



INFOR-Projekt Nr. 203

Bewertung von zur Altpapiereingangskontrolle genutzter Messtechnik bezüglich Messgrößen, Messbereich, Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit

Schlussbericht

Mai 2018

Papiertechnische Stiftung
Pirnaer Straße 37
01809 Heidenau

Prof. Dr. Frank Miletzky

Projektleiter:
Gerhard Gärtner

Schlussbericht

INFOR-Projekt 203 / INGEDE-Projekt 154/17

Bewertung von zur Altpapiereingangskontrolle genutzter Messtechnik bezüglich Messgrößen, Messbereich, Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit

Papiertechnische Stiftung (PTS)



Projektbearbeiter:

Gerhard Gärtner

Dr. Patrick Plew

Dipl.-Ing. Mike Schiefer

Dipl.-Ing. Lydia Tempel

Mai 2018

Projektbegleiter:

Martin Drews / VDP

Anne-Katrin Klar / Essity Deutschland (ehemals SCA Hygiene Products GmbH)

Stefan Finke / DS Smith Recycling Deutschland

Manfred Geistbeck / UPM GmbH

Tobias Backer / Papier- und Kartonfabrik Varel GmbH

Andreas Faul / PROPAKMA GmbH *und* INGEDE

Werner Ofenböck / Hamburger Austria Containerboard Pitten

Mirko Peschke / LEIPA Georg Leinfelder GmbH

Guido Pest / LEIPA Georg Leinfelder GmbH

Management Summary

Das Projekt im Auftrag von VDP und INGEDE hatte das Ziel, einen Überblick zu aktueller Messtechnik für die Prüfung und Bewertung von Altpapier in Ballenform während der Eingangskontrolle zu schaffen. Es wurden dabei die folgenden in der Industrie im Einsatz befindlichen Messgeräte hinsichtlich Messgrößen, Messbereich, Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit sowie Wiederholbarkeit der Messungen untersucht und bewertet:

- emco AP 500 von emco GmbH (Deutschland)
- HPNA Microwave Moisture Analyzer von Dunakontroll Kft (Ungarn)
- PaperBaleSensor PBS II von PTS in Zusammenarbeit mit Sentronic GmbH (Deutschland)

In zwei jeweils mehrtägigen Messkampagnen im Sommer 2017 und Winter 2018 wurden bei Hamburger Austria Containerboard in Pitten in Österreich durch Mitarbeiter der PTS sowie vor Ort bereitgestellten Kräften Untersuchungen durchgeführt. Diese bezogen sich im Kern auf die Messung der Ballen- wie auch Ballenladungsfeuchten typischer Lieferungen, wie sie im Werk eingehen. Als Referenzmethode der Feuchtebestimmung wurde die Ofentrocknung bei 105°C von Bohrkernproben verwendet, die in den Laboren der PTS und Hamburger durchgeführt wurde. Weitere Referenzmethoden, wie z.B. die Ballenöffnung, Probennahme nach Methode Hamburger in Pitten inkl. Ofentrocknung gingen in die Untersuchungen mit ein.

Die Untersuchungen teilten sich in sogenannte Standard- und Betriebsversuche auf, wobei im ersten Fall alle Abläufe nach den Vorgaben von Hamburger sowie die jeweiligen Messgeräteherstellern standardmäßig durchgeführt wurden. Im zweiten Falle wurden Teil- und Gesamtlieferungen systematisch zusammengestellt und umfassend mit allen Messgeräten untersucht sowie zusätzlich Abweichungen vom Normaleinsatz in ihren Auswirkungen getestet.

Zusammen mit den Herstellerangaben, bisherigen Untersuchungen bei Hamburger Austria Containerboard und PTS sowie den in den Messkampagnen erhobenen Daten können die drei Messgeräte nun umfassend bewertet werden.

Die Bewertung der drei Messgeräte erfolgte hinsichtlich folgender messtechnischer Parameter und Aspekte:

- Messgrößen
- Messbereich (lt. Hersteller)
- Messgenauigkeit (lt. Hersteller)
- Messprinzip, Messtiefe und geschätztes Messvolumen
- Messgenauigkeit bzgl. Referenzmethode
- Messgenauigkeit bzgl. Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit
- Vorwahlmöglichkeiten
- Einflussfaktoren
- Aufwand bei Einbindung in Eingangskontrolle
- Entwicklungsbedarf

Die Ergebnisse dazu sind in den nachfolgenden drei Übersichtstabellen zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersicht zu Messgrößen, Messbereich, Messgenauigkeit, Messprinzip, Messtiefe und geschätztes Messvolumen
 (* Alle Angaben sind jeweils Massenanteile. Ausnahme AP 500: Angabe als relativer Anteil zum Feststoff)

	 AP 500	 HPNA	 PBS II
Messgrößen*	Feuchte [%]	Feuchte [%]	Feuchte [%]
	-	-	Kunststoff [%]
	-	-	Asche [%]
	-	-	Holzstoff [%]
Messbereich* (lt. Hersteller)	4 – 50 % Feuchte	(5) / 8 – 35 % Feuchte	5 – 60 % Feuchte
Messgenauigkeit* (lt. Hersteller)	+/- 2,0 % absolut bei Feuchte 4 – 50 %	+/- 1,5 % relativ bei Feuchte 8 – 35 %	+/- 0,5 % absolut bei Feuchte < 10 %
		(+/- 0 – 0,5 % absolut)	+/- 1,0 % absolut bei Feuchte 10 – 20 %
			+/- 2,0 % absolut bei Feuchte > 20 %
Messprinzip	Elektromagnetisches Wechselfeld	Mikrowellen-Transmissionsmessung	Nah-Infrarot-Spektroskopie
Messtiefe	ca. 0,3 m (effektiv)	> 2,0 m	ca. 0,4 m (Bohrung)
Geschätztes Messvolumen	max. 24 dm³	ca. 1.000 – 40.000 dm³	ca. 25 – 50 dm³

Tabelle 2: Übersicht zur jeweiligen Messgenauigkeit bzgl. Referenzmethode, Wiederhol- und Reproduzierbarkeit sowie Fehlbedienungen und Fehleinstellungen

	 AP 500	 HPNA	 PBS II
Messgenauigkeit bzgl. Referenzmethode (Bohrkernproben Trockenschrank)	AP 500 zeigt bei trockenen Lieferungen eine gute Übereinstimmung zur Referenzmethode. Feuchte Lieferungen werden oft zu niedrig bewertet.	HPNA zeigt in Betriebsversuchen hinreichende Übereinstimmung mit den anderen Methoden. Einzelne Realversuche zeigen Ausreißer.	PBS zeigt eine gute Korrelation zur Referenzmethode (Trockenschrank/ Bohrgut).
	$R^2 = 44 \%$	$R^2 = < 30 \%$ nur 2018 (o. Eis-LKW)	$R^2 = 94 \%$
Messgenauigkeit bzgl. Wiederhol- und Reproduzierbarkeit	Wiederholbarkeit Die Abweichungen bei wiederholenden Messungen sind bei allen Messverfahren im Mittel gering.		
	Reproduzierbarkeit – Bediener und Umwelteinflüsse Die Abweichungen bei wiederholenden Messungen durch bspw. andere Bediener sind bei allen Messverfahren im Mittel gering bis moderat.		
Messgenauigkeit bzgl. Fehlbedienungen und -einstellungen	Stabilität – Messtechnische Konfigurationen und Eigenheiten Bei Fehleinstellungen und -bedienungen weichen die Werte bei allen Messverfahren häufig vom Ausgangswert ab.		

Tabelle 3: Übersicht zu Vorwahlmöglichkeiten, Einflussfaktoren, Aufwand bei Einbindung in Eingangskontrolle und Entwicklungsbedarf

	 AP 500	 HPNA	 PBS II
Vorwahlmöglichkeiten	Pressdichte (Schalterstellung 1-6)	Einkalibrierte Altpapiersorte (mit bekannter Pressdichte)	Keine notwendig
	-	Beladungsbreite	-
Einflussfaktoren	Pressdichte des Ballen	Pressdichte des Ballen	Gleichmäßigkeit der Messbewegung
	Anpressdruck Messgerät	Beladungsbreite	Messzeit nach Bohrung
	Metallverdrahtungen	Metallaufbauten	-
	-	Durchfahrts- geschwindigkeit	-
	-	Gleichmäßig- und Voll- ständigkeit der Beladung	-
Aufwand bei Einbindung in Eingangskontrolle	Schnelle, zerstörungsfreie Messung	Schnelle, zerstörungsfreie Messung	Zerstörend (Tendenz zum Bohrautomaten)
	Leicht, robust und mobil: Anlegen – Ablesen	Direkt im Wareneingang integriert (während der Durchfahrt)	Manuelle als auch automatisierte Varianten möglich
	ca. 1 Minute/LKW	ca. 1 Minute/LKW	ca. 7 Minuten/LKW
Entwicklungsbedarf	unklar	Abfangen von Ausnahmezuständen	Wegfall Referenzmessung
	ggf. Vergrößerung der Messfläche/ Eindringtiefe	Kalibration anhand definiert feuchter Ladungen	proz. Sortenangaben
	ggf. Transmissionsansatz		AP-Weiße

Inhaltsverzeichnis

Management Summary.....	1
1 Ausgangssituation und Zielstellung des Projektes	7
1.1 Ausgangssituation	7
1.2 Zielstellung	7
1.3 Anmerkungen zum Projektverlauf	8
2 Überblick der untersuchten Messtechnik	9
2.1 Messtechnische Grundlagen	9
2.2 emco AP 500 (Fa. Emco).....	10
2.3 HPNA Microwave Moisture Analyzer (Fa. Dunakontroll).....	12
2.4 Paper Bale Sensor PBS II (PTS).....	14
3 Methodik	16
3.1 Probenauswahl und Probenahme.....	16
3.2 Messvorgänge (vor Ort)	18
3.2.1 HPNA Microwave Moisture Analyzer	18
3.2.2 emco AP 500.....	20
3.2.3 Paper Bale Sensor PBS II	20
3.2.4 RDM3p Feuchtemessgerät	20
3.3 Referenzmessungen	21
3.3.1 Feuchtegehalt.....	21
3.3.2 Aschegehalt bei 525°C.....	21
4 Untersuchungen bei Hamburger Austria Containerboard in Pitten	22
4.1 Erste Messkampagne (KW32/2017).....	22
4.2 Zweite Messkampagne (KW6/2018)	25
4.3 Vorgehensweise – Standard-Tests	27
4.4 Vorgehensweise – Betriebsversuche (KW32/2017)	29
4.5 Vorgehensweise – Betriebsversuche (KW6/2018)	33
4.6 Vorgehensweise – Referenzmessungen.....	36
5 Ergebnisse	38
5.1 Recherche zu bisherigen Untersuchungen.....	38
5.1.1 Untersuchungen des HPNA bzgl. Wiederholbarkeit und Einflussfaktoren auf die Messgüte (Hamburger Containerboard, Dunakontroll).....	38
5.1.2 Vergleichsuntersuchungen von AP 500 und PBS II (PTS)	42
5.1.3 Untersuchung von AP500 bezüglich Pressdichte und Vorwahlschalter (PTS).....	45
5.1.4 Vergleichsuntersuchungen von PBS II und Labormethoden bzgl. Genauigkeit (PTS) ...	46
5.1.5 Untersuchung zu Einfluss des Bohrens auf die Feuchtemessung von PBS II (PTS)	47
5.2 Ergebnisse der Untersuchungen an realen Altpapierlieferungen (Standard-Tests)	48

5.2.1	Übersicht der untersuchten Altpapierlieferungen	48
5.2.2	Betrachtungen zu systematischen Problemen der HPNA-Messung	48
5.2.3	Vollmetall-LKW (walking floor) im HPNA-Tor.....	50
5.2.4	Messtechnische Bewertung der einzelnen Lieferungen	51
5.3	Ergebnisse der Untersuchungen an speziellen Altpapierlieferungen (Betriebsversuche)....	56
5.3.1	Übersicht der Versuchsvariationen	56
5.3.2	Ergebnisse Betriebsversuche – emco AP 500.....	58
5.3.3	Ergebnisse Betriebsversuche – HPNA Microwave Moisture Analyzer	67
5.3.4	Ergebnisse Betriebsversuche – Paper Bale Sensor PBS II.....	74
5.3.5	Ergebnisse Betriebsversuche – Referenzmessungen	81
5.3.6	Ergebnisse Betriebsversuche – Vergleich der Messgeräte AP 500 und PBS II	84
5.3.7	Ergebnisse Betriebsversuche – Vergleich der Messgeräte AP 500, HPNA und PBS II sowie Labor	85
6	Zusammenfassung.....	88
6.1	Bewertung der Messtechnik im direkten Vergleich	88
6.2	Bewertung der Messtechnik für die gesamte Lieferung	92
6.3	Übersicht der Projektergebnisse	93
7	Anhang	96
7.1	Standardversuche (1. Kampagne)	96
7.2	Standardversuche (2. Kampagne)	100

1 Ausgangssituation und Zielstellung des Projektes

1.1 Ausgangssituation

Der Einsatz geeigneter Messtechnik im Wareneingang liefert Daten sowohl für die optimale Gestaltung des Kunden-Lieferanten-Verhältnisses bei Altpapier, als auch beim optimalen Einsatz des Rohstoffs Altpapier im Herstellungsprozess der Papierfabrik.

Die Messtechnik zur Wareneingangskontrolle ist dabei nur ein Aspekt einer Qualitätssicherung im Altpapiermanagement (siehe Abbildung 1).

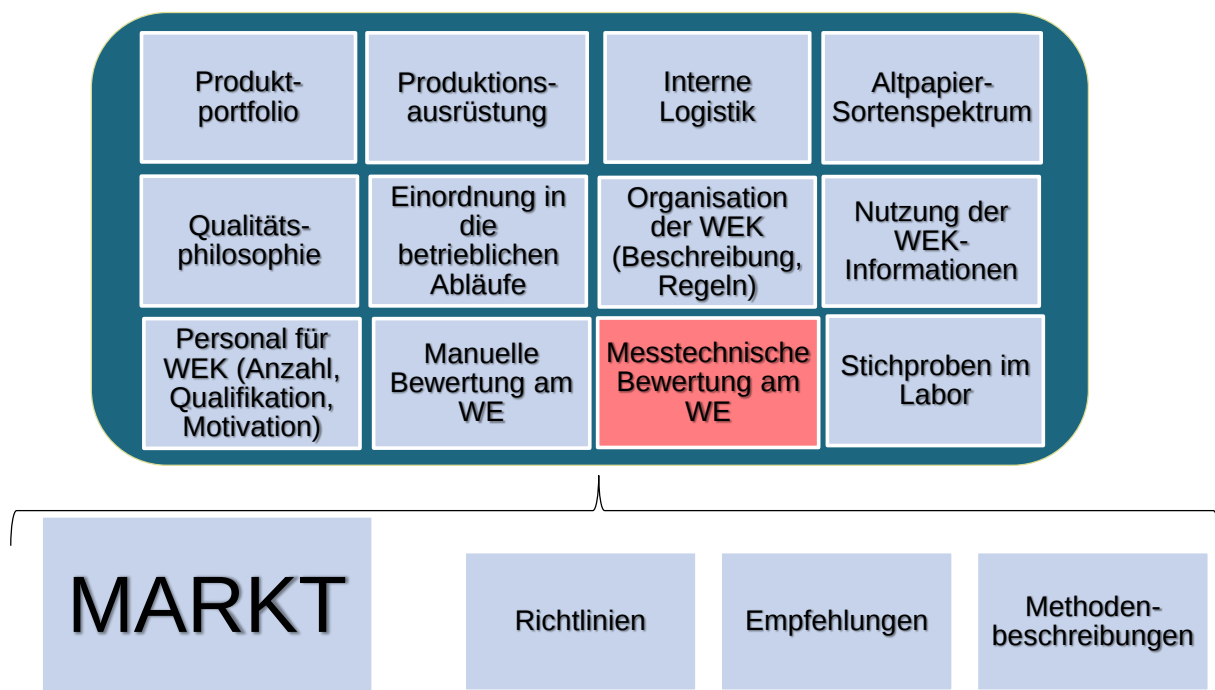


Abbildung 1: Aspekte (oben) und Einflussfaktoren (unten) der Qualitätssicherung¹

1.2 Zielstellung

Ziel des Projekts ist es einen Überblick zu aktueller Messtechnik für die Prüfung und Bewertung von Altpapier zur Eingangskontrolle zu schaffen. Die in Tabelle 4 aufgeführten und verfügbaren Messgeräte werden dabei hinsichtlich Messgrößen, Messbereich, Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit sowie Wiederholbarkeit der Messungen untersucht und bewertet.

Tabelle 4: Untersuchte Messgeräte zur Wareneingangskontrolle von Altpapier

Messgerät	Geräte-Hersteller
emco AP 500	emco GmbH (Deutschland)
HPNA Microwave Moisture Analyzer	Dunakontroll Kft (Ungarn)
PaperBaleSensor PBS II	PTS in Zusammenarbeit mit Sentronic GmbH (Deutschland)

Zur Erfüllung der Ziele wurde folgender Lösungsweg angedacht:

¹ WE = Wareneingang, WEK = Wareneingangskontrolle

- Screening von Messgeräten und Messmethoden, Definition der Vergleichsmethodik
- Durchführung von Vergleichs- und Wiederholungsmessungen an Altpapierballen bzw.-lieferungen
- Bestimmung des Einflusses von bei Altpapier typischerweise schwankenden Parametern auf das Messergebnis
- Allgemeine statistische Prüfung und Auswertung der Messergebnisse
- Spezifische Auswertungen bezüglich Abhängigkeiten zwischen den Messwerten und weiteren Variationsparametern des Altpapiers

Aus den geplanten Untersuchungen sind folgende Ergebnisse zu erwarten:

- Aussagen zur Messgenauigkeit und -toleranz der untersuchten Messtechnik
- Aufzeigen von die Messungen verfälschenden / störenden Einflussfaktoren (gerätespezifisch)
- Zusammenfassende Bewertung der Funktionalität der Messgeräte im Rahmen der Altpapier-Eingangskontrolle
- Ausweisung weiteren Entwicklungsbedarfes

Des Weiteren ergibt sich aus dem Projekt folgendes Anwendungspotenzial und wirtschaftliche Bedeutung für die Papierindustrie:

- Nutzen – Der Einsatz geeigneter Messtechnik im Wareneingang liefert Daten sowohl für die optimale Gestaltung des Kunden-Lieferanten-Verhältnisses bei Altpapier, als auch beim optimalen Einsatz des Rohstoffs Altpapier im Herstellungsprozess der Papierfabrik.
- Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen Altpapierhandel und Papierindustrie
- Belastbare Grundlage für Investitionsentscheidungen bezüglich Messtechnik für die Ausgangs- und Eingangskontrolle von Altpapier.
- Basis zur Generierung von firmen- und branchenübergreifenden datenbasierten Informationen als Argumentationsgrundlage gegenüber Gesellschaft, Verbänden, Politik

1.3 Anmerkungen zum Projektverlauf

Der bvse ist nach der Entscheidung von INFOR und INGEDE zur Projektdurchführung von seiner ursprünglichen Finanzierungsabsicht zurückgetreten. Diese späte Entscheidung zog sowohl eine Verzögerung des Projektstarts als auch eine deutliche Reduzierung der Finanzierung und damit des bearbeitbaren Projektumfanges nach sich. Auf Vorschlag der PTS und in Abstimmung mit den Projektbegleitern wurde die Konzentration auf die Kernaufgabe, die Durchführung und Auswertung einer Messkampagne zum Vergleich von drei am Markt verfügbaren Messsystemen gelegt.

Die Vor-Ort-Untersuchungen wurden bei Hamburger Austria Containerboard in Pitten durchgeführt. PTS bedankt sich ausdrücklich für die konstruktive und tatkräftige Unterstützung.

In Verlauf der ersten Messkampagne (KW32/2017) wurde vom Betreiber Hamburger eine fehlerhafte Kalibrierung des HPNA und damit einhergehende Falschmessungen festgestellt. Die Bewertung der in diesem Zeitraum erhaltenen HPNA-Messdaten ist größtenteils nicht zielführend. Entsprechende Anmerkungen werden im nachfolgenden Bericht vorgenommen. Mit unmittelbarer Unterstützung von Hamburger Pitten wurde eine zweite Messkampagne (KW6/2018) durchgeführt, bei welcher im Vorfeld sowohl die Hard- als auch die Software des HPNA-Messsystems durch den Hersteller ausgetauscht wurden. Die gemäß Projektplanung angedachte Untersuchung einer grafischen Lieferung (Büroaltpapier) wurde nicht durchgeführt, da das HPNA-Messsystem in Pitten für grafische Altpapierqualitäten nicht kalibriert wurde. Wegen der fehlenden Validität der Messergebnisse für diesen Fall wäre eine vergleichende Bewertung nicht sinnvoll.

2 Überblick der untersuchten Messtechnik

Dieses Übersichtskapitel führt zum einen kurz in die theoretischen Grundlagen zur Messtechnik ein und beinhaltet vor allem wichtige Begrifflichkeiten und deren Definitionen. Zum anderen werden die drei untersuchten Messgeräte AP 500, HPNA und PBS II anhand folgender Aspekte beschrieben:

- Allgemeines zu den Messprinzipien der Geräte
- Grundlegende Geräte-Spezifikationen und -Parameter
- Vorteile der jeweiligen Anwendung
- Informationen zum Messablauf
- Angaben zum Hersteller

2.1 Messtechnische Grundlagen

In der nachfolgenden Tabelle sind wichtige Grundbegriffe der Messtechnik nach Norm² benannt und definiert auf die im weiteren Bericht immer wieder Bezug genommen wird.

Tabelle 5: Grundbegriffe der Messtechnik und deren Definitionen

Grundbegriffe	Definitionen
Messgrößen	... sind qualitative und quantitative Merkmale z.B. Feuchte, Masse-/Volumenanteil an Asche, ... an Kunststoff, ... an Holzstoff, ... an Faserstoff
Messbereich	... ist der Bereich, in dem die genannte Messgenauigkeit eingehalten wird.
Auflösung	... ist die Angabe, mit welcher Differenz zwei Messwerte eindeutig unterschieden werden können. (absolut: in der Maßeinheit der Messgröße, relativ: Verhältnis Wert zu Messbereichsendwert)
Abweichung	... ist die Differenz zwischen Messwert und Referenzwert (wahrem Wert)
Messunsicherheit	... ist die Genauigkeit der Messung, gekennzeichnet durch die Streuung oder den Bereich von Werten, die als richtig angenommen werden
Reproduzierbarkeit	... ist das Maß der Abweichung, wenn unter geänderten Bedingungen (Klima, Bediener, ...) x-mal das Gleiche gemessen wird
Wiederholbarkeit	... ist das Maß der Abweichung, wenn unter gleichen Bedingungen vom gleichen Bediener x-mal das Gleiche gemessen wird
Stabilität	... ist der Zeitraum, in dem Genauigkeit, usw. eingehalten werden

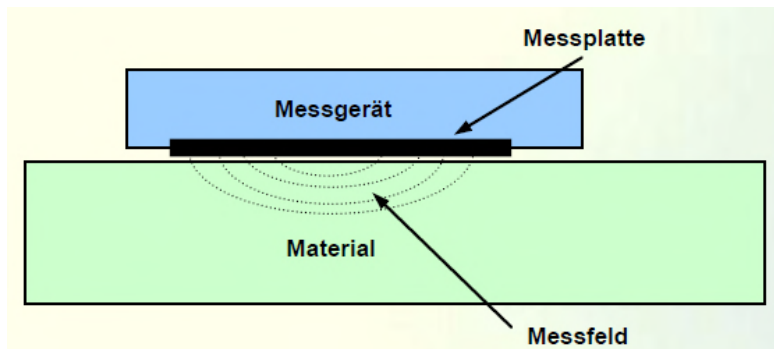
² DIN 1319 Grundlagen der Messtechnik (DIN 1319 -1 Grundbegriffe); DIN 55350-13 Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik; Begriffe zur Genauigkeit von Ermittlungsverfahren und Ermittlungsergebnissen

2.2 emco AP 500 (Fa. Emco)

Allgemein:

Das AP 500 ist ein Gerät zur Feuchtebestimmung in Altpapier, speziell zur schnellen mobilen Feuchtebestimmung ohne Probenentnahme, zum Aufspüren von Feuchtenestern in Stapeln, Ballen und losen Aufschüttungen.

Das im Messfeld befindliche Material wird von einem elektrischen Feld durchdrungen. Infolge der



ausgeprägten Polarität des Wassermoleküls und der daraus resultierenden hohen Dielektrizitätskonstante des Wassers (ca. 83) ändert sich die Kapazität eines Messfeldes mit der Änderung der Feuchte der Messprobe. Bei Handmessgeräten wird das Messsignal auf ein konstantes

Volumen bezogen und damit der Feuchte Wert berechnet. Das Messfeld bis in eine Tiefe von 500 mm sollte vollständig mit dem zu messenden Probenmaterial ausgefüllt sein.

Erhebliche Verunreinigungen, wie leitfähige Folien, Metalle u.a.m. führen zu extrem abweichenden Messwerten oder zur Geräteabschaltung.

Grundlegende Parameter nach Herstellerangaben sind:

Messbereich	4 – 50 % Feuchte
Messtiefe	300 mm effektiv, 500 mm maximal
Betriebstemperaturbereich	5 °C bis +35 °C
Lagertemperaturbereich	-20 °C bis +80 °C
Temperaturkompensation	automatisch
Auflösung der Anzeige	1 % Feuchte
Versorgung	Batterie 9V Alkaline oder NiCd- Akku
Stromaufnahme	5 mA
Abschaltautomatik	nach 90 Sekunden
Ladezustand der Batterie	Leer = Anzeige BAT
Abmessungen	620 x 100 x 150 mm
Gewicht des Gerätes	900 g
Lieferumfang	Gerät im Koffer mit Prüfplatte und Zertifikat

Vorteile:

- Leicht, robust und mobil: Anlegen – Ablesen
- Schnelle, zerstörungsfreie Messung bis in eine Tiefe von effektiv 300 mm
- Werksseitig kalibriert für verschiedene Materialien und Pressdichten
- Digitalanzeige in „%“ Wasseranteil (Gewichtsprozent)
- Temperaturkompensation des Feuchtwertes

Messung / Messablauf:



Das Messgerät wird flach an die zu messende Stelle des AP-Ballens gepresst und der Messwert abgelesen. Es ist darauf zu achten, dass Metall-Drähte, Metall-Teile und freies Oberflächenwasser direkt am AP 500 zu vermeiden sind.

Die Pressdichte des AP-Ballens ist mittels Vorwahlschalter (Stellung 1 - 6) auszuwählen.

Im Lieferumfang ist eine Kalibrationsplatte enthalten. Das Messergebnis gegen diese Platte kann mit einem Referenzwert verglichen werden, der bei emco hinterlegt ist.

Hersteller:

emco Elektronische Mess- u. Steuerungstechnik GmbH
Mommsenstraße 2
04329 Leipzig
Tel.: +49 -341- 271 46 0
Fax: +49 -341- 271 46 14
emco@emco-Leipzig.de
<http://www.emco-Leipzig.de>

2.3 HPNA Microwave Moisture Analyzer (Fa. Dunakontroll)

Allgemein:

Das System "HPNA", misst den relativen Feuchtigkeitsgehalt von Altpapier-Ballen, die mit Lastwagen geliefert werden, mit einer Online-Echtzeit-Mikrowellen-basierten Messtechnik.

Nach der Freigabe bewegt sich der LKW durch ein ca. 5 m x 5 m Tor, das mit einem Sender und einer gegenüberliegenden Empfängerantenne ausgestattet ist. Die Geschwindigkeit des Lastkraftwagens sollte 5 km/h nicht überschreiten, um ausreichend Zeit zum Abtasten der Last zu gewährleisten. Der Feuchtigkeitsgehalt wird sofort berechnet und auf dem Bildschirm angezeigt, um den LKW an die richtige Stelle zu lenken. Es besteht auch die Möglichkeit, diesen Prozess zu automatisieren.



Das nebenstehende Foto zeigt die 40 x 60 x 20 cm große wasserdichte Einheit mit dem Sender und die zirkular polarisierten Mikrostreifenantennen.

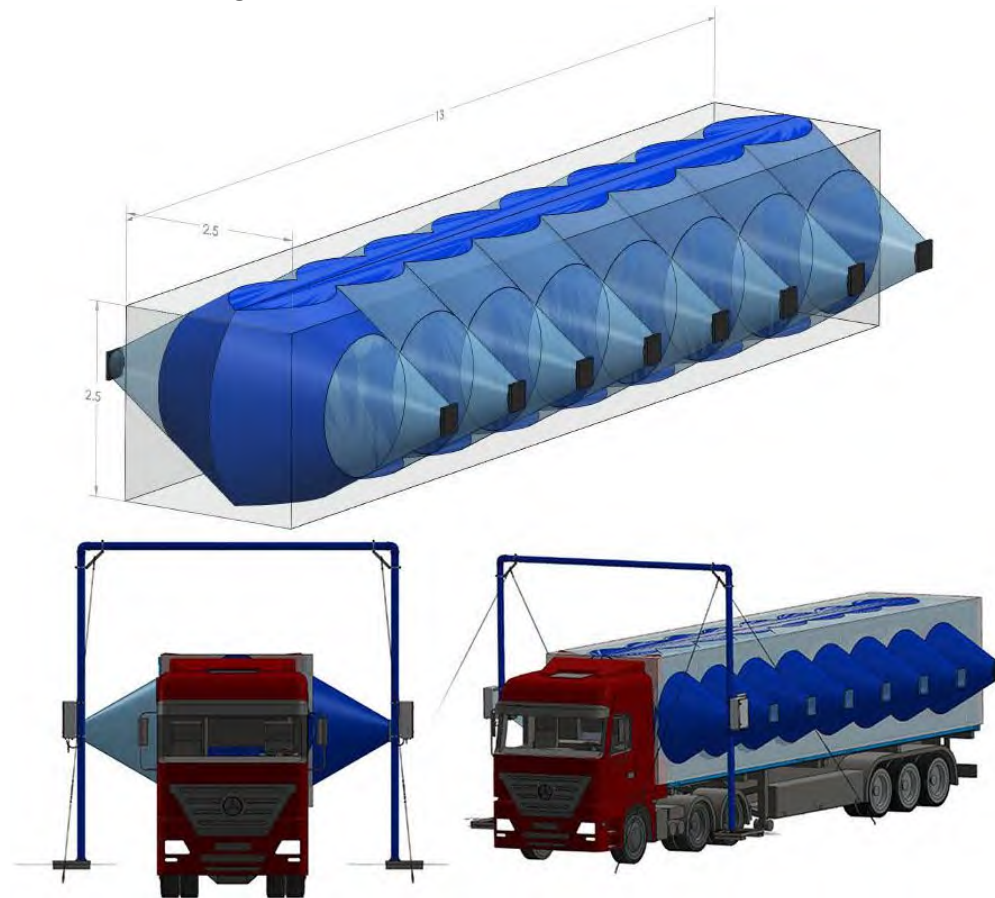
Grundlegende Parameter nach Herstellerangaben sind:

Messanordnung	5 x 5 m Tor inkl. die Antennen
Messbereich	max. 35% absoluter Feuchtigkeitsgehalt
Genauigkeit	+ / - 1,5 % vom Wert
Frequenz des Signals	920 MHz
Leistung des Signals	10 mW
Distanzsender - Empfänger	5 m
Errichtungsregeln für die Antennen	fest montiert, 13 dB Antenne in 2,3 m Höhe
Mikrowellendynamik	80 dB
Anmerkungen	hölzerne Einbauten in LKW können beim Messen in Position bleiben Senkrechte Metallstreben werden herausgerechnet

Vorteile:

- Unmittelbar nach der Messung des Gewichts des Lastkraftwagens erfolgt die Messung der Feuchtigkeit über die gesamte Breite des Lastwagens, nicht nur von der Oberfläche der Altpapierballen
- In Längsrichtung misst das System an mehreren Punkten mit hoher Geschwindigkeit (ca. 1 Sekunde / Scan)
- Im Vergleich zu den bestehenden handelsüblichen Systemen ist die Abdeckung deutlich höher (> 70 % der Gesamtlast)
- Keine beweglichen Teile und kein Wartungsbedarf
- Während der kurzen Messzeit wird ein niedriges Mikrowellensendesignal (10 mW) verwendet
- Große Einsatzmöglichkeiten: mit kleinen Modifikationen auch für Stroh und Holzpellets geeignet

Skizze der Messung / Messablauf:



Bildnachweis: http://dunakontroll.hu/wp-content/uploads/2011/09/atvilagitas_3.jpg

Hersteller:

Dunakontroll Kft
Papírgyári út 42-46
H2400 Dunaújváros
<http://dunakontroll.hu/>
Tel.: +36 25 557-247
Fax.: +36 25 500-325
info@dunakontroll.hu

2.4 Paper Bale Sensor PBS II (PTS)

Allgemein:

PBS II nutzt die NIR-Spektroskopie. Dabei wird die zu untersuchende Probe mit Licht im nahinfraroten Spektralbereich beleuchtet. Dieses Licht dringt in die Probe ein und wird dort teilweise und abhängig von der chemischen Zusammensetzung der untersuchten Probe an unterschiedlichen Wellenlängen absorbiert. Das zurückgestreute bzw. transmittierte Licht wird im Spektrometer spektral zerlegt und detektiert. Das ermittelte Spektrum wird (mittels mathematischer Methoden) normiert und für die Identifikation verwendet. Für eine sinnvolle Messung ist es notwendig, ein Loch in den Ballen zu bohren. Mit dem Messgerät wird dann die Wandung des entstandenen Loches abgetastet und die Ergebnisse direkt mittels WLAN an einen Tablet-PC weitergegeben.



Die Ergebnisse werden numerisch und graphisch dargestellt und zusammen mit Datum, Uhrzeit und Lieferanteneingaben gespeichert. Die Eingabe von Lieferantendaten kann dabei über Tastatur, Auswahlfeld, Barcode-Scanner oder RFID-Chip erfolgen.

Grundlegende Parameter nach Herstellerangaben sind:

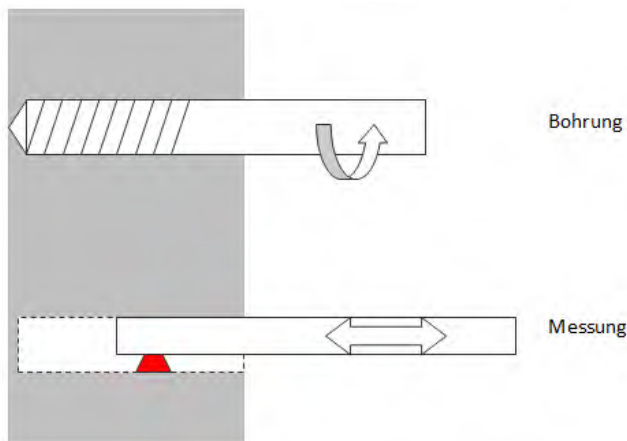
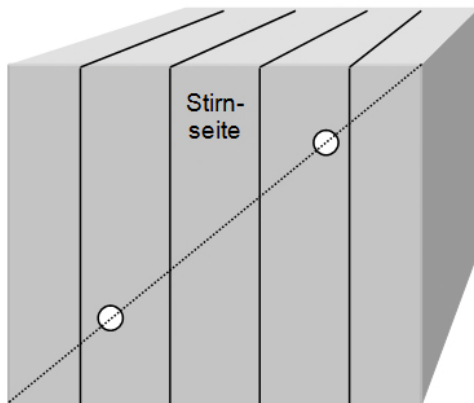
Technologie	Nahinfrarot-Spektrometer mit Diodenzeilentechnologie
Spektralbereich	900 - 1.700 nm
Spektrale Auflösung	ca. 1 nm
Batteriebetrieb	ca. 8 h
Stromversorgung	Externes Netzteil 16-24 V / 1,5 A DC
Betriebstemperatur	15 - 35°C
Gewicht	2400 g
Abmessungen	990 x 145 x 42 mm
Schnittstellen	WLAN (Dateiaustausch)
Datenbank	Validierte, kontinuierlich erweiterte Analysemethoden
Lieferumfang	Netzteil, Prüfstandard

Vorteile:

- sofortige Kontrolle der Altpapierqualität am Wareneingang ermöglicht eine zeitnahe Reaktion durch Reklamation oder Wertminderung der Lieferung
- Messparameter sind neben Feuchte auch Kunststoff, Asche und Holzstoffanteil
- Sofortberechnung der Qualitätsparameter
- Vergleich mit Schwellwerten und Sofortanzeige des Ergebnisses
- Kabellose Datenübertragung an Tablet-PC oder Server
- Zuordnung zu Lieferantendaten
- Archivierung der Messdaten

Skizze der Messung / Messablauf:

Im normalen Einsatz sind an der Stirnseite des Ballens zwei Bohrungen an der gedachten Diagonale der im Verhältnis 1/4-1/2-1/4 einzubringen (Holzbohrer Lewis-Typ, D: 24 mm, l: ca. 400 mm). Damit wird gewährleistet, dass eine maximale Anzahl an Papierschichten beprobt werden kann. Innerhalb von 5 Minuten nach dem Bohrvorgang ist die Messlanze einzuführen und die innere Wandung gleichmäßig abzutasten, bis das Messgerät selbstständig den Messvorgang beendet.



Hersteller:

Papiertechnische Stiftung
Pirnaer Straße 37
01809 Heidenau
Tel. +49 (03529) 551 - 60
Fax +49 (03529) 551 - 899
<https://www.ptspaper.de/>
joerg.hempel@ptspaper.de

3 Methodik

In diesem Abschnitt werden die für die Untersuchungen relevanten Normen, Industriebranchenempfehlungen, -regulierungen und -richtlinien sowie gerätespezifische Betriebsanweisungen und Herstellerempfehlungen aufgeführt und beschrieben.

3.1 Probenauswahl und Probenahme

Die Repräsentativität einer Bewertung, also die Aussagekraft von gewonnenen Daten einer Teilmenge über die Gesamtheit, ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig (Abbildung).

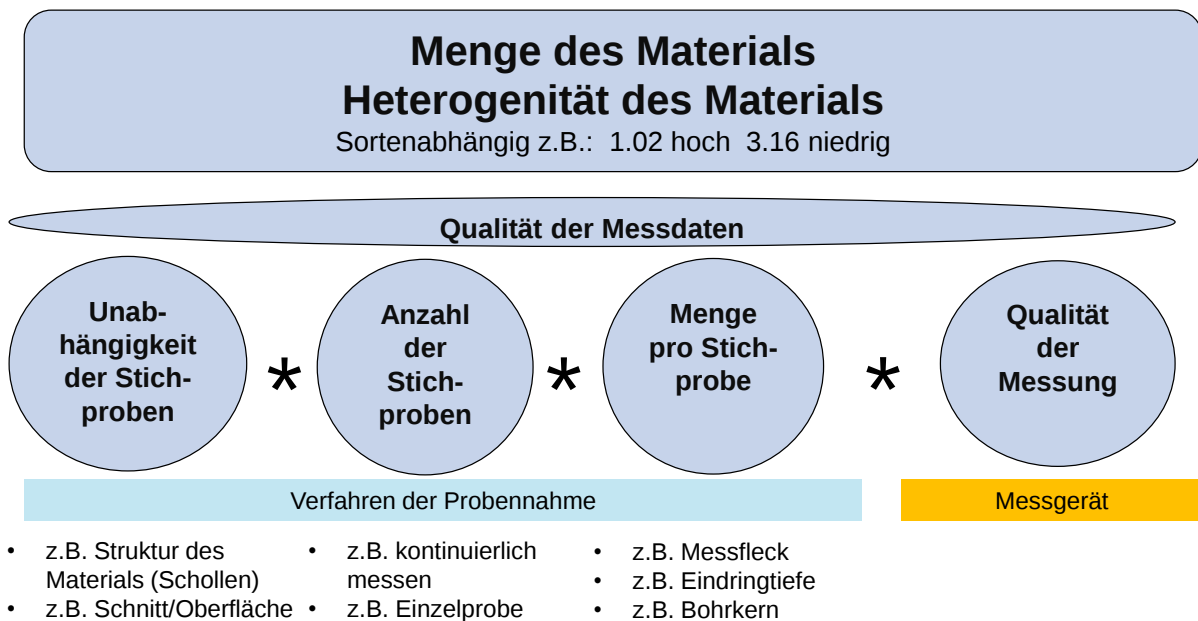


Abbildung 2: Einflussfaktoren auf die Repräsentativität einer Bewertung

Eine sorgfältige Probenauswahl bzw. Probenahme ist dabei ein wichtiger Schritt. Die entwickelten Vorgehensweisen zur Probenauswahl erfolgen daher unter Beachtung folgender Punkte:

- Branchenempfehlungen und -regulierungen zur Wareneingangskontrolle von Altpapier, bspw. GesPaRec-Handbuch, CEPI-Guidelines, etc.
- Vergleichbarkeit der Versuchsmessungen aller drei Messgeräte
- Praktikabilität und Aufwand während der Untersuchungen

Zur Entwicklung der Vorgehensweise der Probenauswahl und Probenahme wurden folgende Methoden genutzt und jeweils die wesentlichen Aspekte zur Auswahl dieser benannt:

- GesPaRec-Handbuch
 - Kapitel 2.1 Auswahl der zu prüfenden Ballen
 - Kombination aus Ballenauswahlschema und Zufallsprinzip
- Entwurf DIN EN 17085 zu Probenahme-Verfahren für Papier und Pappe für Recycling
 - Kapitel 5.2 Probenahme von gebündelten Material
 - Kernprobenahme
- Verladeempfehlungen zur Ladungssicherung von Altpapierballen auf Straßenfahrzeugen
 - Lieferungen mit Regelverladung
 - 2 Altpapierballen nebeneinander auf Mindestbreite von 2,20 m
 - 2 – 3 Altpapierballen übereinander
- Herstellerempfehlungen zu den jeweiligen Messgeräten
 - Jeweilige Bedienungsanleitung, siehe dazu auch die nachfolgenden Abschnitte

- Bspw. PBS II-Messung von mind. 2 Ballen mit je 2 Bohrungen

Nach Diskussion und Absprache mit den Projektpartnern im Kick-Off-Meeting wurde sich für die drei untersuchten Messgeräte sowie die Referenzmessungen im Labor auf folgende Vorgehensweisen zur Probenauswahl bzw. Probenahme geeinigt:

- **HPNA:** keine Probenauswahl bzw. Probenahme notwendig
- **AP 500 – Standard-Tests:** An jeden Ballen der mittleren Lage der vorderen Beladungsreihe auf einer Seite wurde mind. eine Messung durchgeführt. Zusätzlich wurden jeweils zwei Messungen n Vorder- und Rückseite der für die PBS II- und Referenzmessungen ausgewählten Ballen durchgeführt.
- **AP 500 – Betriebsversuche:** An jedem Ballen wurden jeweils zwei Messungen an Vorder- und Rückseite durchgeführt.
- **PBS II – Standard-Tests:** In der Regel wurde die zweite Ballenreihe (in kompletter Beladungsbreite, zwei Ballen breit, drei Ballen hoch) ausgewählt und an beiden Ballen der mittleren Lage jeweils zwei Bohrungen und Messungen durchgeführt
- **PBS II – Betriebsversuche:** An jedem Ballen wurden jeweils zwei Bohrungen und Messungen an Vorder- und Rückseite durchgeführt.
- **Probennahme nach Ballenöffnung:** Von Ballen der Betriebsversuche der zweiten Kampagne wurden von Mitarbeitern vor Ort nach Öffnung der Ballen Proben genommen und der Feuchtebestimmung im Labor zugeführt.
- **Referenzmessungen im Labor:** Die je Ballenseite angefallenen zwei Bohrkernproben (Bohrung zur Vorbereitung der PBS II-Messungen) wurden zu einer Probe gemischt.

3.2 Messvorgänge (vor Ort)

In den nachfolgenden Unterabschnitten sind die Vorgehensweisen der Messungen der jeweiligen untersuchten Messgeräte gemäß der Betriebsanweisungen und Herstellerempfehlungen beschrieben.

3.2.1 HPNA Microwave Moisture Analyzer

In Pitten wurde ein HPNA-Tor vorgefunden, das durch den Hersteller eingerichtet und justiert wurde. Veränderungen dieses prinzipiellen Setups wurden vereinbarungsgemäß nicht unternommen.

Ablauf:

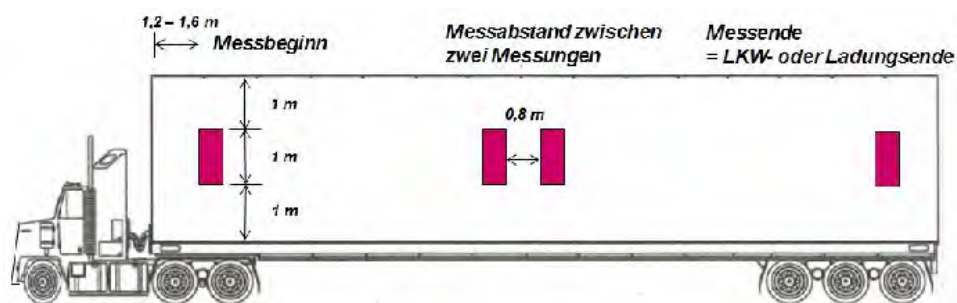
Der LKW-Fahrer erhält eine spezifisch für ihn erstellte Chip-Karte, die die grundlegenden Daten der Lieferung (mind. Kfz-Kennzeichen und die zu erwartende AP-Sorte) enthält. Die AP-Sorte wird vorgewählt, wobei 6 Sorten in der ersten Messwoche hinterlegt waren (W41 / 4.01.00, W62 / 4.02.00, B12 gepresst / 1.02.00, D19 gepresst / 1.04.00, W52 gepresst / 4.03.00, O14 Weiße Späne / 2.03.01). In der zweiten Woche waren nur die Sorten 4.01.00; 1.02.00; 1.04.00 verfügbar.

Waagerechte Metall-Einbauten werden entfernt und die Ladung mit Plane wieder verschlossen. Der LKW fährt ein und hält an einer Schranke; die Chip-Karte wird eingeworfen. Die LKW-Position ist so gewählt, dass Sender/Empfänger ca. 1,2 - 1,6 m nach den Beginn der Ladung stehen. Nach Öffnung der Schranke fährt der LKW in Schritt-Tempo durch das Tor.

Es sind Sensoren vorhanden, die die Bewegung des LKW erfassen und somit die Messungen triggern, so dass der Messpunkt Abstand ca. 0,8 m beträgt. Die Daten zu den einzelnen Messpunkten werden aus einer größeren Anzahl Rohmessungen berechnet. Über die Hintergründe der Bearbeitungen der Rohdaten ist wenig bekannt, außer dass eine Mittelung über die Werte vorgenommen wird.

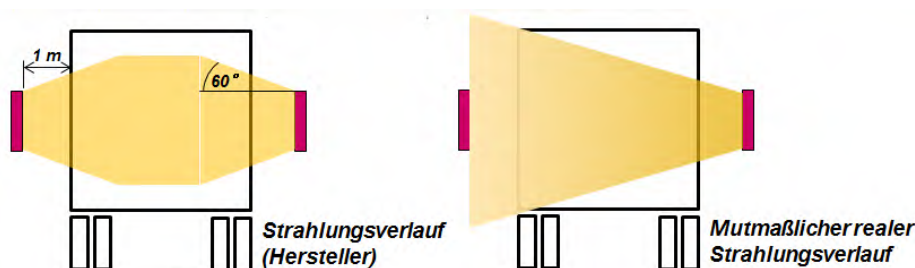
Nach Beendigung der Durchfahrt werden die Messdaten automatisch ausgewertet und visualisiert. Dazu gehören Ausreißerkontrollen bezüglich offensichtlich unrealistischer Messwerte und hinsichtlich der nicht entfernten, meist 3 vertikalen Metallverstrebungen. Mittelwert und Einzelwerte werden angezeigt. Die automatisiert eliminierten Messwerte sind nicht ohne weiteres aus dem System herauszulesen.

Die folgende Abbildung zeigt die vor Ort vorgefundene Situation schematisch. Die kleinen Rechtecke zeigen dabei die Flächen von Sender/Empfänger des HPNA-Systems



Der vom Hersteller angegebene Strahlungsverlauf quer durch den LKW mit einem vollständigen Eintreffen der ausgesandten

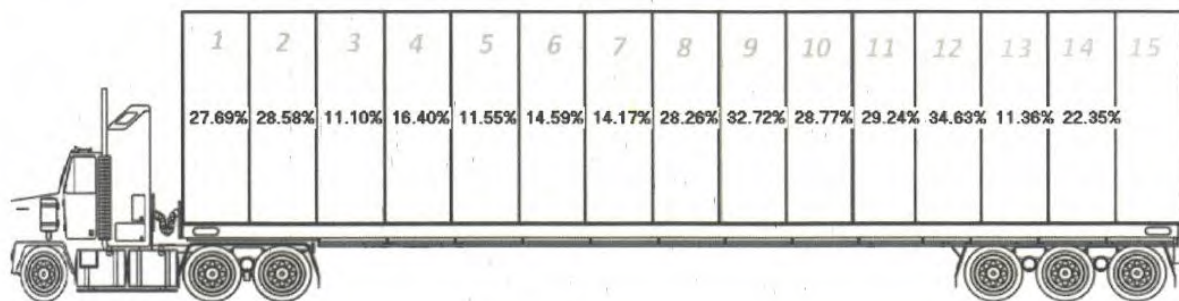
Strahlung auf dem Empfänger kann kaum der Realität entsprechen, was aber durch nicht mögliche Messungen der Mikrowellenstrahlung vor Ort nur eine begründete Spekulation bleibt.



Auswertungen:

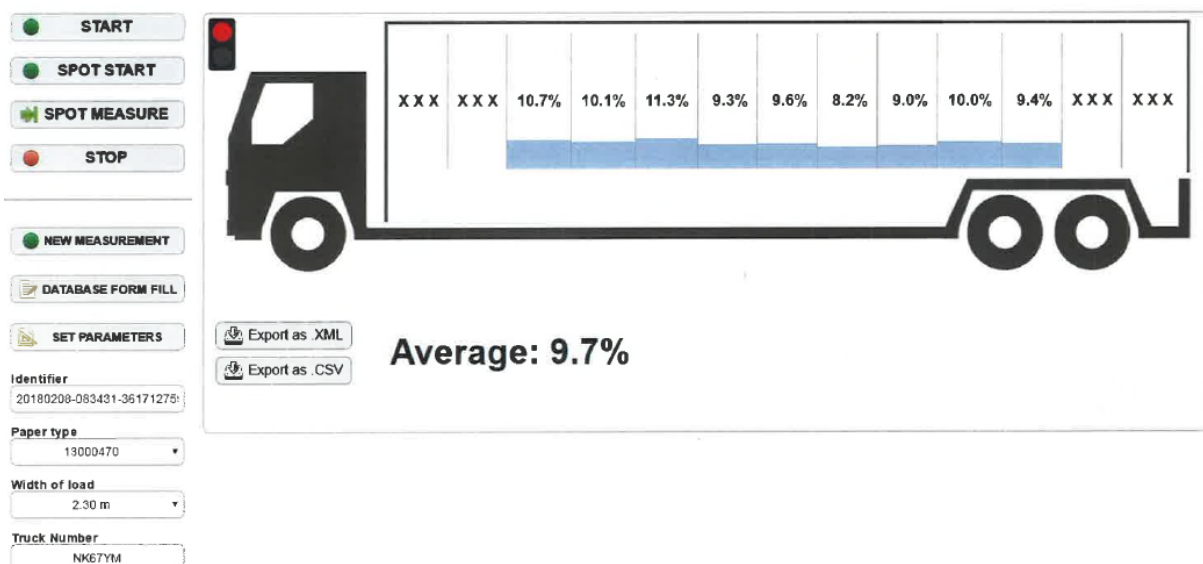
Die nächste Abbildung zeigt beispielhaft das Ergebnis einer realen Messung der ersten Messwoche mit interner Identifikationsnummer, dem Kfz-Kennzeichen, einem Material-Code sowie -Name, Datum und Uhrzeit, der mittleren Feuchte, den Einzelwerten der Feuchtebestimmung, dem Druckzeitpunkt des Dokumentes sowie einer graphischen Darstellung.

Identification: 20170808-130800-707662210-9685973
 License plate: WB644FA
 Material code: 13000470
 Material name: B19 GEPRESST / 1.04.00
 Time of measurement: 2017-08-08 13:17:26
 Moisture: 22.24%
 List of results: 27.69%; 28.58%; 11.10%; 16.40%; 11.55%; 14.59%; 14.17%; 28.26%; 32.72%; 28.77%; 29.24%; 34.63%; 11.36%; 22.35%
 Time of printing: 2017-08-08 13:17:26



Wie die Darstellung zeigt, war die maximale Anzahl an Messungen mit 15 vorgesehen, was selten erreicht wurde. Im Verlaufe der Untersuchungen wurden aber auch LKW mit nur 7 gültigen Messungen beobachtet.

Nach der Hard- und Softwareumstellung sah die Softwareoberfläche wie folgt aus. Neben einigen graphischen Veränderungen wurde die Ladungsweite bzw. -tiefe in die Anzeige übernommen. Diese ist als Parameter in der Software für die jeweiligen Lieferanten hinterlegt, kann aber auch manuell verändert werden. Die Übersichtsdarstellung des LKW beginnt und endet standardmäßig mit je zwei Messfeldern ohne Anzeige eines Feuchtegehaltes und beinhaltet idR. 9 Einzelmessungen die zu einem Mittelwert zusammengefasst werden.



Für die Auswertung der **Standard-Versuche** wurden die jeweils anfallenden Messungen gleichmäßig über die real zu erwartende Ballenlieferung verteilt, wobei der jeweils erste Stapel nach dem Führerhaus nicht mit einbezogen wurde.

Für die nachfolgende Messung mit dem PBS II wurde der mittlere Ballen (Ladungshöhe) des zweiten Stapels nach dem Führerhaus markiert. Für die AP 500-Messungen wurde die mittlere Ballenlage, beginnend mit dem zweiten Stapel verwendet.

3.2.2 emco AP 500

Für die Messungen stand ein AP 500 aus dem Bestand der PTS-Heidenau zur Verfügung. Die Schalterstellung war auf „4“ festgelegt. Die Verwendung erfolgte laut Herstellerangabe durch festes und flächiges Anpressen an die jeweils zu vermessende Ballenseite. Die angezeigten Messwerte wurden schriftlich festgehalten.

Für die **Standard-Versuche** wurde die mittlere Ballenlage, beginnend mit dem 2. Stapel nach dem Führerhaus vermessen. Die Feuchtwerte wurden streng nach ihrer Reihenfolge verzeichnet und ausgewertet.

3.2.3 Paper Bale Sensor PBS II

Für die Messungen stand ein PBS II System inkl. Tablet und Bohrmaschine der PTS-Heidenau zur Verfügung. Hier müssen keine Voreinstellungen unternommen werden. Die Ballen wurden entsprechend der Herstellerangabe angebohrt, wobei das Bohrgut (Bohrkernproben für Referenzmessungen) möglichst komplett aufgefangen und umgehend in eine luftdichte, wiederverschließbare Plastiktüte verbracht wurde. Verwendung fand ein Bohrer von 450 mm Länge. Die Bohrlöcher wurden mit dem Messgerät untersucht, wobei die Ergebnisse zusammen mit einer hinreichenden Bezeichnung automatisch abgelegt wurden.

Für die **Standard-Versuche** wurde aus dem zweiten Stapel nach dem Führerhaus die mittlere Lage separiert und für die PBS-Messungen entnommen.

3.2.4 RDM3p Feuchtemessgerät

In Pitten in der zweiten Kampagne ein zusätzliches Handmessgerät zur Feuchtebestimmung vorgefunden, dass aus einer Widerstandsmessung zwischen 2 in die AP-Ballenoberfläche zu stechenden Elektroden auf einen Feuchtegehalt schließen kann. Dieses System wurde an ausgewählten Lieferungen als weiteres Vergleichssystem verwendet.



3.3 Referenzmessungen

In den nachfolgenden beiden Unterabschnitten werden die jeweiligen Methoden zur Laborbestimmung der Referenzparameter Feuchtegehalt und Aschegehalt gemäß der relevanten Normen beschrieben. Die konkreten Abläufe mit evtl. Abweichungen und Anpassungen zur Norm bei der Bestimmung in den beiden Laboratorien Pitten und PTS Heidenau werden separat im Abschnitt 4.5 erläutert.

3.3.1 Feuchtegehalt

Zur Ermittlung des Referenzwertes für den Feuchtegehalt wird die Norm zur Trockengehaltsbestimmung DIN EN ISO 638³ herangezogen.

Der Begriff Trockengehalt wird vor allem für lufttrockene oder feuchte Proben angewandt. Nach DIN EN ISO 638 wird für dessen Bestimmung eine eingewogene Probe in einem Ofen bei 105 ± 2 °C bis zur Massekonstanz getrocknet. Aus dem Verhältnis von ausgewogener Trockenmasse und eingewogener Probenmasse ergibt sich der Trockengehalt:

$$TG = \frac{m_{otro}}{m_{lutro}} * 100\% \quad [\%]$$

TG ... Trockengehalt [%]

m_{otro} ... Probenmasse nach Trocknen (ofentrocken) [g]

m_{lutro} ... Probenmasse vor Trocknen (lufttrocken) [g]

Anschließend lässt sich der Feuchtegehalt aus der Differenz des Trockengehalts zu 100 % berechnen:

$$FG = 100\% - TG \quad [\%]$$

FG ... Feuchtegehalt [%]

3.3.2 Aschegehalt bei 525°C

Zur Ermittlung des Referenzwertes für den Aschegehalt wird die Norm ISO 1762⁴ zur Bestimmung des Glührückstands bei 525°C (Aschegehalt), für Glührückstand bei 900°C gilt die ISO 2144⁵.

Der Glührückstand, auch Aschegehalt genannt, wird je nach Norm bei einer Temperatur von 525°C (ISO 1762) oder 900 °C (ISO 2144) bestimmt. Während beim Verglühen bei 525 °C alle organischen Bestandteile umgesetzt werden, wird für die CO₂-Abspaltung aus anorganischem Calciumcarbonat, welches vor allem in gestrichenen Papieren enthalten ist, eine Temperatur von 900 °C benötigt. Die noch vorhandenen Glührückstände sind anorganische Verbindungen, die dem Papier als Füllstoffe zugegeben wurden. Zur Bestimmung des Glührückstands werden die Proben in Tiegel eingewogen und in einem Verbrennungsofen, auch Muffelofen genannt, bei 525°C bzw. 900°C verascht.

$$AG = \frac{m_R}{m_{otro}} * 100\% \quad [\%]$$

AG ... Aschegehalt [%]

m_R ... Probenmasse nach Verglühen bei 525°C bzw. 900°C [g]

m_{otro} ... Probenmasse (ofentrocken) [g]

³ DIN EN ISO 638: Papier, Pappe und Faserstoff - Bestimmung des Trockengehaltes - Wärmeschrankverfahren

⁴ ISO 1762: Papier, Pappe und Faserstoffe - Bestimmung des Glührückstandes bei 525 °C (Aschegehalt)

⁵ ISO 2144: Papier, Pappe und Faserstoffe - Bestimmung des Restanteils (Asche) nach dem Glühen bei 900 °C

4 Untersuchungen bei Hamburger Austria Containerboard in Pitten

Die Vor-Ort-Untersuchen wurden im Rahmen von zwei Kampagnen durchgeführt:

- KW 32 im August 2017
- KW 6 im Februar 2018

Somit konnten vor allem Wetterextreme in die Auswertungen mit einbezogen werden, was sich vor allem auf die Temperatur bezog (0°C bis 30°C). Darüber hinaus wurde das HPNA zwischen den beiden Kampagnen soft- und hardwareseitig grundsätzlich überarbeitet. Grund war insbesondere die Einschätzung des Herstellers, dass nahe Mobilfunkanlagen die Messungen beeinträchtigten.

4.1 Erste Messkampagne (KW32/2017)

Für die Vor-Ort-Untersuchungen standen drei Untersuchungstage in KW 32 (08.08.-10.08.2017) zur Verfügung. Einen Überblick über die Lage verschafft die folgende Abbildung.



Abbildung 3: Luftaufnahme des Wareneingangs in Pitten mit Positionen der einzelnen Messtechniken

Von PTS waren die Herren Schiefer und Dr. Plew anwesend. Vor Ort wurden von Hamburger zur Verfügung gestellt:

- Zwei Mitarbeiter aus dem Bereich Labor, für die Probenbehandlung inkl. Feuchte- und Aschebestimmung sowie für Messungen mit AP 500 und PBS II.
- Ein Mitarbeiter inkl. LKW für die Betriebsversuche

Die Untersuchungen vor Ort unterteilten sich im Wesentlichen in:

- **Standard-Tests** (Reale Altpapierlieferungen)
Bei diesen Untersuchungen wurden hinreichend viele LKW im realen Standardbetrieb des HPNA, des AP 500 und PBS II getestet. Diese Untersuchungen umfassten:
 - einmalige Messung mit HPNA
 - Messung der mittleren Ballenlage mittels AP 500 auf der Seite der Planenöffnung
 - 4 PBS II-Messungen an den beschriebenen Ballen
- **Betriebsversuche** (mit einer synthetischer Altpapierlieferung)
Bei diesen Untersuchungen wurde aus zurückgestellten Altpapierlieferungen verschiedener Sorten eine aus drei Sortenabschnitten bestehende synthetische Lieferung zusammengestellt

und auf einem LKW verladen. Anschließend erfolgten mehrmalige Messungen mit den drei Messsystemen HPNA, AP 500 und PBS II.

- **Referenzmessungen an gewonnenem Bohrkern-Probenmaterial:**
 - Labor der Papierfabrik Hamburger Austria Containerboard in Pitten
 - Labor der PTS Heidenau

Allgemein gilt:

- Das Setting und der Ablauf der Versuche führt primär nur zum Vergleich der Messgeräte bzw. -verfahren (Korrelation), nicht aber zu einem Abgleich mit der wirklichen Feuchte der einzelnen Ballen oder Lieferungen.
 - Standard-Tests an eingehenden Lieferungen zur Bewertung von:
 - Messgenauigkeit
 - Messabweichungen zur Referenzmessung (Labor)
 - Betriebsversuche an einer „synthetischen“ Lieferung zur Bewertung von:
 - Wiederholbarkeit
 - Reproduzierbarkeit – Bediener und Umwelteinflüsse
 - Stabilität – Messtechnischen Konfigurationen und Eigenheiten

Zeitliche Abläufe:

Tag 1:

Standard-Tests – HPNA, AP500, PBS

- Durchführung von Standard-Tests an insgesamt 20 verschiedenen Lieferungen unterschiedlicher Altpapiersorten-Beladung
- Untere Sorten: 1 x B12 (1.02.00) und 13 x B19 (1.04.00/1.05.00)
- Krafthaltige Sorten: 2 x W41 (4.01.00), 1 x W52 (4.02.00) und 3 x W61 (4.03.00)

Betriebsversuche – HPNA

- Beladen des Versuchs-LKW mit 3 Teilladungen in jeweils eigenen Abschnitten bestehend aus folgenden Altpapiersorten:
 - 12 x Ballen der Sorte 1.04.00 (B19)
 - 8 x Ballen der Sorte 1.02.00 (B12)
 - 12 x Ballen der Sorte 1.05.00 (B19+)
- Durchführung von insgesamt 12 HPNA-Messungen (jeweils 2 x Wiederholungen bei 6 x Sortenauswahl-Einstellungen) – ≈ 3 km/h; nachmittags; $\approx 30^{\circ}\text{C}$; $\approx 60\%$ rLF
- Lagerung der Beladung über Nacht im LKW

Standard-Tests – Laboruntersuchung Pitten

- Parallel-Bestimmung des Feuchtegehalts (Trockenschrank) und des Aschegehalts 525°C (Muffelofen) der Bohrkernproben (jeweils 2 Proben jeder untersuchten Lieferung) im Labor Pitten

Tag 2:

Betriebsversuche – HPNA

- Durchführung von insgesamt 12 HPNA-Messungen (jeweils 2 x Wiederholungen bei 6 x Sortenauswahl-Einstellungen) – Bedingungen: ≈ 3 km/h; früh; $\approx 25^{\circ}\text{C}$; $\approx 75\%$ rLF
- Entladen des Versuchs-LKW und Bereitstellen der 3 Teilladungen in jeweils eigene Abschnitte zur Untersuchung mittels AP500 und PBS

Betriebsversuche – AP500

- Durchführung von jeweils 16 AP500-Messungen an allen 32 Ballen (4 x Personen mit jeweils 2 x Messungen an Ballenvorder- und Ballenrückseite) – Bedingungen: AP500-Schalter 4; vormittags; $\approx 25^{\circ}\text{C}$; $\approx 75\%$ rLF)

Betriebsversuche – PBS

- Durchführung von jeweils 4 PBS-Messungen an Ballenvorderseite (2 x Personen mit jeweils 1 x Messung an 2 Bohrlöchern je Ballen) – Ballen 1-32
- Durchführung von jeweils 4 PBS-Messungen an Ballenrückseite (2 x Personen mit jeweils 1x Messung an 2 Bohrlöchern je Ballen) – Ballen 21-32
- Durchführung von jeweils 8 PBS-Messungen an 12 ausgewählten Ballen in vorhandenen Bohrlöchern (4 x Personen an 2 Bohrlöchern je Ballen) – Ballen 1-12; $\approx 1,5$ h nach Bohrung
- Lagerung der Ballen über Nacht an Entladestelle

Betriebsversuche – Laboruntersuchung Pitten

- Parallel-Bestimmung des Feuchtegehalts (Trockenschrank) und des Aschegehalts 525°C (Muffelofen) der Bohrkernproben (jeweils 2 Proben je Ballen) im Labor Pitten

Tag 3:

Betriebsversuche – AP500

- 2 x Durchführung von jeweils 4 AP500-Messungen (1x Person mit jeweils 2x Messungen an Ballenvorder- und Ballenrückseite)
- an allen 32 Ballen – AP500-Schalter 4; vormittags; $\approx 25^{\circ}\text{C}$; $\approx 70\%$ rLF
- an allen 32 Ballen – AP500-Schalter 4; mittags; $\approx 33^{\circ}\text{C}$; $\approx 50\%$ rLF
- an 12 ausgewählten Ballen – AP500-Schalter 4; Messlatte 90° gedreht; Verdrahtung; mittags; $\approx 33^{\circ}\text{C}$; $\approx 50\%$ rLF

Betriebsversuche – PBS

- Durchführung von jeweils 4 PBS-Messungen an Ballenrückseite (2 x Personen mit jeweils 1 x Messung an 2 Bohrlöchern je Ballen) – Ballen 1-20
- Durchführung von jeweils 4 PBS-Messungen an Ballenrückseite (1 x Person mit jeweils 1 x Messung an 2 Bohrlöchern am Lochanfang und 1 x Messung an 2 Bohrlöchern am Lochende) – Ballen 1-20
- 2 x Durchführung von jeweils 2 PBS-Messungen an 12 ausgewählten Ballen in vorhandenen Bohrlöchern (1 x Person an 2 Bohrlöchern je Ballen)
- Ballen 1-12; $\approx 19,5$ h nach Bohrung
- Ballen 1-12; ≈ 24 h nach Bohrung

Betriebsversuche – HPNA

- Beladen des Versuchs-LKW mit 3 Teilladungen in jeweils eigene Abschnitten wie am 1.Tag
- Durchführung von insgesamt 12 HPNA-Messungen (jeweils 2x Wiederholungen bei 6 x Sortenauswahl-Einstellungen) – Bedingungen: ≈ 3 km/h; nachmittags; $\approx 33^{\circ}\text{C}$; $\approx 50\%$ rLF

4.2 Zweite Messkampagne (KW6/2018)

Für die Vor-Ort-Untersuchungen standen diesmal zwei Untersuchungstage in KW 6 (07.02.-08.02.2018) zur Verfügung. Einen Überblick über die Lage verschafft die folgende Abbildung.



Abbildung 4: Luftaufnahme des Wareneingangs in Pitten mit Positionen der einzelnen Messtechniken

Im Gegensatz zur ersten Kampagne wurden die AP500-Messungen meist vor dem HPNA auf dem Parkplatz der LKW durchgeführt. Die PBS-Messungen wurden in einer offenen Lagerhalle bei Außenbedingungen, aber ohne direkten Schnee/Schneeregen-Einfall unternommen. Die Ballenöffnungen fanden auf dem AP-Platz zwischen den Messorten statt.

Von PTS waren wieder die Herren Schiefer und Dr. Plew anwesend. Vor Ort wurden zur Verfügung gestellt:

- Zwei Mitarbeiter aus dem Bereich Labor, für die Probenbehandlung inkl. Feuchte- und Aschebestimmung sowie für Messungen mit AP 500 und PBS II.
- Ein Mitarbeiter inkl. LKW für die Betriebsversuche

Die Untersuchungen vor Ort unterteilten sich im Wesentlichen in:

- **Standard-Tests** (Reale Altpapierlieferungen)
Bei diesen Untersuchungen wurden hinreichend viele LKW im realen Standardbetrieb des HPNA, des AP 500 und PBS II getestet. Diese Untersuchungen umfassten:
 - einmalige Messung mit HPNA
 - Messung der mittleren Ballenlage mittels AP 500 auf der Seite der Planenöffnung

- 4 PBS II-Messungen an den beschriebenen Ballen
- **Betriebsversuche** (mit einer synthetischer Altpapierlieferung)
Bei diesen Untersuchungen konnte für die Sorten 1.04 und 4.01 auf komplette LKW-Lieferungen zurückgegriffen werden. Für die Sorte 1.02 wurde ein LKW mit speziell dafür bereitgestellten Ballen beladen. Dieser LKW war mit 12 Ballen nicht voll beladen. Der Hersteller des HPNA-Systems versicherte aber, dass dies für eine korrekte Messung ausreichend sei, wenn man die Daten vom Beginn und Ende der Ladung unberücksichtigt lässt.
- **Referenzmessungen an gewonnenem Bohrkern-Probenmaterial:**
 - Labor der Papierfabrik Hamburger Austria Containerboard in Pitten
 - Labor der PTS Heidenau

Zeitliche Abläufe:

In der zweiten Messkampagne wurden die Untersuchungen der ersten Kampagne z.T. verkürzt, wiederholt.

Tag 1 und 2:

Standard-Tests – HPNA, AP500, PBS

- Durchführung von Standard-Tests an insgesamt 7 verschiedenen Lieferungen unterschiedlicher Altpapiersorten-Beladung
- Untere Sorten: 1 x B12 (1.02.00) und 5 x B19 (1.04.00/1.05.00)
- Krafthaltige Sorten: 1 x W41 (4.01.00)

Betriebsversuche – HPNA

- Nutzung von je einem LKW einer Standardlieferung und Beladen des Versuchs-LKW mit einer Teilladung:
 - 1.04.00 (B19) → Komplettladung
 - 1.02.00 (B12) → Teilladung aus 12 Ballen
 - 4.01.00 (W41) → Komplettladung
- Durchführung von insgesamt 42 HPNA-Messungen (jeweils bis zu 10 x Wiederholungen bei korrekten Einstellungen sowie je zwei Messungen bei falscher Voreinstellung Sortenauswahl und Beladungsbreite) – $\approx 3 \text{ km/h}$; $\approx 0-5^\circ\text{C}$; $\approx 75\% \text{ rLF}$
- Auf Grund von Fehlmessungen wurde die volle Anzahl an auswertbaren Messungen nicht immer erreicht

Standard-Tests – Laboruntersuchung Pitten

- Parallel-Bestimmung des Feuchtegehalts (Trockenschrank) der Bohrkernproben (jeweils 2 Proben jeder untersuchten Lieferung) im Labor Pitten

Betriebsversuche – AP500

- Durchführung von jeweils 2 AP500-Messungen an Ballenvorder- und -rückseite

Betriebsversuche – PBS

- Durchführung von jeweils 2 PBS-Messungen an Ballenvorder- und -rückseite

Die AP-500 und PBS-Messungen wurden jeweils nur einmal pro Messort und nur von jeweils einer Person durchgeführt.

4.3 Vorgehensweise – Standard-Tests

Das nachfolgende Ablaufschema zeigt die prinzipielle Vorgehensweise der Standard-Tests:

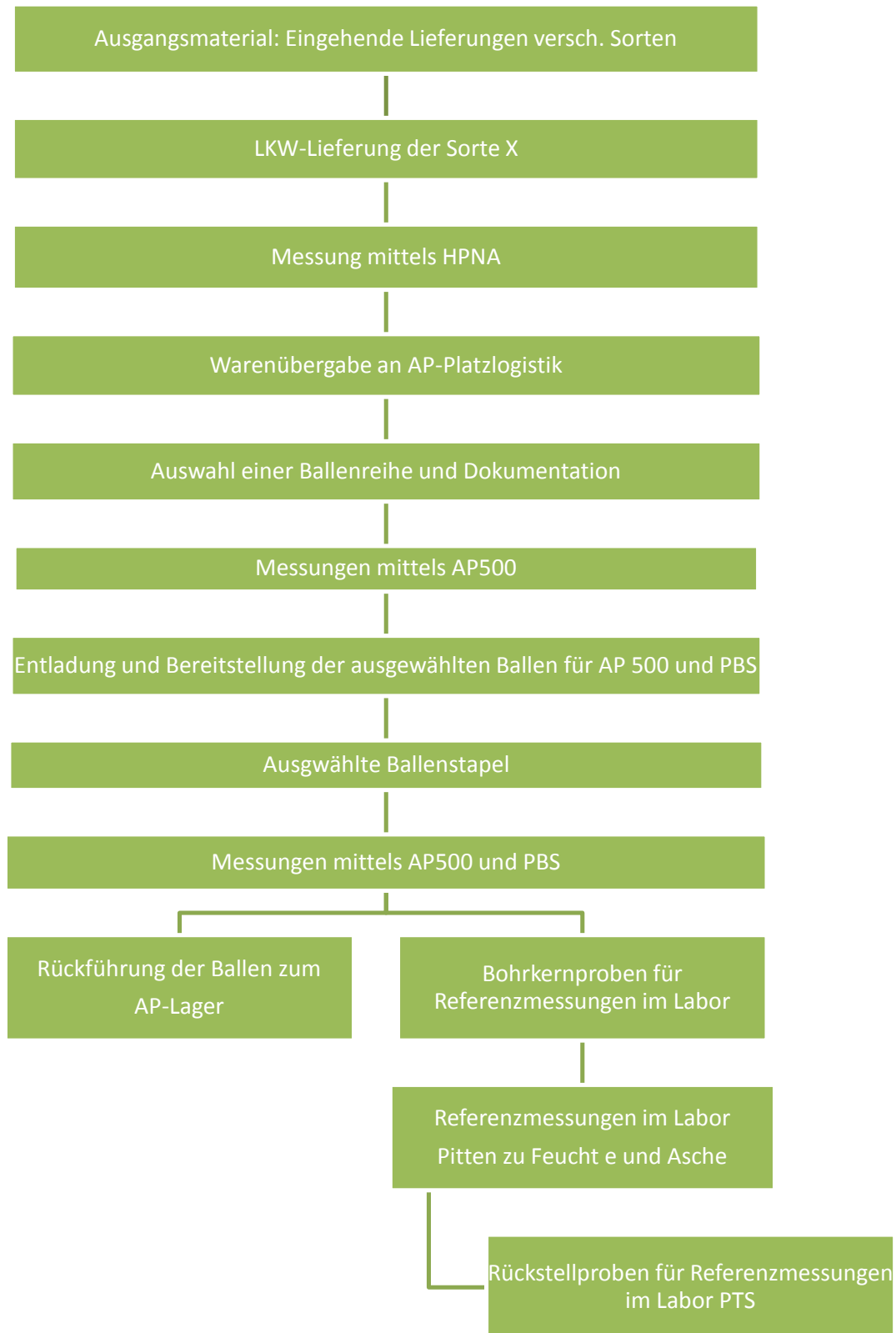


Abbildung 5: Ablaufschema Standard-Tests

Das **Ausgangsmaterial für die Standard-Tests** sind die jeweiligen Ladungen der eingehenden LKW-Lieferungen.

Die nachstehende Abbildung zeigt die Vorgehensweise der Standardtests bildlich.



Abbildung 6: Bildliche Darstellung der Abläufe während der Standard-Untersuchungen

In der ersten Messkampagne wurden über die Untersuchungen zu Standardlieferung an allen ins Werk kommenden LKW durchgeführt, die für diese Messungen geeignet waren (keine lose Ware, keine Zugtransporte, keine Vollmetall-LKW (walking floor)). Es konnte gezeigt werden, dass in diesem Zeitraum auch die PBS- und die ergänzenden AP500-Messungen sowie die Fotodokumentation und Probenbehandlung durchgeführt werden konnten, ohne den Betrieb zu beeinträchtigen. Somit kann eine mittlere Gesamtbewertungszeit pro LKW von ca. 15 Minuten angenommen werden.

4.4 Vorgehensweise – Betriebsversuche (KW32/2017)

Das nachfolgende Ablaufschema zeigt die prinzipielle Vorgehensweise der Betriebsversuche:

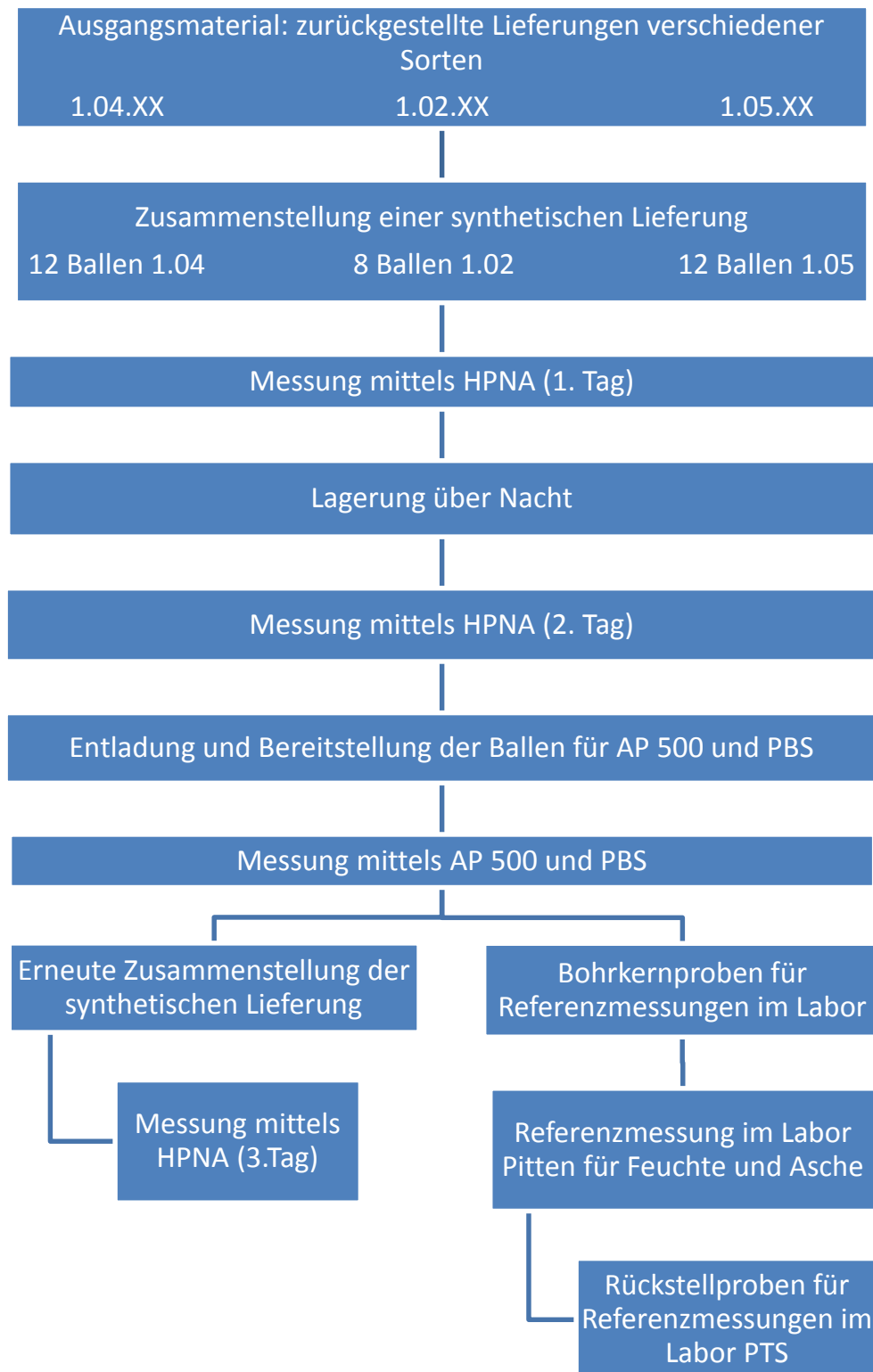


Abbildung 7: Ablaufschema Betriebsversuche KW32/2017

Beschreibung der Abläufe der Betriebsversuche (angelehnt an Ablaufschema in Abbildung 7)

In Vorbereitung für die Versuchswoche (KW32, 2017) wurden seitens Hamburger Austria mehrere Lieferungen verschiedener Altpapiersorten zurückgestellt. Diese zurückgestellten Lieferungen dienen als **Ausgangsmaterial** für die Betriebsversuche mittels einer synthetischen Lieferung. Für die

synthetische Lieferung wurden folgende drei Altpapiersorten ausgewählt und abschnittsweise auf einen zur Verfügung gestellten LKW geladen:

- Sorte 1: 1.04.00 (vor Ort als B19 bezeichnet)
- Sorte 2: 1.02.00 (vor Ort als B12 bezeichnet)
- Sorte 3: 1.05.00 (vor Ort als bessere B19 / B19+ bezeichnet)

Die **Zusammenstellung und Beladung der synthetischen Lieferung** erfolgte mittels eines Staplers und nach den typischen Verladerrichtlinien für Altpapierballen, d.h. zweireihig über die Beladungsbreite und in der Regel drei Ballen übereinander. Auf Grund der unterschiedlichen Ballenausmaße der Altpapiersorten wurden bei der Altpapiersorte 1.02.00 nur zwei Ballen übereinander gestapelt. Für jeden Sortenabschnitt wurden zwei Ballenreihen längs zur Ladefläche aufgeladen. Insgesamt wurden 32 Ballen verladen und für die nachfolgenden Untersuchungen mit Nummern markiert:

- 12 Ballen der Sorte 1.04.00 (Nr. 1-12)
- 8 Ballen der Sorte 1.02.00 (Nr. 13-20)
- 12 Ballen der Sorte 1.05.00 (Nr. 21-32)

Die zusätzliche Ballenreihe am Ende der Ladefläche diente ausschließlich zur Vervollständigung der LKW-Beladung und wurde im späteren Verlauf nicht weiter untersucht. Die Abbildung 8 zeigt sowohl schematisch als auch bildlich den für die Betriebsversuche beladenen LKW.

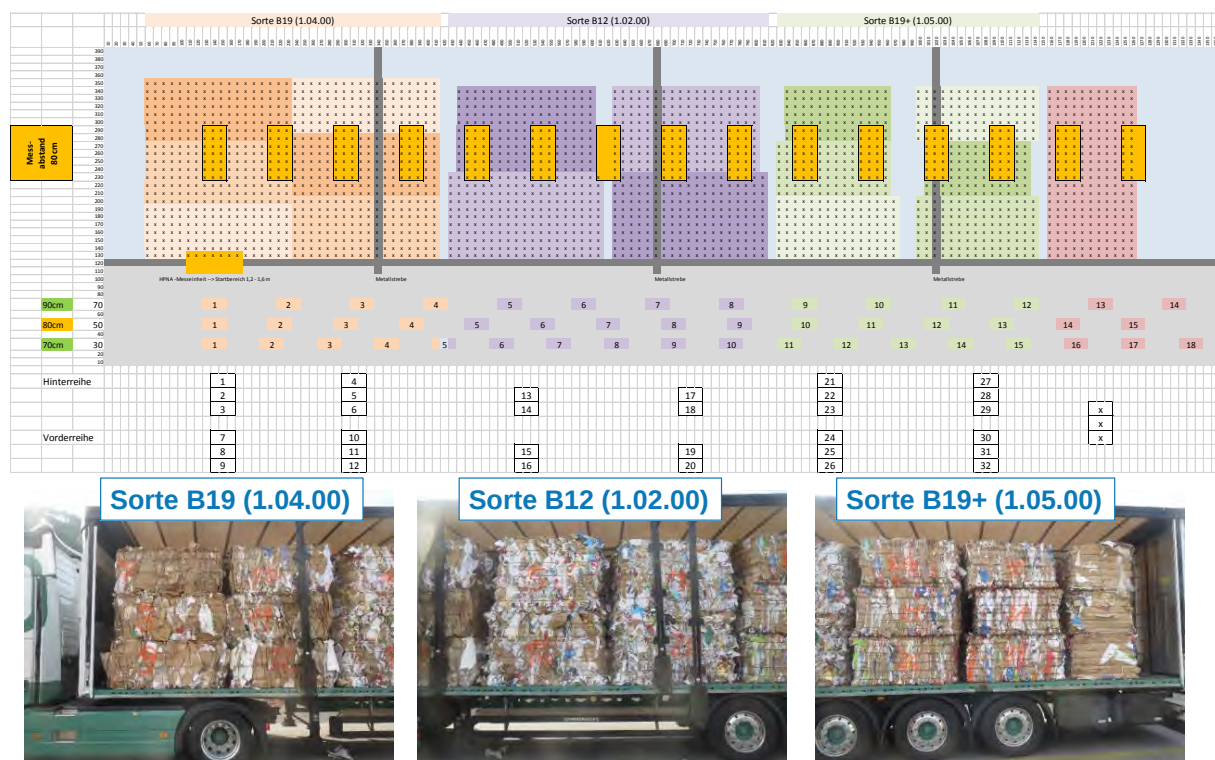


Abbildung 8: Schematische und bildliche Darstellung der LKW-Beladung für die Betriebsversuche KW32/2017 (Maßstab Beladungsschema: 1 Kästchen = 10x10 cm)

Im Anschluss an die Fertigstellung der synthetischen Lieferung erfolgten die ersten **Messungen mittels HPNA Microwave Moisture Analyzer**. Es wurden insgesamt 12 Messdurchgänge durchgeführt, von denen jeweils zwei Messdurchgänge bei jeweils einer von sechs Systemeinstellungen zur Sortenauswahl erfolgten. Die Messdurchgänge wurden nach den im Abschnitt 3.2.1 beschriebenen Ablauf durchgeführt. Tabelle 10 im Abschnitt 5.3.1 zeigt zu dem die Versuchsvariationen der drei HPNA-Messkampagnen.

Die **Lagerung der synthetischen Altpapierlieferung** für die nachfolgenden Untersuchungen erfolgte über Nacht im geschlossenen beladenen Versuchs-LKW.

Am Morgen des zweiten Tages wurden die nächsten **Messungen mittels HPNA Microwave Moisture Analyzer** analog zu den ersten 12 Messdurchgängen des Vortages durchgeführt.

Für die weiteren Untersuchungen mittels emco AP500 und PaperBaleSensor PBS II wurden anschließend die **Ballen der synthetischen Altpapierlieferung stapelweise entladen und von Vorder- und Rückseite zugänglich bereitgestellt** (siehe Abbildung 9).



Abbildung 9: Bereitgestellte Ballen-Stapel der synthetischen Altpapierlieferung für die weiteren Untersuchungen mittels emco AP 500 und PaperBaleSensor PBS II (hier Ballenrückseite)

Für die **Untersuchungen mittels emco AP 500** wurden jeweils 2 Messungen an der Ballenvorderseite sowie -rückseite durchgeführt. Der Ablauf und die Handhabung erfolgten gemäß der Beschreibung in Abschnitt 3.2.2. Zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit der Messungen unter verschiedenen Messbedingungen wurden die Messungen u.a. mit unterschiedlichen Bedienern, zu verschiedenen Tageszeiten und zu anderen Anwendungsbedingungen wiederholt. Eine Übersicht über alle Versuchsvariationen zeigt Tabelle 9 im Abschnitt 5.3.1.

Bei den **Untersuchungen mittels PaperBaleSensor PBS II** wurden ebenfalls jeweils 2 Messungen an der Ballenvorderseite sowie -rückseite durchgeführt. Für diese Messungen wurden, wie in Abschnitt 3.2.3 beschrieben, in jedem Ballen auf der Vorder- und Rückseite zwei Löcher gebohrt und der Bohrstaub als Bohrkernprobe aufgefangen und luftdicht eingetütet. Anschließend erfolgten die eigentlichen Messungen. Zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit der Messungen unter verschiedenen Messbedingungen wurden die Messungen u.a. mit unterschiedlichen Bedienern, zu verschiedenen Tageszeiten und zu anderen Anwendungsbedingungen wiederholt. Eine Übersicht über alle Versuchsvariationen zeigt Tabelle 11 im Abschnitt 5.3.1.

Die aufgefangenen und luftdicht eingetüteten **Bohrkernproben wurden für die Referenzmessungen** genutzt. Dazu wurden zunächst im **Labor Pitten** mit einem Teil der jeweiligen Probe der Feuchte- und Aschegehalt bestimmt. Das übrige Probenmaterial war für die Referenzmessungen im Labor der PTS Heidenau und wurde mit den getrockneten Proben zurückgestellt. Die angepassten Methoden zur Bestimmung der beiden Parameter in den jeweiligen Laboratorien sind in den beiden nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben.

Nach Abschluss der Untersuchungen mittels emco AP500 und PaperBaleSensor PBS II wurde die **synthetische Altpapierlieferung erneut zusammengestellt.**

Anschließend erfolgten die letzten **Messungen mittels HPNA Microwave Moisture Analyzer** analog zu den vorhergehenden 12 Messdurchgängen.

4.5 Vorgehensweise – Betriebsversuche (KW6/2018)

Das nachfolgende Ablaufschema zeigt die prinzipielle Vorgehensweise der Betriebsversuche:

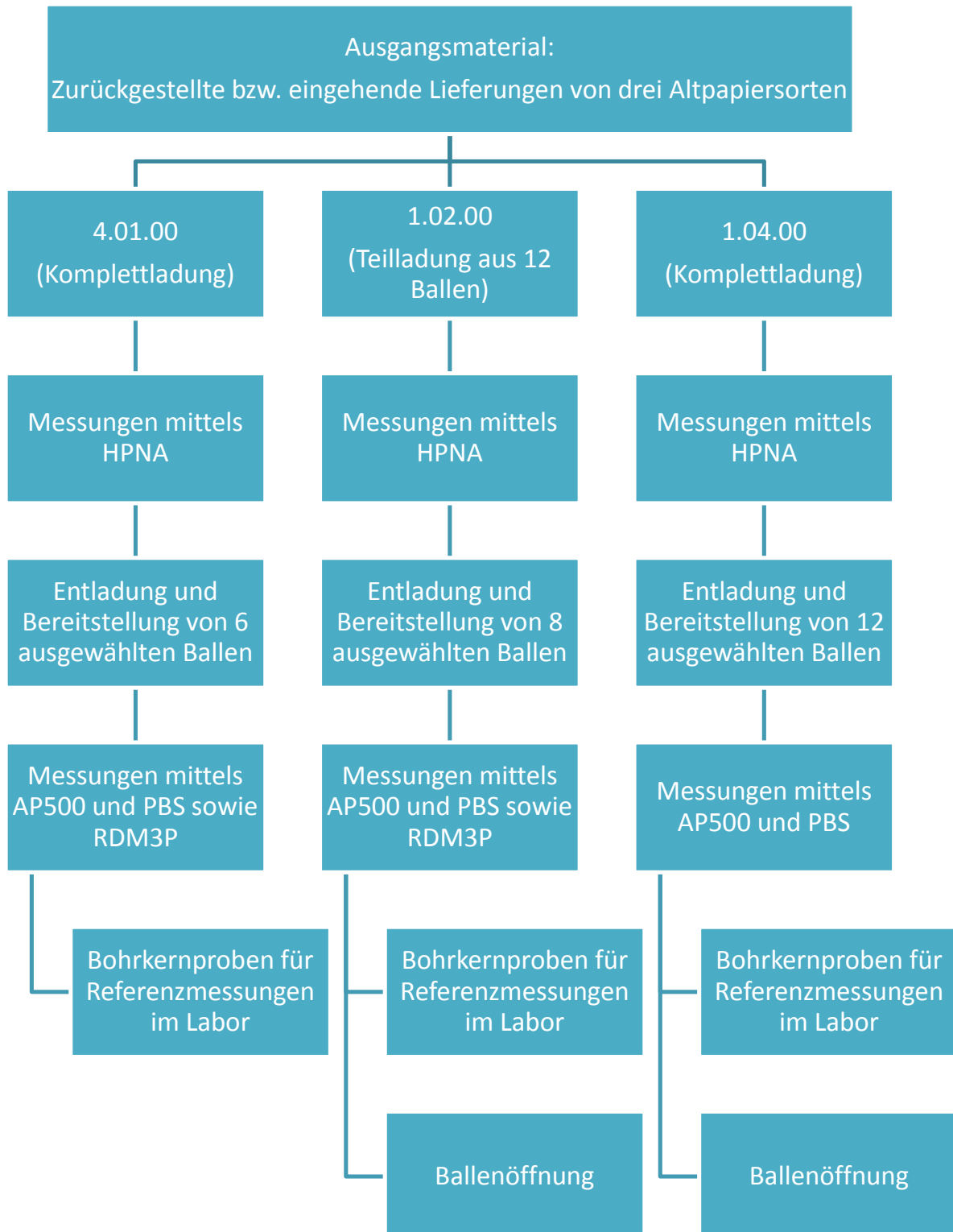


Abbildung 10: Ablaufschema Betriebsversuche KW 6/2018

Beschreibung der Abläufe der Betriebsversuche (angelehnt an Ablaufschema in Abbildung 10)

In Vorbereitung für die Versuchswoche (KW 6, 2018) wurden seitens Hamburger Austria mehrere Lieferungen verschiedener Altpapiersorten zurückgestellt bzw. an den jeweiligen Versuchstagen angeliefert. Diese Lieferungen dienen als **Ausgangsmaterial** für die Betriebsversuche von speziellen

Lieferungen. Dabei standen drei Altpapiersorten als komplette Ladung zur Verfügung mit Ausnahme einer Sorte, welche nur als Teilladung auf einen bereitgestellten LKW geladen wurde:

- Sorte 1: 4.01.00 (vor Ort als W42 bezeichnet)
- Sorte 2: 1.02.00 (vor Ort als B12 bezeichnet), nur Teilladung
- Sorte 3: 1.04.00 (vor Ort als B19 bezeichnet)

Die **Zusammenstellung und Beladung der spezifischen Lieferungen** war bereits erfolgt bzw. erfolgte mittels eines Staplers und nach den typischen Verladerichtlinien für Altpapierballen. Diese sah auf Grund der unterschiedlichen Ballen-Maße der verschiedenen Altpapiersorten, wie folgt aus:

- Sorte 1: 4.01.00 → einreihig über die Beladungsbreite, drei Ballen übereinander
- Sorte 2: 1.02.00 → nur Teilladung von 12 Ballen; in der Mitte der Ladefläche angeordnet; zweireihig über die Beladungsbreite, drei Ballen übereinander
- Sorte 3: 1.04.00 → zweireihig über die Beladungsbreite, drei Ballen übereinander

Die nachfolgende Abbildung zeigt bildlich die drei Ladungen für die Betriebsversuche (v.o.n.u.: 4.01.00; 1.02.00, 1.04.00):



Abbildung 11: Bildliche Darstellung der LKW-Beladungen für die Betriebsversuche KW6/2018

Es wurden für jede spezielle Lieferungen mehrere **Messungen mittels HPNA Microwave Moisture Analyzer** durchgeführt. Es wurden insgesamt jeweils 14 Messdurchgänge durchgeführt, bis zu 10 wiederholende Messdurchgänge bei unveränderter Einstellung sowie jeweils zwei Messungen bei geänderter Voreinstellung der Sortenauswahl bzw. der Beladungsbreite. Die Messdurchgänge wurden nach den im Abschnitt 3.2.1 beschriebenen Ablauf durchgeführt. Tabelle 10 im Abschnitt 5.3.1 zeigt zu dem die Versuchsvariationen der alle HPNA-Messkampagnen.

Für die weiteren Untersuchungen mittels emco AP500 und PaperBaleSensor PBS II wurden anschließend jeweils eine Auswahl an markierten **Ballen der speziellen Altpapierlieferungen stapelweise entladen und von Vorder- und Rückseite zugänglich bereitgestellt:**

- Sorte 1: 4.01.00 → zwei Ballenreihen aus 6 Ballen
- Sorte 2: 1.02.00 → zwei Ballenreihen aus 8 Ballen
- Sorte 3: 1.04.00 → zwei Ballenreihen aus 12 Ballen

Für die **Untersuchungen mittels emco AP 500** wurden jeweils 2 Messungen an der Ballenvorderseite sowie -rückseite durchgeführt. Der Ablauf und die Handhabung erfolgten gemäß der Beschreibung in Abschnitt 3.2.2.

Bei den **Untersuchungen mittels PaperBaleSensor PBS II** wurden ebenfalls jeweils 2 Messungen an der Ballenvorderseite sowie -rückseite durchgeführt. Für diese Messungen wurden, wie in Abschnitt 3.2.3 beschrieben, in jedem Ballen auf der Vorder- und Rückseite zwei Löcher gebohrt und der Bohrstaub als Bohrkernprobe aufgefangen und luftdicht eingetütet. Anschließend erfolgten die eigentlichen Messungen.

Die aufgefangenen und luftdicht eingetüteten **Bohrkernproben wurden für die Referenzmessungen** genutzt. Dazu wurde zunächst im **Labor Pitten** mit einem Teil der jeweiligen Probe der Feuchtegehalt bestimmt. Das übrige Probenmaterial war für die Referenzmessungen im Labor der PTS Heidenau und wurde zurückgestellt. Die angepassten Methoden zur Bestimmung der beiden Parameter in den jeweiligen Laboratorien sind in den beiden nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben.

Nach Abschluss der Untersuchungen mittels emco AP500 und PaperBaleSensor PBS II wurden die untersuchten Ballen der Sorte 2 (1.02.00) und Sorte 3 (1.04.00) durch **Ballenöffnung beprobt** und anschließend **der Feuchtegehalt dieser Probe im Labor Pitten bestimmt**.

4.6 Vorgehensweise – Referenzmessungen

Das nachfolgende Ablaufschema zeigt die prinzipielle Vorgehensweise der Referenzmessungen in den Laboratorien Pitten und PTS Heidenau:

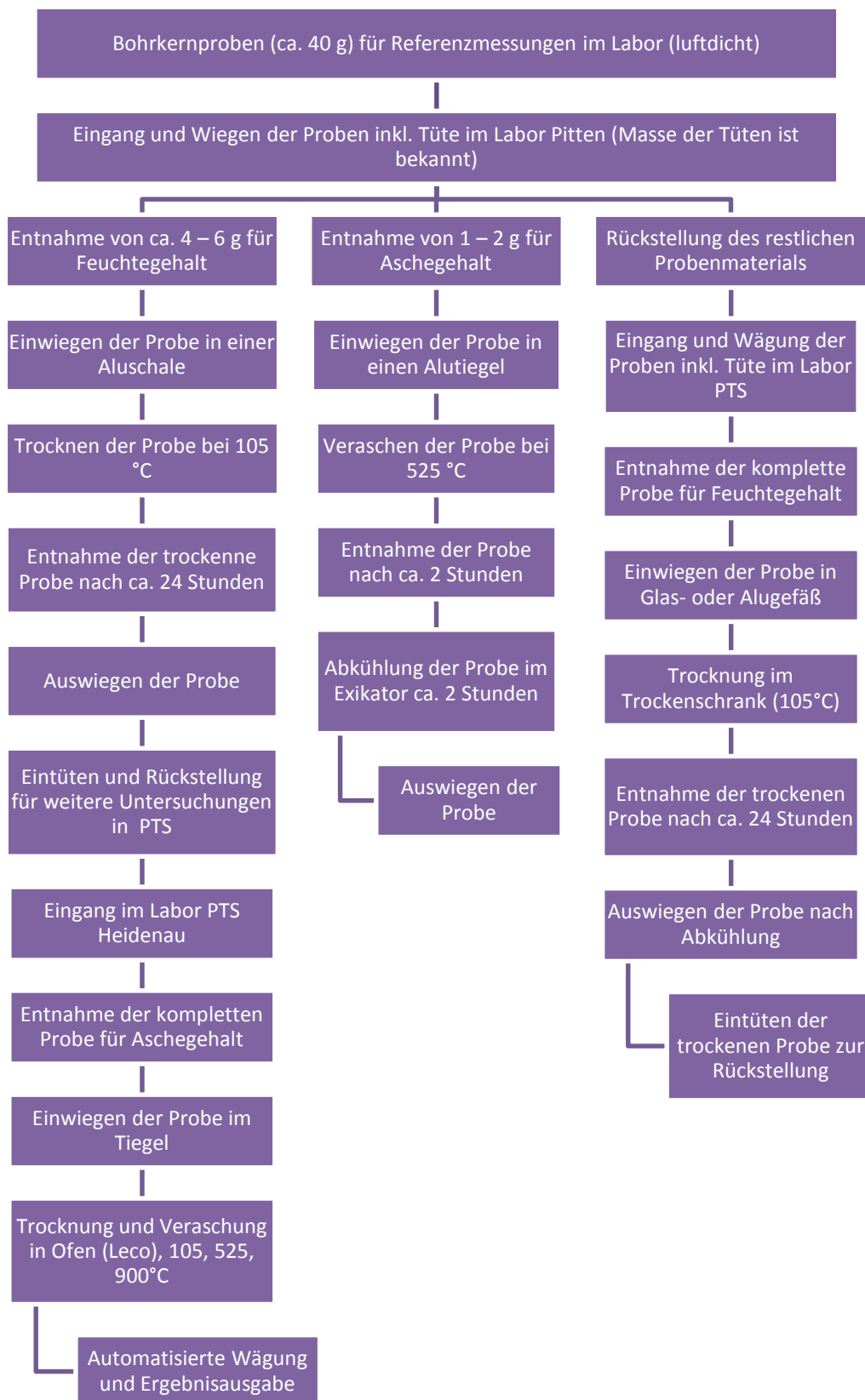


Abbildung 12: Ablaufschema Referenzmessungen

Beschreibung der Abläufe der Referenzmessungen

Ausgangspunkt für die Referenzmessungen im Labor sind die **luftdicht eingetüteten Bohrkernproben**, welche zeitnah im **Labor Pitten** eingegangen sind. Die **Gesamtmasse der einzelnen Proben** (inkl. Tüte mit bekannter Masse) wird bestimmt.

Zunächst wird zur **Bestimmung des Feuchtegehalts im Labor Pitten** eine möglichst repräsentative Menge von 4 bis 6 g aus den Proben tüten entnommen und in einer Aluschale eingewogen. Diese Feuchte-Probe wird anschließend in einem Trockenschrank bei 105°C getrocknet. Nach etwa 24 h wird die getrocknete Probe entnommen und ausgewogen. Für weitere Untersuchungen im Labor PTS Heidenau (Bestimmung des Aschegehalts) wird diese Probe eingetütet und zurückgestellt.

Zur **Bestimmung des Aschegehalts im Labor Pitten** wird eine möglichst repräsentative Menge von 1 bis 2 g aus den Proben tüten entnommen und in einem Aschetiegel eingewogen. Diese Asche-Probe wird anschließend in einem Ascheofen bei ca. 525°C verascht. Nach etwa 2 h wird die veraschte Probe entnommen und in einem Exsikkator für 15 min abgekühlt. Abschließend wird die Probe ausgewogen. Im Zuge der zweiten Messkampagne (KW 6/2018) wurde keine Bestimmung des Aschegehalts durchgeführt.

Das **restliche Probenmaterial** der luftdicht eingetüteten Bohrkernproben wird für die weiteren Untersuchungen im Labor PTS Heidenau (Bestimmung des Feuchtegehalts) zurückgestellt. Nach Eingang im Labor PTS Heidenau wird die Gesamtmasse der einzelnen übrigen Bohrkernproben (inkl. Tüte mit bekannter Masse) erneut bestimmt.

Zur **Bestimmung des Feuchtegehalts im Labor PTS Heidenau** wird die komplette restliche Menge des Probenmaterials entnommen und in einem Glasgefäß oder einer Aluschale eingewogen. Die eingewogene Probe wird anschließend in einem Trockenschrank bei 105°C getrocknet. Nach etwa 24 h wird die getrocknete Probe entnommen und ausgewogen. Die trockenen Proben werden eingetütet und als Anschauungsmaterial zurückgestellt.

Zur **Bestimmung des Aschegehalts im Labor der PTS Heidenau** werden die trockenen, eingetüteten Feuchte-Proben vom Labor Pitten einzeln in Tiegel eingewogen und in einen Verbrennungsofen der Firma LECO® gesetzt. Das Gerät ermittelt zuerst den Trockengehalt der Probe bei 105 °C, anschließend wird die Probe bei 525 °C und 900 °C verascht. Die Auswaage wird im Gerät automatisch in den jeweiligen Temperaturstufen durchgeführt und dokumentiert. Im Zuge der zweiten Messkampagne (KW 6/2018) wurde keine Bestimmung des Aschegehalts durchgeführt.

5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden zum einen die Ergebnisse der beiden Messkampagnen aus KW32/2017 und KW6/2018 beschrieben und bewertet. Zum anderen wurden bisherige Untersuchungen zu den Messverfahren recherchiert und wichtige Erkenntnisse dargestellt.

5.1 Recherche zu bisherigen Untersuchungen

In der Vergangenheit wurden bereits bei der Entwicklung und dem Vergleich unterschiedlicher Messsysteme seitens der Hersteller teilweise umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. In den nachfolgenden Abschnitten werden sowohl Untersuchungen des HPNA-Messsystems durch Hamburger Containerboard/Dunakontroll, als auch Untersuchungen der Messgeräte AP500 und PBS II durch PTS beschrieben.

5.1.1 Untersuchungen des HPNA bzgl. Wiederholbarkeit und Einflussfaktoren auf die Messgüte (Hamburger Containerboard, Dunakontroll)

In Untersuchungen von Hamburger Containerboard und Dunakontroll aus dem Jahr 2015 wurden verschiedene HPNA-Messungen durchgeführt um sowohl die Wiederholbarkeit als auch Einflussfaktoren auf die Messgüte bewerten zu können. Folgende Einflussfaktoren wurden damals untersucht:

- Fremdmaterialien in der Transmissionszone
- Unterschiedliche Dichte von Altpapierballen
- Unterschiedliche Materialien (Altpapierqualitäten)
- Unterschiedliche Beladung der LKW (bspw. 3. Ballenreihe in der Stapelhöhe nur mit 1 oder 2 Ballen beladen)

In den nachfolgenden Abbildungen sind die wesentlichen Ergebnisse aus den Untersuchungen dargestellt.

HPNA Feuchtemeßsystem

Meßgüte

- Reproduzierbarkeit der Messung (gleiches Material mehrfach gemessen)

Messung	Meßwert	Abw. vom Mittelwert	Abw. vom Mittelwert
Meßber. 8-15% Feuchte	[% Feuchte abs]	[% Feuchte abs.]	[% Meßbereich]
Ref 1	11,79	0,15	2,14
Ref 2	11,66	0,02	0,29
Ref 3	11,57	-0,07	-1,00
Ref 4	11,55	-0,09	-1,29

Der Hersteller garantiert 8-15% +/-3% (vom Meßbereich)

15-20% +/- 5%

20-25% +/- 6%

- Quelle: HH/ Dunacontrol Referenzmessungen

09.04.2018

HAMBURGER CONTAINERBOARD

4

HPNA Feuchtemeßsystem

Fremdmaterialien in der Transmissionszone

- Fremdmaterialien in der Transmissionszone, zb. Alulatten oder Stahlträger im LKW Aufbau



Metalteile in der Meßzone (siehe Bild) beeinflussen die Meßgüte negativ. Voraussetzung für korrekte Meßwerte ist eine kompl. Entfernung der Aluminiumlatten.

09.04.2018

HAMBURGER CONTAINERBOARD

6

HPNA Feuchtemeßsystem

Einflußfaktoren auf die Meßgüte / Alulatten am LKW

- Meßreihe mit Alu-Latten an div. Positionen

Referenzwert ist der Mittelwert aus den Messungen Ref 1- 4

Messung	Meßwert	Abw. Vom Mittelwert	Abw. Vom Mittelwert
Meßber. 8-15% Feuchte	[% Feuchte]	[% Feuchte abs.]	[% Meßbereich]
M1	13,7	2,06	29,43
M2	14,08	2,44	34,86
M3	13,86	2,22	31,71
M5	9,84	-1,8	-25,71
M6	10,4	-1,24	-17,71
M8	9,52	-2,12	-30,29
M9	13,32	1,68	24,00
M10	12,3	0,66	9,43
M12	12,28	0,64	9,14
M13	10,29	-1,35	-19,29
M14	13,56	1,92	27,43
M15	12,12	0,48	6,86

Die Ungenauigkeit der Messungen steigt um den Faktor 10 wenn Alu –Latten während der Messung am LKW verbleiben. Der Fehler ist auch nicht direkt von der Anzahl der verbleibenden Alulatten abhängig.

- Quelle: HH/ Dunacontrol Messungen

09.04.2018

HAMBURGER CONTAINERBOARD

7

HPNA Feuchtemeßsystem

Einflußfaktoren auf die Meßgüte / Dichte

- Die Dichte der Altpapierballen verändert das Meßergebnis
- Laut Herstellerangaben ist eine Dichtevariation /je Sorte mit +/- 10% begrenzt, für unterschiedliche Sorten (zb. B12/B19) sind in der Auswertesoftware unterschiedliche Dichten hinterlegt.
- Dadurch ergibt sich ein Betriebsfenster für zb. Dichte 400kg/m³ von 360 – 440 kg/m³ bei ausreichender Meßgüte.
- Die Dichtekompensation ist in der Software hinterlegt, bei Altpapierballen die eine wesentlich höhere Dichte aufweisen, einige wenige Lieferanten pressen bis zu 550kg/m³, sollte eine weitere Sorte B19 /schwer hinterlegt werden. Die Auswahl muß durch den Bediener erfolgen.
- Fazit : unterschiedliche Dichte kann gelöst werden

- Quelle: HH/ Dunacontrol Referenzmessungen

09.04.2018

HAMBURGER CONTAINERBOARD

8

HPNA Feuchtemeßsystem

Einflußfaktoren auf die Meßgüte/ Altpapierqualitäten

- Für verschieden AP Qualitäten müssen unterschiedliche Parameter in der Auswertesoftware hinterlegt werden.
- Zb. B12/ B19 / W41
- Der Bediener muß die dementsprechende AP Qualität der Meßreihe zuordnen damit mit dem richtigen Parametersatz der Feuchtwert ermittelt wird.
- Die Zuordnung kann auch nach der durchgeführten Messung getroffen werden.

09.04.2018

HAMBURGER CONTAINERBOARD

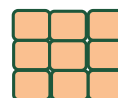
9

HPNA Feuchtemeßsystem

Einflußfaktoren auf die Meßgüte/ unterschiedliche Beladung

- Unterschiedliche Beladung

- Volle Ballenreihe



9,05%

- 2 Ballen in 3. Reihe



9,57%

- 1 Ballen in 3. Reihe



10,73%

Die Abweichung von vom Referenzwert beträgt 0,52 bzw 1,68 % abs. Feuchte

- Quelle: HH/ Dunacontrol Referenzmessungen

09.04.2018

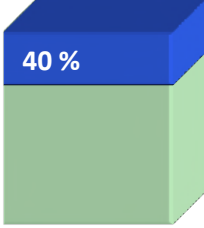
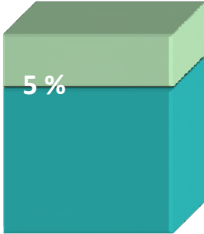
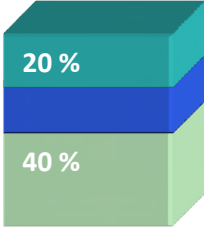
HAMBURGER CONTAINERBOARD

10

5.1.2 Vergleichsuntersuchungen von AP 500 und PBS II (PTS)

In Forschung und Praxis kommt es immer wieder zu Unklarheiten der Definitionen und Bestimmungsmethoden der „Asche“. Dieser Applikationshinweis soll die Begrifflichkeiten Asche, Füllstoff, Glührückstand sowie deren Bestimmung umreißen und die jeweiligen Auswirkungen auf die Praxis zeigen.

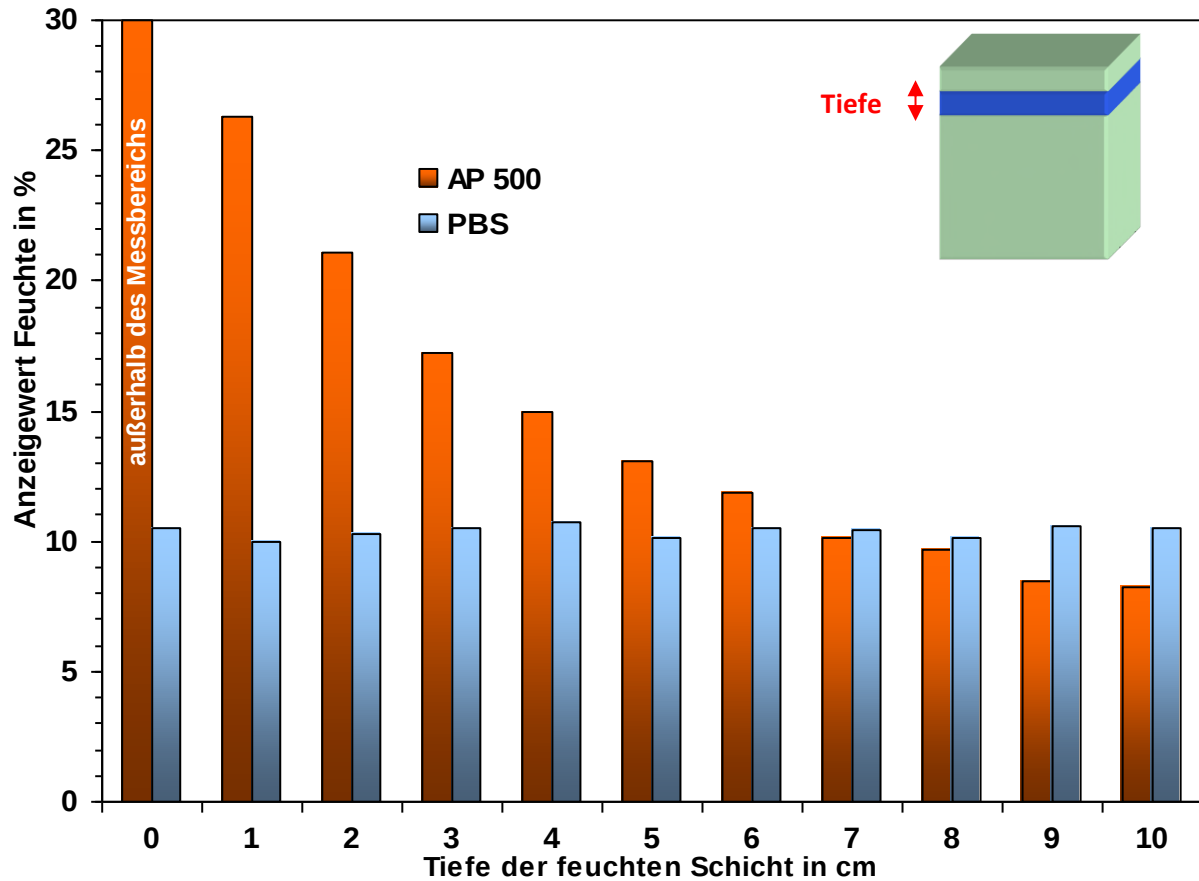
Test 1: Inhomogene Feuchteverteilung

		
AP500: Overflow	$\varnothing = 10,5 \%$	PBS: 10,0 %
		
AP500: 7,7 %	$\varnothing = 14 \%$	PBS: 15,0 %
		
AP500: 29 %	$\varnothing = 14,7 \%$	PBS: 15,0 %

Bei den Testmessungen zeigt das AP500 stark von der mittleren Feuchte des Ballens abweichende Werte an.

Test 2: Eindringtiefe der Messung

Eine feuchte Lage Papier wird in verschiedenen Tiefen in einem Ballen gebracht.



AP 500	PBS
Die maximale Eindringtiefe ist ca. 8 cm.	Die Eindringtiefe entspricht der Sondenlänge (ca. 40 cm).

Außen liegende feuchte Schichten werden vom AP500 überbewertet, tiefer liegende Schichten nicht erkannt.

Test 3: Veränderung des Anpressdruckes an den Ballen

AP 500		PBS
Die Anzeigewerte schwanken von 28 bis 39 % je nach Anpressdruck. Bei starkem Anpressen zeigt das Gerät Overflow an. (Im Versuch war die feuchte Lage außen am Ballen (siehe Test 2))		Es gibt keinen Einfluss des Anpressdruckes der Messsonde.

Beim AP 500 kann die Messung durch den Anpressdruck subjektiv beeinflusst werden.

Test 4: Veränderung Schalterstellung am AP 500

AP 500		PBS
Die Anzeigewerte werden durch die Wahl der Sorte (1 bis 6) beeinflusst.		Es gibt keine Auswahlmöglichkeit bezüglich Sorte oder Pressdichte.

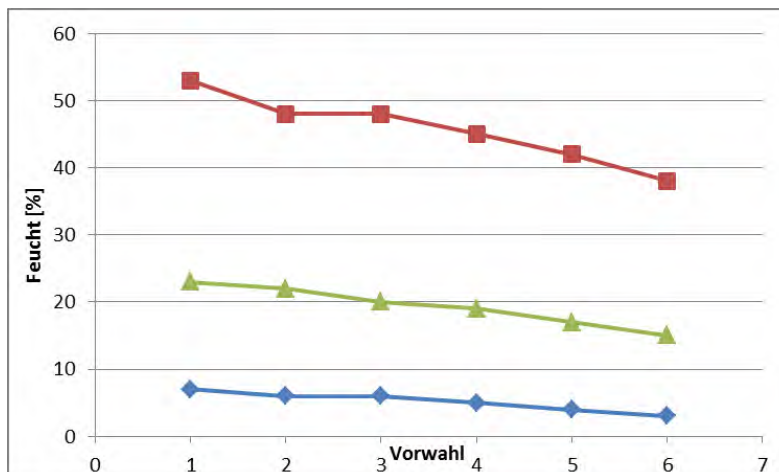


Abbildung: Anzeigewerte des AP 500 bei 3 verschiedenen Ballenfeuchten im Verhältnis zur Schaltervorwahl

Beim AP 500 hat die Vorwahl der Pressdichte messtechnisch bedingt einen Einfluss auf die Anzeigewerte.

5.1.3 Untersuchung von AP500 bezüglich Pressdichte und Vorwahlschalter (PTS)

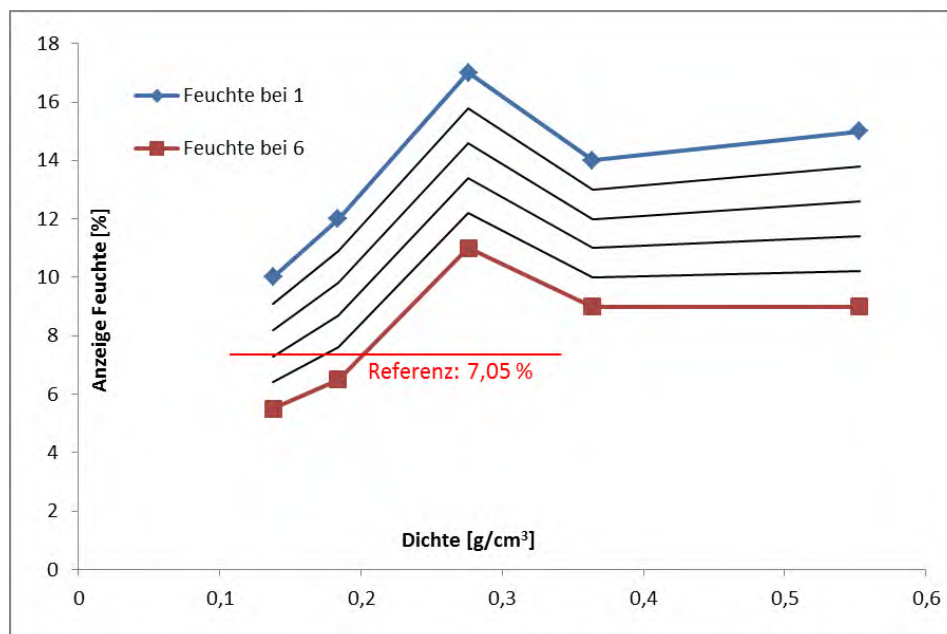
Für die Untersuchung des Verhaltens des AP 500 bei verschiedenen Pressdichten und Schalterstellungen wurde ein Stapel Wellpappen in einer Presse bei verschiedenen Verdichtungen vermessen. Der Stapel hatte eine Ausgangshöhe von 20 cm und eine Tiefe von 20 cm. Um den



Einfluss von Metallstempel und -unterlage auszuschalten, wurde unter- und oberhalb des Stapels eine Lage von knapp 10 cm geringkomprimierbare weiße Papiere geschichtet. Der Pressdruck lag über die gesamte Verdichtungsphase bei 12 - 14 N/cm². Der Stapel wurde nicht bis zur vollständigen Zerstörung aller Wellen verdichtet.

Vermessen wurde der Stapel seitlich.

In der Gegenüberstellung von Anzeigewert Feuchte des AP500 zur Dichte des Wellpappenmaterials in Abhängigkeit der Schalterstellung (untere Abbildung) sind mehrere Eigenheiten festzustellen. So steigt der Anzeigewert bei Verdichtung zunächst stark und fällt dann auf einen nahezu konstanten Wert zurück. Hier sei darauf verwiesen, dass während der Verdichtung die weißen Papierstapel ober- und unterhalb immer mehr ins Messfeld des AP500 rücken.

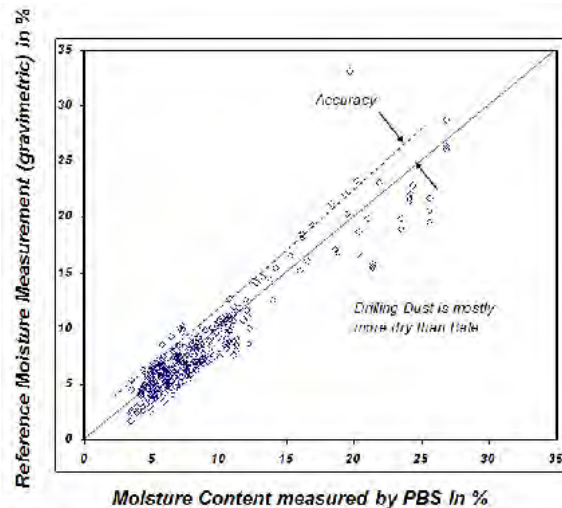


Zum anderen ist festzustellen, dass bei der bevorzugten

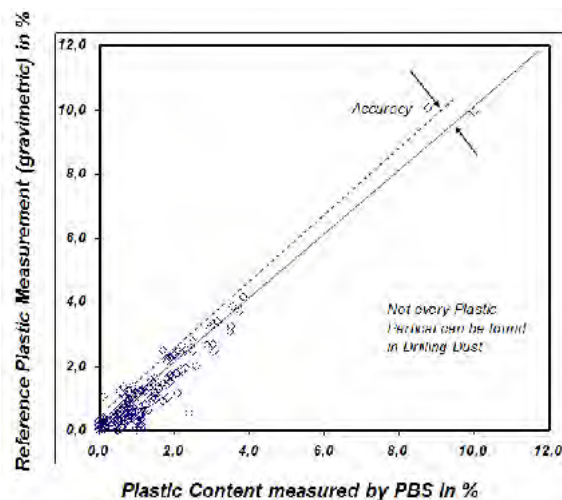
Schalterstellung 4 einzig im unverdichteten Zustand der korrekte Feuchtegehalt von 7 % angezeigt wird. Die Durchführung dieses Versuches mit anderen Materialien wurde nicht erwogen, da diese meist selbst nicht oder nur geringfügig verdichtet werden können und in realen Pressen einzig die Luft zwischen den Objekten entfernt wird.

5.1.4 Vergleichsuntersuchungen von PBS II und Labormethoden bzgl. Genauigkeit (PTS)

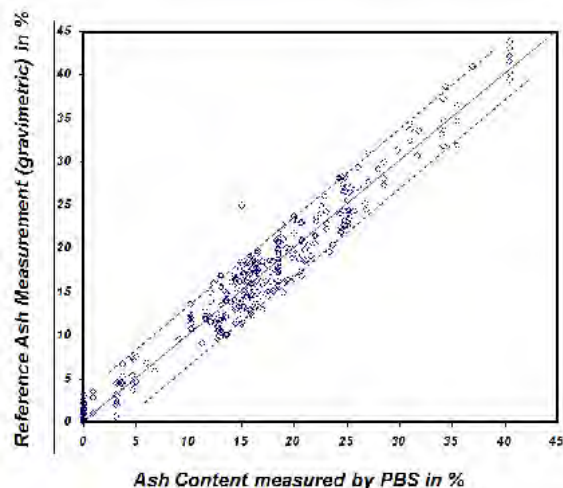
Die für PBS II genannten Parameter bezüglich Messgenauigkeit in Abhängigkeit, auch in Abhängigkeit der Feuchte, wurden überwiegend mittels normierter Prüfkörper und unter Laborbedingungen erstellt. Die verschiedenen anderen Einflussparameter wurden meist einzeln in ihrer Auswirkung auf die PBS II Ergebnisse untersucht. Damit wurden weitere Störeinflüsse, die vor allem mit den Referenzmethoden einhergehen, eliminiert. Die folgenden Darstellungen zeigen die Ergebnisse realer Messungen an Ballen im Vergleich mit den Referenzmethoden.



Wie zu erkennen, bewegten sich die meisten Messungen in einem Bereich von 5 bis 12 % Feuchte. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Graphik wurden von PBS auch Werte unter 5 % angegeben. Werte oberhalb 30 % waren nicht enthalten. Die Abbildung zeigt den typischen Zustand, dass die Referenzmessungen (Ofentrocknung) durch Probenhandling und Transport tendenziell niedriger als die PBS-Messungen liegen.



Der Vergleich von Plastik-Messung mittels PBS II und der Vergleichsmethode (Auszählung und Wägung) zeugt ein ähnliches Bild. So drängen sich die meisten Ergebnisse zwischen 0 und 1 %, und die PBS Ergebnisse sind tendenziell höher als die der Auszählung, da kleine und kleinste Plastiktteile nicht vollständig aus dem Bohrgut herauszubekommen sind.



Die Aschebestimmung hingegen ist von anderen Maßgaben beeinflusst. So befinden sich die meisten Aschegehalte zwischen 12 und 25 %, was im Wesentlichen einer typischen AP-haltigen braunen Wellpappe bzw. einem Büropapier entspricht. Papiere unterhalb dieses Bereiches stammen oft aus der Tissue-Erzeugung, Papiere oberhalb sind oft gestrichene Produkte. Mit einer Messgenauigkeit von $\pm 3\%$ allein für die PBS-Messung und zusätzlichen Einflüssen der Probenbehandlung ist der Vergleich von PBS- und Ofen-Aschegehalt differenziert zu bewerten.

Für den Parameter Holzstoffgehalt wurden bislang keine Vergleichsuntersuchungen an realen Ballen unternommen, da hier die Störeinflüsse auf die Referenzmethode in keiner Weise abschätzbar sind.

5.1.5 Untersuchung zu Einfluss des Bohrens auf die Feuchtemessung von PBS II (PTS)

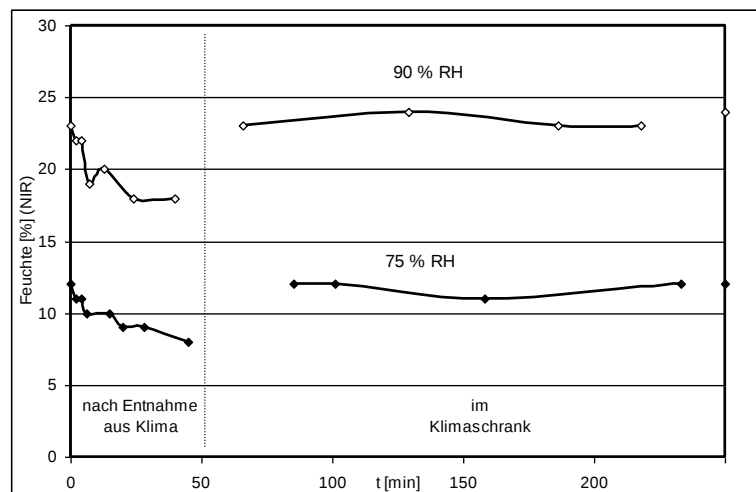
Zwischen dem Setzen der für die Messung erforderlichen Bohrung und dem eigentlichen Messvorgang sollen in der Regel nur wenige Sekunden vergehen, um im Anwendungsfall einen sinnvollen Ablauf der Prüfungen gewährleisten zu können. Durch das Bohren selbst wird eine nicht unerhebliche Menge an thermischer Energie freigesetzt. Inwieweit diese dazu führt, dass sich der Feuchtegehalt an der Bohrwandung verringert und es somit zu Fehlmessungen kommt, wurde in mehreren Versuchen geprüft.

Dazu wurden Referenzmaterialien zu gesonderten Referenzballen zusammengestellt. Diese wurden unmittelbar vor der Messung angebohrt. Unter Verwendung der Methode zur Bestimmung der Feuchtigkeit wurden die Messreihen ausgewertet. Als Vergleich dienten die Ergebnisse, die nach einem Tag an diesen Ballen gewonnen wurden.

Es konnte festgestellt werden, dass sich die Ergebnisse zur Feuchtigkeit um nicht mehr als 0,4 % (abs.) voneinander unterscheiden. Um Aussagen zu Ballen mit höheren Feuchtegehalten zu machen, wurde folgender Versuchsaufbau verwendet.

Von einem Referenzpapier wurde eine ausreichende Menge an zugeschnittenen Blättern für je einen Referenzballen unter 90 und 75 % RH (relative Luftfeuchtigkeit) belassen, bis sich eine Gleichgewichtsfeuchte eingestellt hatte. Der Feuchtegehalt dieser Papiere wurde mittels Differenzwägung bestimmt (nach Trocknung bei 105 °C). Ohne die Bedingungen der hohen Luftfeuchtigkeit unnötig lange zu verlassen, wurden aus dem Probenmaterial Referenzballen erzeugt. Beide Ballen wurden wieder in den Klimaschrank verbracht und dort weitere 24 Stunden belassen, um zu einer gleichmäßigen Durchfeuchtung der Ballen unter den eingestellten Bedingungen zu kommen.

Unmittelbar nach Entnahme aus dem Klimaschrank wurden an den Ballen die Bohrungen vorgenommen. Ohne Verzögerung wurde mittels NIR-Messlanze der Feuchtegehalt bestimmt. Die Messungen wurden regelmäßig wiederholt, wobei sich die Ballen unter Raumklima befanden. Nach ca. 45 Minuten wurden die Ballen wieder in den Klimaschrank verbracht und weiterhin regelmäßig mittels NIR-Methode vermessen. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in folgender Abbildung graphisch dargestellt. Die letzte Messung zeigt den Zustand nach 24 Stunden



Die Abbildung zeigt im linken Abschnitt erwartungsgemäß die Abnahme der Feuchtigkeit in der Umgebung des Loches im Ballen. Unter Beachtung der Messgenauigkeit von 1 % bei Ergebnissen über 10 % Feuchtigkeit sind die Schwankungen als im Bereich der Messgenauigkeit anzusehen. Im Vergleich mit den Messungen der klimatisierten Ballen nach 24 Stunden ist festzustellen, dass die Messungen direkt nach der Bohrung nicht signifikant davon abweichen. Selbst 5 Minuten nach der Bohrung konnten noch Feuchtigkeiten gefunden werden die nur ca. 1 % unterhalb der Ergebnisse der jeweils ersten Messung lagen.

5.2 Ergebnisse der Untersuchungen an realen Altpapierlieferungen (Standard-Tests)

5.2.1 Übersicht der untersuchten Altpapierlieferungen

Es wurden am ersten Tag insgesamt 27 reale Altpapierlieferungen folgender Altpapiersorten untersucht (detaillierte Zusammenstellung inkl. Bilder im Anhang).

Tabelle 6: Untersuchte Altpapiersorten bei den Messungen an realen Altpapierlieferungen (erste Kampagne)

Altpapiersorte		Anzahl
B12 (1.02.00)	Gemischtes Altpapier	1x
B19 (1.04.00/1.05.00)	Verpackungen aus Papier und Karton bzw. Wellpappe 70-95	13x
W41 (4.01.00)	Unbenutzte Pappe und Späne aus Wellpappe	2x
W52 (4.02.00)	Gebrauchte Kraftwellpappe 1	1x
W61 (4.03.00)	Gebrauchte Kraftwellpappe 2	3x

Tabelle 7: Untersuchte Altpapiersorten bei den Messungen an realen Altpapierlieferungen (zweite Kampagne)

Altpapiersorte		Anzahl
B12 (1.02.00)	Gemischtes Altpapier	1x
B19 (1.04.00/1.05.00)	Verpackungen aus Papier und Karton bzw. Wellpappe 70-95	5x
W41 (4.01.00)	Unbenutzte Pappe und Späne aus Wellpappe	1x

Im gegebenen Zeitraum konnten alle einkommenden LKW mit Plane vollständig untersucht werden. Dabei sei angemerkt, dass daneben auch LKW in Vollmetallausführung (walking floor) ins Werk kamen, aktuell keine Eisenbahnlieferungen erwartet wurden und nur ca. 50 % des „normalen“ Aufkommens vorlag. Bei 5 Stunden Zeit für 20 LKW mit 3 – 4 Arbeitskräften sind somit je 15 Minuten Untersuchungszeit pro LKW angefallen, was im Vergleich zu vorher geschätzten 20 - 30 Minuten / LKW deutlich geringer ist.

5.2.2 Betrachtungen zu systematischen Problemen der HPNA-Messung

Die Ergebnisse der HPNA-Messungen sind - wie schon beschrieben - automatisiert von Ausreißern bereinigt. Die verbliebenen Daten wurden auf mögliche systematische Einflüsse auf die Messungen, z.B. durch die jeweils 3 verbliebenen Metallstreben in den LKW hin untersucht. Dazu wurden die Messergebnisse in den folgende beiden Abbildungen für alle LKW dargestellt. In der ersten Abbildung wurden der ersten Kampagne dargestellt und in der zweiten die der zweiten Kampagne.

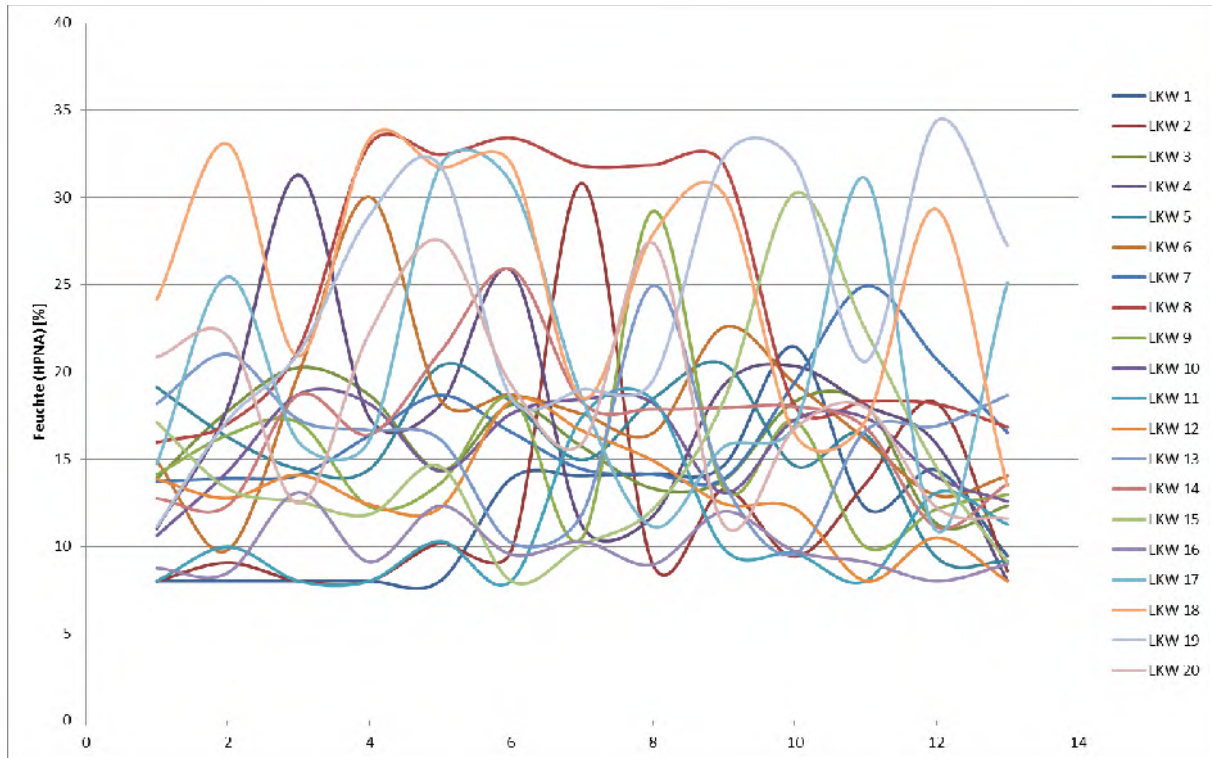


Abbildung 13: Ergebnisse der HPNA-Feuchtemessung für alle 20 LKW (gestreckt auf jeweils 13 Messpunkte)

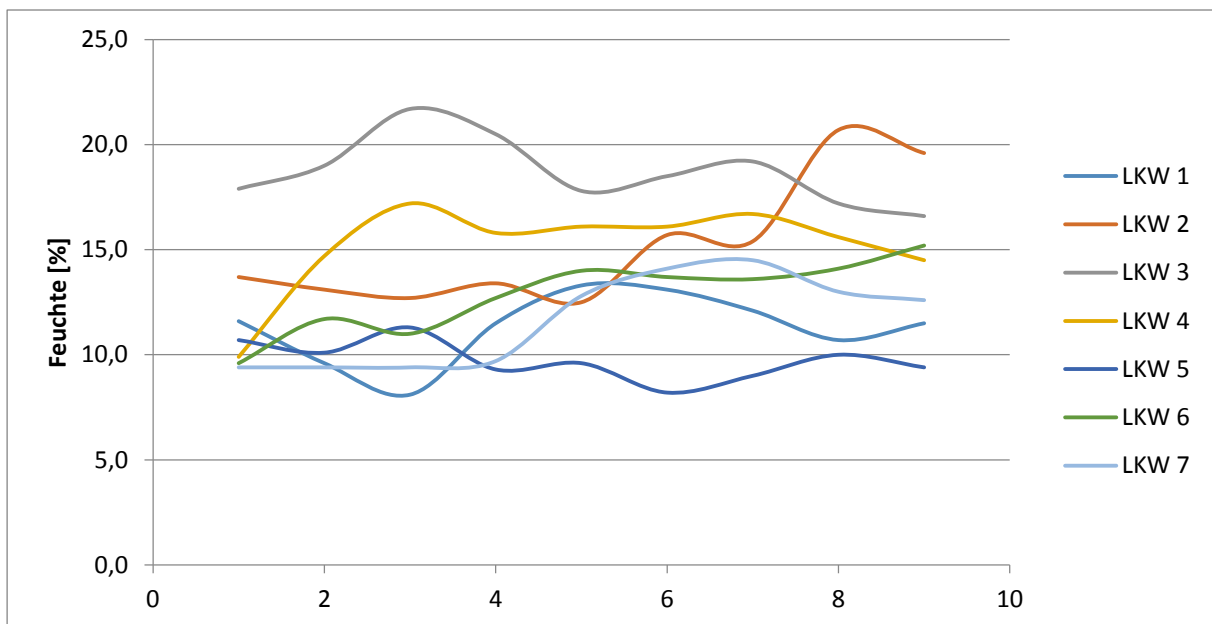


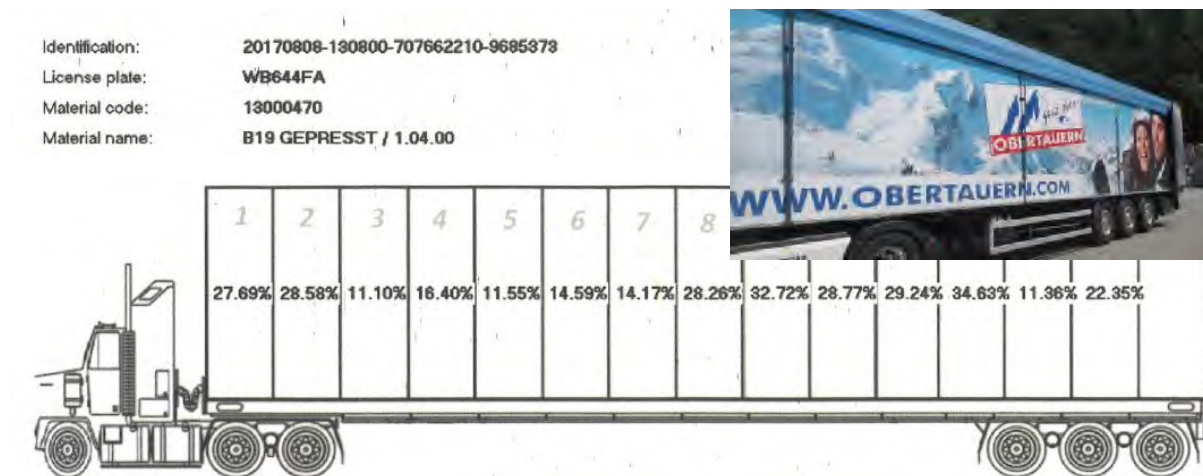
Abbildung 14: Ergebnisse der HPNA-Feuchtemessung für alle 7 LKW (für die jeweils 9 Messpunkte)

Die Abbildungen zeigen:

- Die Messungen mit HPNA sind nach unten hin bei 8 % Feuchte begrenzt (Softwaregrenze).
- Nach oben hin sind nach dem Umbau des HPNA nur noch Werte bis 22 % zu finden.
- Durch den Umbau des HPNA verlaufen die Messwerte nun deutlich gleichmäßiger und es sind keine extreme Sprünge zwischen einzelnen Messpositionen mehr zu erkennen.

5.2.3 Vollmetall-LKW (walking floor) im HPNA-Tor

Laut Regelungen vor Ort in Pitten werden Vollmetall-LKW nicht mit dem HPNA vermessen, da dies offenkundig zu keinen Signalen am Empfänger führen sollte. Während beider Messkampagnen kam es aber trotzdem zu solchen Messungen. Eines der dabei angefallenen Ergebnisse ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Wie zu erkennen, bewegen sich die Messwerte für Feuchte in einem Bereich, der auch für die 20 LKW der Standard-Test typisch war. Während der zweiten Kampagne lagen die Messwerte für den Vollmetall-LKW niedriger aber ebenso im mittleren Bereich der 7 Standard-Test-LKW. Dies führt zu folgenden Schlüssen.

- Eine geringe Menge an ausgesandter Strahlung erreicht den Empfänger (um den LKW herum) oder keine Strahlung erreicht den Empfänger, und somit wird nur Rauschen ausgewertet.
- Daraus folgernd sind offenbar keine oder nur unzulängliche Plausibilitätsbetrachtungen in den Auswertungsalgorithmen enthalten.
- Weiterhin muss geschlossen werden, dass auch in LKW in Planenausführung Metallteile, wie die senkrechten Verstrebungen, ebenso wie alle weiteren teilweise oder gänzlich mikrowellenundurchlässigen Materialien trotzdem mit einem Feuchtegehalt im typischen Wertebereich beaufschlagt werden.

5.2.4 Messtechnische Bewertung der einzelnen Lieferungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Feuchtemessungen aller verfügbaren messtechnischen Methoden im Vergleich zur Referenzmessung der Bohrkerne mittels Ofentrocknung dargestellt und diskutiert.

Erste Kampagne (Sommer 2017)

Innerhalb dieser Kampagne kam es zu LKW-Bewertungen, die im Vergleich aller Messgeräte plausibel erschienen, aber auch zu Fällen extremer Abweichungen, vor allem des HPNA von den restlichen Methoden. Ein Beispiel hierfür sei kurz angemerkt.

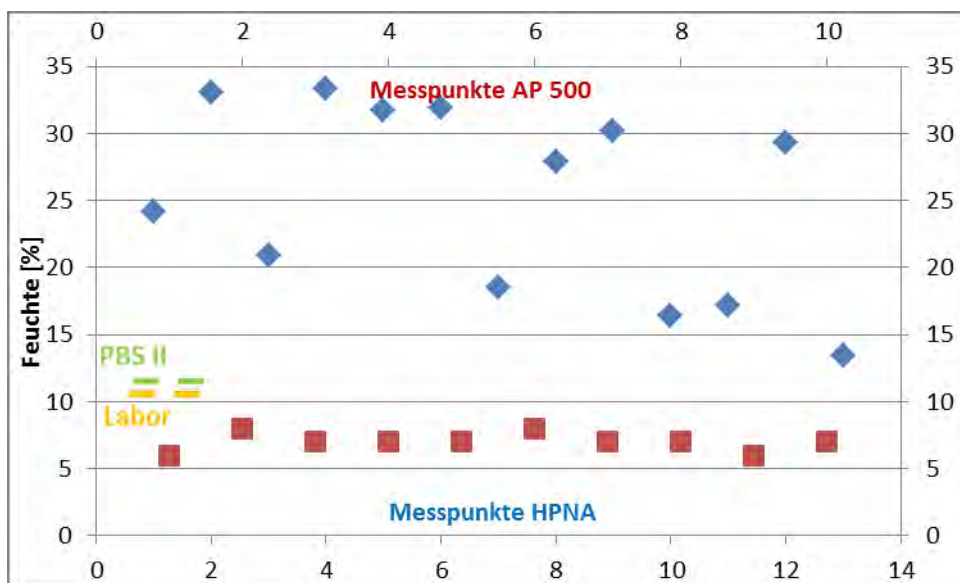


Abbildung: Darstellung aller Feuchteergebnisse für LKW 18

Tabelle: Feuchteergebnisse für die Messungen am 2. Ballenstapel nach dem Führerhaus (Position 1)

HPNA [%]	AP 500 [%]	PBS [%]	Bohrstaub [%]
24,1	8,5	11,8	11,1

Zu erkennen ist, dass das AP 500 die komplette Lieferung (1.04) als trocken bewertet. PBS- und Ofentrocknung bestätigen zumindest für den ersten Messpunkt diese Einschätzung, ebenso wie es die visuelle Beurteilung der Lieferung von beiden Seiten des LKW tat. Allein das HPNA weist Feuchtwerte zwischen 15 und 35 % aus. Auf Grund dieser Unterschiede und ähnlich gelagerter Messungen andere LKW wurde das HPNA durch den Hersteller grundhaft überarbeitet. Die HPNA-Messungen der ersten Kampagne können somit nicht in die Auswertungen einbezogen werden.

Zweite Kampagne (Winter 2018)

Im Folgenden sind die Ergebnisse aller Messmethoden für die 7 LKW dargestellt.

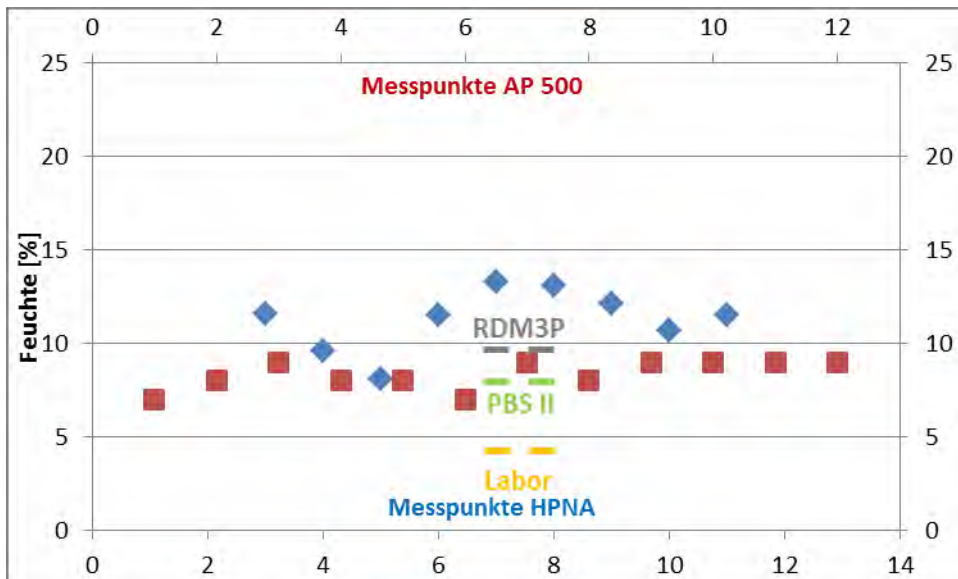


Abbildung:
Darstellung aller
Feuchteergebnisse
für LKW 1 (Sorte
4.01)

Tabelle: Feuchteergebnisse für die Messungen am markierten Ballenstapel (Position 7)

HPNA	AP 500	PBS	Bohrstaub
[%]	[%]	[%]	[%]
13,2	7,8	7,72	3,95

Einschätzung: Plausibel, HPNA bewertet tendenziell zu feucht

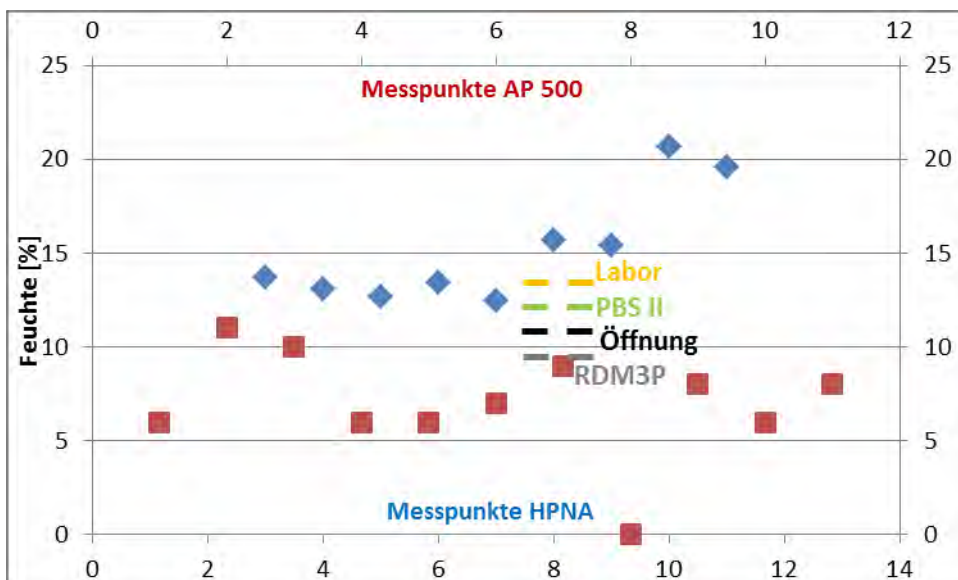


Abbildung:
Darstellung aller
Feuchteergebnisse
für LKW 2 (Sorte
1.04)

Tabelle: Feuchteergebnisse für die Messungen am markierten Ballenstapel (Position 7)

HPNA	AP 500	PBS	Bohrstaub
[%]	[%]	[%]	[%]
15,7	8,5	12,1	13,8

Einschätzung: Plausibel. Die einzelnen Messmethoden liegen 1 - 2 % (abs.) auseinander.

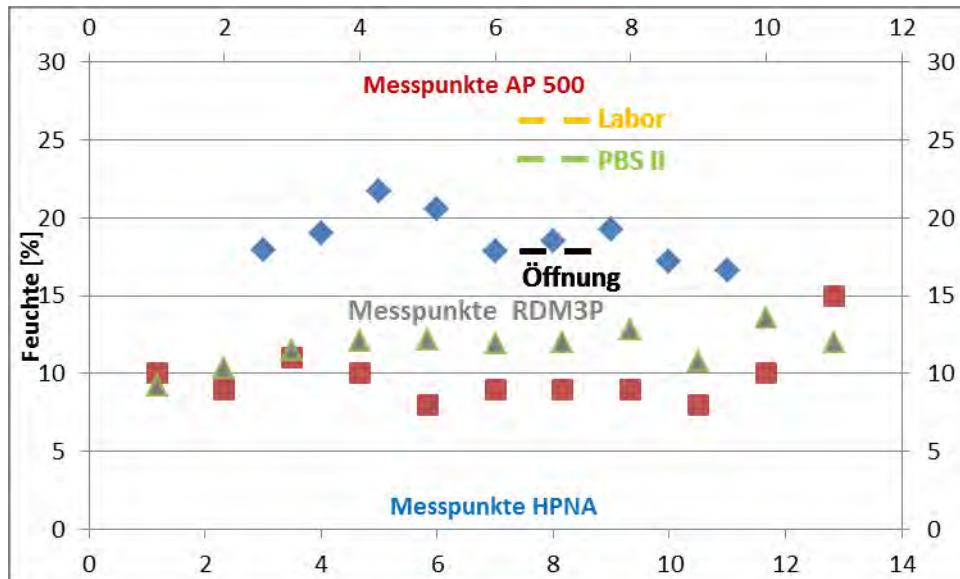


Abbildung:
Darstellung aller
Feuchteergebnisse
für LKW 3 (Sorte
1.04)

Tabelle: Feuchteergebnisse für die Messungen am markierten Ballenstapel (Position 7)

HPNA	AP 500	PBS	Bohrstaub
[%]	[%]	[%]	[%]
18,5	9,0	23,8	26,3

Einschätzung: Plausibel. Die Messungen von AP500 erfolgten an der trockenen Seite des LKW. Die Ballenlage auf der Rückseite war mind. am Stapel 7 deutlich feuchter.

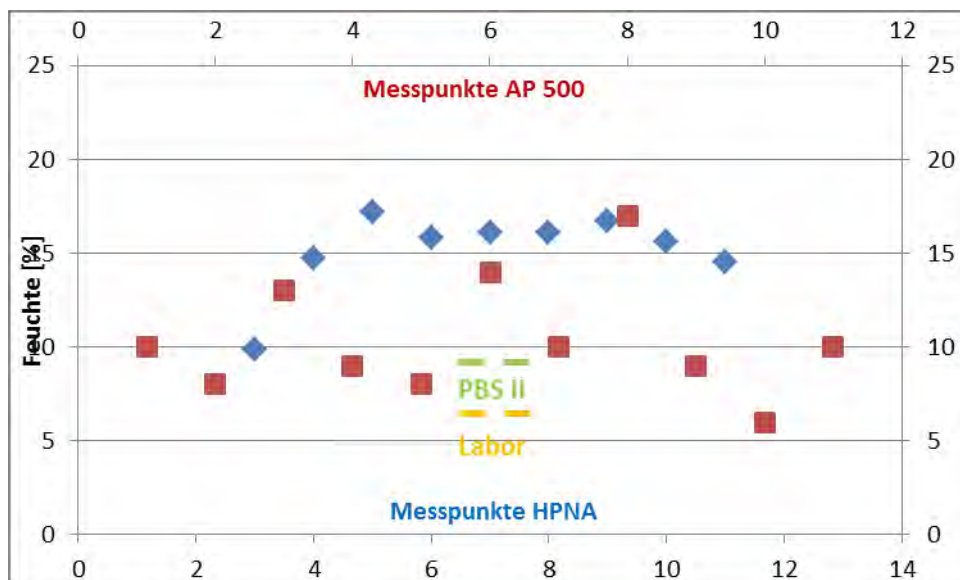


Abbildung:
Darstellung aller
Feuchteergebnisse
für LKW 4 (Sorte
1.02)

Tabelle: Feuchteergebnisse für die Messungen am markierten Ballenstapel (Position 6)

HPNA	AP 500	PBS	Bohrstaub
[%]	[%]	[%]	[%]
16,1	14	8,3	6,4

Einschätzung: HPNA und AP 500 zeigen erhöhte Feuchte an. Die Stichproben von PBSII und Ofentrocknung bilden dies nicht ab. Die typischer Weise inhomogenen 1.02 Ballen können solche Ergebnisse aber zulassen.

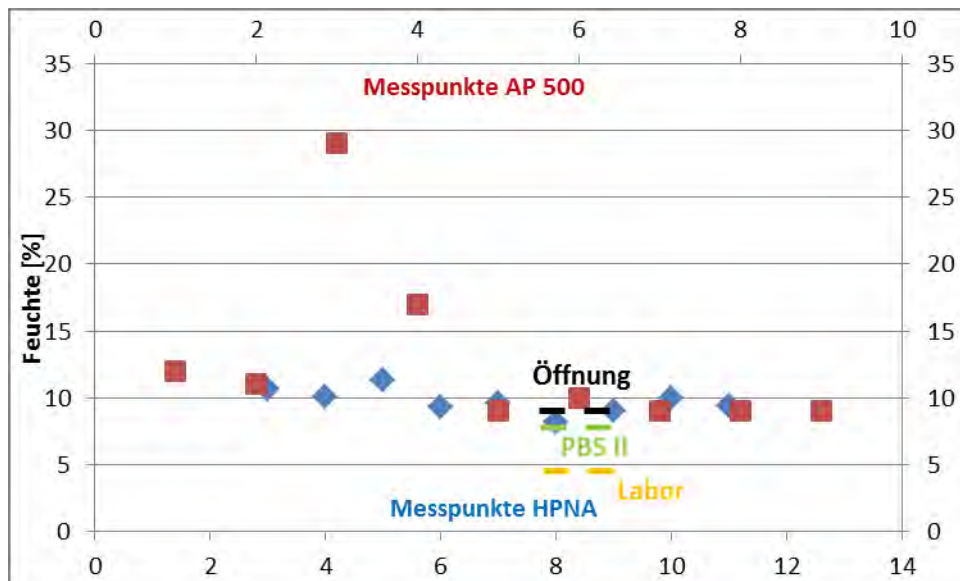


Abbildung:
Darstellung aller
Feuchteergebnisse
für LKW 5 (Sorte
1.02)

Tabelle: Feuchteergebnisse für die Messungen am markierten Ballenstapel (Position 6)

HPNA	AP 500	PBS	Bohrstaub
[%]	[%]	[%]	[%]
8,6	10,0	7,9	4,7

Einschätzung: Plausibel. Alle Methoden liefern am Stapel 6 nahezu identische Ergebnisse. Die Ofentrocknung liegt etwas darunter. Die Feuchten Stellen (AP 500, Stapel 3 und 4) werden vom HPNA nicht deutlich wiedergegeben.

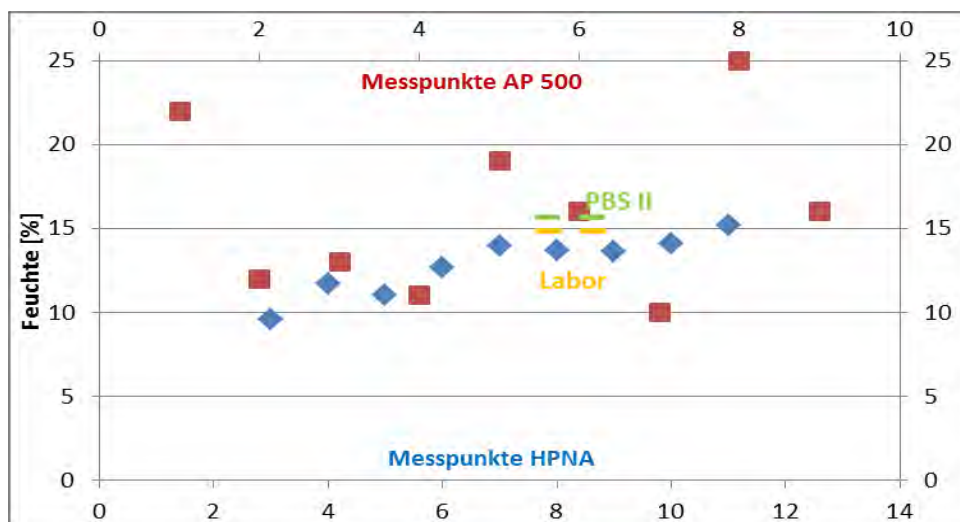


Abbildung:
Darstellung aller
Feuchteergebnisse
für LKW 6 (Sorte
1.04)

Tabelle: Feuchteergebnisse für die Messungen am markierten Ballenstapel (Position 6)

HPNA	AP 500	PBS	Bohrstaub
[%]	[%]	[%]	[%]
13,7	16,0	15,9	14,6

Einschätzung: Plausibel. Alle Methoden liefern am Stapel 6 nahezu identische Ergebnisse. Die insgesamt erhöhte Feuchte der Lieferung wird durch AP500 (stichprobenartig) und mit HPNA wiedergegeben.

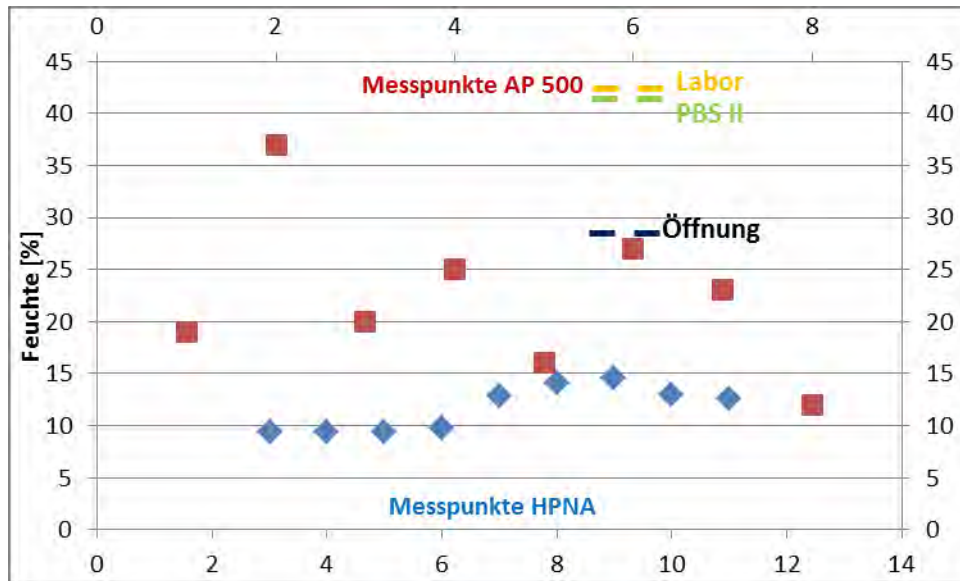


Abbildung:
Darstellung aller
Feuchteergebnisse
für LKW 7 (Sorte
1.04)

Tabelle: Feuchteergebnisse für die Messungen am markierten Ballenstapel (Position 6)

HPNA	AP 500	PBS	Bohrstaub
[%]	[%]	[%]	[%]
13,8	27,0	42,8	43,0

Einschätzung: Nicht plausibel. AP500, PBSII und Ballenöffnung zeigen deutlich erhöhte Feuchtegehalte an Stapel 6 und über die Länge des LKW. HPNA wertet die Lieferung insgesamt aber als trocken bzw. nur gering feucht (< 10 % vorderen LKW-Bereich, < 15 % im hinteren Bereich).

Die Ballenöffnung zeigte, dass die Ballen des Stapels durchgängig gefroren und mit erheblichen Mengen an Eis in Stücken von mehreren Zentimetern Dicke sowie einer losen Eiskristallen durchzogen waren (siehe Abbildung). Das Ergebnis der Feuchtebestimmung aus Proben der Ballenöffnung fällt mit knapp 30 % eher zu niedrig aus, da nur Papiere und Pappen, nicht aber freies Eis in die Probenahme einbezogen wurden.



5.3 Ergebnisse der Untersuchungen an speziellen Altpapierlieferungen (Betriebsversuche)

5.3.1 Übersicht der Versuchsvariationen

Zur Bewertung der drei Messsysteme HPNA, AP 500 und PBS bzgl. Reproduzierbarkeit, Wiederholbarkeit und Messgenauigkeit wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt und bestimmte Parameter bei den Messabläufen variiert. Die Bewertung der Messgenauigkeit erfolgte dabei im Vergleich mit den Referenzmessungen im Labor Pitten und PTS Heidenau. Die nachfolgenden Tabellen zeigen eine Übersicht über die Versuchsvariationen und Versuchsbedingungen über beide Messkampagnen.

Tabelle 8: Allgemeine Versuchsvariationen

Allgemeine Variationen		Bewertung von
Altpapiersorte	3x Teilladungen (1.04.00, 1.02.00, 1.05.00) 3x Einzelladungen (1.02.00, 1.04.00, 4.01.00)	Reproduzierbarkeit
Umwelteinflüsse	2x Jahreszeit (Sommer, Winter)	-
	3x Tageszeit je nach Uhrzeit der Messungen (früh, vormittags, nachmittags)	Reproduzierbarkeit
	Keine Variation Nässe Ballenoberfläche	-

Tabelle 9: Versuchsvariation emco AP 500

emco AP 500		Bewertung von
Bedienung	4x Bediener (2x Hamburger Austria, 2x PTS)	Reproduzierbarkeit
Umwelteinflüsse	2+x Tageszeit (Teilversuche bei bestimmten Tageszeiten, und damit nach bestimmten Lagerzeiten und bei bestimmten Temperaturen)	Reproduzierbarkeit/ Einflüsse von Fehlbedienung
Systemeinstellung / Anwendungsbedingung seitens Hersteller	1x Schalterstellung (Schalter 4)	-
	2x Verdrahtung Ballen (Teilversuche mit Ballendraht im Messfeld)	Reproduzierbarkeit/ Einflüsse von Fehlbedienung

Tabelle 10: Versuchsvariation HPNA Microwave Moisture Analyzer

HPNA Microwave Moisture Analyzer		Bewertung von
Wiederholung	2x Wiederholungen jeder Einstellung an 3x verschiedenen Tagen Bis zu 10x Wiederholungen jeder Einzelladung bei zugehöriger Sortenauswahl	Reproduzierbarkeit Wiederholbarkeit
Systemeinstellung / Anwendungsbedingung seitens Hersteller	6x Sortenauswahl → KW32/2017 (1.02.00; 1.04.00; 2.03.01; 4.01.00; 4.02.00; 4.03.00) 3x Sortenauswahl → KW6/2018 (1.02.00; 1.04.00; 4.01.00)	Reproduzierbarkeit/ Einflüsse von Fehleinstellung
	3x Beladungsbreite je Sorte → KW6/2018 (1,80m < x,xx m < 2,40m)	Reproduzierbarkeit/ Einflüsse von Fehleinstellung

Tabelle 11: Versuchsvariation PaperBaleSensor PBS II

PaperBaleSensor PBS II		Bewertung von
Bedienung	4x Bediener (2x Hamburger Austria, 2x PTS)	Reproduzierbarkeit
Umwelteinflüsse	2+x Tageszeit (Teilversuche bei bestimmten Tageszeiten, und damit nach bestimmten Lagerzeiten und bei bestimmten Temperaturen)	Reproduzierbarkeit/ Einflüsse von Fehlbedienung
Systemeinstellung / Anwendungsbedingung seitens Hersteller	3x Messablauf (standardmäßig kontinuierliche Messbewegung, Teilversuche mit Messungen am Bohrloch-Ende und Bohrloch-Eingang)	Reproduzierbarkeit/ Einflüsse von Fehlbedienung

5.3.2 Ergebnisse Betriebsversuche – emco AP 500

Es wurden insgesamt vier Messungen pro Ballen von einem Bediener durchgeführt, jeweils zwei Messungen an der Vorder- und Hinterseite eines Ballens.

Einflüsse durch Fehlbedienungen – AP500 – Verdrahtung im Messfeld

Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **emco AP 500** werden jeweils die Mittelwerte aus zwei Messungen einer Ballenseite herangezogen. In diesem Fall wurden nur die 12 Ballen der Sorte 1.04.00 untersucht.

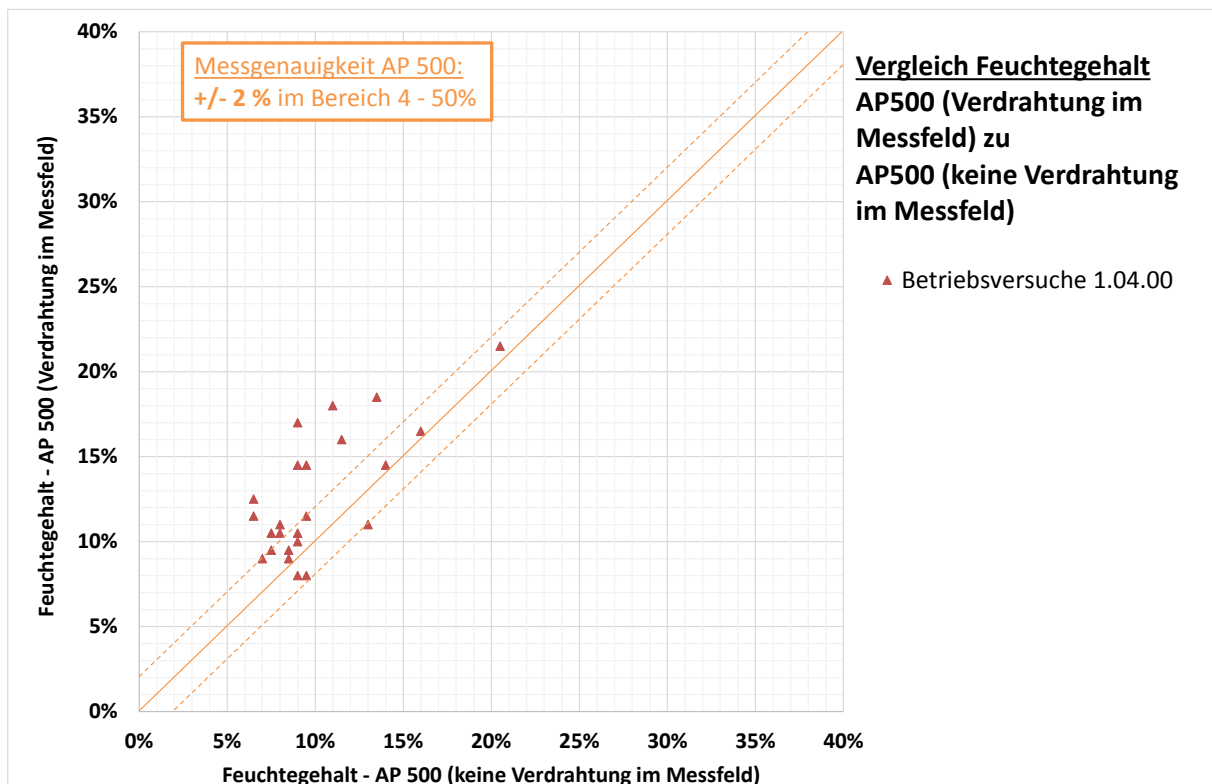


Abbildung 15: Vergleich Feuchtegehalt der AP 500-Messungen (mit Verdrahtung im Messfeld) mit den AP 500-Messungen (ohne Verdrahtung im Messfeld), KW32/2017

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Wird mit AP 500 über die Ballenverdrahtung gemessen, weichen die Werte in einigen, nicht aber in allen Fällen, von den Werten bei korrekter Messdurchführung ab.
- Einige AP 500-Messungen mit Verdrahtung im Messfeld zeigen deutlich höhere Feuchtegehalte als die normalen AP 500-Messungen.

Einflüsse durch Fehlbedienungen – AP500 – Wartezeit nach erster Messung

Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **emco AP 500** werden jeweils die Mittelwerte aus zwei Messungen einer Ballenseite herangezogen.

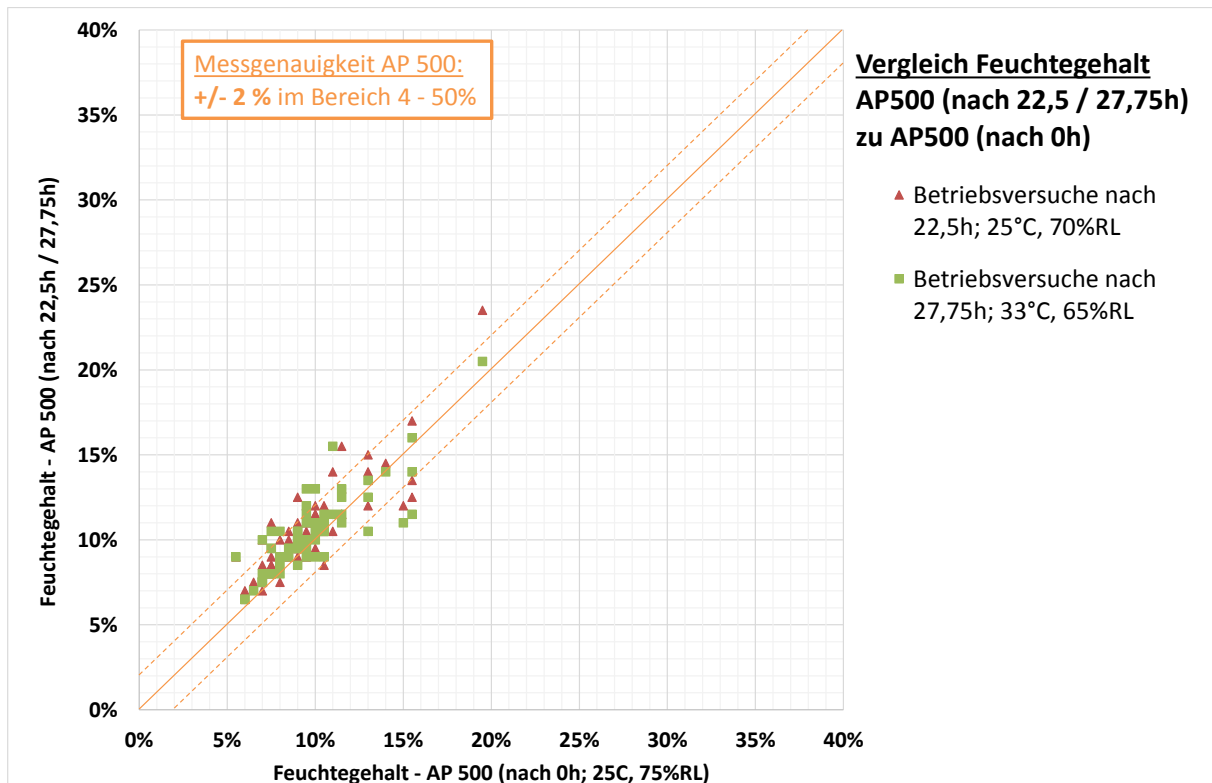


Abbildung 16: Vergleich Feuchtegehalt der AP 500-Messungen zur Ausgangszeit 09.08.17, 09:45 mit den AP 500-Messungen nach 22,5 bzw. 27,75 h, KW32/2017

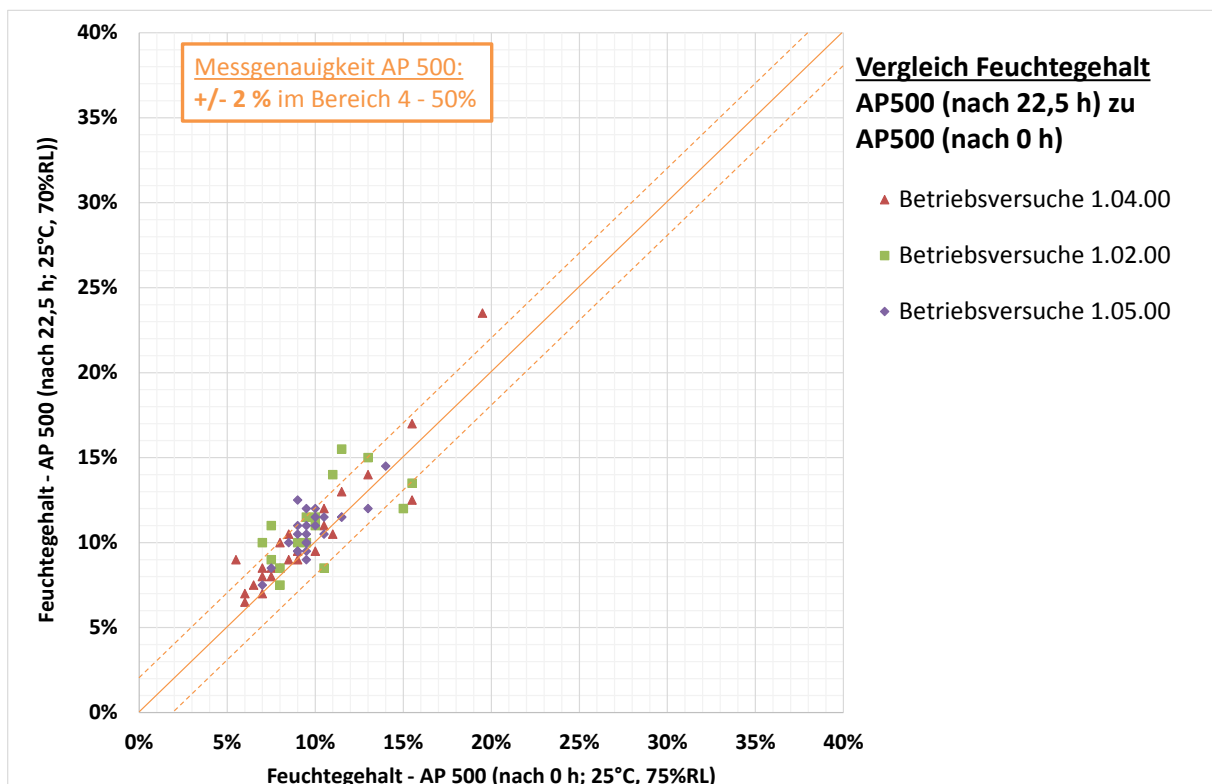


Abbildung 17: Vergleich Feuchtegehalt der AP 500-Messungen zur Ausgangszeit 09.08.17, 09:45 mit den AP 500-Messungen nach 22,5 h, KW32/2017

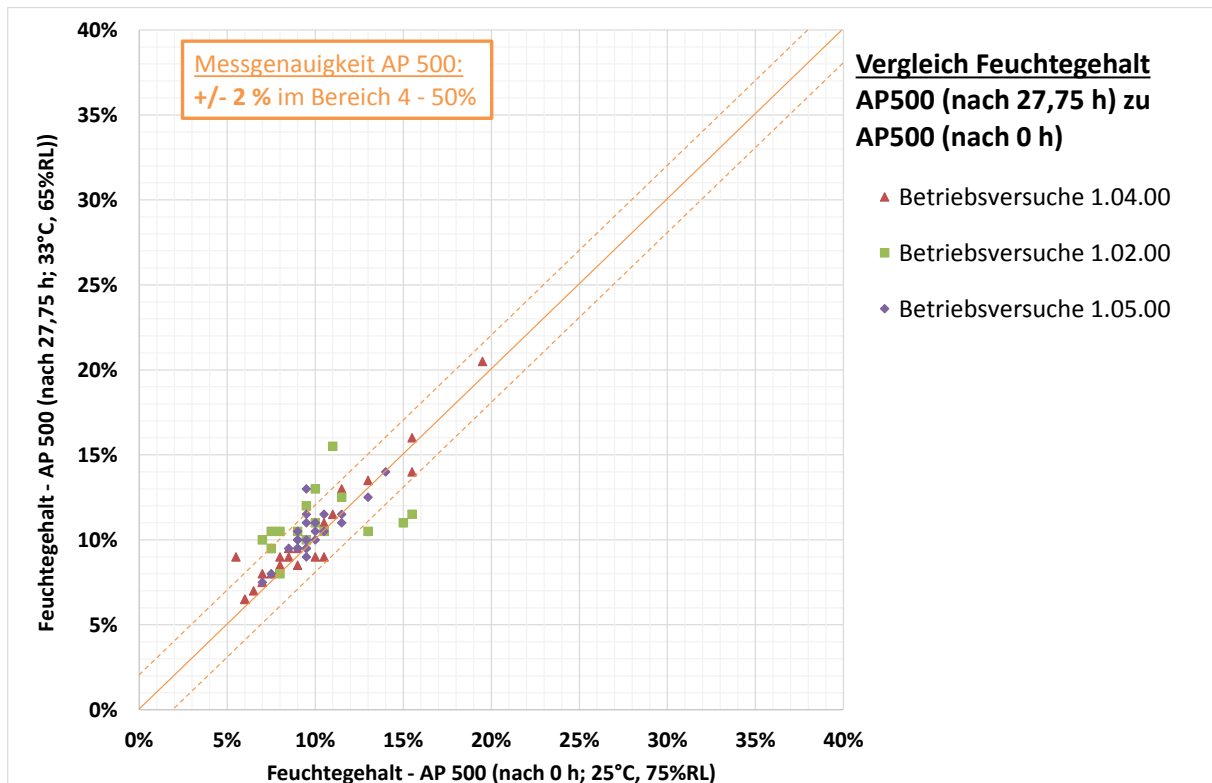


Abbildung 18: Vergleich Feuchtegehalt der AP 500-Messungen zur Ausgangszeit 09.08.17, 09:45 mit den AP 500-Messungen nach 27,75 h, KW32/2017

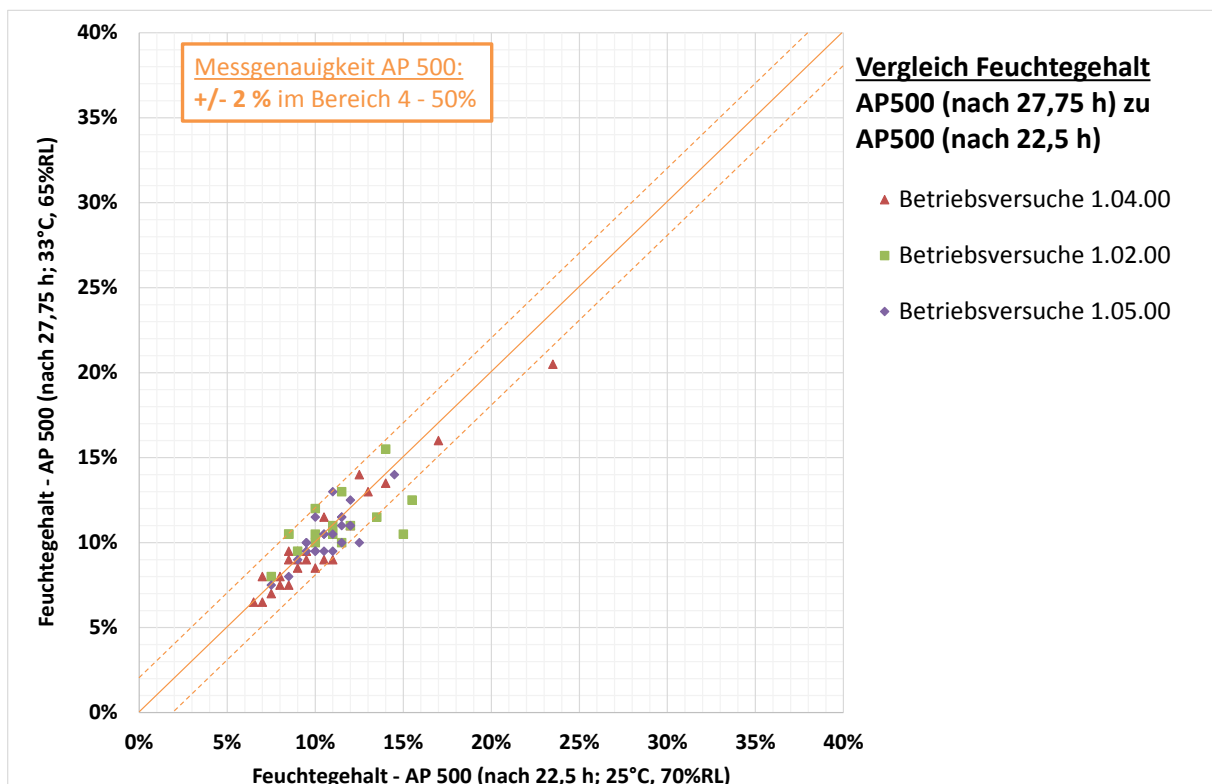


Abbildung 19: Vergleich Feuchtegehalt der AP 500-Messungen zur Ausgangszeit 10.08.17, 08:10 mit den AP 500-Messungen von 10.08.17, 13:30, KW32/2017

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Die AP 500-Messungen sind größtenteils reproduzierbar nach verschiedenen Lagerzeiten der Ballen.
- Der Großteil der Messwerte liegt im Bereich der Messgenauigkeit von $\pm 2\%$.

Reproduzierbarkeit bei verschiedenen Bedienern

Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **emco AP 500** jeweils die Mittelwerte aus zwei Messungen einer Ballenseite herangezogen.

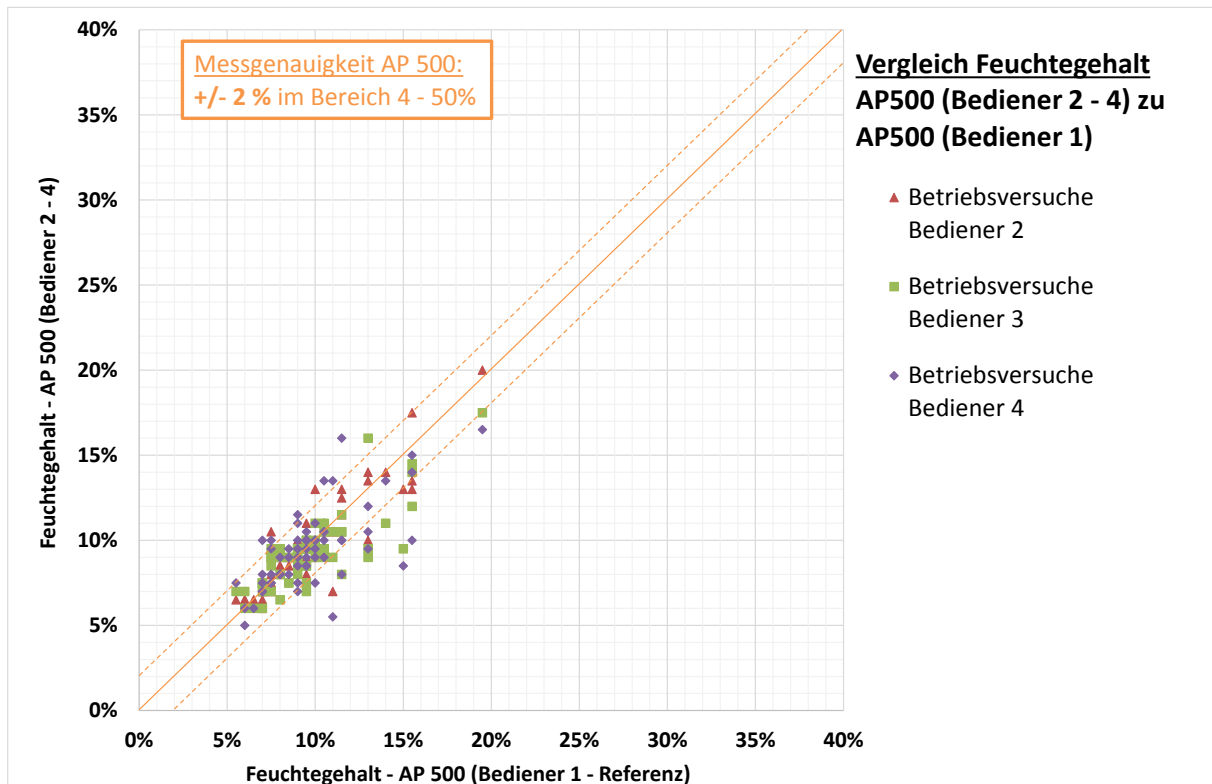


Abbildung 20: Vergleich Feuchtegehalt der AP 500-Messungen von Referenz-Bediener 1 mit den AP 500-Messungen von den drei anderen Bedienern 2 – 4, KW32/2017

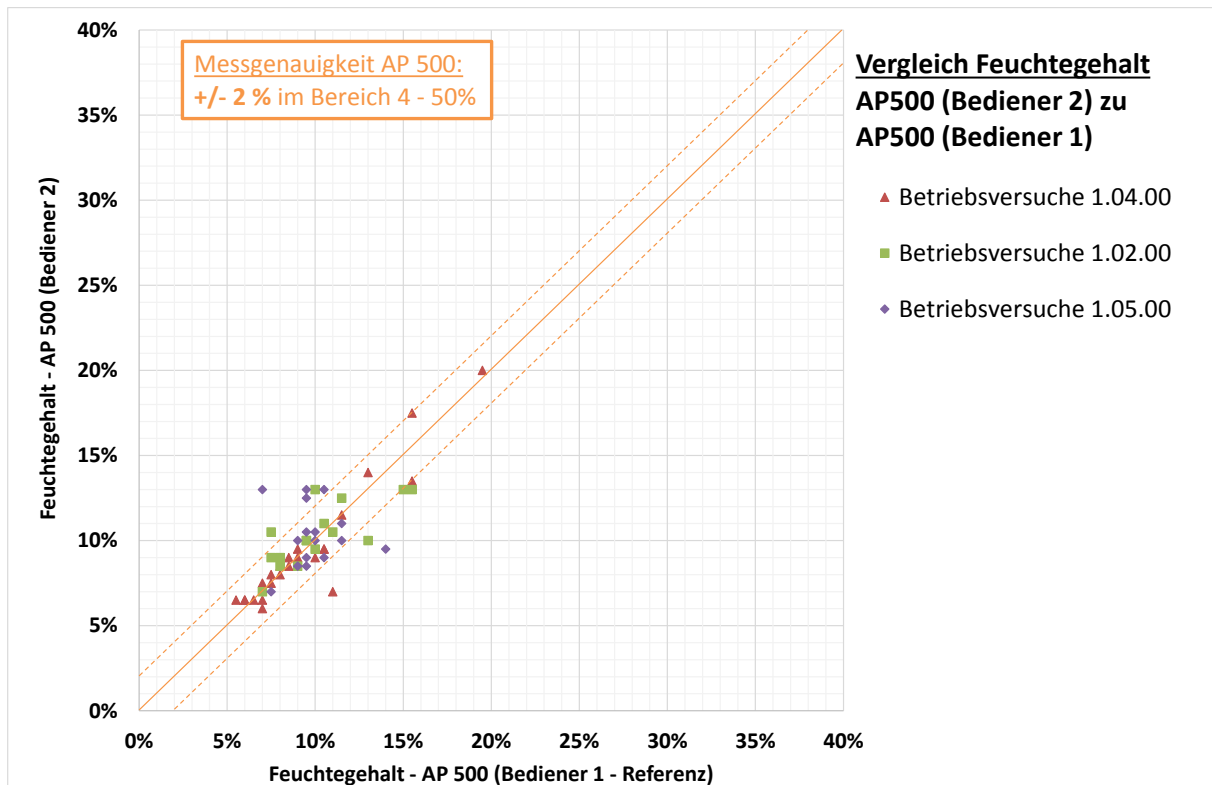


Abbildung 21: Vergleich Feuchtegehalt der AP 500-Messungen von Referenz-Bediener 1 mit den AP 500-Messungen von Bediener 2, KW32/2017

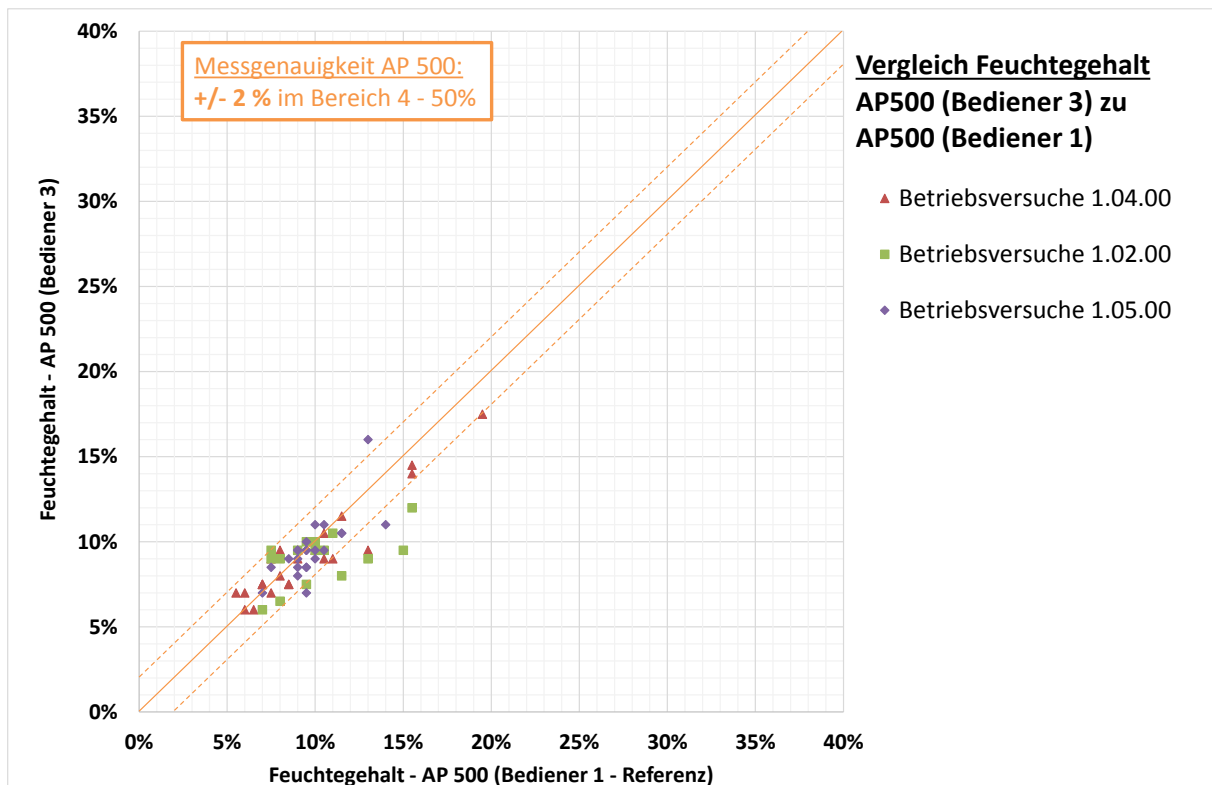


Abbildung 22: Vergleich Feuchtegehalt der AP 500-Messungen von Referenz-Bediener mit den AP 500-Messungen von Bedienern 3, KW32/2017

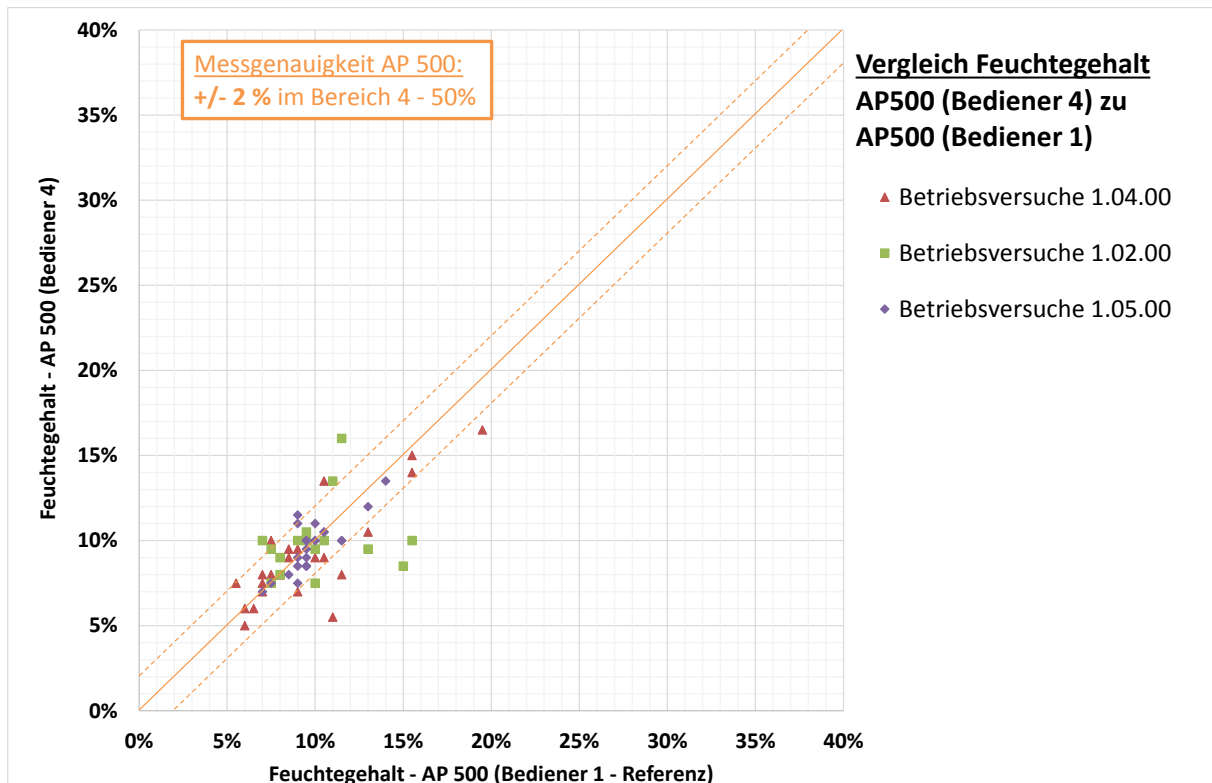


Abbildung 23: Vergleich Feuchtegehalt der AP 500-Messungen von Referenz-Bediener mit den AP 500-Messungen von Bedienern 4, KW32/2017

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Die AP 500-Messungen durch verschiedene Bediener sind größtenteils reproduzierbar.
- Der Großteil der Messwerte liegt im Bereich der Messgenauigkeit von +/- 2%.
- Allerdings gibt es auch einen Teil der AP 500-Messungen die deutlich von den AP 500-Referenzmessungen abweichen. Tendenziell betrifft dies vor allem die Ballen der Sorten 1.02.00 und 1.04.00, welche inhomogener in ihrer Zusammensetzung sind als die der 1.05.00.

Messgenauigkeit (Vergleich mit Referenzmessungen)

Messkampagne 1 – KW 6/2018

Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **emco AP 500** werden jeweils die Mittelwerte aus acht Messungen (je 2 Messungen von 4 Bedienern) einer Ballenseite herangezogen.

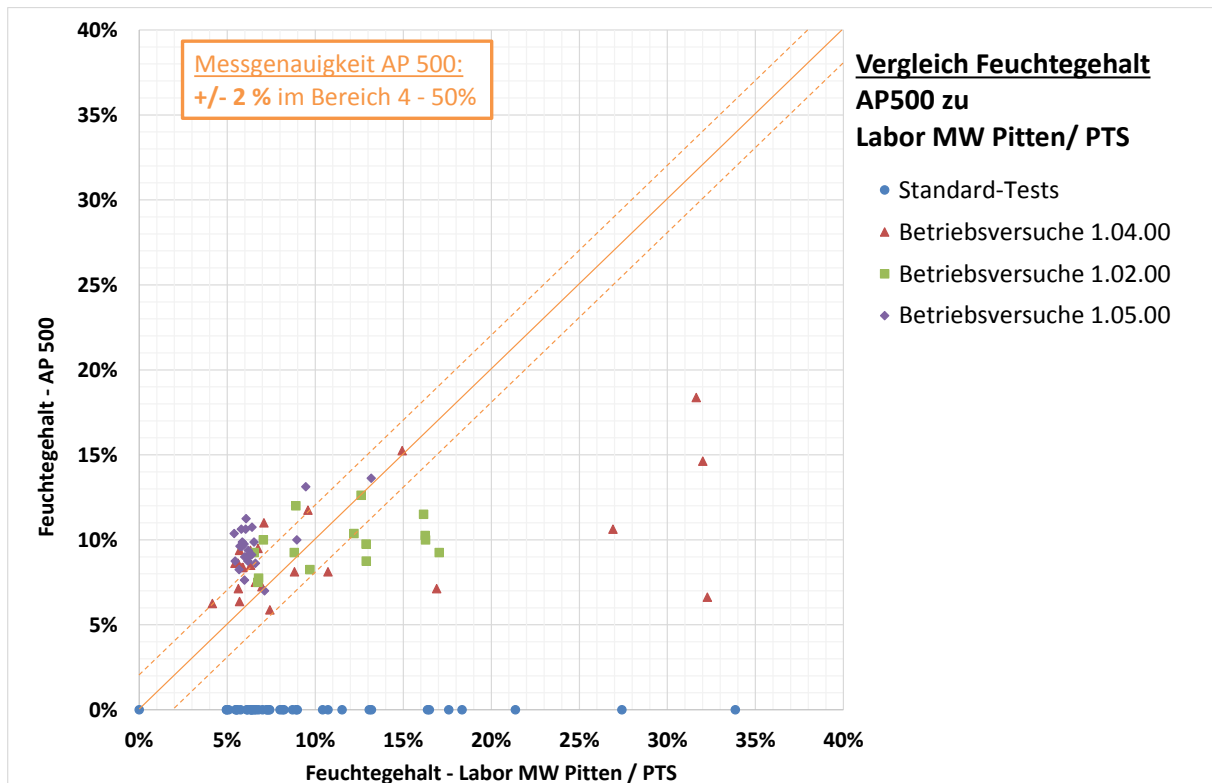


Abbildung 24: Vergleich Feuchtegehalt der Messungen mittels emco AP 500 und den Mittelwerten der Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS, KW32/2017

Messkampagne 2 – KW32/2017

Neben dem Vergleich mit den mittleren Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS Heidenau waren auch Vergleiche mit den Messwerten aus der Ballenöffnungsmethode möglich.

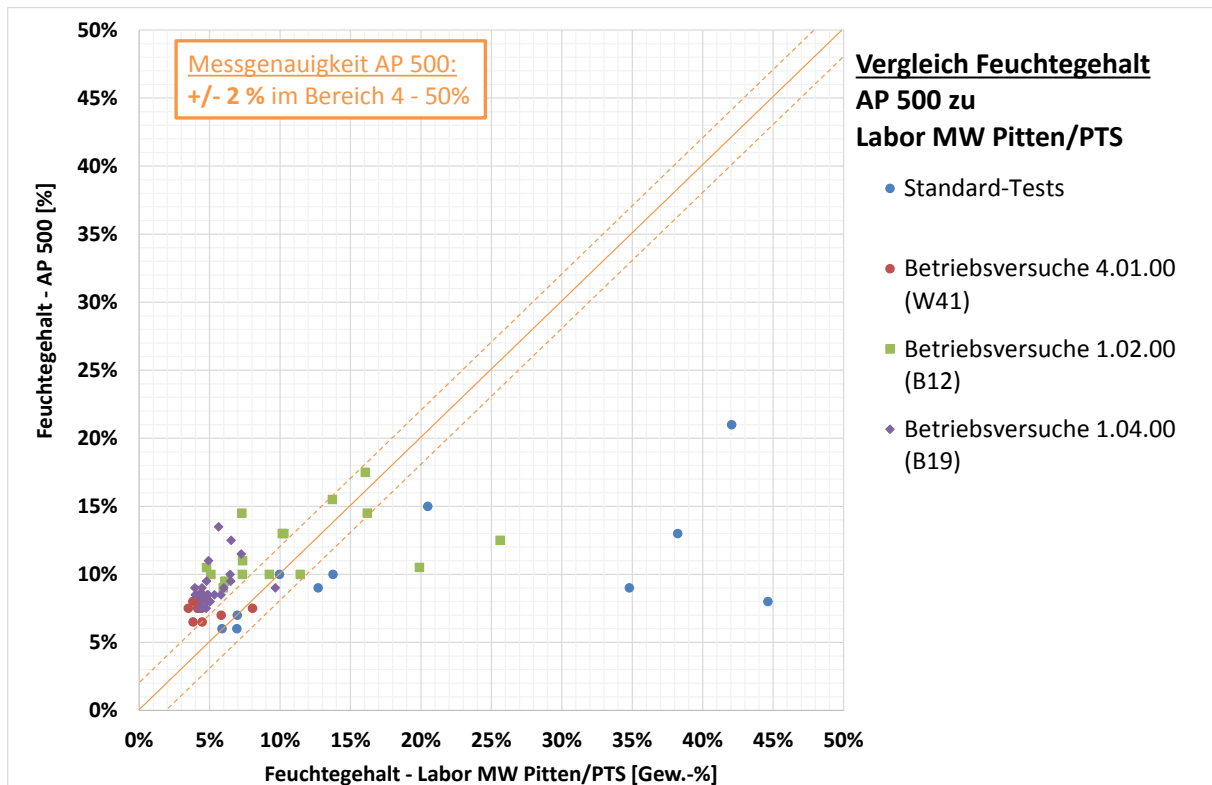


Abbildung 25: Vergleich Feuchtegehalt der Messungen mittels emco AP 500 und den Mittelwerten der Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS, KW6/2018

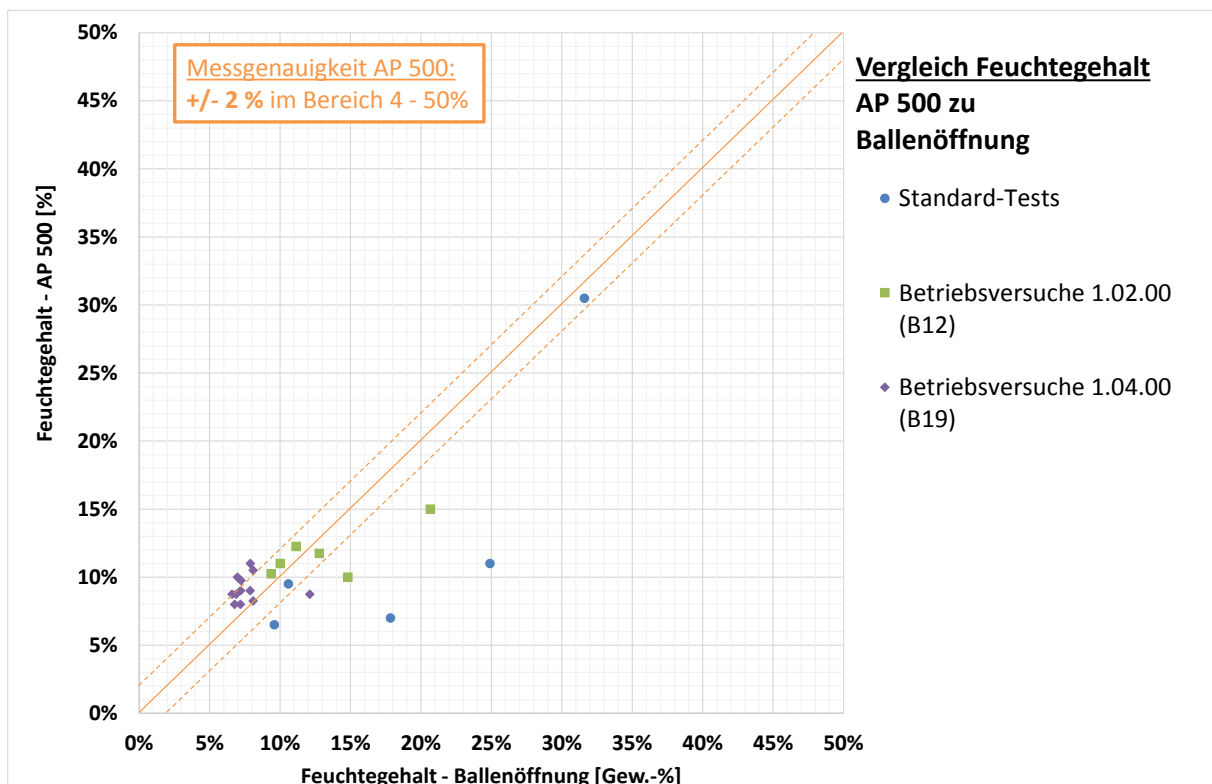


Abbildung 26: Vergleich Feuchtegehalt der Messungen mittels emco AP 500 und den Messwerten der Ballenöffnungsmethode, KW6/2018

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Beim Vergleich der AP 500-Messungen mit den Referenzmessungen vom Labor gibt es sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Kampagne teilweise deutliche Abweichungen in beide Richtungen vom jeweiligen Referenzwert.
- Bei der Sorte 1.05.00 werden gehäuft höhere Feuchtegehalte vom AP 500 ausgegeben als vom Labor. Dies lässt auf eine durch Witterung bedingte erhöhte Feuchte an der Ballenoberfläche schließen.
- Bei den Sorten 1.02.00 und 1.04.00 (KW32/2017) werden teilweise sehr deutlich zu niedrige Feuchtegehalte vom AP 500 angezeigt. Dies lässt vermuten, dass diese Ballen besonders im Inneren Feuchte enthalten, welche außerhalb des AP 500-Messfelds liegt.
- Es lässt sich vermuten, dass die Herstellerangaben zur Messgenauigkeit des AP 500 mit $\pm 2\%$ nur auf den Bereich des Messfeldes beziehen und nur schlecht auf den ganzen Ballen anwendbar sind.
- Die beobachteten Abweichungen zeichnen sich in ähnlicher Weise auch bei den Messungen der zweiten Messkampagne ab.
- Beim Vergleich der AP 500-Messungen mit den Messwerten aus der Ballenöffnungsmethode sind ebenfalls Abweichungen festzustellen.

5.3.3 Ergebnisse Betriebsversuche – HPNA Microwave Moisture Analyzer

Messkampagne 1 (KW32/2017)

Es wurden insgesamt bis zu 13 Einzelmessungen pro Messdurchlauf durchgeführt. Die Messpositionen werden dabei wie folgt den drei Altpapiersortenabschnitten der synthetischen Lieferung zugeordnet (siehe auch Abbildung 8 im Abschnitt 4.4):

- Sorte 1.04 – Ballen-Nr. 1-12 → Messpositionen 1-4
- Sorte 1.02 – Ballen-Nr. 13-20 → Messpositionen 5-9
- Sorte 1.05 – Ballen-Nr. 21-32 → Messpositionen 10-13

Auf Grund einer fehlerhaften Kalibrierung des HPNA und damit einhergehender Falschmessungen (zur Zeit der Untersuchungen in KW32, 2017) werden die Messwerte nicht weiter beschrieben und bewertet.

Messkampagne 2 (KW6/2018)

Es wurden je Altpapiersorte bis zu 14 Messdurchläufe durchgeführt, ein Messdurchlauf bestand in der Regel aus bis zu 9 Einzelmessungen. Die ersten und letzten beiden Messpositionen wurden nicht angezeigt und gingen nicht mit in die Mittelwertbildung mit ein.

Wiederholbarkeit (bis zu 10 Wiederholungen je Sorte)

Zum Vergleich der einzelnen HPNA-Wiederholversuche wurden jeweils die Einzelmesswerte der jeweiligen Gesamtladung als auch die jeweils untersuchten Teilladung gemittelt (siehe Tabelle 12. Die Mittelwerte der Einzelmessreihen wurden zur Bewertung der Wiederholbarkeit gemittelt.

Tabelle 12: Anzahl der Messwerte (und dazugehöriger Messpositionen) für die Mittelwertbildung

Untersuchte Altpapiersorte	Anzahl Messwerte der Gesamtladungen (Messpositionen)	Anzahl Messwerte der untersuchte Teilladungen (Messpositionen)
4.01.00	N = 9 (3 bis 11)	N = 4 (8 bis 11)
1.02.00	N = 7 (4 bis 11)	N = 4 (6 bis 9)
1.04.00	N = 9 (3 bis 11)	N = 4 (8 bis 11)

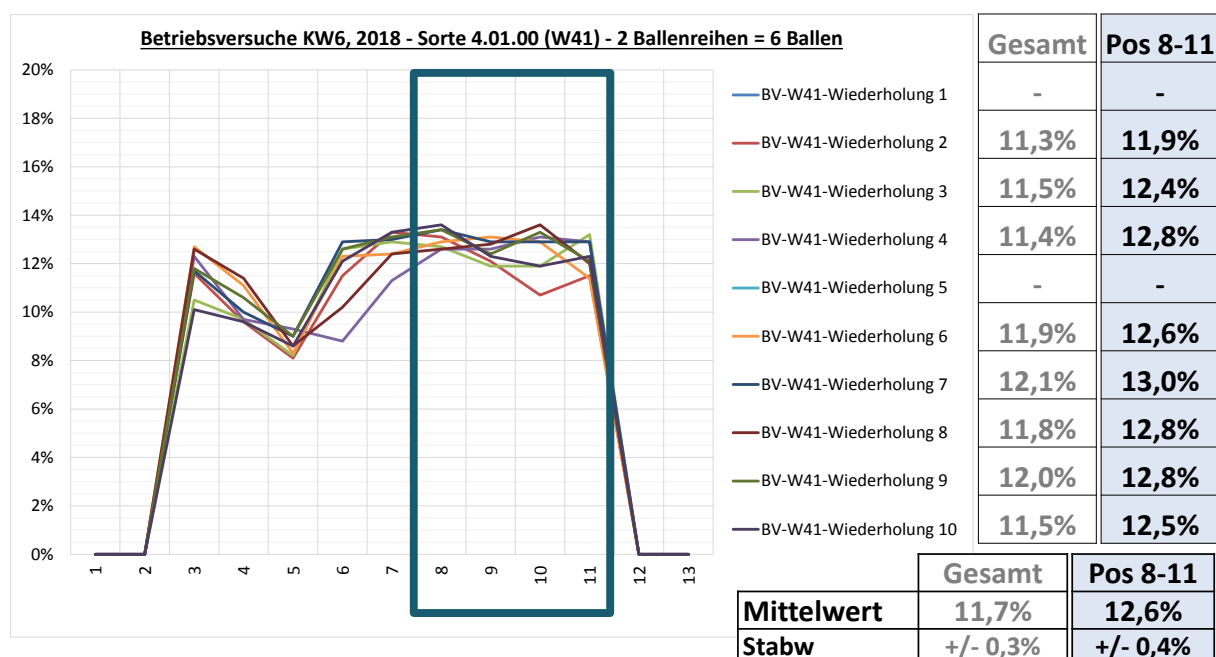


Abbildung 27: HPNA-Einzelmessreihen der bis zu 10 Wiederholungen, Altpapiersorte 4.01.00, KW6/2018

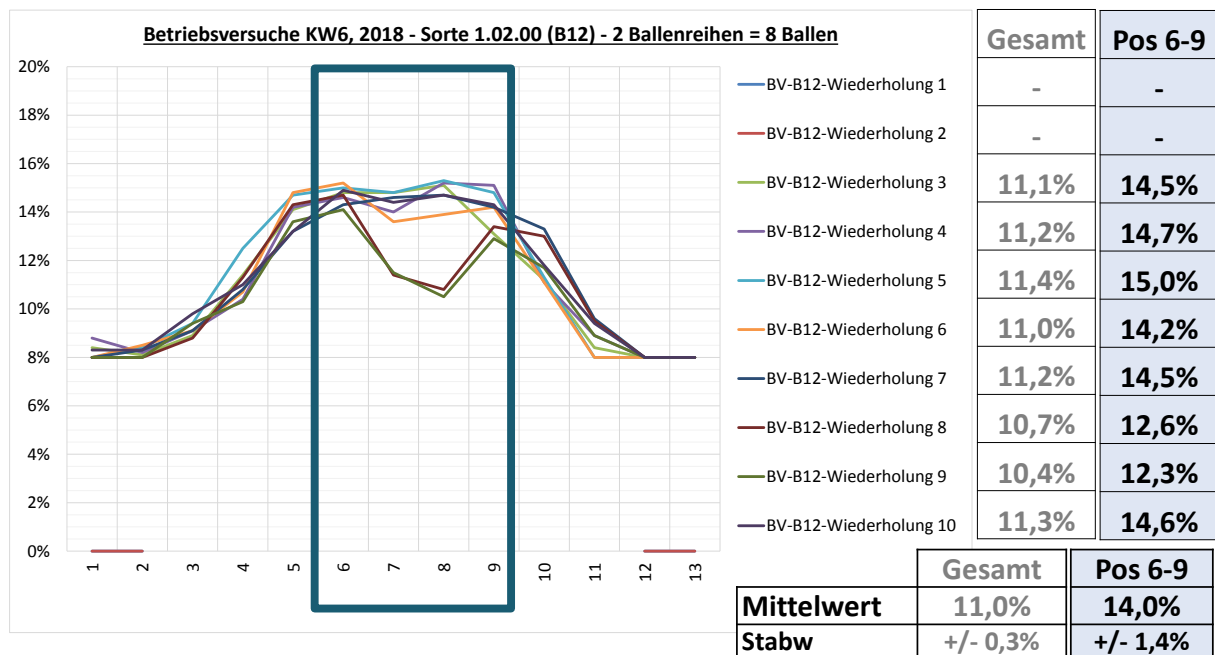


Abbildung 28: HPNA-Einzelmessreihen der bis zu 10 Wiederholungen, Altpapiersorte 1.02.00, KW6/2018

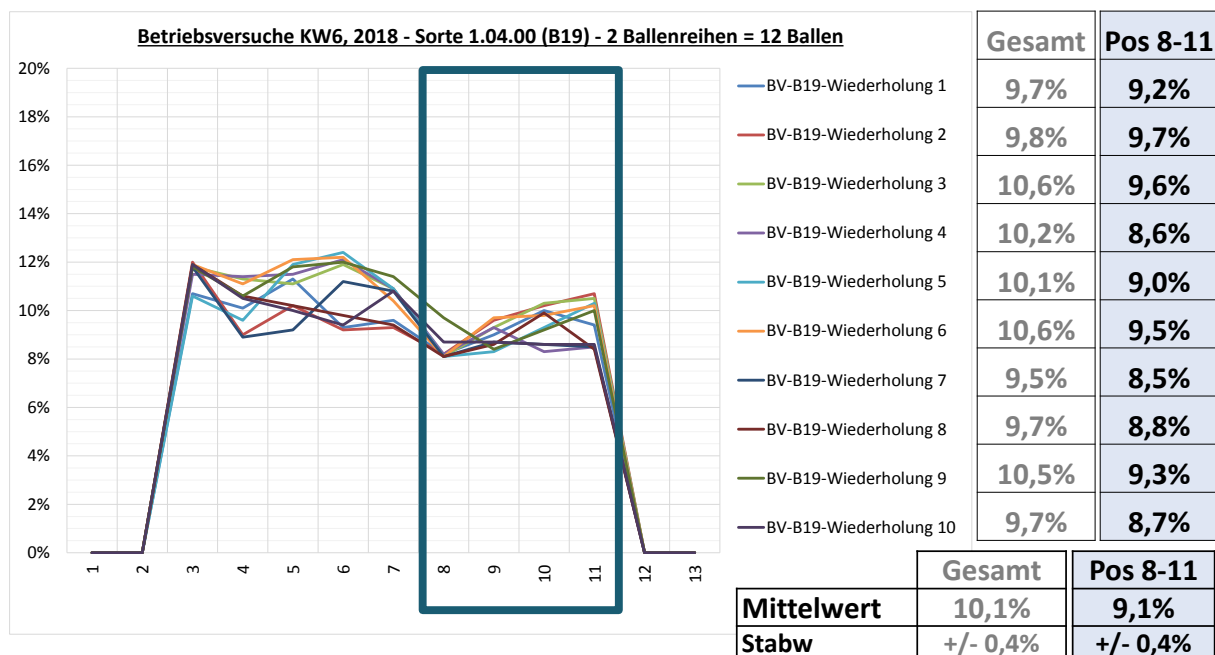


Abbildung 29: HPNA-Einzelmessreihen der bis zu 10 Wiederholungen, Altpapiersorte 1.04.00, KW6/2018

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Die Wiederholbarkeit der gemittelten HPNA-Messungen in Bezug auf die Gesamtladung ist bei allen drei Altpapierqualitäten als gut zu bewerten.
- Bei der Betrachtung der Einzelmesspunkte (Kurvenverlauf) sind zum Teil deutliche Sprünge zwischen den verschiedenen Messabläufen zu verzeichnen, besonders auffällig ist die nicht

zu erklärende Feuchtesenke bei den zwei Wiederholungen Nr. 8 und 9 der Altpapiersorte 1.02.00 (Vgl. Abbildung 28).

Einflüsse durch Fehleinstellungen - HPNA-Voreinstellung – Sortenauswahl und Beladungsbreite

Zur Bewertung des Einflusses von Fehleinstellungen wurden die Mittelwerte der durchgeführten Messdurchgänge herangezogen.

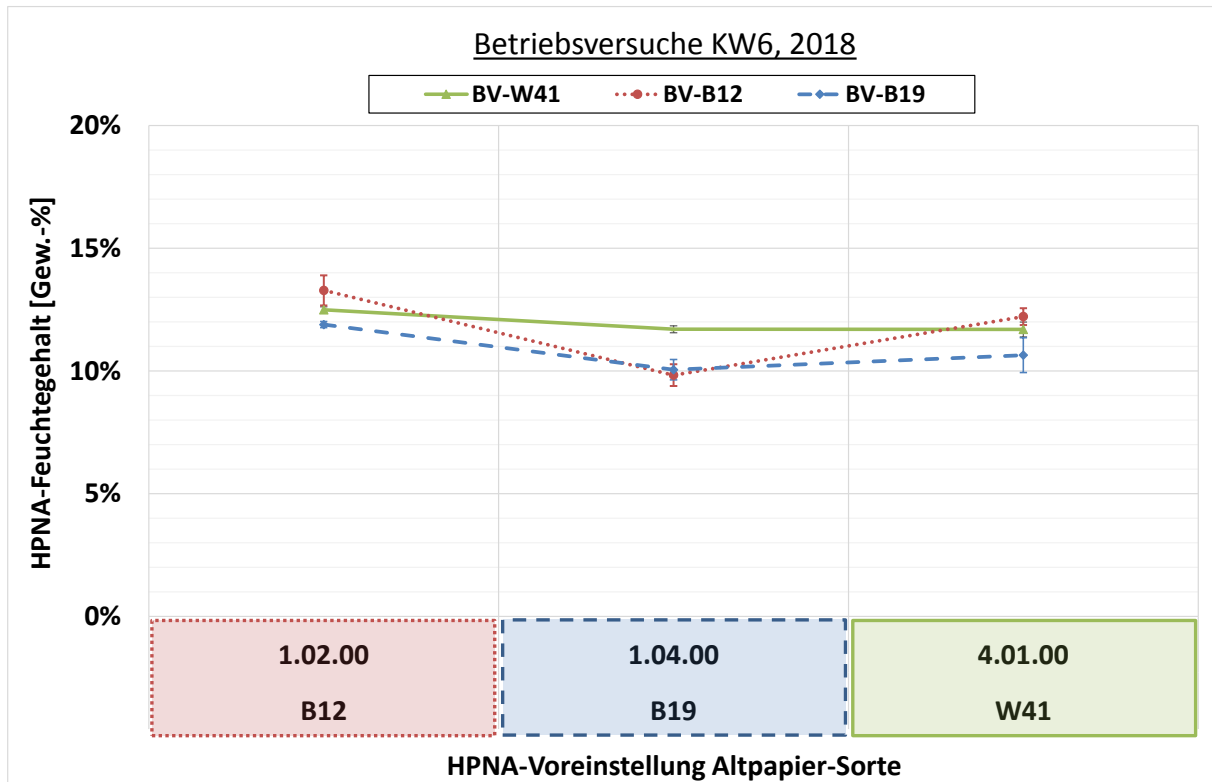


Abbildung 30: Mittelwerte der HPNA-Messungen für die drei Altpapierlieferungen bei verschiedenen Voreinstellungen der Sortenauswahl (Die jeweils passende Farbe der Sortenauswahl [→ Achse] entspricht der korrekten Einstellung für die jeweilige Lieferung [→ Linie]), KW6/2018

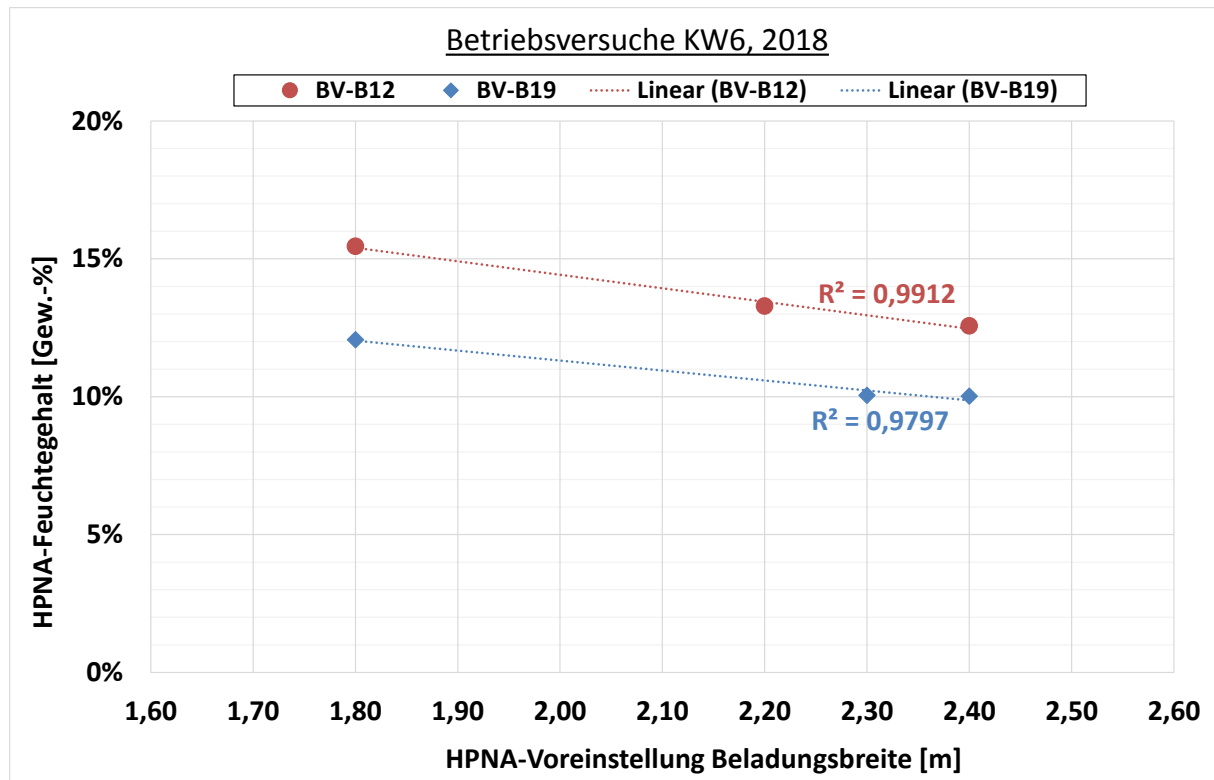


Abbildung 31: Mittelwerte der HPNA-Messungen für zwei Altpapierlieferungen bei verschiedenen Voreinstellungen der Beladungsbreite (Jeweils der mittlere Punkt je Sorte entspricht der korrekten Einstellung.), KW6/2018

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Der Einfluss der korrekten Voreinstellung der Altpapiersorte ist mit Abweichungen von ca. +/- 2-3 % als nicht besonders hoch zu bewerten.
- Dabei treten die größten Schwankungen bei gemischten Altpapier (1.02.00) auf.
- Der Einfluss der Beladungsbreite ist linear und variiert in einem kleinen Bereich von 3 % absolut bei der Altpapiersorte 1.02.00 [BV-B12] bzw. von 2 % absolut bei der Altpapiersorte 1.04.00 [BV-B19].

Vergleich der Feuchtegehalte von HPNA mit Referenzmessungen und anderen Messverfahren (AP500, PBSII, teilweise Ballenöffnung und RDM3P)

Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **emco AP 500**, dem **HPNA Microwave Moisture Analyzer**, dem **PaperBaleSensor PBS II** und der **Referenzmessungen** in den beiden Laboratorien sowie **zwei zusätzlicher Messverfahren** werden folgende Messungen jeweils für die Mittelwertbildung herangezogen:

- **AP 500:** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte von zwei Messungen (je 2 Messungen von einem Bediener) einer Ballenseite. Diese Mittelwerte (bei Sorte 4.01.00: 12 Werte; bei 1.02.00: 16 Werte; bei 1.04.00: 24 Werte) werden gemittelt.
- **HPNA (für Sorte 4.01.00):** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte aus den vier Messwerten eines Messdurchlaufs (Messposition 8 – 11). Insgesamt wurden acht korrekte Messdurchläufe (bei den Wiederholungsversuchen) durchgeführt. Diese acht Mittelwerte werden gemittelt.

- **HPNA (für Sorte 1.02.00):** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte aus den vier Messwerten eines Messdurchlaufs (Messposition 6 – 9). Insgesamt wurden acht korrekte Messdurchläufe (bei den Wiederholungsversuchen) durchgeführt. Diese acht Mittelwerte werden gemittelt.
- **HPNA (für Sorte 1.04.00):** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte aus den vier Messwerten eines Messdurchlaufs (Messposition 8 – 11). Insgesamt wurden zehn korrekte Messdurchläufe (bei den Wiederholungsversuchen) durchgeführt. Diese zehn Mittelwerte werden gemittelt.
- **PBS II:** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte von zwei Messungen (je 2 Messungen von einem Bediener) einer Ballenseite. Diese Mittelwerte (bei Sorte 4.01.00: 12 Werte; bei 1.02.00: 16 Werte; bei 1.04.00: 24 Werte) werden gemittelt.
- **Labor Pitten / PTS Heidenau:** Es werden jeweils die beiden Einzelwerte der Referenzmessungen gemittelt. Die Mittelwerte der Ballenseiten der jeweiligen Sorte werden gemittelt.
- **Ballenöffnung:** Es werden jeweils die Einzelwerte der Ballenöffnung der jeweiligen Sorte gemittelt. (bei Sorte 4.01.00: keine Ballenöffnung durchgeführt; bei 1.02.00: 8 Werte; bei 1.04.00: 12 Werte)
- **RDM3P:** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte von zwei Messungen (je 2 Messungen von einem Bediener) einer Ballenseite. Diese Mittelwerte (bei Sorte 4.01.00: 12 Werte; bei 1.02.00: 16 Werte; bei 1.04.00: keine Messungen durchgeführt) werden gemittelt.

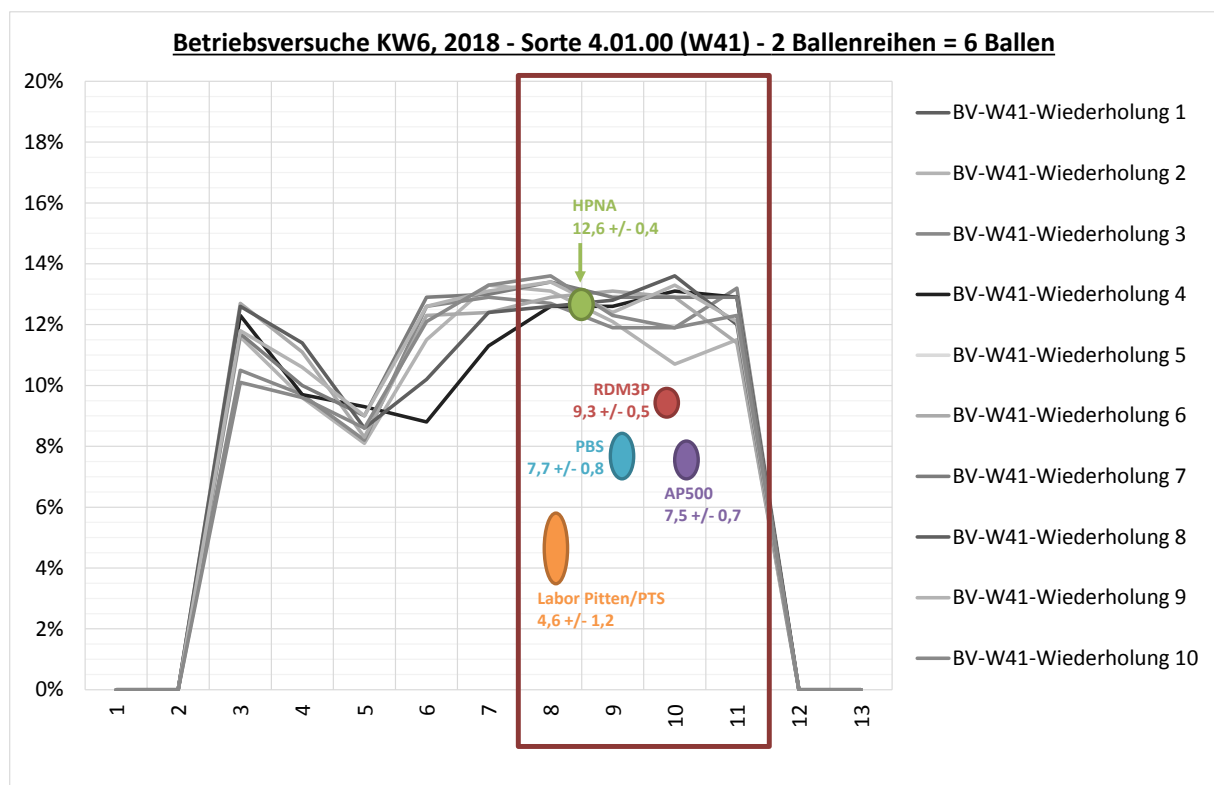


Abbildung 32: Vergleich der mittleren Feuchtegehalte inkl. Standardabweichung der HPNA-Messungen mit allen anderen Messverfahren für den ausgewählten Ballenbereich (roter Rahmen), Altpapiersorte 4.01.00, KW6/2018

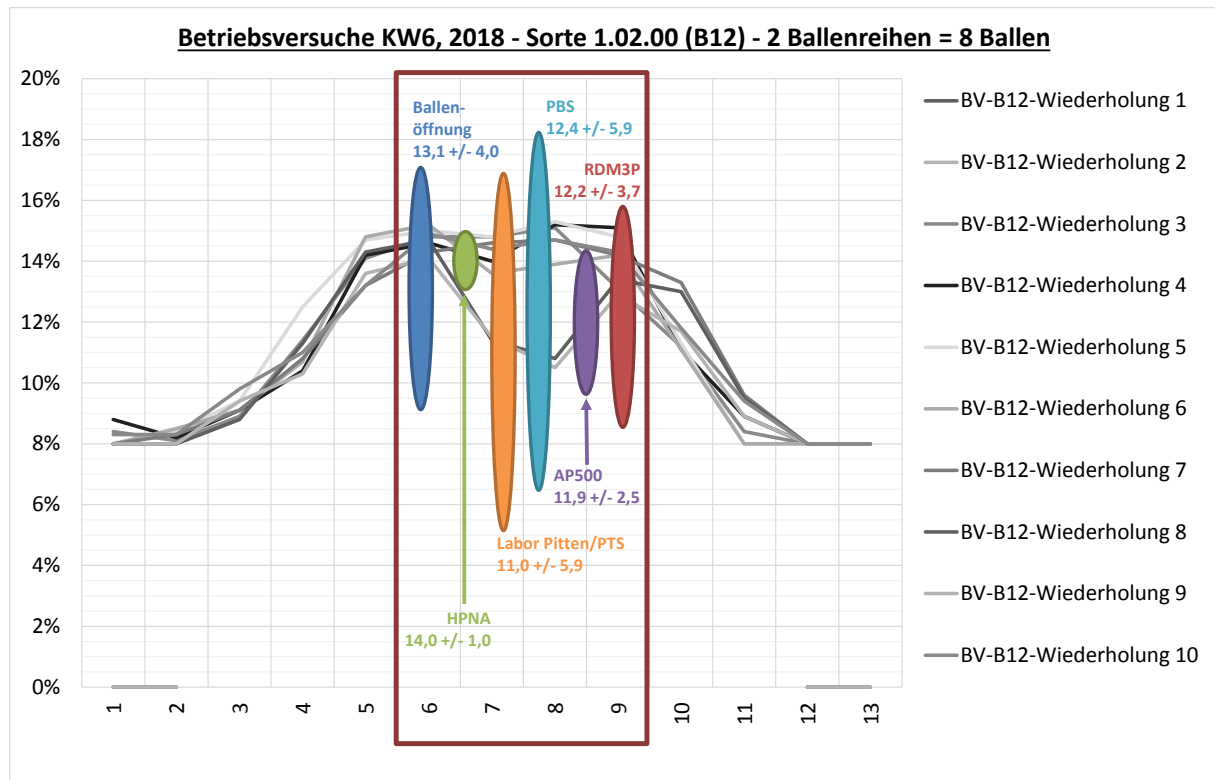


Abbildung 33: Vergleich der mittleren Feuchtegehalte inkl. Standardabweichung der HPNA-Messungen mit allen anderen Messverfahren für den ausgewählten Ballenbereich (roter Rahmen), Altpapiersorte 1.02.00, KW6/2018

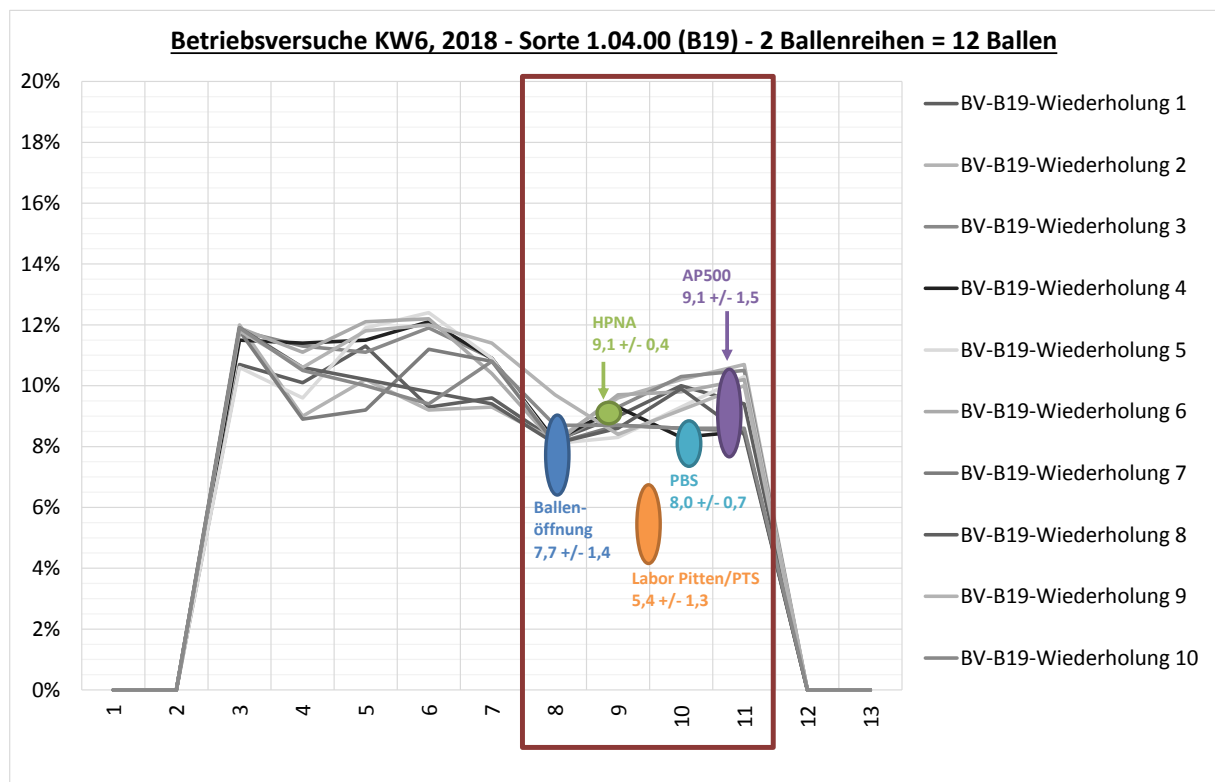


Abbildung 34: Vergleich der mittleren Feuchtegehalte inkl. Standardabweichung der HPNA-Messungen mit allen anderen Messverfahren für den ausgewählten Ballenbereich (roter Rahmen), Altpapiersorte 1.04.00, KW6/2018

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Die Beschreibung und Bewertung der Ergebnisse erfolgt im **Kapitel „Ergebnisse Betriebsversuche – Vergleich der Messgeräte AP 500, HPNA und PBS II sowie Labor“** unter dem **Abschnitt „Messkampagne 2 – KW6/2018“**

5.3.4 Ergebnisse Betriebsversuche – Paper Bale Sensor PBS II

Es wurden standardmäßig insgesamt vier Messungen in vier Bohrlöchern pro Ballen von einem Bediener durchgeführt, jeweils zwei Messungen in zwei Bohrlöchern an der Vorder- und Hinterseite eines Ballens. Die Anzahl der untersuchten Ballen für die jeweilige Bewertung bzgl. der unterschiedlichen Einflussfaktoren auf Reproduzierbarkeit, etc. variiert und wird in den jeweiligen Unterabschnitten benannt.

Einflüsse durch Fehlbedienungen auf Feuchtegehalt – PBSII – Ungleichmäßige Bewegung der Lanze

Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **Paper Bale Sensor PBS II** werden jeweils alle Einzelwerte der vier Messungen eines Ballens (2 Messungen je Ballenseite) herangezogen. In diesem Fall wurden nur die jeweiligen Ballenrückseiten der 12 Ballen der Sorte 1.04.00 und der 8 Ballen der Sorte 1.02.00 untersucht.

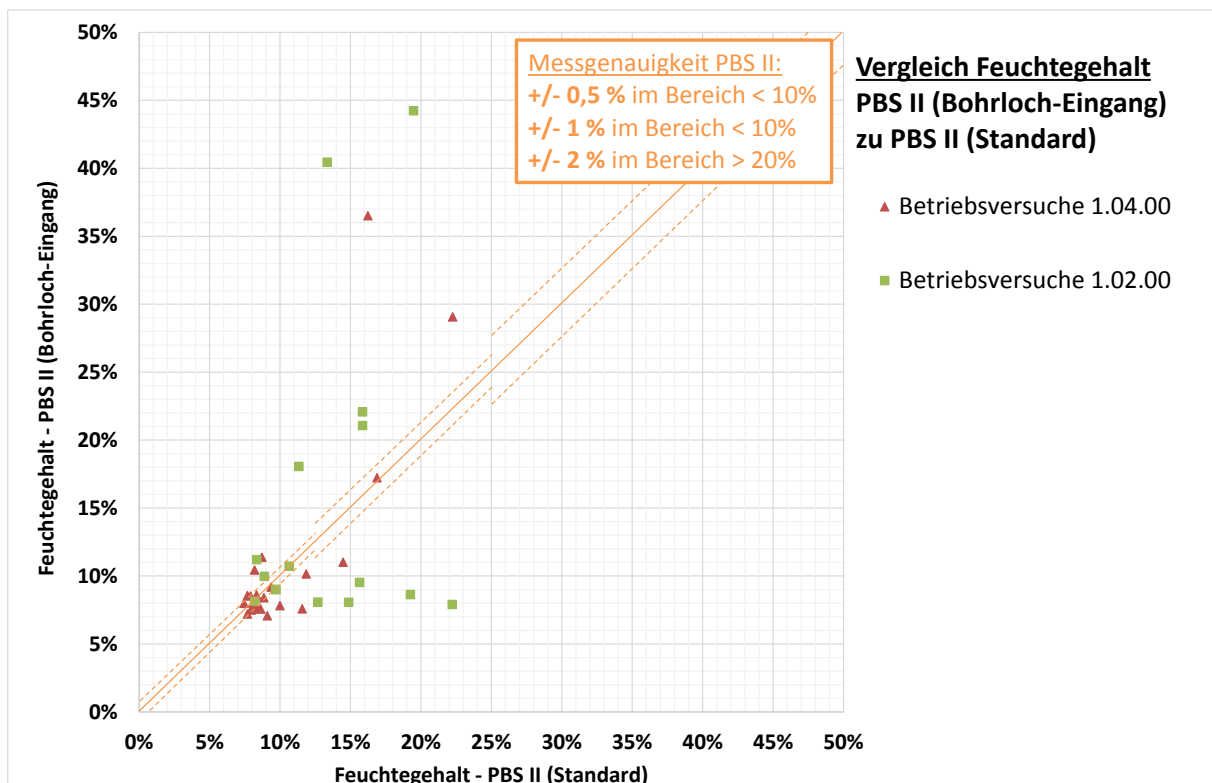


Abbildung 35: Vergleich Feuchtegehalt der PBS II-Messungen bei standardmäßiger Messung und den PBS II-Messungen an den Bohrloch-Eingängen, KW32/2017

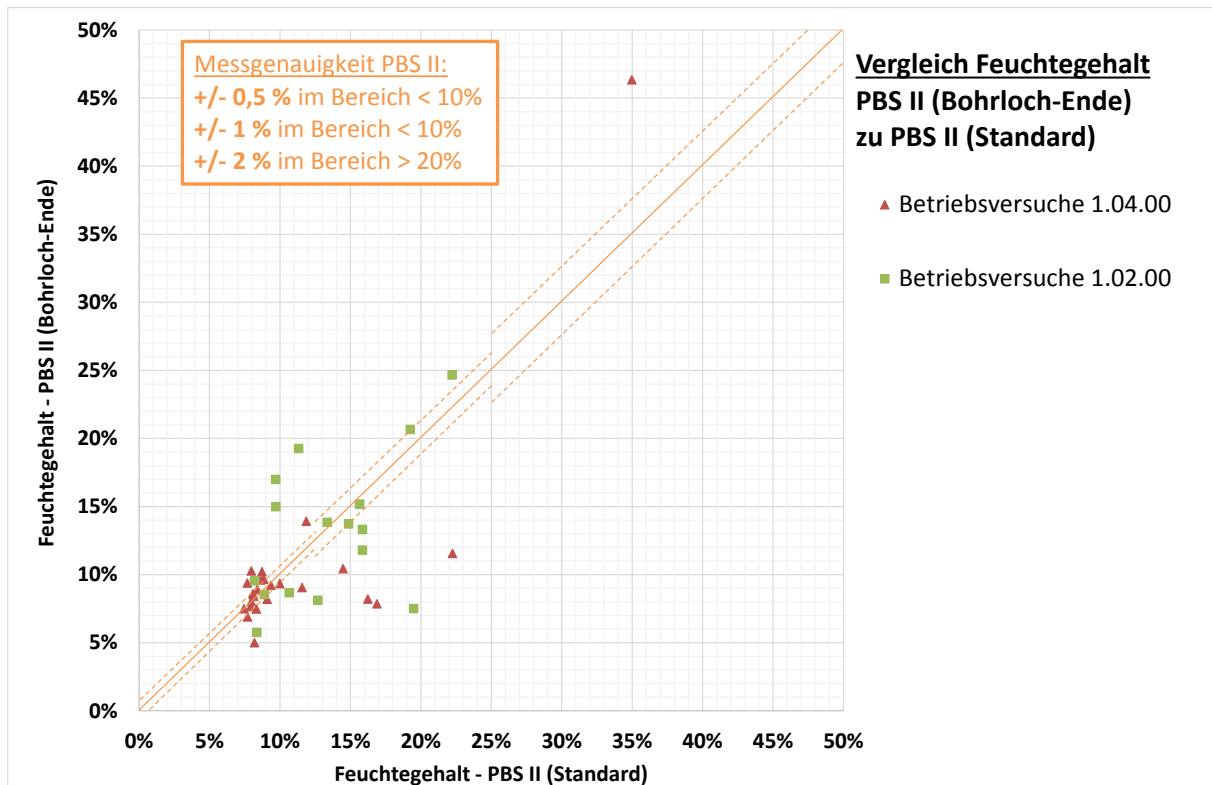


Abbildung 36: Vergleich Feuchtegehalt der PBS II-Messungen bei standardmäßiger Messung und den PBS II-Messungen an den Bohrloch-Enden, KW32/2017

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Der Einfluss einer ungleichmäßigen Bewegung durch bspw. Verweilen des Messortes am Bohrloch-Ende bzw. Bohrloch-Eingangs ist besonders hoch. Dies erklärt sich, dass nur punktuell in vor allem heterogenen Innenwandmesszylindern von Altpapiergemischen die Messungen stattfanden, und so zumeist nur ein Objekt und Messfleck durch die Messung bewertet wurde.
- Bei teilweise homogenen Altpapiersorten, wie bspw. 1.04.00 kann dieser Einfluss geringer ausfallen.

Einflüsse durch Fehlbedienungen auf Feuchtegehalt – PBSII – Wartezeit nach Bohrung

Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **Paper Bale Sensor PBS II** werden alle Einzelwerte der vier Messungen eines Ballens (2 Messungen je Ballenseite) herangezogen. In diesem Fall wurden nur die Ballenvorderseiten der 12 Ballen der Sorte 1.04.00 untersucht.

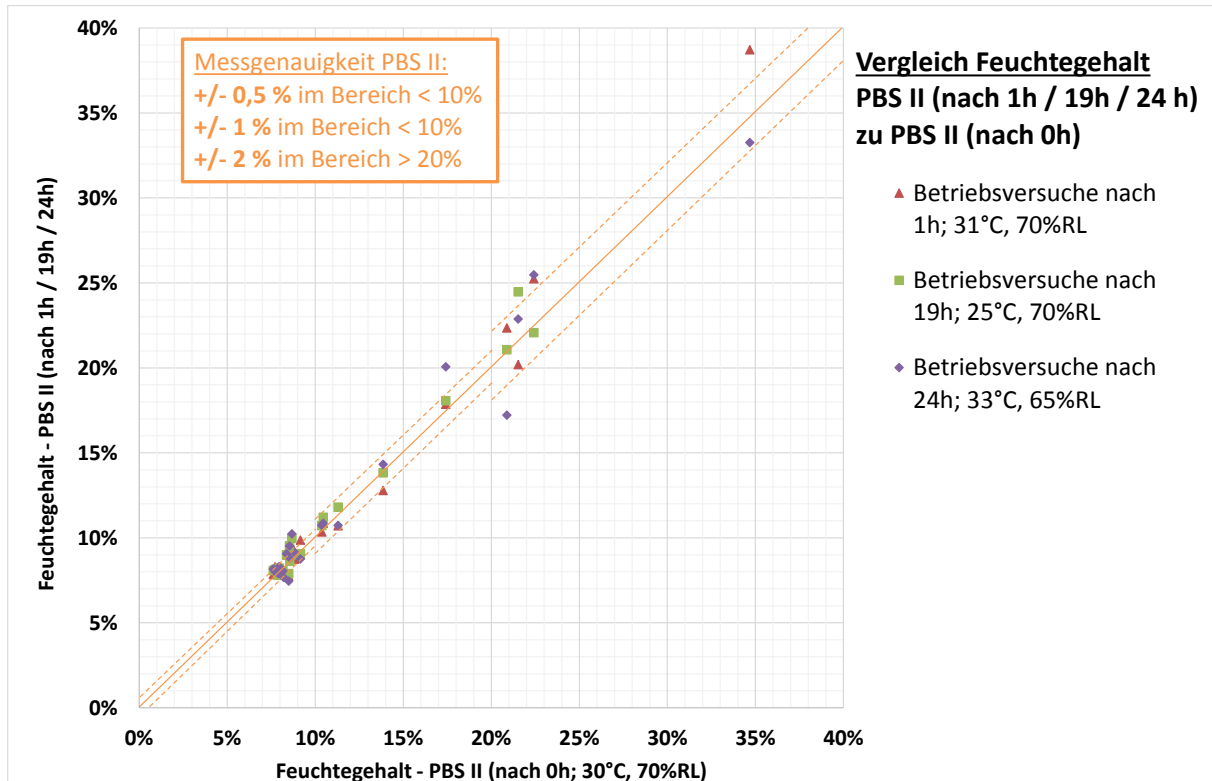


Abbildung 37: Vergleich Feuchtegehalt der PBS II-Messungen zur Anfangszeit 09.08.17, 13:30 und den PBS II-Messungen nach 1 h, 19 h und 24 h, KW32/2017

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Der Einfluss durch eine zu lange Wartezeit nach dem Bohren und damit einer möglichen Trocknung des Bohrlochs zeigt sich als gering.
- Die PBS II-Messungen waren selbst nach deutlich längerer Wartezeit (Vorgabe < 5 min) nach der Bohrung überwiegend reproduzierbar.
- Der Großteil der Messwerte liegt im Bereich der Messgenauigkeit von bis +/- 2%.

Reproduzierbarkeit Feuchtegehalt bei verschiedenen Bedienern

Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **Paper Bale Sensor PBS II** werden jeweils die Einzelwerte der vier Messungen je Ballen (2 Messungen je Ballenseite) herangezogen. In diesem Fall wurden nur die Ballenvorderseiten der 12 Ballen der Sorte 1.04.00 untersucht.

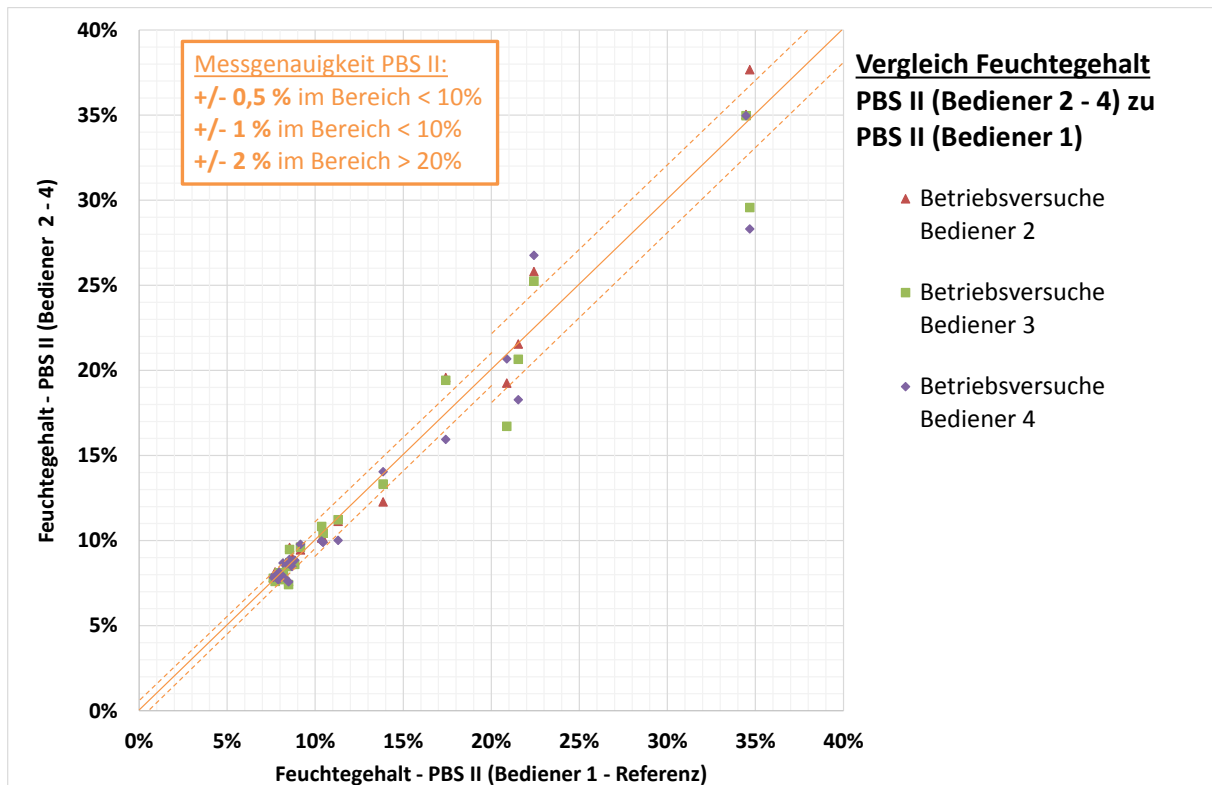


Abbildung 38: Vergleich Feuchtegehalt der PBS II-Messungen von Referenzbediener 1 und den PBS II-Messungen der anderen drei Bediener 2 – 4, KW32/2017

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Die PBS II-Messungen durch verschiedene Bediener sind größtenteils reproduzierbar.
- Der Großteil der Messwerte liegt im Bereich der Messgenauigkeit von bis zu +/- 2%.

Messgenauigkeit Feuchtegehalt (Vergleich mit Referenzmessungen)

Messkampagne 1 – KW32/2017

Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **Paper Bale Sensor PBS II** werden in der Regel jeweils die Mittelwerte aus vier Messungen (zwei Bediener) je einer Ballenseite herangezogen.

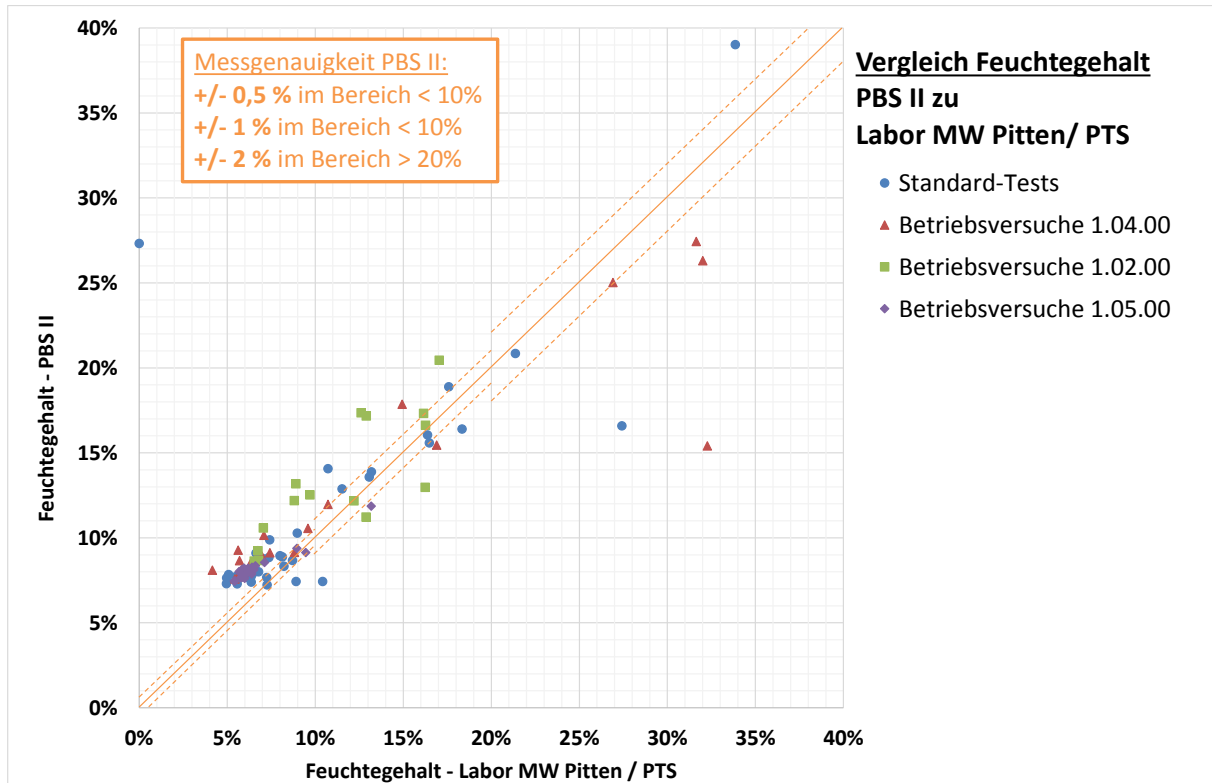


Abbildung 39: Vergleich Feuchtegehalt der Messungen mittels PaperBaleSensor PBS II und den Mittelwerten der Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS, KW32/2017

Messkampagne 2 – KW32/2017

Neben dem Vergleich mit den mittleren Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS Heidenau waren auch Vergleiche mit den Messwerten aus der Ballenöffnungsmethode möglich. Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **Paper Bale Sensor PBS II** werden in der Regel jeweils die Mittelwerte aus zwei Messungen (ein Bediener) je einer Ballenseite bzw. vier Messungen (ein Bediener, zwei Ballenseiten) je Ballen herangezogen.

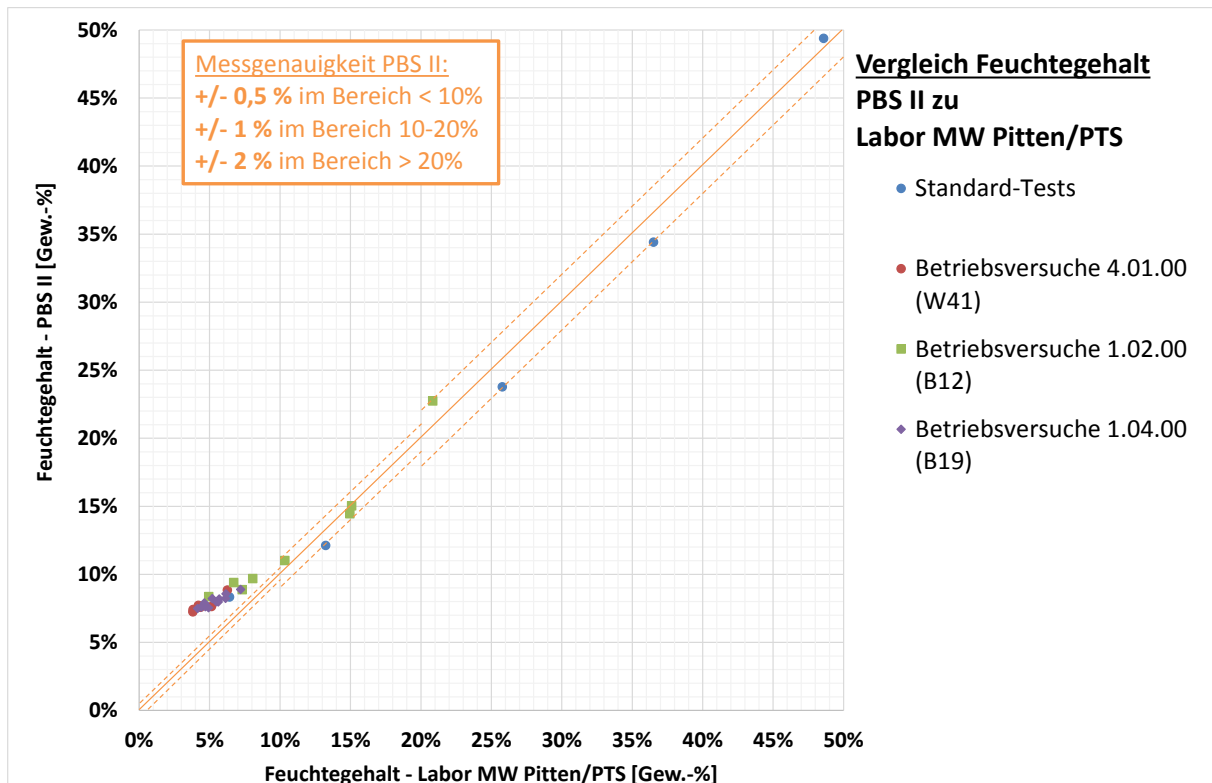


Abbildung 40: Vergleich Feuchtegehalt der Messungen mittels PaperBaleSensor PBS II und den Mittelwerten der Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS, KW6/2018

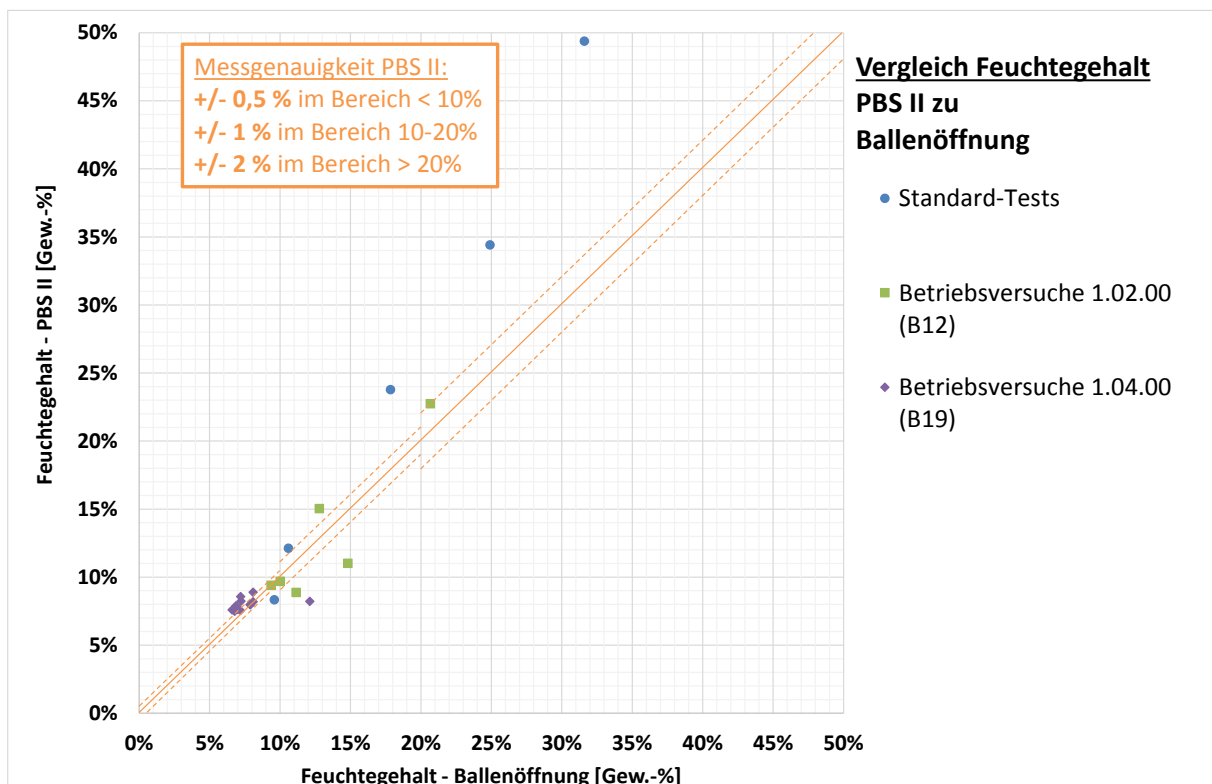


Abbildung 41: Vergleich Feuchtegehalt der Messungen mittels PaperBaleSensor PBS II und den Messwerten der Ballenöffnungsmethode, KW6/2018

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Im Vergleich zu den Referenzmessungen (Ofentrocknung des Bohrgutes) sind die PBS II-Ergebnisse im Rahmen der Messgenauigkeit korrekt.
- Ausnahme: Bei beiden Messkampagnen zeigte sich, dass bei geringen Feuchtegehalten (< 8 %) tendenziell höhere PBS II-Werte als die der Trocknungen ermittelt werden. Dies ergibt sich u.a. auch dadurch, dass die untere Messgrenze von PBS II bei 5 % Feuchte softwareseitig festgelegt ist und somit Ballenbestandteile mit weniger als 5 % Feuchte auf diesen Wert angepasst werden.
- Beim Vergleich mit den Messwerten aus der Ballenöffnungsmethode zeigen sich ebenfalls gute Übereinstimmungen. Ausnahme war die bereits bei den Standard-Tests erwähnte Lieferung mit vereisten Ballen. Bei dieser wurden deutlich erkennbare Eisstücke beim Probeziehen nicht mit berücksichtigt, so dass diese Messwerte in diesem Fall auffällig niedriger waren.

5.3.5 Ergebnisse Betriebsversuche – Referenzmessungen

Messkampagne 1 – KW32/2017

Für den Vergleich der Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS Heidenau untereinander wurden jeweils die Einzelmessungen der einzelnen Bohrkernproben mit einander verglichen.

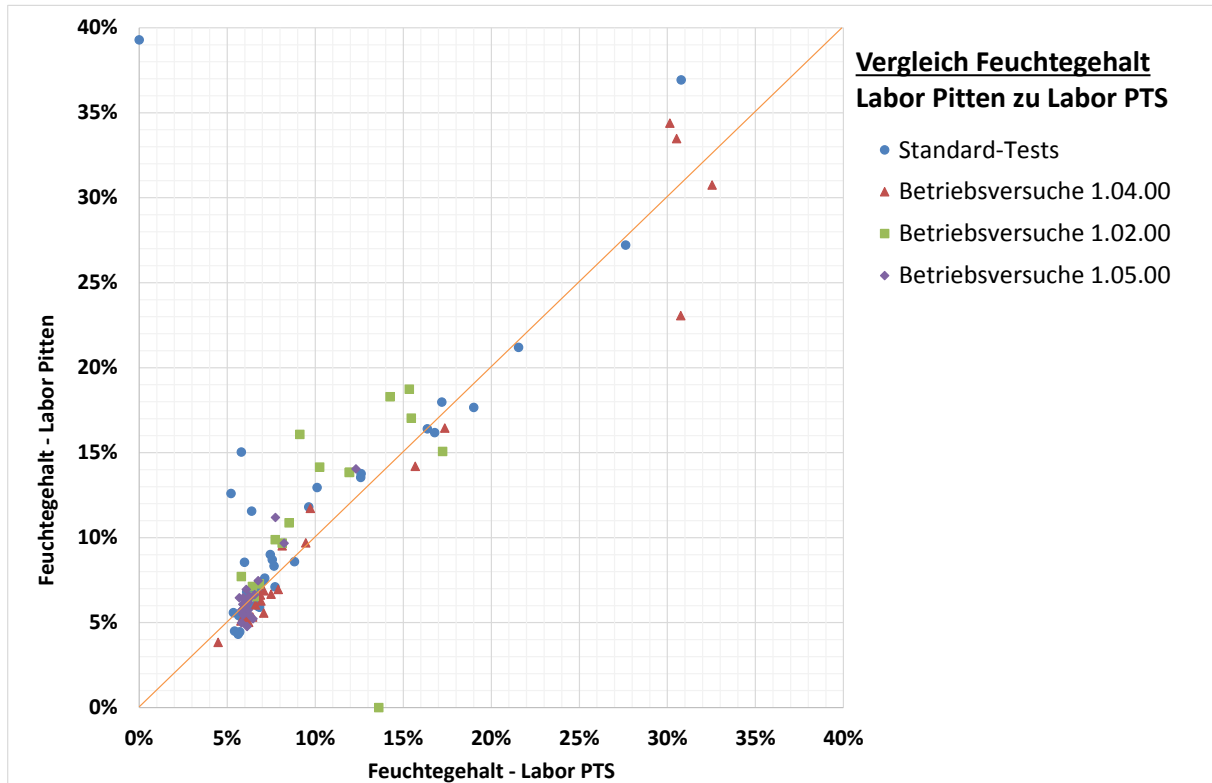


Abbildung 42: Vergleich Feuchtegehalt der Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS Heidenau, KW32/2017

Messkampagne 2 – KW32/2017

Neben dem Vergleich der Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS Heidenau untereinander waren auch Vergleiche der Labor-Mittelwerte mit den Messwerten aus der Ballenöffnungsmethode möglich.

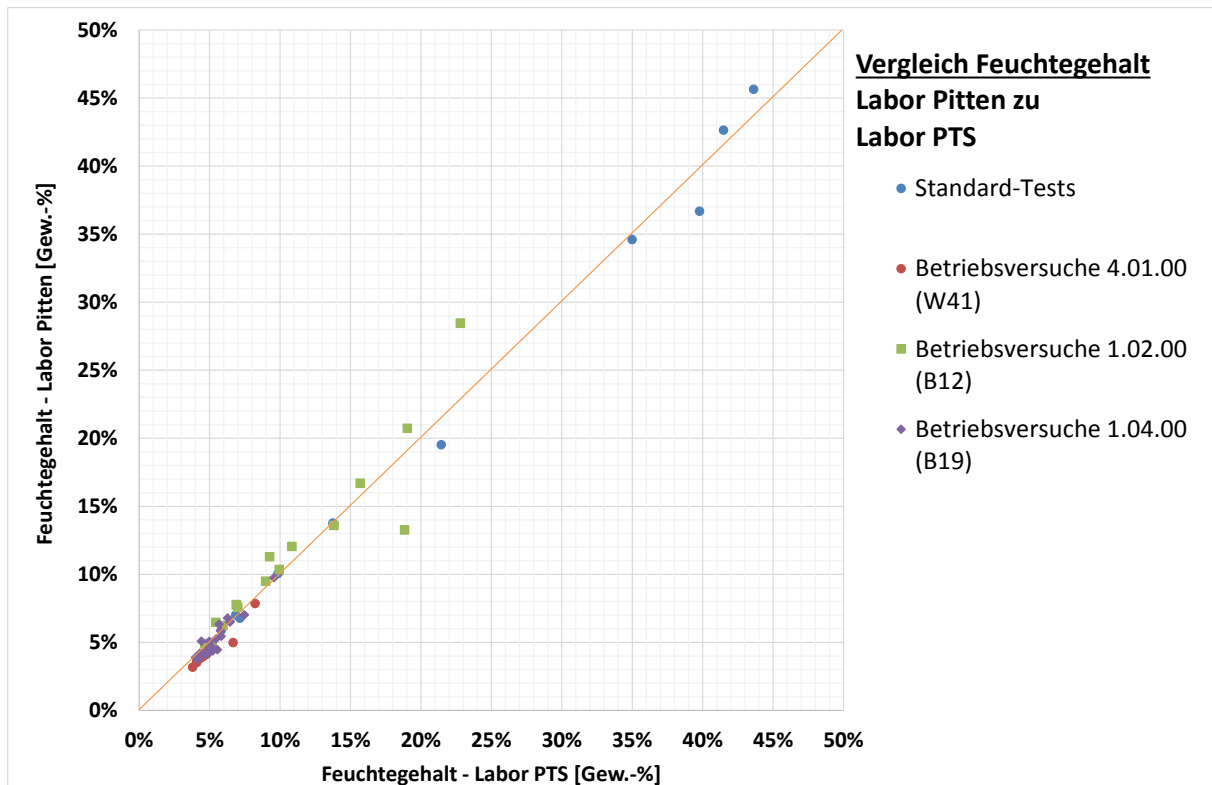


Abbildung 43: Vergleich Feuchtegehalt der Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS Heidenau, KW6/2018

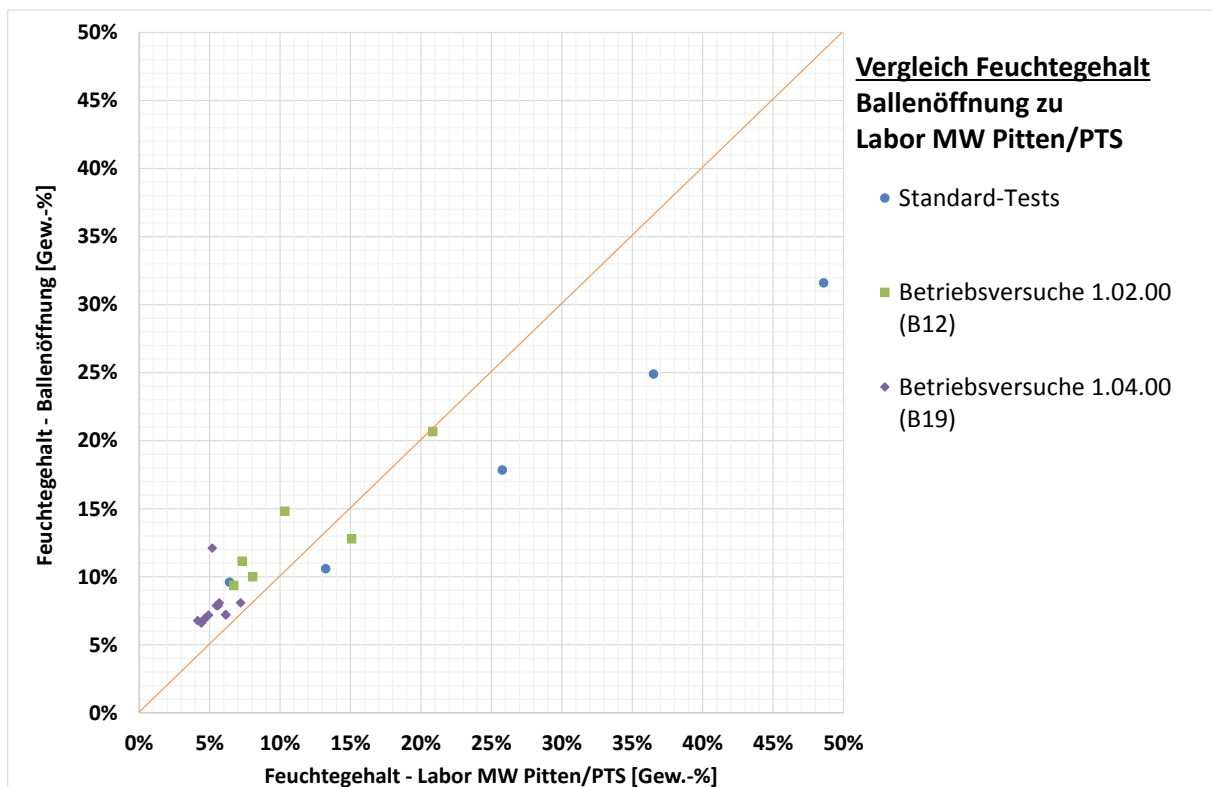


Abbildung 44: Vergleich Feuchtegehalt der gemittelten Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS Heidenau mit den Messungen der Ballenöffnungen, KW6/2018

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Zwischen den beiden Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS Heidenau der ersten Messkampagne (KW32/2017) sind teilweise deutlich Abweichungen zu verzeichnen, dies kann u.a. an einer nicht repräsentativ entnommenen Teilmenge für die Bestimmung in Pitten liegen als auch an dem teilweise sehr heterogen Altpapierqualitäten (besonders Sorte 1.02.00 und Teile von 1.04.00)
- Im Vergleich dazu sind die Abweichungen bei den beiden Referenzmessungen von Labor Pitten und Labor PTS Heidenau der zweiten Messkampagne (KW6/2018) deutlich geringer.
- Für die weiteren Vergleiche mit den Messverfahren wurden jeweils die beiden Referenzmessungen gemittelt.
- Beim Vergleich der gemittelten Referenzmessungen mit den Messwerten der Ballenöffnung zeigen sich bei den Altpapiersorten 1.02.00 und 1.04.00 vor allem Abweichungen zu tendenziell höheren Ballenöffnungswerten, dies könnte u.a. daran liegen, das vor allem Bohrkernproben mit niedrigen Feuchtegehalten (< 10 %) tendenziell während des Bohrvorgangs „getrocknet“ werden. Die Abweichungen liegen dort bei 2-3%.

5.3.6 Ergebnisse Betriebsversuche – Vergleich der Messgeräte AP 500 und PBS II

Messkampagne 1 – KW32/2017

Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **emco AP 500** und dem **PaperBaleSensor PBS II** werden folgende Messungen jeweils für die Mittelwertbildung herangezogen:

- **AP 500:** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte von acht Messungen (je 2 Messungen von 4 Bedienern) einer Ballenseite.
- **PBS II:** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte von vier Messungen (je 2 Messungen von 2 Bedienern) einer Ballenseite.

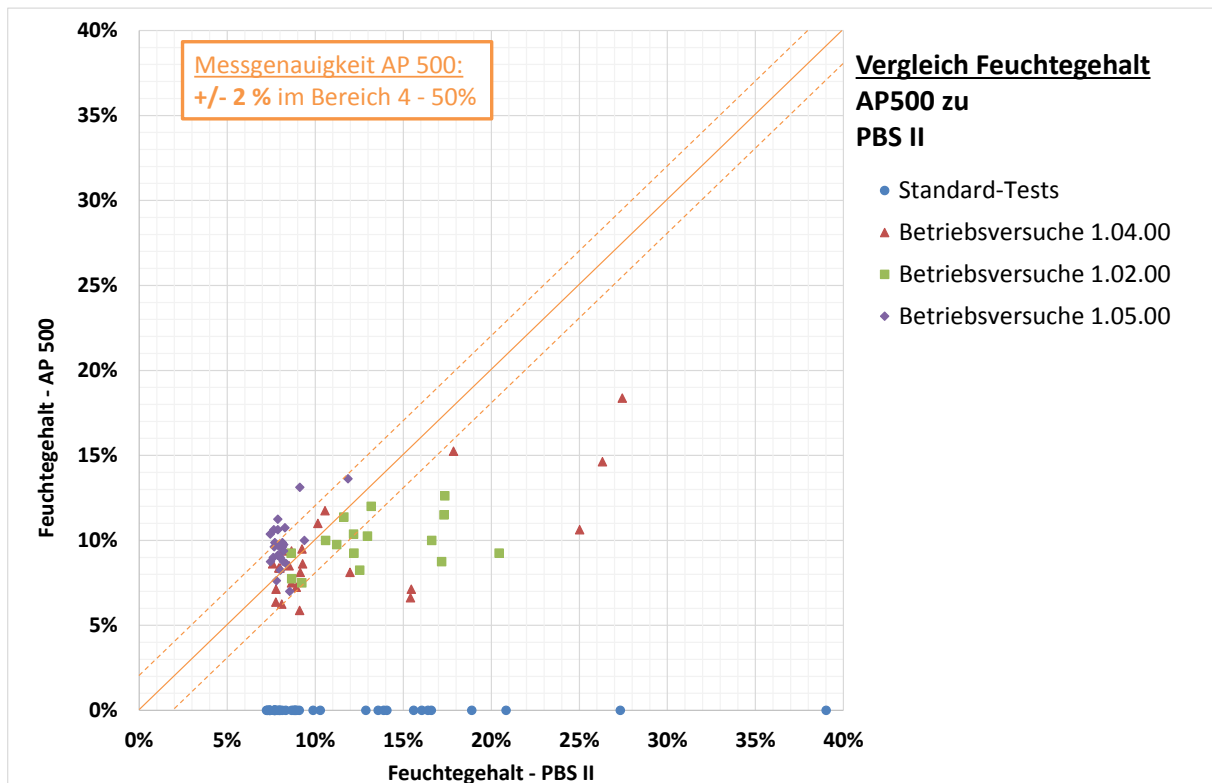


Abbildung 45: Vergleich Feuchtegehalt der Messungen mittels emco AP 500 und PaperBaleSensor PBS II, KW32/2017

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Beim Vergleich der AP 500-Messungen mit den PSB II-Messungen gibt es deutliche Abweichungen.
- Bei der Sorte 1.05.00 werden gehäuft höhere Feuchtegehalte vom AP 500 ausgegeben als vom PBS II. Dies lässt auf eine durch Witterung bedingte erhöhte Feuchte an der Ballenoberfläche schließen.
- Bei den Sorten 1.02.00 und 1.04.00 werden teilweise sehr deutlich zu niedrige Feuchtegehalte vom AP 500 angezeigt. Dies lässt vermuten, dass diese Ballen besonders im Inneren Feuchte enthalten, welche außerhalb des AP 500-Messfelds liegt.

5.3.7 Ergebnisse Betriebsversuche – Vergleich der Messgeräte AP 500, HPNA und PBS II sowie Labor

Messkampagne 1 – KW32/2017

Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **emco AP 500**, dem **HPNA Microwave Moisture Analyzer**, dem **PaperBaleSensor PBS II** und der **Referenzmessungen** in den beiden Laboratorien werden folgende Messungen jeweils für die Mittelwertbildung herangezogen:

- **AP 500:** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte von acht Messungen (je 2 Messungen von 4 Bedienern) einer Ballenseite. Diese Mittelwerte (bei Sorte 1.04.00 und 1.05.00: 24 Werte; bei 1.02.00: 16 Werte) werden gemittelt.
- **HPNA (für Sorte 1.04):** Grundlage sind die Mittelwerte aus den vier korrekten Messungen eines Messdurchlaufs (Messposition 1 – 4). Insgesamt wurden an drei Tagen jeweils zwei korrekte Messdurchläufe durchgeführt. Diese sechs Mittelwerte werden gemittelt.
- **HPNA (für Sorte 1.02):** Grundlage sind die Mittelwerte aus den fünf korrekten Messungen eines Messdurchlaufs (Messposition 5 – 9). Insgesamt wurden an drei Tagen jeweils zwei korrekte Messdurchläufe durchgeführt. Diese sechs Mittelwerte werden gemittelt.
- **HPNA (für Sorte 1.05):** Grundlage sind die Mittelwerte aus den vier korrekten Messungen eines Messdurchlaufs (Messposition 10 – 13). Insgesamt wurden an drei Tagen jeweils zwei korrekte Messdurchläufe durchgeführt. Diese sechs Mittelwerte werden gemittelt.
- **PBS II:** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte von vier Messungen (je 2 Messungen von 2 Bedienern) einer Ballenseite. Diese Mittelwerte (bei Sorte 1.04.00 und 1.05.00: 24 Werte; bei 1.02.00: 16 Werte) werden gemittelt.
- **Labor Pitten / PTS Heidenau:** Es werden jeweils die beiden Einzelwerte der Referenzmessungen gemittelt. Die Mittelwerte der Ballen der jeweiligen Sorte werden gemittelt.

Auf Grund einer fehlerhaften Kalibrierung des HPNA und damit einhergehender Falschmessungen (zur Zeit der Untersuchungen in KW32, 2017) werden die Messwerte des HPNA nicht beschrieben und bewertet.

	Sorte B19 (1.04.00)	Sorte B12 (1.02.00)	Sorte B19+ (1.05.00)
Feuchte [%]	1.04.00	1.02.00	1.05.00
HPNA	20,0 (+/- 3,1)	22,0 (+/- 3,1)	18,1 (+/- 3,1)
AP500	9,3 (+/- 3,1)	9,9 (+/- 1,5)	9,8 (+/- 1,5)
PBS	12,0 (+/- 6,1)	13,2 (+/- 3,5)	8,2 (+/- 0,9)
Labor MW Pitten / PTS	11,5 (+/- 9,3)	11,4 (+/- 3,9)	6,6 (+/- 1,7)

Abbildung 46: Mittelwerte und Standardabweichung der verschiedenen Messgeräte für die drei Altpapiersortenabschnitte im Vergleich (KW32/2017)

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

- Die jeweiligen Ballen der drei verschiedenen Altpapiersorten waren im Mittel unterschiedlich feucht. Nach den Referenzmessungen zu urteilen, gab es die größten Schwankungen bei der Sorte 1.04.00 gefolgt von der Sorte 1.02.00, die Sorte 1.05.00 war dagegen verhältnismäßig homogen und sehr trocken.
- Beim Vergleich mit den beiden Messgeräten AP 500 und PBS II sind vor allem Abweichungen bei der Sorte 1.02.00 feststellbar, wobei das AP 500 vor allem niedrigere Werte ausgab, das PBS II dagegen meist höhere Werte. Bei den anderen beiden Sorten ist ebenfalls eine höhere Abweichung beim AP 500 festzustellen.
- Zum einem ist dies auf den direkten Bezug der PBS-Messungen mit den Bohrkernproben zurückzuführen, zum anderen zeigt sich auch, dass das AP 500 bei feuchten Balleninnere zu geringe Werte anzeigt.
- Auf Grund der Wetterbedingungen während der ersten Kampagne, ist davon auszugehen, dass die Ballenaußenseiten in der Regel trocken waren, was das AP 500 tendenziell bestätigte.

Messkampagne 2 – KW6/2018

Für die nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungen mit dem **emco AP 500**, dem **HPNA Microwave Moisture Analyzer**, dem **PaperBaleSensor PBS II** und der **Referenzmessungen** in den beiden Laboratorien sowie **zwei zusätzlicher Messverfahren** werden folgende Messungen jeweils für die Mittelwertbildung herangezogen:

- **AP 500:** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte von zwei Messungen (je 2 Messungen von einem Bediener) einer Ballenseite. Diese Mittelwerte (bei Sorte 4.01.00: 12 Werte; bei 1.02.00: 16 Werte; bei 1.04.00: 24 Werte) werden gemittelt.
- **HPNA (für Sorte 4.01.00):** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte aus den vier Messwerten eines Messdurchlaufs (Messposition 8 – 11). Insgesamt wurden acht korrekte Messdurchläufe (bei den Wiederholungsversuchen) durchgeführt. Diese acht Mittelwerte werden gemittelt.
- **HPNA (für Sorte 1.02.00):** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte aus den vier Messwerten eines Messdurchlaufs (Messposition 6 – 9). Insgesamt wurden acht korrekte Messdurchläufe (bei den Wiederholungsversuchen) durchgeführt. Diese acht Mittelwerte werden gemittelt.
- **HPNA (für Sorte 1.04.00):** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte aus den vier Messwerten eines Messdurchlaufs (Messposition 8 – 11). Insgesamt wurden zehn korrekte Messdurchläufe (bei den Wiederholungsversuchen) durchgeführt. Diese zehn Mittelwerte werden gemittelt.
- **PBS II:** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte von zwei Messungen (je 2 Messungen von einem Bediener) einer Ballenseite. Diese Mittelwerte (bei Sorte 4.01.00: 12 Werte; bei 1.02.00: 16 Werte; bei 1.04.00: 24 Werte) werden gemittelt.
- **Labor Pitten / PTS Heidenau:** Es werden jeweils die beiden Einzelwerte der Referenzmessungen gemittelt. Die Mittelwerte der Ballenseiten der jeweiligen Sorte werden gemittelt.
- **Ballenöffnung:** Es werden jeweils die Einzelwerte der Ballenöffnung der jeweiligen Sorte gemittelt. (bei Sorte 4.01.00: keine Ballenöffnung durchgeführt; bei 1.02.00: 8 Werte; bei 1.04.00: 12 Werte)

- **RDM3P:** Grundlage sind jeweils die Mittelwerte von zwei Messungen (je 2 Messungen von einem Bediener) einer Ballenseite. Diese Mittelwerte (bei Sorte 4.01.00: 12 Werte; bei 1.02.00: 16 Werte; bei 1.04.00: keine Messungen durchgeführt) werden gemittelt.



Feuchte [%]	4.01.00 (W41)	1.02.00 (B12)	1.04.00 (B19)
HPNA	12,6 (+/- 0,4)	14,0 (+/- 1,0)	9,1 (+/- 0,4)
AP500	7,5 (+/- 0,7)	11,9 (+/- 2,5)	9,1 (+/- 1,5)
PBS	7,7 (+/- 0,8)	12,4 (+/- 5,9)	8,0 (+/- 0,7)
RDM3P	9,3 (+/- 0,5)	12,2 (+/- 3,7)	-
Ballen- öffnung	-	13,1 (+/- 4,0)	7,7 (+/- 1,4)
Labor Pitten / PTS	4,6 (+/- 1,2)	11,0 (+/- 5,9)	5,4 (+/- 1,3)

Abbildung 47: Mittelwerte und Standardabweichung der verschiedenen Messgeräte für die drei Altpapiersorten im Vergleich (KW6/2018)

Ergebnisbeschreibung und -bewertung

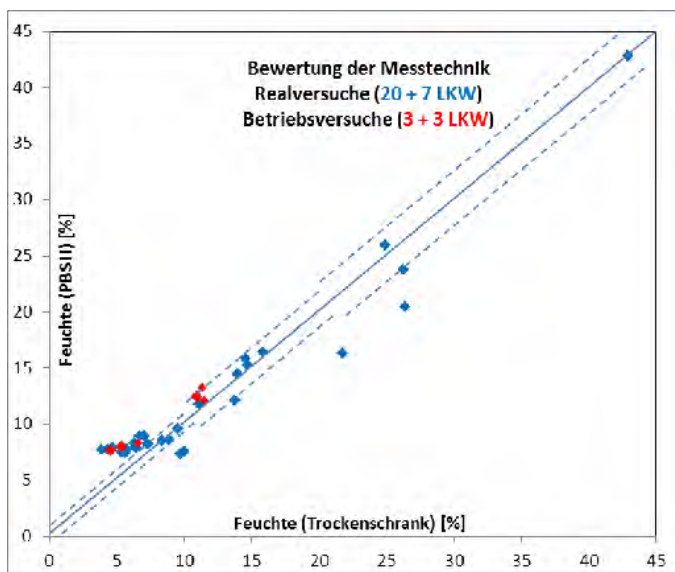
- Bei der trockenen Lieferung 1.04.00 zeigen alle Messverfahren eine gute Übereinstimmung.
- Bei der etwas feuchteren Lieferung 1.02.00 zeigen alle Messverfahren ebenfalls eine gute Übereinstimmung.
- Bei der trockenen Lieferung 4.01.00 fällt auf, dass das HPNA-System deutlich höhere Werte ausgibt als alle anderen Verfahren. Das ist vor allem fragwürdig, da diese Altpapiersorte in der Regel aus Verarbeitungsabfällen der Wellpappenherstellung bestehen und diese Späne tendenziell eher trocken sind. Der optische Eindruck bestätigte dies, so dass hier die HPNA-Messwerte anzweifelbar scheinen.
- Die Tendenz, dass die Bohrkernproben zusätzlich einen kleinen Teil an Feuchtigkeit in Folge der Bohrung zu verlieren scheinen, zeigt sich bei allen drei Altpapiersorten.

6 Zusammenfassung

6.1 Bewertung der Messtechnik im direkten Vergleich

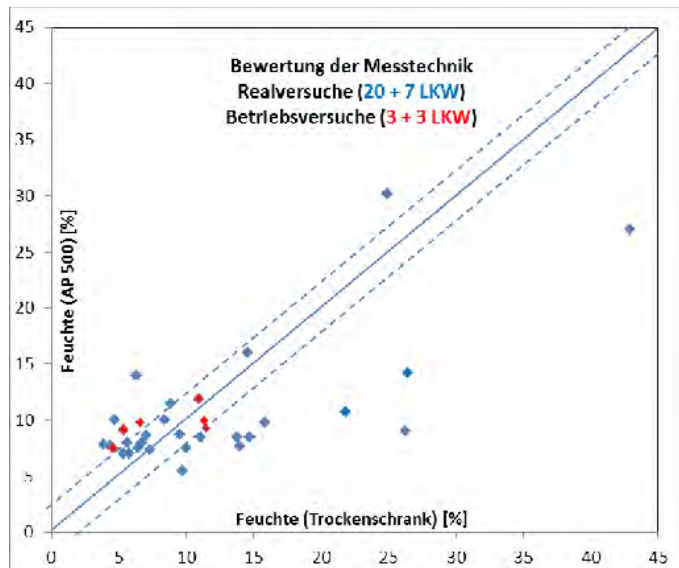
In diesem Kapitel wird die Messtechnik im quasi-direkten Vergleich untersucht. Dabei ist der Bezug in jedem Fall die gleiche Ballenreihe und -lage. Die angestellten Vergleiche beziehen sich dennoch in keinem Fall ideal auf dasselbe Probenvolumen. Beste Übereinstimmung sollte demnach die PBS II-Messung und die Trocknungsmethode haben, da beide annähernd dasselbe Probenvolumen bewerten. Das AP 500 bewertet zwar eine ähnliche Fläche der Ballenaußenseite, hat aber nur eine eingeschränkte Tiefeninformation. Das HPNA hat im Gegensatz dazu sowohl eine größere Messfläche an der Ballenaußenseite und eine vollständige Tiefeninformation.

Standardmäßig wurde die Trocknung als Referenz auf der x-Achse abgebildet. Die Messungen aller Einzelwerte an der Messposition wurden - soweit möglich - gemittelt. Es sind somit in allen Diagrammen 27 Punkte der Standardversuche und 6 Punkte der Betriebsversuche zu sehen.



Der Vergleich der Feuchtebestimmung zwischen PBS II und Trocknung des Bohrkerns lieferte erwartungsgemäß die beste Übereinstimmung. Die Punkte liegen überwiegend nahe der 45°-Linie. Um unteren Wertebereich werden die Ballen tendenziell feuchter bewertet. Darüber hinaus sind nur 2 echte Ausreißer zu verzeichnen. Dies sind die LKW 4 und 12 der ersten Kampagne. In beiden Fällen wurden 4 Bohrungen ausgeführt und die Proben zu 2 Mischproben vereinigt. Beide jeweiligen Mischproben wiesen im Trockenschrank deutliche Unterschiede in der Feuchte auf. Dagegen zeigen die PBS II

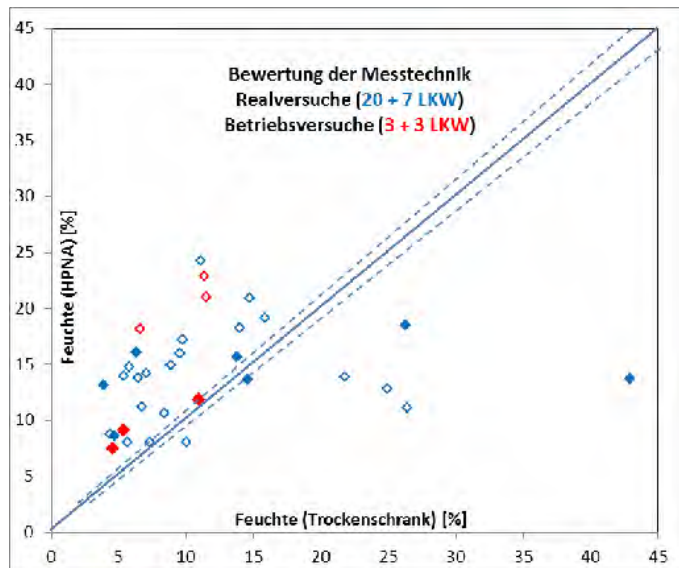
Messungen für die entsprechenden Bohrlöcher nahezu gleiche Ergebnisse. Die Trockengehalte wurden in PTS verifiziert. Einfachste Erklärung für die Abweichung wäre, dass die Bohrungen ordnungsgemäß erfolgten, die PBS II-Messungen aber durch Versehen nur in je 2 der insgesamt 4 Bohrlöcher erfolgen. Gegen diese Annahme spricht, dass beide LKW auch mittels AP 500 und HPNA als z.T. noch deutlichere Ausreißer auffällig werden (in den folgenden Abbildungen zu erkennen), was insgesamt eher auf Fehler in der Probennahme hindeutet, z.B. das nicht vollständige Auffangen des Bohrgutes.



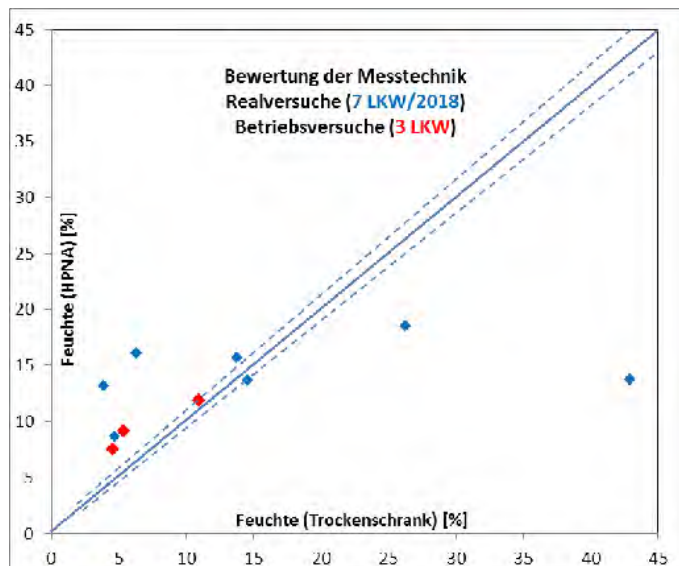
Die Gegenüberstellung von AP 500-Werten und Trockenschrankmethode erscheint nicht ideal zu verlaufen. Mit einem R^2 nur geringfügig über 50 % ist die Aussagekraft der AP 500-Messungen aber gering. Es werden für die Standardversuche (Realversuche) hier aber zwei Stichprobenmethoden verglichen, die sich auf unterschiedliche - wenn auch räumlich teilweise überlagernde - Probenvolumina beziehen.

Für die 27 Standardversuche ist zu erkennen, dass viele der deutlich feuchten Ballen nicht als solche erkannt wurden. So sind nur 2 der insgesamt 5 deutlich feuchten Ballenbereiche identifiziert worden. Dies kann insgesamt mit der bekanntermaßen geringen effektiven Eindringtiefe von nur ca. 10 cm erklärt werden.

Im Falle des 6 Betriebsversuche, die wesentlich besser beprobt sind, liefert das AP 500 im Rahmen der angegebenen Messgenauigkeit korrekte Ergebnisse. Auch hier lässt sich eine Untergrenze der Messwerte bei ca. 7 % erkennen, obwohl die Ofentrocknungen geringere Werte liefern.



Die Gegenüberstellung von Trockenschrank und HPNA-Messungen zeigt für alle 33 untersuchten Lieferungen das nebenstehende Bild, wobei die Ergebnisse der ersten Kampagne durchsichtig gestaltet sind. Vor allem wegen der 3 Betriebsversuche dieser ersten Kampagne, die trotz hinreichender messtechnischer Absicherung und Probennahme ca. 10 % (abs.) zu hohe Werte zeigten, erfolge die Soft- und Hardwareanpassung durch den Hersteller der HPNA.

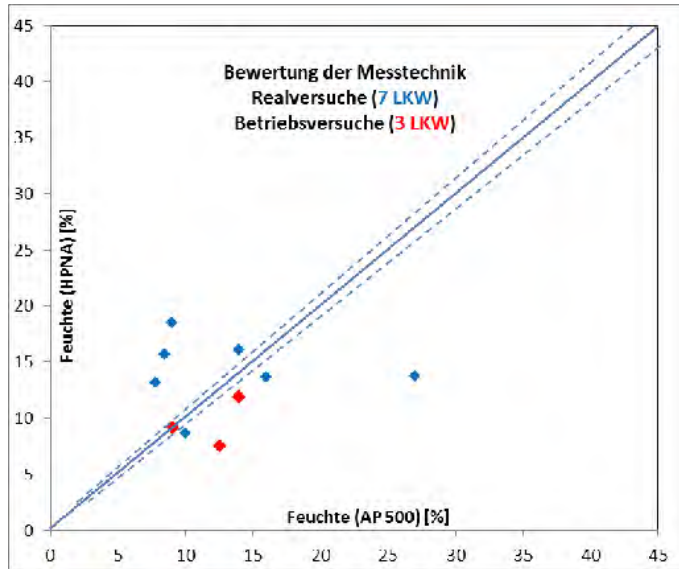


Betrachtet man nur die Ergebnisse der zweiten Kampagne ergibt sich ein Bild mit einem R^2 von ca. 10 %.

Für die 3 Betriebsversuche ist festzustellen, dass Einer im Rahmen der sehr engen Grenzen der angegebenen Messgenauigkeit korrekt bewertet wurde. Für die beiden Anderen führt die harte Untergrenze des HPNA-Systems bei 8 % zu den Abweichungen in der Abbildung. Alle drei Betriebsversuche können somit als korrekt bewertet angesehen werden.

Allein für 6 der 7 Standardversuche ergibt sich eine Darstellung, in der im Vergleich

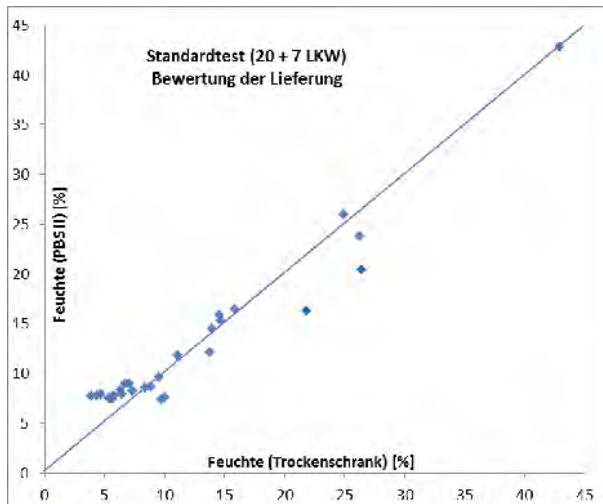
zu den immerhin 4 bis 6 Bohrungen zur Probennahme für die Ofentrocknung in einem Wertebereich von 4 bis 43 nahezu konstant ein Wert von 15 % Feuchte durch das HPNA zugeordnet wird. Nicht nur die durchgängig nasse/gefrorene Lieferung wurde als solche erkannt, auch der LKW Nr. 1 mit einer sauberen und bezüglich PBSII, AP500 und Ofentrocknung nur max. 8 % Feuchten Ladung wurde 5 % (abs.) zu feucht durch das HPNA bewertet.



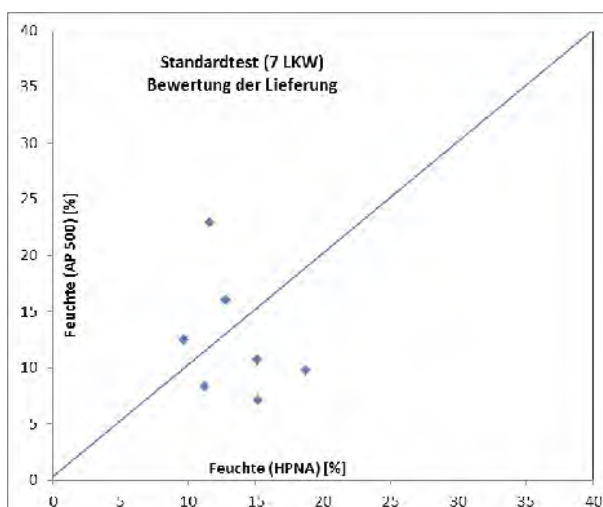
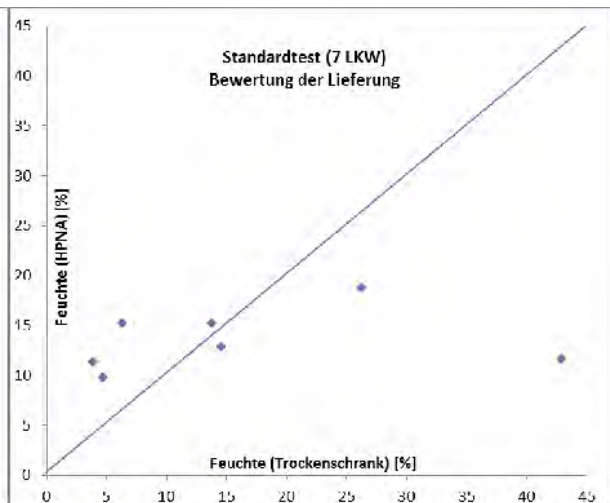
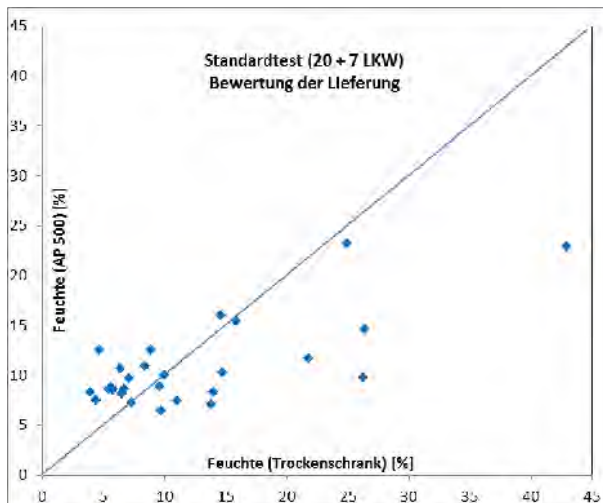
Der Vollständigkeit halber sei hier die Gegenüberstellung von HPNA- und AP 500-Ergebnissen dargestellt. Auch hier ist keine Korrelation der Ergebnisse zu erkennen.

6.2 Bewertung der Messtechnik für die gesamte Lieferung

Die vorgesehene Bewertung der Messverfahren bezüglich der kompletten Lieferung wird im Folgenden zwar graphisch dargestellt, läuft aber in ihrer Aussagekraft ins Leere, da die vermeintlich beste Messmethode - HPNA mit einer quasi 100 % Kontrolle - auf Grund der bisherigen Ergebnisse nicht als korrekt messend erkannt wurde.



Bei dieser Gegenüberstellung werden jeweils alle verfügbaren Messwerte der verschiedenen Methoden gemittelt. Dies führt bei PBS II zu einer identischen Abbildung wie oben gezeigt. Für AP 500 verbessert sich die potenzielle Aussagefähigkeit bezüglich des ganzen LKW geringfügig und für HPNA erscheinen die Zuordnungen gänzlich zufällig zu sein.



Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle die Gegenüberstellung der HPNA und der AP 500 Werte in Bezug auf die komplette Lieferung gezeigt.

Das Bild zeigt aber keinerlei Zusammenhang.

6.3 Übersicht der Projektergebnisse

In den nachfolgenden drei Übersichtstabellen werden die Ergebnisse bezüglich folgender messtechnischer Parameter und Aspekte zusammengefasst:

- Messgrößen
- Messbereich (lt. Hersteller)
- Messgenauigkeit (lt. Hersteller)
- Messprinzip, Messtiefe und geschätztes Messvolumen
- Messgenauigkeit bzgl. Referenzmethode
- Messgenauigkeit bzgl. Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit
- Vorwahlmöglichkeiten
- Einflussfaktoren
- Aufwand bei Einbindung in Eingangskontrolle
- Entwicklungsbedarf

Tabelle 13: Übersicht zu Messgrößen, Messbereich, Messgenauigkeit, Messprinzip, Messtiefe und geschätztes Messvolumen
(* Alle Angaben sind jeweils Massenanteile. Ausnahme AP 500: Angabe als relativer Anteil zum Feststoff)

	 AP 500	 HPNA	 PBS II
Messgrößen*	Feuchte [%]	Feuchte [%]	Feuchte [%]
	-	-	Kunststoff [%]
	-	-	Asche [%]
	-	-	Holzstoff [%]
Messbereich* (lt. Hersteller)	4 – 50 % Feuchte	(5) / 8 – 35 % Feuchte	5 – 60 % Feuchte
Messgenauigkeit* (lt. Hersteller)	+/- 2,0 % absolut bei Feuchte 4 – 50 %	+/- 1,5 % relativ bei Feuchte 8 – 35 %	+/- 0,5 % absolut bei Feuchte < 10 %
		(+/- 0 – 0,5 % absolut)	+/- 1,0 % absolut bei Feuchte 10 – 20 %
			+/- 2,0 % absolut bei Feuchte > 20 %
Messprinzip	Elektromagnetisches Wechselfeld	Mikrowellen-Transmissionsmessung	Nah-Infrarot-Spektroskopie
Messtiefe	ca. 0,3 m (effektiv)	> 2,0 m	ca. 0,4 m (Bohrung)
Geschätztes Messvolumen	max. 24 dm³	ca. 1.000 – 40.000 dm³	ca. 25 – 50 dm³

Tabelle 14: Übersicht zur jeweiligen Messgenauigkeit bzgl. Referenzmethode, Wiederhol- und Reproduzierbarkeit sowie Fehlbedienungen und Fehleinstellungen

	 AP 500	 HPNA	 PBS II
Messgenauigkeit bzgl. Referenzmethode (Bohrkernproben Trockenschrank)	AP 500 zeigt bei trockenen Lieferungen eine gute Übereinstimmung zur Referenzmethode. Feuchte Lieferungen werden oft zu niedrig bewertet.	HPNA zeigt in Betriebsversuchen hinreichende Übereinstimmung mit den anderen Methoden. Einzelne Realversuche zeigen Ausreißer.	PBS zeigt eine gute Korrelation zur Referenzmethode (Trockenschrank/ Bohrgut).
	$R^2 = 44 \%$	$R^2 = < 30 \%$ nur 2018 (o. Eis-LKW)	$R^2 = 94 \%$
Messgenauigkeit bzgl. Wiederhol- und Reproduzierbarkeit	Wiederholbarkeit Die Abweichungen bei wiederholenden Messungen sind bei allen Messverfahren im Mittel gering.		
	Reproduzierbarkeit – Bediener und Umwelteinflüsse Die Abweichungen bei wiederholenden Messungen durch bspw. andere Bediener sind bei allen Messverfahren im Mittel gering bis moderat.		
Messgenauigkeit bzgl. Fehlbedienungen und -einstellungen	Stabilität – Messtechnische Konfigurationen und Eigenheiten Bei Fehleinstellungen und -bedienungen weichen die Werte bei allen Messverfahren häufig vom Ausgangswert ab.		

Tabelle 15: Übersicht zu Vorwahlmöglichkeiten, Einflussfaktoren, Aufwand bei Einbindung in Eingangskontrolle und Entwicklungsbedarf

	 AP 500	 HPNA	 PBS II
Vorwahlmöglichkeiten	Pressdichte (Schalterstellung 1-6)	Einkalibrierte Altpapiersorte (mit bekannter Pressdichte)	Keine notwendig
	-	Beladungsbreite	-
Einflussfaktoren	Pressdichte des Ballen	Pressdichte des Ballen	Gleichmäßigkeit der Messbewegung
	Anpressdruck Messgerät	Beladungsbreite	Messzeit nach Bohrung
	Metallverdrahtungen	Metallaufbauten	-
	-	Durchfahrts- geschwindigkeit	-
	-	Gleichmäßig- und Voll- ständigkeit der Beladung	-
Aufwand bei Einbindung in Eingangskontrolle	Schnelle, zerstörungsfreie Messung	Schnelle, zerstörungsfreie Messung	Zerstörend (Tendenz zum Bohrautomaten)
	Leicht, robust und mobil: Anlegen – Ablesen	Direkt im Wareneingang integriert (während der Durchfahrt)	Manuelle als auch automatisierte Varianten möglich
	ca. 1 Minute/LKW	ca. 1 Minute/LKW	ca. 7 Minuten/LKW
Entwicklungsbedarf	unklar	Abfangen von Ausnahmezuständen	Wegfall Referenzmessung
	ggf. Vergrößerung der Messfläche/ Eindringtiefe	Kalibration anhand definiert feuchter Ladungen	proz. Sortenangaben
	ggf. Transmissionsansatz		AP-Weiße

7 Anhang

7.1 Standardversuche (1. Kampagne)

Tabelle: Umgebungsbedingungen und Lieferdaten

allgemeine Daten						Daten zur Lieferung	
lfd. #	Datum tt.mm	Uhrzeit hh:mm	Wetter	Temp. [°C]	RL [%]	Lieferung Kennzeichen	Sorte
1	08.08.	08:45	bewölkt	21	80	DKL TN 28 DW 6L 991	4.03
2	08.08.	09:10	bewölkt leichter Regen	21	90	NK 73 UK NK 67 YM	4.01
3	08.08.	09:26	bewölkt leichter Regen	21	90	WN 429 BF WN 676 BP	1.04
4	08.08.	09:55	bewölkt	21	80	BM 724 DL	1.04
5	08.08.	10:00	bewölkt	21	70	KMY 6 UW7	4.02
6	08.08.	10:10	bewölkt	24	67	WGM 86 M4	1.04
7	08.08.	10:17	bewölkt	24	67	7B2 1199	1.04
8	08.08.	10:25	bewölkt	24	65	OW 720 CJ	1.04
9	08.08.	10:33	bewölkt windig bis zum Abend	24	65	NK TLP 11	1.04
10	08.08.	11:00	leicht sonnig	25	63	NK 515 CA	1.02
11	08.08.	12:35	sonnig	24	67	KWA UL 39	4.03
12	08.08.	12:38	sonnig	24	67	PP 660 DD	4.03
13	08.08.	12:41	sonnig	24	67	8 B1 1404	1.04
14	08.08.	12:47	sonnig	24	67	NK 810 CS	1.04
15	08.08.	13:30	sonnig	24	67	WN 798 BN	1.04
16	08.08.	13:40	sonnig	25	65	NK 158 EY	4.01
17	08.08.	14:14	sonnig	25	65	WN 33 C7	1.04
18	08.08.	14:25	sonnig	25	65	OW 720 CJ	1.04
19	08.08.	15:00	sonnig	25	68	NK 465 FO	1.04
20	08.08.	15:30	sonnig	27	67	ZT 742 AY	1.04

Fotodokumentation der einzelnen LKW

LKW 1:



LKW 2



LKW 3:



LKW 4:



LKW 5:



LKW 6: keine Bilder vorhanden

LKW 7:



LKW 8:



LKW 9:



LKW 10:



LKW 11:



LKW 12:



LKW 13:



LKW 14:



LKW 15:



LKW 16:



LKW 17:



LKW 18, 19: keine Bilder

LKW 20:



7.2 Standardversuche (2. Kampagne)

Tabelle: Umgebungsbedingungen und Lieferdaten

allgemeine Daten						Daten zur Lieferung	
lfd. #	Datum tt.mm	Uhrzeit hh:mm	Wetter	Temp. [°C]	RL [%]	Lieferung Kennzeichen	Sorte
1	07.02.	11:20	bewölkt	0	80	NK 466 FO	4.01
2	07.02.	10:45	bewölkt	0	80	OW 720 CJ	1.04
3	07.02.	10:55	bewölkt	0	80	BN 06 FUM	1.04
4	08.02.	09:05	bewölkt	5	75	OW 482 CD	1.02
5	08.02.	10:35	bewölkt	5	75	NK 67 YM	1.04
6	08.02.	14:10	bewölkt	5	75	KWAUL 37	1.04
7	08.02.	14:20	bewölkt	5	75	MT 891 BZ	1.04

Fotodokumentation der einzelnen LKW

LKW 1:



LKW 2:



LKW 3:



LKW 4:



LKW 5:



LKW 6:



LKW 7:

