


FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

CM- und KRL Messung im Vergleich – Praxiserfahrungen

Morschen 23. Oktober 2018

1


FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Agenda

- Zusammenhang Darren / CM – KRL
- Praxiserfahrung CM – KRL Nutzen bei
 - Schadensanalyse
 - Estrich Charakterisierung
 - CM-Rechner

2



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Zusammenhang Darren / CM – KRL

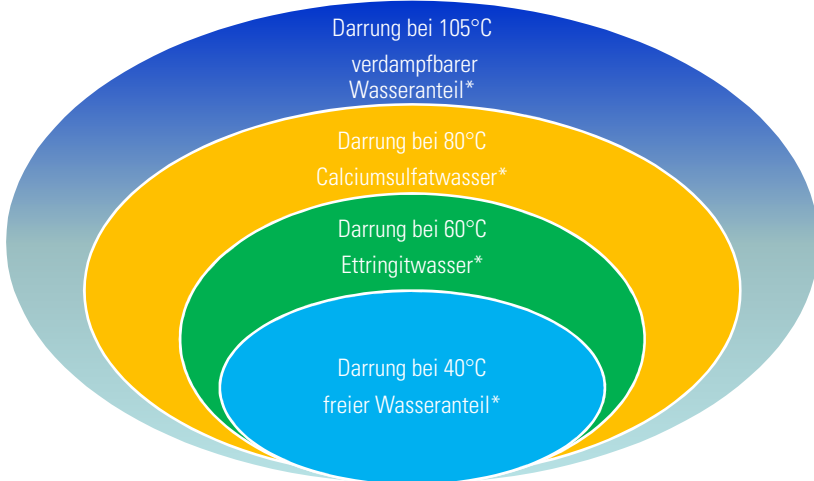
- Zusammenhang Darren / CM – KRL
- Praxiserfahrung CM – KRL Nutzen bei
 - Schadensanalyse
 - Estrich Charakterisierung
 - CM-Rechner

3



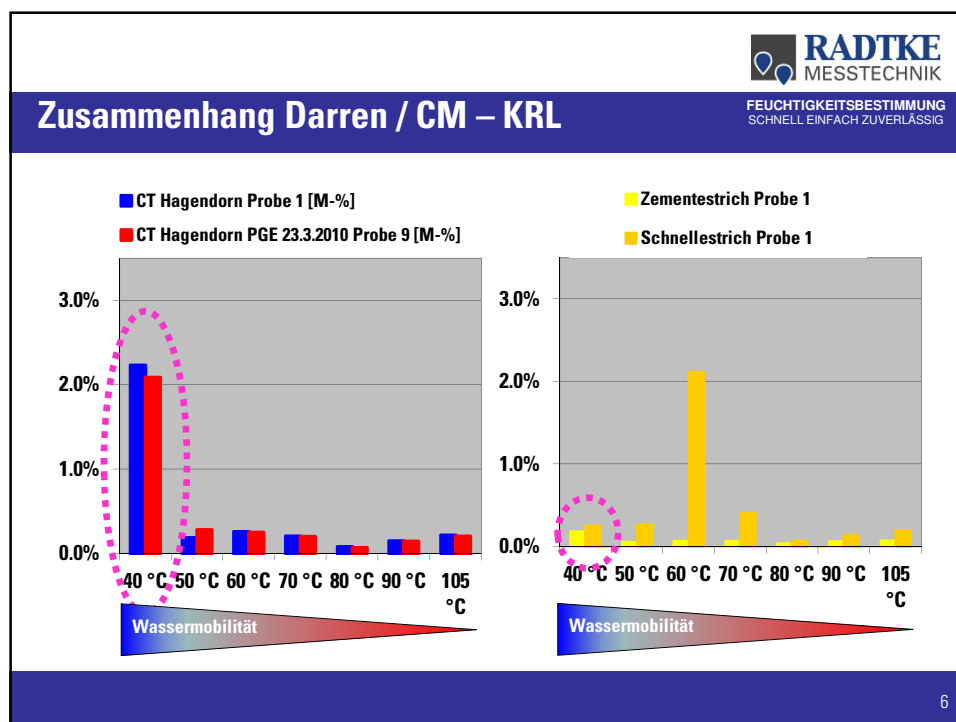
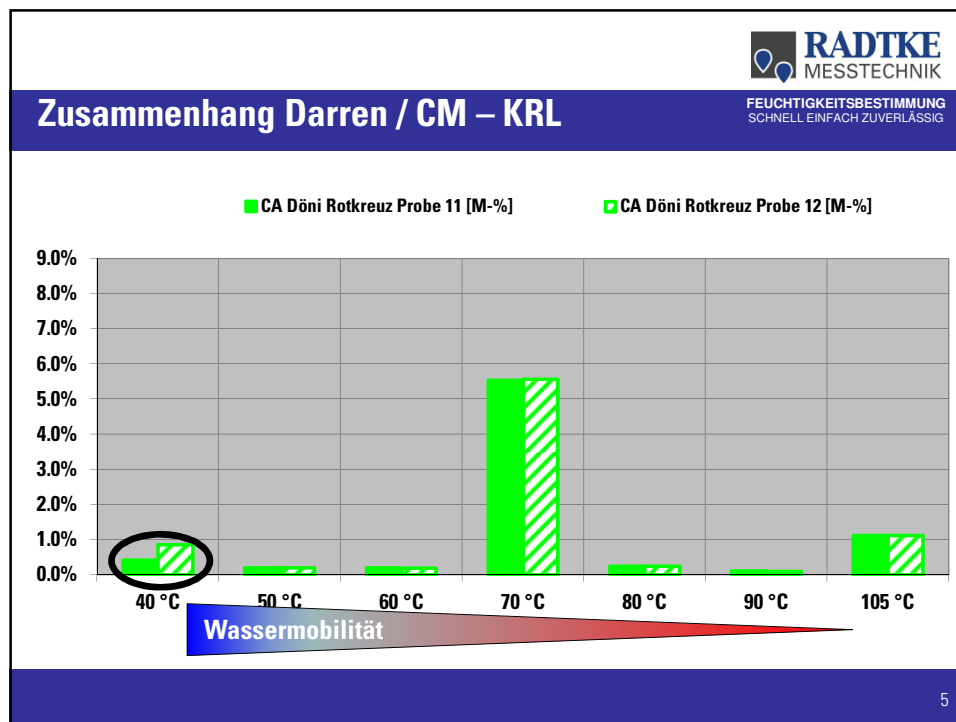
FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

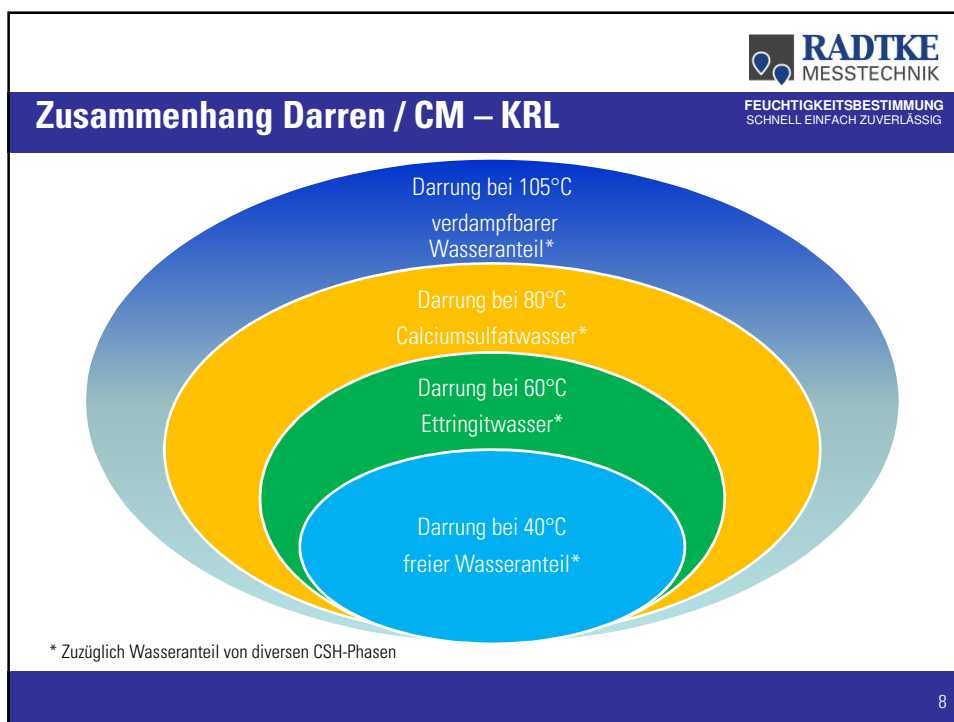
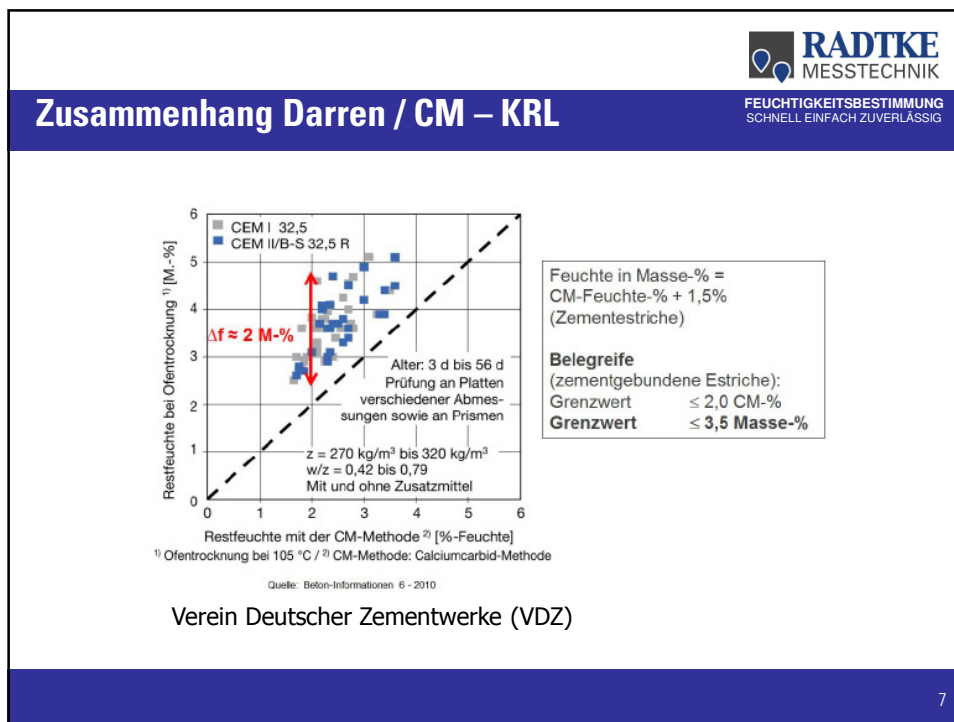
Zusammenhang Darren / CM – KRL



