

Vergleich unterschiedlicher Messverfahren für die Beurteilung der Belegreife von Estrichen

von

Alfred Puchegger u. Helmut Jilg

Allgemein beeidete und gerichtlich zertifizierte Sachverständige

Stand März 2016

EINLEITUNG

Seit geraumer Zeit wird in der Fachwelt über die CM-Messung und die damit erzielten Ergebnisse diskutiert. Hauptpunkt /Hauptthema dieser Diskussion ist, ob die Ergebnisse der CM-Messung für eine Bestimmung der Belegreife von Estrichen noch anwendbar und zeitgemäß sind. Zusätzlichen Zündstoff in dieser Diskussion liefern immer neue Erkenntnisse über die CM- Messung wie:

- Berücksichtigung der Temperatur während der Messung
- Untersuchung der unterschiedlichen, am Markt erhältlichen, Calciumcarbid Messampullen und den daraus resultierenden Messabweichungen

Speziell im Bereich der Sachverständigentätigkeit wird aufgrund dieser Umstände der Feuchtegehalt von Estrichen sehr häufig mittels Darr-Methode ermittelt. Diese Ergebnisse werden dann, unter Berücksichtigung von, in einschlägiger Fachliteratur publizierten Umrechnungsfaktoren, auf CM-Werte rückgeschlossen.

GRUNDLAGE

Die Untersuchungen an den Estrichen in den 80iger und 90iger Jahren des letzten Jahrtausends und die daraus resultierenden Grenzwerte für die Belegreife nach der CM-Methode sind im Wesentlichen auch jetzt, nach mittlerweile über 30 Jahren, in den einschlägigen Normen verankert und gültig.

Gab es nun in diesen mehr als 30 Jahren wesentliche Veränderungen an den Estrichen?

- Der damals übliche CEM I Zement wurde durch CEM II Zement ersetzt.
- Das Mischverhältnis (Zement/Stein) wurde von damals 1:5 auf aktuell 1:6 geändert.
- Es werden „Verflüssiger“ und „Trocknungsbeschleuniger“ eingesetzt, die zu einer Verringerung des W/Z Wert führen können.

ZIEL DER UNTERSUCHUNG

Es soll die Korrelation zwischen unterschiedlichen Messmethoden untersucht werden.

Hierzu wurden folgende Messmethoden herangezogen:

- CM-Methode (Einwaage 50 Gr.)
- Darr-Methode bei 40 u. 105 °C
- Hygrometrische Materialklima Messung

Die hygrometrische Materialklima Messung (wird weiter als HM Messung bezeichnet) findet direkt am Baustoff statt. Für diese Art von Messung wird ein, zum Zeitpunkt der Studie in Entwicklung befindliches, Gerät (HM-Box) verwendet. Die HM Box, entwickelt von der Fa. FP Floorprotector, wird mit einem Kleber am Estrich befestigt.

VERSUCHSANORDNUNG

Um praxisgerechte Ergebnisse zu erhalten, wurden ausschließlich Proben von auf „Baustellen“ hergestellten Zementestrichen, ohne Unterscheidung der Herstellungsart und Zusammensetzung, mit folgender Vorgehensweise untersucht:

1. CM-Messung laut ÖNORM B2218 u. B2236, Prüfgutentnahme aus dem unteren Estrich-Bereich und einer Einwaage von 50 Gramm.
2. Zeitgleiche Entnahme zweier Estrichproben aus dem unteren und oberen Estrich -Bereich.
3. Anbringung der HM Box (HM Messung) im Bereich der Prüfgutentnahmestelle.

Die auf der Baustelle entnommenen Estrichproben wurden in einem dicht verschlossenen Behälter transportiert und zeitnah bei 40 °C im Klimaschrank und 105 °C im Darrschrank nach EN ISO 12570 getrocknet.

Im Mai 2015 wurden insgesamt 4 Estrichproben, die auffällige Abweichungen zwischen den einzelnen Messverfahren aufwiesen, an ein Institut für die Ermittlung der jeweiligen Sorptionsisotherme weitergeleitet.

Insgesamt wurde im Zeitraum, Jänner – November 2015 auf 51 unterschiedlichen Baustellen die Versuchsanordnung 1-3 durchgeführt.

ERGEBNIS

In der Tabelle 1 ist ersichtlich , dass kein Umrechnungsfaktor von Darr-Ergebnissen (105 °C) zu CM-Ergebnissen festgestellt werden konnte.

Die Differenz von Darr Ergebnissen (105°C) zu CM-Ergebnissen differiert im Bereich der vermuteten Belegreife von ca. 2 CM % zwischen 0,35 – 2,49.

Die gängige Praxis, vom ermittelten Darr-Wert 1,5 abzuziehen und so auf den CM-Wert rückzuschließen, kann als grundsätzlich unzutreffend angesehen werden.

Erklärung zur Spaltenbezeichnung der Tabelle:

Feuchtigk %105°C = Ergebnis Darrmethode 105°

Mat.Klima in%rel. = Ergebnis der Materialklimamessung mit der HM Box in rel. Luftfeuchtigkeit

