

Bestimmung der Kernfeuchte wassergesättigter

Bauschuttrezyklate anhand des Trocknungsverhaltens

Kurzbericht eines durch die Arbeitsgemeinschaft Industrielle Forschung (AIF) geförderten Projektes (2003-2004)

Dipl.-Ing. Frank Hlawatsch, MPA Bremen

Prof. Dr.-Ing. Jörg Kropp, Hochschule Bremen

1 Bestimmung der Kernfeuchte mit dem Standardverfahren

Bauschuttrezyklate besitzen eine offene Kapillarität, die zur eigenständigen Wasseraufnahme führt und deren Bestimmung zur Ermittlung der Kornrohddichte im Flüssigkeitspyknometer (Standardverfahren nach DIN 1097-6 [1]) und für die Rezeptierung und Herstellung von RC-Betonen notwendig ist. Bei den bisherigen Verfahren wird der Zuschlag in einem ersten Arbeitsgang bis zum Grenzzustand der Sättigung mit Wasser befrachtet und oberflächentrocken getrocknet, anschließend in einem zweiten Arbeitsgang bei 105 °C getrocknet.

Die Bestimmung der Kernfeuchte von Rezyklaten (Wasseraufnahme nach 24 Stunden Unterwasserlagerung) erfolgt in Abhängigkeit von der Korngröße des Materials nach der Teilung der Probe in Material mit dem Größtkorn > 4 mm und ≤ 4 mm mit zwei unterschiedlichen Verfahren. Während im ersten Arbeitsgang die Splittfraktion > 4 mm durch Tupfen mit einem Baumwolltuch bis zum Grenzzustand getrocknet wird, muss die Trocknung der Brechsandfraktion ≤ 4 mm im Warmluftstrahl erfolgen, wobei die Bestimmung des Grenzzustandes anhand des Kegelfverfahrens (DIN 1097-6 [1]) erfolgt. Im Anschluss daran werden beide Probenteile bei 105 °C bis zur Massenkonstanz getrocknet.

Das Erreichen des Grenzzustandes *oberflächentrocken und wassergesättigt*, insbesondere beim Trocknen im Warmluftstrahl, bedarf bis zu 2 Stunden Arbeitszeit, d.h. die Kernfeuchtebestimmung ist zeit- und damit kostenintensiv. Darüber hinaus ist die Genauigkeit der Untersuchung z.T. abhängig von den Erfahrungen des Bearbeiters, da z.B. die zu treffende Unterscheidung zwischen glänzender und mattfeuchter Oberfläche subjektiv ist.

2 Zielsetzung und Lösungsansatz

An der MPA Bremen wurde eine Arbeitshypothese aufgestellt, mit deren Umsetzung das arbeitsintensive Verfahren der Kernfeuchtebestimmung automatisiert werden soll, wobei keine Teilung der Probe und nur ein Arbeitsgang erforderlich sind. Neben der Kernfeuchte soll auch die Gesamtfeuchte der Probe ermittelt werden. Der Lösungsansatz basiert auf dem physikalischen Verhalten poröser Rezyklate bei der Trocknung, wobei sich beim Übergang von der Verdunstung des Oberflächenwassers zur Verdunstung des kapillaren Porenwassers die Verdunstungsrate deutlich ändert.

Die idealisierte Darstellung der Verdunstungsrate in Abbildung 1 wird entsprechend der Arbeitshypothese nach der Aufheizphase (I) einen konstanten Verlauf bei der Oberflächentrocknung (II) aufzeigen. Bei fortschreitender Trocknung, nachdem die Trocknungsfront die Oberfläche der Rezyklate erreicht hat, ist mit einer abnehmenden Verdunstungsrate zu rechnen. Dies ist der Bereich der Kernfeuchtetrocknung (III).

Der Feuchtetransport erfolgt in kapillaren Stoffen bei hohem Sättigungsgrad zunächst durch Kapillarleitung (IIIa). Nach fortlaufender Trocknung erfolgt der Feuchtetransport zunehmend diffusiv (IIIb). Während die Kapillarleitung einen linearen Abfall der Trocknungsrate hervorruft, zeigt sich der diffusive Transport in einer konvexen Kurve höherer Ordnung. Bei Stoffen mit geringer oder fehlender Kapillarleitung ist der Bereich IIIa kurz bzw. nicht vorhanden. Erhalten bleibt jedoch der Knickpunkt beim Übergang von Bereich II in Bereich III. In der nachfolgenden Betrachtung wird nicht nach Bereich IIIa und IIIb unterschieden, da die unterschiedlich ausgeprägten Verläufe der Trocknungskurve keinen direkten Einfluss auf die Umsetzung der hier untersuchten Arbeitshypothese ausüben.

Die Ablesung der Kernfeuchte erfolgt am Knickpunkt zwischen Verdunstungsbereich II (Bereich der Oberflächentrocknung) und III (Bereich der Kernfeuchtetrocknung). Man verfolgt die Trocknungskurve ausgehend vom Verdunstungsbereich I über den Verdunstungsbereich II. Der Abfall der Verdunstungsrate am ersten Punkt des Verdunstungsbereiches III (gestrichelte Einkreisung in Abbildung 1) ist der Anfang der Kernfeuchtetrocknung und führt zur Ausbildung eines Knickpunktes, an dem die Ablesung der Kernfeuchte vorzunehmen ist (senkrechten Pfeil in Abbildung 1).