* Zuzüglich Wasseranteil von diversen CSH-Phasen

4





Zusammenhang Darren / CM – KRL



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

IBF Proben von 2011

CEM I 18 Proben

w/z: 0.5 / 0.6

MV: 1:4 / 1:5 / 1:6 / 1:7 / 1:8

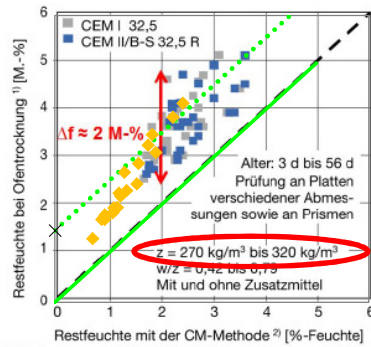
Zusatzmittel: ohne / LP

9

Zusammenhang Darren / CM – KRL



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG



Alter: 3 d bis 56 d
Prüfung an Platten
verschiedener Abmes-
sungen sowie an Prismen

z = 270 kg/m³ bis 320 kg/m³
w/z = 0,42 bis 0,75
Mit und ohne Zusatzmittel

Restfeuchte bei Ofentrocknung ¹⁾ [M.-%]
Restfeuchte mit der CM-Methode ²⁾ [%-Feuchte]

¹⁾ Ofentrocknung bei 105 °C / ²⁾ CM-Methode: Calciumcarbid-Methode

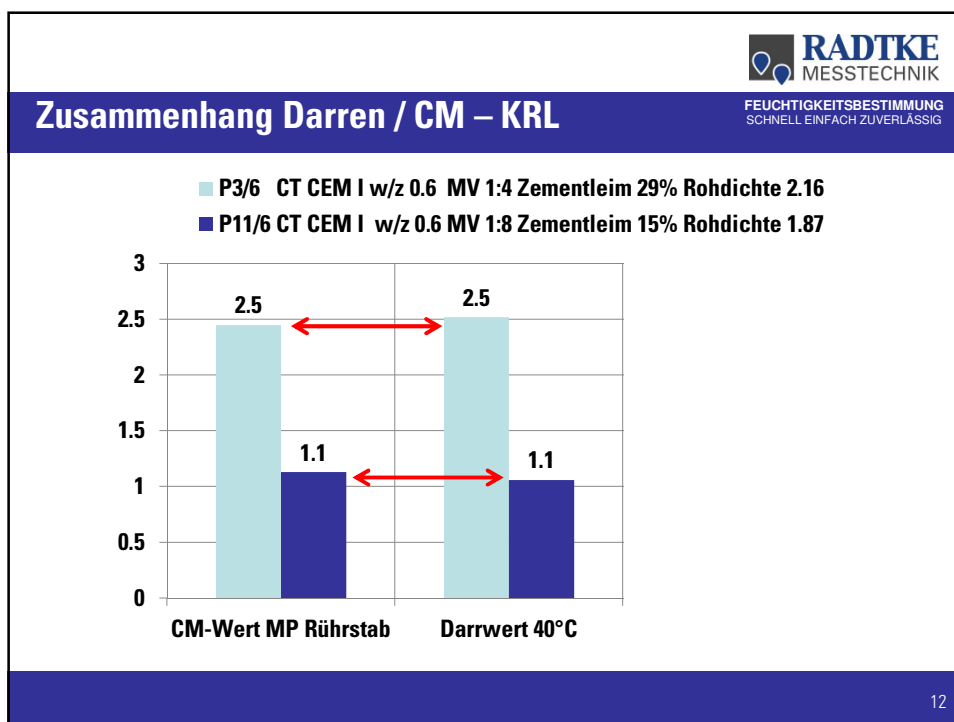
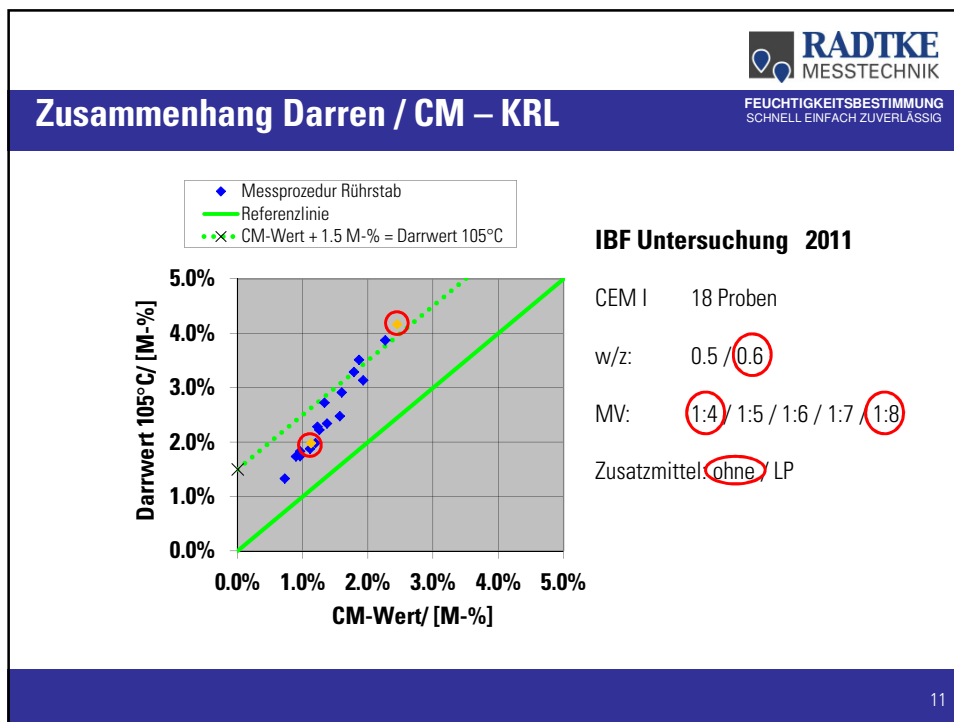
Quelle: Beton-Informationen 6 - 2010