Tabelle 1

Probe	Probe Nr.	Feuchtigk. % 105°C	CM-Wert	Mat.Klima in % rel.	Diff. Darr 105° zu CM
Zem.Estrich	1	2,62	1,40	50,00	1,22
Zem.Estrich	2	3,01	1,50	78,00	1,15
Zem.Estrich	3	3,80	2,00	88,00	1,80
Zem.Estrich	4	4,12	1,90	58,00	2,22
Zem.Estrich	5	3,78	2,00	88,00	1,78
Zem.Estrich	6	3,22	1,50	82,00	1,72
Zem.Estrich	7	3,97	2,00	88,00	1,97
Zem.Estrich	8	2,35	2,00	70,00	0,35
Zem.Estrich	9	2,62	1,40	50,00	1,22
Zem.Estrich	10	3,01	1,50	78,00	1,51
Zem.Estrich	11	4,36	2,00	88,00	2,36
Zem.Estrich	12	3,93	1,90	58,00	2,03
Zem.Estrich	13	3,78	2,00	88,00	1,78
Zem.Estrich	14	2,80	1,50	82,00	1,30
Zem.Estrich	15	3,18	2,10	89,00	1,08
Zem.Estrich	16	3,80	2,80	82,00	1,00
Zem.Estrich	17	2,53	2,10	64,00	0,43
Zem.Estrich	18	4,15	2,00	42,00	2,15
Zem.Estrich	19	2,78	1,90	72,00	0,88
Zem.Estrich	20	4,39	1,90	74,00	2,49
Zem.Estrich	21	1,71	0,90	50,00	0,81
Zem.Estrich	22	2,75	1,95	66,00	0,80
Zem.Estrich	23	3,94	2,45	67,00	1,49
Zem.Estrich	24	3,96	2,80	95,00	1,16
Zem.Estrich	25	3,99	2,70	86,00	1,29
Zem.Estrich	26	4,28	2,60	78,00	1,68
Zem.Estrich	27	2,83	2,20	53,00	0,63
Zem.Estrich	28	3,15	1,90	63,00	1,25
Zem.Estrich	29	3,09	1,70	58,00	1,39
Zem.Estrich	30	4,36	3,50	88,00	0,86
Zem.Estrich	31	4,09	2,80	75,00	1,29
Zem.Estrich	32	3,79	2,40	73,00	1,39
Zem.Estrich	33	3,78	2,50	72,00	1,28
Zem.Estrich	34	3,30	2,50	72,00	0,80
Zem.Estrich	35	3,99	2,10	65,00	1,89
Zem.Estrich	36	2,82	1,25	65,00	1,57
Zem.Estrich	37	3,14	2,00	71,00	1,14
Zem.Estrich	38	2,46	1,10	65,00	1,36
Zem.Estrich	39	3,97	2,70	86,00	1,27
Zem.Estrich	40	4,11	2,50	69,00	1,61
Zem.Estrich	41	2,40	1,20	57,00	1,20
Zem.Estrich	42	3,40	1,90	63,00	1,50
Zem.Estrich	43	3,70	2,20	65,00	1,50
Zem.Estrich	44	4,11	3,10	85,00	1,01
Zem.Estrich	45	3,55	1,70	62,00	1,85
Zem.Estrich	46	2,85	2,00	67,00	0,85
Zem.Estrich	47	3,42	1,60	62,00	1,82
Zem.Estrich	48	4,30	2,50	88,00	1,80
Zem.Estrich	49	3,22	2,20	79,00	1,02
Zem.Estrich	50	4,60	2,60	92,00	2,00
Zem.Estrich	51	4,12	2,75	83,00	1,37

Die Auswertung der Ergebnisse von Darren bei 40 °C zu der CM Methode ergab ebenfalls, dass kein einheitlicher Wert für die Umrechnung herangezogen werden kann. Tabelle 2 zeigt, dass die Differenz zwischen - 0,05 bis 1,70 liegt. Aufgrund des hohen Aufwands bei 40 °C im Klimaschrank zu darren wurden diese Prozedere nur bis Probe 20 durchgeführt. Ab Probe 21 wurde nur mehr bei 105 °C gedarrt.

Tabelle 2

Probe	Probe Nr.	Feuchtigk. % 40°C	CM-Wert	Mat.Klima in % rel.	Diff. Darr 40° zu CM
Zem.Estrich	1	1,85	1,40	50	0,45
Zem.Estrich	2	2,15	1,50	78	0,65
Zem.Estrich	3	3,16	2,00	88	1,16
Zem.Estrich	4	3,26	1,90	58	1,36
Zem.Estrich	5	2,80	2,00	88	0,80
Zem.Estrich	6	2,75	1,50	82	1,25
Zem.Estrich	7	3,22	2,00	88	1,22
Zem.Estrich	8	1,95	2,00	70	-0,05
Zem.Estrich	9	1,85	1,40	50	0,45
Zem.Estrich	10	2,53	1,50	78	1,03
Zem.Estrich	11	3,67	2,00	88	1,67
Zem.Estrich	12	3,26	1,90	58	1,36
Zem.Estrich	13	3,45	2,00	88	1,45
Zem.Estrich	14	2,30	1,50	82	0,80
Zem.Estrich	15	2,54	2,10	89	0,44
Zem.Estrich	16	3,40	2,80	82	0,60
Zem.Estrich	17	2,05	2,10	64	-0,05
Zem.Estrich	18	3,50	2,00	42	1,50
Zem.Estrich	19	2,55	1,90	72	0,65
Zem.Estrich	20	3,60	1,90	74	1,70
Zem.Estrich	21	1,17	0,90	50	0,27
Zem.Estrich	22	2,20	1,95	66	0,25
Zem.Estrich	23	2,81	2,45	67	0,36

Um einen Vergleich zwischen der HM, CM und Darrmethode (105 °C) herstellen zu können, ist es notwendig einen Grenzwert für die HM Methode zu ermitteln.

Dafür wurden Messdaten von unterschiedlichsten Auswertungen von Fidboxen, welche von Floorprotector zur Verfügung gestellt wurden, ausgewertet. Die Messmethode der Fidbox beruht ebenfalls auf der hygrometrischen Messmethode und liefert daher sehr aussagekräftige Ergebnisse von Feuchtigkeitszuständen, die sich nach der Belegung der Estriche ergeben.

Es wurden Schadensfälle ausgewertet, bei denen bei Estrichen, die glaubhaft nach der CM-Methode als trocken befunden wurden, Schäden am Oberbelag auftraten.

In diesen Fällen handelte es sich meistens um Massivparkett/Dielen.

Es hat sich gezeigt, dass bei Massivparkett, ab einem Wert von 70 % rel. Luftfeuchtigkeit gemessen an der Estrichoberfläche (Fidbox), das Schadensrisiko, abhängig vom vorherrschenden Raumklima, stark ansteigt.

Um die Zusammenhänge zwischen Estrichfeuchtigkeit, Raumklima und Holzfeuchtigkeit genauer untersuchen zu können, wurden dafür Estrichproben mit einem CEM I Zement und einem Mischungsverhältnis von 5:1 (Gestein-Zementwert) angefertigt.

In eine runde Schalung wurde eine Estrichstärke von 60 mm betoniert. Das Mischungsverhältnis 5:1 und der CEM I Zement wurden verwendet, um Rückschlüsse auf die Versuche, die den CM-Grenzwerten zugrunde liegen, ziehen zu können.

