

TKB-Bericht 5

Stand: September 2020

Aktualisierung zur Version September 2018)



Industrieverband
Klebstoffe e.V.

Belegreife und Feuchte:

Ein Ringversuch zur Feuchtemessung mit der KRL- Methode

Erstellt von der Technischen Kommission Bauklebstoffe (TKB) im
Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Datenerfassung und Auswertung.....	3
2.1 Messgeräte und Teilnehmer	3
2.2 Formular zur Erfassung der Messdaten und Einlesen der Daten für die Auswertung	3
2.3 Aufbereitung der Messdaten und Zusammenstellung in einer Datenbank.....	3
2.4 Visualisierung der Daten	3
2.5 Regressionsfunktionen	3
3. Ergebnisse und Diskussion.....	4
3.1 Wie messen Experten Feuchte tatsächlich?.....	4
3.1.1 Probenahmeort	4
3.1.2 Messdaten nach Teilnehmern.....	6
3.1.3 Messbehälter: PE-Beutel/Flasche und CM-/ Stahlflasche	8
3.2. Messergebnisse.....	12
3.2.1 Wie ist die Bandbreite der Daten?	12
3.2.2 Wie ist die Korrelation der verschiedenen Messmethoden?	13
3.2.3 KRL-Werte für bekannte CM-Grenzwerte der Belegreife.....	18
4. Zusammenfassung	18

1. Einleitung

Die Feuchte von Unterböden ist ein wichtiges Kriterium für die sogenannte Belegreife, der Zustand, in dem der Unterboden mit Bodenbelägen oder Parkett belegt werden kann.

In den vergangenen Jahren hat die TKB, teilweise in Zusammenarbeit mit verschiedenen Universitätsinstituten, zu diesem Thema eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war es,

1. das Trocknungsverhalten alter und heutiger Estrichrezepturen zu verstehen, ggf. auch mathematisch modellieren zu können,
2. Kriterien für die Belegreife von Estrichen zu entwickeln, die nicht nur empirisch, sondern auch theoretisch begründbar sind,
3. Existierende und neue Messmethoden auf ihre Aussagekraft in Bezug auf den Feuchtezustand von Estrichen zu untersuchen und zu beschreiben,
4. Messgeräte auf ihre Eignung zu prüfen

Die TKB hat inzwischen 5 Berichte sowie ein "Fragen und Antworten" zum Thema „Belegreife und Feuchte“ publiziert:

1. TKB Bericht 1
„Versuche zur Trocknung von Estrichen“¹
2. TKB Bericht 2
„Die KRL-Methode zur Bestimmung der Feuchte in Estrichen“²
3. TKB Bericht 3
„Geeignete Messgeräte zur Feuchtebestimmung nach der KRL-Methode“³ und
4. TKB Bericht 4
„Sorptionsisothermen und die Interpretation von KRL-Messungen“⁴
5. TKB Bericht 5
„Ein Ringversuch zur Feuchtemessung mit der KRL-Methode“⁵
6. „Fragen und Antworten der TKB zur KRL-Methode“⁶

Während durch die genannten Berichte eine sehr solide theoretische Grundlage für die Methode existiert,

¹ TKB-Bericht 1: Belegreife und Feuchte – Versuche zur Trocknung von Estrichen, Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, 2012

² TKB-Bericht 2: Belegreife und Feuchte – Die KRL-Methode zur Bestimmung der Feuchte in Estrichen; Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, 2013

³ TKB-Bericht 3: Belegreife und Feuchte – Geeignete Messgeräte zur Feuchtebestimmung nach der KRL-Methode; Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, 2016, Ergänzt 2019

⁴ TKB-Bericht 4: Belegreife und Feuchte – Sorptionsisothermen und die Interpretation von KRL-Messungen; Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, 2018

⁵ TKB-Bericht 5: Belegreife und Feuchte – Ein Ringversuch zur Feuchtemessung mit der KRL-Methode; Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, 2018

⁶ Fragen und Antworten der TKB zur KRL-Methode; Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf, 2020

erscheint der TKB auch die praktische Erprobung der Methode im Baustellenalltag als sehr wichtig. Zur Prüfung der Praxistauglichkeit der KRL-Methode und zur Herstellung eines Dialoges mit Sachverständigen und Nutzern der Methode wurde ein Ringversuch organisiert. Erste Ergebnisse wurden davon 2018 im TKB Bericht 5 veröffentlicht, diese Fassung des TKB Berichts 5 von 2020 verdoppelt nun die Anzahl an Messdaten und gibt eine breitere Datenbasis. Durch andere Untersuchungen wurde in der Zwischenzeit auch das Verständnis für die Methode verbessert, daher wurden die Interpretationen diesem gewachsenen Kenntnisstand angepasst.

2. Datenerfassung und Auswertung

Ursprünglich wurden die Vorgaben zum Ringversuch an die Beteiligten in einem Vorbereitungstreffen am 14. März 2017 übergeben und erläutert. Daten sollten bis Ende 2017 eingesandt werden. Diese Daten stellen die Basis für die erste Fassung dieses Berichts dar. In den folgenden Jahren wurde von verschiedenen Beteiligten weiter gemessen; die Daten wurden weiter gesammelt. Dieser Bericht enthält nun Daten aus den Jahren 2017 bis 2019.

2.1 Messgeräte und Teilnehmer

Allen Beteiligten wurden kalibrierte Messgeräte der Fa. Rotronic (Spezifikationen findet man im TKB-Bericht 3, Gerät: Rotronic Hygropalm) zur Verfügung gestellt. Durch die beigelegten Salzlösungen war eine Überprüfung der Kalibrierung individuell möglich. Ein Gerät wurde während des RV defekt gemeldet.

Insgesamt wurden 28 Messgeräte ausgegeben, 19 Teilnehmer haben Daten gemeldet, diese waren auf 15 Teilnehmerblöcke verteilt (einige Stellen hatten mehrere Messgerätbenutzer, die aber nur unter einem Namen gemeldet haben).

2.2 Formular zur Erfassung der Messdaten und Einlesen der Daten für die Auswertung

Für die Erfassung der Messdaten wurde ein Formular (Excel-Tabelle) zur Verfügung gestellt, die Einträge konnten dabei frei strukturiert werden. Um typgerechte Daten zu erhalten, mussten die Rohdaten daher bearbeitet werden (siehe 2.3).

2.3 Aufbereitung der Messdaten und Zusammenstellung in einer Datenbank

Die in Excel-Dateien vorliegenden Daten wurden weitgehend automatisch mit Python-Skripten als Text eingelesen und nach Bedarf automatisch korrigiert. Dazu wurden sog. "Regular Expressions"⁷ verwendet, insbesondere wurden Dezimal-Punkte gegen Kommas getauscht, Zahlen von Text getrennt, usw. Wenn damit ein Einlesen der Daten nicht möglich war, wurden die Daten in einigen Fällen auch "per Hand" sinnvoll formatiert/angepasst. Für die weitere Verwendung wurden die Daten anonymisiert, allerdings so, dass gruppengleiche Daten gleiche Codes erhalten haben; typischerweise ein einfacher Buchstabe, bspw. findet man die Teilnehmer als A, B, C, ... in der Liste wieder. Die Daten sind in einer zeilenorientierten Form abgelegt, d. h. Daten einer Messung liegen in einer Zeile vor. Der Inhalt der Zellen wird durch den Spaltenkopf festgelegt. Eine Tabelle der Daten findet man separat zu diesem Bericht im CSV-Format (Semikolon als Delimiter, Zahlen mit Dezimal-Kommas).

Insgesamt findet man in der Tabelle ca. 20 000 Datenpunkte für 503 Estrich-Datensätze.

2.4 Visualisierung der Daten

Von den Daten wurden durch Skripte Grafiken erzeugt. In Kapitel 3 findet man eine Auswahl, diese und weitere Grafiken findet man im png-Format auf dem Server des IVK als Zusatzdokumentation zu diesem Bericht.

2.5 Regressionsfunktionen

Alle ermittelten Messdaten haben geschätzte relative Fehler in einer Größenordnung von mindestens ca. +/- 10 % (siehe hierzu Kapitel 3.1). Für Regressionsberechnung kann daher nicht die übliche „Methode der kleinsten Quadrate“ verwendet werden, da diese als Grundannahme hat, dass der relative Fehler der vorgegebenen Größe deutlich kleiner ist, als der der gemessenen Größe. Es wurde daher für alle Regressionsrechnungen die „Methode der orthogonalen kleinsten Quadrate“⁸ mit den o. g. Fehlern benutzt. Die benutzten Funktionen werden mit den Parametern in den Legenden der Graphiken aufgeführt, dabei bedeutet:

$$0,105(6) = 0,105 \pm 0,006$$

(Wert +/- Standardabweichung).

⁷ Siehe: https://de.wikipedia.org/wiki/Regul%C3%A4rer_Ausdruck
Speziell wurde das folgende Python Modul verwendet:
<https://docs.python.org/3/library/re.html>

⁸ Eine Einführung findet man z. B. auf Wikipedia:
https://de.wikipedia.org/wiki/Orthogonale_Regression
Für die Berechnungen wurde das scipy.odr Modul verwendet:
<https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/odr.html>

3. Ergebnisse und Diskussion

Alle nachfolgenden Grafiken sind ähnlich aufgebaut. Wesentliche Elemente werden in Abbildung 1 benannt:

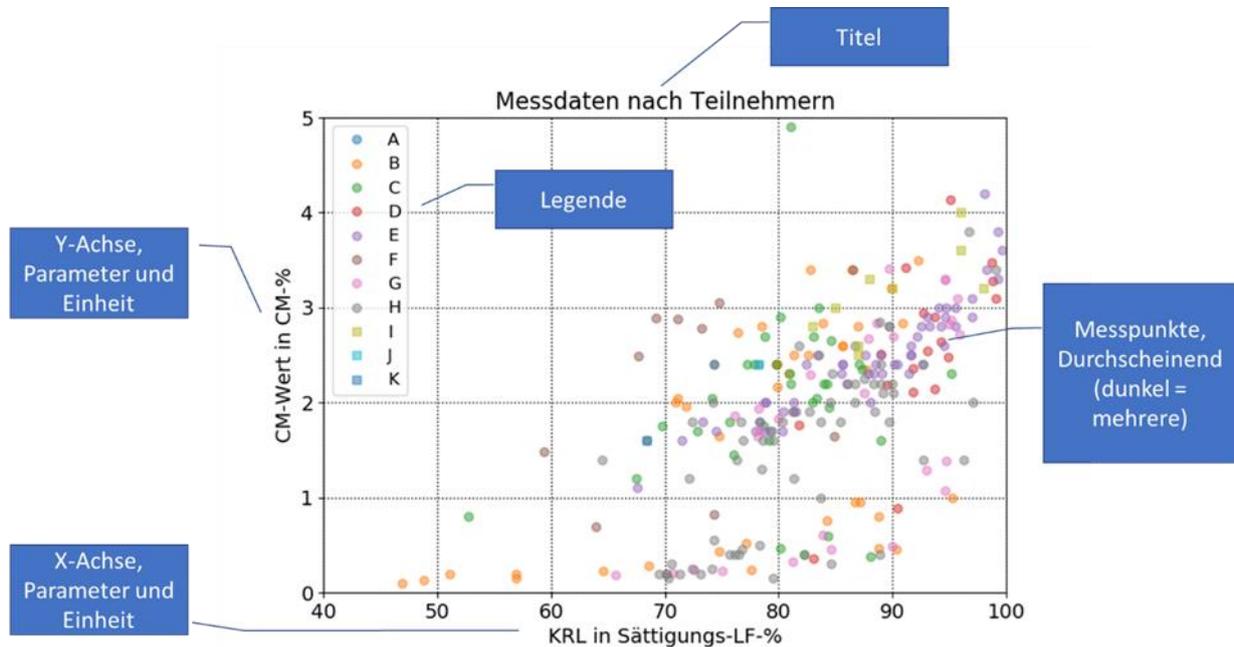


Abbildung 1

Alle Datenpunkte werden als Kreis oder Quadrat, in verschiedenen „durchscheinend“ („transluzenten“) Farben dargestellt. Dadurch kann man erkennen, wenn Daten (teilweise) übereinander liegen. Sie zeigen dann entweder eine Mischfarbe (Punkte mit unterschiedlicher Legende) oder eine dunklere Farbe (Punkte mit gleicher Legende). Bei einigen Darstellungen werden Daten aus 2 Spalten kombiniert, so wird z. B. häufiger angezeigt „Darrf. (40 u. 105 °C) in M-%“.