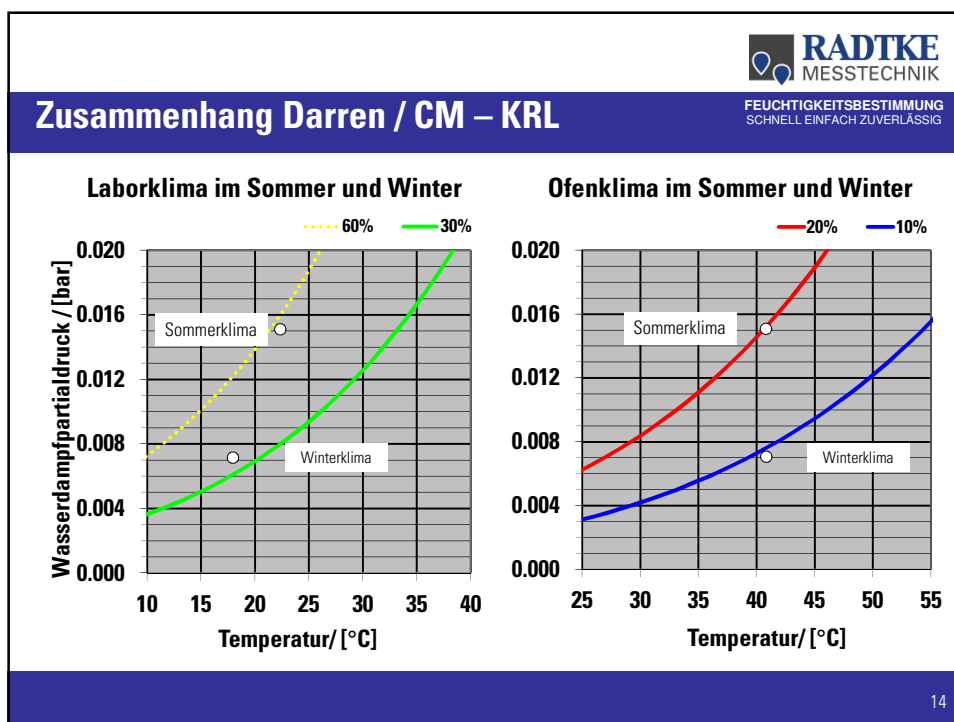
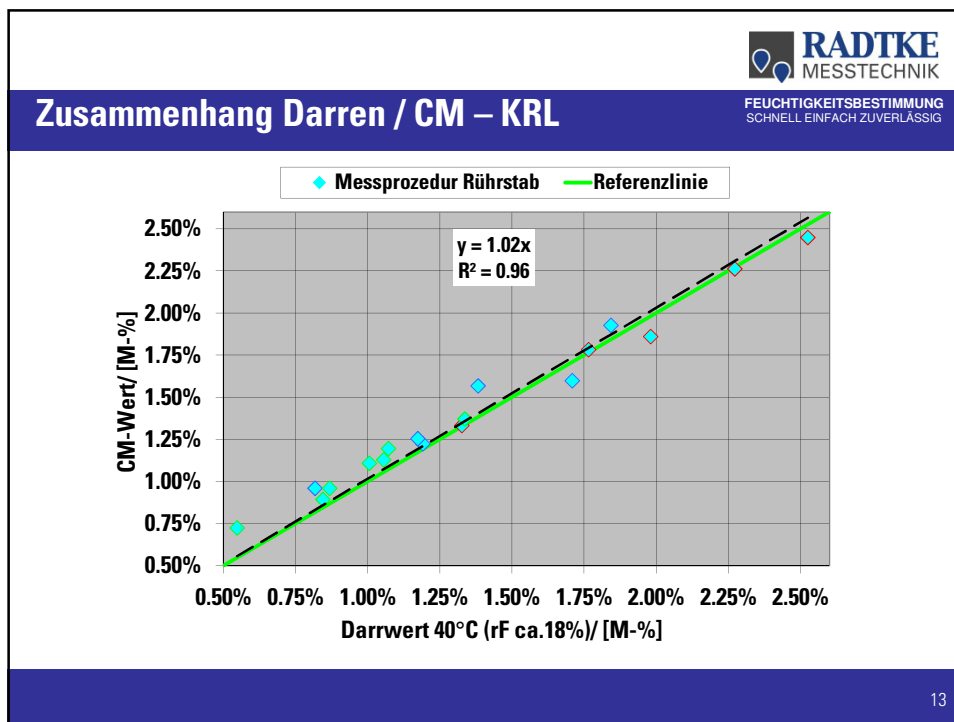
Feuchte in Masse-% =
CM-Feuchte-% + 1,5%
(Zementestriche)

Belegreife
(zementgebundene Estriche):
Grenzwert ≤ 2,0 CM-%
Grenzwert ≤ 3,5 Masse-%

Verein Deutscher Zementwerke (VDZ)

10





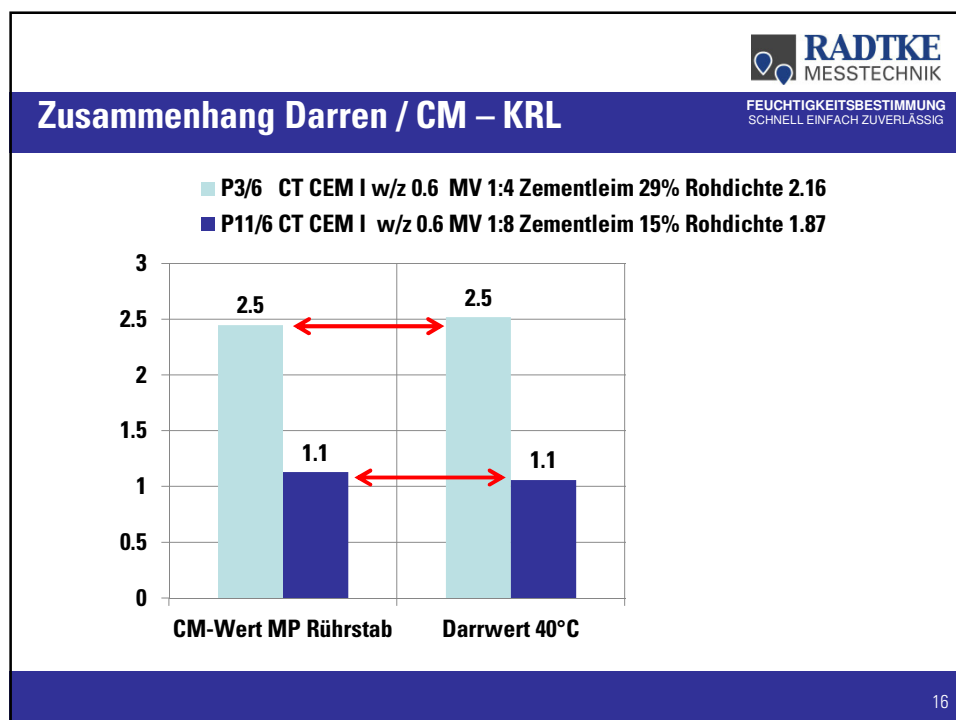
Zusammenhang Darren / CM – KRL

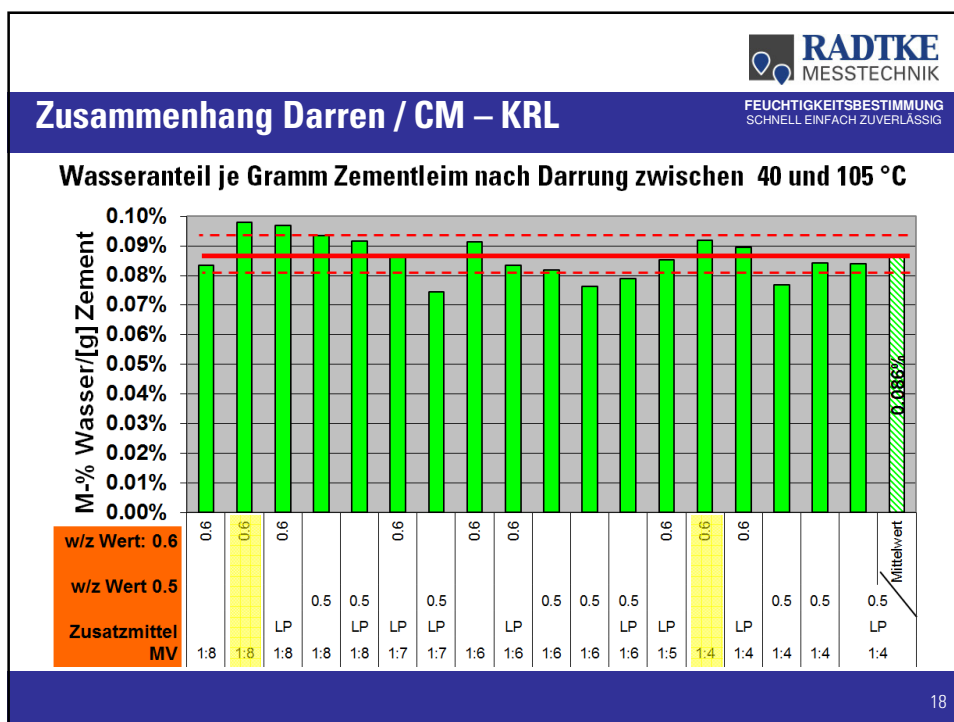
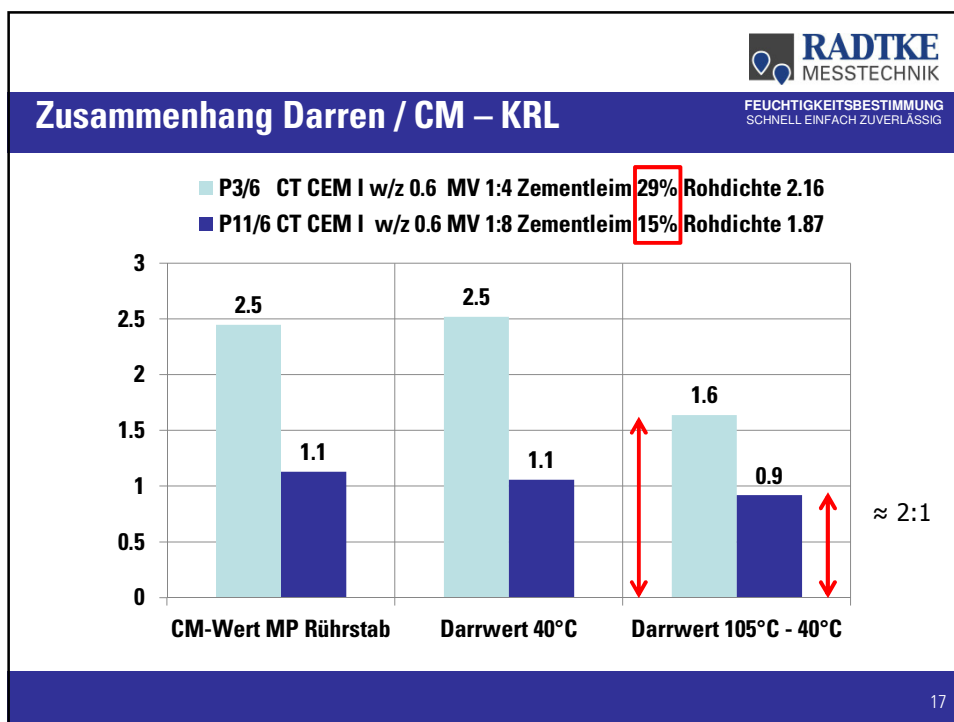


FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

- Darrwert 40°C = CM-Wert
- Aber die Differenz von Darrwert 105°C zu CM-Wert?