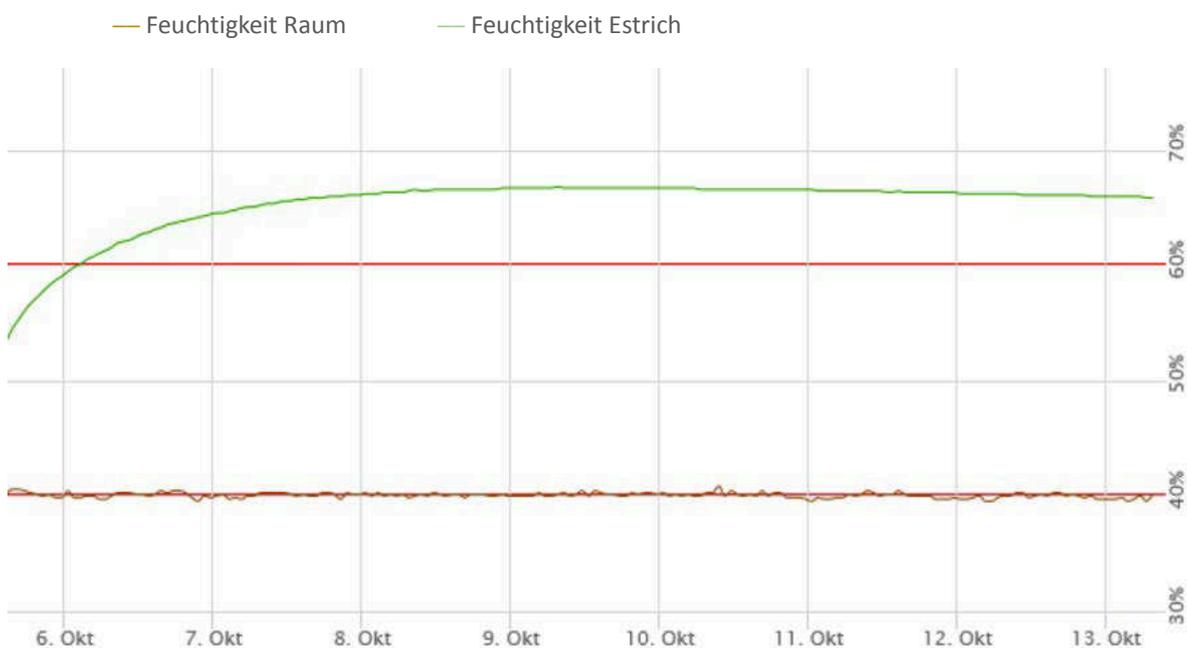
Die fertigen Proben wurden nach der Herstellung im Klimaschrank bei 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchtigkeit 28 Tage gelagert.

Nach diesen 28 Tagen wurden die Proben weitere 14 Tage im Klimaschrank bei 40 % rel. Luftfeuchtigkeit und einer Temperatur von 23°C aufbewahrt. Im Anschluss wurde eine HM Box auf der Estrichoberfläche (Foto 1) angebracht und der Trocknungsprozess bis zum Erreichen der Estrichfeuchtigkeit von 65 % rel. Luftfeuchtigkeit (HM Wert) aufgezeichnet. (Grafik 1)

Foto 1



Grafik 1 (Auswertung HM Box)



Nach Erreichen der Estrichfeuchtigkeit von 65 % rel., wurden bei 6 Proben, über den Querschnitt, Prüfgut entnommen und jeweils eine CM- Messung (50 Gr.) und Darrprüfung bei 105 °C durchgeführt. (Tabelle 3) Bei diesen, im Labor hergestellten Estrichproben, konnte der Umrechnungsfaktor von Darr 105 ° zu CM von ca. 1,5 nachgewiesen werden. Die Vermutung, dass ein Zusammenhang vom Mischverhältnis und den unterschiedlichen Zementen besteht, kann somit belegt werden.

Tabelle 3

Probe	Nummer	Feuchtigk. % 105°C	CM-Wert	Matklima in % rel.	diff Darr 105° zu CM
Zementestrich	1.1	3,79	1,90	65	1,89
Zementestrich	1.2	3,60	2,25	65	1,35
Zementestrich	1.3	3,45	1,90	65	1,55
Zementestrich	1.4	3,68	2,20	65	1,48
Zementestrich	1.5	3,58	2,00	65	1,58
Zementestrich	1.6	3,42	1,80	65	1,62

Im Anschluss wurde auf zwei Estrichproben eine 14 mm starke Landhausdiele, die zuvor im Klimaschrank bei 40 % rel. Luftfeuchte gelagert wurde, „schwimmend“, ohne Unterlagsmatte aufgebracht und die Rand-Fuge mit Klebeband abgedichtet. (Foto 2) An der Unterseite der Landhausdiele wurde jeweils eine Fidbox eingefräst und die „Estrichprobe mit Parkett“ im Klimaschrank bei 40 % rel. Luftfeuchtigkeit und 23°C weiter gelagert.

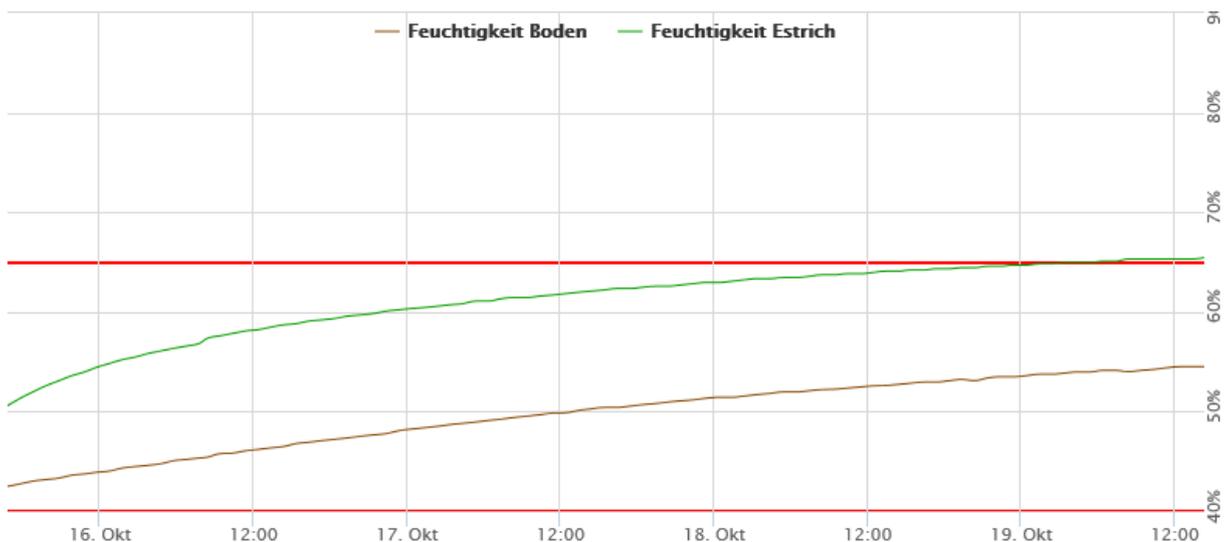
Foto 2



Es ist auf Grafik 2 ersichtlich, dass der Estrichsensor der Fidbox nach 4 Tagen 65 % rel. Luftfeuchtigkeit anzeigt. Die Holzfeuchtigkeit stieg in diesem Zeitraum von 40 % auf 55 % rel. Luftfeuchte an, was einem Holzfeuchte-Anstieg von 7 auf 10 % entspricht. Die Holzfeuchtigkeit wurde mit einem elektronischen Messgerät Gann M4050 und Ramm-Elektrode M 18 gemessen – Ergebnis: 9,8 %.

