{\text{Prisma}} / EXP_{\text{Würfel}} [\%]$	$VF_{\text{Prisma}} / VF_{\text{Würfel}} [\%]$
PPW	2	45,5	99,3
	4	35,5	99,3

Tabelle 3.17.3.1.

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.17.3.1. und 3.17.3.2.):

- **Bei einer stirnseitigen bzw. einseitigen Wassereinwanderung wandert die Eindringtiefe beim Prisma langsamer ein, als beim Würfel.**
- **Dieser Vorgang nimmt mit der abnehmenden Festigkeitsklasse bzw. Rohdichte des Porenbetons ab.**
- Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist identisch.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

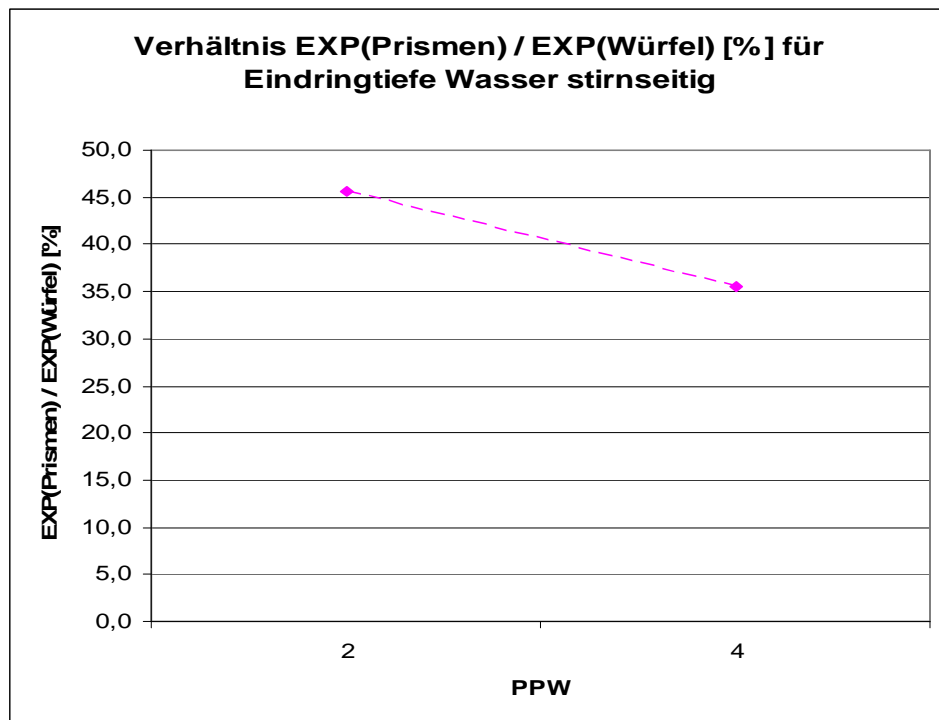


Diagramm 3.17.3.1.

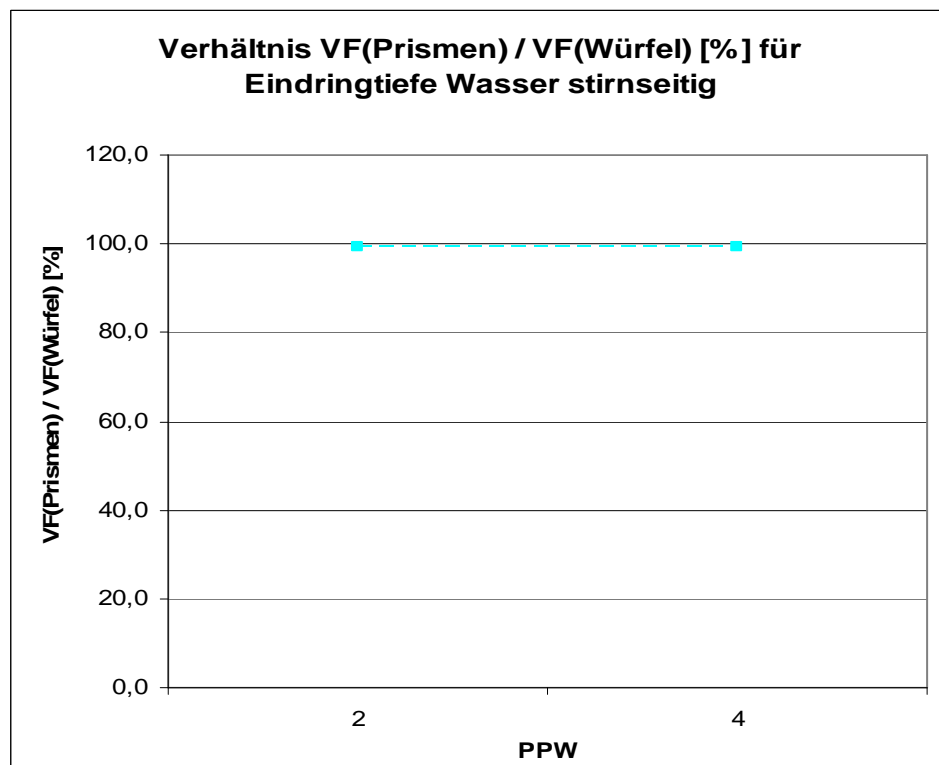


Diagramm 3.17.3.2.

3.17.4. Eindringtiefen-Geschwindigkeits-Verhältnis Prisma / Würfel bei stirnseitiger bzw. einseitiger Schmutz-Wassereinwanderung

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 6 und der Versuche V 4 (vgl. Kap. 3.10., 3.8. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

Vergleich : Verhältnis Prismen / Würfel [%] für Eindringtiefe Schmutz-Wasser stirnseitig

		$EXP_{\text{Prisma}} / EXP_{\text{Würfel}} [\%]$	$VF_{\text{Prisma}} / VF_{\text{Würfel}} [\%]$
PPW	2	36,6	99,3
	4	44,5	99,9

Tabelle 3.17.4.1.

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.17.4.1. und 3.17.4.2.):

- **Bei einer stirnseitigen bzw. einseitigen Schmutz-Wassereinwanderung wandert die Eindringtiefe beim Prisma langsamer ein, als beim Würfel.**
- **Dieser Vorgang nimmt mit der abnehmenden Festigkeitsklasse bzw. Rohdichte des Porenbetons zu.**
- Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist nahezu identisch.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

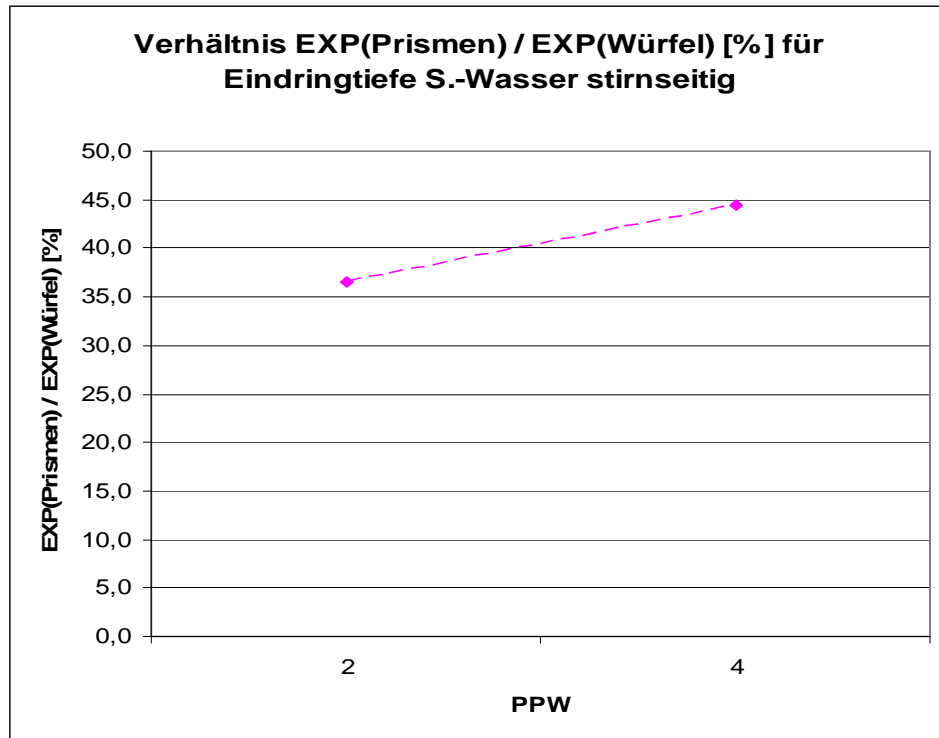


Diagramm 3.17.4.1.

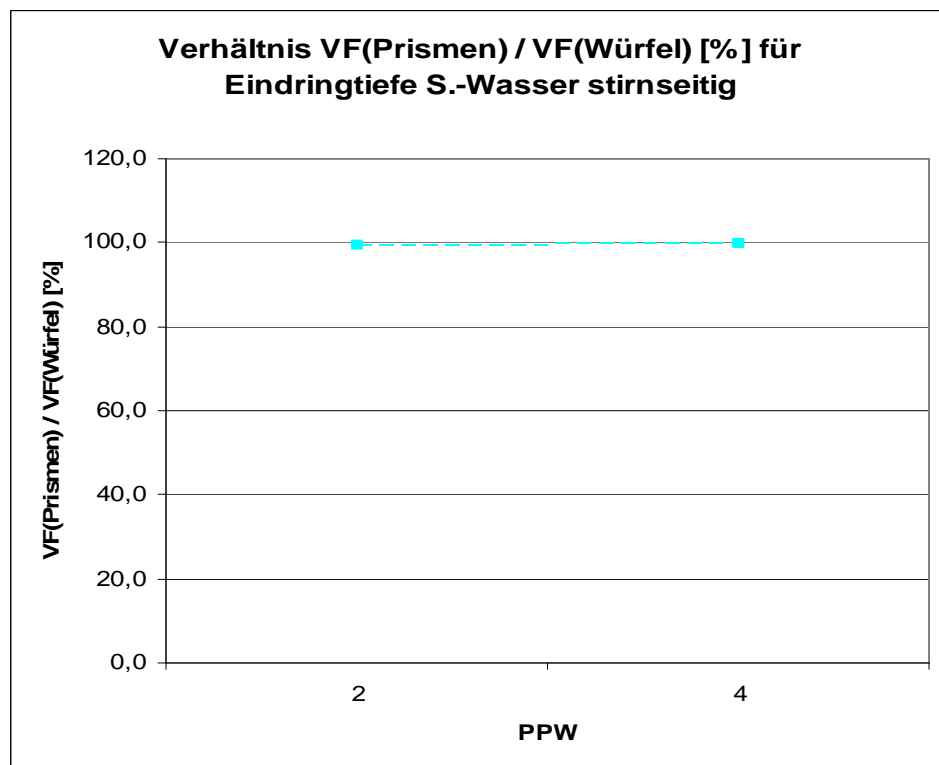


Diagramm 3.17.4.2.

3.18. Auswirkung unterschiedlicher Einwanderungsarten bei Prismen/Porenbetone PPW 2 und PPW4

Nachfolgend wird auf die Auswirkung unterschiedlicher Einwanderungsarten bei Prismen eingegangen.

3.18.1. Geschwindigkeits-Verhältnis von Eindringtiefe zu Gewicht bei allseitiger Öleinwanderung in Prismen/Anfangszeitbereich

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 5 und der Versuche V 3 (vgl. Kap. 3.9., 3.7. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

Vergleich : Verhältnis Eindringtiefe / Gewicht [%] für Prismen Öl allseitig

		$EXP_{\text{Eindringtiefe}} / EXP_{\text{Gewicht}}$ [%]	$VF_{\text{Eindringtiefe}} / VF_{\text{Gewicht}}$ [%]
PPW	2	30,7	97,0
	4	123,0	96,8

Tabelle 3.18.1.1.

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.18.1.1. und 3.18.1.2.):

- **Bei der allseitigen Öleinwanderung in Prismen erfolgt im Anfangszeitbereich die Geschwindigkeit der Zunahme der Eindringtiefe im Verhältnis zur Geschwindigkeit der Gewichtszunahme beim Porenbeton PPW 2 erheblich verlangsamt und beim Porenbeton PPW 4 beschleunigt.**
- Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist nahezu identisch.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

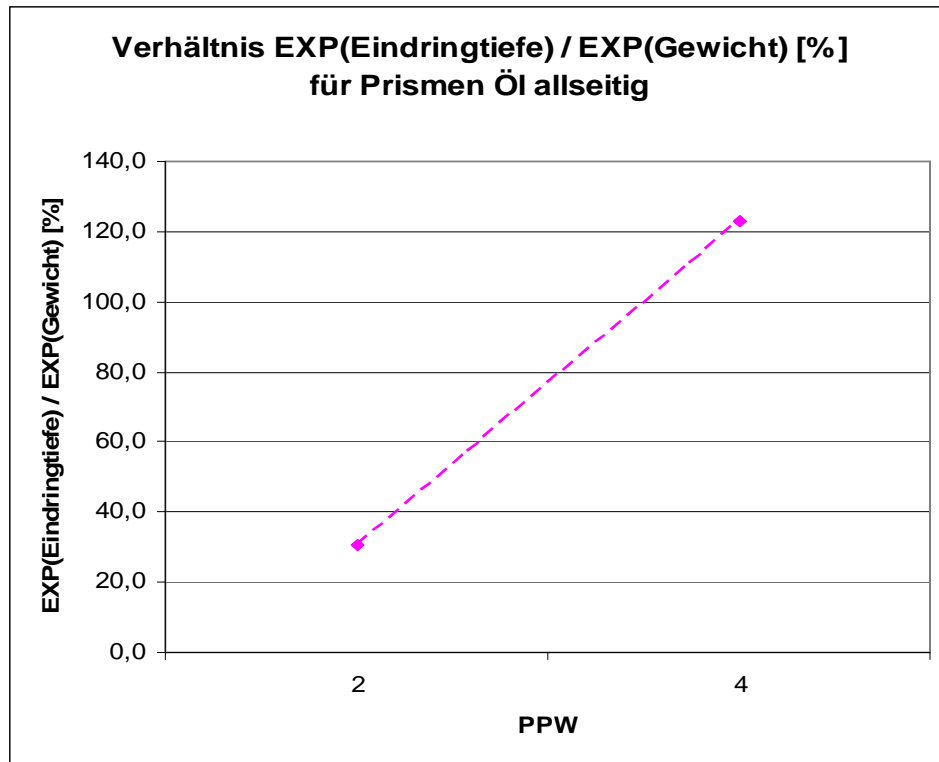


Diagramm 3.18.1.1.

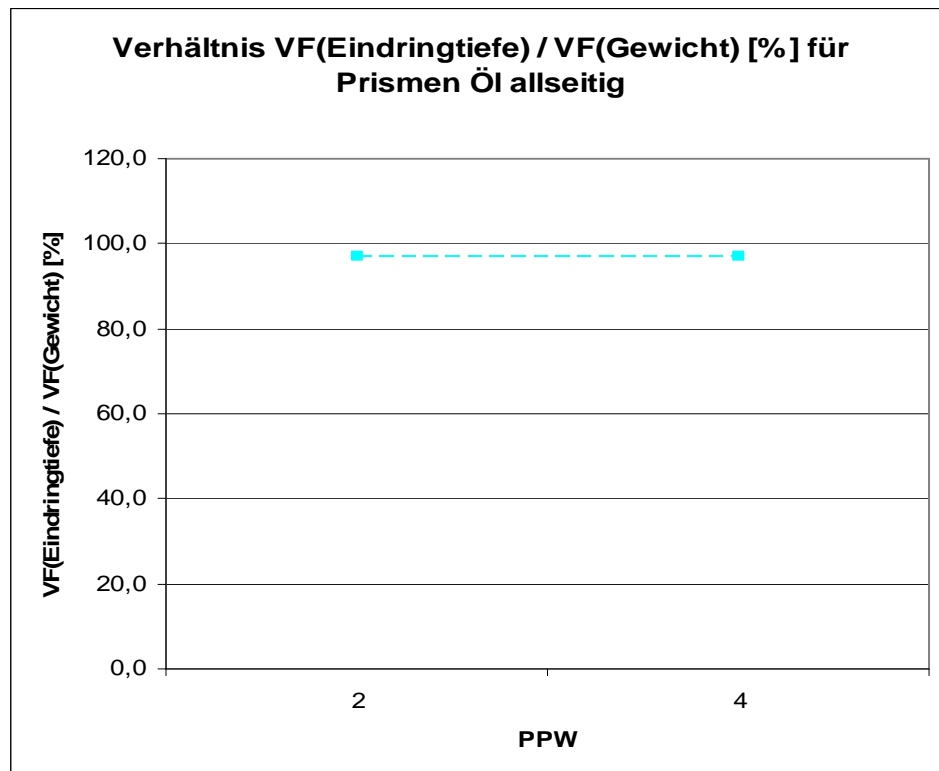


Diagramm 3.18.1.2.

3.18.2. Geschwindigkeit-Verhältnis von Eindringtiefe zu Gewicht bei allseitiger Wassereinwanderung in Prismen/Anfangszeitbereich

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 5 und der Versuche V 2 (vgl. Kap. 3.9., 3.6. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

Vergleich : Verhältnis Eindringtiefe / Gewicht [%] für Prismen Wasser allseitig

		$\text{EXP}_{\text{Eindringtiefe}} / \text{EXP}_{\text{Gewicht}}$ [%]	$\text{VF}_{\text{Eindringtiefe}} / \text{VF}_{\text{Gewicht}}$ [%]
PPW	2	106,4	75,0
	4	122,1	71,5

Tabelle 3.19.2.1.

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.18.2.1. und 3.18.2.2.):

- **Bei der allseitigen Wassereinwanderung in Prismen erfolgt im Anfangszeitbereich die Geschwindigkeit der Zunahme der Eindringtiefe im Verhältnis zur Geschwindigkeit der Gewichtszunahme beim Porenbeton PPW 2 etwas schneller und beim Porenbeton PPW 4 deutlich schneller.**
- Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist ähnlich.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

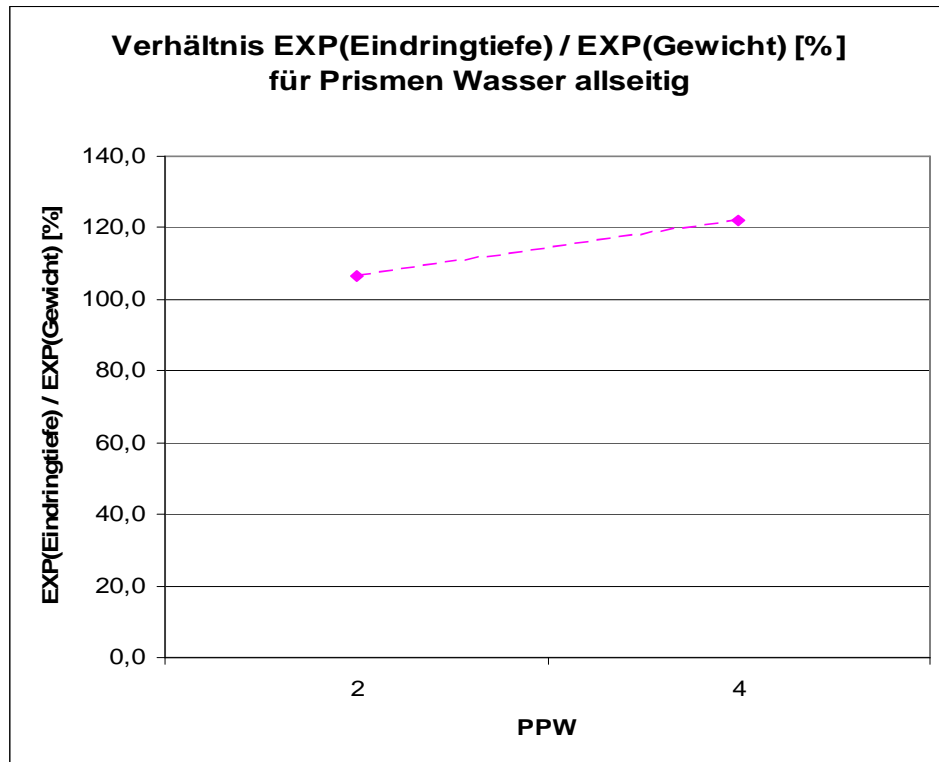


Diagramm 3.18.2.1.

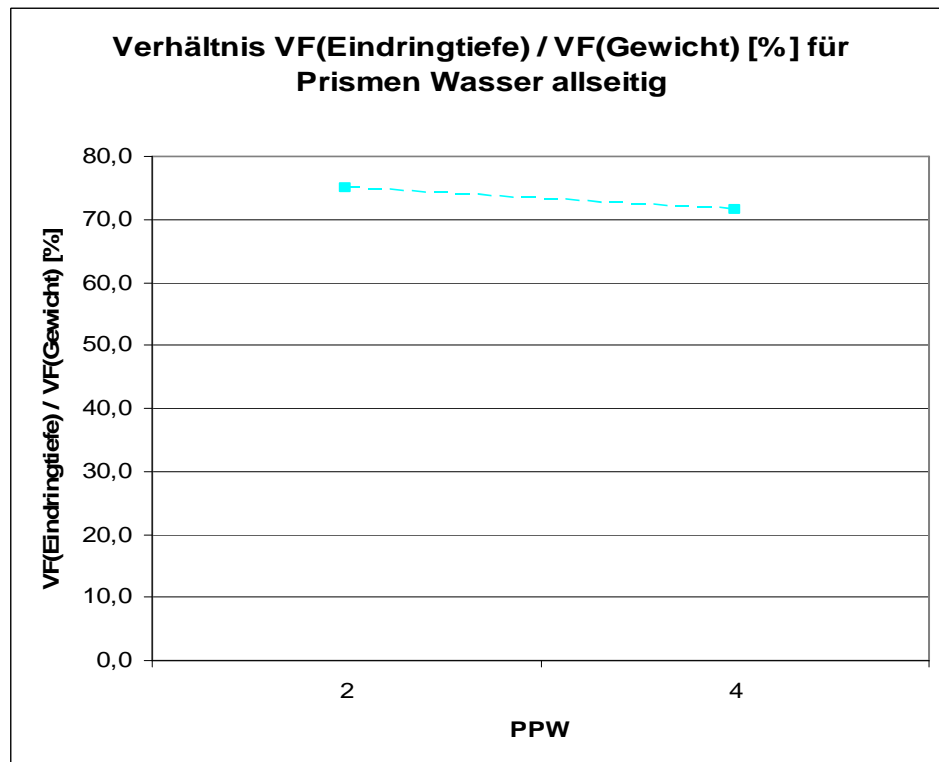


Diagramm 3.18.2.2.

3.18.3. Geschwindigkeits-Verhältnis von stirnseitiger zu allseitiger Öl-Eindringtiefe in Prismen

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 6 und der Versuche V 5 (vgl. 3.10., 3.9. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

**Vergleich :
Verhältnis stirnseitig / allseitig [%] für Eindringtiefe Öl
Prismen**

		$EXP_{\text{stirnseitig}} / EXP_{\text{allseitig}}$ [%]	$VF_{\text{stirnseitig}} / VF_{\text{allseitig}}$ [%]
PPW	2	5,9	114,1
	4	3,3	120,5

Tabelle 3.18.3.1.

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.18.3.1. und 3.18.3.2.):

- **Bei der Öleinwanderung in Prismen erfolgt die Geschwindigkeit der Zunahme der stirnseitigen Eindringtiefe im Verhältnis zur Geschwindigkeitszunahme der allseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 sehr langsam und beim Porenbeton PPW 4 noch langsamer.**
- Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist ähnlich.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

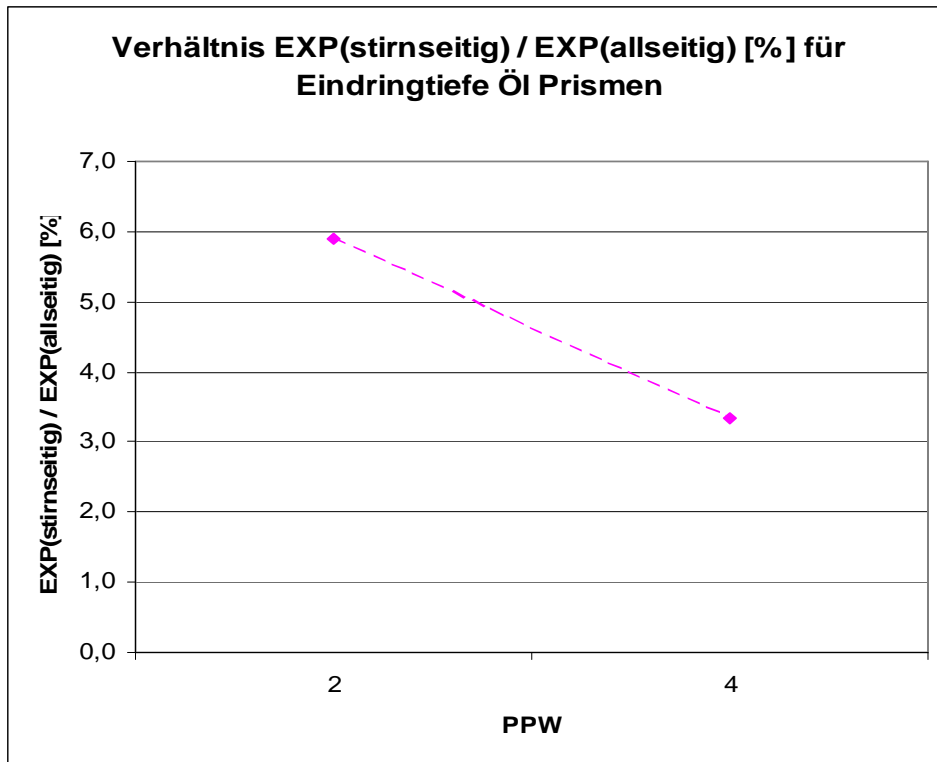


Diagramm 3.18.3.1.

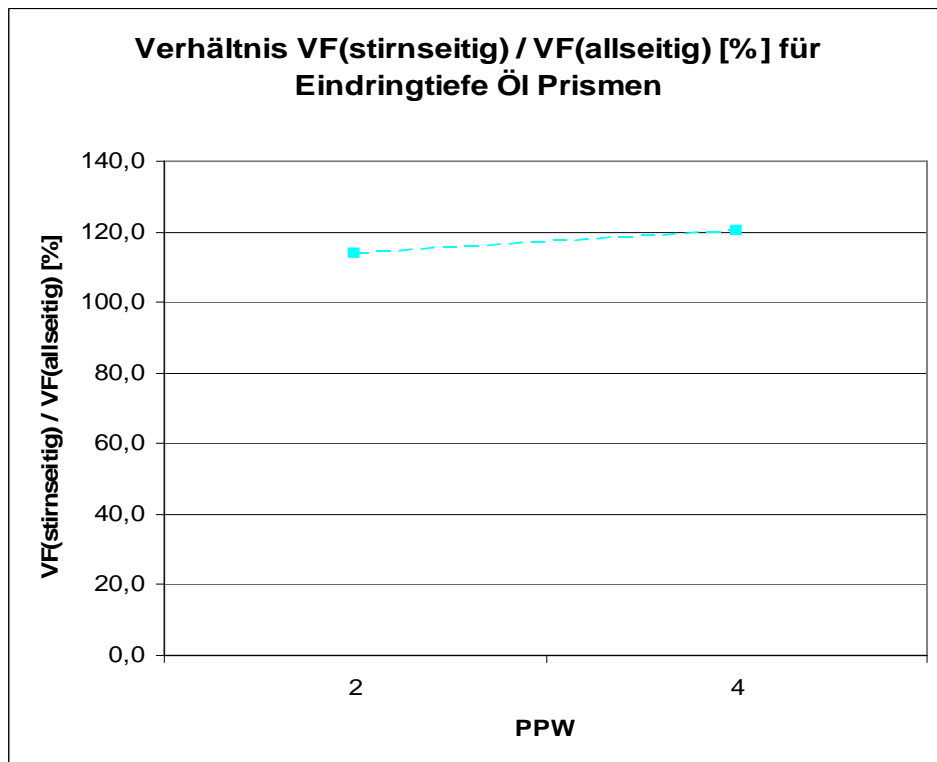


Diagramm 3.18.3.2.

3.18.4. Geschwindigkeits-Verhältnis von stirnseitiger zu allseitiger Wasser-Eindringtiefe in Prismen

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 6 und der Versuche V 5
(vgl. Kap. 3.10., 3.9. und 3.16) erhält man die nachfolgenden An-
gaben.

Vergleich :
Verhältnis stirnseitig / allseitig [%] für Eindringtiefe Wasser
Prismen

		$EXP_{\text{stirnseitig}} / EXP_{\text{allseitig}}$	$VF_{\text{stirnseitig}} / VF_{\text{allseitig}}$
		[%]	[%]
PPW	2	2,1	92,4
	4	1,5	96,0

Tabelle 3.18.4.1.

