

INSTITUT FÜR FUSSBODENTECHNIK

NORBERT STREHLE + DOMINIK KISON

gutachten • testreihen • beratungen

Institut für Fußbodentechnik · Im Wolfsangel 62 · 56070 Koblenz

**Firma
DNS Denzel
Feuchtemessgeräte
Am Wasserturm 5**

73104 Börtlingen



Im Wolfsangel 62
56070 KOBLENZ

Telefon: 02 61 / 982 61-0
Telefax: 02 61 / 982 61-20

E-mail: norbert.strehle@t-online.de
Internet: www.strehle-fussbodentechnik.de

Angaben zu den Sachverständigen
siehe Rückseite

Vorbemerkung

Mit den Schreiben der Firma DNS-Denzel Natursteinschutz GmbH vom 28. Aug. und 6. Dez. 2008 wurde der unterzeichnende Sachverständige (des Instituts) beauftragt eine Langzeit-Versuchsmaßnahme hinsichtlich des Trocknungsverlaufs sowie der Bestimmung der Restfeuchte in überwiegend aus CEM-II-Zementen hergestellten Zementestrichen sachverständig zu begleiten und durchgeführte Maßnahmen zu dokumentieren sowie letztendlich Messergebnisse auszuwerten und danach diesen

BERICHT

Nr. 1220409

schriftlich zu erstatten.

...

Gutachterauftrag

Dieser Auftrag wurde an das Institut wie folgt gerichtet:

- „1. Überwachung und Dokumentation der Herstellung der Estrichproben am 2. Oktober 2008.
2. Überwachung und Dokumentation der Klimalagerung der Estrichproben bis zur Gewichtskonstanz.
3. Bestimmung der Ausgleichfeuchte 20°C/55 % rel. Luftfeuchte mit dem CM-Messgerät.
4. Bestimmung der Ausgleichfeuchte 20°/50 % rel. Luftfeuchte über die gravimetrische Trockenrückstandsbestimmung 42° - 65°C–105°C.
5. Überwachung und Dokumentation der erzielten Messwerte mit dem Feuchtemessgerät „DNS Hydrotest G-812“

Berichtsg Grundlagen

waren die nachfolgenden Unterlagen:

- . DIN 18 353 „Estricharbeiten“
(einschl. dem diesbezüglichen
Kommentar in der 2. Auflage 2004
Abert/Erning/Glauner/Voss)

- . DIN-EN 13 318
„Estrichmörtel und Estriche“

- . DIN-EN 13 813
„Estrichmörtel, Estrichmassen
und Estriche; Estrichmörtel
und Estrichmassen, Eigenschaften
und Anforderungen“

- . die erstellte Fotodokumentation

Anmerkung: Diese Fotodokumentation

verbleibt in der Archivablage
des Instituts!

. DIN 10 45

„Beton und Stahlbeton“

. DIN 10 48

„Prüfverfahren für Beton“

. die im Versuchsablauf erzielten
Messwerte

Ausführungs – und Beurteilungstermine

Die Durchführung der Versuchs- und Beurteilungsmaßnahme erfolgte im Technikum und Labor der Firma DNS-Denzel Natursteinschutz GmbH, beginnend mit der Herstellung der Estrichproben am 2. Okt. 2008 und abschließend am 4. März 2009. Dazwischen fanden regelmäßig weitere Termine statt, anlässlich derer die Lagerungsbedingungen sowie der Trocknungsverlauf überprüft und dokumentiert wurden.

Am 4. März 2009 wurden die aus der Versuchsmaßnahme resultierten Ergebnisse besprochen.

Im Hinblick auf die Dokumentation der Versuchsmaßnahme sowie der daraus resultierten Ergebnisse wird

zur Sache

wie folgt berichtet:

1. Verwendete Bindemittel

Für die Herstellung der Estrichproben wurden insgesamt 23 Zemente verwendet, die entweder über den Fachhandel bezogen oder aber auf Anforderung durch unterschiedliche Hersteller zur Verfügung gestellt wurden. Dabei handelte es sich um 18 CEM-II-Zemente und 5 CEM-I-Zemente, jeweils unterschiedlicher Art und Hersteller. Die Probenbezeichnung und die technische Bezeichnung der verwendeten Bindemittel können aus der nachfolgenden Übersicht entnommen werden. Die betreffenden Zementhersteller sind beim Unterzeichner hinterlegt.

- siehe hierzu Seite 6! -

Probe	Zement
462	CEM-II B-S 32,5 R
463	CEM – I 42,5 R
464	CEM- II A-LL 42,5 R
465	CEM – II A-LL 32,5 R
466	CEM – I 32,5 R
467	CEM – II A-M 42,5 N
468	CEM – II A -S 32,5 R
469	CEM- II B-S 42,5 R
470	CEM-II A-LL 32,5 R
471	CEM-II B-T 42,5 R
472	CEM-II A-S 32,5 R
473	CEM-II B-LL 32,5 R
474	CEM-II B-S 32,5 R
475	CEM-I 32,5 R
476	CEM-II B-M 32,5 R
477	CEM-II A-S 42,5 R
478	CEM-II A-LL 32,5 R
479	CEM-I 32,5 R
480	CEM-II A-LL 32,5 R
481	CEM-II A-LL 42,5 R
482	CEM-I 42,5R
483-465	CEM-II A-LL 32,5 R
484-466	CEM-I 32,5 R

2.