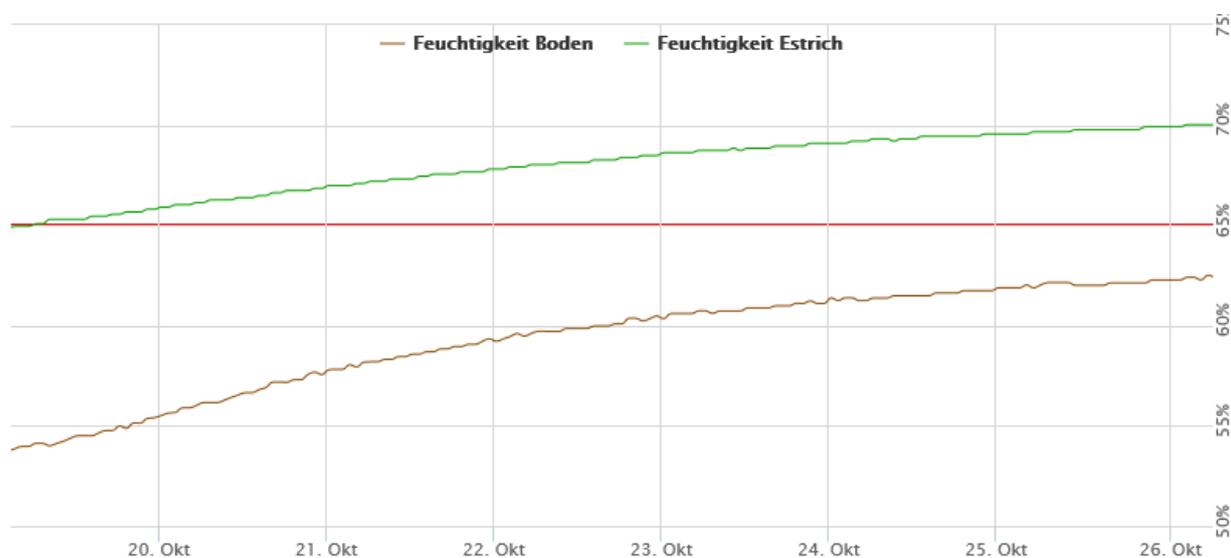
Diese 3 % Feuchtezunahme liegt noch im Bereich, die von Mehrschicht-Parkett ohne Schaden verkraftet wird. Für Massivparkett würde aber eine Holzfeuchteänderung von 3 % (abhängig von der Dimension) bereits den absoluten Grenzbereich darstellen.

Grafik 2 (Auswertung Fidbox)



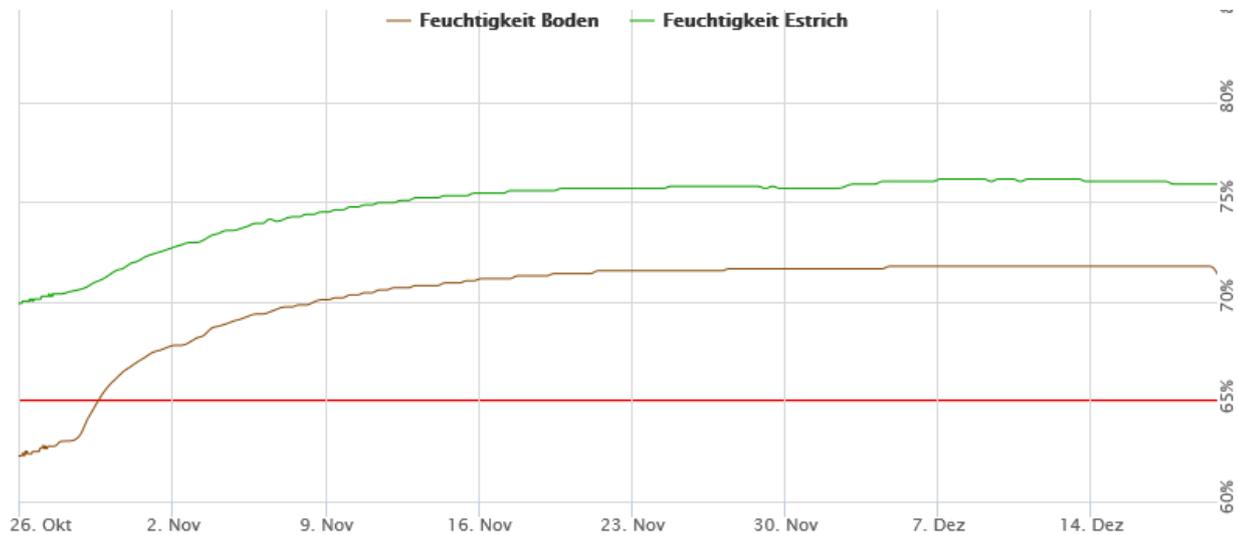
Anschließend wurde dann die Luftfeuchte im Klimaschrank auf 50% rel. angehoben. Nach 7 Tagen ergab das einen Anstieg der gemessenen Feuchtigkeitswerte auf 70% und der Holzfeuchte auf 62%. (Grafik 3)
Das Ergebnis der Holzfeuchtemessung ergab einen Anstieg auf 11%.

Grafik 3



Danach wurde die rel. Luftfeuchte weiter auf 65 % rel. im Klimaschrank angehoben. Das Ergebnis nach 65 Tagen: Holzfeuchtigkeit 71 %, Estrich 75 %. Im Anschluss wurde das Parkett gedarrt: Ergebnis 12,5 Masse % (Grafik 4)

Grafik 4 (Auswertung Fidbox)

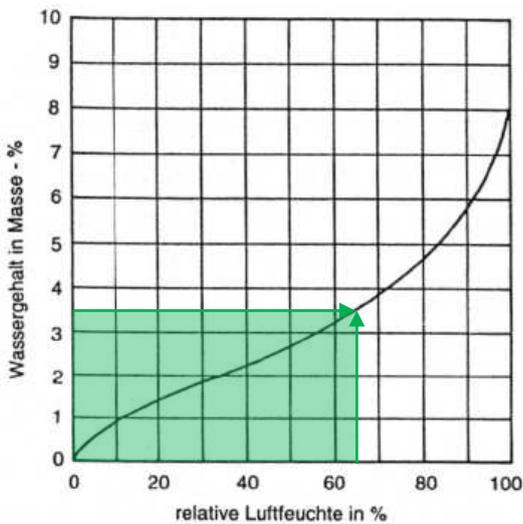


Aus diesem Versuch kann man somit folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Grenzwerte für die Belegreife des Estrichs können nicht isoliert betrachtet werden, da das Raumklima einen wesentlichen Faktor darstellt.
- Durch ungünstig hohe Raumluftfeuchtigkeit kann es auch bei „praxisgerechten“ Grenzwerten zu Problemen kommen.
- Die Ergebnisse in Tabelle 3 und die Langzeitauswertungen von verbauten Fidboxen zeigen, dass die Grenzwerte für die HM- Messung bei unbeheizten Estrichen bei 65 % und bei beheizten Estrichen 60 % liegen.