3.1 Wie messen Experten Feuchte tatsächlich?

Die oben genannte, den Experten zur Verfügung gestellte Messvorschrift, hat relativ große Freiheitsgrade. Zunächst soll daher beschrieben werden, wie diese Freiheitsgrade genutzt wurden. Insbesondere:

- Ort der Probenahme (Obere Hälfte/Untere Hälfte/Querschnitt?)
- KRL in PE-Beutel/Flasche oder CM-/Stahlflasche
- KRL-Einwaage
- Einfluss der Außenbedingungen auf das Messergebnis

3.1.1 Probenahmeort

Abbildung 2 zeigt CM- und KRL-Messdaten nach Probenahmeort. Die Verteilung der Daten lässt erkennen, dass hier sowohl Daten für Zement- wie auch calciumsulfatbasierte Estrich vorliegen.

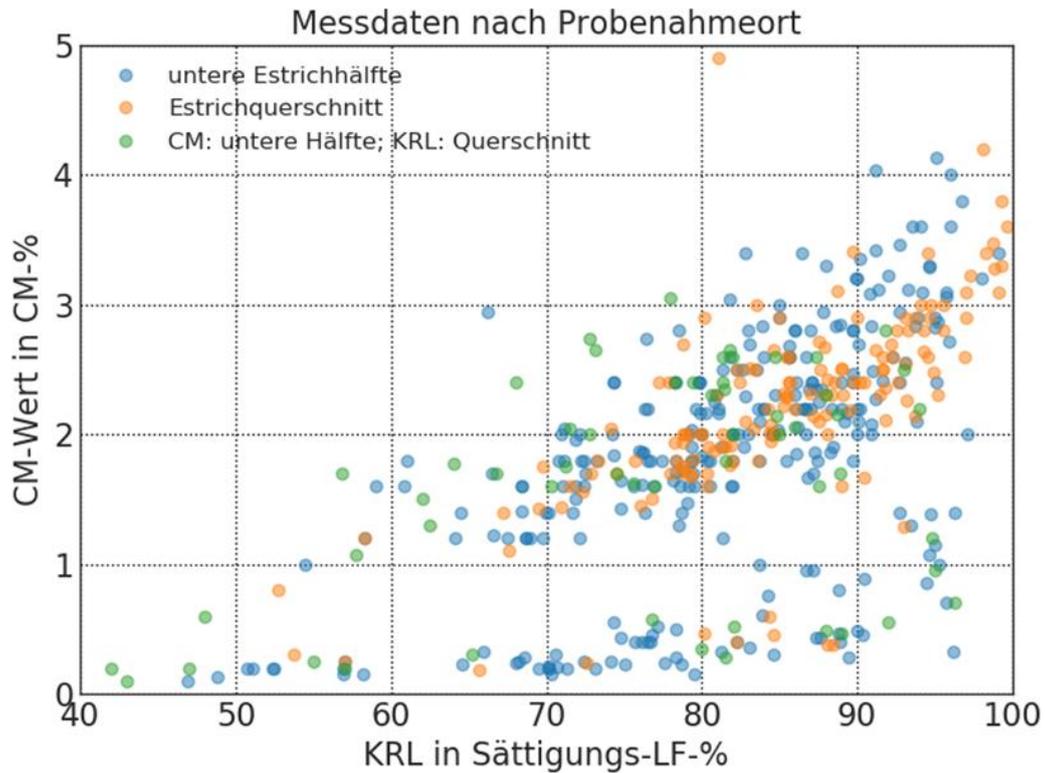


Abbildung 2

Abbildung 3 und 4 zeigen die entsprechenden Darr-, CM- und KRL-Daten. Darr-Werte wurden nur von Zementestrichen (Darrfeuchte bei 105 °C) ermittelt, daher liegt hier nun eine monomodale Verteilung vor.

Auch wurden hier die Daten überwiegend nach einer Probenahme aus dem Estrichquerschnitt (51) ermittelt (Untere Hälfte: 7).

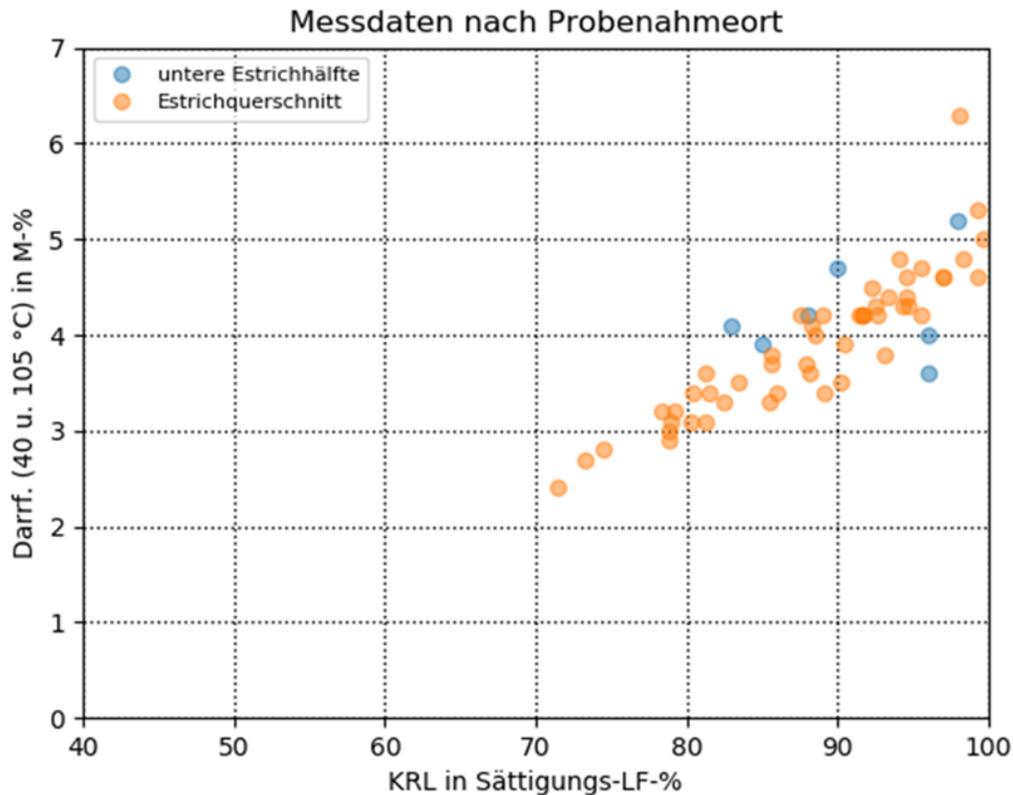


Abbildung 3

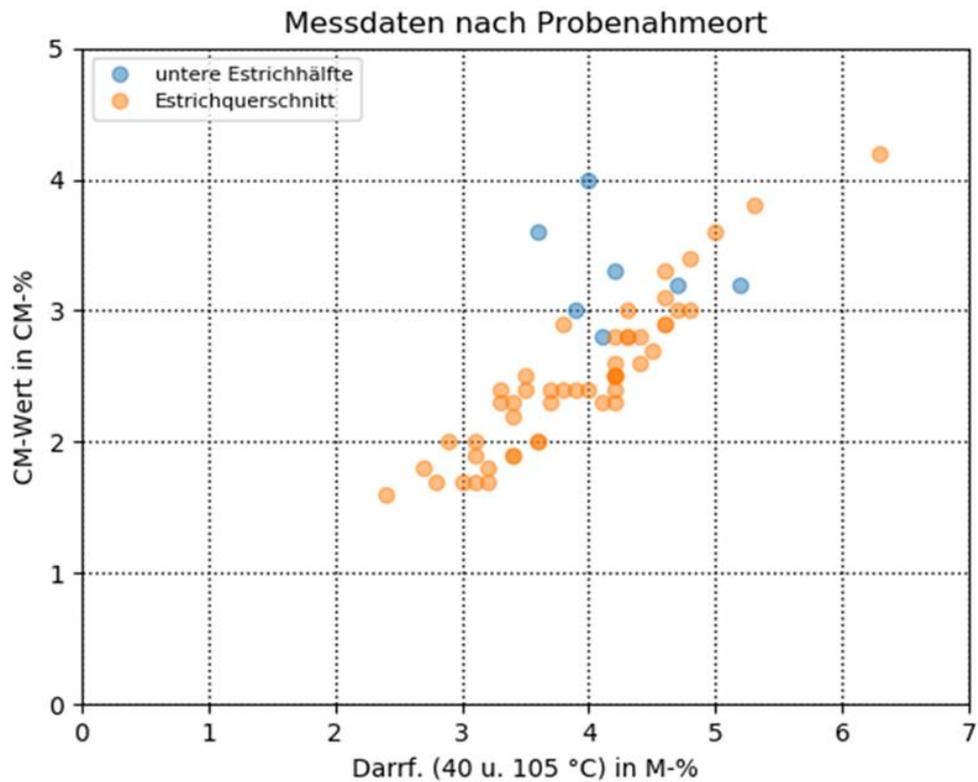


Abbildung 4

3.1.2 Messdaten nach Teilnehmern

Während alle Teilnehmer CM- und KRL-Daten gemessen haben (Abbildung 5), wurden Darr-Werte nur von 2 Teilnehmern gemessen, Teilnehmer E liefert dabei

die weit überwiegende Anzahl (Abbildung 6 und 7). Für calciumsulfat-basierte Estriche wurden keine Darrwerte berichtet.