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.18.4.1. und 3.18.4.2.):

- **Bei der Wassereinwanderung in Prismen erfolgt die Ge-
schwindigkeit der Zunahme der stirnseitigen Eindringtie-
fe im Verhältnis zur allseitigen Eindringtiefe beim Porenb-
eton PPW 2 sehr langsam und beim Porenbeton PPW 4
noch langsamer.**
- Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist nahezu iden-
tisch.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

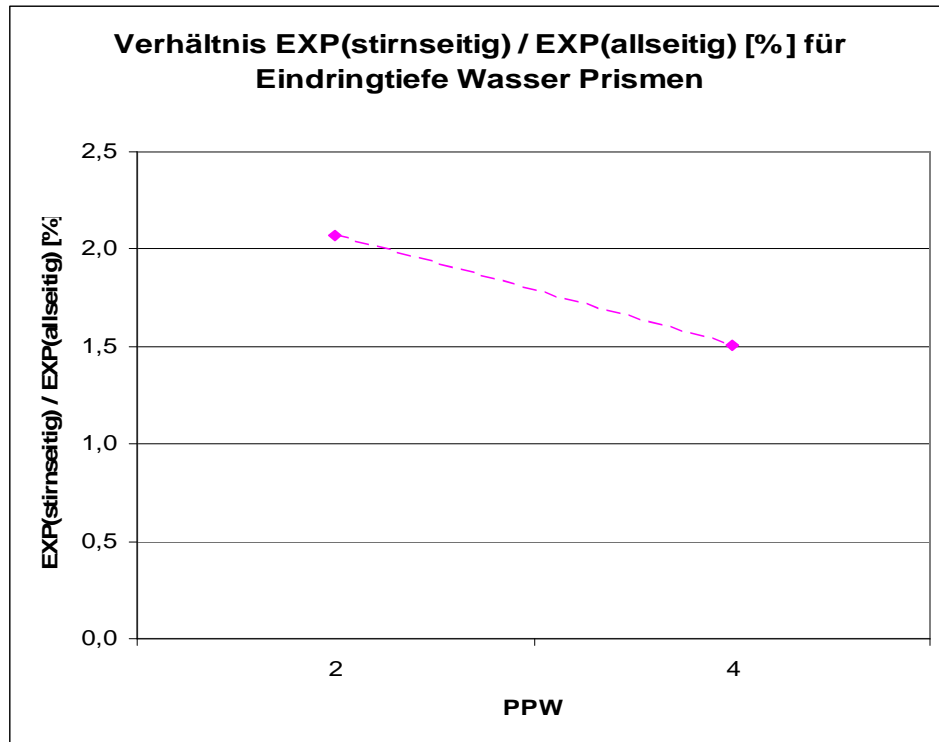


Diagramm 3.18.4.1.

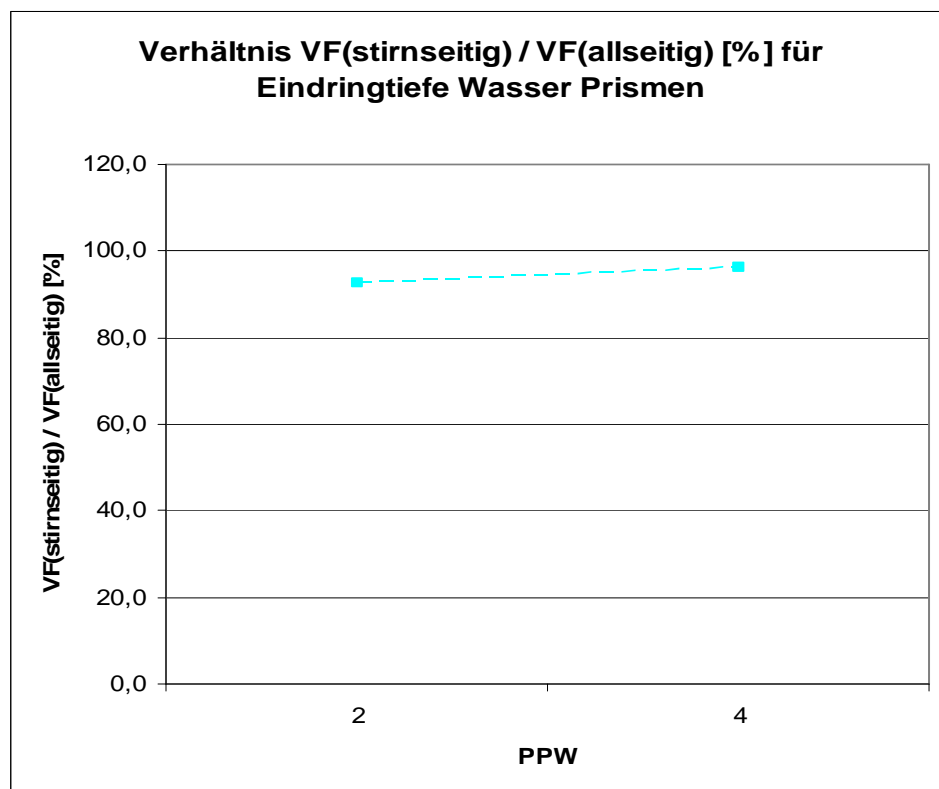


Diagramm 3.18.4.2.

3.18.5. Geschwindigkeit-Verhältnis von stirnseitiger zu allseitiger Schmutz-Wasser-Eindringtiefe in Prismen

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 6 und der Versuche V 5 (vgl. Kap. 3.10., 3.9. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

**Vergleich :
Verhältnis stirnseitig / allseitig [%] für Eindringtiefe
Schmutz-Wasser Prismen**

		$EXP_{\text{stirnseitig}} / EXP_{\text{allseitig}}$ [%]	$VF_{\text{stirnseitig}} / VF_{\text{allseitig}}$ [%]
PPW	2	1,8	131,5
	4	1,5	123,4

Tabelle 3.18.5.1.

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.18.5.1. und 3.18.5.2.):

- **Bei der Einwanderung von Schmutzwasser in Prismen erfolgt die Zunahme der stirnseitigen Eindringtiefe im Verhältnis zur Zunahme der allseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 sehr langsam und beim Porenbeton PPW 4 noch etwas langsamer.**
- Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist ähnlich.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

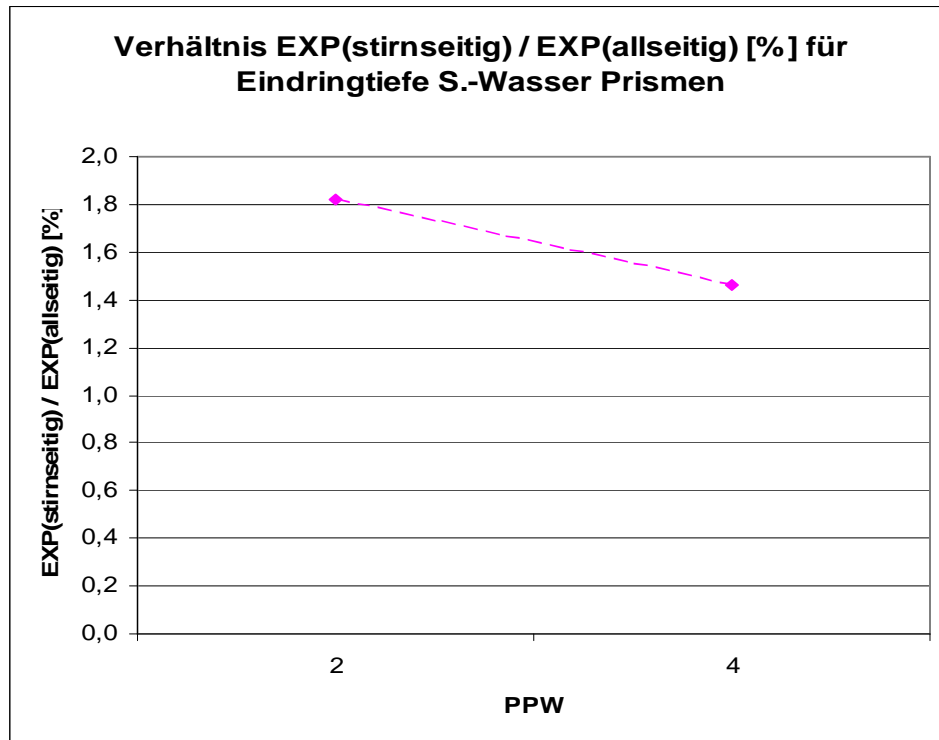


Diagramm 3.18.5.1.

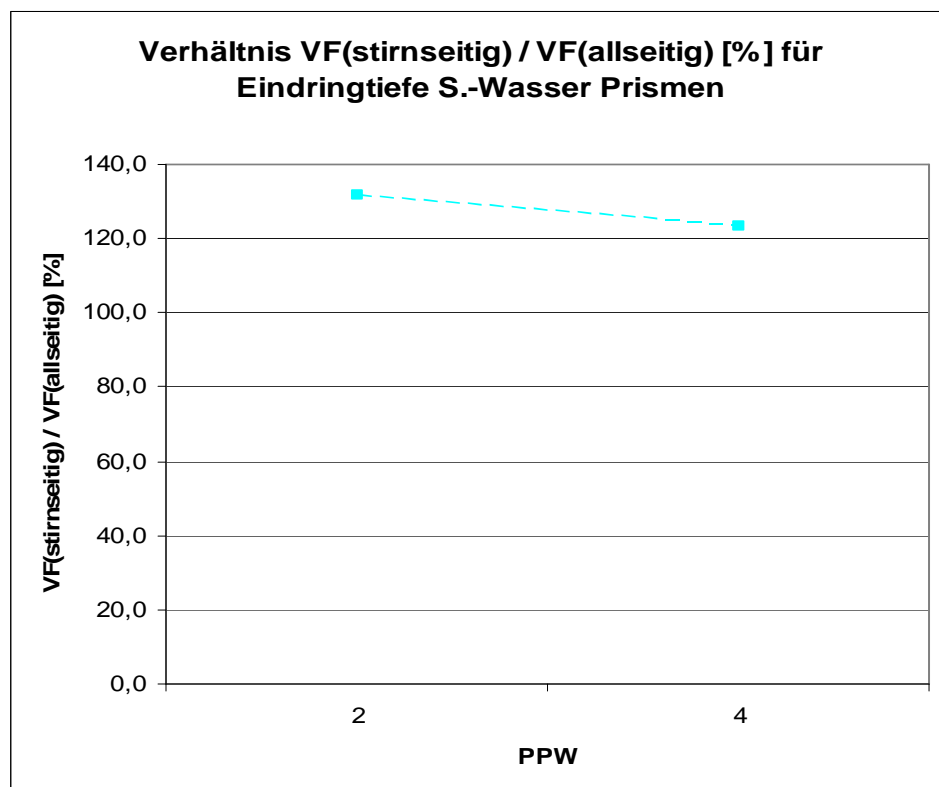


Diagramm 3.18.5.2.

3.18.6. Geschwindigkeits-Verhältnis von „kapillarer“ zu allseitiger Öl-Eindringtiefe in Prismen

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 9 und der Versuche V 5 (vgl. Kap. 3.13., 3.9. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

Vergleich :
Verhältnis kapillar / allseitig [%] für Eindringtiefe Öl Prismen

		EXP _{kapillar} / EXP _{allseitig} [%]	VF _{kapillar} / VF _{allseitig} [%]
PPW	2	10,1	91,7
	4	2,7	92,3

Tabelle 3.18.6.1.

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (bgl. Diagramm 3.18.6.1. und 3.18.6.2.):

- **Bei der Einwanderung von Öl in Prismen erfolgt die Zunahme der „kapillaren“ Eindringtiefe im Verhältnis zur Zunahme der allseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 langsam und beim Porenbeton PPW 4 noch langsamer.**
- Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist ähnlich.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

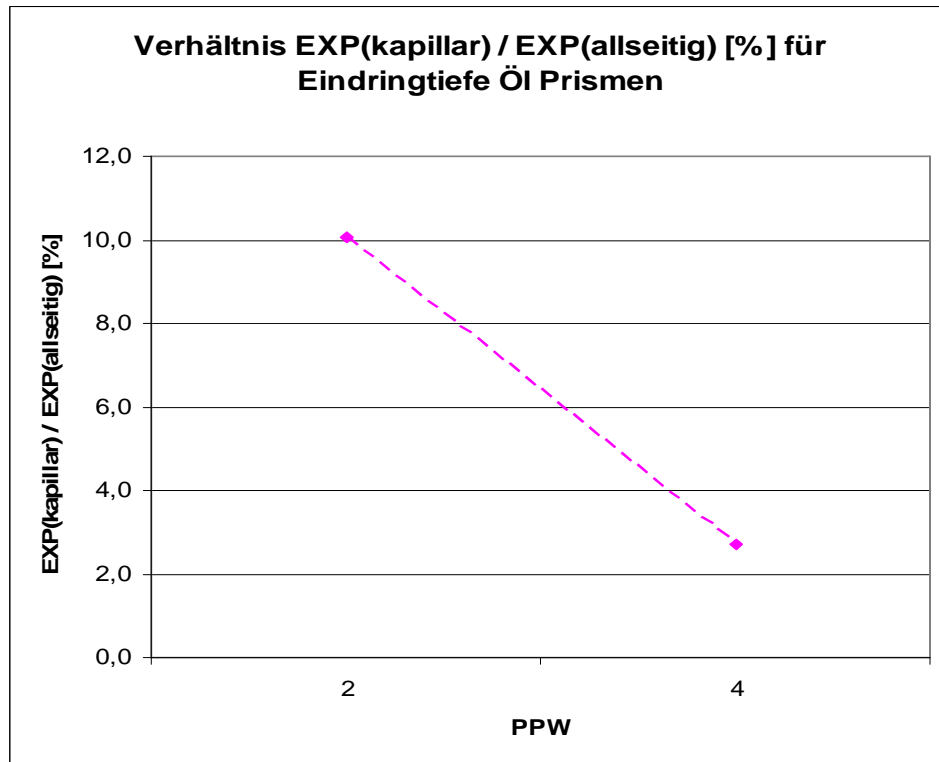


Diagramm 3.18.6.1.

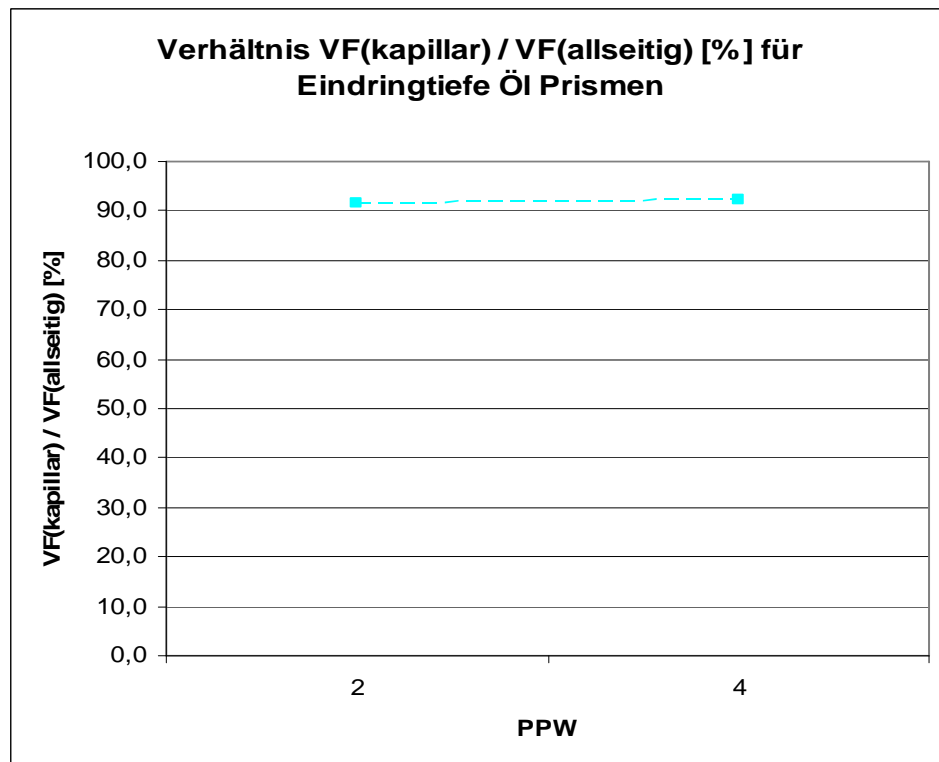


Diagramm 3.18.6.2.

3.18.7. Verhältnis von „kapillarer“ zu allseitiger Wassereindringtiefe in Prismen

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 9 und der Versuche V 5 (vgl. Kap. 3.13., 3.9. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

Vergleich :
Verhältnis kapillar / allseitig [%] für Eindringtiefe Wasser Prismen

		EXP _{kapillar} / EXP _{allseitig} [%]	VF _{kapillar} / VF _{allseitig} [%]
PPW	2	1,0	65,3
	4	0,9	68,6

Tabelle 3.18.7.1.

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.18.7.1. und 3.18.7.2.):

- **Bei der Einwanderung von Wasser in Prismen erfolgt die Zunahme der „kapillaren“ Eindringtiefe im Verhältnis zur Zunahme der allseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 sehr langsam und beim Porenbeton PPW 4 ebenfalls sehr langsam.**
- Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist ähnlich.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

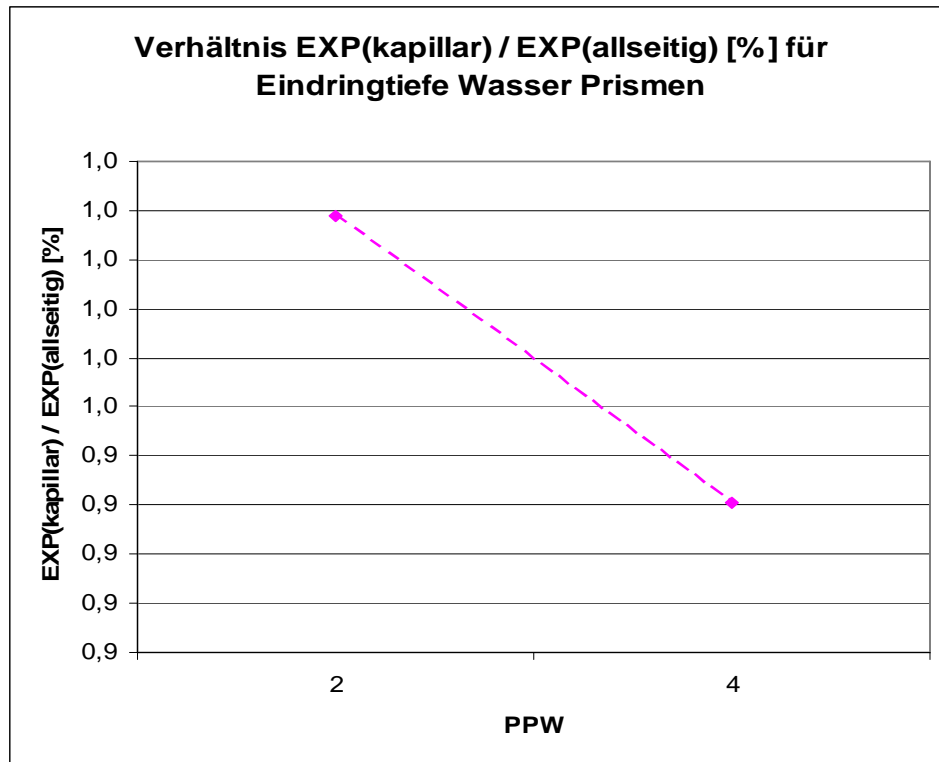


Diagramm 3.18.7.1.

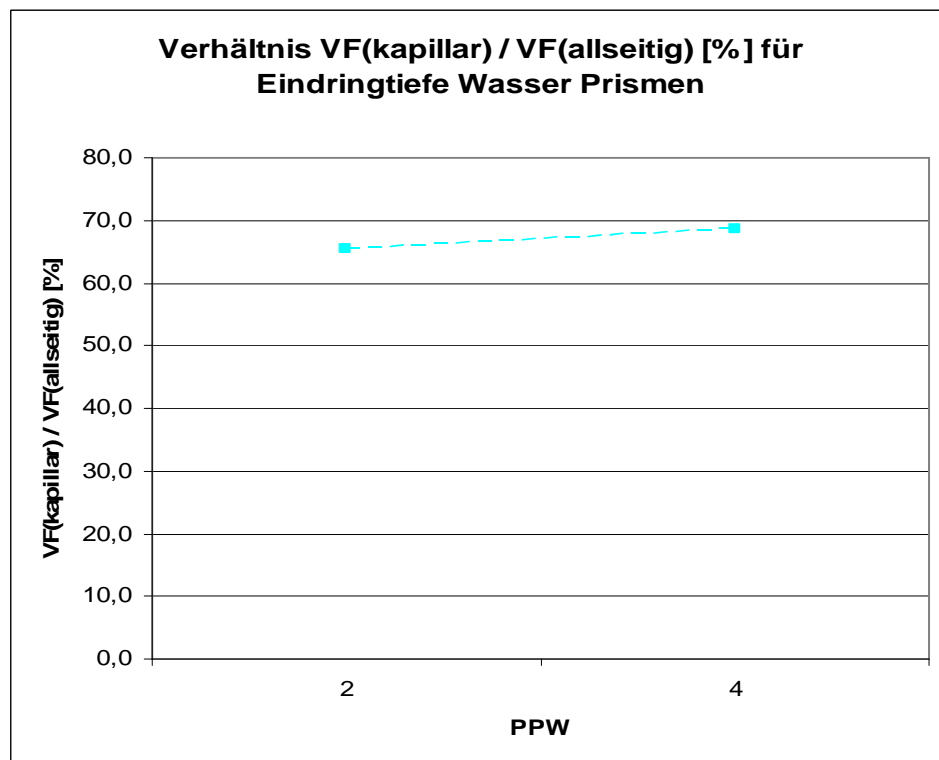


Diagramm 3.18.7.2.

3.18.8. Geschwindigkeits-Verhältnis von „kapillarer“ zu stirnseitiger Öl- Eindringtiefe in Prismen

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 9 und der Versuche V 6 (vgl. Kap. 3.13., 3.10. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

**Vergleich :
Verhältnis kapillar / stirnseitig [%] für Eindringtiefe Öl
Prismen**

		$EXP_{\text{kapillar}} / EXP_{\text{stirnseitig}}$ [%]	$VF_{\text{kapillar}} / VF_{\text{stirnseitig}}$ [%]
PPW	2	170,7	80,4
	4	80,4	76,6

Tabelle 3.18.8.1.

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.18.8.1. und 3.18.8.2.):

- **Bei der Einwanderung von Öl in Prismen erfolgt die Zunahme der „kapillaren“ Eindringtiefe im Verhältnis zur Zunahme der stirnseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 beschleunigt und beim Porenbeton PPW 4 verlangsamt.**

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

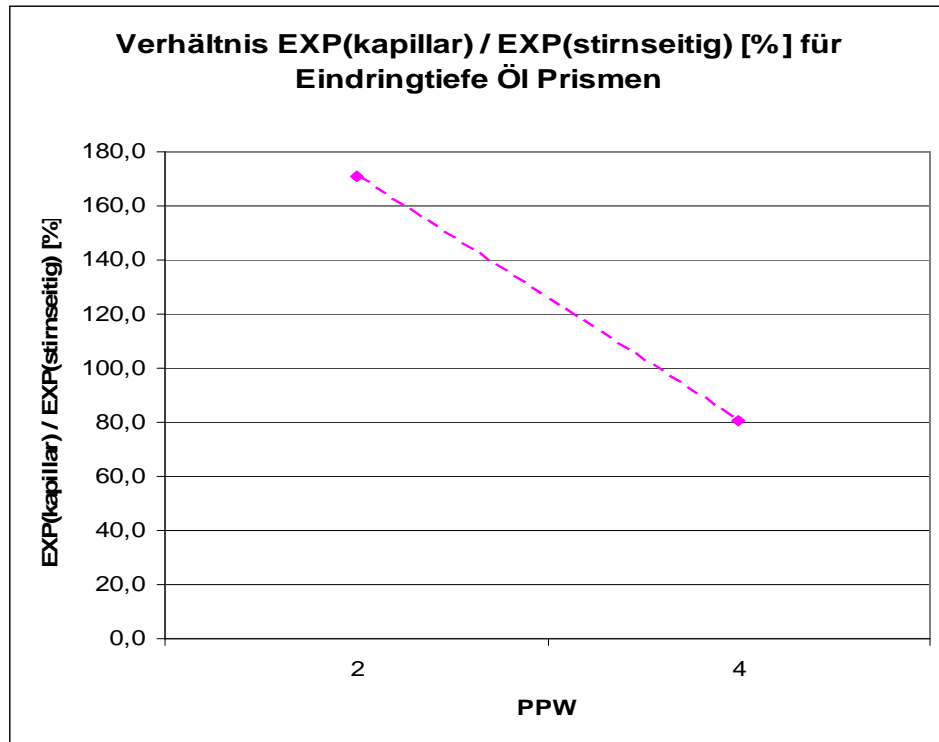


Diagramm 3.18.8.1.

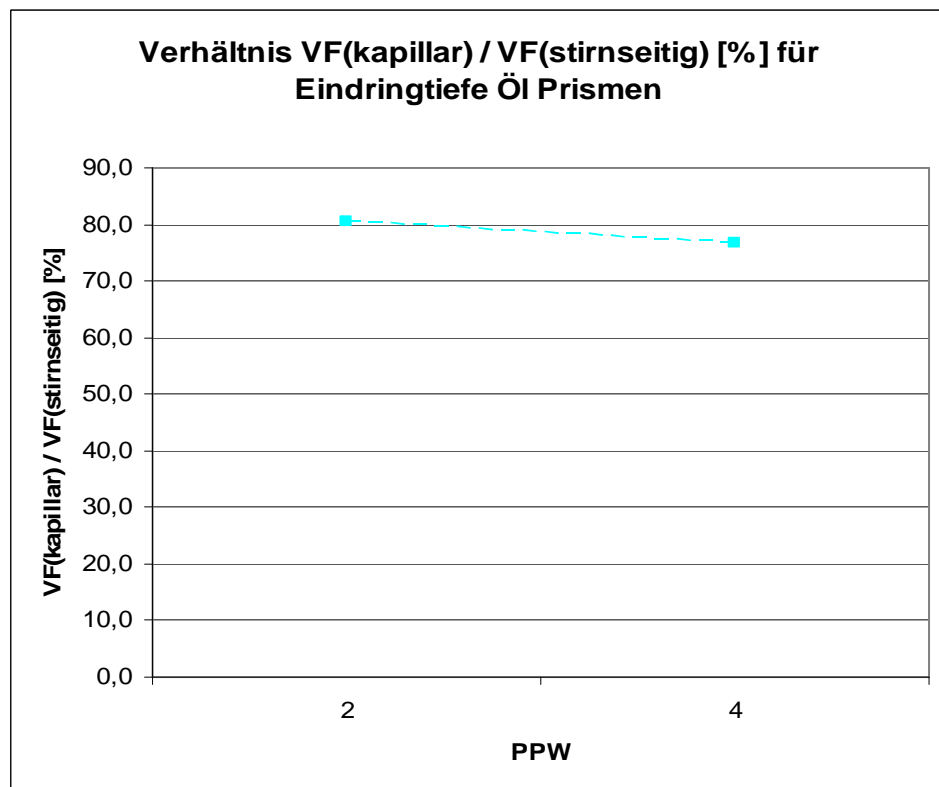


Diagramm 3.18.8.2.

3.18.9. Geschwindigkeits-Verhältnis von „kapillarer“ zu stirnseitiger Wasser- Eindringtiefe in Prismen

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 9 und der Versuche V 6 (vgl. Kap. 3.13., 3.10. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

**Vergleich :
Verhältnis kapillar / stirnseitig [%] für Eindringtiefe Wasser
Prismen**

		$EXP_{\text{kapillar}} / EXP_{\text{stirnseitig}}$ [%]	$VF_{\text{kapillar}} / VF_{\text{stirnseitig}}$ [%]
PPW	2	47,7	70,7
	4	61,9	71,5

Tabelle 3.18.9.1.