Die Grafik aus der Studie „Das Trocknungsverhalten von Estrichen“ von Werner Schnell zeigt die Sorptionsisotherme von Zementestrich, die bei einer Trocknung bei 105 °C bestimmt wurde. (von IBF veröffentlicht, siehe Grafik 5)

Grafik 5



In dieser Tabelle ist ersichtlich, dass ein Wert von 65 % rel. Luftfeuchte 3,5 Masse % entspricht. Werner Schnell beschreibt in dieser Studie ebenfalls den Abzug von Masse % (105°C) auf CM Wert von 1,5 was daher 2 CM % ergibt. Der grün eingefärbte Bereich in Grafik 5 stellt den Bereich dar, der für eine Belegreife ausreichend trocken ist.

Diese Werte decken sich auch mit den aktuellen Ergebnissen, von den im Labor hergestellten Estrichproben. (Tabelle 3)

Der Mittelwert liegt hier bei

Darren 105 °C	3,58 Masse %
CM-Wert	2 %
Differenz	1,58

ERGEBNIS DER ERMITTELTEN SORPTIONSISOTHERMEN

Die „auffälligen“ Proben wurden, wie schon erwähnt, an ein Institut zur Ermittlung der jeweiligen Sorptionsisotherme, weitergeleitet.

Probe Nr. 2

Hier handelt es sich um einen Schadensfall aus der SV Tätigkeit.

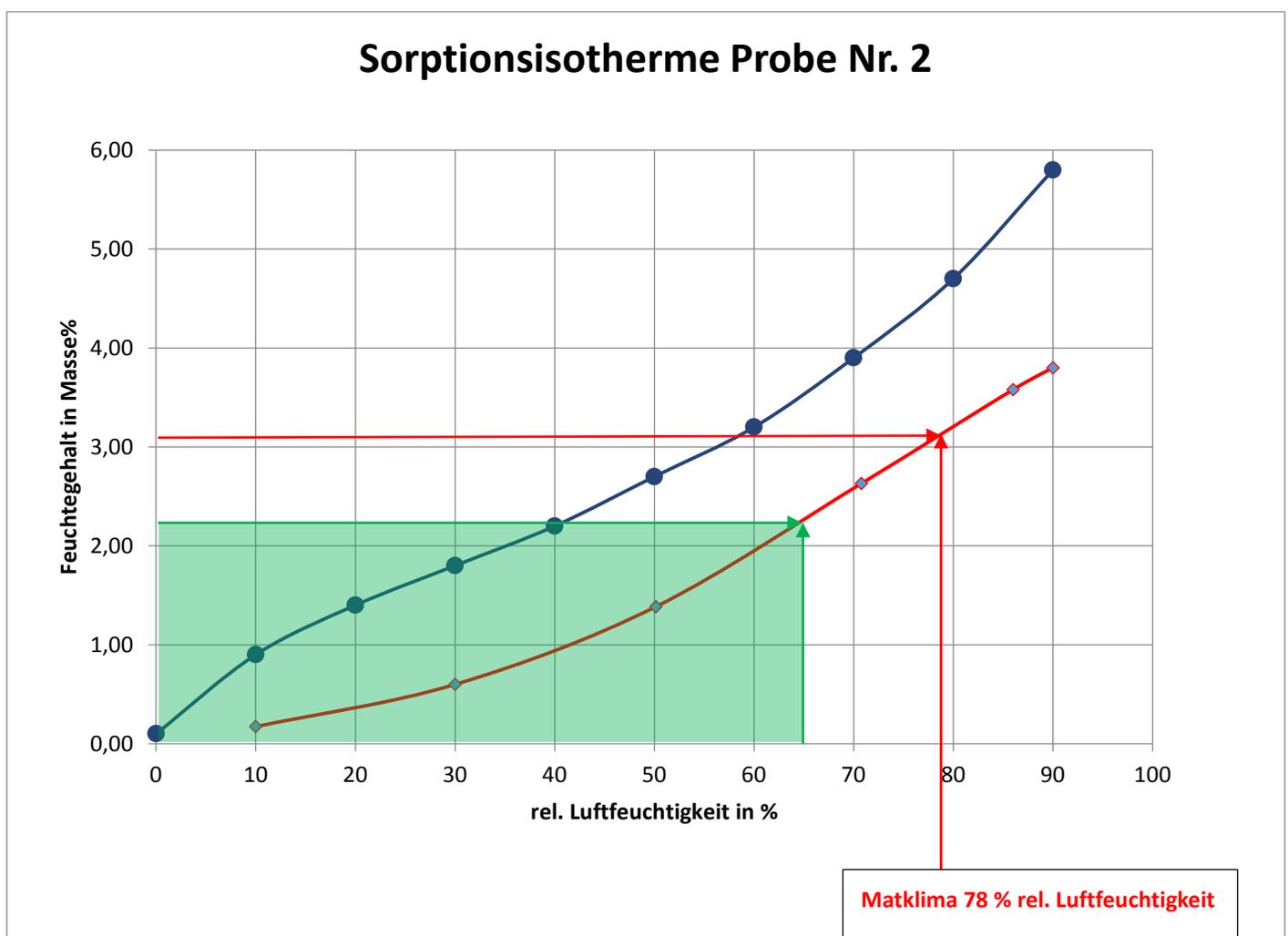
Es wurde ein Zementestrich vor der Parkettverlegung mit 2 CM % gemessen und im Anschluss mit Massiv - Parkett belegt. Nach 3-4 Wochen wies das Parkett „Schüsselungen“ auf, die sich immer stärker ausprägten. Nach Öffnung des Parketts wurde hier die Versuchsanordnung 1-3 durchgeführt. Ergebnis: siehe Tabelle 4

Tabelle 4

Probe	Nummer	Feuchtigk. % 105°C	CM-Wert	Mat.Klima in % rel.	Diff Darr 105° zu CM
Zementestrich	2	3,01	1,5	78	1,51

Trotz eines CM Ergebnis von 1,5 % und Darrwert von 3,01 % hat das Parkett eine Holzfeuchte von rund 13 % aufgewiesen. Das Parkett wurde in der Stärke gespalten und beide Hälften gedarrt (unten und oben). Der Wert von 13 % ist hier ein Mittelwert. Die Hälfte zum Estrich weist erheblich höhere Feuchtigkeitswerte als die Oberschicht auf. Über die Ausdehnung über die Dielenbreite konnte errechnet werden, dass die Holzfeuchte zum Zeitpunkt der Verlegung bei ca. 9 % lag

Grafik 6 Die ermittelte Sorptionskurve der Estrichprobe ist in rot dargestellt. Im Vergleich dazu die Sorptionskurve nach Schnell in blau. Der grün eingefärbte Bereich stellt den Bereich für eine Belegreife dar.