Herstellung der Estrichproben

Für die Herstellung der Estrichproben wurde eine Gesteinskörnung nach DIN 4226-1 verwendet. Diese Gesteinskörnung wurde über Wärmelagerung getrocknet. Die Rezeptur der Estrichmörtel war für alle Proben jeweils exakt gleich:

Gesteinskörnung:	5.000 g
Bindemittel:	1.000 g
Wasser:	550 g

Die Komponenten wurden zunächst von Hand und abschließend mit einem Korbquirl sorgfältig zu einem homogenen Estrichmörtel gemischt.

Die Estrichmörtel wurden in 150 x 150 x 50 mm³ nur nach oben offene Kunststoffformen gebracht und manuell in etwa gleichmäßig verdichtet. Die Probenoberfläche wurde manuell geglättet. Einschließlich Kunststoffform hatten alle Proben ein Herstellungsgewicht von 2.055,5 g. Die so hergestellten Estrichproben lagerten zunächst über 7 Tage bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen von etwa 12 - 17° C und 50 - 75 % rel. LF. Ab dem 8. Tag nach der Probenherstellung lager-

ten diese sodann bei konstanten raumklimatischen Bedingungen von 20° C und 55 % rel. LF.

Diese Klimalagerung erfolgte solange, bis alle Proben die Gewichtskonstanz erreicht haben, was 88 Tage nach der Probenherstellung der Fall war. Über diesen Lagerungszeitraum wurden die Estrichproben täglich mit einer Wägegenauigkeit von 0,01 g gewogen. Das Proben-Eingangsgewicht, das Proben-Ausgleichsgewicht bei 20° C/55 % rel. LF sowie der Trocknungsverlust können aus der nachfolgenden Übersicht entnommen werden:

- siehe hierzu Seite 9! -

Probe	Herstellungs- gewicht	Trockengewicht 20°C/55% rLF	Trocknungs- verlust
462	2055,5	1979,39	76,11
463	2055,5	1999,66	55,84
464	2055,5	1998,94	56,56
465	2055,5	1987,73	67,77
466	2055,5	1986,35	69,15
467	2055,5	1983,13	72,37
468	2055,5	1980,37	75,13
469	2055,5	1989,17	66,33
470	2055,5	1987,94	67,56
471	2055,5	1991,51	63,99
472	2055,5	1986,50	69,00
473	2055,5	1973,58	81,92
474	2055,5	1995,78	59,72
475	2055,5	1989,94	65,56
476	2055,5	1972,92	82,58
477	2055,5	1998,07	57,43
478	2055,5	1988,72	66,78
479	2055,5	1986,16	69,34
480	2055,5	1983,98	71,52
481	2055,5	2002,60	52,90
482	2055,5	2009,02	46,48
483	2045,0	1997,48	47,52
484	2045,0	1999,02	45,98

Demnach war für die Estrichproben 462 - 480 ein ähnlicher Trocknungsverlust im Bereich von 45 - 85 g festzustellen. Bei den Estrich-Proben 483 + 484 handelt es sich um zusätzlich gefertigte Estrichproben mit einem so bezeichneten Trocknungsbeschleuniger.

3.

Trocknungsverlauf

Aus der täglichen Bestimmung des Probengewichts und der dabei möglichen Bestimmung der Gewichtskonstanz konnte die Zeitdauer des Trocknungsverlaufs wie folgt festgestellt werden:

- siehe hierzu Seiten 11 + 12 ! -

Probe	Tag	Gewicht
462	67	1982,00
463	63	2002,60
464	58	2003,50
465	66	1989,90
466	58	1990,40
467	38	1992,80
468	67	1982,70
469	58	1993,40
470	38	1998,20
471	45	1998,60
472	38	1997,90
473	48	1982,70
474	58	1999,80
475	65	1991,90
476	68	1975,00
477	38	2008,80
478	58	1993,10
479	38	1996,20
480	67	1986,44
481	64	2004,90
482	32	2019,50
483	54	1999,40
484	54	2001,20



Demnach war die Gewichtskonstanz bei der Probe 482 bereits nach 32 Tagen und die der Probe 476 erst nach 68 Tagen erreicht. Unter Berücksichtigung gleicher Herstellungs-, Lagerungs- und mithin Trocknungsbedingungen war der Trocknungsverlauf der Estrichproben als sehr unterschiedlich zu bewerten.

4.