15





Zusammenhang Darren / CM – KRL

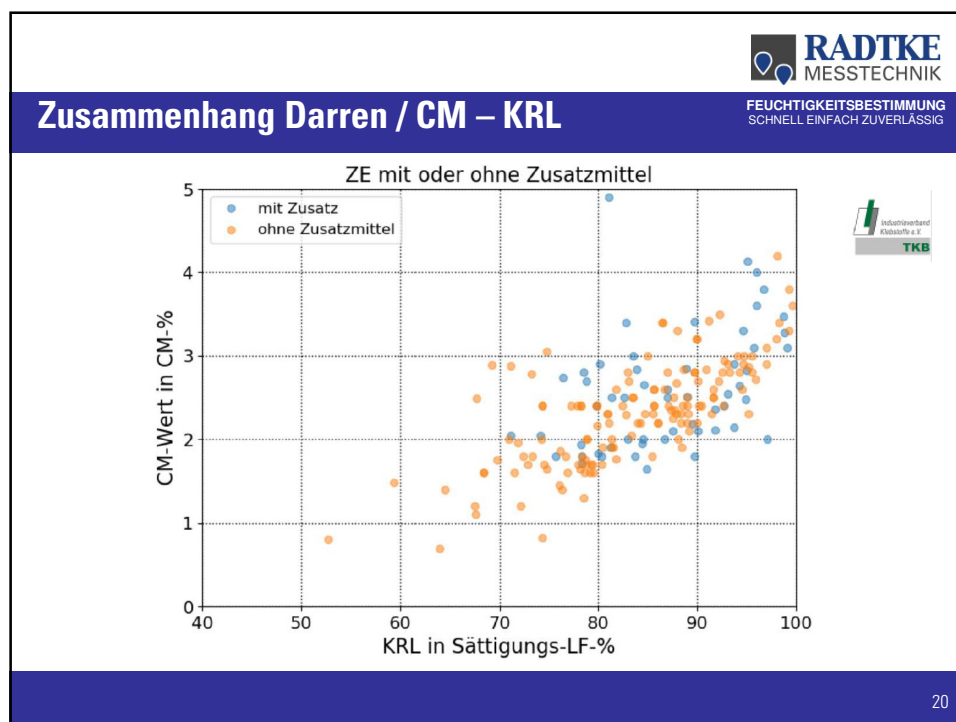


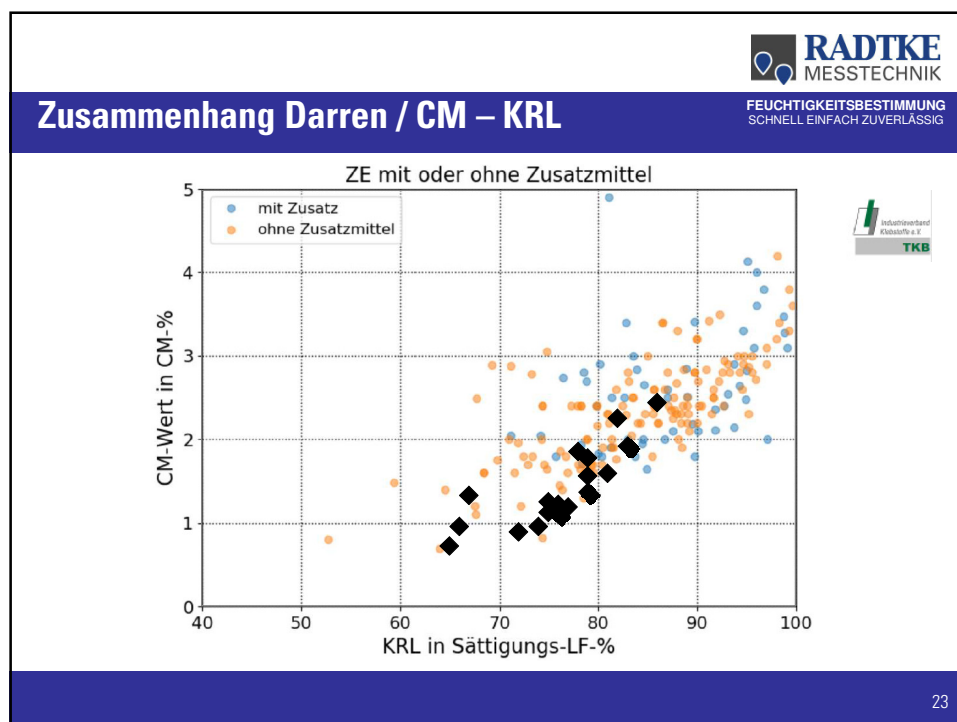
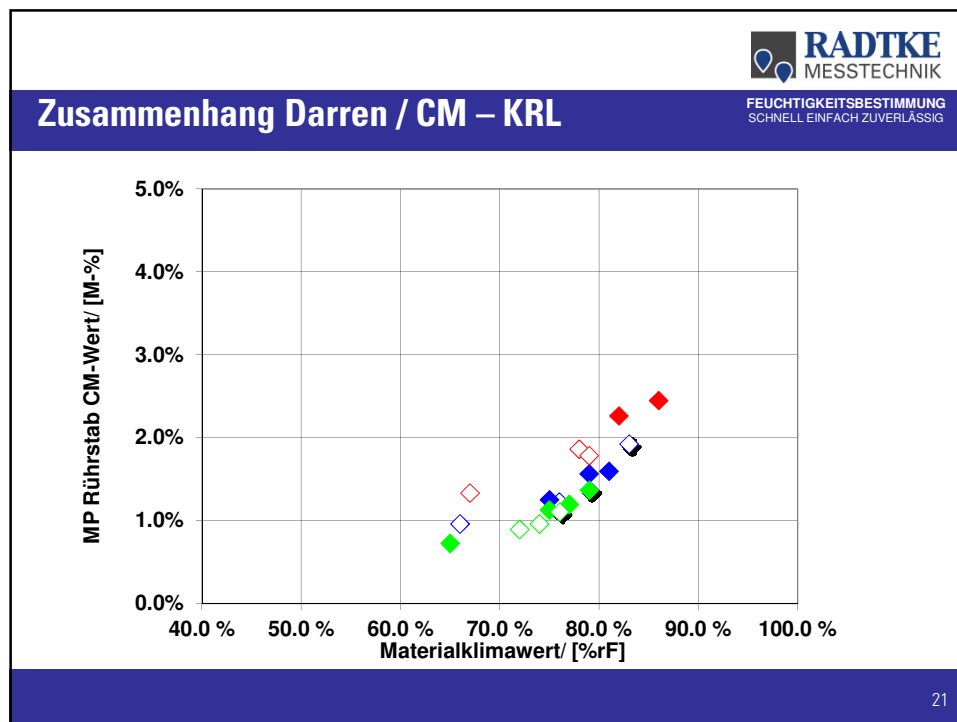
FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

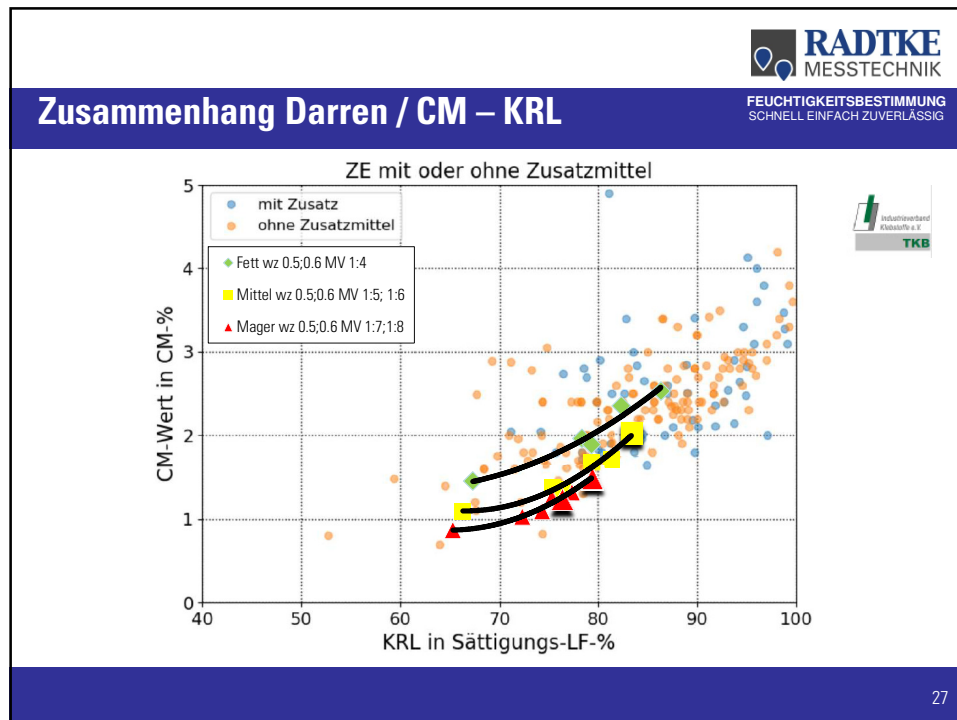
- Darrwert 40°C = CM-Wert
- Aber die Differenz von Darrwert 105°C zu CM-Wert?