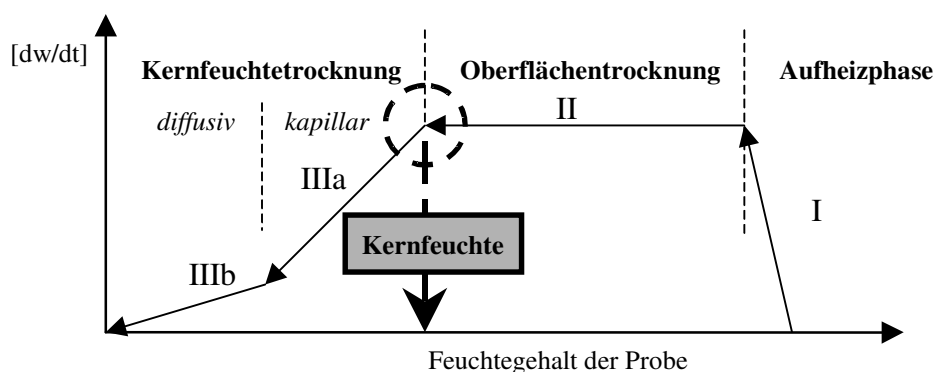


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Trocknung - Arbeitshypothese

Im nachfolgend beschriebenen Forschungsprojekt waren die erforderlichen Aufbauten, Einstellungen und notwendigen Arbeitsschritte zur Umsetzung der Arbeitshypothese versuchstechnisch zu erarbeiten.

3 Grundaufbau

Der grundlegende Aufbau ist eine Weiterentwicklung der Waage MA 30 der Firma Sartorius: über dem Wägeteller der Waage ist ein IR-Strahler installiert, der das Prüfgut trocknet. Während der Trocknung wird das Gewicht der Probe durch die Software der Waage dokumentiert und ausgewertet. Sofort nach Beendigung der Messung zeigt die Waage den absoluten oder den relativen Wassergehalt der Probe an. Dieses Gerät ist vor allem für die schnelle Analyse des Gesamtwassergehaltes geringer Probenmengen geeignet.

Die Kernfeuchte einer Probe kann mit der Waage MA 30 jedoch nicht bestimmt oder nur abgeschätzt werden. Aufbauend auf dieses Prinzip erfolgte der Aufbau des Kernfeuchteprüfstandes (Abbildung 1: Schematische Darstellung des Kernfeuchteprüfstandes).

Die schematische Darstellung in Abbildung 1 zeigt eine Waage, an deren Unterflurwägevorrichtung ein Draht befestigt ist, der durch eine werkseitig installierte

Rohrdurchführung in den Innenraum eines Trockenschrankes geführt wird. An diesen Draht wurde im Innenraum des Trockenschrankes ein Probengefäß installiert. Zur Dokumentation und Datenerfassung ist die Waage mit einem PC verbunden. Dieser Aufbau ermöglicht zu jedem Zeitpunkt während der Trocknung die Erfassung des aktuellen Massezustandes. Mit dieser Umsetzung der Arbeitshypothese finden Bauelemente Verwendung, die in jedem Baustofflabor vorhanden sind.

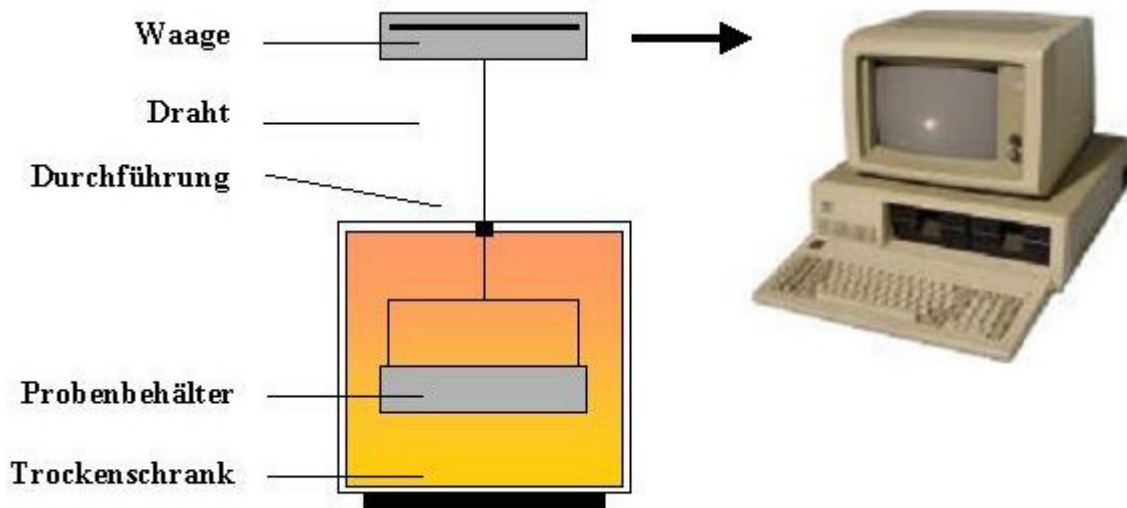


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Die Umsetzung dieses Versuchsaufbaus ergab zunächst einen Kernfeuchteprüfstand, mit dem Trocknungskurven erzeugt werden konnten, die aber nur unzureichend bezüglich der oben erläuterten Arbeitshypothese auszuwerten waren (siehe Diagramm 1). Grundprobleme waren starke Schwankungen der Verdunstungsrate und somit der Trocknungskurve und die fehlende Trennung zwischen den Verdunstungsbereichen von Oberflächenwasser und Kapillarwasser.