88 Tage nach der Probenherstellung (29. Dezember 2008) wurden die Estrichproben aus der Kunststoffform genommen und in jeweils 2 Teilproben getrennt. Etwa $\frac{2}{3}$ der Gesamtprobe wurde für Feuchtebestimmungen über die gravimetrische Trockenrückstandsbestimmung und etwa $\frac{1}{3}$ der Gesamtprobe für die Bestimmung des Restfeuchtegehalts mit dem CM-Messgerät verwendet.

Über den gesamten Versuchszeitraum erfolgte an einer auf der Probenoberfläche markierten Messstelle im Zusammenhang mit dem täglichen Wiegen der Proben die Ermittlung des Eingangswertes mit dem elektronischen Messgerät DNS Hydrotest G-812.

5.

CM-Messungen

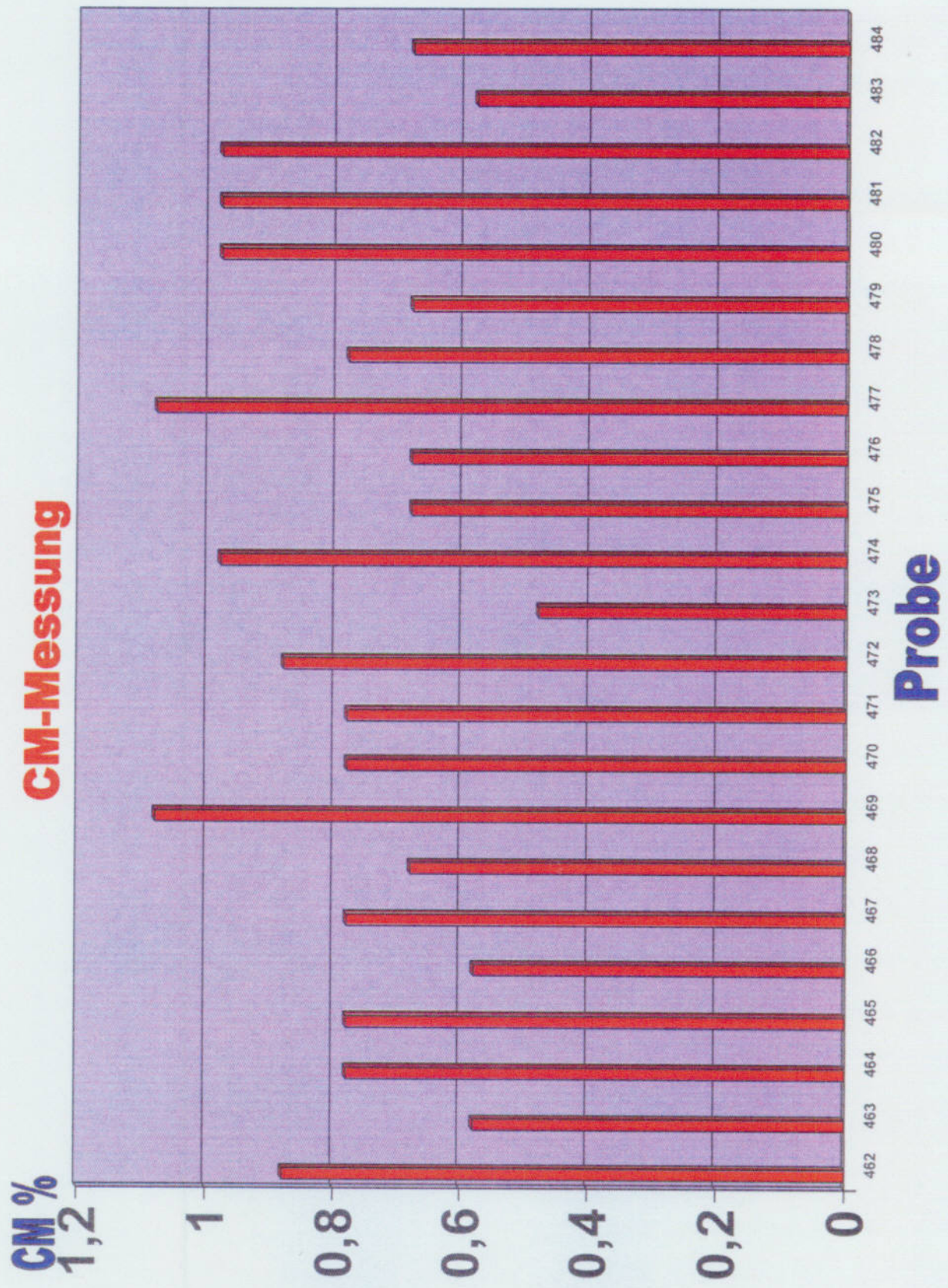
Die Bestimmung des Feuchtegehalts der ausgleichstrockenen Estrichproben erfolgte mit dem CM-Messgerät. Dieses wurde vor der Durchführung der Feuchtemessungen mit einer Eichampulle überprüft.