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.18.9.1. und 3.18.9.2.) :

- **Bei der Einwanderung von Wasser in Prismen erfolgt die Zunahme der „kapillaren“ Eindringtiefe im Verhältnis zur Zunahme der stirnseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 langsam und beim Porenbeton PPW 4 etwas weniger langsam.**
- Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist ähnlich.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

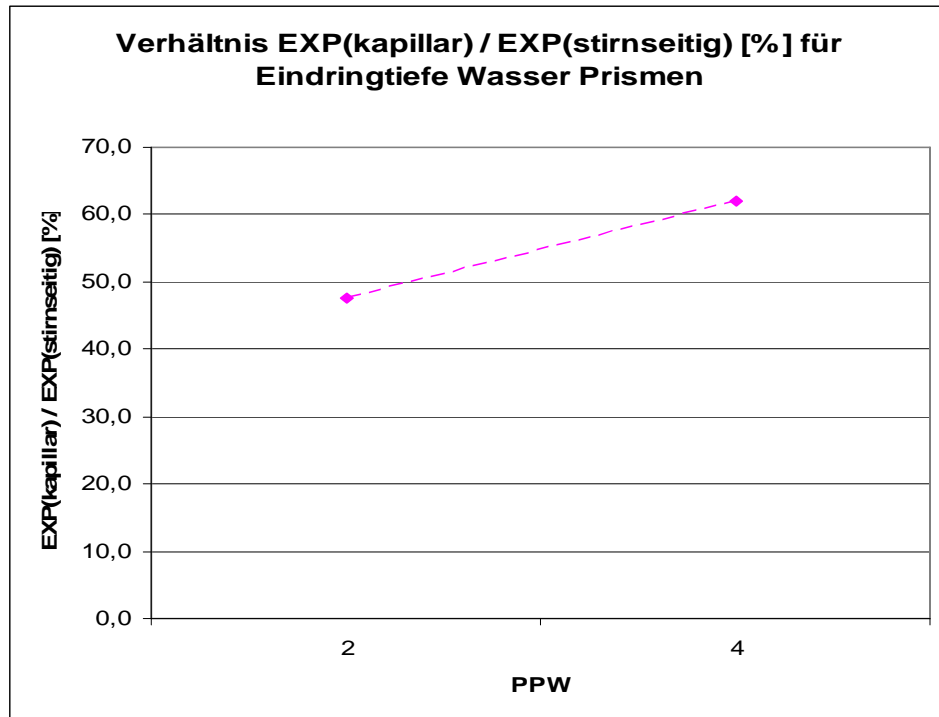


Diagramm 3.18.9.1.

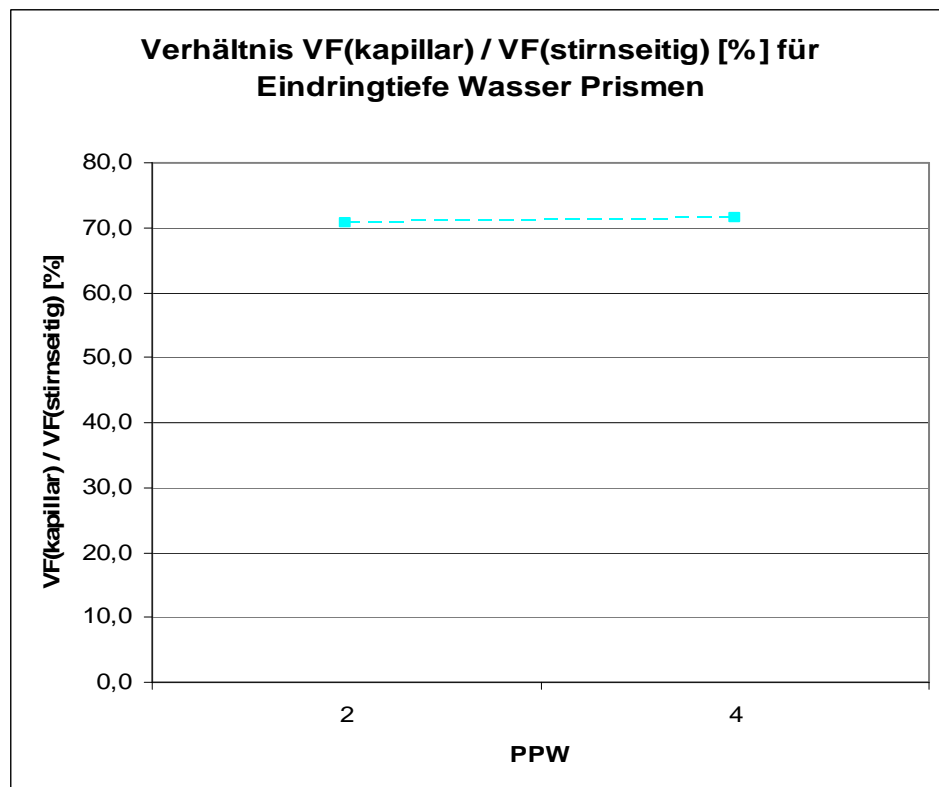


Diagramm 3.18.9.2.

3.18.10. Geschwindigkeits-Verhältnis und relatives Gewichtsverhältnis von „kapillarer“ zu allseitiger Öleinwanderung in Prismen

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 8 und der Versuche V 3 (vgl. Kap. 3.12., 3.7. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

**Vergleich :
Verhältnis kapillar / allseitig [%] für Gewicht Öl Prismen**

Anfang		$G_{V_{\text{kapillar}}} / G_{V_{\text{allseitig}}}$ [%]	$EXP_{\text{kapillar}} / EXP_{\text{allseitig}}$ [%]	$VF_{\text{kapillar}} / VF_{\text{allseitig}}$ [%]
PPW	2	11,7	26,3	118,1
	4	15,7	36,5	114,0

Tabelle 3.18.10.1.

**Vergleich :
Verhältnis kapillar / allseitig [%] für Gewicht Öl Prismen**

Fortsetzung		$G_{V_{\text{kapillar}}} / G_{V_{\text{allseitig}}}$ [%]	$EXP_{\text{kapillar}} / EXP_{\text{allseitig}}$ [%]	$VF_{\text{kapillar}} / VF_{\text{allseitig}}$ [%]
PPW	2	27,1	59,4	332,0
	4	27,8	44,6	211,2

Tabelle 3.18.10.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.18.10.1. bis 3.18.10.6.):

- **Bei der Einwanderung von Öl in Prismen erfolgt die Zunahme der „kapillaren“ Gewichtszunahme im Verhältnis zur allseitigen Gewichtszunahme anfänglich langsam, dann etwas weniger langsam.**
- **Hierbei erfolgt der Vorgang beim Porenbeton PPW 2 bzgl. des Porenbeton PPW 4 zuerst etwas verlangsamt, dann etwas gesteigert.**
- **Letztlich erreichen beide Porenbetone annähernd den gleichen niedrigen Gewichtsverhältnis-Wert.**
- **Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist in jedem Zeitbereich ähnlich.**

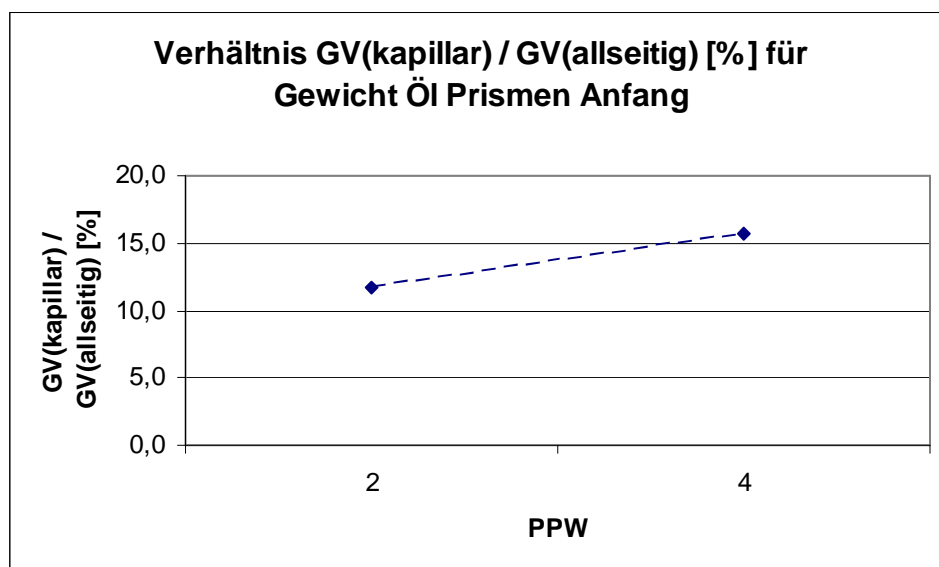


Diagramm 3.18.10.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

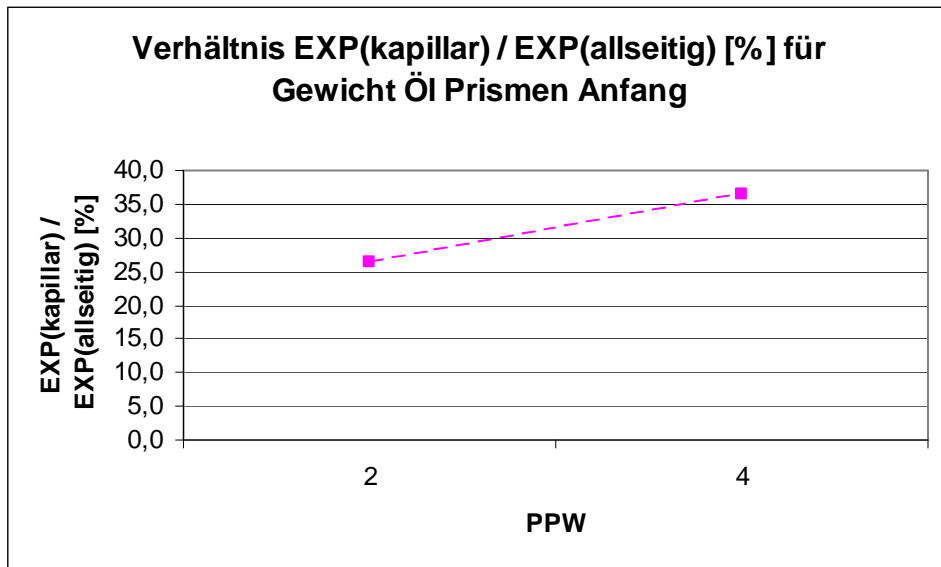


Diagramm 3.18.10.2.

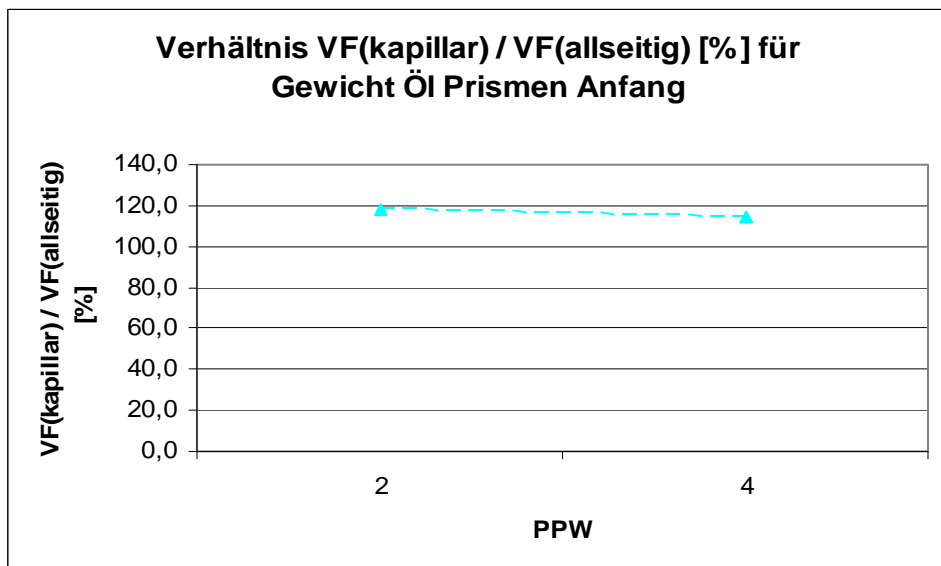


Diagramm 3.18.10.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

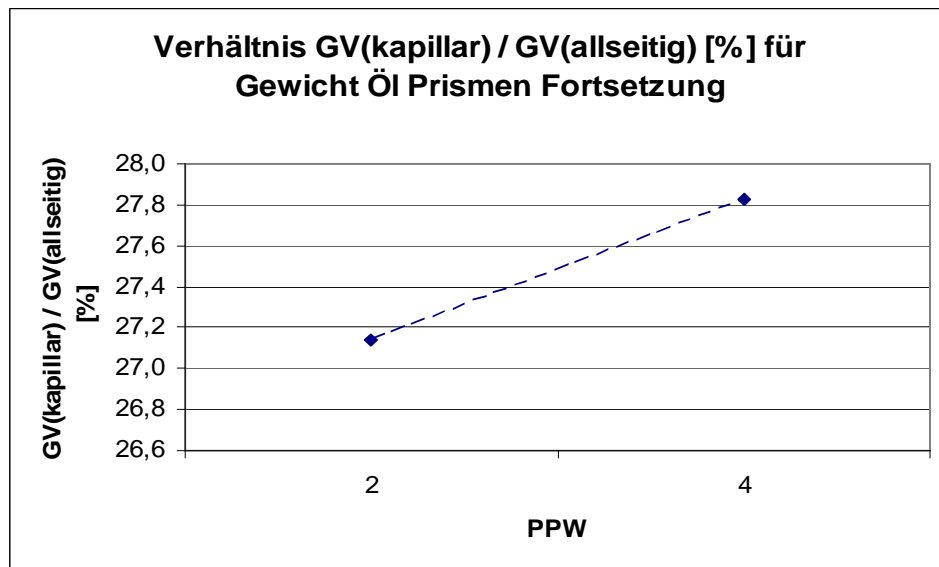


Diagramm 3.18.10.4.

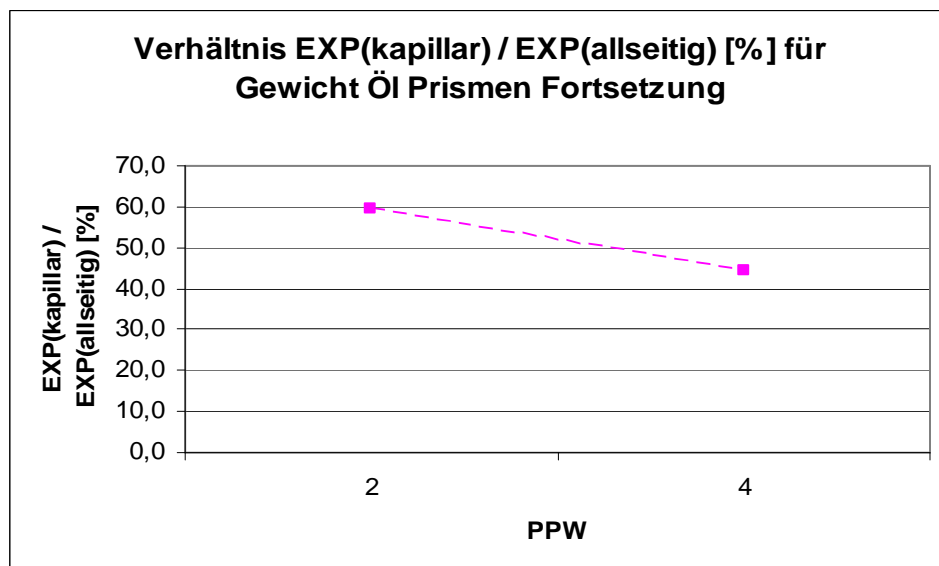


Diagramm 3.18.10.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

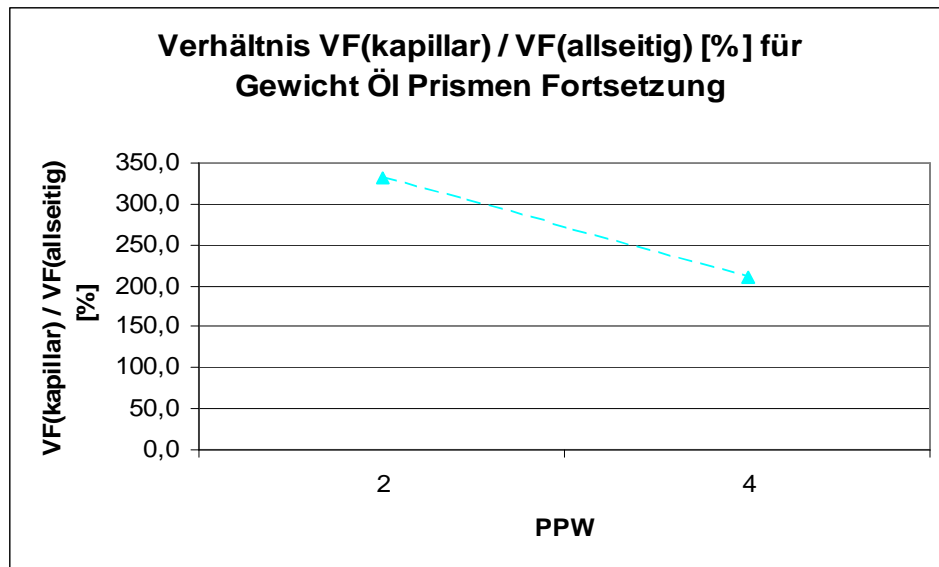


Diagramm 3.18.10.6.

3.18.11. Geschwindigkeits-Verhältnis und relatives Gewichtsverhältnis von „kapillarer“ zu allseitiger Wassereinwanderung in Prismen

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 7 und der Versuche V 2 (vgl. Kap. 3.11., 3.6. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

**Vergleich :
Verhältnis kapillar / allseitig [%] für Gewicht Wasser Prismen**

Anfang		$G_{V_{\text{kapillar}}} / G_{V_{\text{allseitig}}}$ [%]	$EXP_{\text{kapillar}} / EXP_{\text{allseitig}}$ [%]	$VF_{\text{kapillar}} / VF_{\text{allseitig}}$ [%]
PPW	2	14,2	14,8	69,1
	4	19,2	14,4	67,6

Tabelle 3.18.11.1.

**Vergleich :
Verhältnis kapillar / allseitig [%] für Gewicht Wasser Prismen**

Fortsetzung		$G_{V_{\text{kapillar}}} / G_{V_{\text{allseitig}}}$ [%]	$EXP_{\text{kapillar}} / EXP_{\text{allseitig}}$ [%]	$VF_{\text{kapillar}} / VF_{\text{allseitig}}$ [%]
PPW	2	28,4	178,2	4184,6
	4	39,3	144,3	4418,8

Tabelle 3.18.11.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4** (vgl. Diagramm 3.18.11.1. bis 3.18.11.6.):

- **Bei der Einwanderung von Wasser in Prismen erfolgt die Zunahme der „kapillaren“ Gewichtszunahme im Verhältnis zur allseitigen Gewichtszunahme anfänglich ähnlich sehr verzögert, dann ähnlich beschleunigt.**
- **Letztlich erreicht der Porenbeton PPW 2 einen niedrigeren Gewichtsverhältnis-Wert als der Porenbeton PPW 4.**
- Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist in jedem Zeitbereich ähnlich.

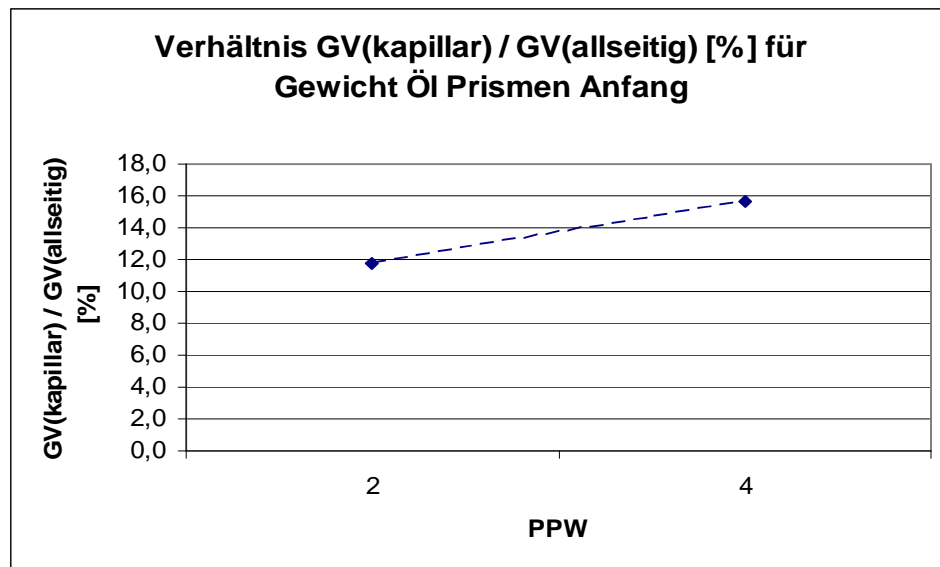


Diagramm 3.18.11.1.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

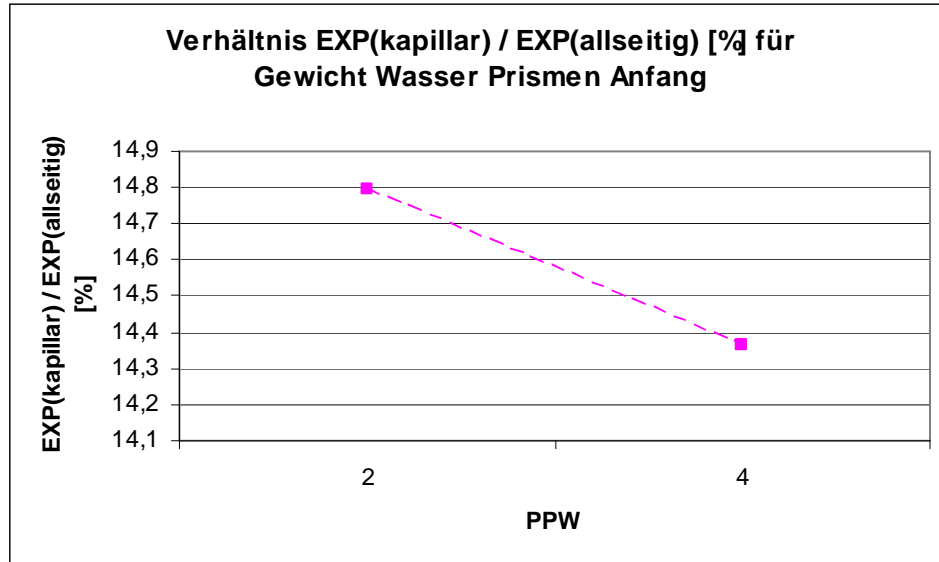


Diagramm 3.18.11.2.

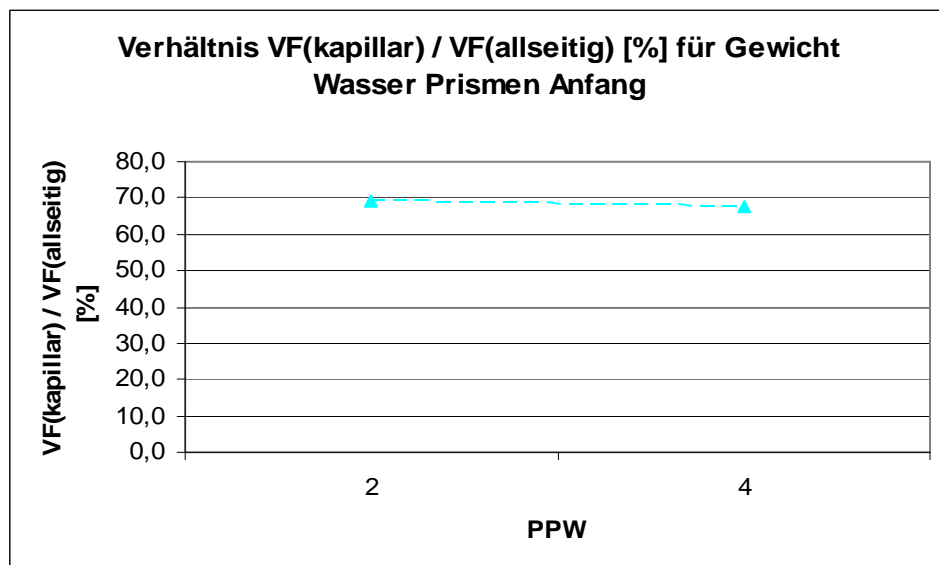


Diagramm 3.18.11.3.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

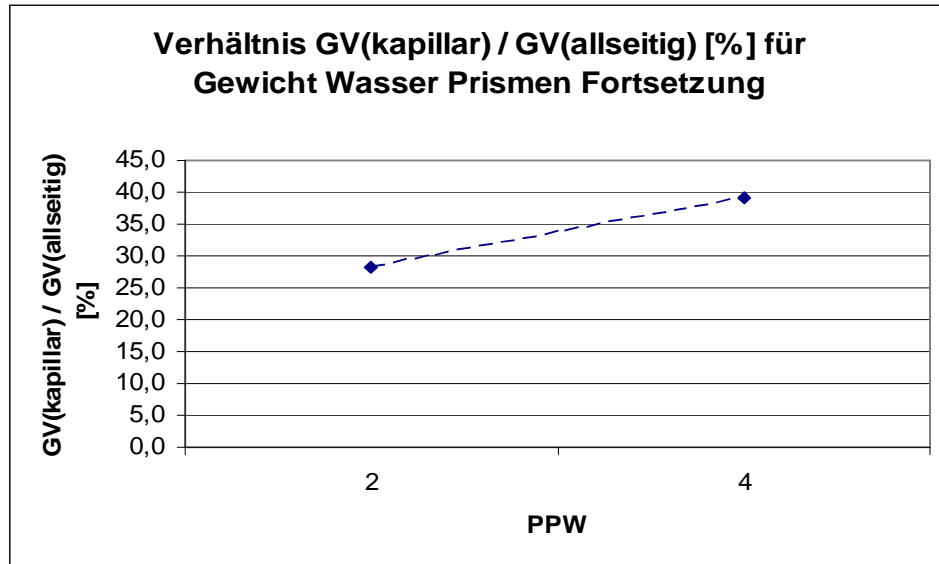


Diagramm 3.18.11.4.

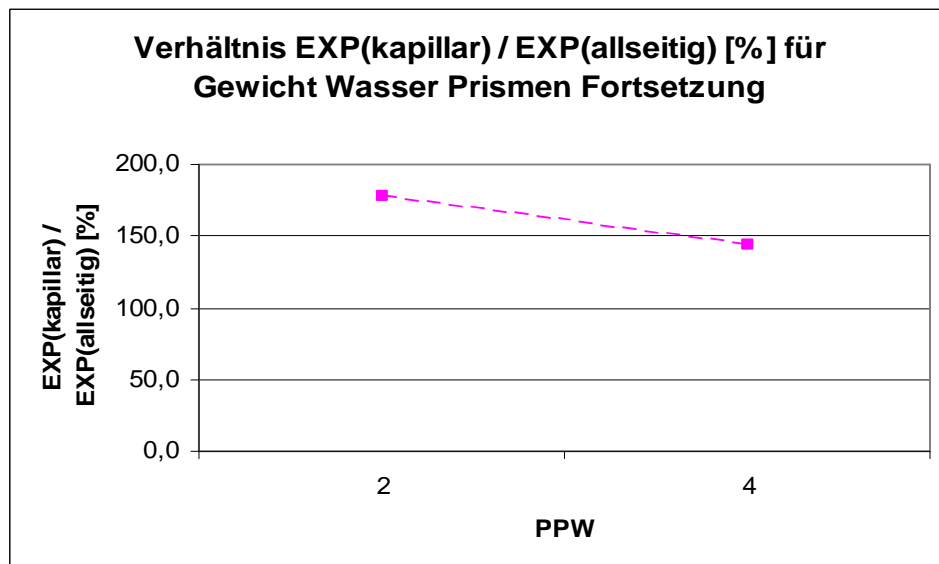


Diagramm 3.18.11.5.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

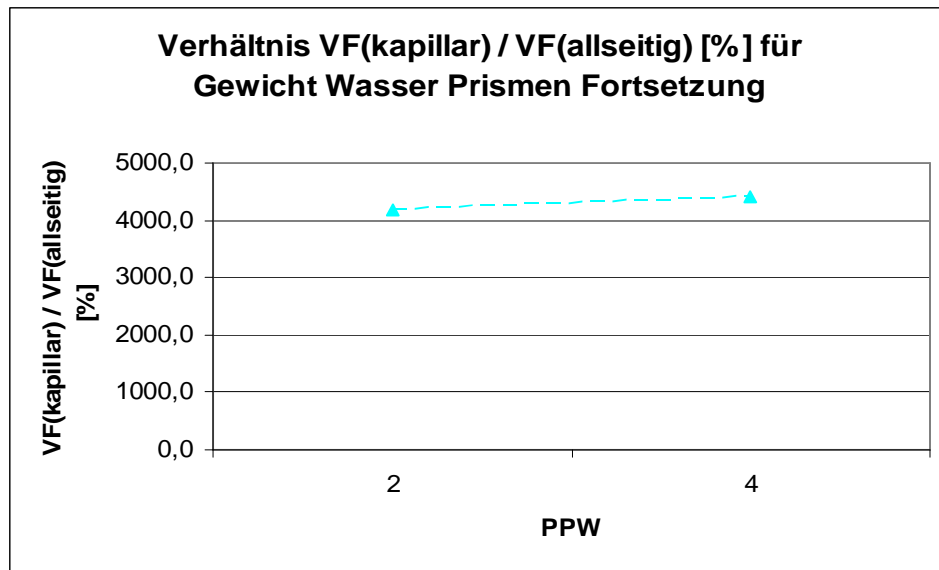


Diagramm 3.18.11.6.