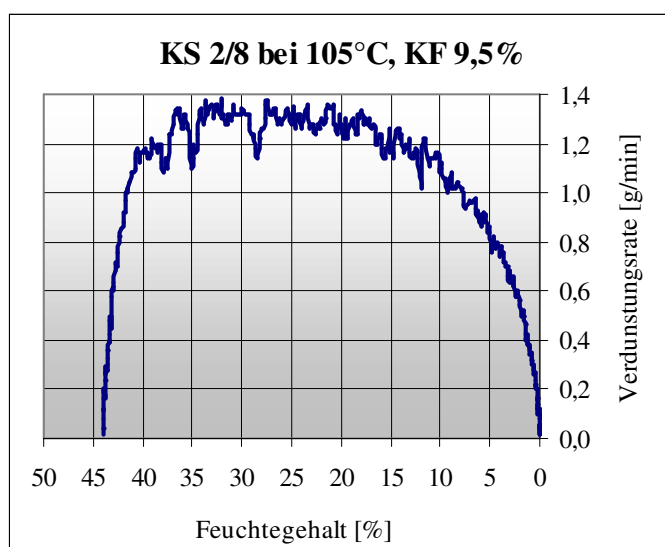


Diagramm 1 :
Trocknungskurve von KS 2/8 mm
mit Kernfeuchte 9,5 %

In einem ersten Schritt der Optimierung wurde ein Gehäuse konstruiert, um den Kernfeuchteprüfstand vor Wind zu schützen, der die Wägung beeinflusst. Im Zuge der Überprüfung und Weiterentwicklung dieses Versuchsaufbaus erfolgten

grundlegende Untersuchungen zum Einfluss der Gefäßform, der Zufuhr von Frischluft und Abführung warmer und feuchter Luft.

In weiterführenden Untersuchungen wurden Erkenntnisse zu Messintervallen, erforderlichen Temperaturführungen und unterschiedlichen Probenmengen erarbeitet.

Parallel zur Optimierung des Kernfeuchteprüfstandes wurden auch Versuche durchgeführt, mit dem Ziel die Schwankungen der Wägedaten zu reduzieren. Die Forschungsstelle vermutete einen künstlichen Auftrieb als Ursache für die Schwankungen der Wägedaten und untersuchte mit einem randlosen Probenbehälter die Trocknung eines Prüfgutes im Kernfeuchteprüfstand. Ein Auftrieb konnte nicht festgestellt werden, folglich sind die Schwankungen eher auf diffuse Konvektionsströmungen im Inneren des Trockenschrankes zurückzuführen. Diese sollten durch einen zusätzlichen Versuchsaufbau mit einem Innenströmungsschutz reduziert werden. Ergebnis war jedoch eine schlechte Trennung der Verdunstungsbereiche, wodurch die Ablesung der Kernfeuchte erschwert wurde.

Weiter wurde der Aufbau des Kernfeuchteprüfstandes dahingehend geändert, dass die Trocknung nicht durch einen Trockenschrank, sondern durch einen oberhalb des Probenbehälters installierten IR-Strahler erfolgte. Die sich ergebende Trocknungskurve zeichnete ähnliche Schwankungen auf wie die des Grundaufbaus. Zudem ergab sich ein großer Einfluss der Umgebung, indem nur geringste Windströmungen zu erheblichen Schwankungen der Wägedaten führten. Der Versuch der Abschirmung führte durch Wärmeströmungen zur gleichen Problematik wie beim Grundaufbau, oder der Raum, in dem sich der Versuchsaufbau befindet, durfte während der Messung nicht betreten werden.

Aufgrund der gesammelten Erkenntnisse bei der Modifizierung des Kernfeuchteprüfstandes in Bezug auf die Form und Abschirmung des Probenbehälters bzw. der Heizquelle favorisierte die Forschungsstelle die Weiterentwicklung des Grundaufbaus bis hin zur Erarbeitung einer Verfahrensanweisung, die die Errichtung und das Durchführen der Kernfeuchtebestimmung ermöglicht.

4 Optimierter Aufbau des Kernfeuchteprüfstandes

Unter Beachtung aller gesammelten Erkenntnisse ergibt sich ein Versuchsaufbau, der in Abbildung 3 dargestellt ist. Alle Wägeelemente des Kernfeuchteprüfstandes sind vor Luftströmungen geschützt. In Abbildung 3 ist zwischen Waagenunterseite am Windschutz-Gehäuse und Trockenschrank eine Abdeckung zu sehen. Während einer laufenden Messung wird auch die Front mit einer Platte über der Tür des Trockenschrankes abgedeckt. An der Rückseite des Trockenschrankes befindet sich die Abluftanlage. Als Probengefäß sind ausschließlich Behälter einzusetzen, deren Boden als Sieb ausgebildet wurde (siehe Abbildung 4). Um das Probengefäß uneingeschränkt von der zu untersuchenden Korngröße einzusetzen und um einen Materialverlust im Verlauf einer Messung entgegenzuwirken, erwies sich die Verwendung eines Siebbodens mit einer Maschenweite von 0,063 mm als vorteilhaft. Unter dem Probenbehälter wird während der Messung der Boden mit Silica-Gel ausgelegt (siehe Abbildung 5).



Abbildung 3:
Kernfeuchteprüfstand 3



Abbildung 4:
Probenbehälter 4



Abbildung 5:
Bodenauslegung mit Silica-Gel 5

5 Verfahrensanweisung - Durchführung einer Messung

Alle wesentlichen, experimentell ermittelten Eckdaten zur Bestimmung der Kernfeuchte mit dem Kernfeuchteprüfstand sind in Tabelle 1 zusammengetragen.