Grafik 6 zeigt, dass der gemessene HM Wert von 78 % rel. LF mit dem Darrwert von 3,01 Masse % auf der ermittelten Sorptionskurve korreliert. Der Unterschied zwischen den beiden Sorptionskurven ist jedoch enorm. Der Darrwert, der für eine Belegreife dieses Estrichs anzuwenden wäre, liegt somit bei ca. 2,3 Masse %

Probe Nr.5

Es wurde vor Verlegebeginn des Oberbelags die Versuchsanordnung 1-3 durchgeführt (siehe Tabelle 5).

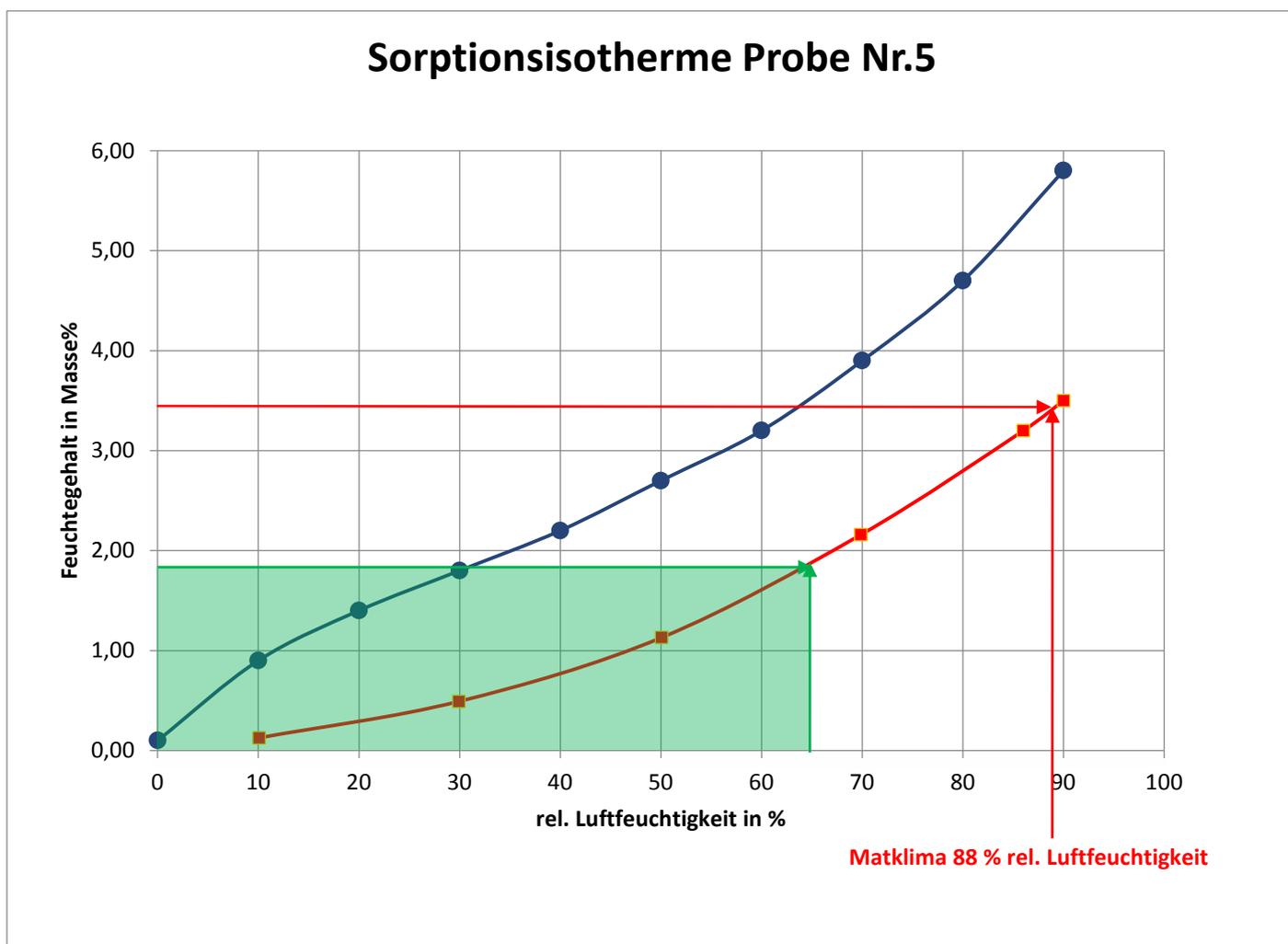
Tabelle 5

Probe	Nummer	Feuchtigk. % 105°C	CM-Wert	Mat.Klima in % rel.	Diff Darr 105° zu CM
Zementestrich	5	3,78	2	88	1,78

Aufgrund des hohen HM Wertes von 88% rel. wurden Bedenken geäußert und diese an die Zuständigen weitergeleitet. Der Estrich wurde trotz Bedenken, vom Generalunternehmer in Bezug auf die Belegreife freigegeben.