Die Durchführung der Messungen erfolgte jeweils durch den Unterzeichner, entsprechend dem BEB-Merkblatt FBH-AD, wobei sowohl die Probengewinnung als auch –aufbereitung gleich war. Die Bestimmung erfolgte bei einer Einwaage von 50 g der manuell zerkleinerten Estrichprobe. Als Manometer-Enddruck wurde der Wert abgelesen, welcher über etwa 5 Minuten unverändert angezeigt wurde. Die daraus resultierten Ergebnisse und Einzelwerte können aus den nachfolgenden Übersichten entnommen werden:

- siehe hierzu Seiten 15, 16! –

-

Probe	Druck in bar	CM-Prozent
462	0,45	0,88
463	0,30	0,58
464	0,40	0,78
465	0,40	0,78
466	0,30	0,58
467	0,40	0,78
468	0,35	0,68
469	0,55	1,08
470	0,40	0,78
471	0,40	0,78
472	0,45	0,88
473	0,25	0,48
474	0,50	0,98
475	0,35	0,68
476	0,35	0,68
477	0,55	1,08
478	0,40	0,78
479	0,35	0,68
480	0,50	0,98
481	0,50	0,98
482	0,50	0,98
483	0,30	0,58
484	0,35	0,68



Demnach resultierten aus der CM-Messung trotz gleicher Herstellungs-, Lagerungs- und mithin Trocknungsbedingungen sehr unterschiedliche Ausgleichfeuchtwerte von 0,48 CM-% (Probe 473) bis zu 1,08 CM-% (Proben 469 + 477).

Da davon auszugehen ist, dass diese Schwankungen und Unterschiede auch für den Bereich der als allgemein bekannt angenommenen Verlegereife von 2,0 CM-% gilt, kann aus diesen Versuchsergebnissen nur der Schluss gezogen werden, dass die Bestimmung der Restfeuchte mit dem CM-Messgerät hinsichtlich der Verlegereife keine allgemein auswertbaren Ergebnisse liefert. Eine exakte Bestimmung der Restfeuchte und mithin Beurteilung im Hinblick auf die Verlegereife wäre demnach nur dadurch möglich, dass der für den tatsächlichen Estrich herstellerseits anzugebende Wert der Verlegereife bekannt gemacht wird.

6.

Gravimetrische Trockenrückstandsbestimmung

Der weitaus überwiegende Teil der Gesamtprobe wurde für die gravimetrische Trockenrückstands-

bestimmung (Darrprobe) verwendet. Hierzu wurde die Teilprobe zunächst exakt gewogen (Wägegenauigkeit $\pm 0,01$ g). Das dabei ermittelte Eingangsgewicht (G_u) wurde notiert. Sodann erfolgte die künstliche Trocknung im leicht belüfteten Wärmeschrank (dessen Temperaturtoleranz $\pm 0,5^\circ\text{C}$ beträgt) zunächst bei einer Temperatur von 42°C jeweils bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz. Das dabei ermittelte Nassgewicht (G_d) wurde notiert. Sodann erfolgte die weitere Trocknung zunächst bei 65°C und nach der jeweiligen Ermittlung des diesbezüglichen Trockengewichts die Trocknung bei 105°C wiederum bis zum Vorliegen der Gewichtskonstanz. Aus diesen Gewichtsangaben wurden die jeweiligen Feuchtegehalte nach folgender Gleichung berechnet:

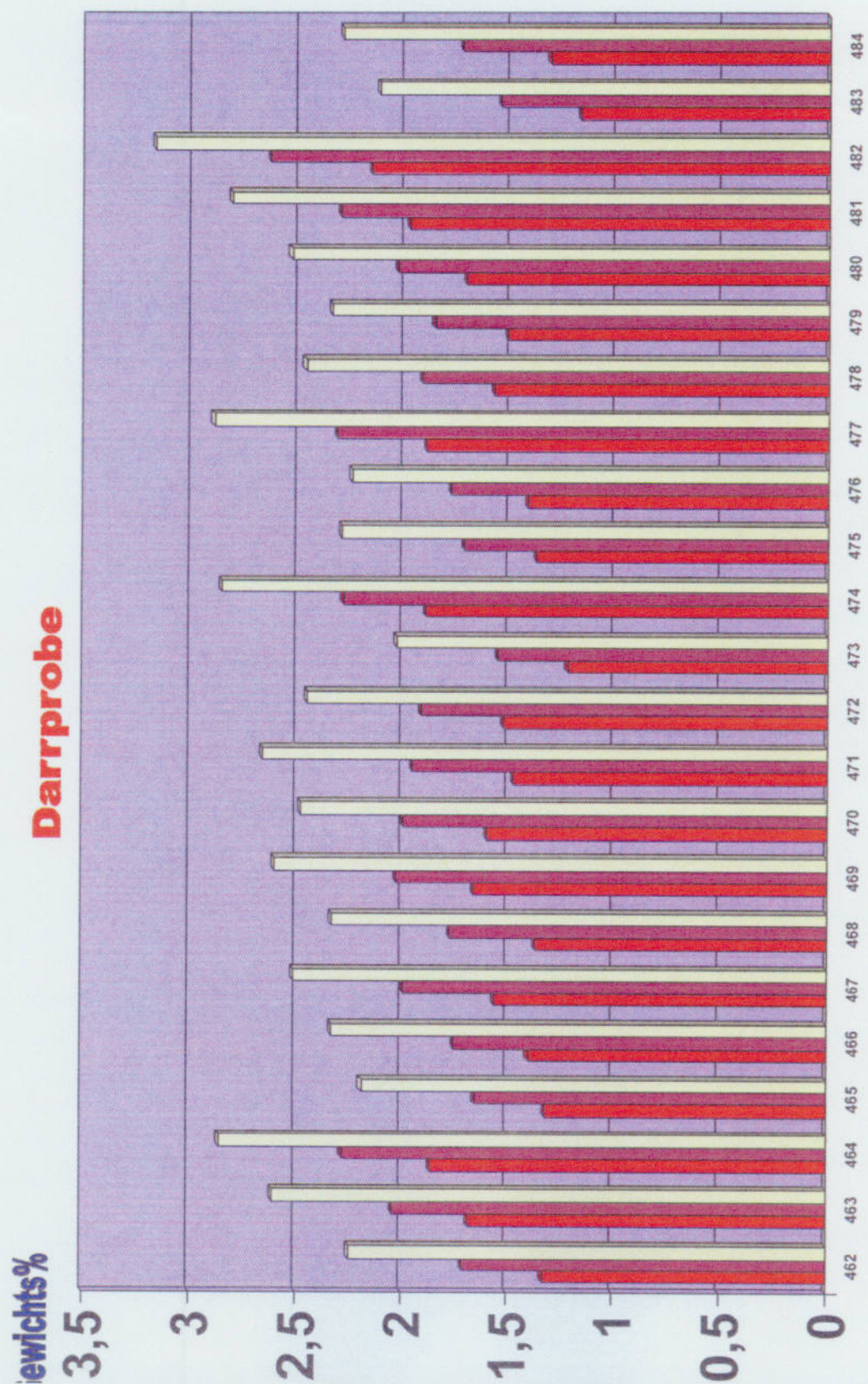
$$u = \frac{G_u - G_d}{G_d} \times 100 \%$$

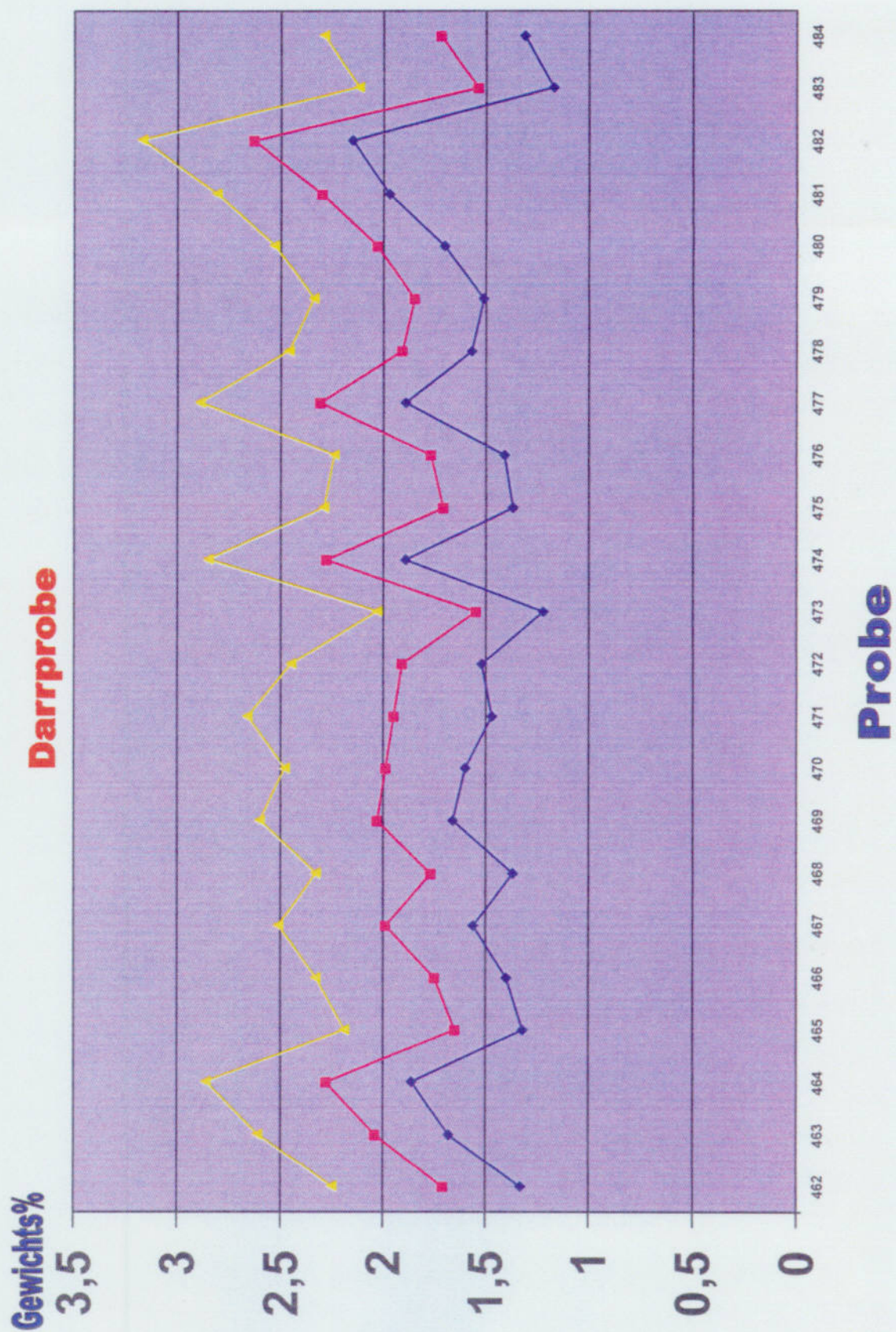
Die bei unterschiedlichen Temperaturen erzielten Trockengewichte können aus der nachfolgenden Tabelle und den anschließenden Diagrammen entnommen werden.