Tabelle 1: Eckdaten zur Bestimmung der Kernfeuchte mit dem Kernfeuchteprüfstand

Behälter	Behälter mit Siebboden
Lüftung	Einsatz einer Abluftanlage (bestehend aus Zufuhr von Frischluft und Abführung von warmer, feuchter Luft)
Aufzeichnung der Messdaten	Intervall von 30 s
Einstellung der Waage	Ausschalten aller Sonderfunktionen, wie z.B. Tierwägefunktion
Temperaturführung	Erzeugung der Trocknungskurve bei 65 °C bis Verdunstungsrate < 0,02 g/min
	Trocknen bis zur Massekonstanz bei 105 °C
	Abkühlung bis auf Raumtemperatur 20 °C
Probenmengen	Körnung 0,063 bis 4 mm: ca. 250 g
	Körnung > 4 mm: ca. 500g
	Körnung > 8 mm: ca. 1000 g bis 1300 g
Darstellung der Trocknungskurve	Lineare Darstellung der Abszisse und Ordinate

In der Vorbereitung auf eine Messung wird der Kernfeuchteprüfstand vorgeheizt, d.h. mindestens eine Stunde wird der Trockenschrank bei einer Temperatur von 65 °C ohne Probe betrieben. Dabei ist der Probenbehälter im Kernfeuchteprüfstand eingesetzt. Bei diesem Vorlauf wird Restfeuchte entfernt, die durch die Reinigung des Probenbehälters anhaftet. Nachdem keine Änderung der Gewichtsanzeige festzustellen ist, kann das System tariert und die Probe eingesetzt werden.

Die Präparation der zu untersuchenden Probe erfolgt analog den standardisierten Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte und Kernfeuchte, d.h. die Probe wird 24

Stunden unter Wasser gelagert. Anschließend wird die Probe auf den Probenbehälter gegeben und gleichmäßig verteilt (siehe Abbildung 4). Nach dem Einsetzen der Probe wird die Messung gestartet.

Im Intervall von 30 s zeichnet der PC das Gewicht auf, bis die Differenz zwischen zwei Wägungen nicht mehr als 0,02 g beträgt. Nach Erreichen dieses Zustandes ist im Kapillarraum des Probenmaterials Restfeuchte enthalten, die durch die anschließende Erhöhung der Temperatur von 65 °C auf 105 °C ausgetrieben wird. Das Intervall von 10 bzw. 15 min ist für die Dokumentation der Trocknung beim Austreiben der Restfeuchte und beim Abkühlen ausreichend. Die Probe gilt dann als trocken, wenn innerhalb der Trocknung bei 105 °C ein Gewichtsunterschied von weniger als ein Promille pro Stunde festgestellt wird. Nach Erreichen der Massenkonzanz wird der Trockenschrank ausgeschaltet, die Probe kann auf Raumtemperatur abkühlen. Das Auslegen von Silica-Gel im Trockenschrank reduziert dabei die Aufnahme von Umgebungsfeuchte während der Abkühlung. Nach der Abkühlung der Probe kann die Messung beendet werden und die Dokumentation der Trocknungskurve wird beendet. Der Durchlauf einer Messung dauert bei ausreichender Zeit für das Austreiben des Restwassers und das Abkühlen ca. 24 Stunden.

6 Auswertung

Die Dokumentation der Trocknung erfolgt durch Aufzeichnung der Masse und der Zeit in zwei Spalten einer Microsoft-Excel-Tabelle (A und B), die beispielhaft in Abbildung 6 dargestellt ist. In zwei weiteren Spalten (C und D) lassen sich nun die Massendifferenz und die dazugehörige Zeitspanne aus den Rohdaten errechnen. In einer weiteren Spalte (E) wird der Feuchtegehalt der Probe errechnet, bezogen auf die Trockenmasse, die nach Beendigung der Messung und nach Abkühlen der Probe der Dokumentation der Trocknungsdaten zu entnehmen ist. Die Verdunstungsrate, das ist der Quotient aus der Massendifferenz und die dazugehörige Zeitspanne, wird in einer weiteren Spalte (F) errechnet. So lassen sich graphisch Trocknungskurven in Form eines x-y-Diagrammes erstellen, wobei die Abszisse die Feuchte und die Ordinate die Verdunstungsrate darstellt. Die lineare Darstellung beider Achsen hat sich als vorteilhaft erwiesen.

	A	B	C	D	E	F
1	544,66		Gewichtsabnahme	Zeit	Feuchte	Verdunstungsrate
2			[g]	[min]	[%]	[g/min]
3	646,1	11:12:40	0	0	18,6	0
4	645,89	11:13:10	0,21	0,5	18,6	0,42
5	645,62	11:13:40	0,27	0,5	18,5	0,54
6	645,27	11:14:10	0,35	0,5	18,5	0,7
7	644,97	11:14:41	0,3	0,5	18,4	0,58
8	644,66	11:15:11	0,31	0,5	18,4	0,62
9	644,33	11:15:41	0,33	0,5	18,3	0,66
10	643,98	11:16:11	0,35	0,5	18,2	0,70
11	643,57	11:16:42	0,41	0,5	18,2	0,79
12	643,21	11:17:12	0,36	0,5	18,1	0,72
13	642,81	11:17:42	0,4	0,5	18,0	0,8
14	642,42	11:18:12	0,39	0,5	17,9	0,78
15	641,99	11:18:43	0,43	0,5	17,9	0,83

Abbildung 6: Excel-Tabelle mit Messwerten

Eine genaue Ablesung der Kernfeuchte an der Trocknungskurve ist z.T. schwierig, da schwankende Einzeldaten einen welligen Verlauf erzeugen. Das Ablesen kann unterstützt werden, indem graphisch eine resultierende Gerade durch den horizontalen Ast der Trocknungskurve gelegt wird (im Bereich der Oberflächentrocknung), um den gesuchten Knickpunkt an der Trocknungskurve zu ermitteln. Am ersten von dieser Gerade abweichenden Punkt der Trocknungskurve erfolgt schließlich die Ablesung der Kernfeuchte.