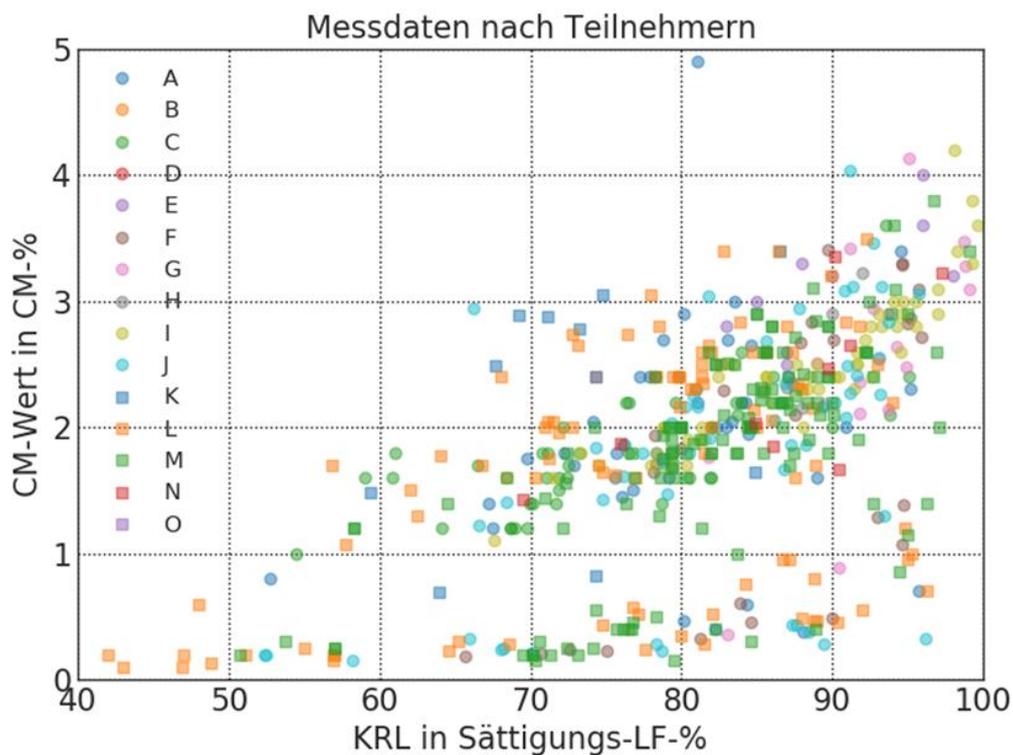


Abbildung 5

Die Datenreihen erlauben eine „optische“ Abschätzung von Fehlergrößen:

Teilnehmer I erreicht bei einer

- Darrfeuchte von im Mittel ca. 3,5 % eine
- KRL von im Mittel ca. 85 %.

Die Bandbreite der

- KRL-Werte liegt bei 3,5 Darr-% bei ca. +/- 5 % KRL bzw. umgekehrt die der
- Darrwerte bei 85 KRL-% bei ca. +/- 0,5 Darr-%.

Abbildung 7 ergänzt diese Betrachtung um die Beziehung von Darr- zu CM-Wert. Teilnehmer I erreicht bei einer

- Darrfeuchte von im Mittel ca. 3,5 % einen
- CM-Wert von im Mittel ca. 2,2 %.

Die Bandbreite der

- CM-Werte liegt bei 3,5 Darr-% bei ca. +/- 0,3 CM- % bzw. umgekehrt die der
- Darrwerte bei 2,2 CM-% bei ca. +/- 0,5 Darr-%.

Die Werte von Teilnehmer E passen hierzu deutlich schlechter und legen eine systematische Messabweichung bei den CM-Werten nahe.

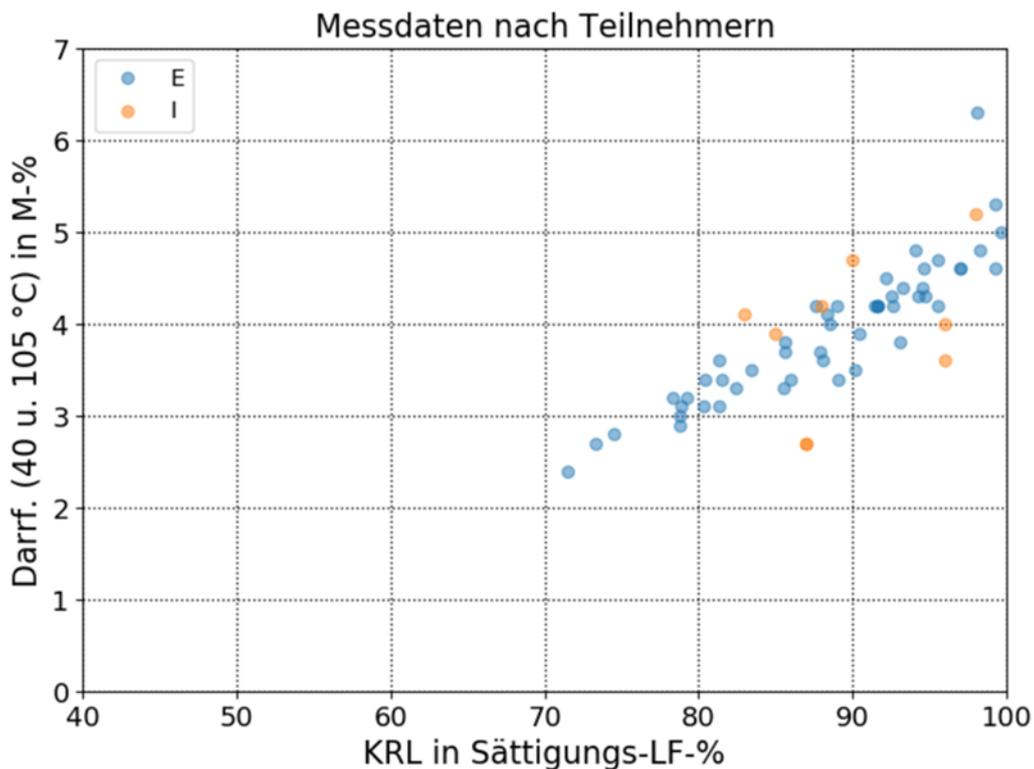


Abbildung 6

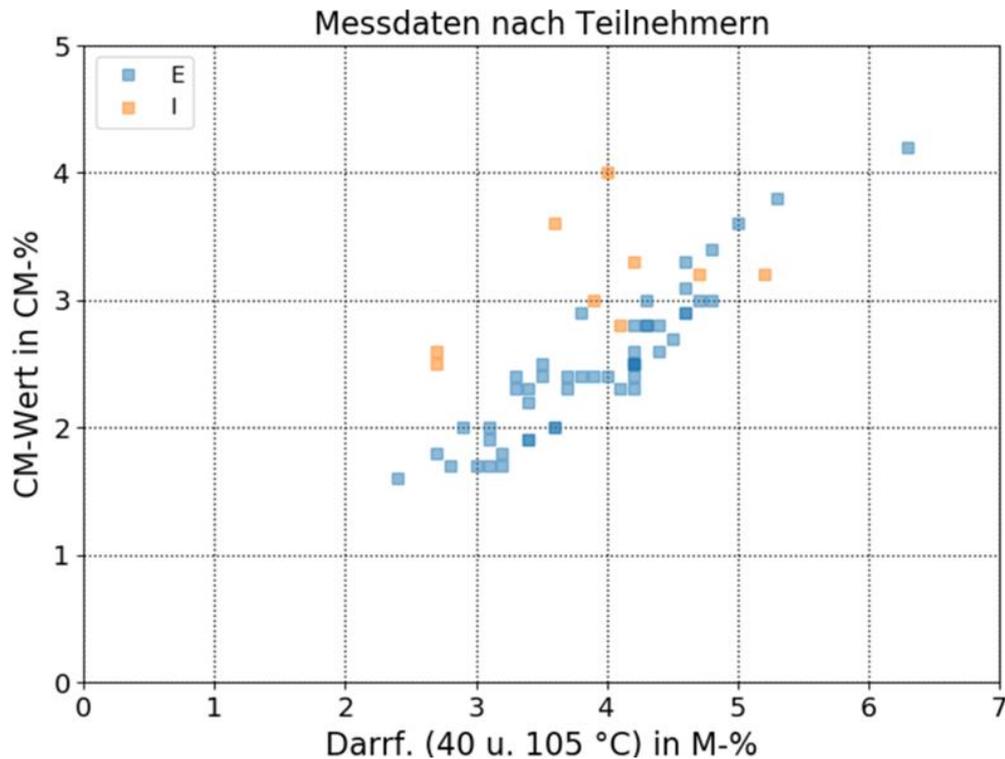


Abbildung 7

Abbildung 8 wurde entfernt.

3.1.3 Messbehälter: PE-Beutel/Flasche und CM-/Stahlflasche

Die relative Luftfeuchte bzw. der „dahinter liegende“ Wasserdampfpartialdruck sind intensive Messgrößen, die im Kontaktgleichgewicht mit einem Probekörper als Teil eines Sensors gemessen werden. Idealerweise sollte der Einfluss der Messung auf das Messobjekt und damit der Probekörper möglichst klein sein. Der richtige Wert kann als Grenzwertübergang zu einem verschwindend kleinen Probekörper oder passiv ermittelt werden⁹. Im Falle der KRL-Messung bedeutet dies, dass a) der Sensor selbst klein und b) idealerweise das Luftvolumen um die Probe und den Messfühler so klein wie möglich sein sollte. Letzteres kann bei einer Messung im Beutel oder einer separaten Flasche mit kleinem Volumen realisiert werden, bei Einwaagen von ca. 100 g ist ein Luftvolumen im Bereich 10 bis 100 ml möglich.

Trotzdem gibt es gute Gründe, eine Stahlflasche zu verwenden, die nach einer KRL-Messung direkt für eine

CM-Messung verwendet wird. Insgesamt wird für die Befeuchtung der Luft in der Flasche nur eine sehr geringe Menge Wasser benötigt¹⁰, und man kann mit der gleichen Probe die CM-Messung durchführen. Wichtig ist auf jeden Fall, dass CM-Flaschen vor einer KRL-Messung sorgfältig gereinigt werden, um Spuren von Carbid und Calciumoxid zu entfernen. Stahlflaschen sind thermisch träge und müssen ggf. auch längere Zeit auf die Proben temperatur temperiert werden.

Abbildung 9 zeigt die Verteilung der Messdaten nach dem benutzten Messbehälter. 195 Datensätze wurden in CM- bzw. Stahlflaschen, 65 Messungen in PE-Beuteln/Flaschen durchgeführt. Die Werte für PE scheinen zentraler zu liegen, allerdings ist dies darauf zurück zu führen, dass sie fast alle von Teilnehmer E stammen. Dementsprechend sind alle Darrwert-Datensätze in PE-Beuteln durchgeführt worden (Abbildung 10 und 11, in der Legende taucht die CM-Stahlflasche nicht auf, da keine Werte vorliegen!)