- siehe hierzu Seiten, 19, 20, 21! -

Probe	42°C	65°C	105°C
462	1,33	1,71	2,25
463	1,68	2,04	2,61
464	1,86	2,28	2,86
465	1,32	1,65	2,19
466	1,40	1,75	2,33
467	1,56	1,99	2,51
468	1,37	1,77	2,33
469	1,66	2,03	2,60
470	1,60	1,99	2,48
471	1,47	1,95	2,66
472	1,52	1,91	2,45
473	1,22	1,55	2,03
474	1,89	2,28	2,85
475	1,37	1,71	2,29
476	1,41	1,77	2,24
477	1,89	2,31	2,89
478	1,57	1,91	2,46
479	1,51	1,85	2,34
480	1,70	2,03	2,53
481	1,97	2,30	2,81
482	2,15	2,63	3,17
483	1,17	1,54	2,12
484	1,31	1,72	2,29

Feuchtwerte in Gew.-%





Demnach resultierten auch aus der gravimetrischen Trockenrückstandsbestimmung trotz gleicher Herstellungs-, Lagerungs- und Trocknungsbedingungen deutlich divergierende Werte der Ausgleichfeuchte. Dabei waren die Unterschiede der bei unterschiedlichen Trocknungstemperaturen erzielten Messwerte jeweils gleich, was insbesondere aus den weitgehend parallel verschobenen Balkendiagramme bzw. Kurvenzügen deutlich wird.