7 Untersuchungen mit dem Kernfeuchteprüfstand

Nach der Auswertung aller Untersuchungen und unter Beachtung der erstellten Verfahrensanweisungen wurden unterschiedlich wassersaugende Einzelkörnungen und Korngemische unterschiedlicher Rezyklatsorten mit dem Kernfeuchteprüfstand hinsichtlich der Kernfeuchte untersucht. In den folgenden Diagrammen sind die Trocknungskurven von Beton 0/4 mm, 4/8 mm, 8/16 mm und 16/32 mm sowie eines Korngemisches 0/16 mm exemplarisch dargestellt.

Die Ablesung erfolgte bei der Auswertung der Untersuchungen unter Zuhilfenahme unterschiedlicher Skalierungen bei der Erstellung der Trocknungskurven. Alle mit dem Kernfeuchteprüfstand ermittelten Ergebnisse sind Einzelwerte, abgelesen am jeweils dargestellten Diagramm. Die Ergebnisse der Untersuchungen mit dem Standardverfahren DIN EN 1097-6 [1] sind der Überschrift des jeweiligen Diagrammes, z.B. KF 8,2 %, zu entnehmen. Diese Werte sind das arithmetische Mittel aus je zwei Einzelwerten. Die am Diagramm abgelesene Kernfeuchte ist unter jedem Diagramm dargestellt.

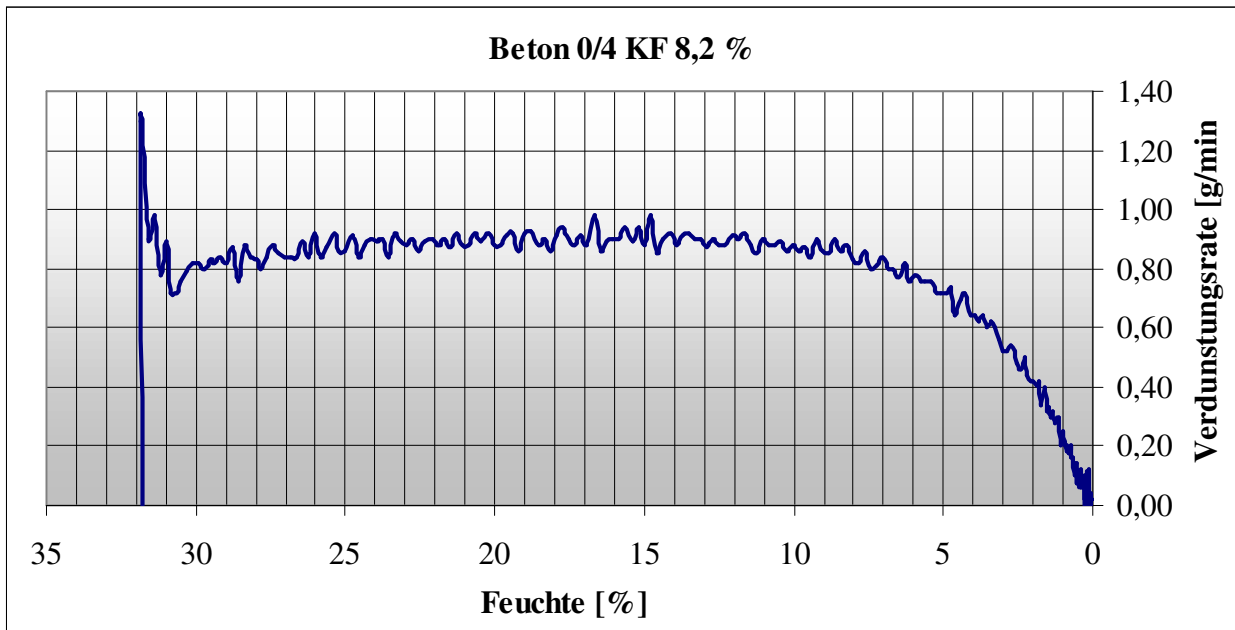


Diagramm 2: Trocknungskurve von Betonrezyklaten 0/4

Ablesung der Kernfeuchte bei 8,4 % Feuchte

Im Diagramm 2 ist die Trocknungskurve vom Korngemisch 0/4 mm dargestellt. Die Probe wurde in Anlehnung an die Regelsieblinie A, jedoch mit dem Größtkorn 4 mm zusammengesetzt. Die Bestimmung der Kernfeuchte erfolgte nach dem Kegelfverfahren gemäß DIN EN 1097-6 [1]. Trotz leicht bauchigen Verlaufs des Verdunstungsbereiches II lässt sich die Kernfeuchte ablesen.

In den Diagrammen 3 bis 5 sind die Trocknungskurven der Einzelkörnungen 4/8 mm, 8/16 mm und 16/32 mm dargestellt. Aufgrund der ausgeprägten Trennung der Verdunstungsbereiche II und III ist eine Ablesung der Kernfeuchte gut möglich.