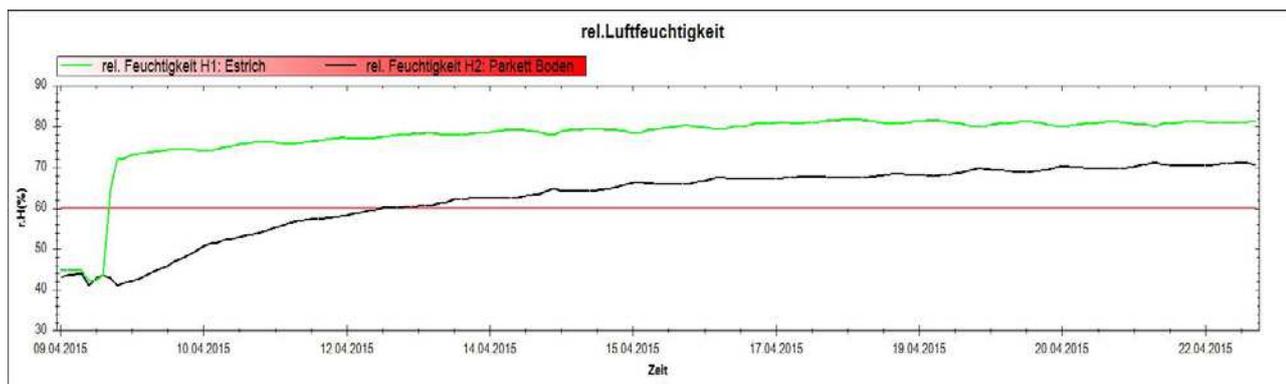
Auch hier ist der hohe HM Wert im Vergleich zu CM und Darr auffällig. Die Werte der HM Messung von 88 % rel. und Darr 3,78 % decken sich mit der ermittelten Sorptionskurve der Probe und zeigen eindeutig, dass der Estrich noch keine Belegreife erreicht hat. (siehe Grafik 7)

Grafik 7 Die ermittelte Sorptionskurve der Estrichprobe ist in rot dargestellt. Im Vergleich dazu die Sorptionskurve nach Schnell in blau. Der grün eingefärbte Bereich stellt den Bereich für eine Belegreife dar.



Es wurden bei der Parkettverlegung Fidboxen eingebaut, um Werte bei einer möglichen Schadenserhebung zu gewinnen. Wie auf der Auswertung der Fidbox (Grafik 8) ersichtlich, wurden auch hier die überhöhten Werte der HM Messung bestätigt.

Grafik 8 (Auswertung Fidbox)



Aufgrund von Feuchteschäden (welche eindeutig auf die Restfeuchte im Estrich zurückzuführen sind) mussten bei diesem Bauvorhaben bereits Teilflächen saniert werden.

Probe Nr.15

Hier ist ersichtlich, dass das Materialklima (HM Wert) von 89 % rel. im Vergleich zu CM 2,10 % und Darrwert von 3,18 % auffällig hoch ist. Siehe Tabelle 6

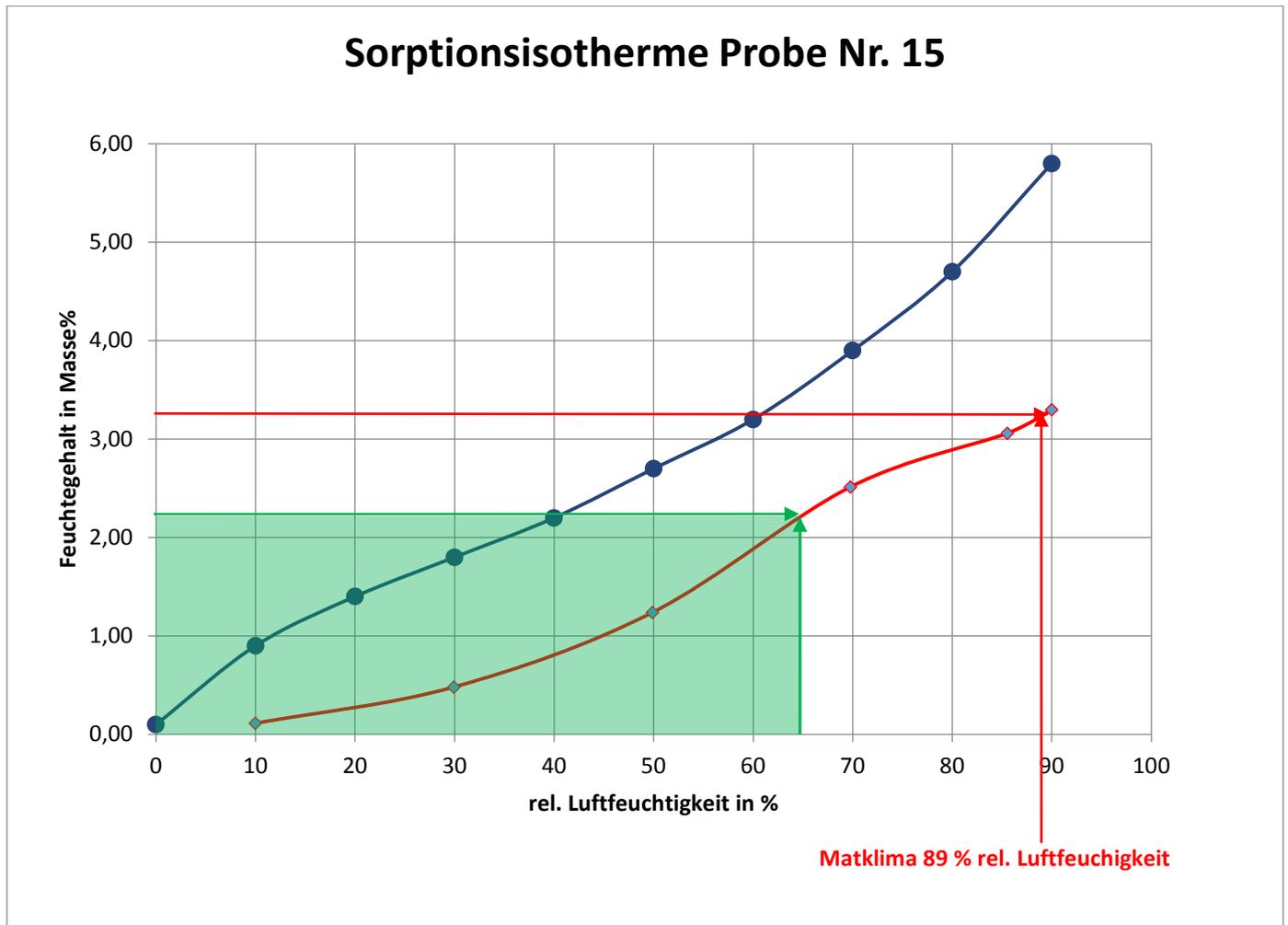
Tabelle 6

Probe	Nummer	Feuchtigk. % 105°C	CM-Wert	Mat.Klima in % rel.	Diff Darr 105° zu CM
Zementestrich	15	3,18	2,10	89	1,08

Die Sorptionskurve zeigt, dass der HM Messwert von 89% rel., mit dem Darrergebnis von 3,18 Masse% und der ermittelten Sorptionskurve übereinstimmt. Eine Belegreife ist bei etwa 2,2 Masse % gegeben. Die Sorptionskurve weicht ebenfalls stark von der Angenommenen ab.