⁹ Der Sachverhalt kann am Beispiel einer Temperaturmessung erläutert werden. Bei einem klassischen Thermometer wird die Ausdehnung einer Flüssigkeit gemessen. Je kleiner das Flüssigkeitsvolumen im Thermometer ist, umso kleiner sind die Auswirkungen auf das Messobjekt. Eine „passive“ Messung ist z. B. mit einem Infrarotthermometer möglich. Siehe: <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermometer>

¹⁰ Typische CM-Stahlflaschen haben ein freies Volumen von 660 ml. Das Prüfgut hat dann ein Volumen von ca. 25 (~ 50 g Einwaage, Dichte von ca. 2 g/cm³) bis 50 ml (ca. 100 g Einwaage). Bei 20 °C hat Was-

ser einen Dampfdruck von 23,4 hPa, dies entspricht 17,3 g Wasser/m³ Luft. Bei einer „typischen“ KRL-Messung ändert sich die Luftfeuchte um maximal ca. 40 %, dies entspricht ca. 7 g/m³. Bezogen auf das typische CM-Flaschenvolumen von 0,66*10⁻³ m³ bedeutet dies eine Änderung des Wassergehaltes der Probe um ca. 0,0046 g. Bei 50 g Einwaage und einer Feuchte um die 3 Darr-% enthält die Probe insgesamt ca. 1,5 g Wasser, die Wassermenge, die also zum Einstellen der Luftfeuchte gebraucht wird, liegt bei 0,3 % der Gesamtwassermenge bzw. 0,0092 Darr-%.

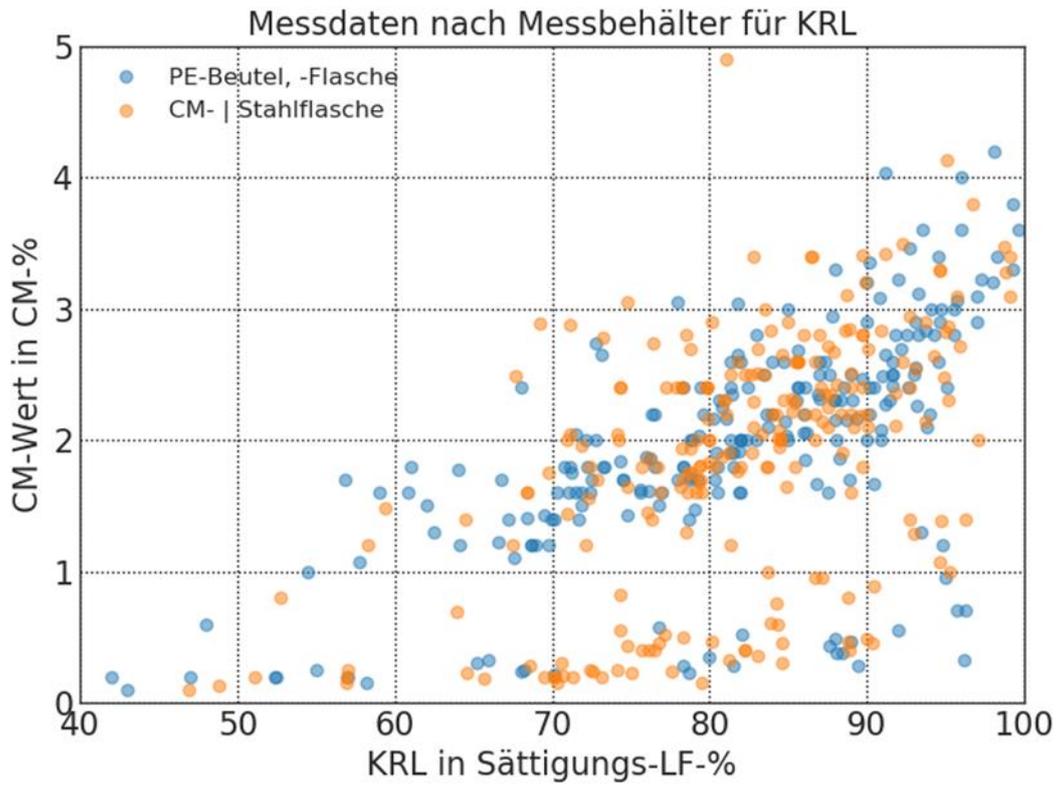


Abbildung 9

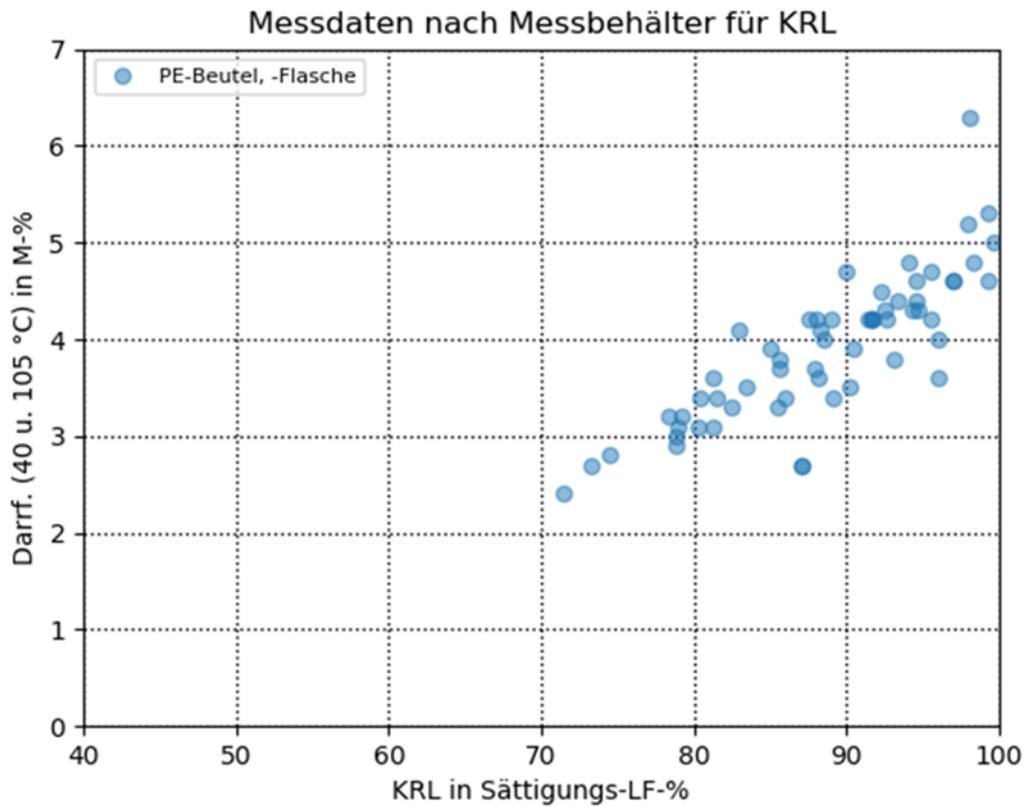


Abbildung 10

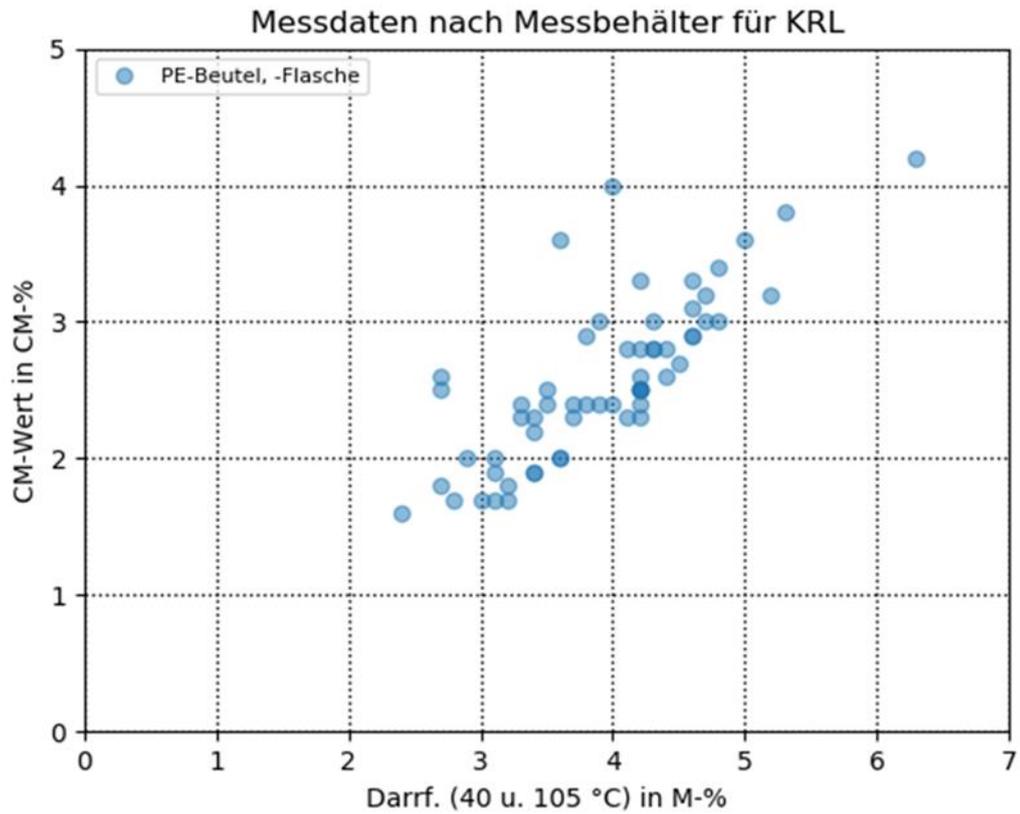


Abbildung 11

Abbildung 12 zeigt die Einwaagen wie sie für die KRL-Messungen benutzt wurden. Rechts und unter der Hauptgrafik findet man Häufigkeitsverteilungen für die Werte der beiden Achsen. Die Einwaagen von 50 bzw.

100 g spiegeln wider, dass in vielen Fällen nach der KRL-Messung eine CM-Messung durchgeführt worden ist.