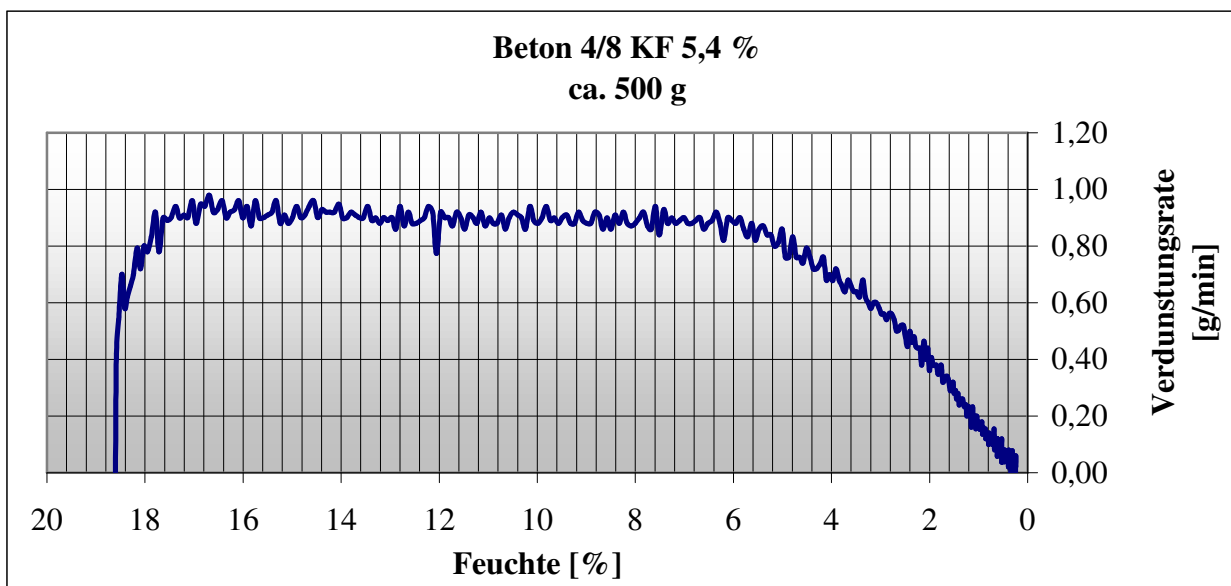


Diagramm 3: Trocknungskurve von Betonrezyklaten 4/8

Ablesung der Kernfeuchte bei 5,7 % Feuchte

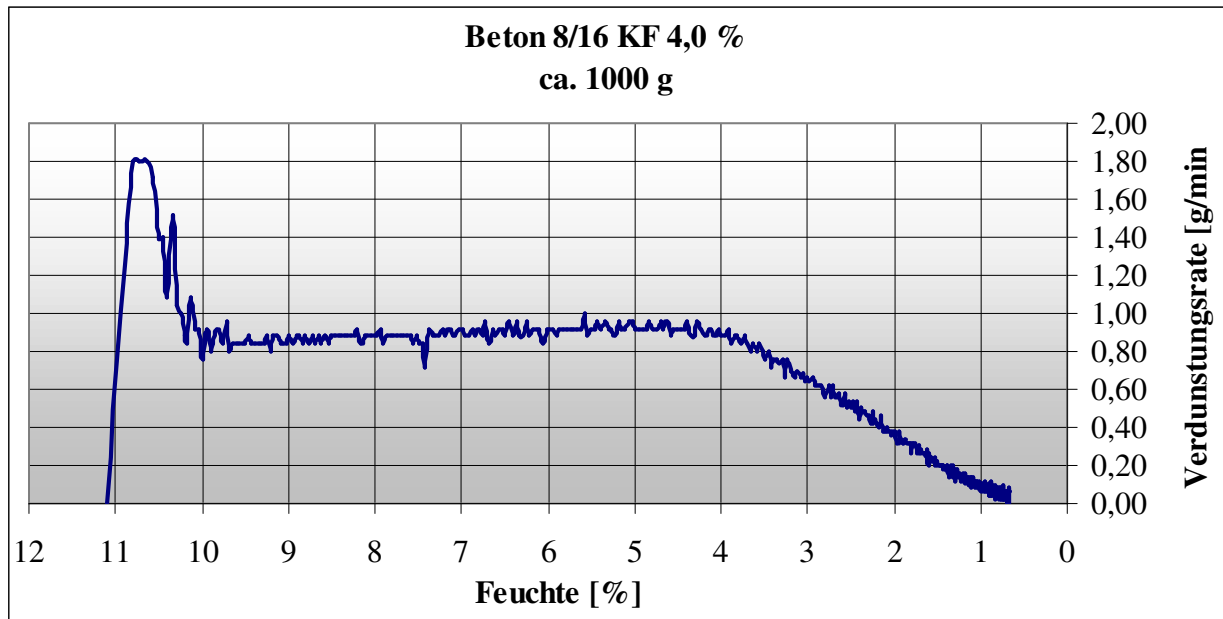


Diagramm 4: Trocknungskurve von Betonrezyklaten 8/16
Ablesung der Kernfeuchte bei 4,3 % Feuchte

Im Diagramm 4, wie auch im Diagramm 2, sind bei den maximalen Feuchtegehalten Überhöhungen der Verdunstungsrate deutlich ausgeprägt. Diese sind zurückzuführen auf ein anfängliches Abtropfen nach dem Einsetzen der Probe in den Kernfeuchteprüfstand.