Siehe Grafik 9

Grafik 9 Die ermittelte Sorptionskurve der Estrichprobe ist in rot dargestellt. Im Vergleich dazu die Sorptionskurve nach Schnell in blau. Der grün eingefärbte Bereich stellt den Bereich für eine Belegreife dar.



Probe Nr.17

Hier stimmt der CM Wert von 2,10 CM% mit dem HM Wert von 64% überein. Der Darrwert, mit 2,53% ist jedoch nur um 0,43 höher als das CM Ergebnis. (Tabelle 7)

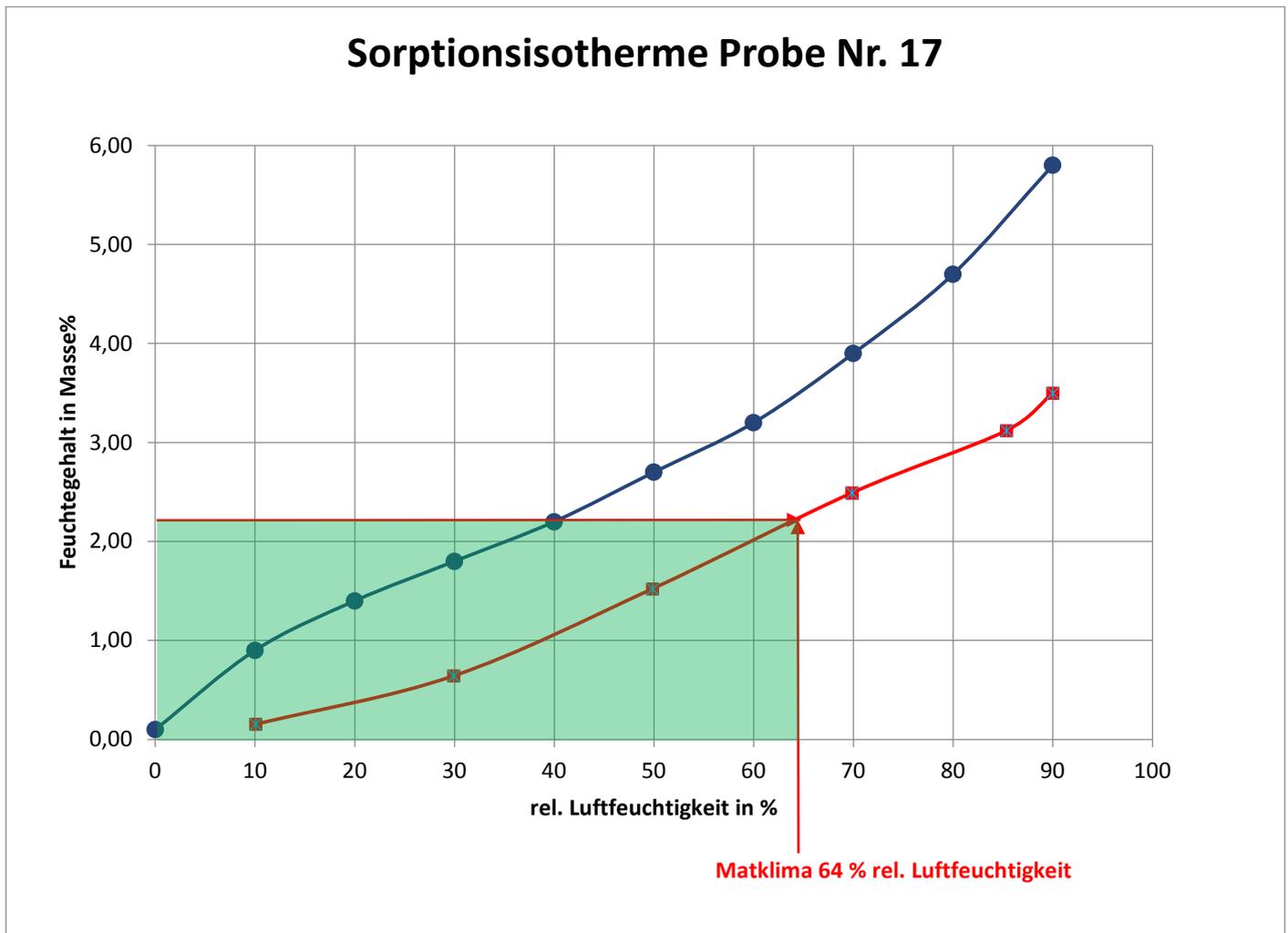
Tabelle 7

Probe	Nummer	Feuchtigk. % 105°C	CM-Wert	Mat.Klima in % rel.	Diff Darr 105° zu CM
Zementestrich	17	2,53	2,10	64	0,43

Die Sorptionskurve weicht von der Angenommenen (laut Schnell) stark ab.

Siehe Grafik 10

Grafik 10 Die ermittelte Sorptionskurve der Estrichprobe ist in rot dargestellt. Im Vergleich dazu die Sorptionskurve nach Schnell in blau. Der grün eingefärbte Bereich stellt den Bereich für eine Belegreife dar.



Die Versuchsreihe hat gezeigt:

1. Bei der Bestimmung der Belegreife nach der CM bzw. Darmmethode muss die jeweilige Sorptionsisotherme des Estrichs bekannt sein.
2. In der Praxis sind diese Werte der Sorptionsisotherme nicht bekannt, die Belegreife kann somit nicht zweifelsfrei bestimmt werden, dies kann wiederum zu Schäden führen.
3. Die HM Methode liefert hingegen die genauesten Ergebnisse. Die Sorptionsisotherme des Estrichs wird nicht benötigt, ist also irrelevant. Die korrekte Belegreife kann sofort bestimmt werden.
4. Die Korrelation der Messergebnisse der HM-Box zu der CM-Messung kann anhand der Labor Estrichproben bestätigt werden.

Ein wesentlicher Vorteil der hygrometrischen Materialklimamessung ist auch, dass diese zerstörungsfrei, durch einfaches Aufkleben des Messgerätes an der Estrichoberfläche durchgeführt werden kann.

Aufgrund der eindeutigen Ergebnisse der HM-Messung, wurde die Versuchsreihe auf den Vergleich mit der in verschiedensten Ländern wie USA, England usw. üblichen Bohrloch Methode ausgeweitet.

Tests laufen hierfür bereits seit Dezember 2015, die Ergebnisse werden, nach Auswertung, dieser Studie hinzugefügt.

Teile dieser Studie dürfen nur unter Verweis auf eben diese verwendet werden.