3.19. Einseitige und allseitige Eindringtiefe von Wasser und Öl und von Wasser-Öl-Gemischen in Würfel/ Anfangszeitbereich -Porenbetone PPW 2 und PPW 4

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 4 und der Versuche V 10 (vgl. Kap. 3.8., 3.14. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

**Versuchsserie 4:
Eindringtiefe, einseitige Flüssigkeitsaufnahme**

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Wasser	2	10,5	94,4	1,67
		4	11,8	93,4	1,67
Würfel	Öl	2	8,6	97,0	1,67
		4	8,0	97,5	1,67

Tabelle 3.19.1.

**Versuchsserie 10:
Eindringtiefe, allseitige Flüssigkeitsaufnahme/Gemisch**

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Wasser	2	23,6	87,8	1,67
		4	25,2	84,9	1,67
Würfel	Öl	2	12,5	90,6	1,67
		4	17,8	94,0	1,67

Tabelle 3.19.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4**:

- **Hinsichtlich der einseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Wasser und Öl und der allseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Wasser-Öl-Gemischen in Würfeln gilt für den Anfangszeitbereich übergeordnet:**
- **Der Geschwindigkeitsexponent von Wasser verdoppelt sich etwa**
- **und der Geschwindigkeitsexponent von Öl etwa ebenfalls.**
- **Das Verhältnis der Vorfaktoren für PPW 2/4 ist ähnlich.**

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

3.20. Einfluss von Putz/Würfel-Porenbetone PPW 2 und PPW 4

Mittels der Ergebnisse der Versuche V 4 und der Versuche V 11 (vgl. Kap. 3.8., 3.15. und 3.16.) erhält man die nachfolgenden Angaben.

**Versuchsserie V 4:
Eindringtiefe, einseitige Flüssigkeitsaufnahme**

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Wasser	2	10,5	94,4	1,67
		4	11,8	93,4	1,67
Würfel	S.-Wasser	2	9,5	94,3	1,67
		4	7,8	93,7	1,67
Würfel	Öl	2	8,6	97,0	1,67
		4	8,0	97,5	1,67

Tabelle 3.20.1.

**Versuchsserie V 11:
Eindringtiefe bei Zementputz, einseitige Flüssigkeitsaufnahme**

Körper	Medium	PPW	-Exp./x=t [%]	Vorfaktor [%]	t [h]
Würfel	Wasser	2	1,5	92,2	10,0
		4	2,6	90,3	10,0
Würfel	Öl	2	0,9	94,9	10,0
		4	1,6	94,8	10,0

Tabelle 3.20.2.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Man erkennt übergeordnet bzgl. den Porenbetonen **PPW 2** und **PPW 4**:

- **Putz setzt die Einwanderungsgeschwindigkeit von Wasser und Öl, sowie von Wasser-Öl-Gemischen erheblich herab.**

3.21. Zusammenfassung/Einwanderungsversuche (Kap. 3.1. bis Kap. 3.20.)

Nachfolgend wird die Zusammenfassung der Versuche/Kap. 3.1. bis 3.20. angegeben.

3.21.1. Einwanderung von Öl und Wasser in Prismen und Würfel

Nachfolgend werden die ermittelten Sachverhalte bei der Einwanderung von Öl und Wasser in Prismen und Würfel zusammengefasst.

- Das Verhältnis der Vorfaktoren liegt im zeitlichen Anfangsbereich (mit und ohne zeitlichen Fortsetzungsbereich) größenordnungsgemäß bei 100%. Demnach liegt stets der ähnliche Eindring-Mechanismus vor. Dieser erfasst demnach je nach der Auffüllgeschwindigkeit unterschiedliche Körperformen (Prisma, Würfel), unterschiedliche Porositätsverhältnisse und (gem. „nicht-kapillarer“ und „kapillarer“ Flüssigkeitsaufnahme) unterschiedliche Porenarten/Porenverteilungen eines Flüssigkeitsaufnahme-Körpers.
- Bei der allseitigen Einwanderung von Öl in Würfel/Porenbetone PPW 2 und PPW 4 erreicht der Porenbeton PPW 2 nach 3,6 Wochen die relative Gesamtgewichtszunahme von 128 % und der Porenbeton PPW 4 nach ~ 1,8 **Wochen** die relative Gesamtgewichtszunahme von 71 %. Die Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. die Exponentialwerte) liegen beim PPW 2 zuerst bei 2 %, dann bei 0,8 %, beim PPW 4 zuerst bei 3 %, dann bei 1,5 %. Eine zunehmende Rohdichte (bzw. Festigkeitsklasse) bewirkt demnach bei der allseitigen Einwanderung von Öl in Würfel/Porenbetone PPW 2 und PPW 4 eine schnellere Flüssigkeitsaufnahme und eine niedrigere relative Gewichtszunahme.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Bei der allseitigen Einwanderung von Wasser in Prismen/ Porenbetone PPW 2, 4, 6 und 8 erreichen die Porenbetone PPW 2, 4 und 6 nach ~ 3 Stunden die relativen Gesamt-Gewichtszunahmen von ~ 77 %, 71 % und 34 %, der Porenbeton PPW 8 nach ~ 9 Stunden etwa 29 %. Die kennzeichnenden Anfangs-Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegen für die Porenbetone PPW 2 bis PPW 6 im Bereich von 190 % bis 230 %, beim Porenbeton PPW 8 bei 86 %. Eine stark zunehmende Rohdichte (bzw. Festigkeitsklasse) bewirkt demnach bei der Einwanderung von Wasser in Prismen aus den Porenbetonen PPW 2,4,6 und 8 eine langsamere Flüssigkeitsaufnahme und eine niedrigere relative Gewichtszunahme.
- Bei der allseitigen Einwanderung von Öl in Prismen/Porenbetone PPW 2, 4, 6 und 8 erreichen die Porenbetone PPW 2, 4, 6 und 8 nach 14 Stunden relative Gesamt-Gewichtszunahmen von 61 %, 59 %, 21 %, 14 %. Eine zunehmende Rohdichte (bzw. Festigkeitsklasse) bewirkt demnach bei der allseitigen Einwanderung von Öl in Prismen/Porenbetone PPW 2,4,6 und 8 insgesamt keine schnellere Flüssigkeitsaufnahme und eine niedrigere relative Gewichtszunahme. Für die anfänglichen bzw. schließlichen Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) gilt: PPW 2 ~ 83 %/23 %; PPW 4 ~ 77 %/25 %; PPW 6 ~ 55 %/ 25 %; PPW 8 ~ 42 %/ 28 %.
- Bei der einseitigen Eindringtiefe von Öl, Wasser und Schmutz-Wasser in Würfel/Porenbetone PPW 2 und PPW 4 erfolgte im Anfangszeitbereich für beide Porenbetone PPW 2 und PPW 4 die Zunahme der Eindringtiefe für Öl, Wasser und Schmutz-Wasser mit annähernd der gleichen Aufnahmegeschwindigkeit von 8 % bis 12 %. Die Wasseraufnahme erfolgte etwas schneller (10 % bis 12 %), Bezogen auf den PPW 2/Wasser-Wert gilt für die Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) Wasser-PPW 2/PPW 4: 100 %/112 %; Schmutz-Wasser-PPW 2/ PPW 4: 90 %/ 74 %; Öl-PPW 2/PPW 4: 81 %/ 76 %. Bezogen auf den Wasser-Wert wandert demnach bei der einseitigen Eindringtiefe von Öl, Wasser und Schmutz-Wasser in Würfel/Porenbetone PPW 2 und PPW 4 Schmutz-Wasser und Öl langsamer.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Hinsichtlich der allseitigen Eindringtiefe von Öl, Wasser und Schmutz-Wasser in Prismen/Porenbetone PPW 2 und PPW 4 folgt für die Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) des Anfangszeitbereichs, bezogen auf den PPW 2/Wasser-Wert: PPW 2/Wasser 100 %, PPW 4/Wasser 121 %, PPW 2/Schmutz-Wasser 82 %, PPW4/Schmutz-Wasser 102 %, PPW 2/Öl 11 %, PPW 4/Öl 41 %. Mit zunehmender Rohdichte (bzw. Festigkeitsklasse) nimmt demnach bei allseitigem Eindringen von Öl, Wasser und Schmutz-Wasser in Prismen/Porenbetone PPW 2 und PPW 4 der Fortschritt der Eindringtiefe bei allen Flüssigkeiten zu. Schmutz-Wasser wandert langsamer als Wasser. Öl wandert erheblich langsamer als Schmutz-Wasser.
- Hinsichtlich der stirnseitigen Eindringtiefe von Öl, Wasser und Schmutz-Wasser in Prismen/Porenbetone PPW 2 und PPW 4 folgt für den Anfangszeitbereich mit Bezug auf den PPW 2/Wasser-Wert: Wasser-PPW2/ PPW 4: 100 %/ 87 %; Schmutz-Wasser PPW 2/PPW 4: 72 %/ 72 %; Öl-PPW2/PPW 4: 31 %/ 66 %. Schmutz-Wasser wandert demnach bei der stirnseitigen Eindringtiefe in Prismen/Porenbetone PPW 2 und PPW 4 im Anfangszeitbereich langsamer ein als Wasser, Öl noch langsamer. Mit zunehmender Rohdichte (bzw. Festigkeitsklasse) nimmt die Wanderungsgeschwindigkeit beim Wasser ab und beim Öl zu.
- Bei der „kapillaren“ Einwanderung von Wasser in Prismen/Porenbetone PPW 2,4,6, und 8 erreichen nach ~ 20 Stunden die Porenbetone PPW 2/PWW 4/PPW 6 letztlich eine relative Gewichtszunahme von 22 %/ 28 %/ 15 %. Der Porenbeton PPW 8 erreicht nach ~ 10 Stunden die letzte relative Gewichtszunahme von 5 %. Die Porenbetone PPW 2/PPW 4/PPW 6 sind gekennzeichnet durch die anfänglichen und letzten Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) von 32 %/ 14 %; von 33 %/ 12 %; 42 %/12 %, der Porenbeton PPW 8 entsprechend durch 71 %/28 %. Der Porenbeton PPW 8 reichert sich demnach bei der „kapillaren“ Einwanderung von Wasser in Prismen/Porenbetone PPW 2,4,6, und 8 insgesamt schneller mit weniger Wasser an, als die anderen Porenbetone mit mehr Wasser.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

- Bei der „kapillaren“ Einwanderung von Öl in Prismen/ Porenbetone PPW 2,4,6, und 8 erreichen nach ~ 20 Stunden die Porenbetone PPW 2/PPW 4 die **Gesamt-Gewichtszunahme** von 17 % und 16 %. Die Porenbetone PPW 6 und PPW 8 erreichen nach ~ 3 Stunden entsprechend 3 % und 1 %. Die Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) für den Anfangszeitbereich und für den Fortsetzungsbereich liegen für die Porenbetone PPW 2 und PPW 4 bei 22 %/14 % und bei 28 %/ 11%. Für die Porenbetone PPW 6 und PPW 8 gilt entsprechend 75 %/ 14 % und 135 %/ 0 %. Die Porenbetone PPW 6 und PPW 8 reichern sich also bei der „kapillaren“ Einwanderung von Öl in Prismen/ Porenbetone PPW 2,4,6 und 8 schneller mit weniger Öl an, als die anderen Porenbetone (PPW 2 und 4) mit mehr Öl.
- Bei der „kapillaren“ Einwanderung von Wasser und Öl in Prismen/Porenbetone PPW 2,4,6, und 8 liegen hinsichtlich der Zunahme der Steighöhe die Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) für alle Porenbetone im selben Bereich von 2 % bis 3 %.
- Bei der allseitigen Einwanderung von Öl/Wasser-Gemischen in Würfel/ Porenbetone PPW 2 und PPW 4 liegen im Anfangszeitbereich bzgl. der Eindringtiefe die Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) für Wasser bei den Porenbetonen PPW 2 und PPW 4 bei 24 % und 25 %, für Öl entsprechend bei 12 % und 18 %. Öl wandert demnach bei der allseitigen Einwanderung von Öl/Wasser-Gemischen in Würfel/Porenbetone PPW2 und PPW 4 langsamer und mit hierbei zunehmender Rohdichte (bzw. Festigkeitsklasse) beschleunigt.
- Bei der Einwanderung eines Öl/Wasser-Gemischs in einen Würfel mit Kalk-Zementputz/Porenbeton PPW 2 und PPW 4 liegen im Anfangszeitbereich bzgl. der Eindringtiefe die Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) für Wasser bei den Porenbetonen PPW 2/ PPW 4 bei 1,5 % / 3 % und entsprechend für Öl bei 1 %/ 2 %. Durch Kalk-Zementputz dringt das Wasser und das Öl eines Öl-Wasser-Gemisches anfänglich ähnlich langsam ein.

3.21.2. **Auswirkung unterschiedlicher Körperformen/Porenbetone PPW 2 und PPW 4**

Hinsichtlich der Auswirkung unterschiedlicher Körperformen bzgl. den Porenbetonen PPW 2 und PPW 4 gelten die nachfolgenden Sachverhalte.

- Das jeweilige Verhältnis der Vorfaktoren (VF) liegt bevorzugt im Bereich von 100 %, insgesamt im Bereich von 50 – 125 %. Demnach liegt stets der ähnliche Eindring-Mechanismus vor. Dieser erfasst demnach je nach der Auffüllgeschwindigkeit (einschl. auch der Porenluft-Verdrängungseigenschaft bzw. der „Einhüllung von Poren mit Luftanteilen) unterschiedliche Anteile eines Flüssigkeitsaufnahme-Körpers. Diese Anteile werden durch die jeweilige Festkörper-Porosität beeinflusst.
- Bei einer stirnseitigen bzw. einseitigen Wassereinwanderung erfolgt die Eindringtiefe beim Prisma langsamer als beim Würfel. Dieser Vorgang nimmt mit der abnehmenden Festigkeitsklasse bzw. Rohdichte des Porenbetons ab. Das Verhältnis Prisma/Würfel der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt im Bereich von 45 % (PPW 2) und 35 % (PPW 4).
- Bei einer stirnseitigen bzw. einseitigen Schmutzwassereinwanderung erfolgt die Eindringtiefe beim Prisma langsamer als beim Würfel. Dieser Vorgang nimmt mit der abnehmenden Festigkeitsklasse bzw. Rohdichte des Porenbetons zu. Das Verhältnis Prisma/Würfel der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt im Bereich von ~ 37 % (PPW 2) und 44 % (PPW 4).
- Bei einer stirnseitigen bzw. einseitigen Öl-Einwanderung erfolgt die Eindringtiefe beim Prisma langsamer als beim Würfel. Dieser Vorgang nimmt mit der abnehmenden Festigkeitsklasse bzw. Rohdichte des Porenbetons zu. Das Verhältnis Prisma/Würfel der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw.

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Exponentialwerte) liegt im Bereich von ~ 17 % (PPW 2) und 40 % (PPW 4).

- Bei einer allseitigen Öl-Einwanderung reichert sich in einem Prisma eine geringere Ölmenge an, als bei einem Würfel. Hierbei erfolgt die Ölaufnahme beim Prisma zuerst sehr erheblich schneller, dann erheblich schneller als beim Würfel. Dieser Vorgang nimmt mit der abnehmenden Festigkeitsklasse bzw. Rohdichte des Porenbetons zu. Das Gewichtsverhältnis vom Prisma zum Würfel beträgt letztlich für den Porenbeton PPW 2 ~ 48 % und für den Porenbeton PPW 4 ~ 82 %. Das Verhältnis Prisma/Würfel der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt im Bereich von 16 bis 40 bzw. von ~40 bis 130 (PPW 2) und von 30 bis ~17 (PPW 4).

3.21.3. Auswirkungen unterschiedlicher Einwanderungsarten bei Prismen/Porenbeton PPW 2 und PPW 4

Hinsichtlich der Auswirkung unterschiedlicher Einwanderungsarten bei Prismen bzgl. den Porenbetonen PPW 2 und PPW 4 gelten die nachfolgenden Sachverhalte.

- Das Verhältnis der Vorfaktoren liegt im zeitlichen Anfangsbereich (mit und ohne zeitlichen Fortsetzungsbereich) größenordnungsmäßig bei 100 %. Demnach liegt stets der ähnliche Eindring-Mechanismus vor. Dieser erfasst demnach je nach der Auffüllgeschwindigkeit unterschiedlicher Körperformen (Prisma, Würfel) und unterschiedlicher Porositätsverhältnisse (gem. „nicht-kapillarer“ und „kapillarer“ Flüssigkeitsaufnahme) lediglich unterschiedliche Anteile eines Flüssigkeitsaufnahme-Körpers. Diese Anteile werden durch die jeweilige Festkörper-Porosität beeinflusst.
- Bei der allseitigen Wassereinwanderung in Prismen erfolgt im Anfangszeitbereich die Geschwindigkeit der Zunahme der Eindringtiefe im Verhältnis zur Geschwindigkeit der Ge-

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

wichtszunahme beim Porenbeton PPW 2 etwas schneller und beim Porenbeton PPW 4 deutlich schneller. Das Verhältnis der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt bzgl. der Eindringtiefe zum Gewicht im Bereich von 106 % (PPW 2) und 122 % (PPW 4).

- Bei der allseitigen Öleinwanderung in Prismen erfolgt im Anfangszeitbereich die Geschwindigkeit der Zunahme der Eindringtiefe im Verhältnis zur Geschwindigkeit der Gewichtszunahme beim Porenbeton PPW 2 erheblich verlangsamt und beim Porenbeton PPW 4 beschleunigt. Das Verhältnis der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt bzgl. der Eindringtiefe zum Gewicht im Bereich von 31 % (PPW 2) und 123 % (PPW 4).
- Bei der Wassereinwanderung in Prismen erfolgt die Geschwindigkeit der Zunahme stirnseitiger Eindringtiefe im Verhältnis zur allseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 sehr langsam und beim Porenbeton PPW 4 noch langsamer. Das Verhältnis der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt bzgl. der Flüssigkeitsaufnahme stirnseitig/allseitig im Bereich von 2 % (PPW 2) und 1 % (PPW 4).
- Bei der Einwanderung von Schmutz-Wasser in Prismen erfolgt die Zunahme der stirnseitigen Eindringtiefe im Verhältnis zur Zunahme der allseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 sehr langsam und beim Porenbeton PPW 4 noch etwas langsamer. Das Verhältnis der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt bzgl. der Flüssigkeitsaufnahme stirnseitig/allseitig im Bereich von 2 % (PPW 2) und 1 % (PPW 4).
- Bei der Öleinwanderung in Prismen erfolgt die Geschwindigkeit der Zunahme der stirnseitigen Eindringtiefe im Verhältnis zur Geschwindigkeitszunahme der allseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 sehr langsam und beim Porenbeton PPW 4 noch langsamer. Das Verhältnis der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt bzgl. der

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

Flüssigkeitsaufnahme stirnseitig/allseitig im Bereich von 6 % (PPW 2) und 3 % (PPW 4).

- Bei der Einwanderung von Wasser in Prismen erfolgt die Geschwindigkeit der Zunahme der „kapillaren“ Eindringtiefe im Verhältnis zur stirnseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 langsam und beim Porenbeton PPW 4 etwas weniger langsam. Das Verhältnis der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt bzgl. der Flüssigkeitsaufnahme „kapillar“/stirnseitig im Bereich von 48 % (PPW 2) und 62 % (PPW 4).
- Bei der Einwanderung von Öl in Prismen erfolgt die Geschwindigkeit der Zunahme der „kapillaren“ Eindringtiefe im Verhältnis zur stirnseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 beschleunigt und beim Porenbeton PPW 4 verlangsamt. Das Verhältnis der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt bzgl. der Flüssigkeitsaufnahme „kapillar“/stirnseitig im Bereich von 170 % (PPW 2) und 80 % (PPW 4).
- Bei der Einwanderung von Wasser in Prismen erfolgt die Geschwindigkeit der Zunahme der „kapillaren“ Eindringtiefe im Verhältnis zur Zunahme der allseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 sehr langsam und beim Porenbeton PPW 4 ebenfalls sehr langsam. Das Verhältnis der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt bzgl. der Flüssigkeitsaufnahme „kapillar“/allseitig im Bereich von 1 % (PPW 2) und 1 % (PPW 4).
- Bei der Einwanderung von Öl in Prismen erfolgt die Geschwindigkeit der Zunahme der „kapillaren“ Eindringtiefe im Verhältnis zur Zunahme der allseitigen Eindringtiefe beim Porenbeton PPW 2 langsam und beim Porenbeton PPW 4 noch langsamer. Das Verhältnis der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt bzgl. der Flüssigkeitsaufnahme „kapillar“/allseitig im Bereich von 10 % (PPW 2) und 3 % (PPW 4).

- Bei der Einwanderung von Wasser in Prismen erfolgt die Zunahme der „kapillaren“ Gewichtszunahme im Verhältnis zur allseitigen Gewichtszunahme anfänglich ähnlich sehr verzögert, dann ähnlich beschleunigt, letztlich erreicht der Porenbeton PPW 2 mit 28 % einen niedrigeren Gewichtsverhältniswert als der Porenbeton PPW 4 mit 39 %. Das Verhältnis der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt bzgl. der Flüssigkeitsaufnahme anfänglich und letztlich im Bereich von 15 % und 178 % sowie von 14 % und 144 % (PPW 4).
- Bei der Einwanderung von Öl in Prismen erfolgt die Zunahme der „kapillaren“ Gewichtszunahme im Verhältnis zur allseitigen Gewichtszunahme anfänglich langsam, dann etwas weniger langsam. Hierbei erfolgt der Vorgang beim Porenbeton PPW2 bzgl. des Porenbetons PPW 4 zuerst etwas verlangsamt, dann etwas gesteigert. Letztlich erreichen beide Porenbetone annähernd den gleichen niedrigen Gewichtsverhältniswert von 28 %. Das Verhältnis der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwerte (bzw. Exponentialwerte) liegt bzgl. der Flüssigkeitsaufnahme „kapillar“/allseitig anfänglich im Bereich von 26 % (PPW 2) und 36 % (PPW 4) und später bei 59 % (PPW 2) und 45 % (PPW 4).

3.21.4. Einseitige und allseitige Eindringtiefe von Wasser und Öl und von Wasser-Öl-Gemischen in Würfel/Anfangszeitbereich-Porenbetone PPW 2 und PPW 4

Zusammengefasst gelten die nachfolgenden Angaben.

- Das Verhältnis der Vorfaktoren liegt im zeitlichen Anfangsbereich größenordnungsmäßig bei 100 %. Demnach liegt stets der ähnliche Eindringmechanismus vor. Dieser erfasst demnach lediglich unterschiedliche Anteile eines Flüssigkeitsauf-

3. Ermittlung der baupraktischen mathematischen Gesetzmäßigkeiten der Flüssigkeitsaufnahme von Porenbeton

nahme Körpers. Diese Anteile werden durch die jeweilige Festkörper-Porosität beeinflusst.

- Hinsichtlich der einseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Wasser und Öl und der allseitigen Flüssigkeitsaufnahme von Wasser-Öl-Gemischen in Würfel gilt für den Anfangszeitbereich übergeordnet: Der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (bzw. Exponentialwert) vom Wasser verdoppelt sich etwa, und der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (bzw. Exponentialwert) vom Öl etwa ebenfalls. Der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (bzw. Exponentialwert) liegt sowohl für den Porenbeton PPW 2, als auch für den Porenbeton PPW 4 bei rd. 11 % für Wasser, bei rd. 8 % für Öl, für das Wasser bei Wasser-Öl-Gemischen bei rd. 24 % und für das Öl von Wasser-Öl-Gemischen bei rd. 15 %.

3.21.5. Einfluss von Putz/Würfel-Porenbetone PPW 2 und PPW 4

Zusammengefasst gelten die nachfolgenden Angaben.

- Das Verhältnis der Vorfaktoren liegt im zeitlichen Anfangsbereich größenordnungsmäßig bei 100 %. Demnach liegt stets der ähnliche Eindringmechanismus vor. Dieser erfasst demnach lediglich unterschiedliche Anteile eines Flüssigkeitsaufnahme-Körpers. Diese Anteile werden durch die jeweilige Festkörper-Porosität beeinflusst.
- Putz setzt die Einwanderungsgeschwindigkeit von Wasser und Öl, sowie von Wasser-Öl-Gemischen herab. Während der Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (bzw. Exponentialwert) sowohl für den Porenbeton PPW 2 als auch für den Porenbeton PPW 4 für Wasser bei rd. 11 % liegt, wird er durch Putz bzgl. bei den Porenbetonen für Wasser von Wasser-Gemischen auf rd. 2 % herabgesetzt. Es gilt für beide Porenbetone entsprechend die Minderung durch Putz von rd. 8 % auf rd. 1 % für Öl von Öl-Wasser-Gemischen.

4. Einfluss gesteigerter Frost-Tau-Belastungen auf beschichtete Porenbetone

4.1. Problemstellung

Infolge der Belastung mit Wasser besteht für nicht beschichteten Porenbeton, (infolge seiner Porosität) ein erhebliches Schädigungsrisiko durch Frost. Das Schädigungsrisiko für nichtbeschichteten Porenbeton ist abgeklärt, nicht jedoch für anwendungsmäßig spezifisch beschichteten Porenbeton. Deshalb wurden entsprechend der Anleitung und Betreuung des Verfassers der vorliegenden Arbeit verschiedene Untersuchungen durchgeführt [4.1.]. Ziel der nachfolgend angegebenen Untersuchungen war demnach, die Widerstandsfähigkeit von Porenbeton im Zusammenwirken mit anwendungsmäßig verschiedenen spezifischen Beschichtungssystemen zu ermitteln.

4.2. Erläuterungen zu den Beschichtungen

4.2.1. System Remmers

Die Beschichtung von Remmers setzt sich aus Aida Kiesol Keller-Grundierung und Flex-Schlämme zusammen.

Probewürfel mit der Beschichtung A: Remmers Aida Kiesol, Kellergrundierung und Flex-Schlämme



Abb. 4.2.1.1.

Das Kiesol ist eine wässrige, alkalische Zubereitung von kaliumhydroxidhaltigen Kieselsäureverbindungen. Es wird in erster Linie zur Abdichtung von Keller- und Neubauten verwendet. Die Baustoffverfestigung erfolgt durch Verkieselung.

Es findet dabei eine Kapillarverengung statt, die den Durchfluss von Flüssigkeiten vermindert. Da die Kapillaren nicht verschlossen werden, ist eine weitere Austrocknung durch Verdunstung gewährleistet.

Bei den Schlämmen handelt es sich um ein mineralisches Beschichtungssystem, das einen Verschluss der großen Poren durch Oberflächenabdichtung herbeiführt. Die Haftung erfolgt durch Kristallisation auf mineralischem und feuchtem Untergrund.

4.2.2. System Deitermann

Von Deitermann wird eine Beschichtung mit Eurolan TG 2 und der Dichtschlämme Cerinol DS gewählt.

Eurolan TG 2 ist entsprechend Werksangabe, eine transparente, alkalienbeständige Grundierung.

Die Dichtschlämme Cerinol ist ein hydraulisch abbindendes System.

Probewürfel mit der Beschichtung B: Grundierung Eurolan TG 2 und Deitermann Dichtschlämme Cerinol DS



Abb. 4.2.2.1.

4.2.3. System Hey´di

Das Beschichtungssystem umfasst eine Isolierflüssigkeit (Isolierflüssig) und eine Spezialschlämme der Firma Hey´di. Die Isolierflüssigkeit besteht aus einer modifizierten Disilikatlösung mit hochwirksamen Netzmitteln, die mit der Schlämme in den Kapillaren des Untergrundes zu einem hochfesten Mischsilikat reagiert.

Probewürfel mit der Beschichtung C: Grundierung Grundierung Hey´di Isolierflüssigkeit und Spezialschlämme



Abb. 4.2.3.1.

4.3. Versuchsdurchführung

Es wurden Probewürfel mit der Kantenlänge von 40 mm von vier Festigkeitsklassen der Porenbetonplansteine hergestellt. Alle Probekörper wurden entsprechend folgender Tabelle mit den jeweiligen Beschichtungen versehen, beschriftet und über mehrere

Tage bis zur Erhärtung unter Raumklima(20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte) gelagert.

Dabei wurden neben den kompletten Systemen auch Isolierungen mit Einzelkomponenten gewählt, um eine fehlerhafte Ausführung in der Baupraxis zu simulieren.

Die Proben unterzog man bis zu 28 Tagen dem Klima-Wechsel: 4 Std. von +20°C auf – 20°C, dann 3 Std. bei -20°C, dann 4 Std. auf +20°C, dann 1 Std. bei +20°C. Hierbei verwendete man eine Probe-serie jeweils nach einer Trockenlagerung, Teilfeuchtelagerung und einer Nasslagerung [4.2.].

Übersicht über die Probekörper und ihre Bezeichnung				
Probe	PPW 2	PPW 4	PPW 6	PPW 8
Beschichtung A Remmers Aida Kiesol Kellergrundierung und Flex Schlämme	A1	A2	A3	A4
Beschichtung B Deitermann Eurolan TG 2 und Dichtschlämme Cerinol DS	B1	B2	B3	B4
Beschichtung C Hey,di Isolier-Flüssig und Spezialschlämme	C1	C2	C3	C4
Beschichtung D Remmers Aida Kiesol Kellergrundierung	D1	D2	D3	D4
Beschichtung E Deitermann Eurolan TG 2	E1	E2	E3	E4
Beschichtung F Hey,di Isolier-Flüssig	F1	F2	F3	F4

Tabelle 4.3.1.