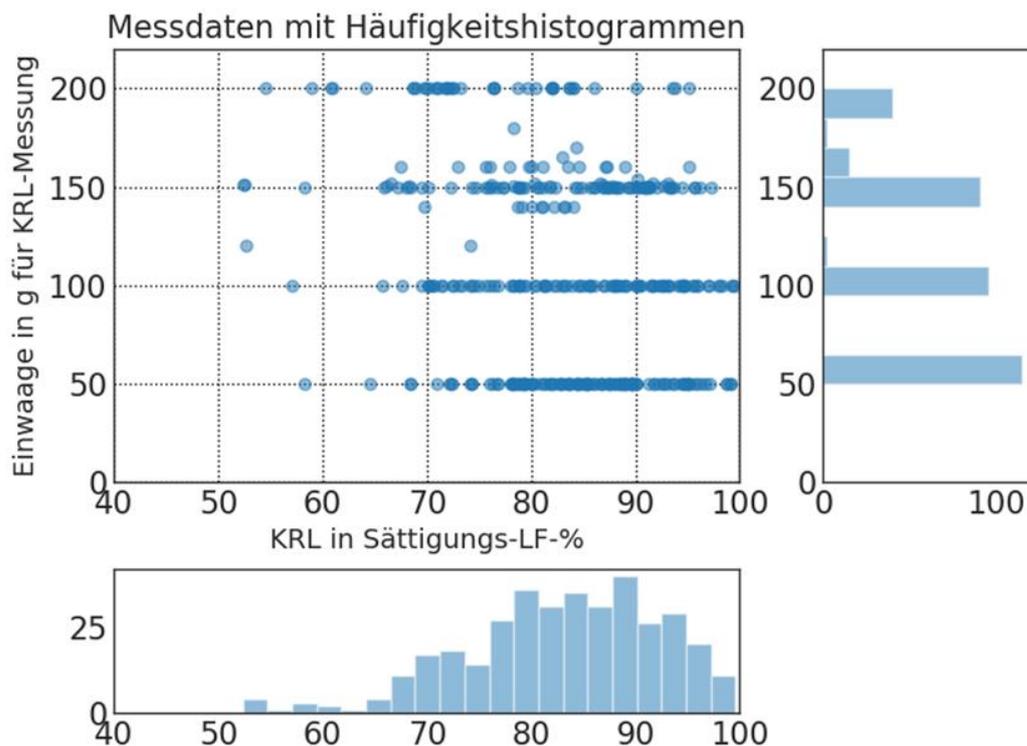


Abbildung 12

Abbildung 13 zeigt die am Feuchtesensor im Gefäß gemessene Temperatur. Das Histogramm zeigt für die Temperatur einigermaßen eine Normalverteilung. Die Temperaturen liegen im Bereich 6 bis 32 °C, allerdings mit einem Schwerpunkt um 21 +/- 5 °C. Eine solche

Temperaturabweichung führt zu Fehlern beim KRL-Wert von ca. +/- 2 % r. F. und ist daher für diesen Regelfall vernachlässigbar. Nur bei sehr starken Abweichungen sollte der Wert entsprechend der Temperatur korrigiert werden.

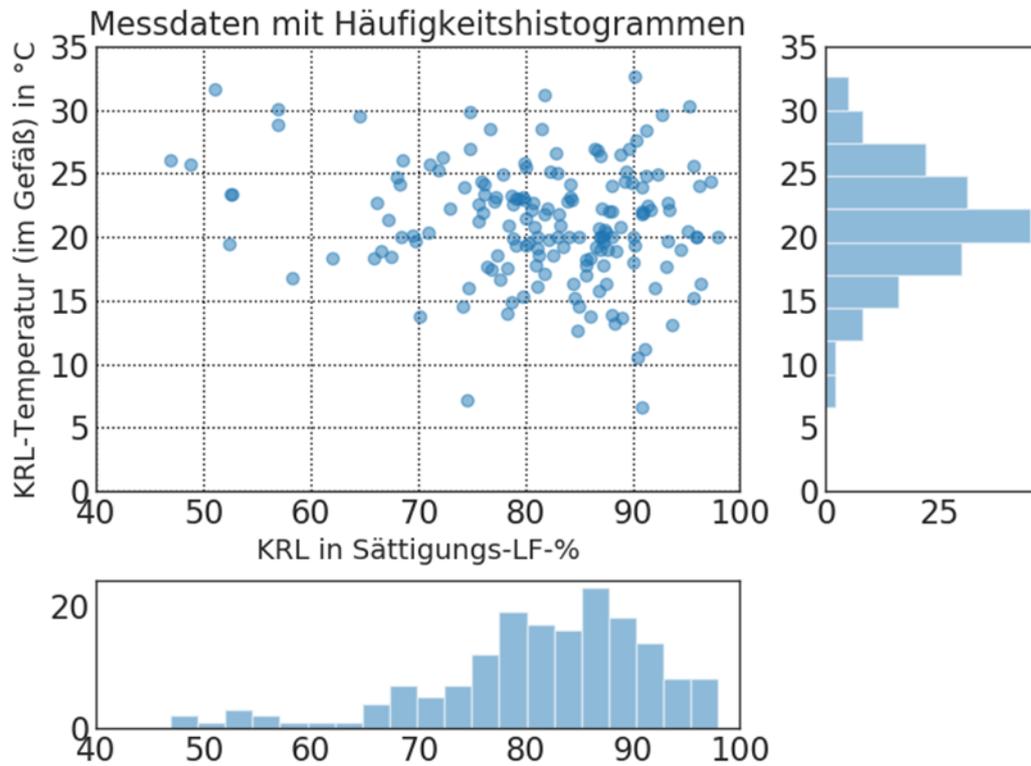


Abbildung 13

Abbildung 14 zeigt die zusätzlich zur KRL-Feuchte gemessene Raumluftfeuchte. Beide Datensätze sind in guter Näherung, allerdings jeweils leicht „schräg“, normalverteilt, eine Beeinflussung der KRL-Messung durch

die Raumluftfeuchte ist nicht erkennbar. Allerdings ist es überraschend, dass ein nicht unbeträchtlicher Teil der Raumluftfeuchtedaten oberhalb von 65 % r. F. liegen.

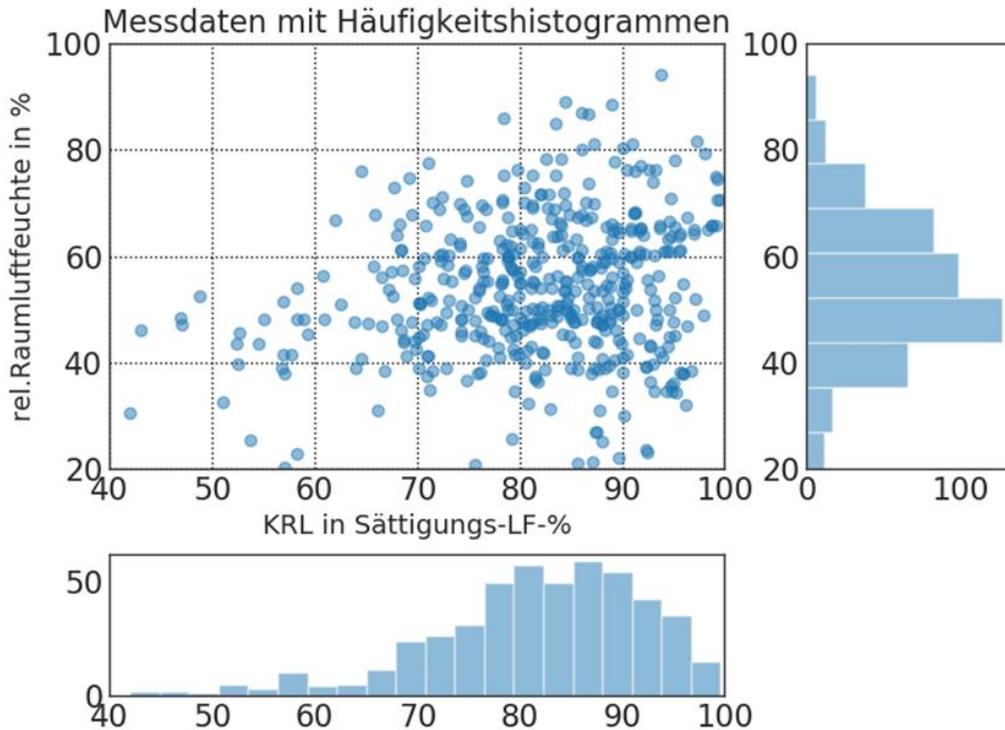


Abbildung 14

3.2. Messergebnisse

3.2.1 Wie ist die Bandbreite der Daten?

Abbildung 15 zeigt noch einmal alle CM- und KRL-Messdaten mit zusätzlichen Histogrammen. Für die CM-Werte erkennt man sofort die erwartete Gruppenbildung mit einer Anhäufung im Bereich 1,8 bis 5

CM-% für die Zementestriche sowie einem weiteren Signal bei ca. 0,5 CM-% für die Calciumsulfat-basierten Estriche. Eine solche Gruppenbildung sieht man bei den KRL-Messungen nicht, da die Methode materialunabhängig ist.

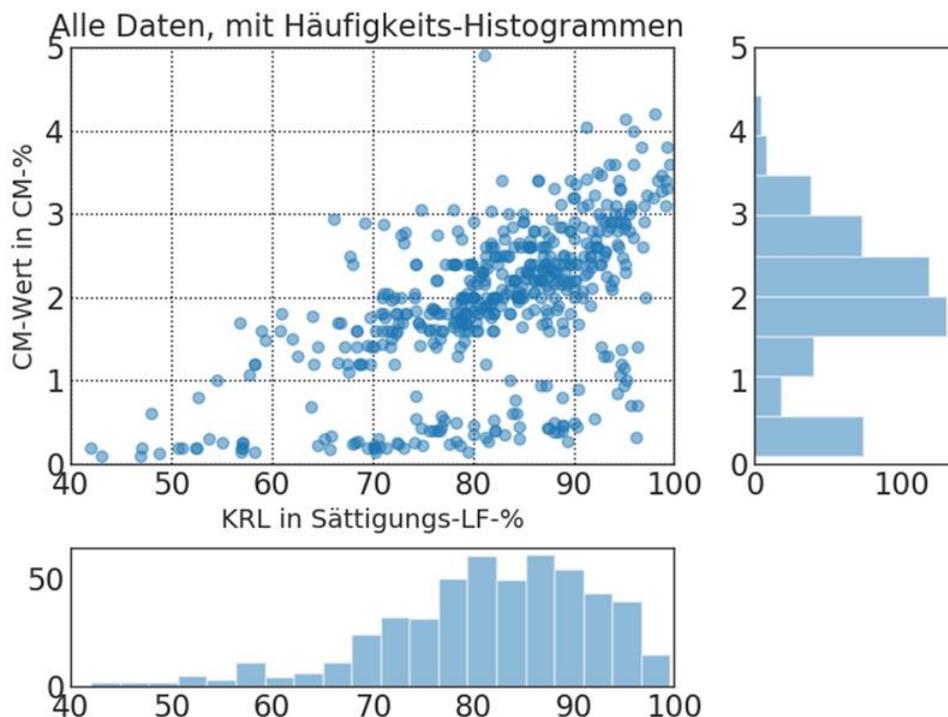


Abbildung 15

3.2.2 Wie ist die Korrelation der verschiedenen Messmethoden?

- bei verschiedenen Estricharten
- in Abhängigkeit von ggf. verwendeten Zusatzmitteln¹¹

Abbildung 16 zeigt Daten für Zementestriche mit und ohne Zusatzmittel. Auf den ersten Blick scheint die Verteilung der Datenpunkte nicht sehr unterschiedlich zu sein. Eine getrennte Darstellung zeigt jedoch wichtige Unterschiede.

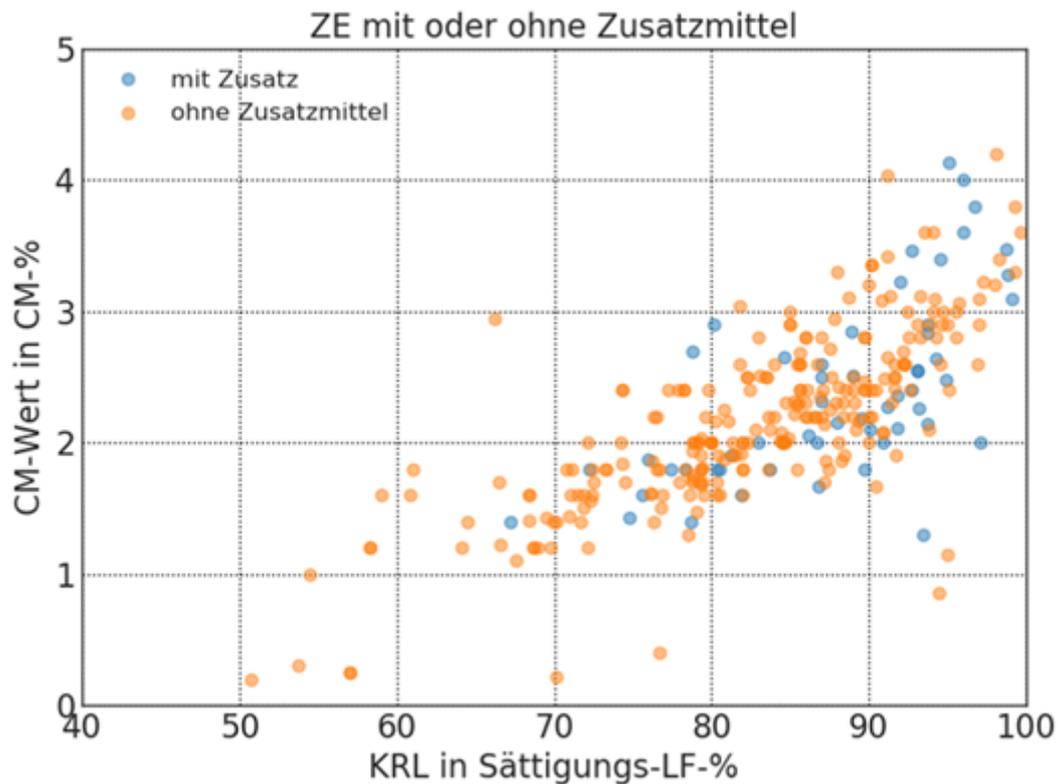


Abbildung 16

Abbildung 17 zeigt nur die Daten (CM und KRL) von Estrichen ohne Zusatzmittel. Man erkennt hier schon optisch, dass die Daten korreliert sind. Die

Regressionsgrade schneidet bei 2,0 CM-% bei 80 KRL-%, eine Ausreißerbetrachtung wurde nicht durchgeführt.

¹¹ Mit „Zusatzmittel“ sind hier nicht Verarbeitungshilfsmittel gemeint. Vielmehr sind damit Hilfsmittel angesprochen, die den Wassergehalt

deutlich reduzieren und allgemein auch „Beschleuniger“ genannt werden.

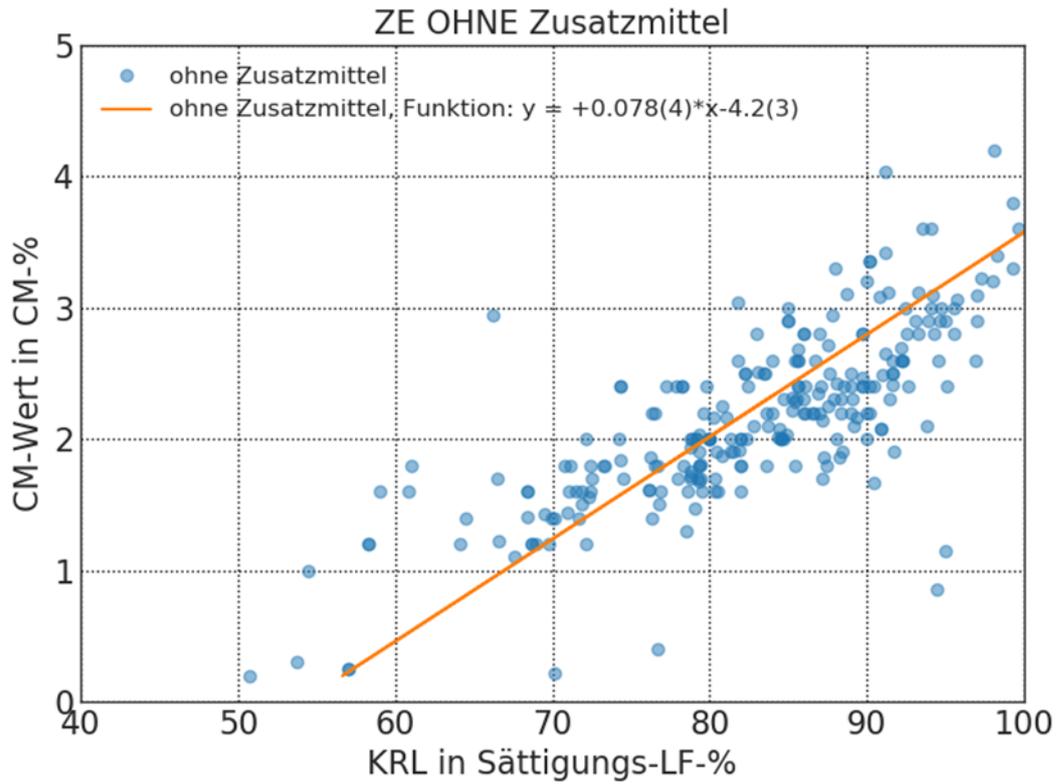


Abbildung 17

Abbildung 18 wurde entfernt.

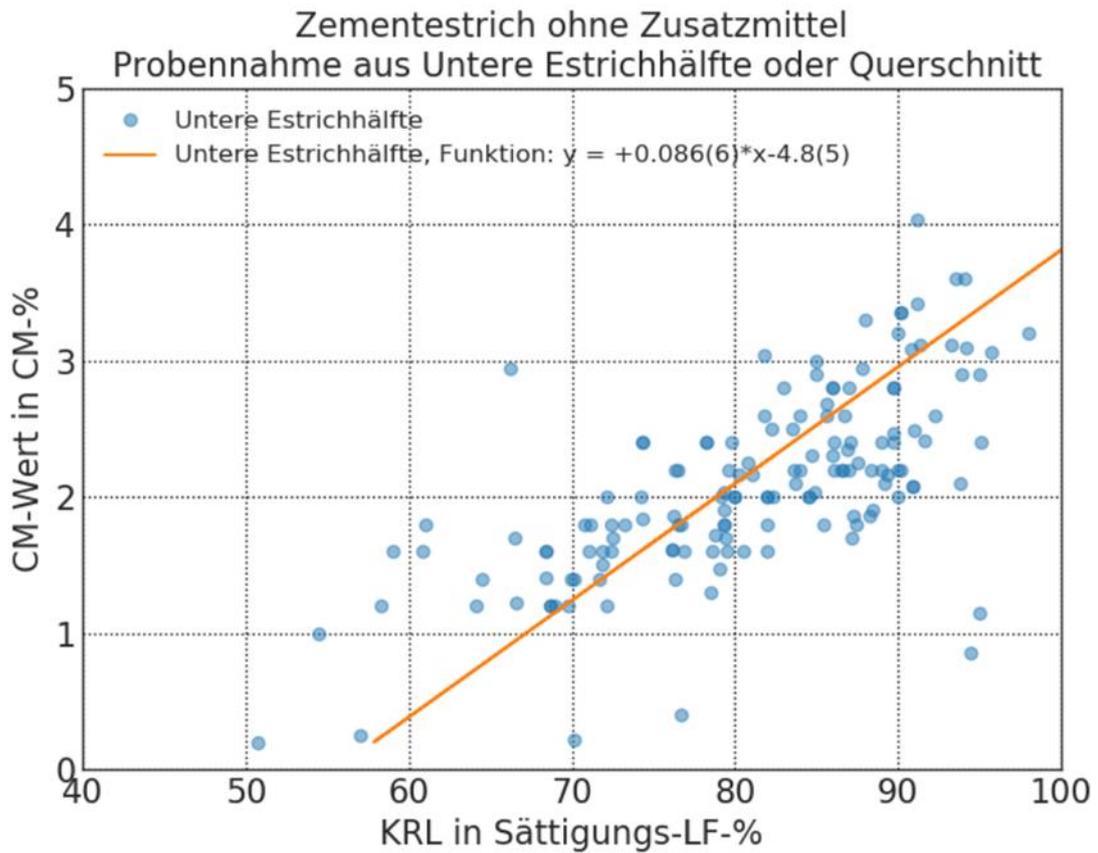


Abbildung 19

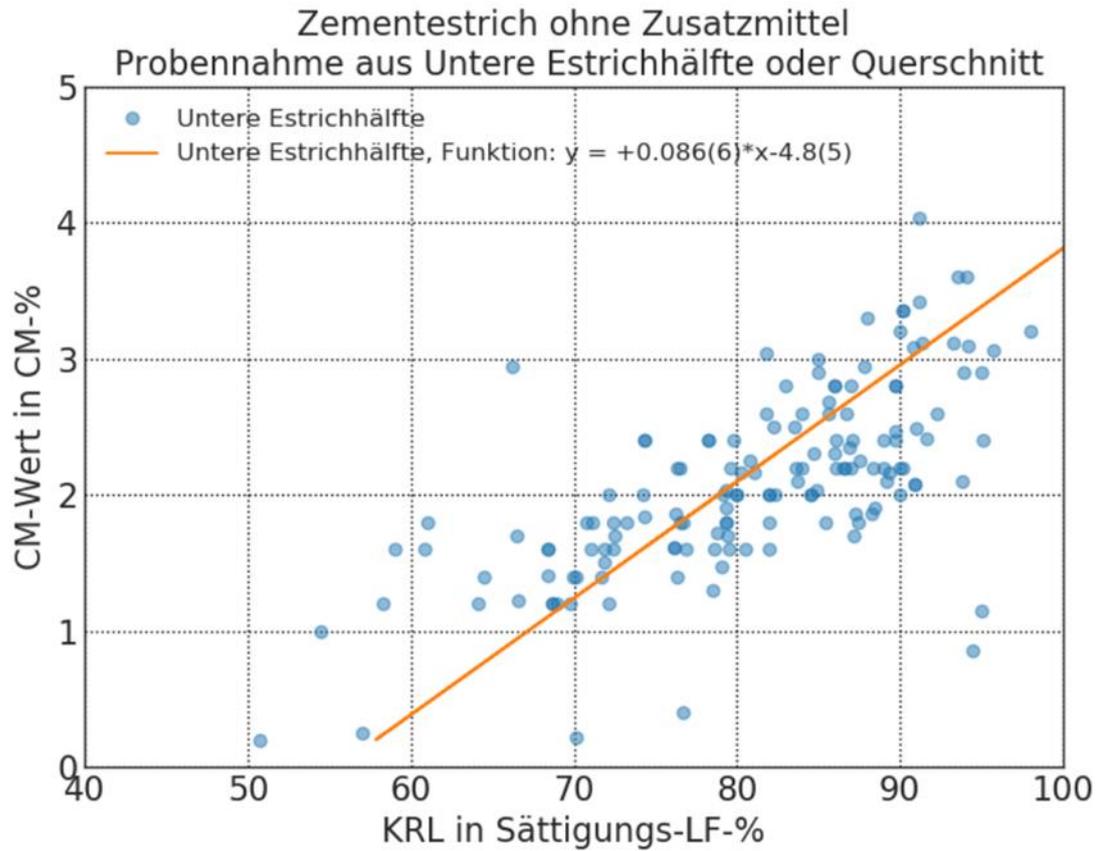


Abbildung 20

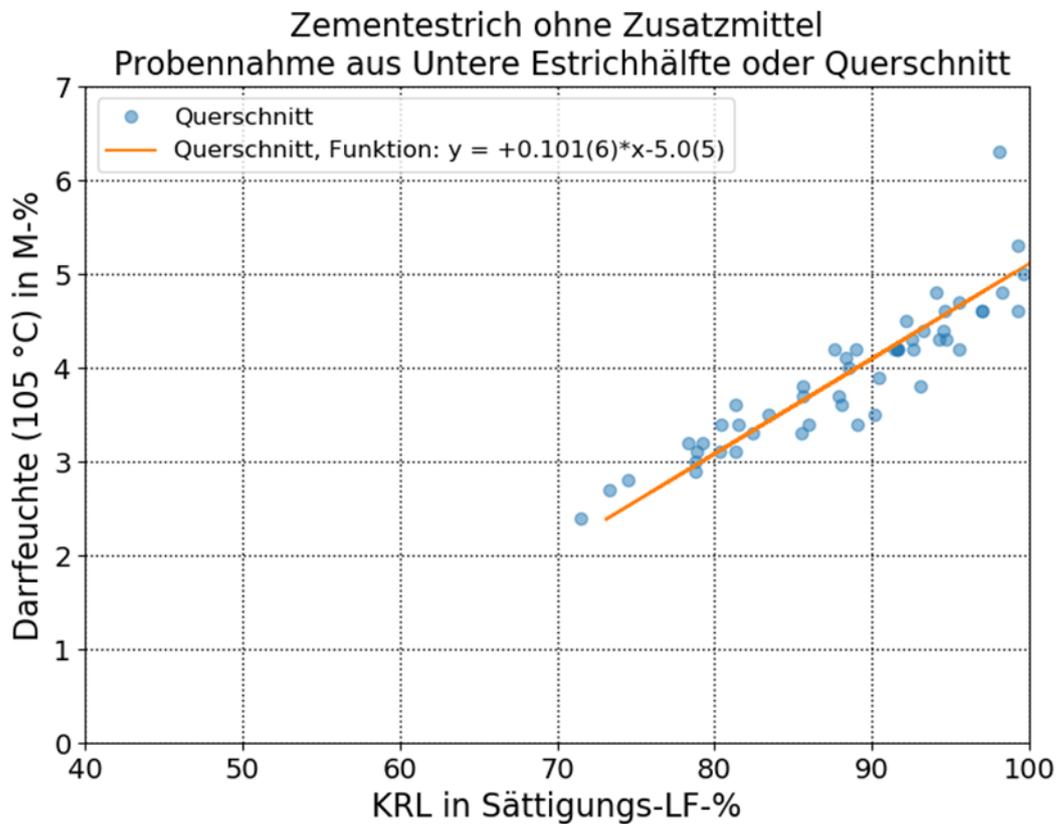


Abbildung 21

Bei den Abbildungen 19 bis 21 wird dargestellt, wo bei Zementestrichen ohne Zusatzmittel die Probenahme erfolgte. Die beiden Punktwolken überlappen stark, die Regressionsgraden sind aber innerhalb der Fehlergrenzen nicht identisch. Im kritischen Bereich um 80 % KRL bzw. 2,0 CM-% liegen sie aber fast gleich.

Abbildung 22 zeigt die CM- über Darrfeuchten. Es ist zu beachten, dass diese Daten nur von Teilnehmer E stammen und einen Zementestrich widerspiegeln. Teilnehmer E erreicht dabei Messfehler, die im Bereich von 2,0 .. 2,5 CM-% bei ca. +/- 0,25 CM-% und 3,3 .. 3,8 Darr-% bei ca. +/- 0,35 Darr-% liegen. Es ist damit zu rechnen, dass die Bandbreite bei mehreren Teilnehmern eher größer wird.

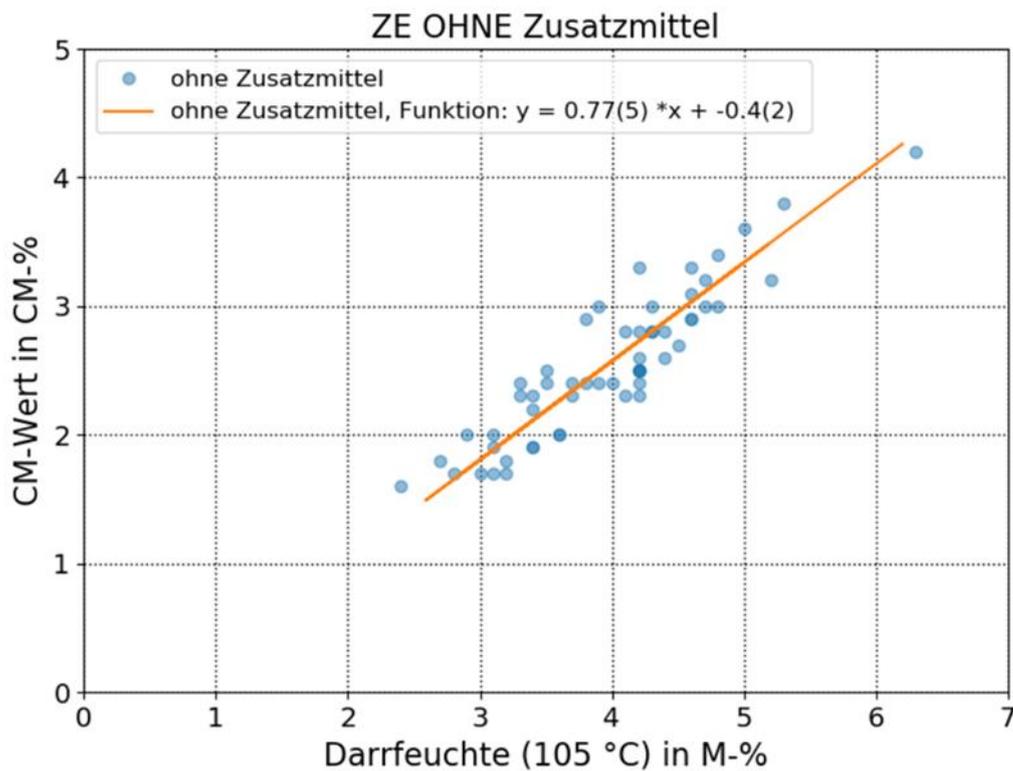


Abbildung 22

Abbildung 23 zeigt nun die Daten für Zementestrich mit Zusatzmittel. Hier erkennt man auf den ersten Blick, dass keine Korrelation gegeben ist. Weiter fällt auf, dass in einem Band um 2,0 CM-% KRL-Feuchten von 70 bis nahe an 100 % gemessen worden sind. Hiermit bestä-

tigt sich erneut, dass Zementestriche mit Zusatzmittel nur bei Kenntnis der Zusammensetzung und einem für diese Zusammensetzung geltenden Grenzwert mit der CM-Messung sicher zu beurteilen sind.

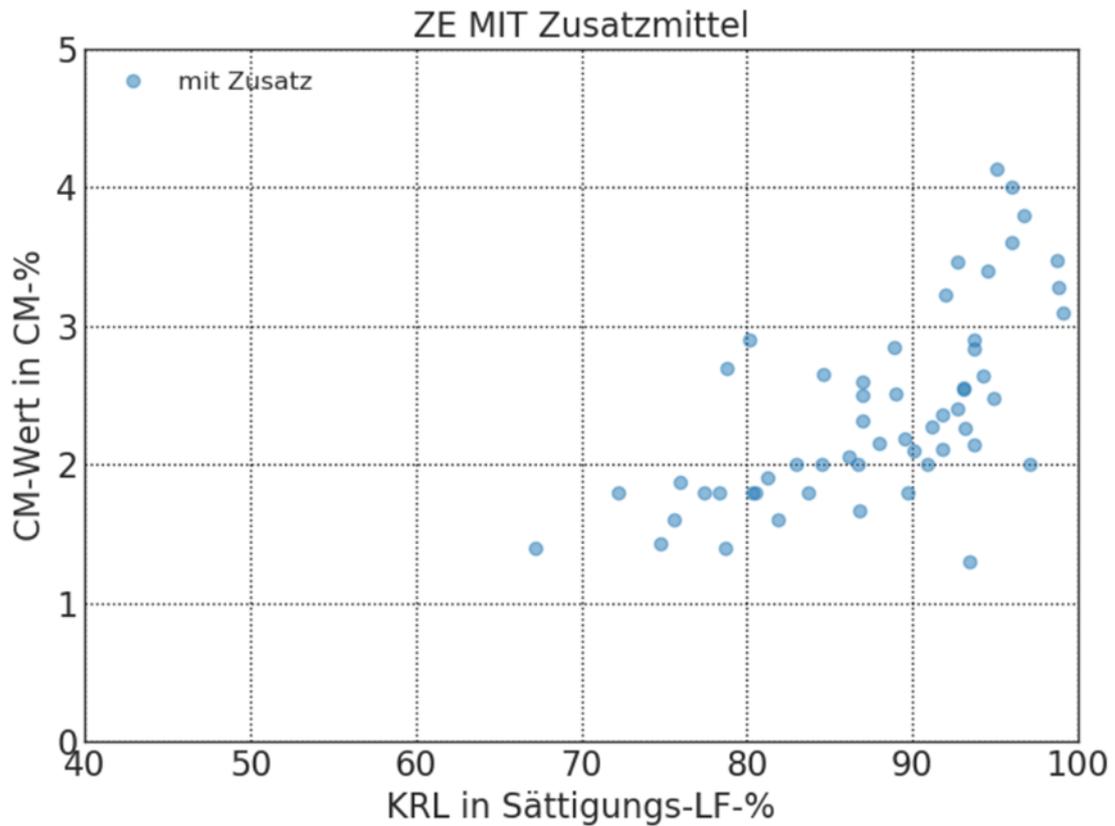


Abbildung 23

Abbildung 24 zeigt nun CM- und KRL-Daten für calciumsulfatbasierte Estriche. Die Daten lassen sich nur schlecht an eine Funktion (Polynom) anpassen. Interessant ist, dass bei dem bekannten Grenzwert von 0,5

CM-% KRL-Werte 75 bis 90 % gemessen werden. Auch kann man den Eindruck gewinnen, dass die Daten in 2 "Armen" verlaufen, einen um 0,5 Darr-% und 80 % KRL, einem um 0,3 Darr-% und 80 % KRL.

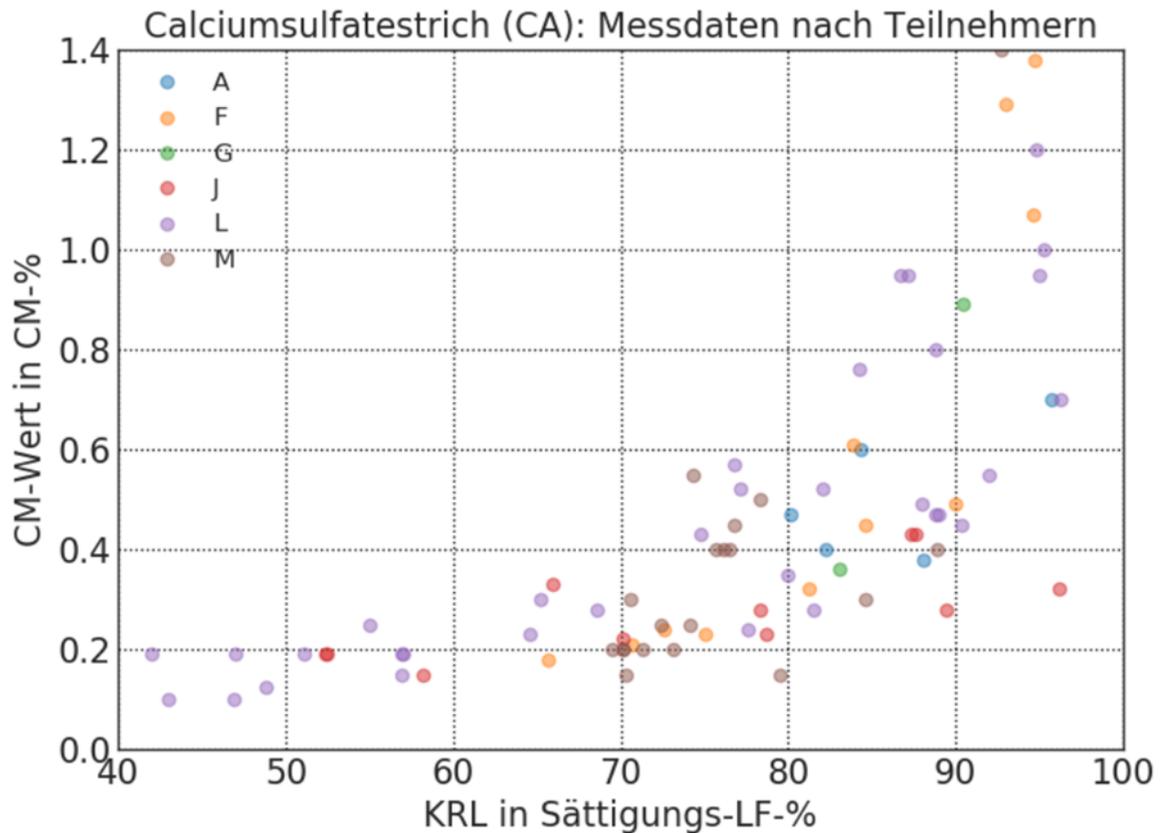


Abbildung 24

3.2.3 KRL-Werte für bekannte CM-Grenzwerte der Belegreife

Betrachtet man insbesondere die Graphiken 8, 17 und 20 sieht man, dass

- bei Zementestrichen der CM-Wert von 2,0 CM-% ca. 80 KRL-% und
- bei calciumsulfatbasierten Estrichen der CM-Wert von 0,5 CM-% ebenfalls ca. 80 KRL-%

entspricht. Dies gilt für Proben, die überwiegend aus dem Querschnitt entnommen und gemessen worden sind.¹²

4. Zusammenfassung

Ziel des Ringversuchs war zunächst eine Überprüfung der Praxistauglichkeit der KRL-Methode zur Bestimmung der Feuchte in Estrichen. Über 3 Jahre wurden mehr als 500 Datensätze von 19 Teilnehmern gesammelt.

Die Daten decken in KLR-% und CM-% den gesamten Feuchtraum (KRL zwischen 50 und 100 %, CM-Werte zwischen 0 und 5 CM-%) ab. Darr-Werte wurden fast ausschließlich von einem Teilnehmer an einem Zementestrich erhoben.

Probennahmen erfolgten im ersten Jahr sowohl aus der unteren Hälfte wie auch aus dem Querschnitt; die untere Hälfte wurde aber häufiger genutzt und ein sehr großer Teil der Querschnittsdaten stammen von einem Teilnehmer. Im weiteren Verlauf nahm jedoch die Anzahl an Querschnittsmessungen zu. Diese Art der Probennahme wird zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts in der Bodenbelagsbranche als neuer Standard diskutiert.

Betrachtet man alle Daten, sind die CM-Werte mindestens bimodal verteilt, die KRL-Werte sind annähernd normalverteilt. Dies bestätigt erneut, dass Grenzwerte anhand von CM-Messungen materialabhängig angegeben werden müssen. Dies ist bei einer KRL-Messung nicht der Fall.

¹² Normale mineralische Estriche (ohne Zusatzmittel) gelten als belegreif, wenn ein Grenzwert des Feuchtegehalts, gemessen mit der CM-Methode, unterschritten wird, im Einzelnen:

- Zementestriche: 2,0 CM-% bzw. 1,8 CM-% (beheizt)

- Calciumsulfatestriche: 0,5 CM-% bzw. 0,3 CM-% (beheizt)

Bei Calciumsulfatestrichen gilt dabei, dass CM-% = Darr-% (40 °C) ist, für Zementestriche wird angegeben, dass 2,0 CM-% = 3,5 Darr-% sind (W. Schnell, 1985).

Für diese Messungen sind anfänglich überwiegend CM-Stahlflaschen verwendet worden. Auch wenn dabei die theoretische Bedingung, dass der Messraum möglichst klein sein soll, nicht erfüllt ist, ist der gesamte Fehler jedoch so klein, dass hinreichende Ergebnisse dabei gewonnen werden. Im weiteren Verlauf sind mehr PE-Beutel und PE-Flaschen verwendet worden, Abbildung 9 zeigt annähernd gleiche Mengen für Daten mit Stahlflasche wie für PE-Beutel/Flasche.

Die Außenbedingungen spielen bei den Messungen keine Rolle, sowohl Raumtemperatur wie auch -Luftfeuchte zeigen keinen Effekt.

Die Daten erlauben eine Abschätzung des Fehlers einer Einzelmessung. Im Bereich der bekannten Grenzwerte liegen diese bei:

- KRL: +/- 5 KRL-% (ca. 10 % im Bereich 50 bis 100 %)
- Darr-Wert: +/- 0,5 Darr-% (ca. 15 %)
- CM-Wert: +/- 0,3 CM-% (ca. 15 %)

(Anmerkung: Allgemein wird hier von Sachverständigen darauf hingewiesen, dass die bestehenden Grenzwerte dies berücksichtigen.)

Während man bei Zementestrichen mit Zusatzmitteln sieht, dass dort keine Korrelation von CM- zu KRL-Wert besteht (aus dem bekannten Grund, dass CM-Werte materialabhängig sind), erkennt man bei Zementestrichen OHNE Zusatzmittel eine signifikante Korrelation. Dort findet man auch die bekannte Korrelation von CM- zu Darr-Wert. Der CM-Grenzwert für Zementestriche von

- 2,0 CM-% findet man bei ca. 80 KRL-%,
- 1,8 CM-% findet man bei ca. 75 KRL-%

wieder. Eine deutliche Differenzierung nach Probenahmeort sieht man nicht, dies ist auch nicht zu erwarten.

Die Messpunkte für die Calciumsulfit-basierten Estriche liegen recht breit um die Desorptionsisotherme (siehe TKB Bericht 4) verteilt. Die neuen Daten des IBF-Berichts¹³ liefern einen Hinweis, dass die Sorptions-

und Trocknungsisothermen insbesondere für Calciumsulfat- und Calciumsulfat-Fließestriche signifikant verschieden sind¹⁴ und können ggf. die oben beschriebenen „2 Äste“ erklären.

Die TKB hatte zur Beurteilung der Belegreife von Estrichen ursprünglich den bekannt konservativen Richtwert von 75 %-rLF (TKB Bericht 2) vorgeschlagen. Auch auf Basis der hier gesammelten Werte hat die TKB in der Zwischenzeit entschieden, diesen Wert auf 80 %-rLF anzuheben^{15,16}. Zu dieser Entscheidung haben folgende weitere Punkte beigetragen:

- a) Die Begründung für den Grenzwert nach BS 5325, BS 8201 und BS8203 von 75 % ist, dass keine Schäden über 80 % rLF aufgetreten sind. Da die Messtechnik in den 1950er Jahren aber deutlich ungenauer als heute war, wurden von den 80 % 5 % als „Sicherheitsabschlag“ abgezogen¹⁷.
- b) Auch die Daten im bereits zitierten IBF-Bericht lassen erkennen, dass bei den zwischen 1990 und 2020 überwiegend üblichen Zement-Estrichzusammensetzung der KRL-Wert von 80 % einem Wert von 2,0 CM-% entspricht.
- c) Bei Diskussionen mit deutschen Sachverständigen wurde von diesen zwar Verständnis für einen „konservativen“ Grenzwert geäußert, aber darauf hingewiesen, dass nach ihren Erfahrungen 80 % hinreichend wären und 75 % nur zu einer nicht notwendigen Verlängerung der Trockendauer führen würde.

¹³ IBF Institut für Baustoffprüfung und Fußbodenforschung, 1. Ausfertigung, Prüfbericht M-106/18, Auftrag: „Untersuchungen zur Überprüfung der Eignung der KRL-Methode zur Ermittlung des Feuchtegehalts von Estrichen“, 16.04.2020. Bezogen über die Homepage des IBF

¹⁴ TKB Bericht 7: Eine zusätzliche Auswertung der Messdaten im Bericht des IBF „Untersuchungen zur Überprüfung der Eignung der KRL-Methode zur Ermittlung des Feuchtegehalts von Estrichen“, Publikation in Vorbereitung

¹⁵ <https://www.klebstoff-presse.com/fileadmin/redaktion/IVK-TKB-informiert-KRL-Grenzwert.pdf>, 2020-04-07 und

¹⁶ TKB-Merkblatt 18, KRL-Methode, Messung und Beurteilung der Feuchte von mineralischen Estrichen, Stand April 2020, Technische Kommission Bauklebstoffe im Industrieverband Klebstoffe e.V., 2020

¹⁷ Maurice Levitt et al., Moisture in concrete and the performance of impermeable floor coverings, The Concrete Society, Project Report 4, Camberly 2004. Dort: Kapitel 1.2 „... It took formal effect in 1951 when CP203 was published. BRS found that, below 80 % rH, failures were not observed, so knowing the poor accuracy of hygrometers, the recommended maximum was decreased to 75 % rH and this has remained unchanged since that time“.