-> Zementleimanteil

19







RADTKE MESSTECHNIK
FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Zusammenhang Darren / CM – KRL

- Baustellentauglichkeit der KRL-Methode nicht gewährleistet!
 - Feuchtegleichgewicht sehr temperatursensitiv
 - Belegreifwerte zu konservativ
 - Zeitintensive Sensorkalibrierung
 - Hohe Kostenhürde für Anschaffung $\approx$ EUR 1'200

28


FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Schadensanalyse

- Zusammenhang Darren / CM – KRL
- Praxiserfahrung CM – KRL Nutzen bei
 - Schadensanalyse
 - Estrich Charakterisierung
 - CM-Rechner

29


FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Schadensanalyse

Ausgangslage

- In der XY (Neubau) wurden ca. 1'200 m² PVC-Bodenbelag verlegt.
- Nach einigen Wochen Liegezeit löst sich der Bodenbelag incl. der Spachtelung vom Unterlagsboden ab, im EG wie auch im 1.OG.
- Anhand der Situation vor Ort muss der Schaden mit Feuchtigkeit in Verbindung gebracht werden.
- Der Unterlagsboden ist ein Calciumsulfat-Fliessestrich mit Schnellbinder. Dieser wurde mehrmals gemessen und für trocken befunden.
- Nachdem die Ablösungen entstanden sind wurde der UB nach der Belagsentfernung wieder gemessen und wies einen (massiv) überhöhten Wert auf.
- Gem. diversen Aussagen wurde der UB auf über 40°C Oberflächen-Temperatur aufgeheizt.
- Anhand der Diskussion vor Ort stellte sich heraus, dass über der neu erstellten Stahlbeton-Decke mit grösster Wahrscheinlichkeit keine Absperrung aufgebracht wurde.

32

Schadensanalyse



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Fragestellungen

- Wie viel freies und wie viel gebundenes Wasser liegen im UB vor?
- Ab welcher Temperatur wird das gebundene Wasser im UB freigesetzt?
- Was für einen Wassergehalt weist die Stahlbeton-Decke auf, resp. muss mit aufsteigender Feuchte aus derselben gerechnet werden?
- Falls ja, kann eine Einschätzung abgegeben werden, in welchem Zeitrahmen mit wieviel aufsteigender Feuchte gerechnet werden kann?

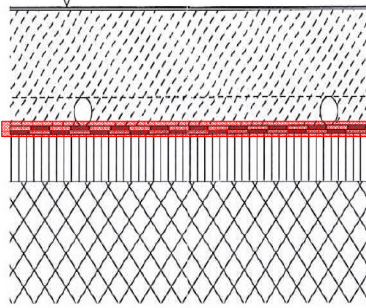
33

Schadensanalyse



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Bodenaufbau



E01
Vinyl (PVC) beheizt
Bodenaufbau über RD 110mm
z.B. Labor

Bahnbelag, GS1, R9 inkl. Chipsbestreue Farben n. RAL/NCS, n. Wahl AG Flächenlast 5kN/m²	2 mm
Estrich gem. SIA 251 CAF-C30-F6 auf Trennschicht	73 mm
Heizrohre (Ø 18mm) im Estrich eingelegt	
Trennlage PE-Folie 2-lagig	5 mm
Dämmung Obenliegend mit Alu-Folie	30 mm
Gesamtaufbau	110 mm
Stahlbetondecke	

34



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Schadensanalyse

- Probennahme
 - Entnahmestelle 1 Schadhafte Stelle und bereits geöffnet
 - Entnahmestelle 2 Schadhafte Stelle ungeöffnet
 - Entnahmestelle 3 Schadensfreie Stelle ungeöffnet

35



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Schadensanalyse



Entnahmestelle 18.12.2017

Entnahmestelle 2

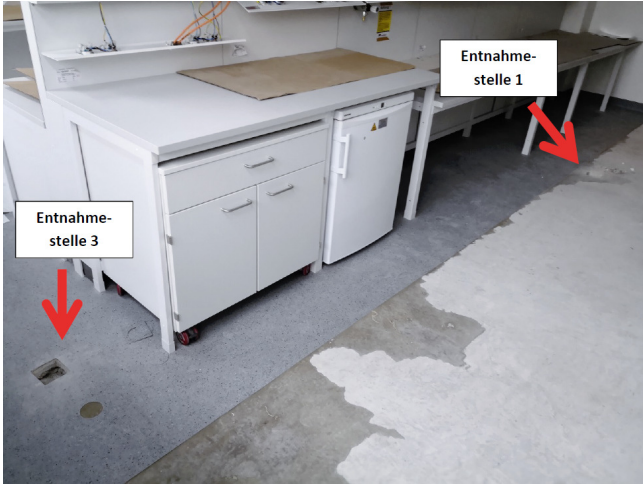
Entnahmestelle 1

36

Schadensanalyse



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG



37

Schadensanalyse



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Ergebnisse

Die nachstehende Tabelle zeigt die Schichtstärken der entnommenen Proben in mm.

Schichtbezeichnung	Entnahmestelle 1	Entnahmestelle 2	Entnahmestelle 3
Spachtelmasse	2-3	2-3	2-3
Calciumsulfestrich obere Lage	0 - 40	0 - 20	0 - 35
Calciumsulfestrich Mitte oben		20 - 40	
Calciumsulfestrich Mitte unten		40 - 60	
Calciumsulfestrich untere Lage	40 - 90	60 - 85	35 - 80
Dämmschicht	30	30	
Betondecke	0 - 10	0 - 10	

40

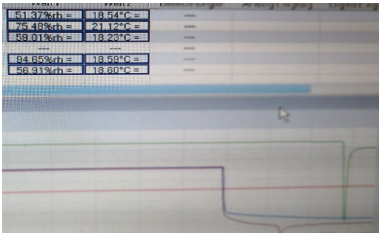
Schadensanalyse



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Untersuchungen

- Bestimmung der KRL / Materialklima-Werte aller 15 Proben, jeweils 5 parallel zueinander
 - Die Restproben werden in CM-Flaschen zwischengelagert.
- Trocknung der Proben bei 40°C, anschliessend bei 50°C, bei 60°C, 80°C und 105°C




41

Schadensanalyse



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Ergebnisse KRL / Materialklima-Messung

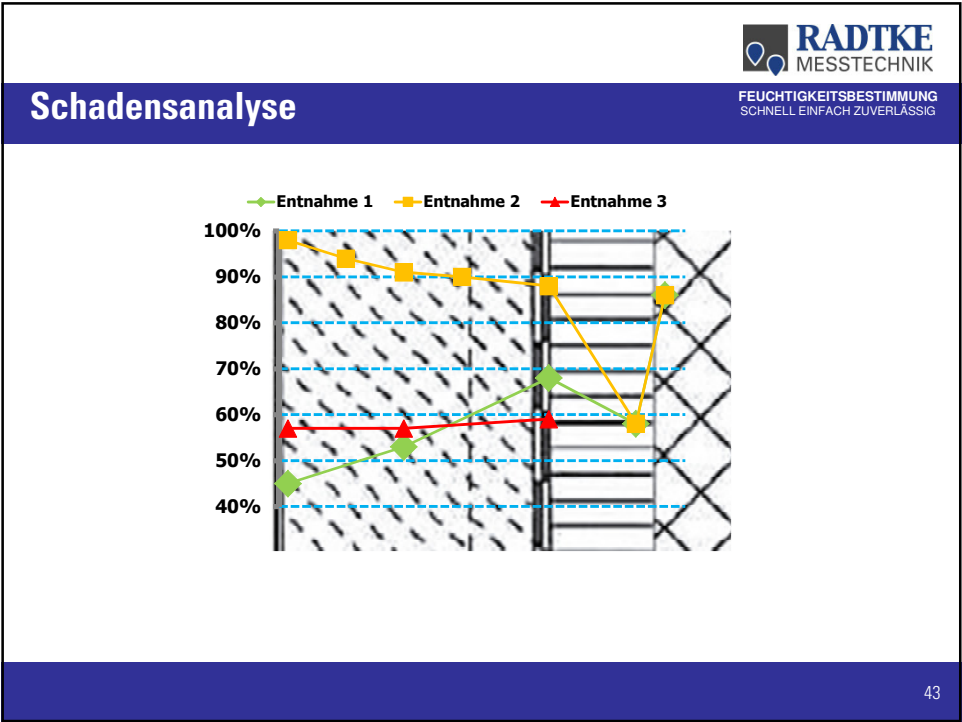
Entnahme 1
Entnahme 2
Entnahme 3

Probennr.	Probenbeschreibung	Materialklima [%rF]
Dampwert	PVC	
Schicht 1	Spachtelmasse	47%
Schicht 2	CAF oberer Teil	77%
Schicht 3	CAF unterer Teil	68%
Schicht 4	Trennlage	
Schicht 5	Dämmung	78%
Schicht 6	Betondecke oberer Teil	80%