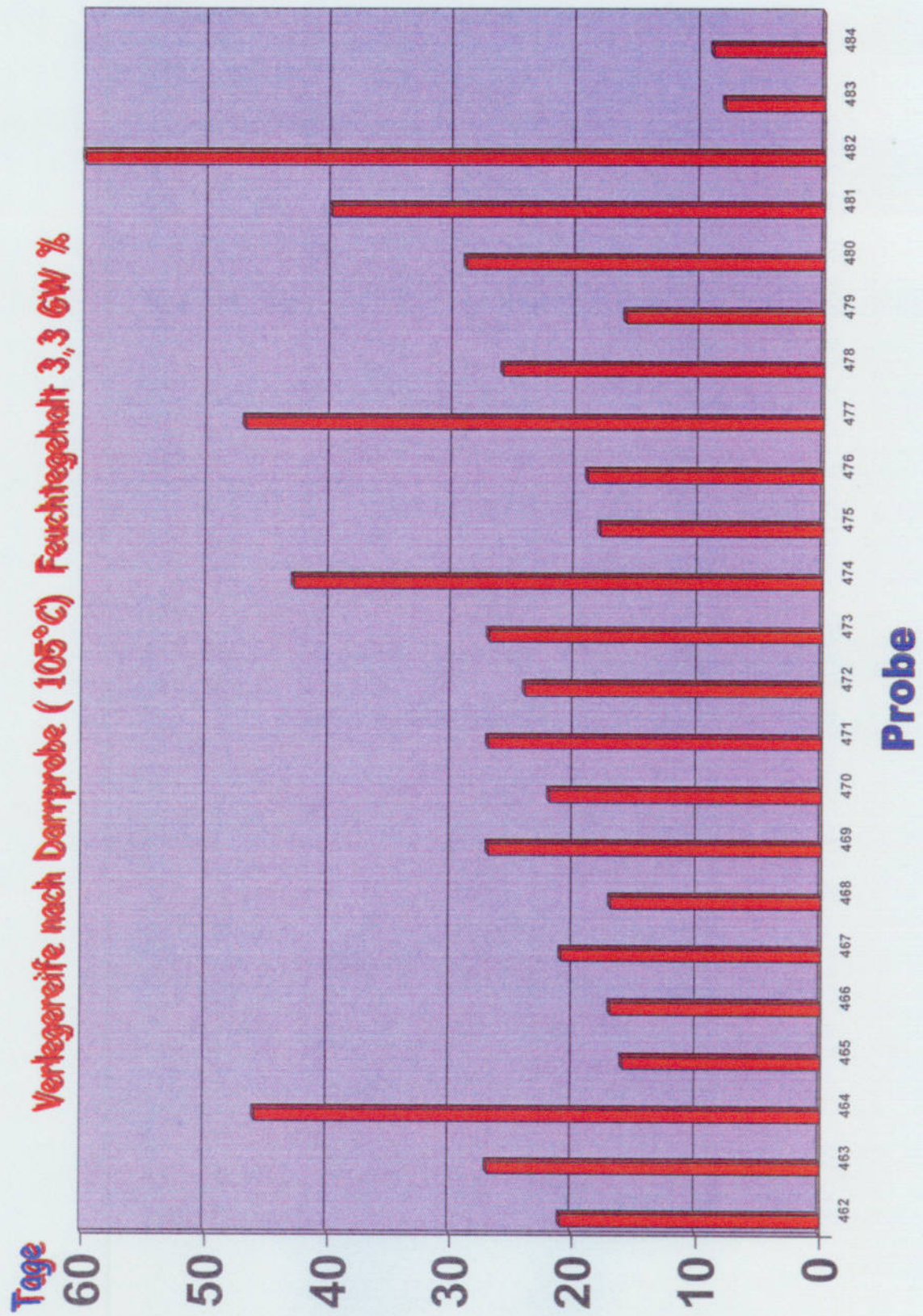
Blau	42° C
Rot	65° C
Gelb	105° C

Aus den Ergebnissen der Trockenrückstandsbestimmung bei 105° C konnte über eine Verhältnisrechnung ermittelt werden, nach wie viel Tagen Trocknungszeit der als Verlegereife bekannte Wert von 3,3 Gew.-% erreicht war. Dieser über Verhältnisrechnung ermittelte Trocknungsverlauf kann aus der nachfolgenden Tabelle und dem nachfolgenden Diagramm entnommen werden.

- siehe Seiten 23 + 24! -

Verlegereife nach Darrprobe (105°C) Feuchtegehalt 3,3GW%

Probe	Tag
462	21
463	27
464	46
465	16
466	17
467	21
468	17
469	27
470	22
471	27
472	24
473	27
474	43
475	18
476	19
477	47
478	26
479	16
480	29
481	40
482	60
483	8
484	9



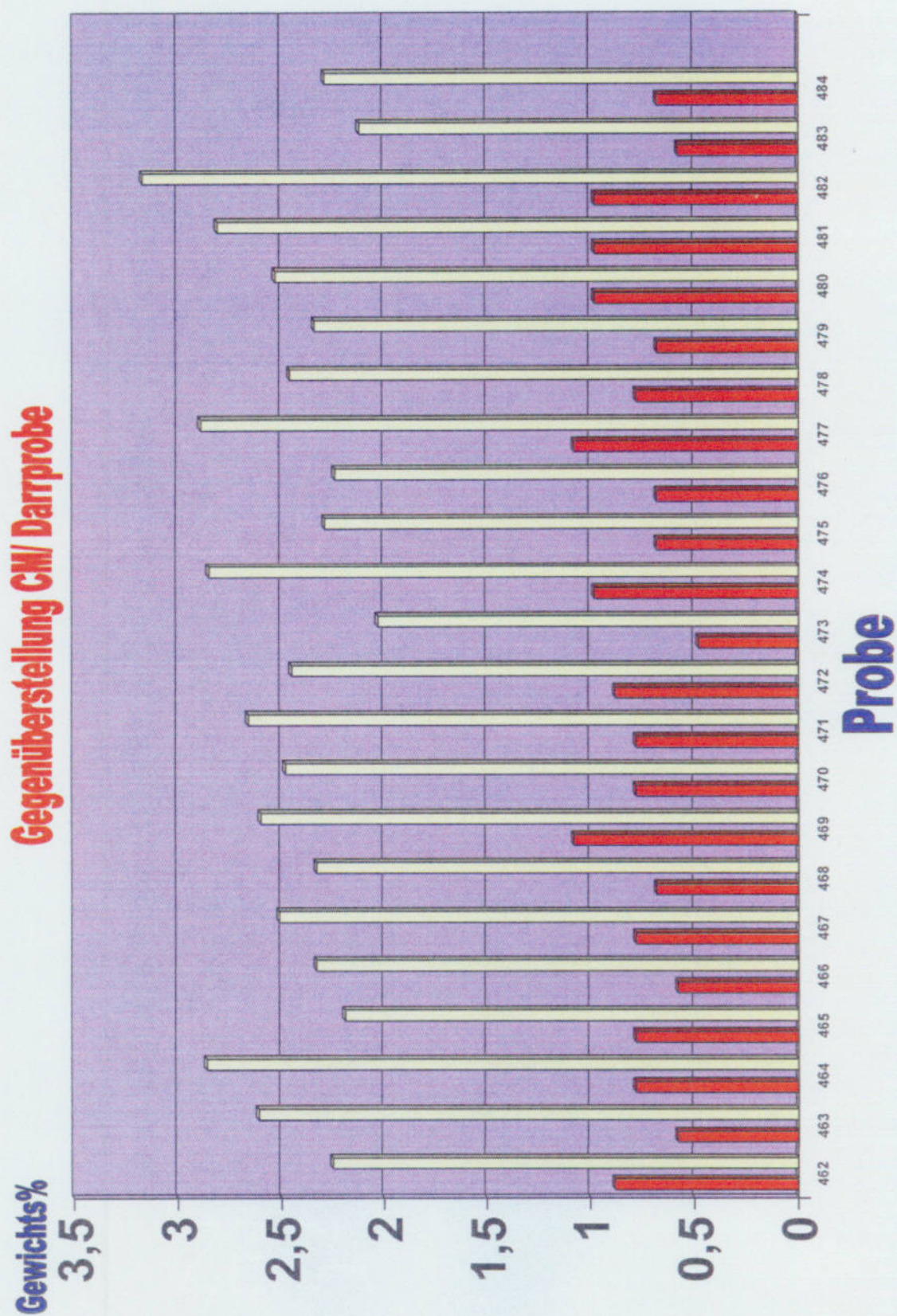
Demnach war festzustellen, dass trotz gleicher Herstellungs-, Lagerungs- und Trocknungsbedingungen das Eintreten der Verlegereife 3,3 Gew.-% zwischen 16 Tagen (Proben 465 + 479) und 60 Tagen (Probe 482) erfolgte. Bei den beiden beschleunigten Systemen der Proben 483 + 484 war die Verlegereife bereits nach 8 bzw. 9 Tagen erreicht.