Übersicht über die Probekörper und ihre Bezeichnung				
Probe	PPW 2	PPW 4	PPW 6	PPW 8
Beschichtung G Remmers Flex-Schlämme ohne Grundierung	G1	G2	G3	G4
Grundierung H Deitermann Schlämme Cerinol DS ohne Eurolan TG 2	H1	H2	H3	H4
Beschichtung I Hey,di Spezialschlämme ohne Isolier-Flüssig	I1	I2	I3	I4
Nullprobekörper ohne Beschichtungen	01	02	03	04

Tabelle 4.3.2.

4.4. Versuchsergebnisse

4.4.1. Übersicht

Nach der Lagerung im Klimaschrank, wurden alle Probekörper optisch untersucht, zudem ermittelte man ihre Druckfestigkeit.

4. Einfluss gesteigerter Frost-Tau-Belastungen

Überblick über die Festigkeiten nach 28 Tagen Frost - Tau - Wechsell				
Probe	PPW 2	PPW 4	PPW 6	PPW 8
Beschichtung A				
Trockenlagerung:	$\varnothing\beta_D=2,4$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=4,6$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=6,5$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=10,1$ N/mm ²
Teilfeuchtelagerung:	$\varnothing\beta_D=2,4$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=5,0$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=8,5$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=9,5$ N/mm ²
Nasslagerung:	$\varnothing\beta_D=1,8$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=3,8$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=4,4$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=6,0$ N/mm ²
Beschichtung B				
Trockenlagerung:	$\varnothing\beta_D=2,6$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=4,7$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=3,4$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=6,0$ N/mm ²
Teilfeuchtelagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört
Nasslagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört
Beschichtung C				
Trockenlagerung:	$\varnothing\beta_D=1,7$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=2,8$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=5,3$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=8,4$ N/mm ²
Teilfeuchtelagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört
Nasslagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	Zerstört
Beschichtung D				
Trockenlagerung:	$\varnothing\beta_D=3,0$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=4,9$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=8,3$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=9,8$ N/mm ²
Teilfeuchtelagerung:	$\varnothing\beta_D=2,5$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=4,3$ N/mm ²	zerstört	$\varnothing\beta_D=7,5$ N/mm ²
Nasslagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört

Tabelle 4.4.1.1.

Überblick über die Festigkeiten nach 28 Tagen Frost - Tau – Wechseln				
Beschichtung E				
Trockenlagerung:	$\varnothing\beta_D=2,9$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=3,1$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=5,3$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=7,5$ N/mm ²
Teilfeuchtlagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört
Nasslagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört
Beschichtung F				
Trockenlagerung:	$\varnothing\beta_D=2,3$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=3,6$ N/mm ²	zerstört	zerstört
Teilfeuchtlagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört
Nasslagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört
Beschichtung G				
Trockenlagerung:	$\varnothing\beta_D=2,4$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=3,4$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=5,4$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=5,7$ N/mm ²
Teilfeuchtlagerung:	$\varnothing\beta_D=1,5$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=3,3$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=4,8$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=2,4$ N/mm ²
Nasslagerung:	$\varnothing\beta_D=2,0$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=3,3$ N/mm ²	zerstört	zerstört
Grundierung H				
Trockenlagerung:	$\varnothing\beta_D=1,8$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=2,1$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=3,1$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=4,1$ N/mm ²
Teilfeuchtlagerung:	$\varnothing\beta_D=1,6$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=2,9$ N/mm ²	zerstört	zerstört
Nasslagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört

Tabelle 4.4.1.2.

4. Einfluss gesteigerter Frost-Tau-Belastungen

Überblick über die Festigkeiten nach 28 Tagen Frost - Tau - Wechseln				
Grundierung I				
Trockenlagerung:	$\varnothing\beta_D=1,8$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=2,9$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=3,9$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=4,4$ N/mm ²
Teilfeuchtlagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört
Nasslagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört
Nullprobekörper ohne Beschichtungen				
Trockenlagerung:	$\varnothing\beta_D=2,7$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=5,0$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=8,3$ N/mm ²	$\varnothing\beta_D=11,2$ N/mm ²
Teilfeuchtlagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört
Nasslagerung:	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört

Tabelle 4.4.1.3.

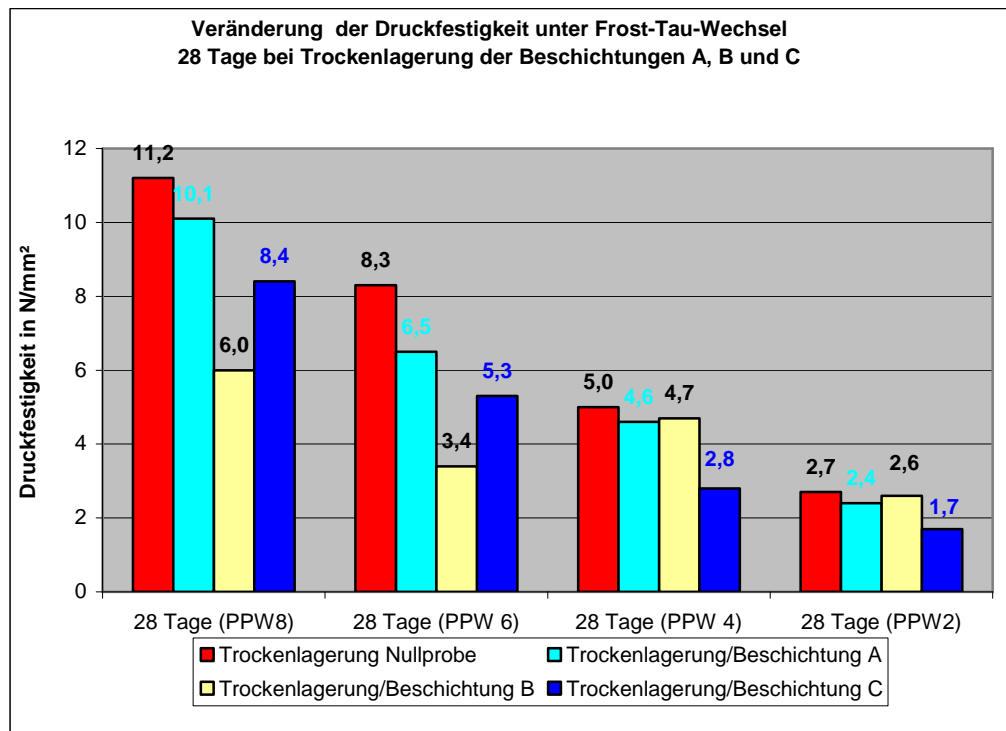


Diagramm 4.4.1.1.

4. Einfluss gesteigerter Frost-Tau-Belastungen

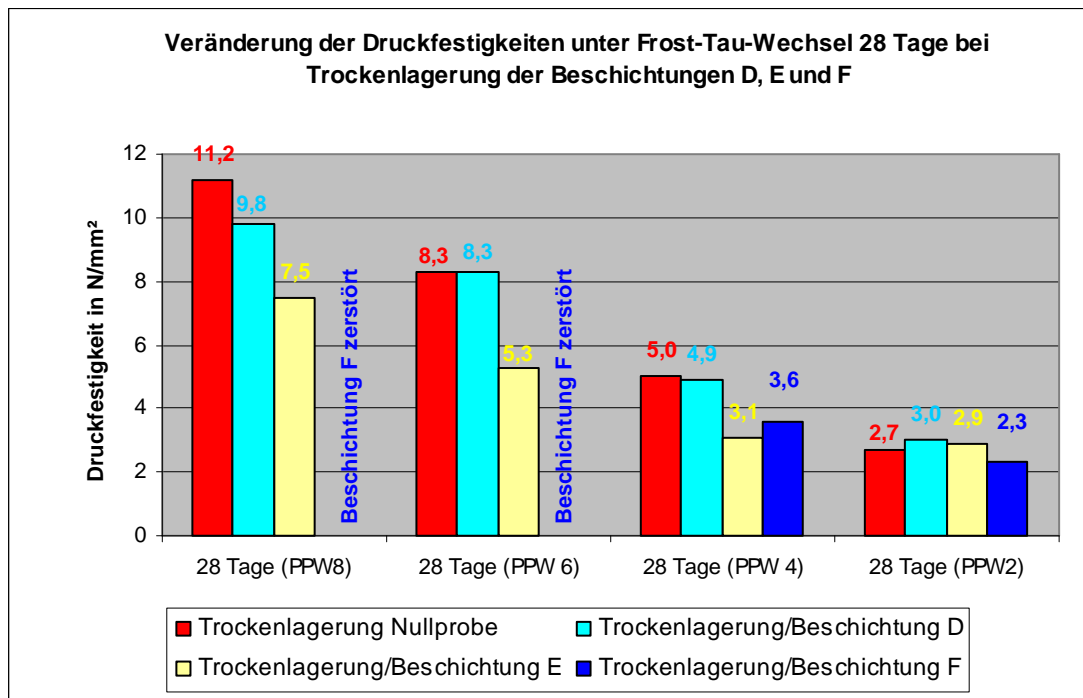


Diagramm 4.4.1.2.

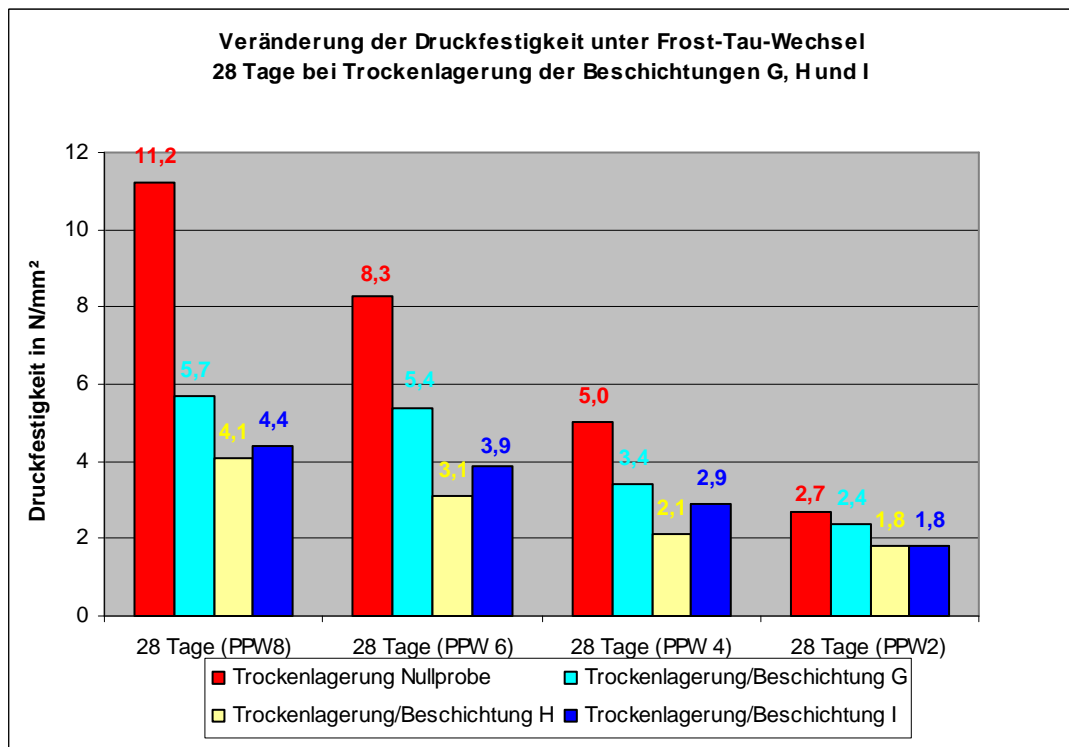


Diagramm 4.4.1.3.

Verlaufsdokumentation nach 7 Tagen Frost-Tau-Wechsel bei Teilfeuchtelagerung					
	PPW 2	PPW 4	PPW 6	PPW 8	Bemerkungen
A					
B				Oberflächenrisse, Beschichtungsablösung	
C				Oberflächenrisse, Beschichtungsablösung, Probekörperzersetzung	
D					
E					
F	Salzausblühungen, Probekörperzersetzung	Salzausblühungen	Probekörperzersetzung	Probekörperzersetzung	
G					
H			Beschichtungsablösung	Rissbildung an der Oberfläche, Beschichtungsablösung, Probekörperzersetzung	
I	Oberflächenrisse, Beschichtungsablösung, Probekörperzersetzung	Oberflächenrisse, Beschichtungsablösung, Probekörperzersetzung	Oberflächenrisse, Beschichtungsablösung, Probekörperzersetzung	Oberflächenrisse, Beschichtungsablösung, Probekörperzersetzung	
O	Zerstörung sehr fortgeschritten	Zerstörung sehr fortgeschritten	Zerstörung sehr fortgeschritten	Zerstörung sehr fortgeschritten	

Tabelle 4.4.1.4.

4. Einfluss gesteigerter Frost-Tau-Belastungen

Nach einem Zeitraum von 14 Tagen ergibt sich folgendes Bild der Probekörper:

Verlaufsdokumentation nach 14 Tagen Frost-Tau-Wechsel bei Teilfeuchtelagerung					
	PPW 2	PPW 4	PPW 6	PPW 8	Bemerkungen
A					
B			beginnende Oberflächenrisse	große Oberflächenrisse, Probekörperzerstörung	
C	Oberflächenrisse, beginnende Beschichtungsablösung	beginnende Oberflächenrisse	Abplatzungen der Oberfläche	Abplatzungen der Oberfläche, stark fortschreitende Zerstörung des Probekörpers	
D					
E	Salzausblühungen	Salzausblühungen	Salzausblühungen	Salzausblühungen	Volumenzunahme proportional zur Festigkeitsklasse
F	Salzausblühungen, Probekörperzerstörung	Salzausblühungen, Probekörperzerstörung	Salzausblühungen, Probekörperzerstörung	Salzausblühungen, Probekörperzerstörung	Salzausblühungen, zunehmende Probekörperzerstörung proportional zur Festigkeitsklasse
G					

Tabelle 4.4.1.5.

Verlaufsdokumentation nach 14 Tagen Frost-Tau-Wechsel bei Teilfeuchtelagerung					
	PPW 2	PPW 4	PPW 6	PPW 8	Bemerkungen
H	Rissbildung, Abplatzungen, Probekörperzerstörung	Rissbildung, Abplatzungen, Probekörperzerstörung	Rissbildung, Abplatzungen, Probekörperzerstörung	Rissbildung, Abplatzungen, Probekörperzerstörung	zunehmende Rissbildung verbunden mit Abplatzungen und Probekörperzerstörung proportional zur Festigkeitsklasse
I	Rissbildung, Probekörperzerstörung	Rissbildung, Probekörperzerstörung	Rissbildung, Probekörperzerstörung	Rissbildung, Probekörperzerstörung	zunehmende Rissbildung und Probekörperzerstörung proportional zur Festigkeitsklasse
O	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört	

Tabelle 4.4.1.6.

Nach 21 Tagen weisen viele Probekörper Oberflächenrisse auf oder sind zerstört, nur die Proben mit den Beschichtungen A, D und G haben ihre Form erhalten.

Verlaufsdokumentation nach 21 Tagen Frost-Tau-Wechsel bei Teilfeuchtelagerung					
	PPW 2	PPW 4	PPW 6	PPW 8	Bemerkungen
A					
B			starke Rissbildung, Volumenzunahme	starke Rissbildung, Volumenzunahme größer als bei B3, Probekörperzerstörung	
C	Oberflächenrisse, Abplatzungen, Probekörper zerstört	Risse, Abplatzungen	starke Risse, Probekörper zerstört	Probekörper zerstört	
D					
E	Volumenzunahme, zunehmende Zerstörung des Probekörpers	Volumenzunahme, zunehmende Zerstörung des Probekörpers	Volumenzunahme, zunehmende Zerstörung des Probekörpers	Volumenzunahme, zunehmende Zerstörung des Probekörpers	Volumenzunahme, zunehmende Probekörperzerstörung proportional zur Festigkeitsklasse
F	Salzausblühungen, Probekörperzerstörung	Salzausblühungen, Probekörperzerstörung	Salzausblühungen, Probekörperzerstörung	Salzausblühungen, Probekörperzerstörung	Salzausblühungen, zunehmende Probekörperzerstörung proportional zur Festigkeitsklasse
G					

Tabelle 4.4.1.7.

Verlaufsdokumentation nach 21 Tagen Frost-Tau-Wechsel bei Teilfeuchtelagerung					
	PPW 2	PPW 4	PPW 6	PPW 8	Bemerkungen
H	Rissbildung, Volumenzunahme, Abplatzungen, Probekörperzerstörung	Rissbildung, Volumenzunahme, Abplatzungen, Probekörperzerstörung	Rissbildung, Volumenzunahme, Abplatzungen, Probekörperzerstörung	Rissbildung, Volumenzunahme, Abplatzungen, Probekörperzerstörung	zunehmende Rissbildung verbunden mit Abplatzungen, Volumenzunahme, Probekörperzerstörung proportional zur Festigkeitsklasse
I	Rissbildung, Volumenzunahme, Abplatzungen, Probekörperzerstörung	Rissbildung, Volumenzunahme, Abplatzungen, Probekörperzerstörung	Rissbildung, Volumenzunahme, Abplatzungen, Probekörperzerstörung	Rissbildung, Volumenzunahme, Abplatzungen, Probekörperzerstörung	zunehmende Rissbildung verbunden mit Abplatzungen, Volumenzunahme, Probekörperzerstörung proportional zur Festigkeitsklasse
O	zerstört	zerstört	zerstört	zerstört	

Tabelle 4.4.1.8.

4. Einfluss gesteigerter Frost-Tau-Belastungen

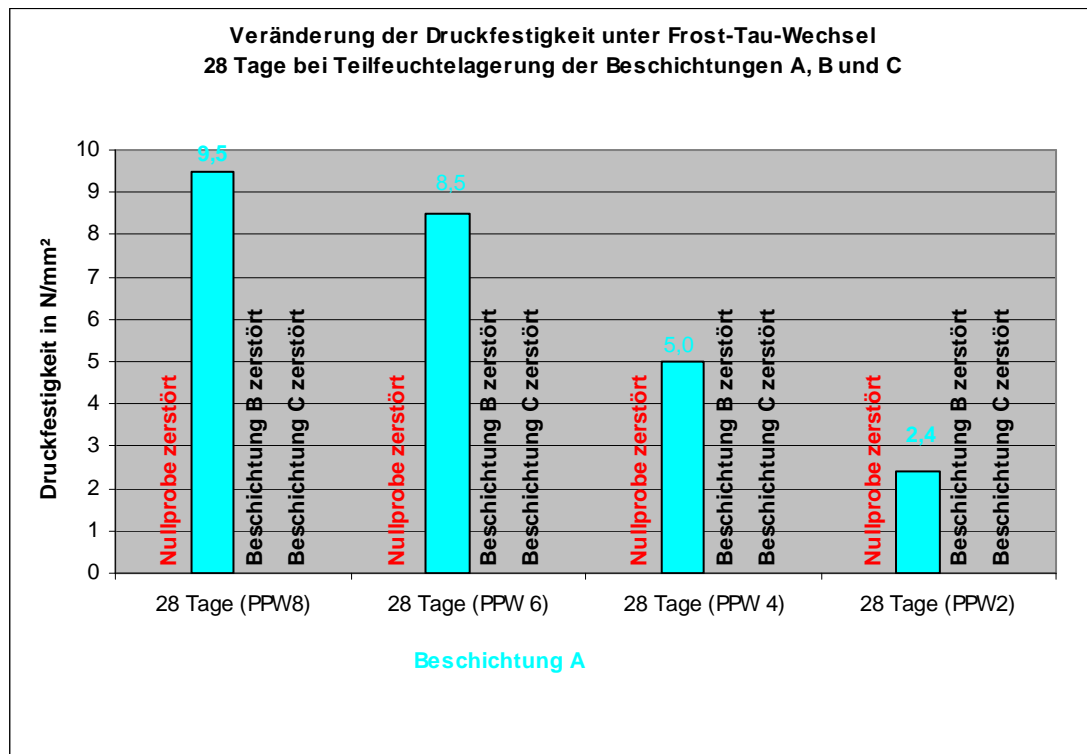


Diagramm 4.4.1.4.

Proben nach 14 Tagen Frost-Tau-Wechsel Teilfeuchtlagerung



A4	C1	D2	A2	B3	C4
A3	B4	D1	A2	B3	C4
A3	B4	D1	A1	B2	C3
A2	B3	C4	A1	B2	C3
A2	B3	C4	-	-	-

Abb. 4.4.1.1.

4. Einfluss gesteigerter Frost-Tau-Belastungen



A3	B4	A2	B3
A2	B3	A2	B2
A2	B3	A1	B2
	B2	A1	

Abb. 4.4.1.2.

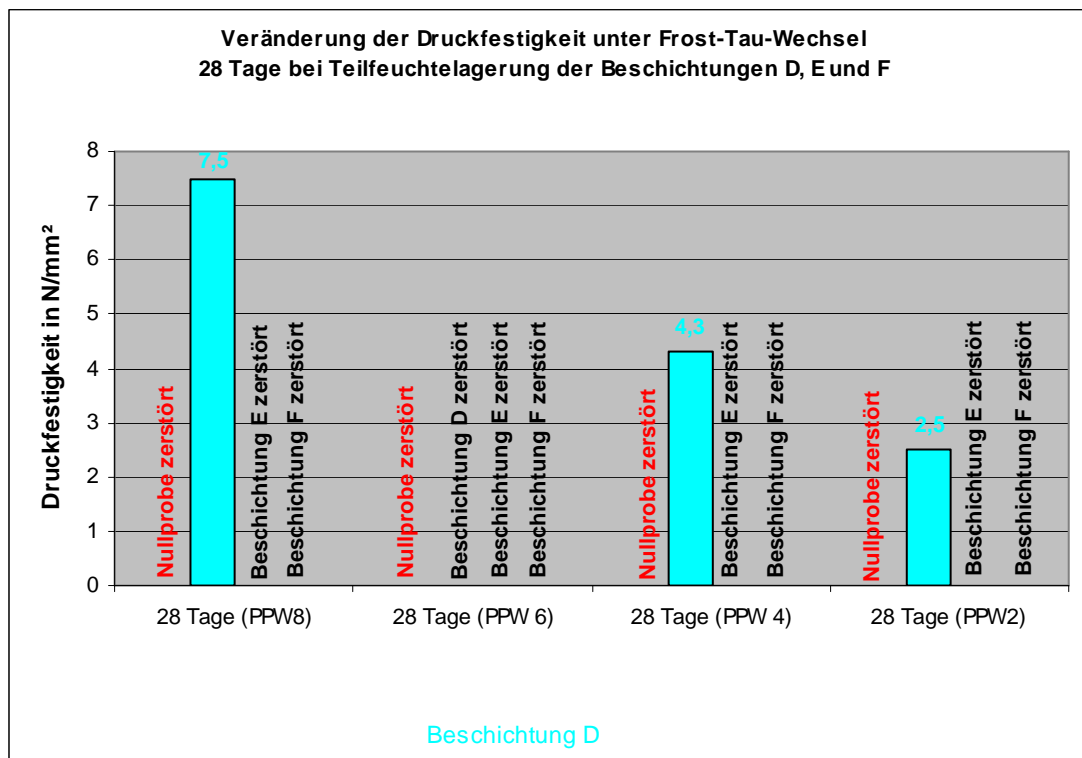


Diagramm 4.4.1.5.

4. Einfluss gesteigerter Frost-Tau-Belastungen

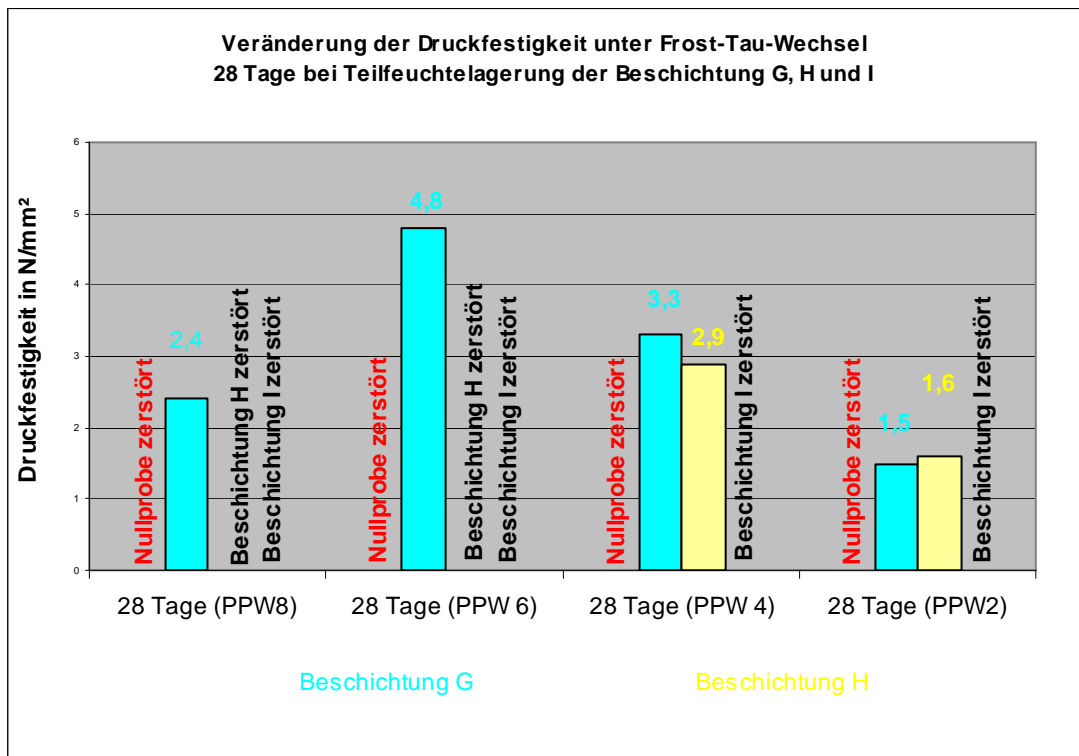


Diagramm 4.4.1.6.

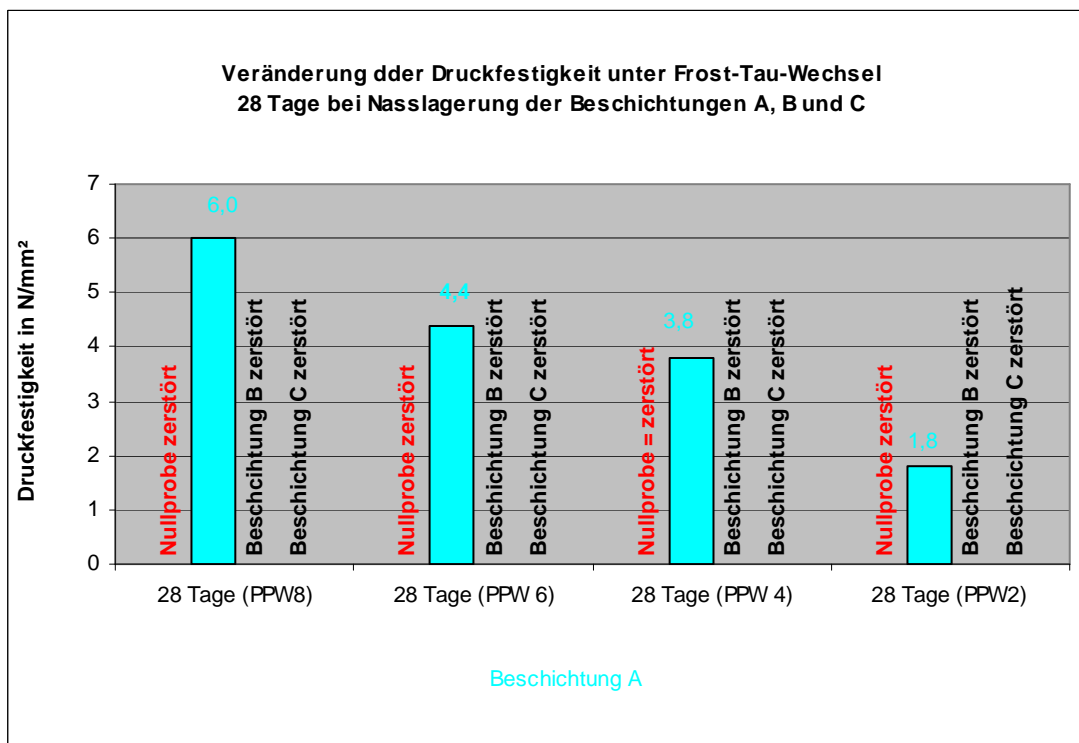


Diagramm 4.4.1.7.