Probenbeschreibung	Materialklima [%rF]
PVC	
Spachtelmasse	98%
CAF oberer Teil	94%
CAF Mittelteil 1	91%
CAF Mittelteil 2	90%
CAF unterer Teil	88%
Trennlage	
Dämmung	98%
Betondecke oberer Teil	85%

Probennr.	Probenbeschreibung	Materialklima [%rF]
Dampwert	PVC	
Schicht 1	Spachtelmasse	97%
Schicht 2	CAF oberer Teil	97%
Schicht 3	CAF unterer Teil	92%

42





FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Schadensanalyse

Ergebnisse

Entnahmestelle 1: Schadhafte Stelle bereits geöffnet								
Probennr.	Probenbeschreibung	Materialklima [%rF]	Temperatur Materialklima [°C]	Wassergehalt freies Wasser [M-%] 40°C	Zwischen-Wassergehalt [M-%] 40-50°C	Ettringitwasser [M-%] 50-60°C	Calciumsulfat-wasser [M-%] 60-80°C	Restwasser verdampfbar [M-%] 80-105°C
Dannwert	PVC							
Schicht 1	Spachtelmasse	15%	19	0.5	1.0	5.1	0.0	1.2
Schicht 2	CAF oberer Teil	53%	18	0.1	0.0	0.1	1.0	1.4
Schicht 3	CAF unterer Teil	68%	18	0.2	0.0	0.1	3.5	1.0
Schicht 4	Trennlage							
Schicht 5	Dämmung	58%	18	1.0	0.5	0.3	1.0	-0.8
Schicht 6	Betondecke oberer Teil	86%	18	2.1	0.2	0.1	0.1	0.1

44

 Schadensanalyse FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG								
Entnahmestelle 2: Schadhafte Stelle ungeöffnet								
Probennr.	Probenbeschreibung	Materialklima [%rF]	Temperatur Materialklima [°C]	Wassergehalt freies Wasser [M-%]	Zwischen-Wassergehalt [M-%]	Ettringitwasser [M-%]	Calciumsulfatwasser [M-%]	Restwasser verdampfbar [M-%]
Darmwert				40°C	40-50°C	50-60°C	60-80°C	80-105°C
Schicht 1	BAC							
Schicht 2	Spachtelmasse	98%	19	4.5	1.1	5.5	1	1.4
Schicht 3	CAF oberer Teil	94%	18	0.7	0.0	0.1	5.6	1.7
Schicht 4	CAF Mittelteil 1	91%	18	0.5	0.0	0.1	5.6	1.7
Schicht 5	CAF Mittelteil 2	90%	18	0.4	0.0	0.1	5.5	1.7
Schicht 6	CAF unterer Teil	88%	18	0.4	0.0	0.1	4.8	1.4
Schicht 7	Trennlage							
Schicht 8	Dämmung	58%	19	0.9	0.6	0.3	1.0	0.5
Schicht 9	Betondecke oberer Teil	86%	19	2.3	0.2	0.4	0.2	0.4
Entnahmestelle 3: Schadensfreie Stelle								
Probennr.	Probenbeschreibung	Materialklima [%rF]	Temperatur Materialklima [°C]	Wassergehalt freies Wasser [M-%]	Zwischen-Wassergehalt [M-%]	Ettringitwasser [M-%]	Calciumsulfatwasser [M-%]	Restwasser verdampfbar [M-%]
Darmwert				40°C	40-50°C	50-60°C	60-80°C	80-105°C
Schicht 1	PVC							
Schicht 2	Spachtelmasse	57%	18	0.1	0.8	3.5	0.7	0.9
Schicht 3	CAF oberer Teil	57%	18	0.1	0.0	0.1	5.0	1.5
Schicht 4	CAF unterer Teil	50%	18	0.1	0.0	0.0	3.0	0.9

45

 Schadensanalyse FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG								
Fragestellungen								
- Wie viel freies und wie viel gebundenes Wasser liegen im UB vor? - Die Fussbodenheizung wurde nach dem Verlegen noch stark beheizt. - Ab welcher Temperatur wird das gebundene Wasser im UB freigesetzt? - Wurde durch dieses Heizen die Gipsstruktur des Anhydritestrich zerstört? - Was für einen Wassergehalt weist die Stahlbeton-Decke auf, resp. muss mit aufsteigender Feuchte aus derselben gerechnet werden? - Die Trennlage ging vergessen! - Falls ja, kann eine Einschätzung abgegeben werden in welchem Zeitrahmen mit wieviel aufsteigender Feuchte gerechnet werden kann?								

46



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Schadensanalyse

Schlussfolgerungen

- Estrich war dicker als geplant.
 - Die Estrichdicke an dem Entnahmestellen liegt zwischen 80 und 90mm und weicht damit um bis 17mm von der Nenndicke von 73mm ab. Bei dieser Nenndicke darf ein Estrich gemäss Merkblatt der Pavidensa „PAV-E 13:2017“ 5mm dünner oder 10mm dicker sein.
 - Die Verteilung des Bindemittel über dem Estrichquerschnitt ist heterogen.
- Keine aufsteigende Feuchtigkeit aus der Betondecke zum Zeitpunkt der Untersuchungen feststellbar.
 - Dämmschicht weist die niedrigere KRL-Werte auf, als die direkt benachbarten Schichten. Feuchtigkeit kann also nicht durch diese Schicht gewandert sein.
 - Dämmschicht mit Alufolienkaschierung an der Oberseite; Decke im Stockwerk darunter ist offen.
- Ursache für Schaden -> mangelhaft ausgeführte Probennahme (siehe Bild nächste Folie)
- Aber auch! Datenblatt des Estrichlieferanten liefert Hinweis zu höherem CM-Wert!

47



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Schadensanalyse



Entnahmestelle für
CM-Messung vom
18.12.2017

48

Schadensanalyse	
 FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG	
Technische Daten	
Bindemittel:	Calciumsulfat, Zusätzlich Pulvergemisch auf der Basis von Zement und Zusatzstoffen
Zuschläge:	Sande aus geeigneten Kieswerken in der Region
Verbrauch:	ca. 19kg/m ² je 10mm Einbaustärke
Wasserbedarf:	16-18%
Frischmörtelrohdichte:	ca. 2.2 kg/dm ³
Trockenrohdichte:	ca. 2.0 kg/dm ³
Begehbarkeit:	ca. nach 24 Stunden
Belastbarkeit:	nach 3 Tagen
Vollbelastbarkeit:	<1.0% (CM)
Belegereife:	≤1.0 CM% beheizt und unbeheizt. Je nach klimatischen Bedingungen, Verlegereife 10-12 Tage
CAF-C30-F6:	Druckfestigkeit > 30 N/mm ² / Biegezugfestigkeit > 6 N/mm ² Einstufung nach EN 13813: CAF-C30-F6 Haftzugfestigkeit >1.2 N/mm ²
CAF-C35-F7:	Druckfestigkeit > 35 N/mm ² / Biegezugfestigkeit > 6.5 N/mm ² Einstufung nach EN 13813: CAF-C35-F7 Haftzugfestigkeit >1.5 N/mm ²
Schichtdicke:	gemäss SIA 251
Schleifen notwendig:	Nein
Reinigungsschliff notwendig:	Ja
Wärmeleitzahl:	ca. 1,2 W/mK
Thermische Belastbarkeit:	max. 55°C
Brennbarkeit:	Unbrennbar

49

Estrich Charakterisierung	
 FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG	
- Zusammenhang Darren / CM – KRL - Praxiserfahrung CM – KRL Nutzen bei - Schadensanalyse - Estrich Charakterisierung - CM-Rechner	

50



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Estrich Charakterisierung

Estrichproben-Charakterisierung mittels sequentieller Sorptionsisotherme

51



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Estrich Charakterisierung

- «Sequentielle Sorptionsisotherme» durch
Kombination von KRL und CM:

52



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Estrich Charakterisierung

- Partielle Trocknung mit CM durch Begrenzung der Carbidmenge. z.B. 0.5g Wasser pro Ampulle