7.

Gegenüberstellung CM-Werte/Darrwerte

Beim Vergleich der in unterschiedlichen Verfahren erzielten Messwerte wird deutlich, dass es keine linear sich zeigende messverfahrenstechnisch unterschiedlichen Messwerte gibt. Dies wird aus der nachfolgenden Darstellung deutlich.

- siehe hierzu Seite 26! -



Die bisher bei der Gegenüberstellung von CM-Werten mit Ergebnissen der Darrprobe angenommene lineare Verschiebung des bei der Darrprobe höheren Wertes gegenüber der CM-Messung bestätigte sich nicht. So werden z.B. unter gleichen Herstellungs-, Lagerungs- und Trocknungsbedingungen im Vergleich zur Probe 462 bei der Probe 463 geringere Werte angezeigt, wo hingegen die Darrprobe für die Probe 463 zu einem höheren Wert führt als für die Probe 462.

8.

Ermittlung der Eingangswerte mit dem elektronischen Messgerät DNS Hydrotest G-812

Parallel über die Klimalagerung und Trocknung der Estrichproben bis zur Gewichtskonstanz erfolgten Messungen mit dem Messgerät DNS Hydrotest G-812, um dadurch den Sensor-Eingangswert für die jeweiligen Estrichproben zu ermitteln. Dadurch wurde es möglich, den gewogenen Gewichtsverlustwerten dem gleichzeitig ermittelten Sensor-Eingangswert zuzuordnen, der nach dem Erreichen der Ausgleichsfeuchte vom Messgerät G-812 in Gew.-%, bezogen auf

das Gesamtgewicht der Probe, angegeben werden kann.

Aus den Einzelmessungen war festzustellen, dass das Messgerät DNS Hydrotest G-812 bei einem mittleren Gewichtsverlust der Proben von 0,4 g einen um 0,1 niedrigeren Ablesewert anzeigte. Der über alle Proben nahezu gleiche Gewichtsverlust von 0,4 g entspricht einer prozentualen Feuchteänderung von etwa 0,02 Gew.-%. Dies bedeutet, dass der Feuchtesensor G-812 eine Feuchteänderung von 0,02 Gew.-% in 1 dm³ Estrichmasse erkennen kann.

Dies bedeutet, dass dann, wenn die Ausgleichfeuchte (20°C/55 % rel. Luftfeuchte) des betreffenden Estrichs feststeht, mit dem Messgerät Messwerte hinsichtlich des tatsächlichen Feuchtegehalts eines zu messenden Zementestrichs bis auf 0,02 Gew.-% genau angezeigt werden können.

Der unterzeichnende Sachverständige hat die in dieser Berichterstattung beschriebene Versuchsmaßnahme mit vollzogen. Die Durchführung dieser Versuchsmaßnahme, die Dokumentation derselben sowie die Ausarbeitung und schriftliche Erstattung dieses Berichts erfolgten nach bestem Wissen und Gewissen, allein auf der Grundlage der geleisteten Gutachtereide.

Koblenz, den 04. Mai 2009

str-ve-du

DER SACHVERSTÄNDIGE



Norbert Strehle
Institutsleiter