4. Einfluss gesteigerter Frost-Tau-Belastungen

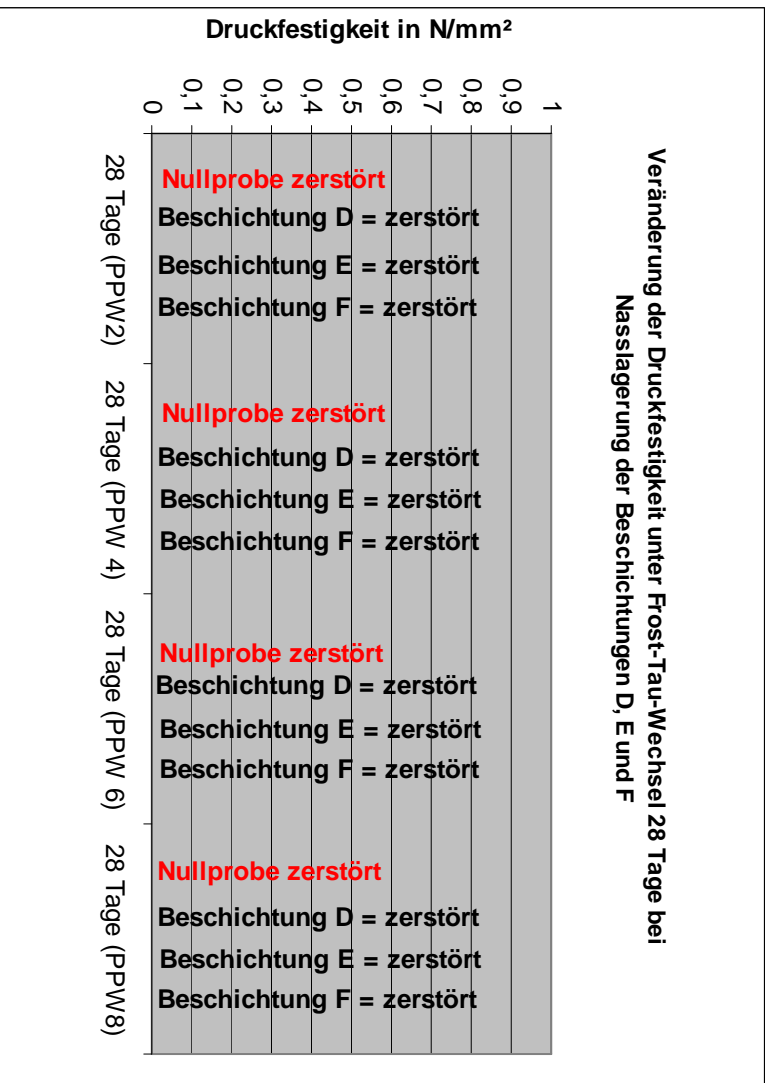


Diagramm 4.4.1.8.

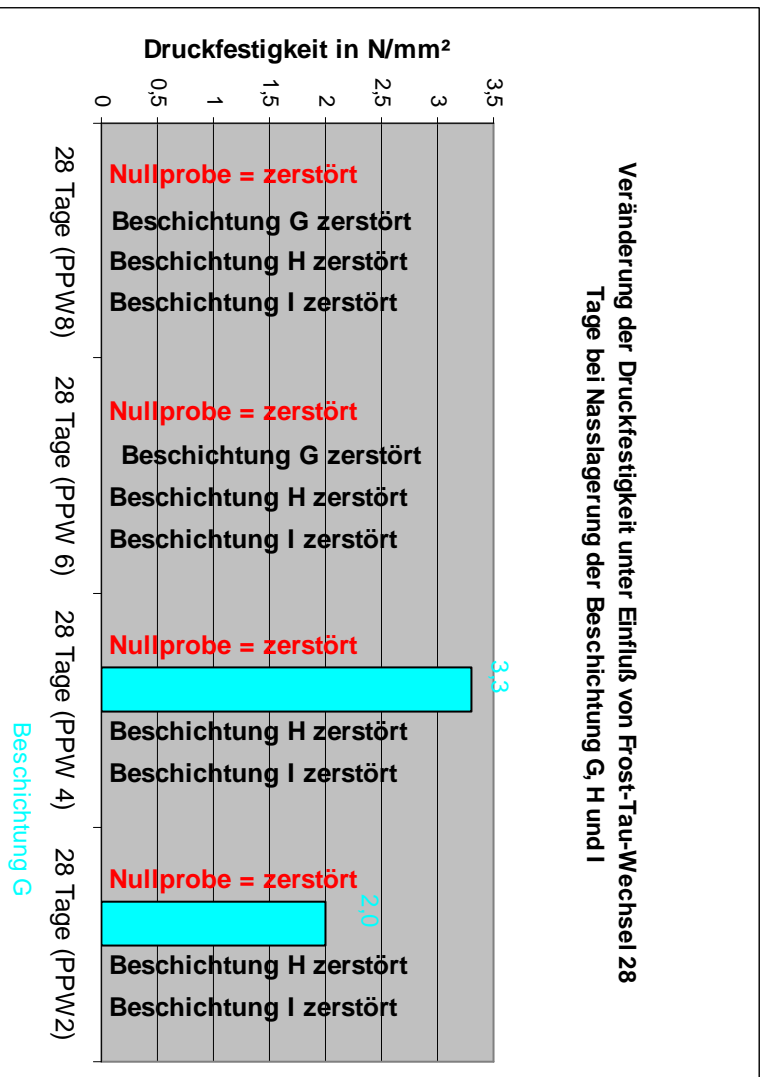


Diagramm 4.4.1.9.

4.4.2. Nullprobe

Wie zu erwarten, wurde nachgewiesen, dass diese Probekörper keine Beständigkeit gegenüber Frost besitzen. Bereits nach etwa 4 Frost-Tau-Wechseln war der Beginn der Zerstörung von der Oberfläche an zu beobachten. Nach etwa einer Woche waren die Würfel fast vollständig zerstört.

4.4.3. Rasterelektronische Auswertung

Die Kombination von Verkieselung der Kapillarporen und der gleichzeitige Verschluss der noch größeren Poren durch eine mineralische Oberflächenbeschichtung ist die zuverlässigste Methode, um einen hohen Frost-Tau-Widerstand zu erreichen.

Beschichtung A: Versiegelte Kugelporen an der Oberfläche

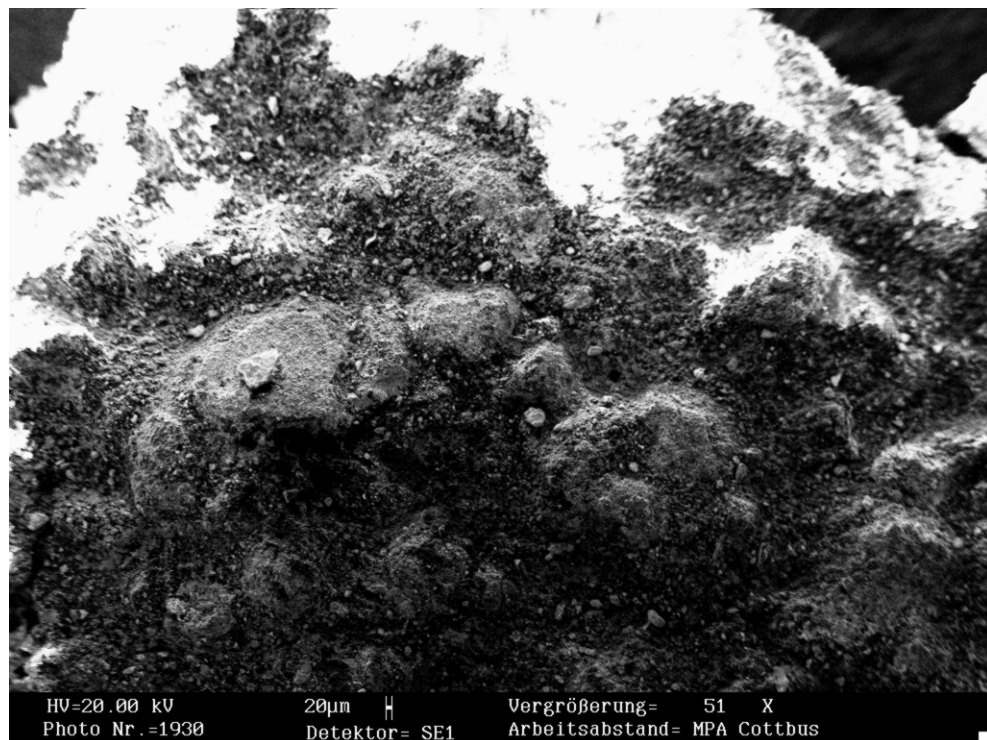


Abb. 4.4.3.1.

Beschichtung B: Löchrige Versiegelung im Oberflächenbereich

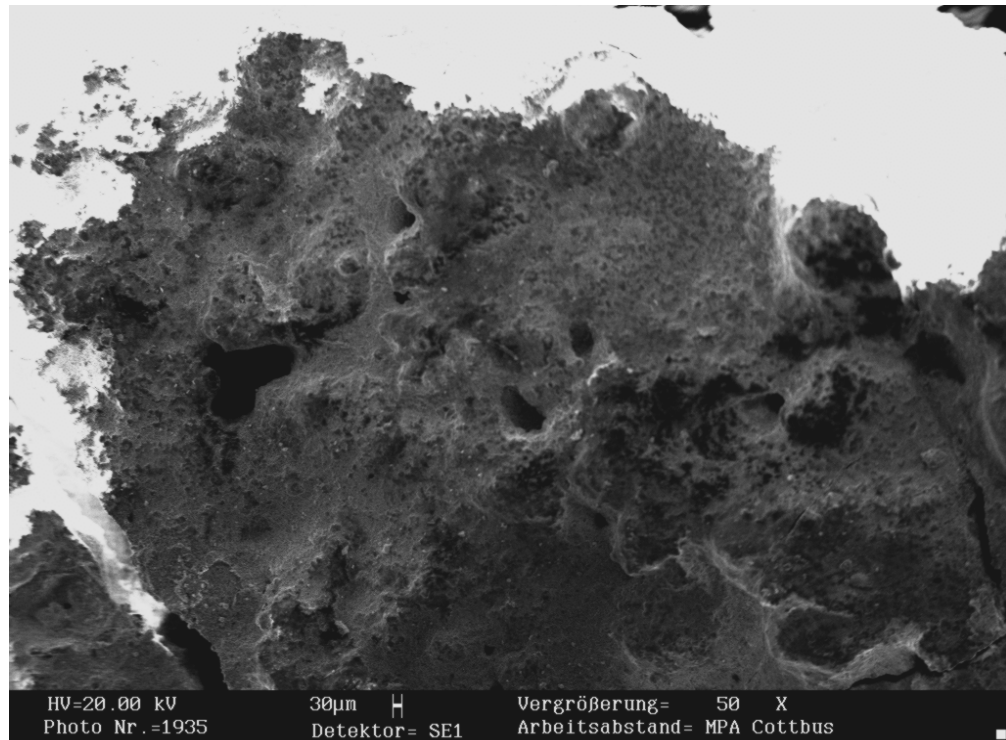


Abb. 4.4.3.2.

Beschichtung B: Offene und damit durchlässige Pore

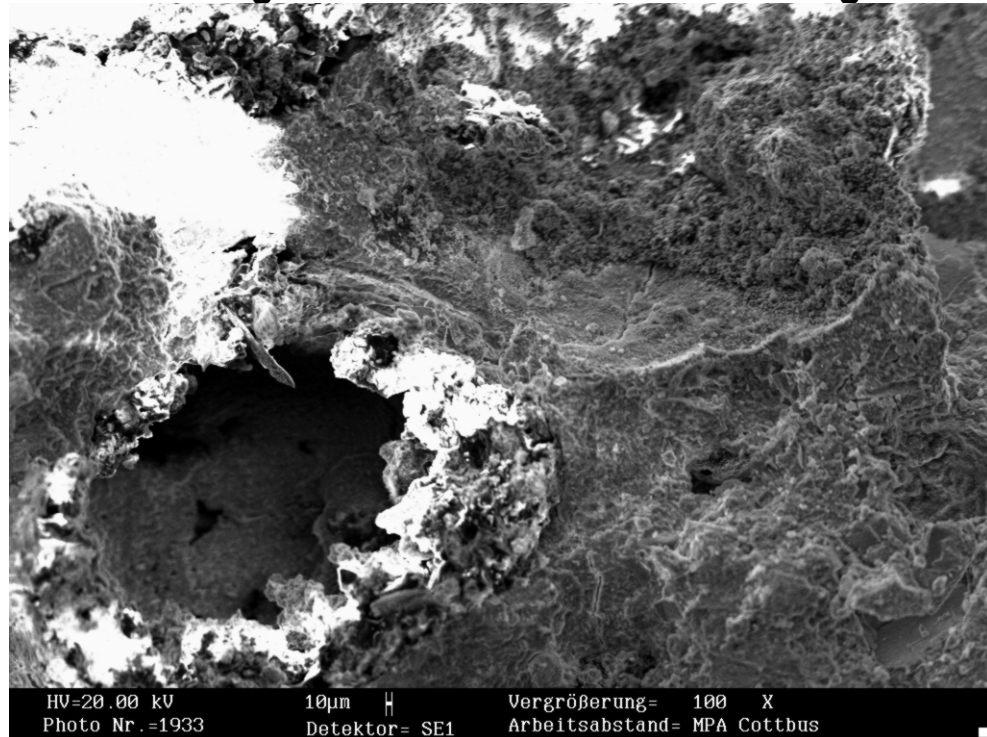


Abb. 4.4.3.3.

Beschichtung B: Gipskristalle

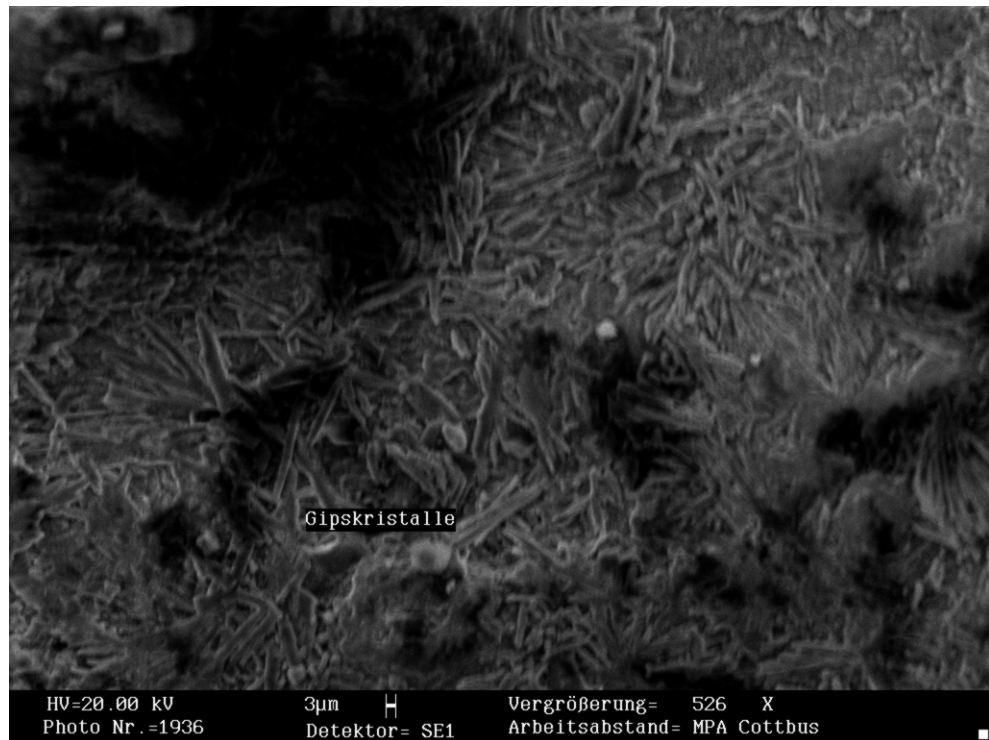


Abb. 4.4.3.4.

Beschichtung H: Calciumhydroxid

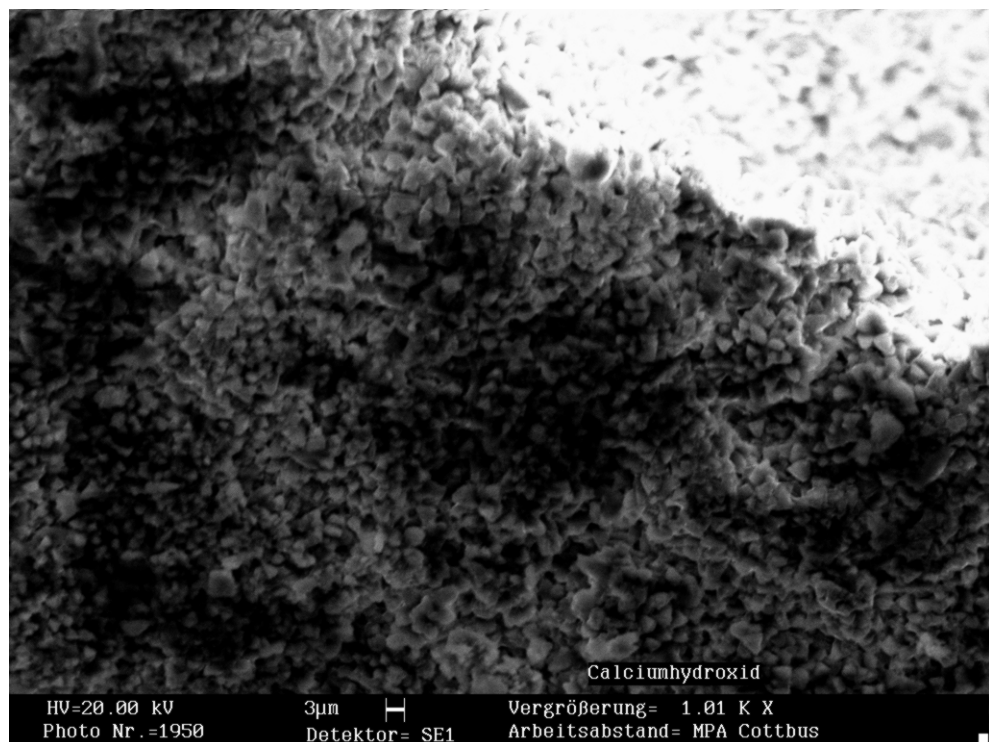


Abb. 4.4.3.5.

**Beschichtung C: Gerissene Porenstruktur nach
Teilfeuchtelagerung**

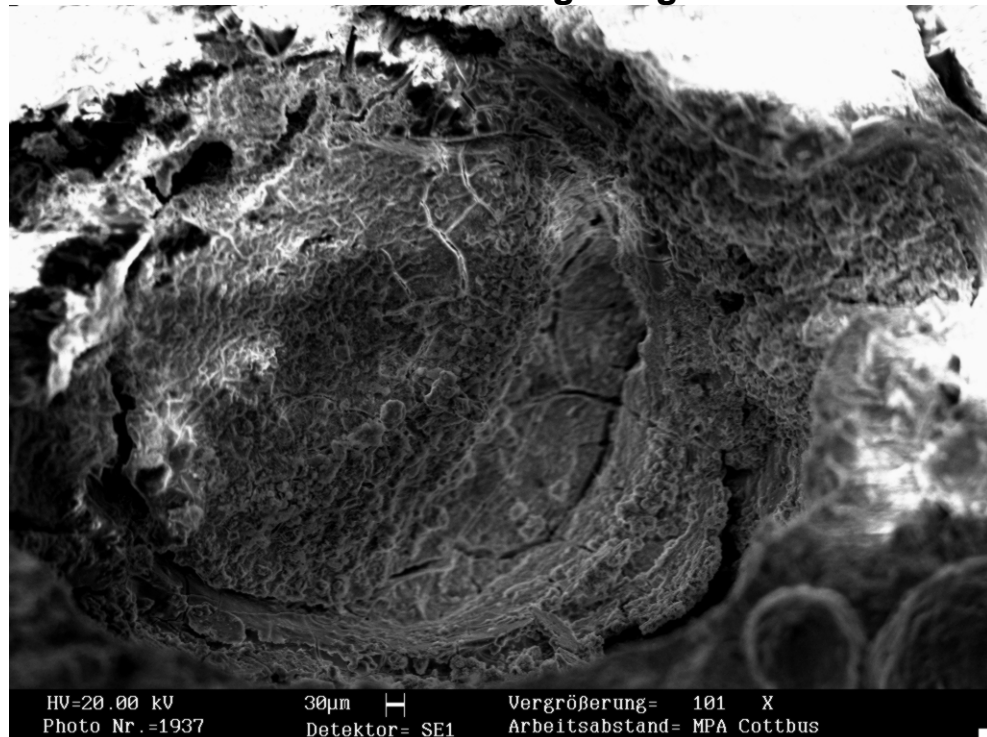


Abb. 4.4.3.6.

**Beschichtung C: Rissbildung in den Porenwänden, eventuell
infolge Alkalikiesels**

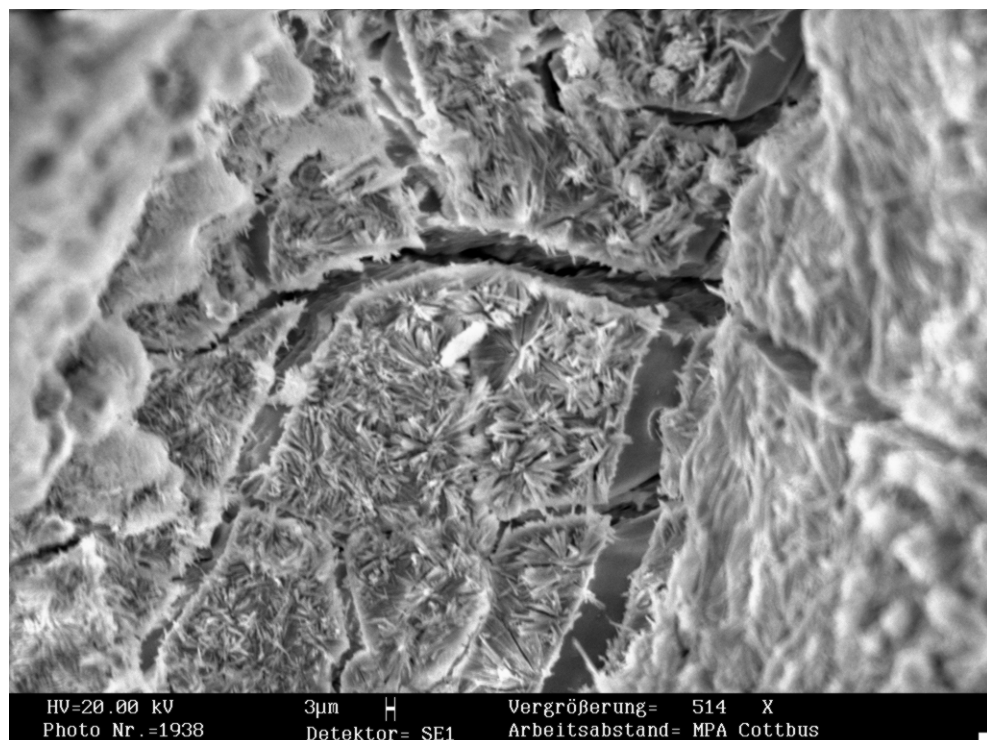


Abb. 4.4.3.7.

4.5. Folgerungen

Die Frost-Tau-Wechselversuche haben gezeigt, dass auch anwendungsmäßig spezifisch beschichteter Porenbeton anfällig gegen Frosteinwirkung ist.

Bei der Auswertung und Interpretation von Gefügaufnahmen und mittels der Anwendung der Rasterelektronenmikroskopie konnten nachfolgende Ergebnisse erzielt werden:

- Die Einwirkung von Frost-Tau-Wechseln auf den Porenbeton ließ sich elektronenmikroskopisch nachweisen. Die Treibschäden wurden in den Aufnahmen sichtbar.
- Die Beschichtungssysteme wiesen unterschiedliche Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel auf. Je nach Auftragsart der Grundierung und der Flex-Schlämme auf dem Probekörper wird eine unterschiedliche Widerstandsfähigkeit des Porenbetons erreicht.
- Gefügeveränderungen, Treibschäden im Porenbeton, beginnende Salzausblühungen und die Bildung von Gipskristallen wurden zu einem frühestmöglichen Zeitpunkt sichtbar.

5. Gesamt-Zusammenfassung/Einwanderungsversuche

Durch die Einwirkung von Wasser, Schmutz-Wasser und Heizöl wird die Gebrauchsfähigkeit von Porenbeton eingeschränkt. Zur Beurteilung des Ausmaßes der Schädigung benötigt man die Kenntnis, welche Flüssigkeitsmengen innerhalb einer Zeitspanne bereits in einen Porenbeton eingedrungen sind bzw. noch eindringen werden.

Bisher war bekannt, dass die Einwanderung einer der Flüssigkeiten insbesondere von der jeweiligen spezifischen Flüssigkeit, der Porenbetonkörper-Form, den Einwanderungsflächen (der Flüssigkeit in den Körper) und von der Einlagerungsart und Einlagerungstiefe des Körpers in der Flüssigkeit abhängt.

Durch grundsätzliche baupraktische Einflussgrößen bestimmte, mittels nur weniger einfacher Versuche ermittelbare, übersichtliche Einwanderungs-Gesetzmäßigkeiten standen der Baupraxis bisher allerdings nicht zur Verfügung.

Es fehlte demnach der Baupraxis die Kenntnis, ob mittels weniger Versuche jedes mögliche Eindringverhalten der Flüssigkeiten in ein geometrisch beliebiges Porenbeton-Bauteil mathematisch übersichtlich eingestuft werden kann.

Um diese Kenntnis wissenschaftlich fundiert zu erhalten, ermittelte man eigene mathematische Gesetzmäßigkeiten, welche den obigen Auflagen genügen.

Diese Gesetzmäßigkeiten beruhen auf dem allgemeinen Sachverhalt, dass durch eine jegliche Flüssigkeitseinwanderung ein bestimmter Anteil eines Porenbetons bis zu einem Maximalgehalt von der Flüssigkeit innerhalb einer gewissen Zeitspanne aufgefüllt wird. Bei der „kapillaren“ Flüssigkeitsaufnahme erfasst der Anteil bevorzugt die „kapillaren“ Anteile des Porenbetons, bei der allseitigen oder einseitigen Flüssigkeitsaufnahme die gesamten Anteile des der Einwanderung unterliegenden Porenbetons. Die Gesetzmäßigkeiten berücksichtigen demnach auch, dass nicht

sämtliche Hohlräume eines Porenbetons von einer Flüssigkeit verfüllt werden müssen und dass dieser Einfluss von der Flüssigkeits-Anreicherungs-geschwindigkeit abhängen kann. Weiterhin berücksichtigen die Gesetzmäßigkeiten, dass sich bei der Aufnahme einer Flüssigkeit durch einen Porenbeton unterschiedliche, teilweise gegensätzliche Einflussgrößen (wie die Poren-Art, -Verteilung, -Luftverdrängungseigenschaft und die Oberflächen-spannung, Oberflächenadhäsion, Oberflächendesorption, Flüssigkeits-Luftaufnahme-fähigkeit) auswirken. Die Gesetzmäßigkeiten berücksichtigen ebenfalls, dass für ihre baupraktische Anwendung nur wenige, übersichtliche und baupraktisch anwendbare Einflußgrößen enthalten sein dürfen, welche die unterschiedlichen, teilweise gegensätzlichen einzelnen Einflussgrößen zusammengefasst enthalten.

Die durchgeführten zahlreichen Untersuchungen bestätigen die selbst hergeleiteten Gesetzmäßigkeiten und ergaben, dass die Flüssigkeitseinwanderung in kleinere Probekörper durch eine übersichtliche additive mathematische Gesetzmäßigkeit erfasst werden kann, welche sich aus der zeitlichen Anfangs-Einwirkung und der danach folgenden Rest-Einwirkung zusammensetzt.

Als Gesetzmäßigkeit für jeden der Einwanderungsbereiche gilt für das Verhältnis (V) der jeweils aufgenommenen zur maximal aufnehmbaren Flüssigkeitsmenge die allgemeine mathematische Formulierung:

$$V = [1 - \alpha \cdot \exp (- k \cdot t)]$$

Kennzeichnend für die Gesetzmäßigkeit ist demnach der jeweilige (exponentielle) „spezifische“ Flüssigkeitsaufnahme-Kennwert (k). Je höher dieser Kennwert liegt, desto schneller reichert sich eine Flüssigkeit in einem jeweiligen Probekörper an. Falls erforderlich, kann die selbst ermittelte Gesetzmäßigkeit auch auf größere Bauteile entsprechend erweitert werden.

Demnach verfügt nunmehr die Baupraxis über eine einfache und übersichtliche, wissenschaftlich abgesicherte Methode zur Einstufung der Auswirkung von Flüssigkeitseinwanderungen in Porenbetone.

Diese Methode kann künftig auch dazu angewendet werden, um die gezielte Einwanderung von flüssigen und sich dann verfestigenden „Flüssigkeitssperren“ bzw. von „Vergelungsmitteln“ in Porenbeton-Steine und Wände durchzuführen.

5.1. Ergebnisse/Flüssigkeits-Einwanderungsversuche

Bisher wurde in der Baupraxis oftmals die Auffassung vertreten, dass die Einwanderung von Wasser, Schmutz-Wasser und Öl in Porenbetone ähnlich und jeweils wenig spezifisch verläuft.

Die nachfolgenden beispielhaften Untersuchungsergebnisse verdeutlichen, dass der Einwanderungsvorgang von Wasser, Schmutz-Wasser und Öl in Porenbetone jedoch sehr uneinheitlich und sehr spezifisch erfolgt.

- Bei der **allseitigen Einwanderung** von **Wasser** in **Prismen**/Porenbetone PPW 2, 4, 6 und 8 bewirkt eine zunehmende Rohdichte (bzw. Festigkeitsklasse) eine langsamere **Flüssigkeitsaufnahme** und eine niedrigere relative **Gewichtszunahme**.

Abweichend hiervon bewirkt **Öl** mit zunehmender Rohdichte (bzw. Festigkeitsklasse) insgesamt keine veränderte Flüssigkeitsaufnahme.

- Bei der **stirnseitigen Eindringtiefe** in **Prismen**/Porenbetone PPW 2 und PPW 4 nimmt mit zunehmender Rohdichte (bzw. Festigkeitsklasse) die **Wanderungsgeschwindigkeit** beim **Wasser** ab, beim **Öl** dagegen zu.
- Bei der „**kapillaren**“ **Einwanderung** von **Wasser** in **Prismen**/Porenbetone PPW 2, 4, 6 und 8 reichert sich der Porenbeton PPW 8 insgesamt schneller mit weniger Wasser an, als die anderen Porenbetone mit mehr Wasser.

Abweichend hiervon reichern sich die Porenbetone PPW 6

und PPW 8 schneller mit weniger ÖI an, als die anderen Porenbetone mit mehr Öl.

- Bei der **stirnseitigen** bzw. einseitigen **Wassereinwanderung** erfolgt die Eindringtiefe beim **Prisma**/PPW 2 und PPW 4 langsamer, als beim Würfel. Dieser Vorgang nimmt mit der abnehmenden Rohdichte (bzw. Festigkeitsklasse) des Porenbetons ab.

Abweichend hiervon nimmt dieser Vorgang beim Schmutzwasser und beim ÖI mit der abnehmenden Rohdichte (bzw. Festigkeitsklasse) des Porenbetons zu.

- Bei der **allseitigen Wassereinwanderung** in **Prismen** erfolgt im Anfangszeitbereich die Geschwindigkeit der Zunahme der Eindringtiefe im Verhältnis zur Geschwindigkeit der Gewichtszunahme beim Porenbeton PPW 2 etwas schneller und beim PPW 4 deutlich schneller.

Abweichend hiervon ist beim ÖI beim Porenbeton PPW 2 das Verhältnis erheblich verlangsamt und beim Porenbeton PPW 4 beschleunigt.

- Bei der Einwanderung von Wasser in **Prismen** erfolgt die Zunahme der „kapillaren“ **Eindringtiefe** im Verhältnis zur Zunahme der **allseitigen Eindringtiefe** beim Porenbeton PPW 2 sehr langsam und beim Porenbeton PPW 4 ebenfalls sehr langsam.

Abweichend erfolgt der Vorgang beim ÖI bzgl. des Porenbetons PPW 2 langsam und beim Porenbeton PPW 4 noch langsamer.

Die vielseitigen Untersuchungsergebnisse bestätigen den baupraktischen Nutzen der selbst ermittelten Methodik zur schnellen Ermittlung irgendeiner Flüssigkeitseinwanderung in irgendeinen Porenbeton.

Anlage A.:

Auswertung von Schadens-Gutachten

Anlage A.: Auswertung von Schadens-Gutachten

A.1. Übersicht

Bei der Beurteilung der Schädigung von Porenbeton durch Wasser, Schmutz-Wasser und Heizöl müssen auch andere Schädigungsmöglichkeiten berücksichtigt werden. Daher erstellte der Verfasser der vorliegenden Arbeit auch eine allgemeine Analyse von Porenbeton-Schadensfällen.

Für die Untersuchung und Auswertung von Mängeln und Schäden an Gebäuden wurden gutachterliche Stellungnahmen und Sachverständigen-Gutachten herangezogen [5.1 – 5.75].

Die nachstehende Übersicht [5.76] zeigt die Schädigungsschwerpunkte. Diese Auswertung berücksichtigt ca. 13.000 Schäden aus fast 15 Jahren Schadenserfahrung aus der Sichtweise der Berufshaftpflichtversicherung von Architekten.

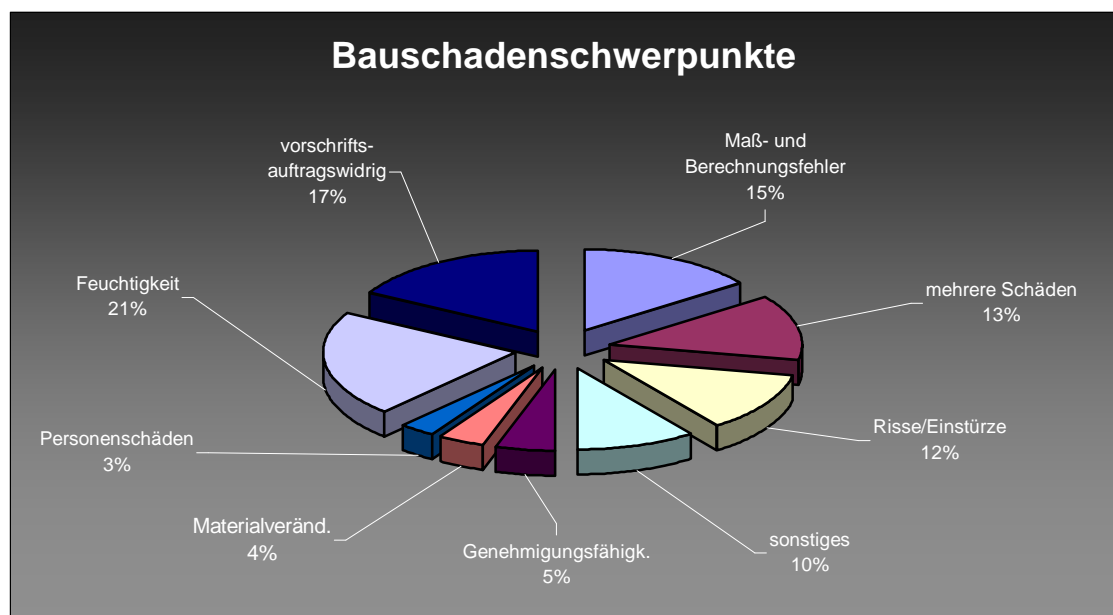


Diagramm A.1.1.

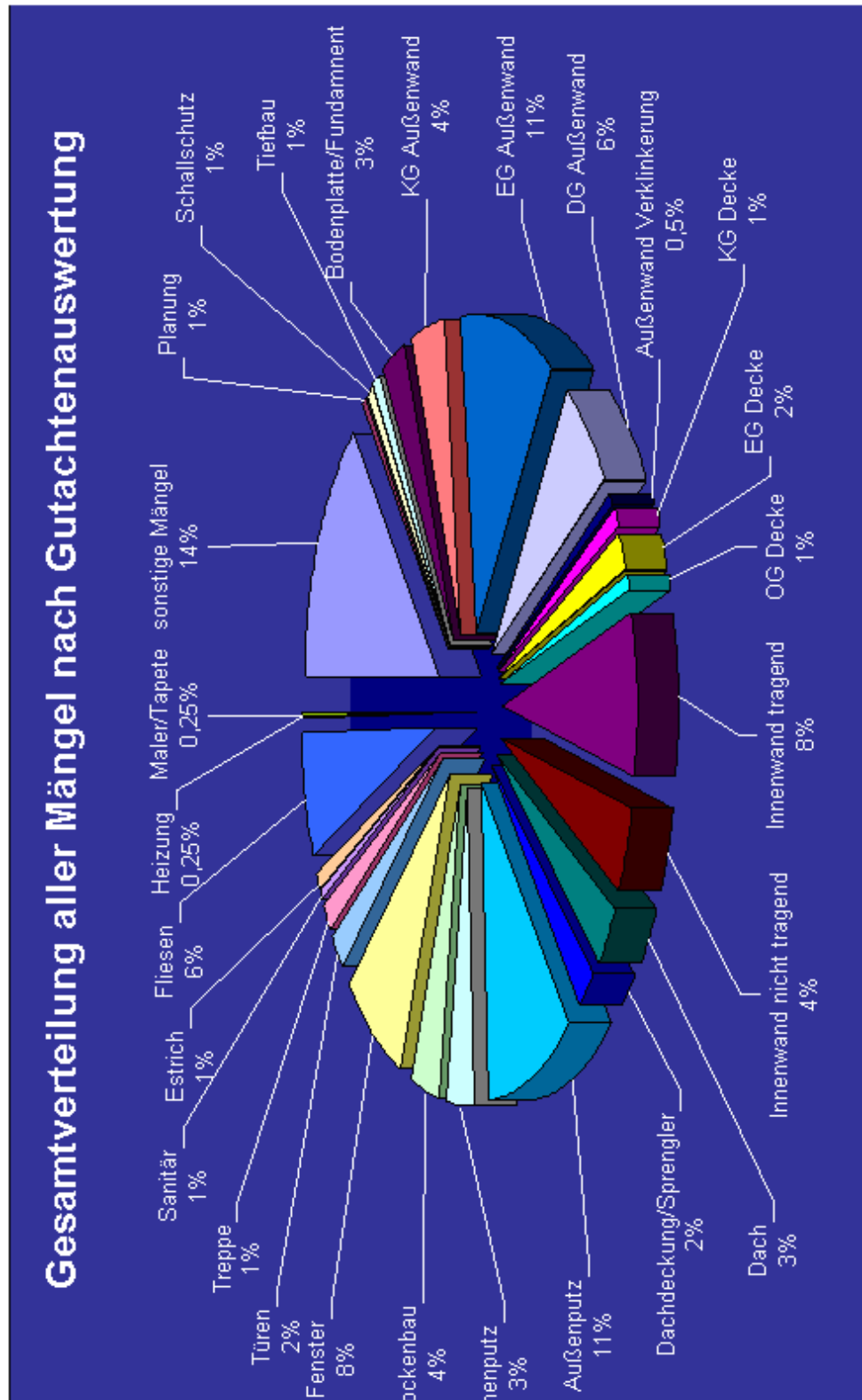


Diagramm A.1.2.

Zusammenfassung von Mängeln, die in Wänden auftreten:

KG Außenwand	4 %
EG Außenwand	11 %
DG Außenwand	6 %
Innenwand, tragend	8 %
Innenwand nichttr.	4 %
Gesamt	33 %

Die Auswertung zeigt, dass Mängel und Schäden, die in den Wänden auftreten, mit einem Anteil von 33 % an erster Stelle stehen, bezogen auf alle am Bauwerk auftretenden Mängel.

Eine differenzierte Betrachtung und Auswertung erfolgt deshalb in den folgenden Abschnitten.

A.2. Gesamtverteilung der Risse an den Gewerken

Risse sind in fast allen gebräuchlichen Baustoffen nicht völlig vermeidbar. Das zeigt auch die Auswertung der Gutachten unter dem Gesichtspunkt, in welchen Bauteilen mit welcher Häufigkeit Risse auftreten. Die Wände und der Außenputz nehmen hier eine Vorrangstellung ein.

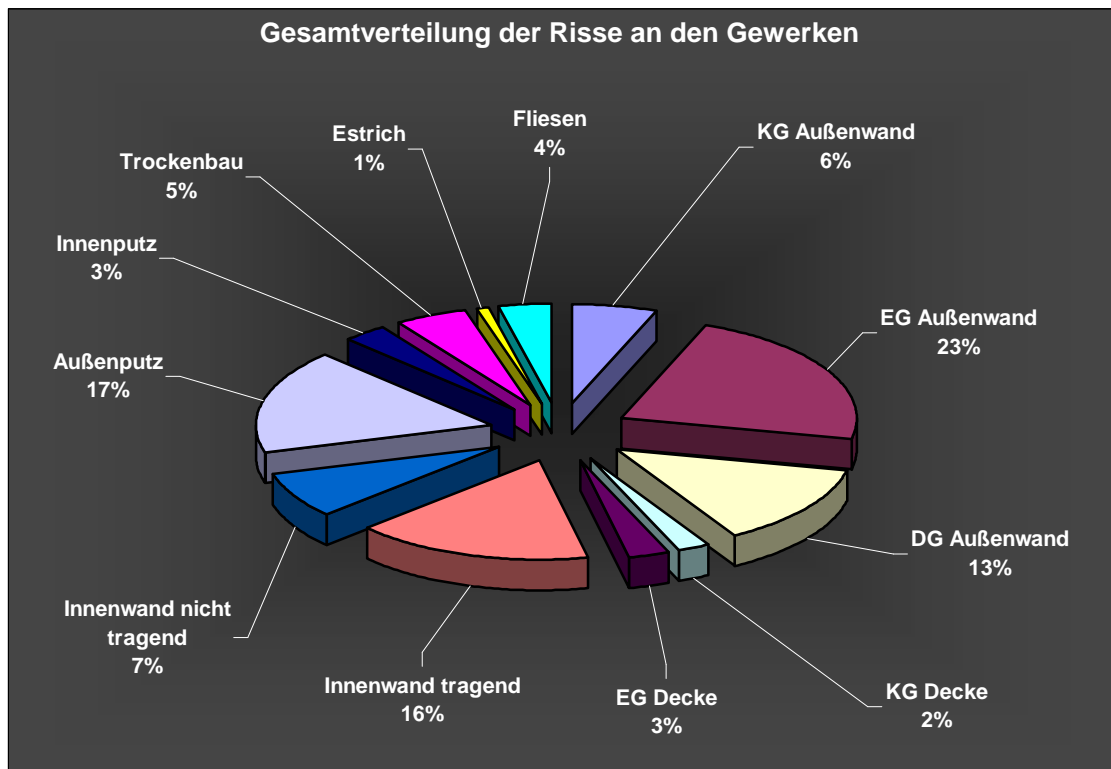


Diagramm A.2.1.

A.3. Mängel an Außenwänden und Außenputz

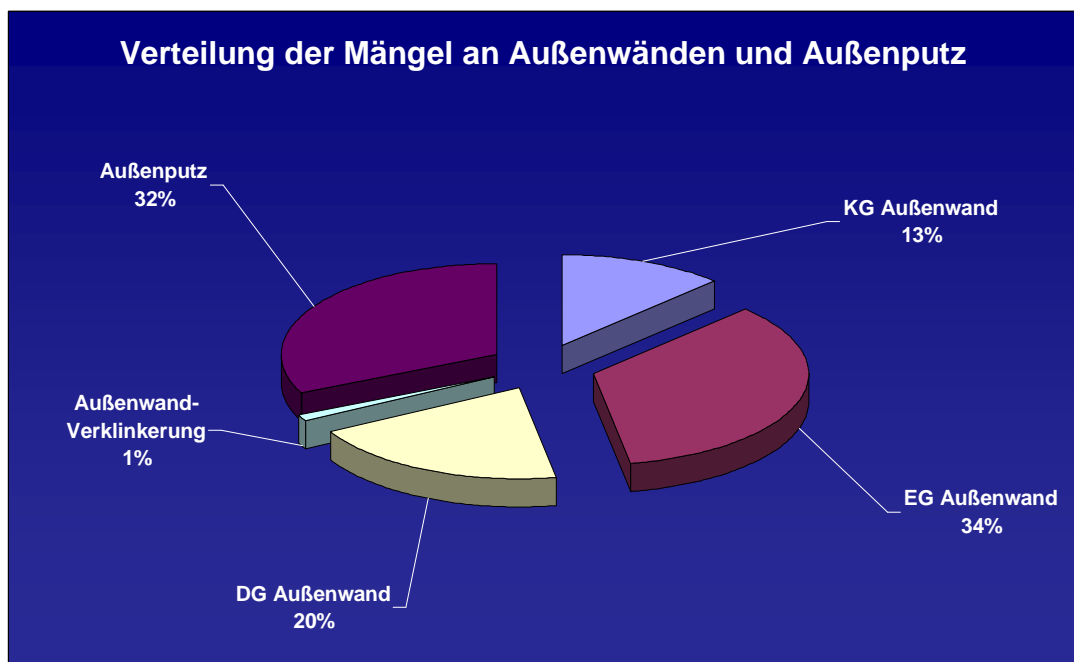


Diagramm A.3.1.

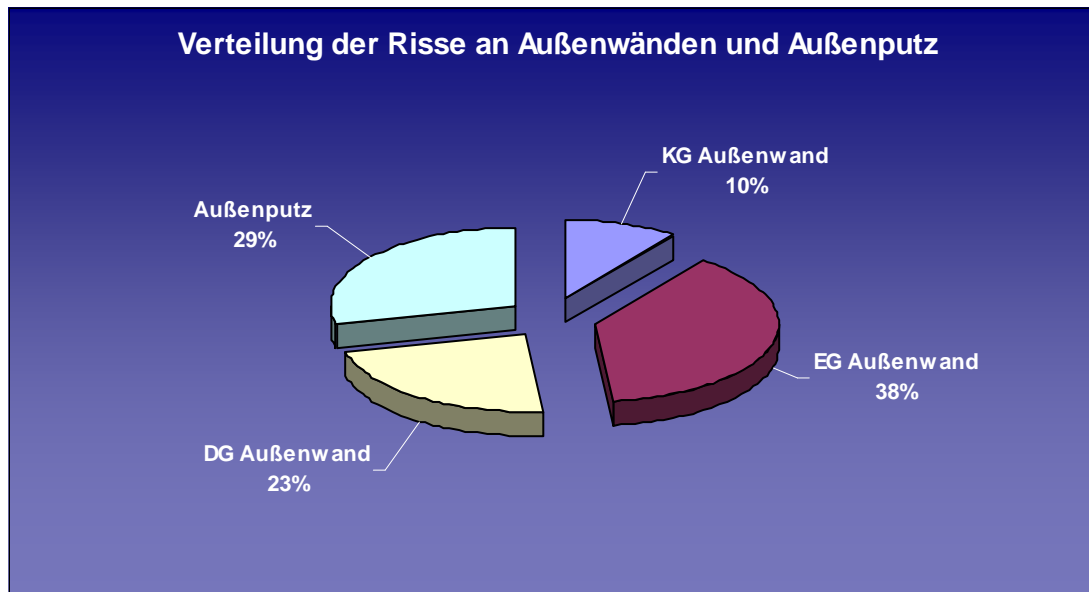


Diagramm A.3.2.

A.4. Mängel an Decken

Die Auswertung der Gutachten ergab, dass es sich bei den gerügten Mängeln an den Decken vor allem um Rissbildungen handelte. Nur in Einzelfällen waren Toleranzabweichungen Streitgegenstand. Die Häufigkeit an Mängeln an den Erdgeschoßdecken ist bezeichnend. Hier handelt es sich vor allem um die Wohnräume, die einer besonderen anspruchsvollen Wertung der Nutzer unterliegen. Die Kellergeschoßdecken zeigen weit weniger Rissbildungen. Hier liegt die Ursache in der langsameren Austrocknung und dem damit langsameren Schwindverhalten.

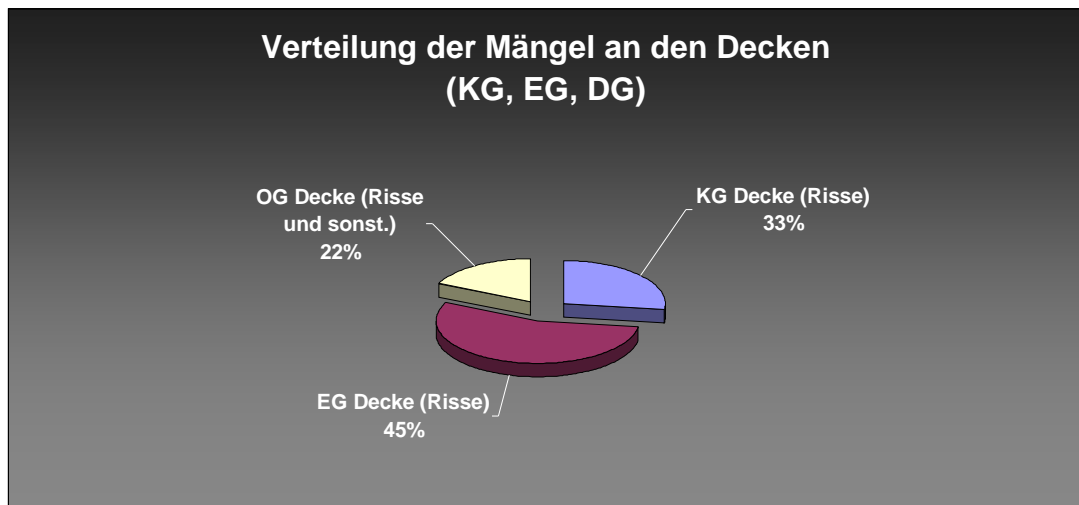


Diagramm A.4.1.

A.5. Mängel an Innenwänden und Innenputz

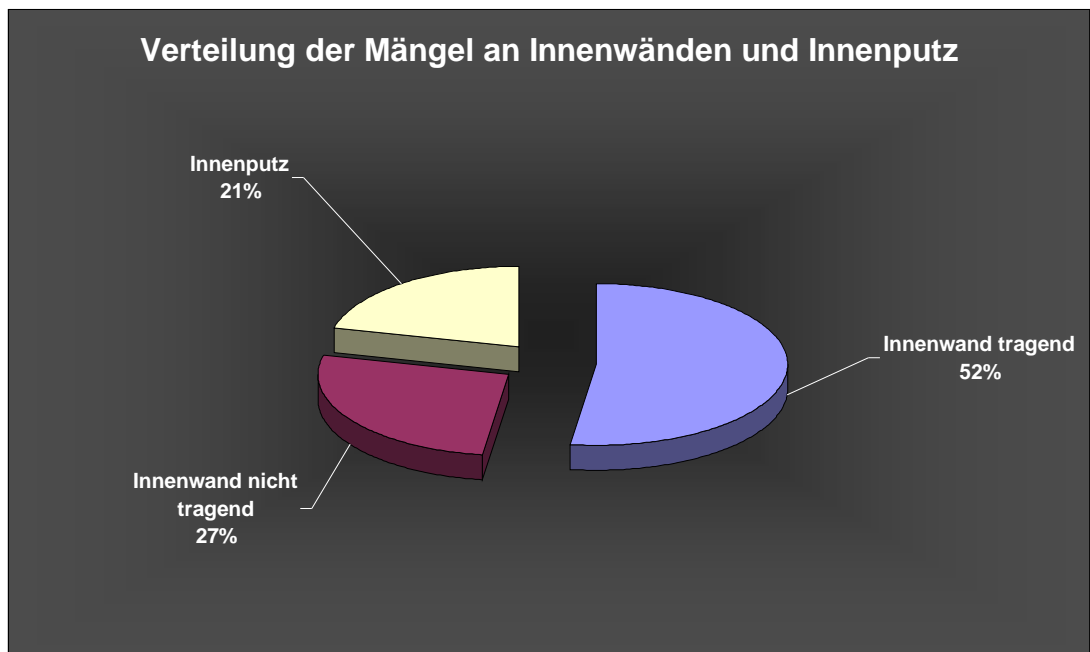


Diagramm A.5.1.

In [5.77] werden Untersuchungen zum Beständigkeitsverhalten von Stuck- und Putzgipsen ausgewertet.

Die prozentuale Verteilung aller Mängel stimmt im Wesentlichen mit der nachfolgenden Grafik überein, die die Verteilung der Risse an Innenwänden und Innenputz wiedergibt.

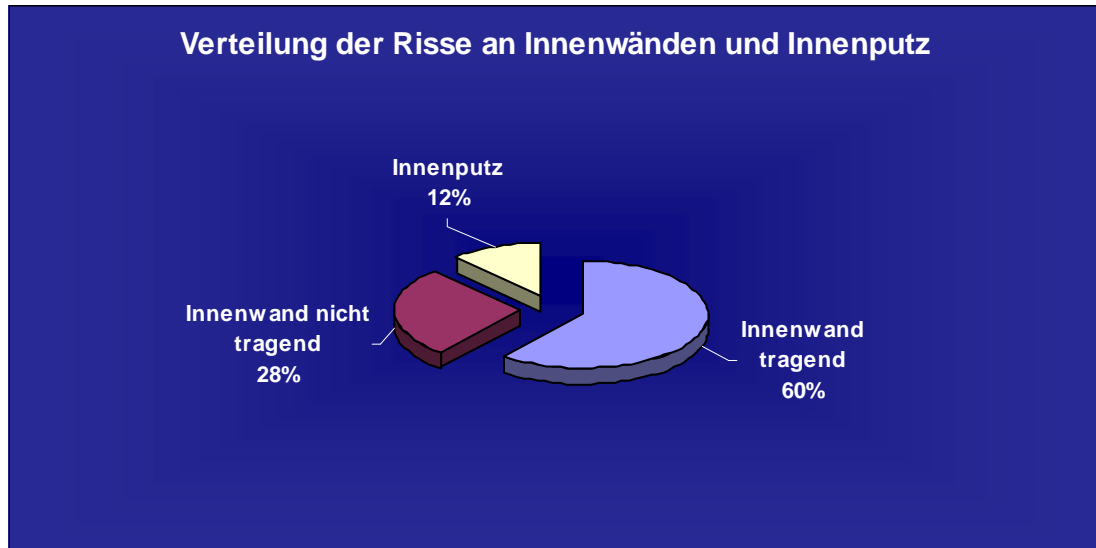


Diagramm A.5.2.

A.6. Mängel durch Feuchte

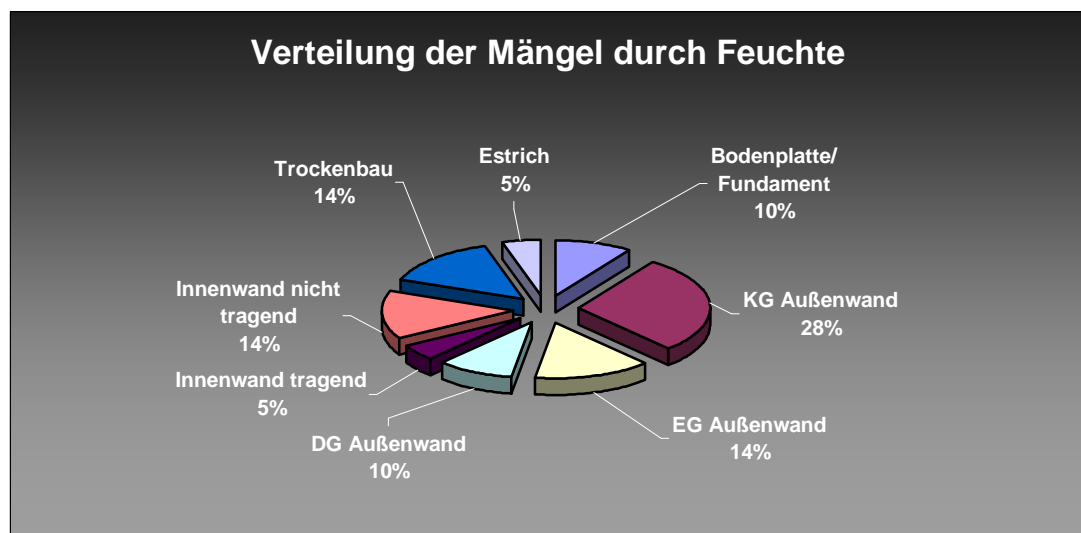


Diagramm A.6.1.

Stockflecken, Schimmel und Ablösen der Tapeten von den Wänden sind Missstände, die viele Wohnungsnutzer bemängeln. Vor allem an den Außenwänden von Bädern, Küchen und Schlafräumen sind diese Erscheinungen deutlich sichtbar.

Die Auswertung der vorliegenden Gutachten zeigt den hohen Anteil an Feuchteschäden an Kelleraußenwänden. Hier kommen zu den Feuchtigkeitsschäden durch Kondenswasserbildung die Schäden durch eine ungenügende Kelleraußenwandisolierung hinzu. Die Kellerräume weisen in der Regel niedrigere Raumtemperaturen als die Erd- oder Dachgeschoßräume auf. Niedrigere Raumtemperaturen begünstigen die Kondenswasserbildung. In Verbindung mit organischen Bestandteilen der Oberflächen (z.B.: Tapete, Kleister und Anstrich) entsteht der ideale Nährboden für Schimmelpilze.

A.7. Sonstige Mängel

Sonstige Mängel in den einzelnen Gewerken betrafen im Wesentlichen Beschädigungen, Verschmutzungen, Abweichungen in der Oberfläche und Farbe sowie in der Struktur.

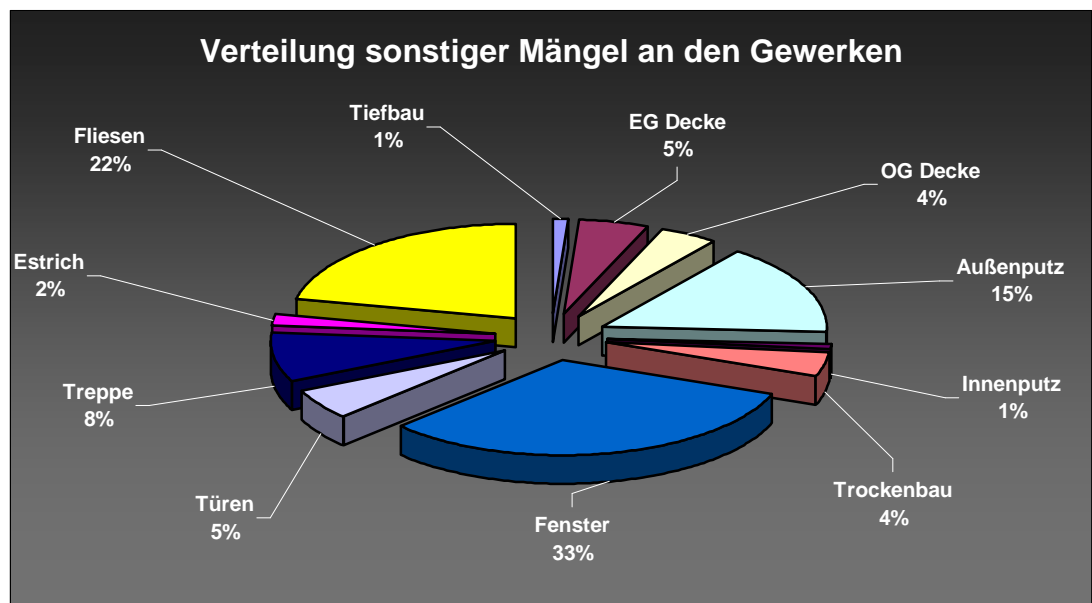


Diagramm A.7.1.

In der Bewertung spielt oft das optische Erscheinungsbild eine große Rolle. Die Mängelbeseitigung verursacht in diesem Fall weit weniger Aufwand als bei Rissen in den Wänden.

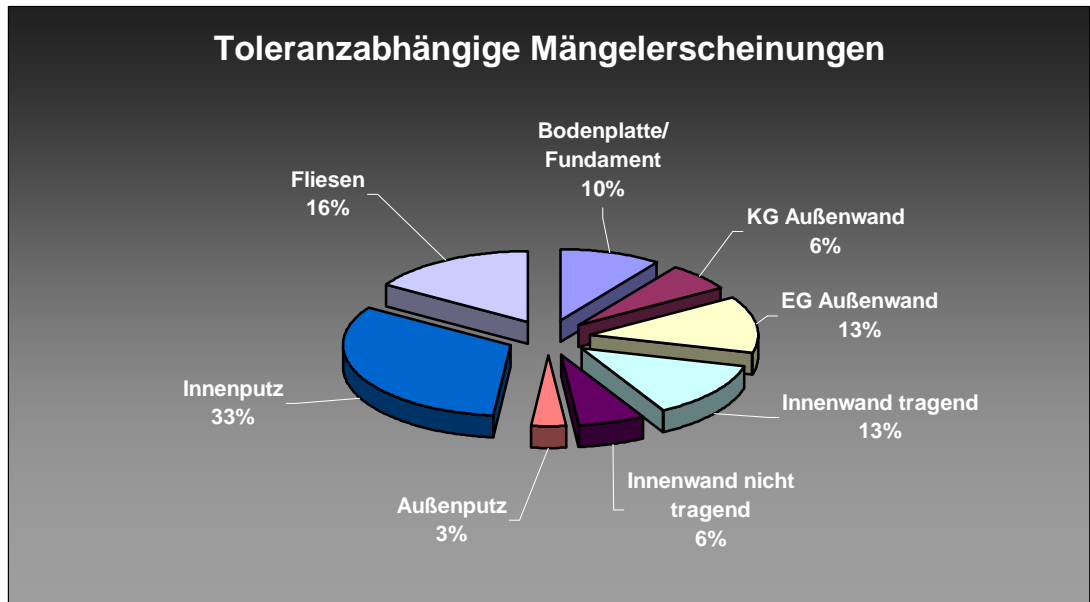


Diagramm A.7.2.

Häufige Streitpunkte bei ausgeführten Leistungen stellen Maßabweichungen dar. Obwohl die DIN 18 202 mit den Grenzwerten für Ebenheits- und Winkeltoleranzen ausreichende Anhaltspunkte für die Bewertung liefert, ist die optische Störwirkung der Unebenheiten der Bauteiloberflächen oftmals strittig.

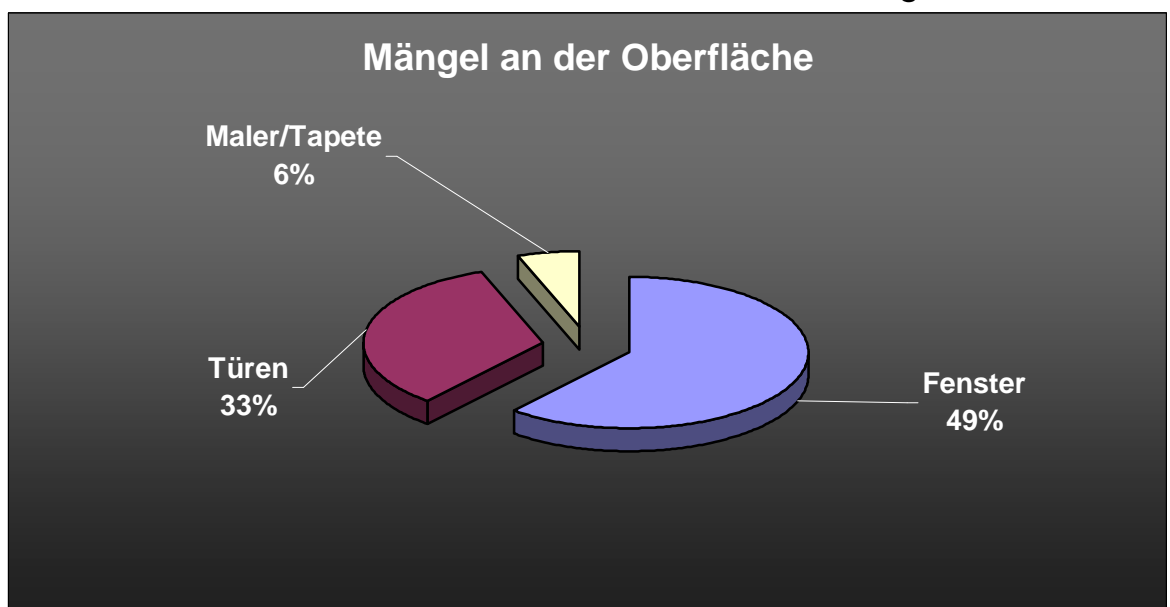


Diagramm A.7.3.

A.8. Auswertung des prozentualen Anteils aller Mängel bezogen auf den Zeitraum nach Fertigstellung des Bauwerkes

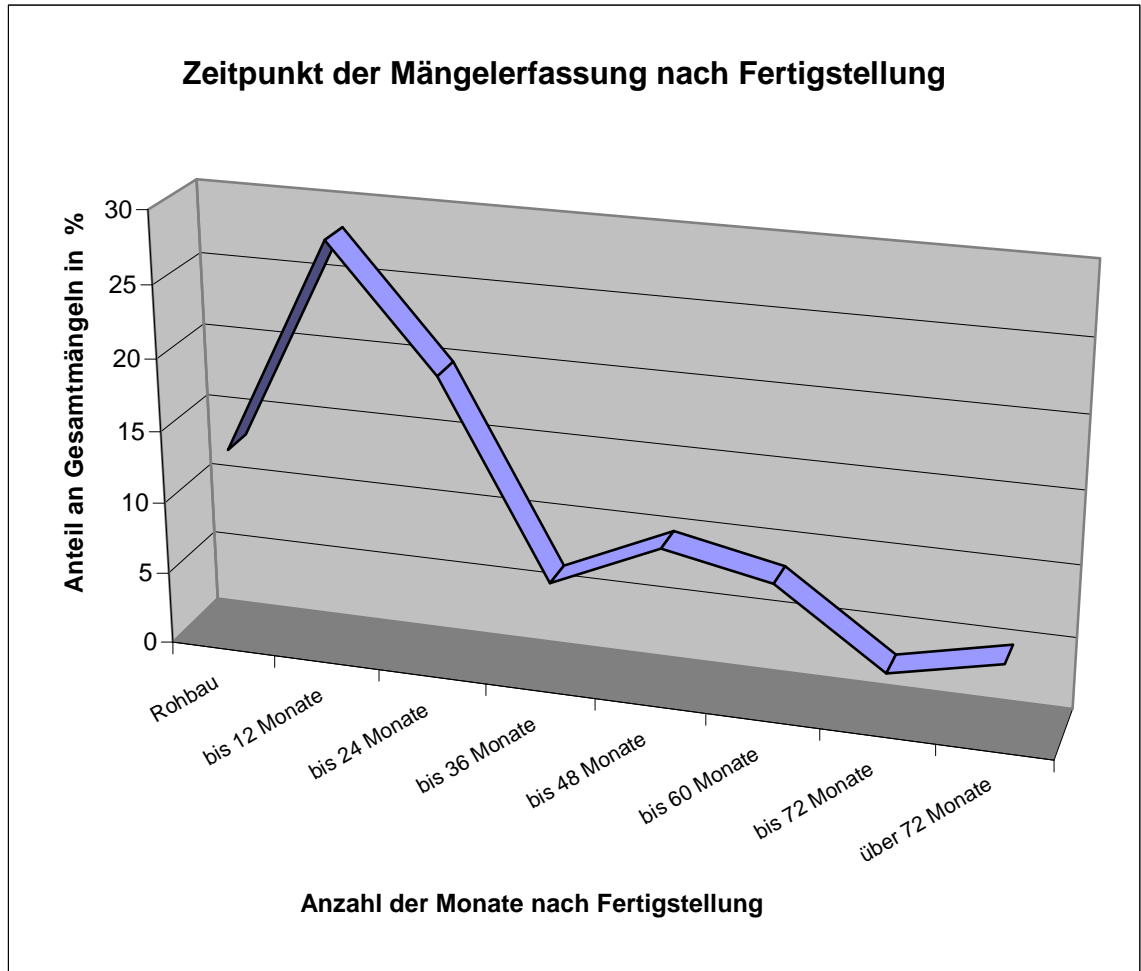


Diagramm A.8.1.

Die Auswertung der Gutachten zeigt, dass bereits während des Rohbaus 13 % aller Mängel gerügt wurden. Der größte Anteil der Mängel, über 25 %, wurde innerhalb von 12 Monaten nach Fertigstellung festgestellt. Die Anzahl nahm dann im Zeitraum bis zu 36 Monaten kontinuierlich ab und stieg wieder im Zeitraum bis 60 Monate etwas an. Der leichte Anstieg der Kurve nach 72 Monaten ist z. T. mit bereits erforderlichem Bauerhaltungsaufwand zu erklären.

A.9. Zusammenfassung und Folgerungen

Porenbeton weist bei Lieferung sehr hohe Feuchtigkeiten von 40 - 45 Gew.-% auf. Dies ist durch den Herstellungsprozess bedingt. Die Verpackung der Paletten in verschweißten Folien verhindert auch bei längerer Lagerung ein weiteres Austrocknen. Die Ausgleichsfeuchte von Porenbeton beträgt ca. 6,5 Gew.-% (s. DIN 4108, Teil 4).

Die Schwindverformungen, welche die Porenbetonsteine erfahren, liegen in Abhängigkeit von der Festigkeits- und Rohdichteklasse des Porenbetons bei 0,2 – 0,6 mm/m, wobei die größten Schwindverformungen unmittelbar nach der Material-Herstellung stattfinden.

Aufgrund der schnellen Bauzeit und wegen oft ungenügendem Schutz gegen Schlagregen in der Ausführungsphase wird ein frühzeitiges Austrocknen während der Bauphase oftmals nicht ermöglicht. Durch das frühzeitige Aufbringen des Putzes wird die Austrocknung des Mauerwerkes noch mehr behindert und die Schwindprozesse werden noch mehr verzögert. Dadurch führen die größten Schwindverformungen dann manchmal Putzrissbildungen herbei.

Gemäß DIN 1053 Teil 1, Abschnitt 9.2 sind Stoßfugen im Mauerwerk nur dann ohne Vermörtelung möglich, wenn die Steine hinsichtlich ihrer Form und Maße dafür geeignet sind, z. B. ein Nut- und-Feder-System aufweisen.

Die Auswertungen der Risseschäden ergab, dass besonders übliche Stoßfugen des Mauerwerkes vielfach nicht bzw. unzureichend verklebt waren.

Die Herstellervorschriften der einschlägigen Porenbetonhersteller weisen ausdrücklich darauf hin, dass wie o.a. die Stoßfugen vollflächig zu verkleben sind, sofern keine Steine mit Nut und Feder verwendet werden. Rissbildung trat wegen dieser Ursachen besonders bei Verwendung großformatiger „Jumbos“ auf.

Literaturverzeichnis

- [1.1] Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Produktion von Porenbetonernzeugnissen 1990 - 2003
- [2.1] Michaelis, W. DRP 14 195
- [2.2] Hoffmann, E., DRP 55 919
- [2.3] Aylsworth, J.W., Dyer, F.A., US-Patent 1.087.098
- [2.4] Eriksson, J.A., DRP 404 677
DRP 447 194
DRP 454 744
- [2.5] Kühl, H., DRP a.K. 131 798
- [2.6] Eklund, K.J.A., DRP 673375
- [2.7] Weber, H., Hullmann, H., Porenbeton Handbuch, 4. Auflage, Bauverlag, Wiesbaden und Berlin, 1999
- [2.8] Gundlach, H., Dampfgehärtete Baustoffe, Bauverlag Wiesbaden und Berlin 1973
- [2.9] Henning, O., Knöfel, D., Baustoffchemie, Eine Einführung für Bauingenieure und Architekten, Verlag für Bauwesen Berlin, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1997
- [2.10] Dr.-Ing. Hans-G. Bothe, Das Hebel Verfahren, Vortrag und Fotodokumentation zum Laborleitertreffen 2003
- [2.11] Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.(Hrsg.), Hauser, Otto, Stiegel: Einfluss von Baustoff und Baukonstruktion auf den Wärmeschutz von Gebäuden (Bericht 15) Wiesbaden, 2000
- [2.12] FELS-WERKE GmbH, HEBEL Porenbeton Handbuch, 9. Auflage, Goslar August 2001
- [2.13] Dr.-Ing. Peter Schubert, Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerksteilen, Mauerwerkskalender 1996
- [2.14] Pfefferkorn, W., Rißschäden an Mauerwerk. Fraunhofer IRB Verlag, 1994
- [2.15] Hebel AG, Emmering-Fürstenfeldbruck (Hrsg.), Hebel Handbuch Wirtschaftsbau, 1999

- [3.1] W. Jost, K.Hauffe, Diffusion, Methoden der Messung und Auswertung, Dr. Dietrich Steinkopff Verlag Darmstadt, 1972
- [3.2] Dipl.-Ing. Dirk Dawidowski, Zum Verhalten von Porenbeton gegenüber schädigenden Einflüssen durch Heizöl und verunreinigtem Wasser, Diplomarbeit an der Fakultät Archi-

- tektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung der Brandenburgischen Technischen Universität, 16.06. 2003
- [3.3] Dipl.-Ing. Ilka Riedel, Untersuchungen zum Verhalten von Porenbeton gegenüber Belastungen durch Wasser bzw. Heizöl, Diplomarbeit an der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung der Brandenburgischen Technischen Universität, 16. 09. 2003
- [4.1] Dipl.-Ing. J. Höwer, Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit von Porenbeton, Diplomarbeit an der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung der Brandenburgischen Technischen Universität, 20.11.2001
- [4.2] Setzer M.J., Auberg R. CIF-Test – Prüfverfahren des Frostwiderstandes von Beton, Betonwerk und Fertigteiltechnik 1998
- [5.1] Dr.-Ing. H.-J. Teichert, Gutachten Nr. G/02-140 Az.: 13 O 3335/01, Leipzig 28.01.02
- [5.2] Prof. Dr.-Ing. habil. W. Altner, Sachverständigen-Gutachten Nr. 03/77/94, Markleeberg 11.07.94
- [5.3] Dipl.-Ing.(FH) M. Anton, Wertgutachten, Az.: 98/173 – An., Coswig 13.10.98
- [5.4] Dipl.-Ing. G. Bartsch, Sachverständigen-Gutachten, Az.: 11 U 115/99, Oberlandesgericht Brandenburg 03.11.00
- [5.5] Dipl.-Ing. (FH) D. H. Becker, Sachverständigen-Gutachten, Az.: 10 O 1464/97, München 06.07.98
- [5.6] Ingenieurbüro Dipl.-Ing. R. Beyer, Sachverständigen-Gutachten Az.: 936 025, Berlin 05.01.00
- [5.7] Dipl.-Ing. V. Bredow, Statisches Gutachten zur Rissanierung Az.: P-035/00, Kolkwitz 12.07.01
- [5.8] CRP Bauingenieure, Dipl.-Ing. M. Bonk und Dr.-Ing. N. Fouad, Gutachterliche Stellungnahme B398/99.2, Berlin 02.02.00
- [5.9] Sachverständigenbüro Dipl.-Ing. R. Fenten, Gutachterliche Stellungnahme Az.: venn0607, Oberhausen 17.09.01
- [5.10] Dipl.-Ing. F. Freise, Sachverständigen-Gutachten Az.: 7 OH 45/99, Pustow 08.10.99
- [5.11] Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Ing. R.Frey, Sachverständigen-Gutachten Nr. 3-O-149/98, Cottbus 20.03.00
- [5.12] Dipl.-Ing. H. Grundey, Dipl.-Ing. Gedina, Sachverständigen-Gutachten Nr. 431 000, Leipzig 19.05.98,25.05.98, 05.06.98

-
- [5.13]Dipl.-Ing. K. Gulla, Gutachten im Beweissicherungsverfahren
Az.: 3 O 606/96, Leipzig 30.09.98
- [5.14]Gutachter T. Hengst, Sachverständigen-Gutachten AT-Nr.
935048 Dresden 18.05.01
- [5.15]Dipl. Bauing. C. Iwan, Gutachterliche Stellungnahme BV
Partzsch, Leipzig 16.10.01
- [5.16]Dipl. Bauing. C. Iwan, Sachverständigen-Gutachten Nr.
39/96 Leipzig 01.07.96 und Sachverständigen-Gutachten
Nr. 74/96, Leipzig 17.09.96
- [5.17]Sachverständigenbüro Kästner & Michel, Dipl.-Ing. R.
Kästner, Sachverständigen-Gutachten Az.: 41 673 O/H,
Leipzig 29.11.00
- [5.18]Dipl.-Ing. (FH) K. H. Köther, Sachverständigen-Gutachten,
Az.:4 O 386/98, Halle 14.10.98
- [5.19]Dipl.-Ing. Roland Kurz, Sachverständigen-Gutachten Az.:
GU10300S Lutherstadt Wittenberg 17.01.00
- [5.20]Dipl.-Ing. (FH) T. Leder, Sachverständigen-Gutachten, AT-
Nr. 535 041, Görlitz 22.11.99
- [5.21]MFPA Leipzig, Dipl.-Ing. (FH) A. Teubel, Untersuchungs-
bericht Nr. UU II/01 – 135, Leipzig 13.11.00
- [5.22]Prof. Dr. H. Metzger, Sachverständigen-Gutachten, Az.: 9 O
126/00, Puderbach 15.09.99
- [5.23]Doz. Dr. Ing. habil M. Mortensen, Gutachterliche
Stellungnahme BV Manitz, Reichenberg 20.05.98
- [5.24]Gutachter K. Nestler, Sachverständigen-Gutachten Az.: 7 O
6663/96, Chemnitz 16.06.97, 08.08.97
- [5.25]Dipl.-Ing. J. Küster, Geotechnisches Gutachten Az.:
G:11/98, Leipzig 05.06.98
- [5.26]Dr. Ing. K. Knoll, Gutachterliche Stellungnahme Nr. H
0110503, Leipzig 07.11.01
- [5.27]Dipl.-Ing. K. Menrath, Sachverständigen-Gutachten Az.: 17
O 459/96, Köln 20.07.99
- [5.28]Dr. Ing. Frank Poyda, Sachverständigen-Gutachten über
Bauwerksabdichtungen Az.: 17 O 459/96, Erfstadt 22.12.97
- [5.29]Prof. Dr.-Ing. P.L. Müller, Gutachten Nr. 5677/2001, Hildes-
heim 19.09. 2001
- [5.30]Dipl.-Ing. (FH) K.-H. Köther, Sachverständigengutachten Az.:
2 O 283/98, Halle 11.09.98
- [5.31]Schreinermeister B. Stäger, Sachverständigen-Gutachten
Nr. 00747 Az.: 5 OH 5/00, Hünstetten 11.06.01

- [5.32]Dipl.-Ing. P. Schwedler, Sachverständigen-Gutachten Az.: 10 OH 61/00, Krefeld 28.06.01
- [5.33]Sachverständigenbüro für Bauwesen, Dipl.-Ing. (FH) H. O. Reinhold, Gutachterliche Stellungnahme Nr. 029/97, Köthen 29.04.97
- [5.34]Sachverständigenbüro für Bauwesen, Dipl.-Ing. (FH) H. O. Reinhold, Gutachterliche Stellungnahme Nr. 043/97 GS, Köthen 16.05.97
- [5.35]Sachverständigenbüro für Bauwesen, Dipl.-Ing. (FH) H. O. Reinhold, Gutachterliche Stellungnahme Nr. 181/97, Köthen 17.03.97
- [5.36]Sachverständigenbüro für Bauwesen, Dipl.-Ing. (FH) H. O. Reinhold, Gutachterliche Stellungnahme, Az.: 015/99 GS, W.-Görlitz 01.04.99
- [5.37]Reinhold & Reinhold, Dipl.-Ing. (FH) H. O. Reinhold, Schiedsgutachten-Gutachten Nr. 151/99 S, W.-Görlitz 07.03.00
- [5.38]Sachverständigenbüro für Bauwesen, Dipl.-Ing. (FH) H. O. Reinhold, Sachverständigen-Gutachten Nr. 166-361/99 G, W.-Görlitz 29.02.00
- [5.39]Sachverständigenbüro für Bauwesen, Dipl.-Ing. (FH) H. O. Reinhold, Gutachterliche Stellungnahme, Az.: 020/00 GS, W.-Görlitz 07.02.00
- [5.40]Reinhold & Reinhold, Dipl.-Ing. (FH) H. O. Reinhold, Gutachterliche Stellungnahme Nr. 042/00 V, W.-Görlitz 07.06.00
- [5.41]Bau-Ing. J. Scheerbaum, Gutachterliche Stellungnahme BV Walter, Leipzig 30.03.95
- [5.42]K. Köttwitz, Gutachterliche Stellungnahme BV Walter, Leipzig 05.02.96
- [5.43]Dipl.-Ing. W. Storch, Sachverständigen-Gutachten Nr. 05/96, Leipzig 10.01.96
- [5.44]W. D. Schmidt, Sachverständigen-Gutachten Nr. G 98/28 Az.: 04 OH 11363/97, Liebertwolkwitz 08.06.98
- [5.45]Prof. Dr.-Ing. habil. P. Schmutzler, Sachverständigen-Gutachten, AT.-Nr. 645 383, Dresden 15.05.01
- [5.46]Dipl.-Ing. M. U. Schneider, Gutachten zum Beweissicherungsverfahren BV Eicholz, Eisenach 10.05.00 und 20.03.01
- [5.47]G. M. Schultze, Beweissicherung und Gutachten zum BV Weiß-Tanyildiz, Berlin 11.04.99

- [5.48] Prof. Dr.-Ing. habil. F. Schwarz, Sachverständigen-Gutachten Az.: 4 OH 82/99, Weimar 09.11.00
- [5.49] TÜV Süddeutschland, Dipl.-Ing. J. Sälzer, Prüfbericht Nr. 55 50 51, Leipzig 01.10.01
- [5.50] Prof. Dr. techn. H. Seiffarth, Schiedsgutachten Nr. G3301, Berlin 28.09.01
- [5.51] Bausachverständigensozietät Dipl.-Ing. Steppeler & Prof. Dr. Lehmann, Gutachterliche Stellungnahme Nr. GS/175- Az.: 10 O 4000/98, Leipzig 09.11.98
- [5.52] Dipl.-Ing. J. Thielemann, Sachverständigen-Gutachten BV Baumann, Berlin 30.10.00,
- [5.53] Sachverständigenbüro für Bauschäden und Baumängel, Dipl.-Ing. (FH) B. Waesch, Sachverständigen-Gutachten Az.: W/21/1998, Bitterfeld 27.03.98
- [5.54] Ingenieurbüro Dipl.-Ing. J. Weber, Sachverständigen-Gutachten Nr. 36/93, Leipzig 17.09.93
- [5.55] Bausachverständigenbüro Wellner, Dipl.-Ing., Dipl.-Ing.-Ök. A. Wellner, Sachverständigen-Gutachten, Zeichen S-109-Schuster, Leipzig 27.07.01
- [5.56] Dipl.-Ing. K. Wirth, Sachverständigen-Gutachten, Az.: 6 O 1022/98, Holzhausen 27.08.99
- [5.58] HJW + Partner, Prof. Dr.-Ing. habil. W. Wittig, Sachverständigen-Gutachten Nr. C – HF 858, Az.: 14 O 3591/98, Leipzig 27.10.98
- [5.59] HJW + Partner, Prof. Dr.-Ing. habil. W. Wittig, Schiedsgutachten BV Krause, Leipzig 01.02.02
- [5.60] Prof. Dr.-Ing. habil. P. L. Müller, Sachverständigen-Gutachten Nr. 5677/2001 Hildesheim 19.09.01
- [5.61] HJW + Partner, Prof. Dr.-Ing. habil. W. Wittig, Gutachterliche Stellungnahme, Az.: 12 U 0079/97, Leipzig 19.09.97
- [5.62] HJW + Partner, Prof. Dr.-Ing. habil. W. Wittig, Gutachterliche Stellungnahme, Az.: 08 OH 2688/97, Leipzig 12.03.98
- [5.63] Dipl.-Ing. N. Hansen, Gutachten BV J. Hansen, Hamburg 14.07.99
- [5.64] Dr. B. Hashagen, Gutachterliche Stellungnahme BV 838 011, Bremen 04.11.1999
- [5.65] Sachverständigengemeinschaft Thiere und Steinert, Dipl.-Ing. (FH) U. Steinert, Gutachterliche Stellungnahme BV 31/97, Leipzig 02.10. 1997
- [5.66] Dipl.-Ing. (FH) D. Drechsel, Gerichtsgutachten Az. 7 O 6663/96, Friedewald 20.03.98

- [5.67] Reinhold und Reinhold, Dipl.-Ing. (FH) Reinhold, Bewertung Parkett-Fußboden Az.: 104/01 GS, W.-Gölsau 14.01.2002
- [5.68] Robert Becker, TÜV Süddeutschland, Gutachterliche Stellungnahme AT-Nr.: 353981, Berlin 29.01.2002
- [5.69] Dipl.-Ing. G. Schuster, Verkehrswertgutachten BV Bayer, Naunhof 26.02.2002
- [5.70] Felgenhauer, F. K., Gutachten BV Volb, Zansebuhr 25.06.2002
- [5.71] HJW + Partner, Prof. Dr.-Ing. habil. W. Wittig, Gutachten, Az.: A-OH 212, Leipzig 12. März 2002
- [5.72] Prof. Dr.-Ing. M. Speich, Gutachterliche Stellungnahme, AT.-Nr. 036059, Hannover 10.09.2002
- [5.73] Dipl.-Ing. H.J. Geier, Gutachten zur Beweissicherung, AZ 11-O-5399/00, Riemsdorf 07.01.2002
- [5.74] Prof. Dr.-Ing. P.L. Müller, Gutachten 56/2001, Hildesheim 19.09.2001
- [5.75] Prof. Dr.-Ing. H. Skwirblies, Stellungnahme zu den Risserscheinungen am Wohnhaus, Prüfbericht Statik 57/08/97, Löschen 15.04. 1999
- [5.76] Ulrich Langen, Schwerpunkte der Bauschäden beim Ein- und Zweifamilien- sowie Reihenhauses aus der Praxis der Schadensbearbeitung, IBK-Bau-Fachtagung 15./16. 06.99
- [5.77] Graf, K., Lindemann, J., Untersuchungen zum Beständigkeitsverhalten von Stuck- und Putzgipsen, Diplomarbeit an der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung der Brandenburgischen Technischen Universität, 14.02.2001
- [5.78] Oswald, R.; Abel, R., Hinzunehmende Unregelmäßigkeiten bei Gebäuden, Bauverlag Wiesbaden und Berlin, 2000
- [5.79] WTA-Merkblatt, „Beurteilung und Instandsetzung gerissener Putze an Fassaden“, April 1994
- [5.80] Bundesforschungsbericht des Bundesministers für Raumordnung und Städtebau, Einfluss der Steinart, des Formats und der Fugenausbildung auf den Risswiderstand von verputztem Mauerwerk, IRB-Verlag