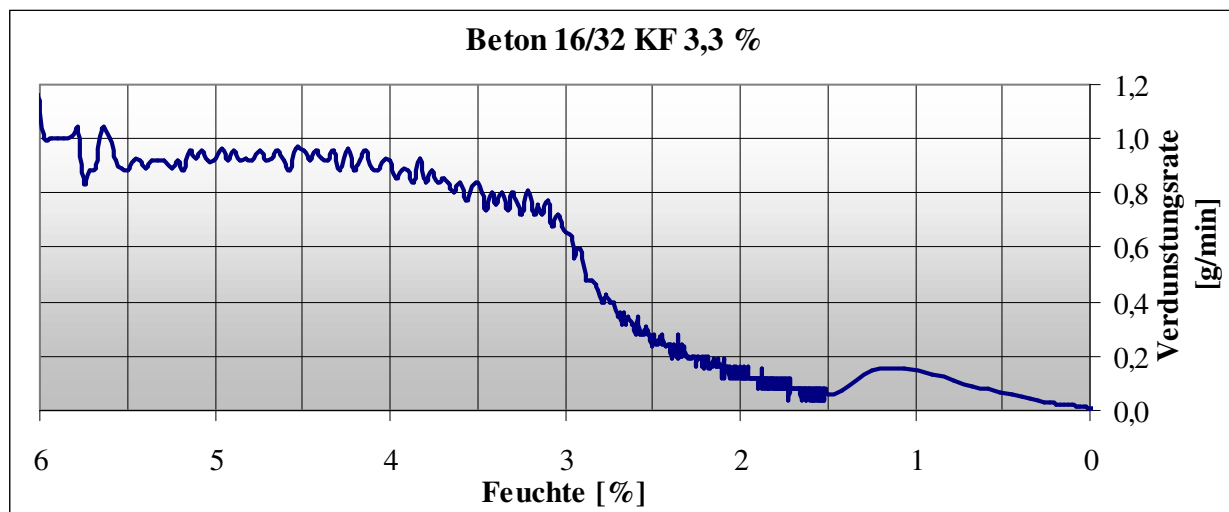


Diagramm 5: Trocknungskurve von Betonrezyklaten 16/32
Ablesung der Kernfeuchte bei 3,1 % Feuchte

Nachstehendes Diagramm 6 zeigt die Trocknungskurve des Korngemisches, das aus den Fraktionen 0/4 mm, 4/8 mm und 8/16 mm zu gleichen Masseteilen zusammengesetzt ist. Die Kernfeuchte des Korngemisches 0/16 mm wurde aufgrund der definierten Zusammensetzung aus den Ergebnissen der Untersuchungen mittels Standardverfahren errechnet.

Trotz möglicher Fehlereinflüsse auf die gemeinsame Trocknung unterschiedlicher Korngrößen, wie z.B. die Packung und der damit verbundenen Ausbildung von

Kapillaren im Haufwerksporenraum oder der schnelleren Trocknung relativ großer Kornanteile, kann bei diesem Korngemisch eine Ablesung der Kernfeuchte vorgenommen werden, die zudem der mit dem Standardverfahren ermittelten Kernfeuchte entspricht.

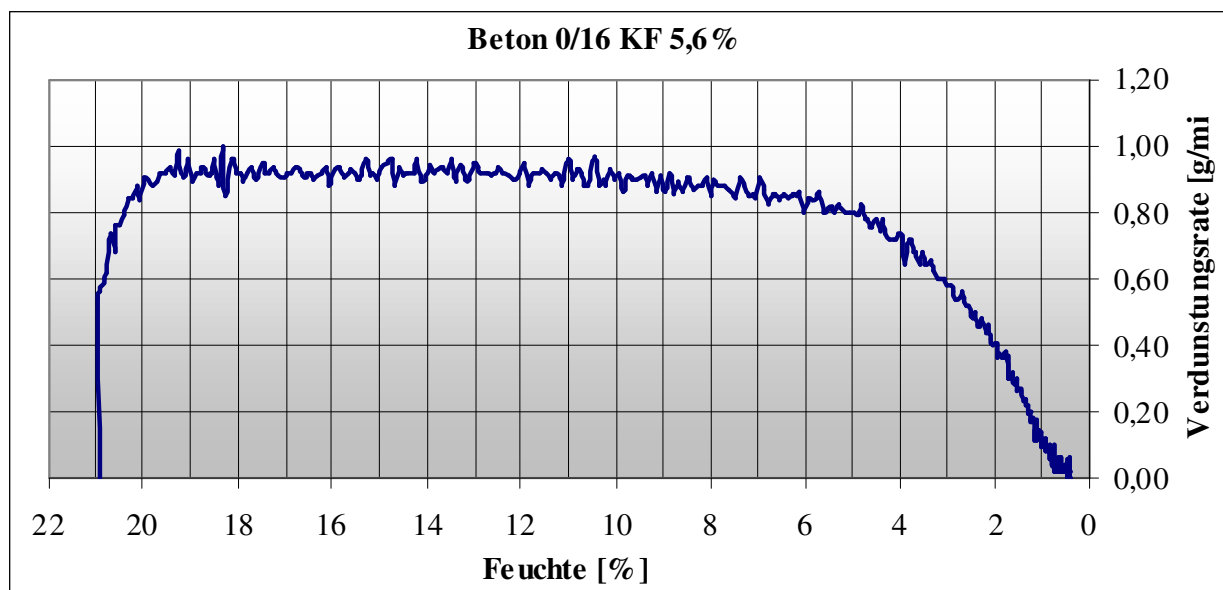


Diagramm 6: Trocknungskurve von Betonrezyklaten 0/16

Ablesung der Kernfeuchte bei 5,5 % Feuchte (Ablesung nur schwer möglich)

In der nachfolgenden Tabelle 2 werden die Kernfeuchten von Betonrezyklaten miteinander verglichen, die mit dem Standardverfahren und mit dem Kernfeuchteprüfstand ermittelt wurden. Die Spalte „Abweichung vom Standardverfahren“ zeigt die absolute Abweichungen jedes ermittelten Ergebnisses bezogen auf die nach dem Standardverfahren ermittelte Kernfeuchte.