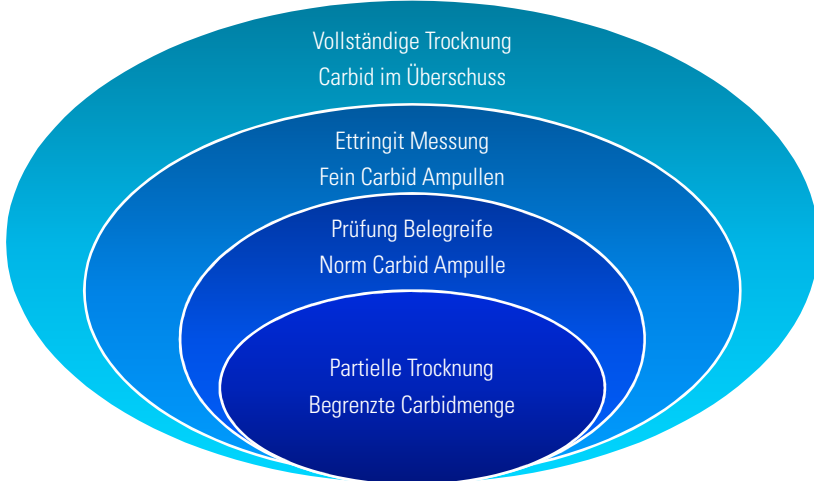


53



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Estrich Charakterisierung



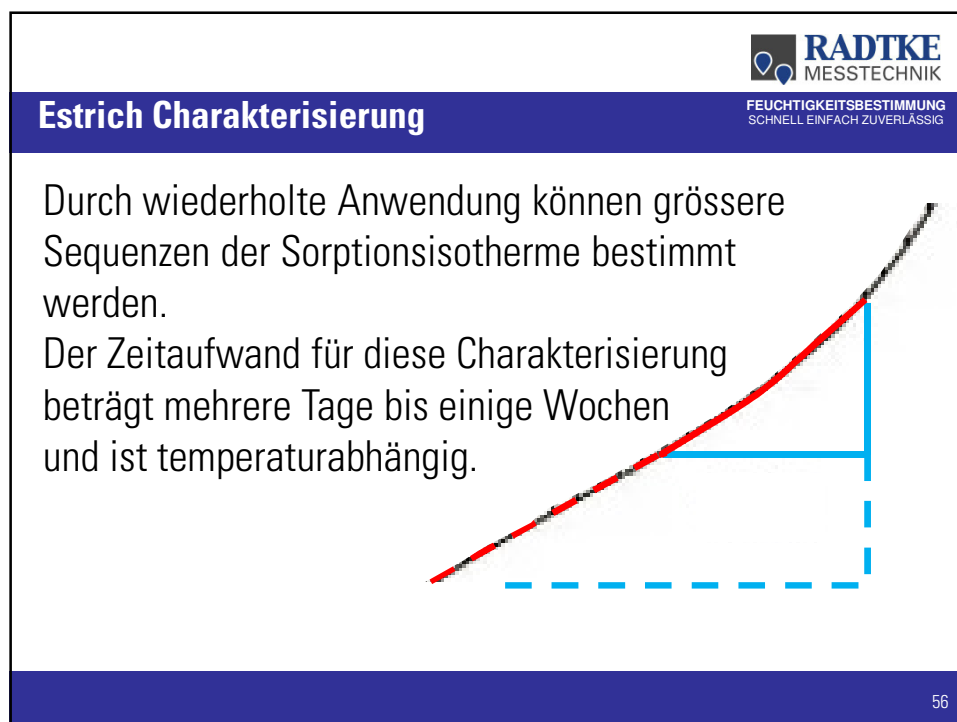
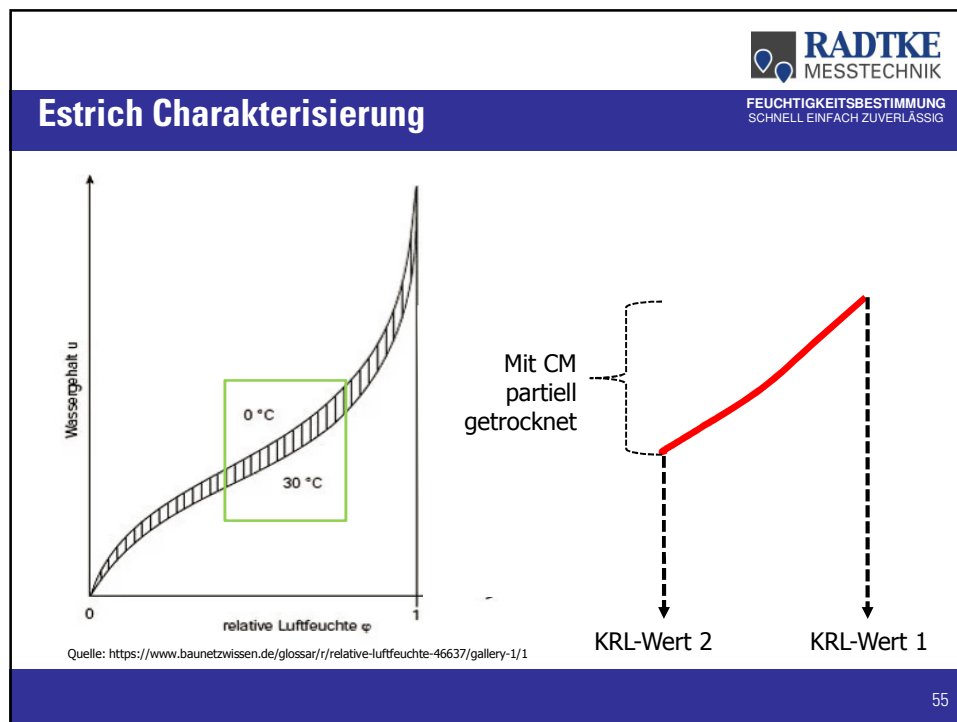
Vollständige Trocknung
Carbid im Überschuss

Ettringit Messung
Fein Carbid Ampullen

Prüfung Belegreife
Norm Carbid Ampulle

Partielle Trocknung
Begrenzte Carbidmenge

54



Estrich Charakterisierung



RADTKE
MESSTECHNIK

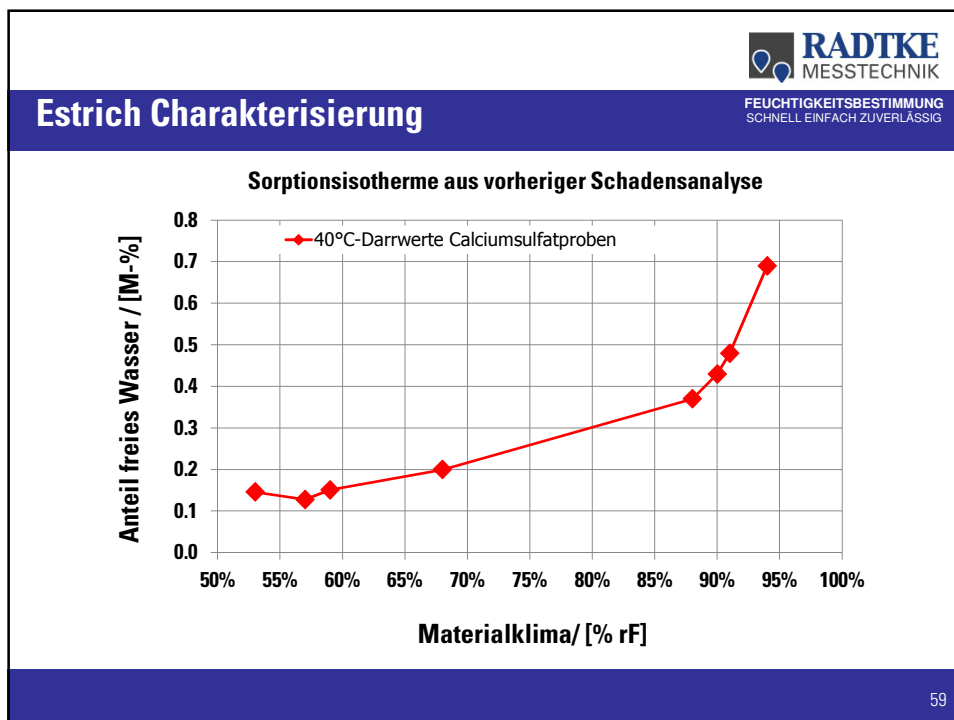
FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

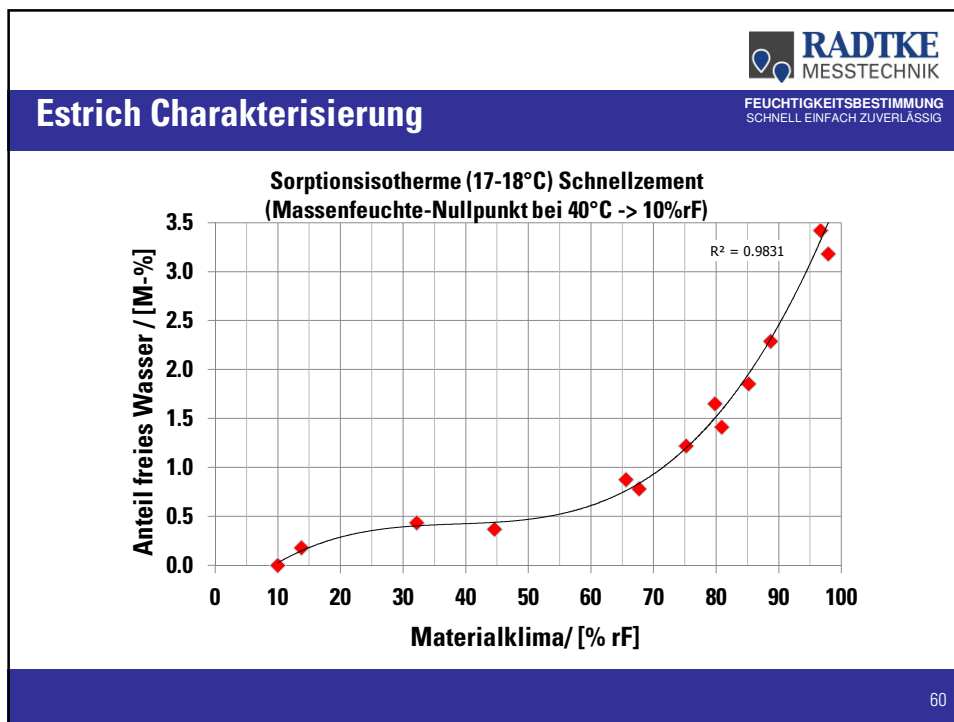
Entnahmestelle 2: Schadhafte Stelle ungeöffnet

Probennr.	Probenbeschreibung	Materialklima [%rF]	Temperatur Materialklima [°C]	Wassergehalt freies Wasser [M- %] 40°C	Zwischen- Wassergehalt [M-%] 40-50°C	Ettringitwasser [M-%] 50-60°C	Calciumsulfatwasser [M-%] 60-80°C	Restwasser verdampfbar [M-%] 80-105°C
Schicht 1	PVC							
Schicht 2	Spachtelmasse	98%	19	4,5	1,1	5,5	1	1,4
Schicht 3	CAF oberer Teil	94%	18	0,7	0,0	0,1	5,6	1,7
Schicht 4	CAF Mittelteil 1	91%	18	0,5	0,0	0,1	5,6	1,7
Schicht 5	CAF Mittelteil 2	90%	18	0,4	0,0	0,1	5,5	1,7
Schicht 6	CAF unterer Teil	88%	18	0,4	0,0	0,1	4,8	1,4
Schicht 7	Isolierung							
Schicht 8	Dämmung	58%	19	0,9	0,6	0,3	3,6	0,5
Schicht 9	Betondecke oberer Teil	80%	19	7,3	0,7	0,4	0,7	0,4

Entnahmestelle 3: Schadensfreie Stelle

Probennr.	Probenbeschreibung	Materialklima [%rF]	Temperatur Materialklima [°C]	Wassergehalt freies Wasser [M- %] 40°C	Zwischen- Wassergehalt [M-%] 50-50°C	Ettringitwasser [M-%] 50-60°C	Calciumsulfatwasser [M-%] 60-80°C	Restwasser verdampfbar [M-%] 80-105°C
Darmwert	PVC							
Schicht 1	Spachtelmasse	57%	18	0,1	0,8	3,5	0,7	0,9
Schicht 2	CAF oberer Teil	57%	18	0,1	0,0	0,1	5,6	1,5
Schicht 3	CAF unterer Teil	50%	18	0,2	0,0	0,0	3,6	0,9

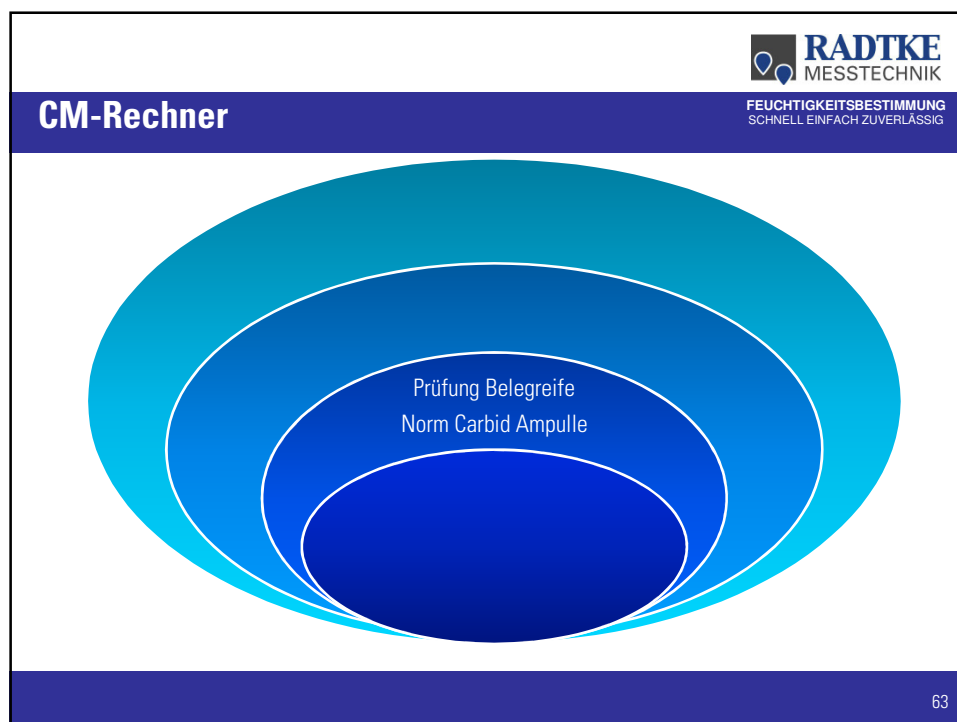
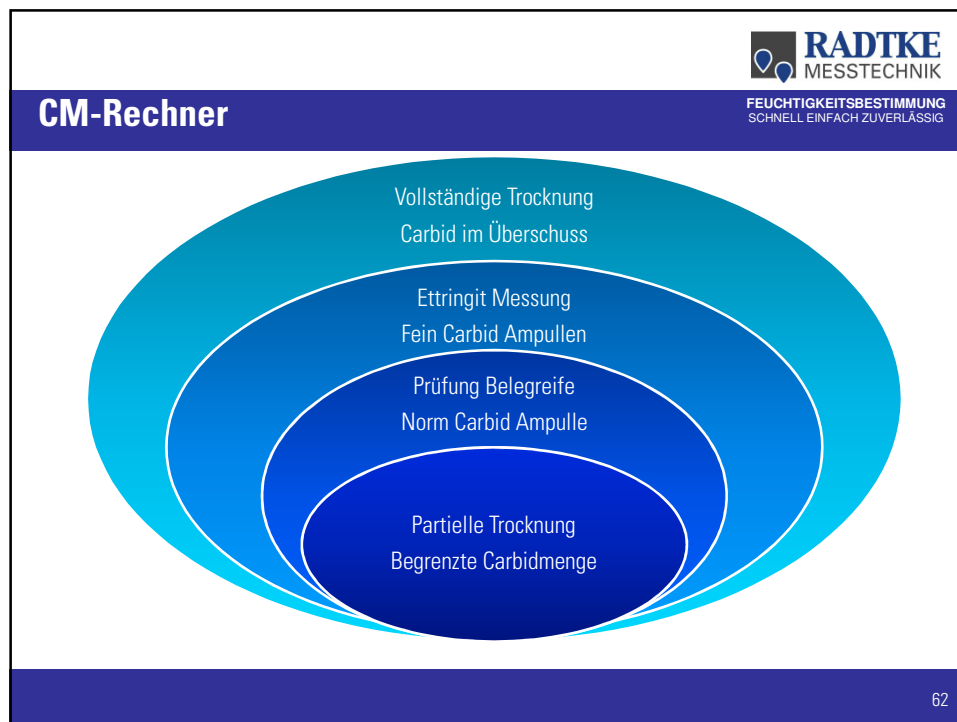




CM-Rechner

- Zusammenhang Darren / CM – KRL
- Praxiserfahrung CM – KRL Nutzen bei
 - Schadensanalyse
 - Estrich Charakterisierung
 - CM-Rechner

61





FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

CM-Rechner

- Kombinierte CM-Messung: KRL / CM
 - Fixpunkt $25\%rF \triangleq 0$ M-% freies Wasser
 - Bedingt linearen Verlauf der Sorptionsisotherme

KRL-Wert Belegreife



64



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

CM-Rechner



65



FEUCHTIGKEITSBESTIMMUNG
SCHNELL EINFACH ZUVERLÄSSIG

Vielen Dank



Koordinaten:

Frank Radtke

Dr. Radtke CPM Chemisch-Physikalische Messtechnik AG
Lättichstrasse 4a
6340 Baar/ Schweiz

Web: www.radtke-messtechnik.com
Youtube: www.youtube.com/c/Radtke-messtechnik
E-mail: frank@cpm-radtke.com
Büro: +41 41 710 00 32

66