Tabelle 2: Gegenüberstellung unterschiedlich ermittelter Kernfeuchten

Fraktion [mm]	Kernfeuchte [%]		Abweichungen vom Standardverfahren [%]
	DIN EN 1097-6	Kernfeuchte-Prüfstand	Differenz - absolut
0/4	8,2	8,4	+ 0,2
4/8	5,4	5,7	+ 0,3
8/16	4,0	4,3	+ 0,3
16/32	3,3	3,1	- 0,2
0/16	5,6	5,5	- 0,1

Die in Tabelle 2 zusammengefassten Ergebnisse zeigen, dass die Abweichungen, die mit dem Kernfeuchteprüfstand ermittelten Kernfeuchten von Betonrezyklaten gegenüber den Ergebnissen des Standardverfahrens, mit weniger als 0,3 M. % nur gering ausfallen.

8 Zusammenfassung

Ziel des RWB-Forschungsprojektes, gefördert durch die AiF, Arbeitsgemeinschaft Industrielle Forschung, Otto von Guericke, mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA), war die Entwicklung eines automatisierbaren Verfahrens zur Bestimmung der Kernfeuchte wassergesättigter Bauschuttzyklate anhand des Trocknungsverhaltens. Das Ergebnis der anwendungsorientierten Forschungsarbeit ist ein Kernfeuchteprüfstand, bestehend aus Einzelelementen, wie sie in nahezu jedem Baustofflabor vorzufinden sind. Mit dem Kernfeuchteprüfstand lassen sich unter Beachtung der erarbeiteten Verfahrensanweisung die Kernfeuchte und die Gesamtfeuchte einer Probe aus wassergesättigten Bauschuttzyklaten in nur einem Arbeitsgang nahezu vollautomatisch bestimmen.

Die beschriebene Entwicklung eines automatisierbaren Verfahrens zur Bestimmung der Kernfeuchte muss als erster Schritt verstanden werden. Es konnte nach vielen Versuchen und stetem Optimieren gezeigt werden, dass die Ermittlung der Kernfeuchte wassergesättigter Bauschuttzyklate anhand des Trocknungsverhaltens prinzipiell möglich ist. Grundlegende Informationen zu Einstellungen der Waage, Einfluss der Umgebung, Abführung von warmer und feuchter Luft, Probengefäß, Temperaturführung und Messintervall wurden im beschriebenen Forschungsprojekt versuchstechnisch erarbeitet.

Die Eignung des Kernfeuchteprüfstandes konnte für Einzelkörnungen, unabhängig von der Rezyklatsorte, mit einer Korngröße über 1 mm gezeigt werden. Bei Einzelkörnungen unter 1 mm wirkt sich offensichtlich mit abnehmender Korngröße ein größer werdender Einfluss der Packungsdichte aus, der zu scheinbar höherer Kernfeuchte führt.

Weiter kann die Eignung für gestufte Körnungen der Fraktionen bis 0/4 mm angenommen werden. Ungeeignet hingegen erwiesen sich Korngemische aus weitgestuften Fraktionen sortenreiner Rezyklate 0/16 mm und Rezyklat-Gemische unterschiedlicher Zusammensetzung.

Alle Untersuchungen mit dem Kernfeuchteprüfstand an Rezyklaten aus Beton, Kalksandstein, Ziegel und Porenbeton belegen die prinzipielle Eignung des hier entwickelten Prüfverfahrens. Die Mehrheit der im Projekt durchgeführten Untersuchungen stellen bislang Einzelwerte dar. In einem nächsten Schritt muss die Leistungsfähigkeit des optimierten Kernfeuchteprüfstandes ermittelt werden, d.h. Wiederhol- und Vergleichsstandardabweichungen u.s.w. müssten im Rahmen eines Folgeprojektes an unterschiedlichen Materialien bestimmt werden. Zur genauen Bewertung des Kernfeuchteprüfstandes sind weiterhin Ringversuche erforderlich.

Die Entwicklung des Kernfeuchteprüfstandes hat Möglichkeiten aufgezeigt, das Verfahren weiter zu optimieren und vollends zu automatisieren. Im Zuge der vorgesehenen Ermittlung der Grenzen des Prüfverfahrens sind die Optimierung und die Automatisierung des Kernfeuchteprüfstandes weiter voranzutreiben. Anzustreben ist eine PC-unterstützte, vollautomatisch ablaufende mathematische Beschreibung der Trocknungskurven, um das bislang manuell durchzuführende Ablesen der Kernfeuchte an der Trocknungskurve im vollen Umfang zu automatisieren.

Weitere Ergebnisse von Untersuchungen unterschiedlicher Rezyklatsorten und Korngrößen sowie der Einfluss von abweichenden Kernfeuchtegehalten auf die Rohdichte sind im Schlussbericht dargelegt, der über die RWB Bremen bzw. mail@rwb-bremen.de zu beziehen ist.

Auf der Homepage der Forschungsvereinigung Recycling und Wertstoffverwertung im Bauwesen (RWB) www.rwb-bremen.de sind u.a. zum Thema Analytik und Recycling weitere Beiträge zu analytischen Mess-Verfahren und zu Recycling-Forschungsvorhaben zu finden.

9 Literatur

- [1] DIN 1097-6 (01/2001): Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme