

Masterarbeit

CSB-Problematik in einem Faltschachtelkartonwerk

erstellt für

Mayr-Melnhof Karton GmbH Frohnleiten



Vorgelegt von:
Reif Magdalena
0435123

Betreuer/Gutachter:
Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Lechthaler
Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef Draxler

Leoben, November 2016

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Datum

Unterschrift

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Draxler für die Betreuung von Seiten der Universität aus.

Danke an Herrn Mag. Schleiss für die Möglichkeit zur Erstellung dieser Masterarbeit bei Mayr-Melnhof Karton.

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. Lechthaler für die Zusammenarbeit als Betreuer meiner Masterarbeit.

Herrn DI Hammer und Herrn DI Plainer sage ich Danke für die fachkundige Unterstützung.

Ein weiterer Dank für die vielen Fachgespräche sowie für die Unterstützung bei meinen Versuchen geht an alle Mitarbeiter der Abwasserreinigungsanlage und der Produktion.

Zum Schluss ein herzliches DANKE an meine Familie für die Unterstützung in den letzten Jahren. Besonders möchte ich meiner Mutti danken, ohne die ich es nie soweit geschafft hätte!

Kurzfassung

Die CSB-Konzentration bzw. Fracht des in die Abwasserreinigungsanlage eingeleiteten Rohwassers schwankt durch die Produktion von unterschiedlichen Kartonsorten, die verschiedene Faserrezepturen besitzen. Die Erfassung der CSB-Konzentration beider Rohwasser der Kartonmaschine 2 und Kartonmaschine 3 sowie des Reinwassers, zeigten gewisse Trends, aber keine eindeutigen Zuordnungen.

Da Kartonsorten mit unterschiedlichen Altpapiersorten hergestellt werden, wurden zunächst Altpapierproben in Laborversuchen mit einem Aufschlaggerät aufgelöst. Dabei wurde ermittelt, wie sehr die Einflussgrößen Auflösezeit und Einwirkzeit sowie der Unterschied des AuflöSENS in Frischwasser und Reinwasser sich auf die CSB-Konzentration aus dem Altpapier auswirken.

In den großtechnischen Maschinenversuchen in einem LC Pulper wurde die CSB-Löslichkeit aller im Werk eingesetzten Altpapier- und Frischfasersorten durch Auflöseversuche ermittelt. Dabei zeigte sich, dass gewisse Altpapiersorten eine hohe Menge an CSB lösen während andere Sorten zu einer Verringerung der CSB-Konzentration im Prozesswasser führen.

Um Rückschlüsse auf den Fasereintrag der Kartonsorten ziehen zu können, wurden die CSB-Konzentrationen der einzelnen ArbeitsbüTten der Kartonlagen im laufenden Betrieb gemessen. Im nachfolgenden Bilanzierungsversuch wurden die Ergebnisse der Messungen mit den berechneten CSB-Einträgen aus den Faserrezepturen verglichen. Die Bilanzierung lieferte keine eindeutigen, vergleichbaren Ergebnisse, die darauf hinweisen, dass die unterschiedlichen Altpapiersorten für die Schwankungen des CSB verantwortlich sind.

Abstract

COD problem in a carton boardmill

To examine the influence on the COD concentration, respectively freight of different cartonboard grades, the process water was analysed in the waste water treatment plant. Despite certain trends, the results of the thesis are not able to display clear classification of COD concentration with regard to the produced cartonboard grades.

In order to disintegrate different types of waste paper on large-scale basis, lab tests were carried out first. The results showed the impact of residence time and time of disintegration on the COD dissolubility.

The aim of the thesis was to determine the COD input of all grades of recycled paper and virgin fibre used in the plant. The tests were executed in a low consistency (LC) pulper of the stock preparation. The results show that some recycled paper grades have a high amount of COD dissolubility, whereas other grades even lower the COD of the utilized process water.

To be able to draw possible conclusions on the fibre mixtures of the cardboard grades, the COD concentration of the machine chest while production was examined. The following balance showed no explicit coherence between COD concentration and recycled paper recipe.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	3
1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung	3
2 FIRMENBESCHREIBUNG	4
2.1 Beschreibung des Kartonwerks Frohnleiten	5
2.1.1 Verfahrensbeschreibung Kartonproduktion	6
2.1.2 Verfahrensbeschreibung Abwasserreinigungsanlage.....	12
3 DER CHEMISCHE SAUERSTOFFBEDARF – CSB	16
3.1 Definitionen	16
3.2 CSB-Messmethode - Allgemeine Versuchsdurchführung	18
4 UNTERSUCHUNG DER PROZESSWASSER IN DER ARA.....	21
4.1 Versuchsdurchführung.....	21
4.2 Ergebnisse	23
5 UNTERSUCHUNGEN VON ALTPAPIERSORTEN IM LABOR	30
5.1 Versuchsdurchführung.....	30
5.2 Ergebnisse	33
6 UNTERSUCHUNGEN VON ALTPAPIERSORTEN IM PULPER 9	48
6.1 Versuchsdurchführung.....	51
6.2 Gruppe 1, untere Sorten	54
6.3 Gruppe 2, mittlere Sorten.....	58
6.4 Gruppe 3, bessere Sorten.....	61
6.5 Gruppe 4, krafthaltige Sorten	71
6.6 Gruppe 5, Sondersorten	72
6.7 Frischfasern	73
7 UNTERSUCHUNGEN DER ARBEITSBÜTTEN	79
7.1 Versuchsdurchführung.....	79
7.2 Ergebnisse	81
7.3 Diskussion der Ergebnisse	88
8 ZUSAMMENFASSUNG	89

9	VERZEICHNISSE	91
9.1	Literatur.....	91
9.2	Abkürzungsverzeichnis	92
9.3	Tabellen	93
9.4	Abbildungen	94

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Wiederverwertung von Altpapier in der Papierindustrie ist schon seit langer Zeit ein zentrales Thema. Das Bemühen um eine hohe Recyclingquote hat wirtschaftliche und ökologische Gründe. Zum einen trägt die Verarbeitung des Altpapiers zur Verminderung des Hausmülls bei. Zum anderen sorgt das Papierrecycling für Einsparungen der Energie, da Altpapierfasern schon vorher als Zellstoff oder Holzstoff aufgeschlossen wurden.

Das Stammwerk der Mayr-Melnhof Karton Gruppe in Frohnleiten setzt bereits seit 1913 Altpapier als Rohstoff zur Kartonproduktion ein. Durch die ständig wachsende Produktion und Entwicklung neuer Kartonsorten ergeben sich je nach Fahrweise bzw. Programmstand CSB-Frachtspitzen von bis zu +30% und stark wechselnde CSB-Konzentrationen. Dadurch werden die Auslegungsgrenzen der Abwasserreinigungsanlage erreicht. Die durch den Wasserrechtsbescheid begrenzten Ablaufwerte können teilweise nicht mehr eingehalten werden.

Ein Ziel dieser Arbeit war es, zuerst der Einfluss auf die CSB-Konzentration bzw. Fracht bei verschiedenen Sortenproduktionen der beiden Kartonmaschinen zu untersuchen. Dafür sollen in der Abwasserreinigungsanlage Messreihen des Rohwassers der Kartonmaschine 2 und Kartonmaschine 3 durchgeführt werden.

Des Weiteren sollte analysiert werden, wie sehr die CSB-Belastung des Reaktivatorreinwassers, welches von der mechanischen Stufe gereinigt und direkt an die Kartonmaschine 2 und 3 zurückgeführt wird, bei gewisser Sortenproduktion Schwankungen unterliegt.

Weiterer Gegenstand der Arbeit ist es, den Einfluss der Auflösezeit und Einwirkzeit sowie den Einfluss des Auflösewassers, in einem Aufschlaggerät im Nasslabor der KM3 zu prüfen.

Hauptziel soll sein, den CSB-Eintrag durch verschiedene Rohstoffe zu untersuchen. Auflöseversuche im Pulper 9 der Stoffaufbereitung KM2 sollen dabei Aufschlüsse über CSB-Löslichkeit verschiedener Altpapiersorten und Frischfasern geben. Grundlage dafür war ein Projektbericht der Firma PTS, die 2011 das Altpapier als wesentliche CSB-Quelle identifizierte und eine „Analyse des Rohstoffeinsatzes und dessen Einfluss auf die CSB-Fracht“ als Maßnahme zur Optimierung des Rohstoffeinsatzes vorschlug. [1]

Weiteres Augenmerk sollte auf die verschiedenen Arbeitsbüten der Kartonlagen (Decke, Einlage, Schonschicht und Rückseite) gelegt werden um Rückschlüsse auf den Fasereintrag der Kartonsorten ziehen zu können.

2 Firmenbeschreibung [2,3]

Die Mayr-Melnhof Karton AG gliedert sich in die Geschäftsbereiche Karton und Packaging (Abbildung 1).

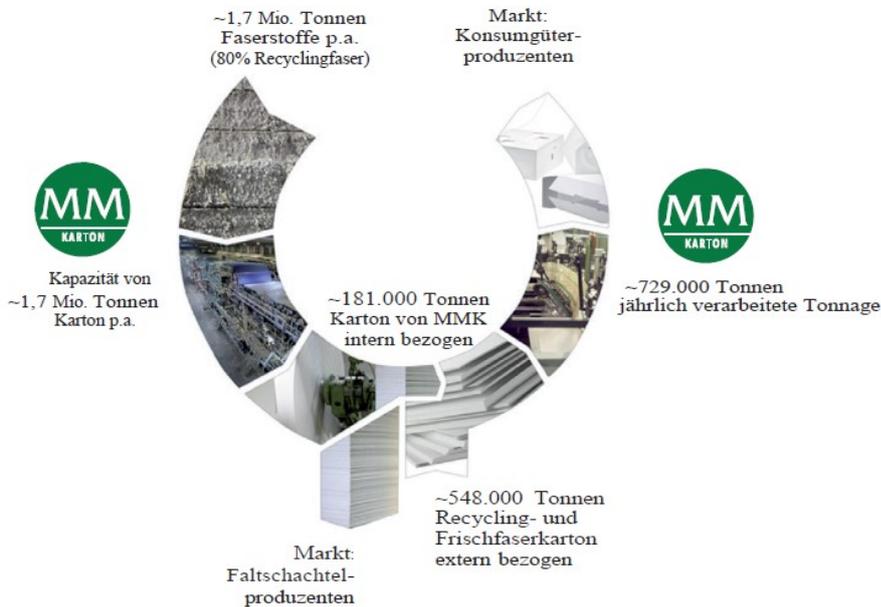


Abbildung 1: Geschäftsstruktur (Stand 2015)

Hauptgeschäft des Mayr-Melnhof-Konzerns sind die Produktion und der Verkauf von Karton und Faltschachteln. MM Karton ist der weltweit größte Produzent von gestrichenem Recyclingkarton mit einer wachsenden Position im Bereich Frischfaserkarton. MM-Packaging ist der größte Faltschachtelerzeuger in Europa mit einer steigenden Präsenz außerhalb Europas. MM-Karton hat sieben europäische Standorte (Abbildung 2) mit einer Gesamtjahreskapazität von rund 1,7 Millionen Tonnen. MM-Packaging verarbeitet an 38 Standorten jährlich über 729.000 Tonnen Karton zu Faltschachteln und liefert überwiegend an multinationale Kunden aus der Markenartikelindustrie. Zum Jahresende 2015 waren im Konzern 9.938 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigt. Seit 1994 notiert Mayr-Melnhof an der Wiener Börse.



Abbildung 2: Standorte der Mayr-Melnhof Kartonwerke

2.1 Beschreibung des Kartonwerks Frohnleiten [4,5,6,7,8,9]

Die Mayr-Melnhof Karton GmbH in Frohnleiten ist das Stammwerk der Mayr-Melnhof Kartongruppe, wurde 1889 gegründet und beschäftigt ca. 580 Mitarbeiter.

Jährlich werden für die Kartonproduktion in Frohnleiten rund 400.000 t Faserstoffe eingesetzt. Davon entfallen etwa 80% auf Altpapier und 20 % auf Frischfaser. Daraus werden an der Kartonmaschine 2 (KM2) und an der Kartonmaschine 3 (KM3) ca. 500.000 t hochwertiger, gestrichener Duplex- (GD) und Triplex- (GT) – Faltschachtelkarton mit grauer, heller und weißer Rückseite in unterschiedlichen Grammaturen hergestellt.

(Siehe Tabelle 1 und 2)

Tabelle 1: Maschinenausstattung im Werk Frohnleiten

	Kartonmaschine 2	Kartonmaschine 3
Gesamtlänge [m]	122	182
Arbeitsbreite [m]	2,9	4,5
max. Geschwindigkeit [m/min]	409	625
Lagenaufbau	10 Saugformer	4 Langsiebe
Wasserverbrauch	ca. 5 l Frischwasser /kg Karton	

Tabelle 2: Kartonsorten im Werk Frohnleiten

Qualität	Kürzel	Bezeichnung	Grammatur [g/m²]
GT1	FB	Foodboard (nur KM3)	280-425
GT1	TC	Topcolor (nur KM3)	250-320
GT2	MCB	Multicolor Belvedere	250-450
GT3	EP	Ecoprint	250-450
GD2	MCM	Multicolor Mirabell	230-450
GD2	CME	Coated MCM Economic	250-450
GD2	ACK	Astracolor Kellogg's (nur KM3)	280-425
GD3	MCS	Multicolor Spezial	230-450

2.1.1 Verfahrensbeschreibung Kartonproduktion

Da der Karton aus mehreren verschiedenen Lagen aufgebaut ist (Abbildung 3), ist es möglich, einen hohen Altpapieranteil sowie eine hohe Anzahl an verschiedenen Kartonsorten einzusetzen.

Deckstrich	25 g	8 %
Deckschicht	40 g	13 %
Schonschicht	35 g	12 %
Einlage	160 g	53 %
Rückseite	35 g	12 %
RS-Strich	5 g	2 %

Abbildung 3: Kartonaufbau am Beispiel Sorte GD2 300g/m²

Die Decklage besteht je nach Qualitätsgrad aus verschiedenen Mengen holzfreien und holzhaltigen sauberen Altpapieren. Für die Rückseite werden eigener Fabrikationsausschuss und Fabrikationsabfälle aus dem Druckereigewerbe verwendet. In den inneren Lagen kann Altpapier geringerer Qualität eingesetzt werden. Die Kartonoberfläche wird durch zwei bis drei Striche (Kalziumkarbonat, Titanoxid und Clay) veredelt.



Abbildung 4: Prozessstufen

Der Karton-Produktionsprozess lässt sich in drei Hauptverfahrensschritte einteilen: in die Stoffaufbereitung, die Kartonmaschine und die Ausrüstung (siehe Abbildung 4).

In der **Stoffaufbereitung** werden zuerst die zur Verwendung kommenden Rohstoffe - Altpapier, Zellstoff und Holzstoff - in sogenannten Stofflösern (Pulper) mit Prozesswasser aufgelöst, wie in Abbildung 5 ersichtlich.

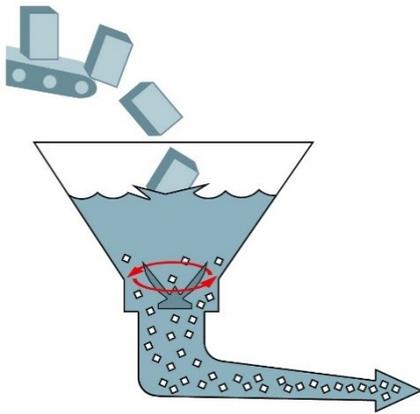


Abbildung 5: Stofflöser (Pulper)

Im Sprachgebrauch des Papiermachers wird statt „Auflösen“ auch der Begriff „Zerfasern“ benutzt. Aufgabe des Auflöserns ist es, das eingetragene Altpapier in Einzelfasern zu zerlegen, dass eine pumpfähige Suspension vorliegt. Dazu wird die Festigkeit des Faserverbunds durch Befeuchten (Lockern der Wasserstoffbrücken) weitgehend reduziert um durch mechanische und hydraulische Beanspruchung im Stofflöser den Rohstoff in einen pumpfähigen Zustand zu versetzen.

Ein Pulper ist ein großer, zylindrischer Behälter, mit Strömungsabweiser an der Behälterwand. Diese generieren Turbulenzen, welche Energie zum Auflösen dissipieren. Im Bodenbereich befindet sich zentrisch das Pulperlaufrad. Dieses ist mit Flügeln bestückt und bringt die Kräfte in die Suspension ein, die für das Auflösen erforderlich sind. Unter dem Pulperlaufrad befindet sich ein Sieb zum Abziehen der Suspension, der „Gutstoff“ genannt wird.

Danach durchläuft das Wasser-Fasergemisch verschiedene Sortier- bzw. Reinigungsstufen. Es ist die Aufgabe jeder einzelnen Sortierstation, nicht verwertbare produktions- und qualitätsstörende Fremtteile aus der Fasersuspension abzuscheiden. Die Abtrennung findet entweder rein mechanisch, mittels Loch- und Schlitzsieben oder hydromechanisch durch Zentrifugal- bzw. Zentripetalkräfte in Hydrozyklonen statt.

In der Grobsortierung werden Verunreinigungen schonend und ohne zerkleinert zu werden ausgeschieden (z.B. Steine oder Metallteile).

Die Aufgabe der Feinreinigung ist die Entfernung der kleinen, spezifisch schweren (Dichte $> 1000 \text{ kg/m}^3$) und spezifisch leichten (Dichte $< 1000 \text{ kg/m}^3$) Verunreinigungen. Der

Schwerteilcleaner arbeitet mit Zentrifugalkraft und ermöglicht damit die Abtrennung von Sand bzw. Glassplittern sowie Metall- bzw. Hartplastikpartikeln. Der Leichtteilcleaner scheidet die spezifisch leichteren Störstoffe wie Schaumgummi, Beschichtungsfolien und vor allem Styropor aus der Fasersuspension aus.

Die Aufgabe der Feinsortierung besteht darin, die nach der Feinreinigung noch im Altpapier enthaltenen kleinen Verunreinigungen, deren Dichte ähnlich jener der Fasern ist, vor allem aber klebende Verunreinigungen (Stickies), abzutrennen.

Trotz aufwendiger Sortiertechnologie können nicht alle Störstoffe aus der Fasersuspension ausgeschieden werden. Es handelt sich dabei vorwiegend um Druckfarben, Klebstoffe von geklebten Büchern und Illustrierten, Wachse und Paraffine von beschichteten Papieren.

Diese Bestandteile müssen unschädlich gemacht und für das freie Auge unsichtbar in den Faserstoff eingemischt werden. Der Verfahrensschritt heißt Dispergierung. Dazu wird die Fasersuspension mit Siebpressen entwässert, mit Dampf auf knapp unter 100°C erhitzt und bei dieser Temperatur mit hoher Scherkraft dispergiert. Das Resultat dieser Behandlung ist ein sauberer Rohstoff mit gleichmäßig hellgrauer Färbung. Aufgrund der Temperaturführung bringt dieser Schritt einen Pasteurisierungseffekt mit sich.

Nach der Reinigung und Dispergierung erfolgt als weiterer Schritt die Homogenisierung. Das Rohmaterial Altpapier hat, aus der unterschiedlichen Zusammensetzung resultierend, stark differierende Eigenschaften. Daher wird das Rohmaterial in sogenannten Bütten für Stunden bevorratet, durch Rührorgane und Austausch zwischen den Behältern gemischt und homogenisiert.

In all diesen Prozessschritten wird eine hohe Menge an mechanischer und thermischer Energie eingetragen, die zur Lösung des CSB aus dem Altpapier beitragen.

Der fertig aufbereitete und gemischte Stoff wird in hoher Verdünnung (ca. 95% Wasser) zur Kartonmaschine geleitet.

Die **Kartonherstellung** an den beiden Kartonmaschinen lässt sich in die Verfahrensschritte Blattbildung, Entwässern, Trocknen und Streichen gliedern.

Der Kartonherstellungsprozess beginnt in der sogenannten Nasspartie (Abbildung 6), in der die einzelnen Kartonlagen nass geformt und miteinander zur Kartonbahn vergautscht werden. Das Stoff-Wassergemisch wird in Stoffaufläufen gleichmäßig über die gesamte Breite der Kartonmaschine verteilt und auf endlose, umlaufende Siebe aufgestrahlt. Durch die Schwerkraftwirkung und zusätzliche Entwässerungseinrichtungen wird ein Großteil des Wassers entfernt und es bildet sich das Blatt.

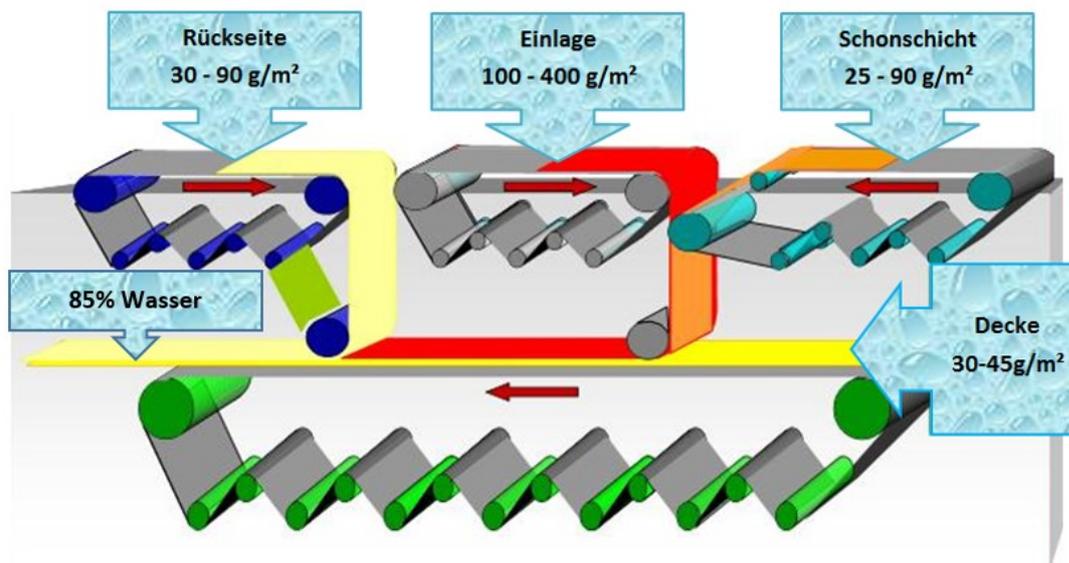


Abbildung 6: Nasspartie

Als nächster Prozessschritt folgt die Pressenpartie, wie in Abbildung 7 dargestellt. Durch die Presswirkung zwischen hydraulisch belasteten Walzen wird die Kartonbahn zusammen mit Filzen gepresst und dadurch entwässert. Die Filze dienen dabei zur Aufnahme des ausgepressten Wassers. Der Wasseranteil sinkt dabei von 85% auf 50 %.

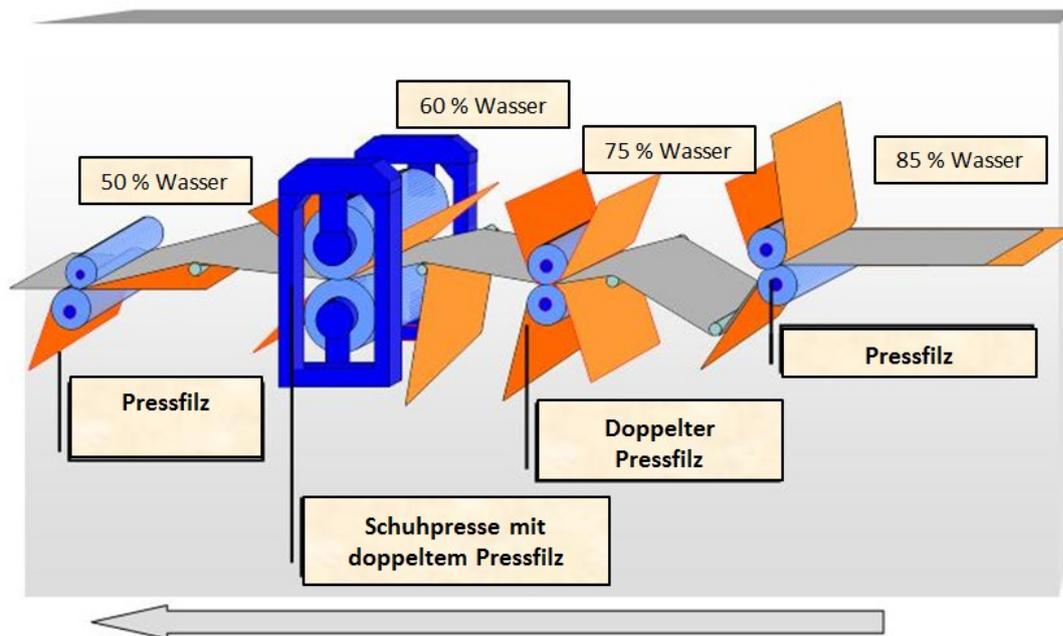


Abbildung 7: Pressenpartie

Die im Karton verbleibende Wassermenge muss bis zu einem Restfeuchtigkeitsgehalt von ca. 7 % getrocknet werden. Dies geschieht in der Trockenpartie, wo die Kartonbahn über bis zu 72 Trockenzylinder geführt wird, wodurch das Wasser verdunstet. Zusätzlich glättet der Glättezylinder die Kartonoberfläche (Abbildung 8).

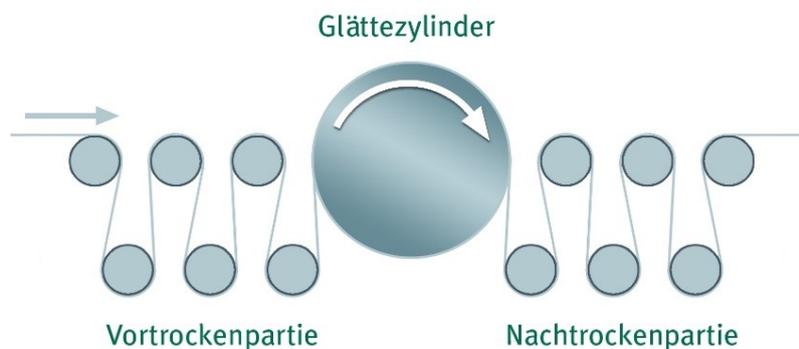


Abbildung 8: Schema der Trockenpartie

In der Streichmaschine wird der Karton auf der Rückseite einmal und auf der Oberseite zwei- bis dreimal mit Strichaufträgen auf mineralischer Basis veredelt. Dadurch erreicht der Karton auch seine Weiße und seinen Glanz.

Nach der Streichmaschine wird die fertige Kartonbahn aufgerollt und danach zu Rollen in den vom Kunden gewünschten Breiten geteilt bzw. an den Querschneidern in gewünschte Formate (Bögen) weitergeschnitten und klimasicher verpackt (Abbildung 9).



Abbildung 9: Endfertigung

Dazu stehen Rollenschneider, Querschneider, Planschneider, Rollenverpackungsanlage und Verpackungsanlagen mit Schrumpfföfen zur Verfügung. Bis zum Versand wird der Karton in der Versandhalle zwischengelagert und dann an den Kunden per Bahn oder LKW ausgeliefert.

2.1.2 Verfahrensbeschreibung Abwasserreinigungsanlage

Die Abwasserreinigungsanlage (ARA) der Mayr-Melnhof Karton GmbH Frohnleiten besteht aus einer mechanischen und einer biologischen Reinigungsstufe. Die Kapazität der mechanischen Stufe beträgt 22.000 m³/d, die der biologischen Stufe 10.000 m³/d. Alle Abläufe sind durch ein Prozessleitsystem automatisiert. Die ARA wird von geprüften Klärfacharbeitern 3-schichtig, mit 5 Schichtarbeitern und 1 Springer überwacht. Abbildung 10 zeigt ein Übersichtsschema der ARA.

Mechanische Stufe

Die mechanische Stufe verläuft über die Rohwasserannahme, die Rohwasserbehandlung bis hin zu den Reaktivatoren. Das Abwasser an den Kartonmaschinen wird in der Rohwasserpumpstation KM2 und an der Rohwasserpumpstation KM3 gesammelt und zur Abwasserreinigungsanlage gepumpt. Je Kartonmaschine fließen ca. 8.000 bis 12.000 m³/d Rohwasser in die Rohwasserhochbehälter KM2 und KM3. Diese Behälter haben eine Überlaufleitung in den Pufferbehälter, eine Ablaufleitung zu den Reaktivatoren mit Flockungsmittelzudosierung, sowie eine niveaugeregelte Nachspeisung vom Pufferbehälter.

Das Rohwasser und der sedimentierte Faserschlamm der beiden Kartonmaschinen werden getrennt geführt. Das Rohwasser gelangt von den jeweiligen Rohwasserhochbehältern in die Rundabsatzbecken (Kontaktschlamm-Schwebebettanlagen) R2 und R3. Diese bestehen aus Bodenräumer, Schwimmschlammräumer und Impeller-Rührwerk. Das Reinwasser fließt geodätisch in den sogenannten Cyclobehälter, die sedimentierten Faser-Schlämme werden über Pumpen direkt in die Stoffaufbereitung der jeweiligen Kartonmaschine zurückgeführt. Der Cyclobehälter dient als Vorlagebehälter für die Drucksandfilter und hat eine Überlaufleitung in die biologische Stufe.

Die Drucksandfilteranlage (DSF) dient der mechanischen Feinreinigung des Abwassers. Sie besteht aus zehn Drucksandfiltern in zylindrischen Stahlbehältern mit Düsenboden, die in zwei Linien aufgestellt sind. Die Filterfüllung besteht aus Quarzkies mit einem Korndurchmesser von 2,0 – 3,2 mm.

Das Reinwasserbecken besteht aus vier Kammern. Aus den Drucksandfiltern erfolgt wahlweise die Zuleitung des Reinwassers in das Reinwasserbecken 1 oder 2, die Entnahme des Reinwassers erfolgt wahlweise aus dem Reinwasserbecken 3 oder 4.

Nach der mechanischen Reinigung werden 66% des anfallenden Rohwassers wieder vom Reinwasserbecken in die Produktion zu den Kartonmaschinen als Prozesswasser rückgeführt. Das Überschusswasser wird in der biologischen Stufe gereinigt.

Der Überschuss läuft in die Vorversäuerung über und gelangt damit in die biologische Stufe.

Biologische Stufe

Die biologische Abwasserreinigungsanlage besteht aus einem Vorversäuerungsbecken, einem Anaerob IC-Reaktor, einer Hochlaststufe, zwei Belebungsbecken und zwei Nachklärbecken.

Im Vorversäuerungstank findet die Versäuerung der organischen Substanz unter Zugabe von Stickstoff in Form von Harnstoff (NH_3) und Phosphor in Form von Phosphorsäure (H_3PO_4), sowie eine allfällige Neutralisation statt. Die Zulaufmenge in die Biologie wird vom PLS über Mengenmessung und FU-Regelung automatisch eingestellt. Pumpen fördern das Abwasser danach in den IC-Reaktor.

Anaerobe Stufe

Der BIOPAQ IC (Internal Circulation) - Reaktor ist ein Reaktor zur anaeroben Abwasserbehandlung. Er ist mit granulierter Biomasse gefüllt, die den CSB des Abwassers und die Fettsäuren aus der Vorversäuerung zu Biogas umsetzt. Dieses Biogas ist eine Mischung aus Methan (CH_4), Kohlendioxid (CO_2) und geringen Mengen Schwefelwasserstoff (H_2S).

Die totale Umsetzung kann mit der folgenden Reaktionsgleichung beschrieben werden:



Das erzeugte Biogas wird vom behandelten Abwasser in einem Gasabscheider getrennt und steht so zur weiteren Verwendung zur Verfügung.

Der IC-Reaktor kann als eine Kombination von zwei übereinander aufgebauten UASB (Upflow Anaerobic Sludge Bed) -Reaktoren betrachtet werden. Hierbei ist die untere Stufe hoch belastet, die obere Stufe weist demgegenüber eine sehr niedrige Belastung auf. Eine Besonderheit dieses Reaktors ist es, dass das Biogas an zwei übereinander angeordneten Stufen innerhalb eines schlanken, hohen Reaktors abgeschieden wird. Das Gas der ersten Stufe erzeugt einen sogenannten Gaslift, der die interne Zirkulation ermöglicht.

Aerobe Stufe

Als zweite biologische Stufe ist eine aerobe Anlage (**Hochlastbiologie**) installiert. Der Belebtschlamm-Ablauf wird auf die zwei Belebtschlammlinien aufgeteilt. Die Retourschlammmenge aus den Nachklärbecken wird entsprechend dem Feststoffgehalt in der Hochlaststufe eingestellt.

Die 3. biologische Stufe ist die **Belebungsstufe** bestehend aus zwei gleichwertigen runden Aerobiereaktoren (Aerobie 1 und 2). Jedem Belebungsbecken ist ein Nachklärbecken zugeordnet. Der Überschussschlamm wird über Mengenregelung kontinuierlich zur Schlamm entwässerung abgezogen. Als Lufteintragsystem werden pro Reaktor 4 Ejektorlanzen der Firma Körting verwendet mit je einer Ejektorpumpe.

Der Belebtschlamm wird aus den Belebungsstanks über eine Überlaufkante zu den Nachklärbecken geleitet.

Bei den **Nachklärbecken** (NKB) 1 und 2 handelt es sich um Sedimentationsbecken mit einer rotierenden Räumbrücke. An der Räumbrücke sind der Bodenräumer, die schwimmende Schwimmschlammräumer und das Rinnenreinigungsgerät befestigt.

Das ablaufende Biowasser wird geodätisch im Rohrkollektor in einer Leitung zum Biologie Ablaufschacht geleitet. Eine Messstation für Temperatur, pH und Menge, sowie eine automatische mengenproportionale Probenahmestation sind vor dem Eintritt in den Ablaufschacht installiert. Vom Ablaufschacht wird das ablaufende Reinwasser über Steinzeugrohre am linken Murofer bis zum Unterwasserbereich des Kraftwerkes Rabenstein in den Vorfluter Mur geleitet.

Der entwässerte und getrocknete Schlamm wird von einem Entsorgungsunternehmen als Sekundärrohstoff in die Ziegelindustrie gebracht.

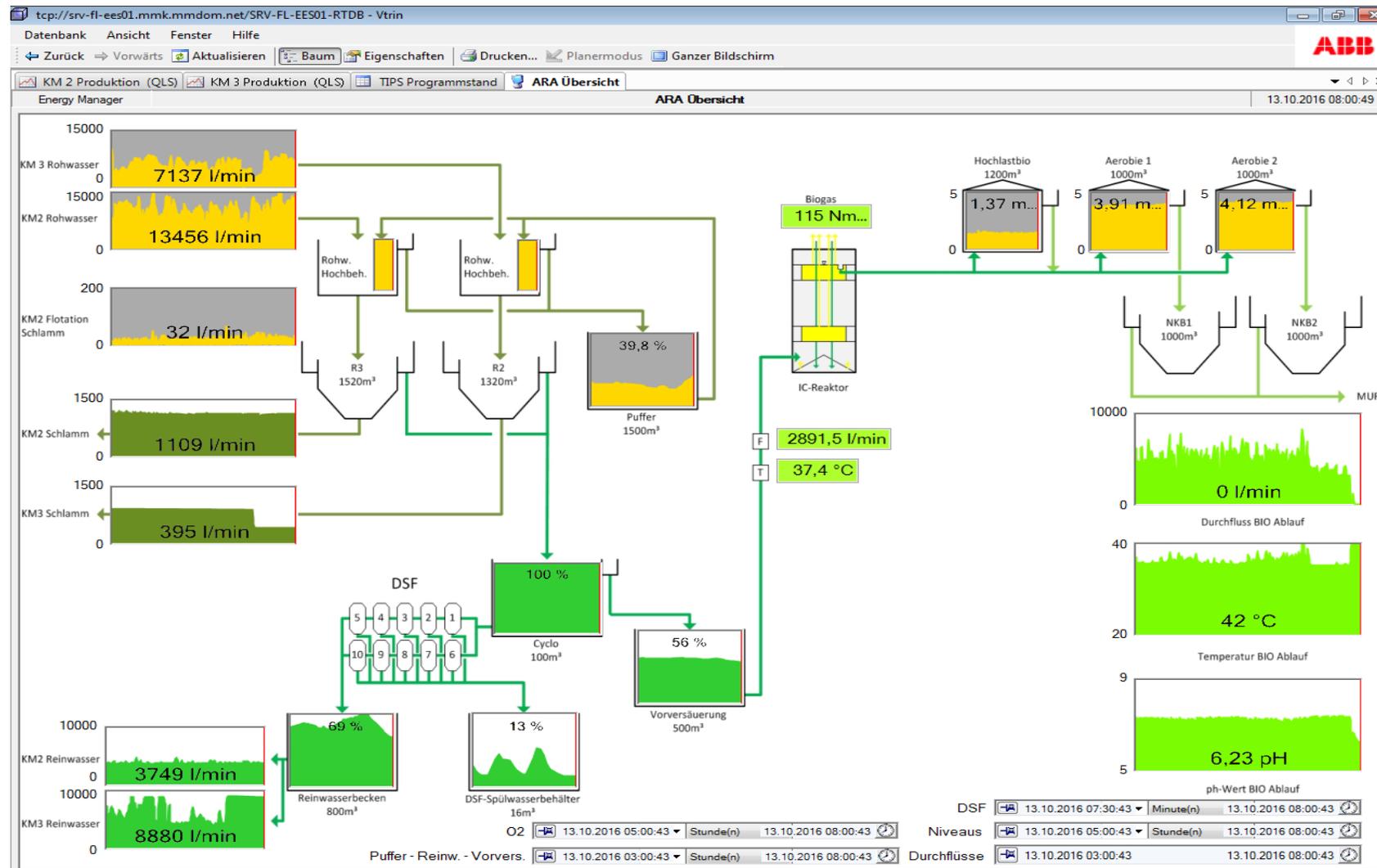


Abbildung 10: Prozessschema der ARA

3 Der chemische Sauerstoffbedarf – CSB

3.1 Definitionen ^[10]

Der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB) ist als Summenparameter für die Sauerstoffzehrung durch organische Schadstoffe ein wichtiger Bestandteil der Abwasseranalytik. Er ist der meisterwähnte Überwachungsparameter in der europäischen Gesetzgebung und dient als Berechnungsgrundlage für die Konstruktion und Effizienz von Abwasserkläranlagen.

Definition Chemischer Sauerstoffbedarf (ST-CSB) aus der ÖNORM ISO 15705

Der chemische Sauerstoffbedarf, ST-CSB-Wert (ST=small scale sealed tube), bestimmt nach dem Dichromatverfahren, kann als ein Schätzwert des theoretischen Sauerstoffbedarfs, d.h. der Menge verbrauchten Sauerstoffs für eine vollständige chemische Oxidation der im Wasser enthaltenen organischen Verbindungen, betrachtet werden.

Der Chemische Sauerstoffbedarf ist jene Massenkonzentration an Sauerstoff, die der Menge Dichromat äquivalent ist, die von in der Wasserprobe enthaltenen gelösten und suspendierten Stoffen verbraucht wird. 1,0 mol Dichromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) entspricht dabei 3,0 mol Sauerstoff [O].

Grundlage des Verfahrens

Der Aufschluss der Proben erfolgt unter festgelegten Bedingungen mit Schwefelsäure und Kaliumdichromat in Gegenwart von Silbersulfat und Quecksilber(II)sulfat. Silber wirkt als Katalysator, um refraktäre organische Verbindungen zu oxidieren. Quecksilber vermindert die Störung in Gegenwart von Chlorid-Ionen. Die Menge an Dichromat, die für die Oxidation der Probe verbraucht wird, wird durch Messung der entstandenen Chrom(III)-Ionen bei einer Wellenlänge von $600 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$ für eine Massenkonzentration von 1000 mg/l bestimmt. Die Extinktion wird in einem Aufschlussröhrchen gemessen, das als Küvette dient.

Geräte für den Aufschluss-Schritt

Zum Aufschluss wird ein Heizblock benötigt, der für mindestens 10 Küvetten ausgelegt sein soll. Die Temperatureinstellung sollte auf $150^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ erfolgen können, ohne eine lokale Überhitzung des Küvetteninhalts. Die Löcher im Heizblock sollten einen solchen Durchmesser aufweisen, dass die Küvetten im engen Kontakt mit dem Metallblock sind und die Tiefe der Löcher sollte die optimale Erhitzung des Küvetteninhalts ermöglichen. Nach Einsetzen der Küvetten in den vorgeheizten Heizblock muss der Küvetteninhalt innerhalb von 10 min den Siedepunkt erreichen.

Die Glasröhrchen (Küvetten) sollen aus säurebeständigen Material sein und ausgelegt für einen Druck von 600 kPa bei 150°C (z.B. Länge 185 mm , Außendurchmesser 14 mm , Wanddicke 1 mm).

Die Küvetten müssen so zum Heizblock passen, dass die Wand in engem Kontakt mit dem Metallblock steht. Vor der Verwendung müssen diese untersucht werden, um sicherzustellen, dass sie nicht beschädigt sind. Sie müssen verworfen werden, sobald irgendeine leichte Beschädigung zu erkennen ist. Die Küvetten werden mit geeigneten Verschlüssen geliefert. Wenn die Küvetten direkt zur Extinktion verwendet werden, so ist es notwendig, dass die Außenwände absolut sauber sind, bevor die Küvetten in das Photometer gesetzt werden. Soweit möglich, wird empfohlen, handelsübliche vorbereitete ST-CSB-Testkits zu verwenden. Es sind Küvetten für verschiedene Arbeitsbereiche erhältlich.

Geräte für den Bestimmungsschritt

Für die Photometrische Bestimmung sollte ein Photometer, welches für Messungen bei 600 nm \pm 20 nm geeignet ist, verwendet werden.

Probenahme und Konservierung

Die Wasserproben sollen in sauberen Glas- oder Polypropylen-Flaschen genommen und im Dunkeln bei 2°C bis 8°C aufbewahren werden.

Alle diese Vorgaben aus der ÖNORM ISO 15705 wurden bei den folgenden Versuchen eingehalten.

3.2 CSB-Messmethode - Allgemeine Versuchsdurchführung [11,12]

Für alle nachfolgenden Versuche wurden die Küvettentests der Firma Hach Lange verwendet.

LCK 614 Messbereich 50 - 300 mg/l CSB

LCK 514 Messbereich 100 - 2000 mg/l CSB

LCK 014 Messbereich 1000 - 1000 mg/l CSB

Diese Tests weisen laut Qualitätszertifikat von Hach Lange einen Vertrauensbereich von 95% auf.

Die Küvetten werden in 25 Stk. Packungen geliefert und im Kühlschrank bei ca. 7 °C gelagert. Auf der Innenseite dieser Packung befindet sich eine Kurzanleitung, wie in Abbildung 11 ersichtlich. Bei der Verwendung sollen die Küvetten Raumtemperatur haben. Vor der Probezugabe werden die Küvetten geschwenkt um den Bodensatz in Schwebelage zu bringen. Danach wird mit einer Kolbenhubpipette je nach Messbereich entweder 0,5 ml (bei LCK 014) oder 2 ml (bei LCK 514 und LCK 614) der Probe in das Glasröhrchen zugesetzt.

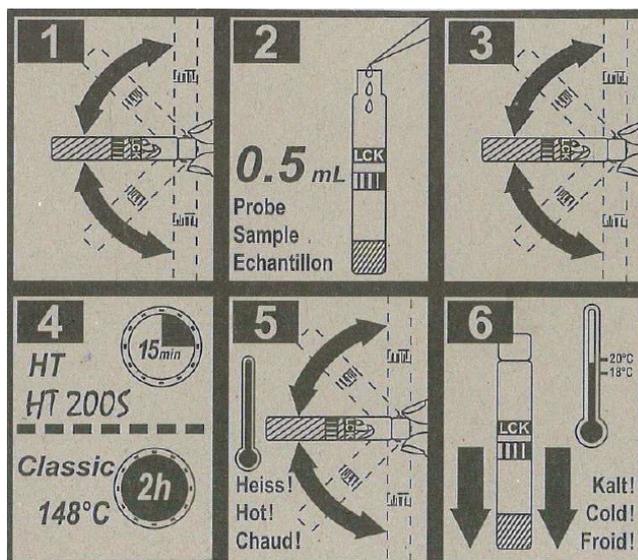


Abbildung 11: Kurzanleitung LCK 014 Küvettentests

Die verschlossene und von außen gut gesäuberte Küvette wird danach nochmalig geschwenkt und in das HT200S Hochtemperaturthermostat gesetzt. (Abbildung 12)

Danach kann entweder zwei Stunden lang bei 150 °C oder mit dem HT Programm, für schnellere Ergebnisse, bei 170°C aufgeschlossen werden.

Für die nachfolgenden Untersuchungen wurde immer das HT Programm gewählt, da dieses eine vollständige CSB-Analyse in 35 Minuten ermöglicht und so mehr Analysen durchgeführt werden konnten.



Abbildung 12: Hach Lange Thermostat HT 200 S während des Aufschlussprogrammes mit eingesetzten Küvetten

Nach dem Entnehmen der heißen Küvette wird diese erneut geschwenkt und danach auf Raumtemperatur abgekühlt. Um den Abkühlvorgang zu beschleunigen wurden die Proben mit dem Küvettenständer in den Kühlschrank gestellt.

Wichtig dabei ist, dass die Feststoffteilchen vor der Auswertung vollständig abgesetzt sind.

Nach nochmaligem Säubern kann die Küvette im vorkalibrierten Hach Lange Photometer, in Abbildung 13 ersichtlich, ausgewertet werden.

Prinzip der Messung

Oxidierbare Stoffe reagieren mit schwefelsaurer Kaliumdichromatlösung in Gegenwart von Silbersulfat als Katalysator. Chlorid wird mit Quecksilbersulfat maskiert. Ausgewertet wird die Grünfärbung des Cr^{3+} .



Abbildung 13: Photometer DR 3900 mit aufgeschlossenen Küvetten

Das Spektralphotometer DR 3900 besitzt ein Barcodeprogramm, d.h. sobald eine Küvette eingesetzt wird, erkennt das Gerät den Strichcode auf dem Etikett und misst automatisch den Parameter und den Messbereich. Dabei wird jede Probe gedreht und 10-fach gemessen um Ausreißer zu eliminieren. Des Weiteren berechnet das Photometer direkt das Ergebnis in mg/l und zeigt es am Display an.

Abbildung 14 zeigt den gesamten Versuchsaufbau mit Aufschlussgerät, Spektralphotometer, Küvetten und Proben im Labor.



Abbildung 14: Untersuchungsaufbau

4 Untersuchung der Prozesswasser in der ARA

Im Zeitraum von 31.05. – 22.06. 2016 wurde das Rohwasser der KM2 und KM3 sowie das an die Kartonmaschinen zurückgeführte Reinwasser auf ihren CSB-Gehalt untersucht.

Dabei wurde analysiert, wie die CSB-Gehalte der Prozesswässer schwanken, bzw. wie sich die Produktion von verschiedenen Kartonsorten auf die CSB-Fracht auswirkt.

4.1 Versuchsdurchführung

Geräte und Reagenzien

PE-Probenahmeflaschen, 2l, 250ml

Thermometer

Rundfilter Sartorius, Klasse hw3

Abnutschanlage

Wasserstrahlpumpe

Nutsche, Kunststoff 150 mm

2 Liter Absaugkolben

Hach Lange Kolbenhubpipette (0,1 – 1 ml)

Hach Lange Küvettentests LCK 014, Messbereich 1.000 – 10.000 mg/l CSB

Hach Lange Thermostat

Hach Lange Photometer

Die Probenahme der Prozesswasser erfolgte im Keller des Betriebsgebäudes der ARA (Abbildung 15).



Abbildung 15: Probenahmestelle ARA

Von jedem Prozesswasser wurde täglich um 08:30, 11:30 und um 14:30 je 2l Probe gezogen. Diese wurden zweimal geschwenkt und ein halber Liter filtriert. Das Filtrat wurde unverdünnt zur Untersuchung verwendet. Pro Probe wurden 3 Küvetten verwendet um evtl. Pipettierfehler zu minimieren. Aus den Ergebnissen wurde der Mittelwert berechnet.

Um die tatsächliche CSB -Fracht [kg/min] der einzelnen Rohwasser zu erhalten, wurde mit der entsprechenden Durchflussrate des Prozessleitsystems (PLS) gerechnet. (Formel 4-1)

$$\dot{m}_{CSB, Rohwasser} \left[\frac{kg}{min} \right] = \frac{\dot{V}_{(KM2, KM3)} \left[\frac{l}{min} \right] * \beta_{CSB, (KM2, KM3)} \left[\frac{mg}{l} \right]}{10^6} \quad \text{Formel 4-1}$$

\dot{m} = Massenstrom

\dot{V} = Volumenstrom

β = Massenkonzentration

Da das Reinwasser in einer Hauptleitung die ARA verlässt, wurde die Reinwasser-CSB-Fracht aus den einzelnen Mengenbezüge der Kartonmaschinen addiert und mit dem gemessenen CSB-Wert gerechnet. (Formel 4-2)

$$\dot{m}_{CSB, Reinwasser} \left[\frac{kg}{min} \right] = \frac{(\dot{V}_{KM2} + \dot{V}_{KM3}) \left[\frac{l}{min} \right] * \beta_{CSB, Reinwasser} \left[\frac{mg}{l} \right]}{10^6} \quad \text{Formel 4-2}$$

Der Volumenstrom wird als 15-minütiger Durchschnittswert aus der Datenbank des PLS berechnet.

Die folgenden Kapitel zeigen die Ergebnisse in Diagrammen, die einzelnen Datenwerte befinden sich im Anhang 1.

4.2 Ergebnisse

Rohwasser KM2

Diagramm 4-1 zeigt den Verlauf der Messungen. Betrachtet man die Konzentrationsmessungen über den gesamten Zeitraum so liegt der Maximalwert am 08. Juni um 11:30 bei 4963 mg/l und der Minimalwert am 11. Juni um 08:30 bei 3274 mg/l. Auffällig dabei ist, dass die Werte nur 3 Tage auseinanderliegen und dabei die gleiche Kartonsorte (MCM) produziert wurde.

Länger andauernde hohe Werte zeichneten sich während einer längeren Produktion der Sorte MCS im Zeitraum vom 19. – 21. Juni ab. Bezieht man nun die Zulaufvolumenströme in die Berechnung ein, so zeigt sich ein Maximum der CSB -Fracht wieder im Zeitraum um den 21. Juni, während der Produktion der Sorte MCS. Das Minimum der CSB – Fracht (18,28 kg/min) liegt am 22. Juni um 08:30 bei Produktion der Kartonsorte MCM.

Rohwasser KM3

Wird an der KM3 die Sorte MCM produziert, zeigen sich, in Diagramm 4-2 dargestellt, über einen längeren Zeitraum erhöhte CSB-Konzentrationen (4.-6. Juni) sowie um den 18.-19. Juni bei den Kartonsorten MCS und MCM. Das Minimum wird bei der Sorte TC am 09.06. erreicht.

Wird der Zulauf miteingerechnet wird ersichtlich, dass die CSB-Fracht im Zeitraum um den 14. Juni erhöht bleibt, wenn die Kartonsorte FB erzeugt wird. Dabei ist aber anzumerken, dass zu dieser Zeit die KM2 Reparaturstillstand hatte. Das Maximum wurde am 20. Juni um 08:30 bei der Produktion von MCM erreicht (45,1 kg/min). Die niedrigste CSB -Fracht wurde am 11. Juni um 14:30 während der Sorte FB hell erreicht (9,49 kg/min).

Ein Trend zu niederen CSB-Konzentrationen sowie CSB-Frachten kann im Zeitraum von 9.-11. Juni beobachtet werden, wenn die Kartonsorte TC erzeugt wird.

Vergleich Rohwasser KM2 zu KM3

Der Hauptunterschied liegt als erstes in den unterschiedlichen Volumenströmen der Kartonmaschinen. Während die KM2 im Durchschnitt einen Volumenstrom von 9425 l/min und ein Maximum von 13.435 l/min in die ARA liefert, kommt von der KM3 im Mittel nur 5208 l/min und 8692 l/min als Maximalwert. (Anhang 1, ausgenommen Stillstandszeit)

Des Weiteren ist zu sagen, dass die KM2 im Mittel mehr CSB-Fracht liefert (41,1 kg/min) als die KM3 (22,9 kg/min).

Vergleicht man jedoch die CSB-Konzentrationen der beiden Prozesswasser, ist zu sagen, dass die KM2 nie Konzentrationen von 5000 mg/l überschreitet (Diagramm 4-1), während die KM3 bei gewisser Sortenproduktion bis zu 5600 mg/l erreicht.

Im Durchschnitt gerechnet stellt sich bei beiden Rohwassern ein Mittelwert über 4000 mg/l ein. (KM2 4203 mg/l, KM3 4619 mg/l)

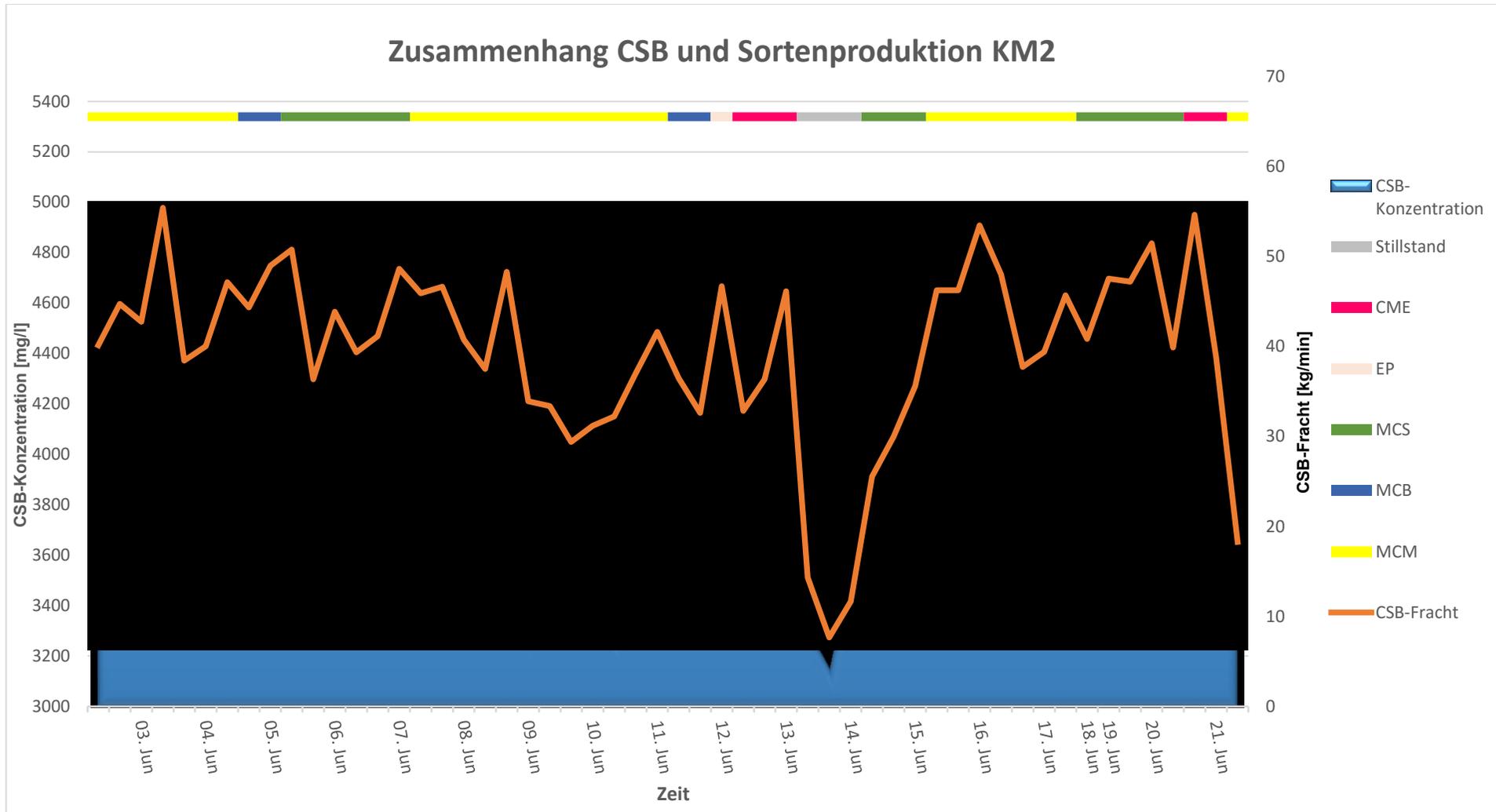


Diagramm 4-1: Untersuchungsergebnisse Rohwasser KM2

Zusammenhang CSB und Sortenproduktion KM3

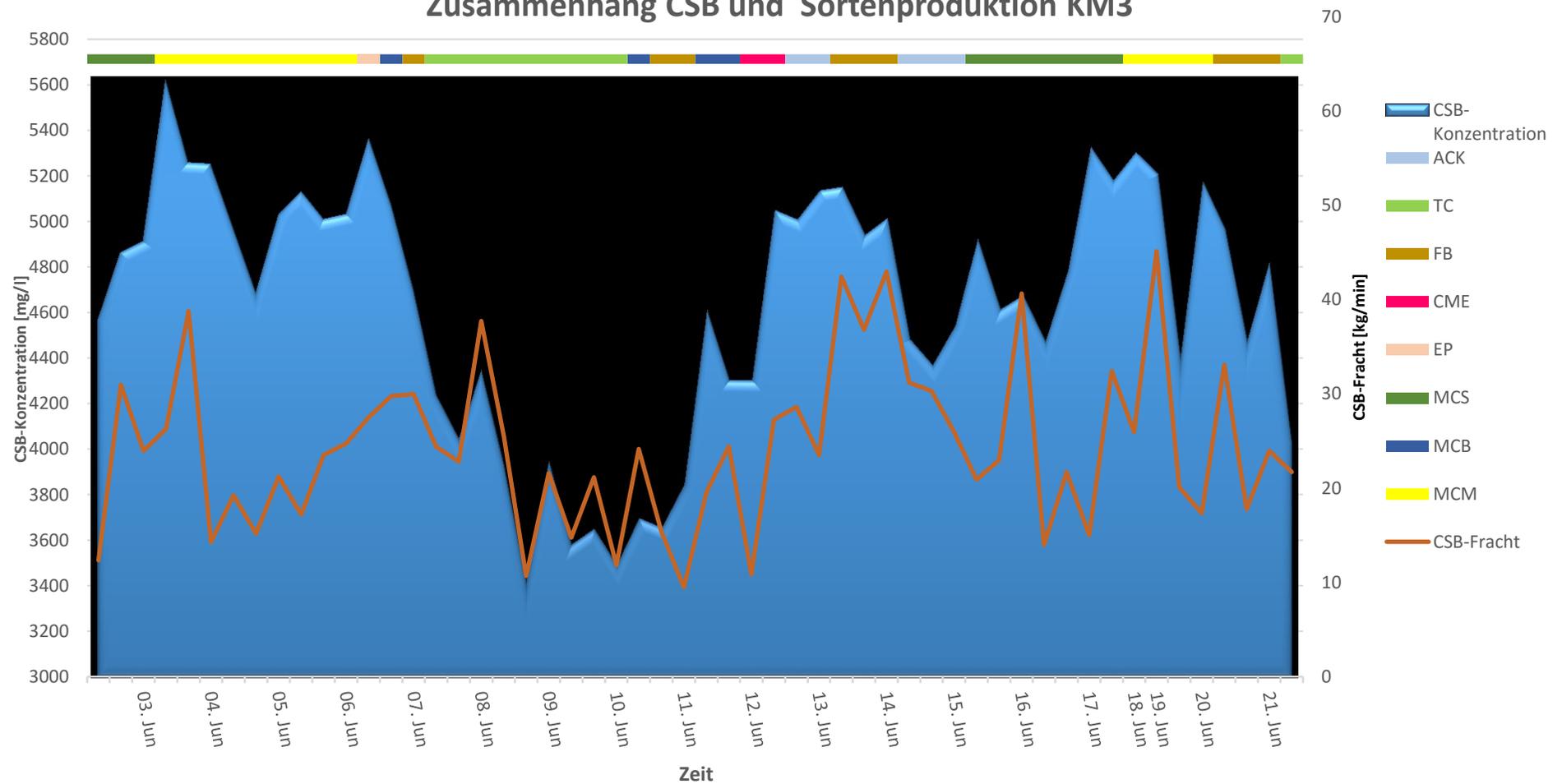


Diagramm 4-2: Untersuchungsergebnisse Rohwasser KM3

Reinwasser

Wie schon bei den Rohwasser KM2 Werten, zeichnen sich auch bei den Reinwasserwerten im Zeitraum um den 20. und 21. Juni erhöhte CSB-Konzentrationen und Frachten, während der Produktion von MCS an der KM2 und MCM an der KM3, ab (ersichtlich in Diagramm 4-3).

Das Maximum an CSB-Fracht wurde jedoch am 08. Juni um 08:30 während der Produktion von MCM und TC. Dabei ist anzumerken, dass zusätzlich auch der Reinwasserverbrauch der KM3 sein Maximum verzeichnet.

Die niedrigsten CSB Werte ergeben sich im Zeitraum des 10.- 11. Juni. In dieser Zeit erzeugte die KM2 MCM und die KM3 TC.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es keine eindeutige Zuordnung einer gewissen produzierten Kartonsorte für eine hohe CSB-Fracht möglich ist, sich aber gewisse Tendenzen, wie z.B. niedrige Frachten bei der Sorte TC, abzeichnen.

Vergleich der CSB-Konzentrationen und CSB-Frachten Rohwasser KM2 und KM3 zu Reinwasser

Wie in Diagramm 4-4 erkennbar, gibt es nur geringe Unterschiede zwischen den CSB-Konzentrationen von Rohwasser KM2 und dem rückgeführten Reinwasser. Grund dafür ist die Tatsache, dass die KM2 im Durchschnitt mehr Rohwasser in die ARA liefert (9783 l/min) als die KM3 (5208 l/min). Der Mittelwert der beiden Prozesswasser zeigt nur eine Differenz von 11 mg/l bei der CSB-Konzentration. Beim Vergleich des Rohwassers KM3 zu Reinwasser ergibt sich beim Mittelwert ein Unterschied von 447 mg/l.

Wird mit der Fracht gerechnet erkennt man, in Diagramm 4-5 dargestellt, dass die CSB-Fracht der KM3 deutlich unter der Fracht vom Reinwasser liegt. Während der Mittelwert der CSB-Fracht des Prozesswassers KM3 24,3 kg/min beträgt, stellt sich beim Mittelwert des Reinwassers ein Wert von 38,3 kg/min ein, der annähernd dem Mittelwert der CSB-Fracht KM2 entspricht (41,1 kg/min).

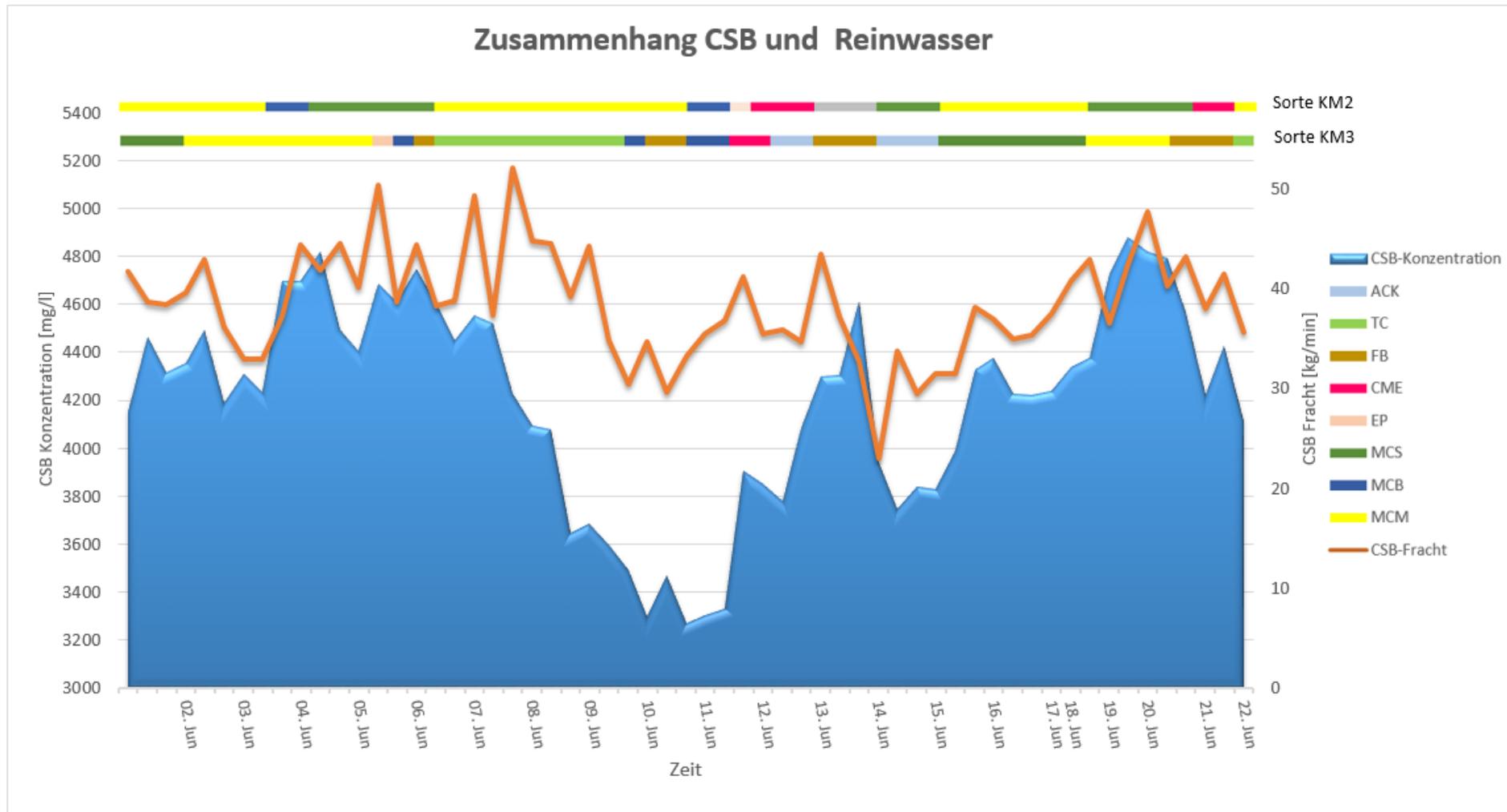


Diagramm 4-3: Untersuchungsergebnisse Reinwasser

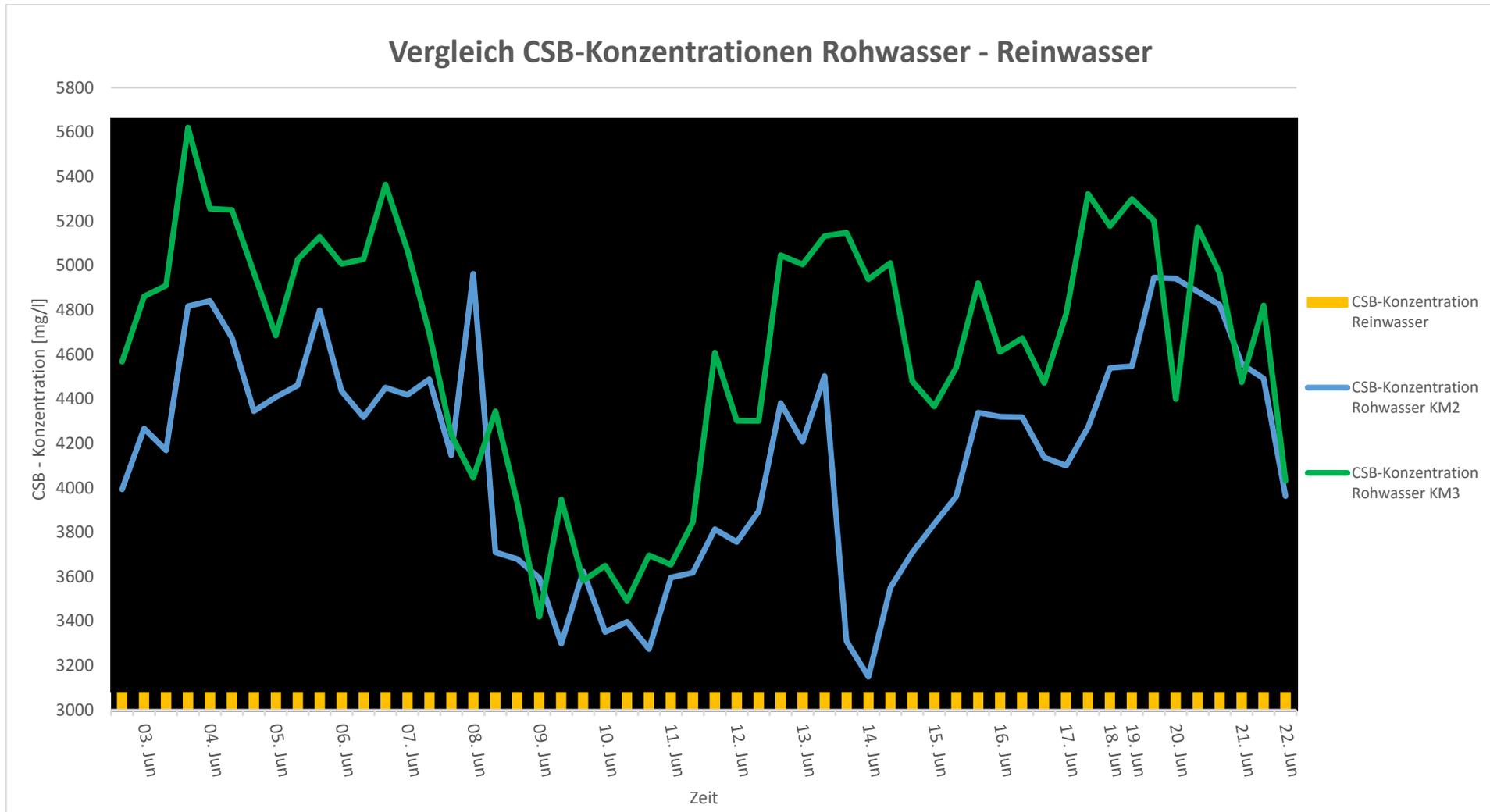


Diagramm 4-4: Vergleich der CSB-Konzentrationen Rohwasser und Reinwasser

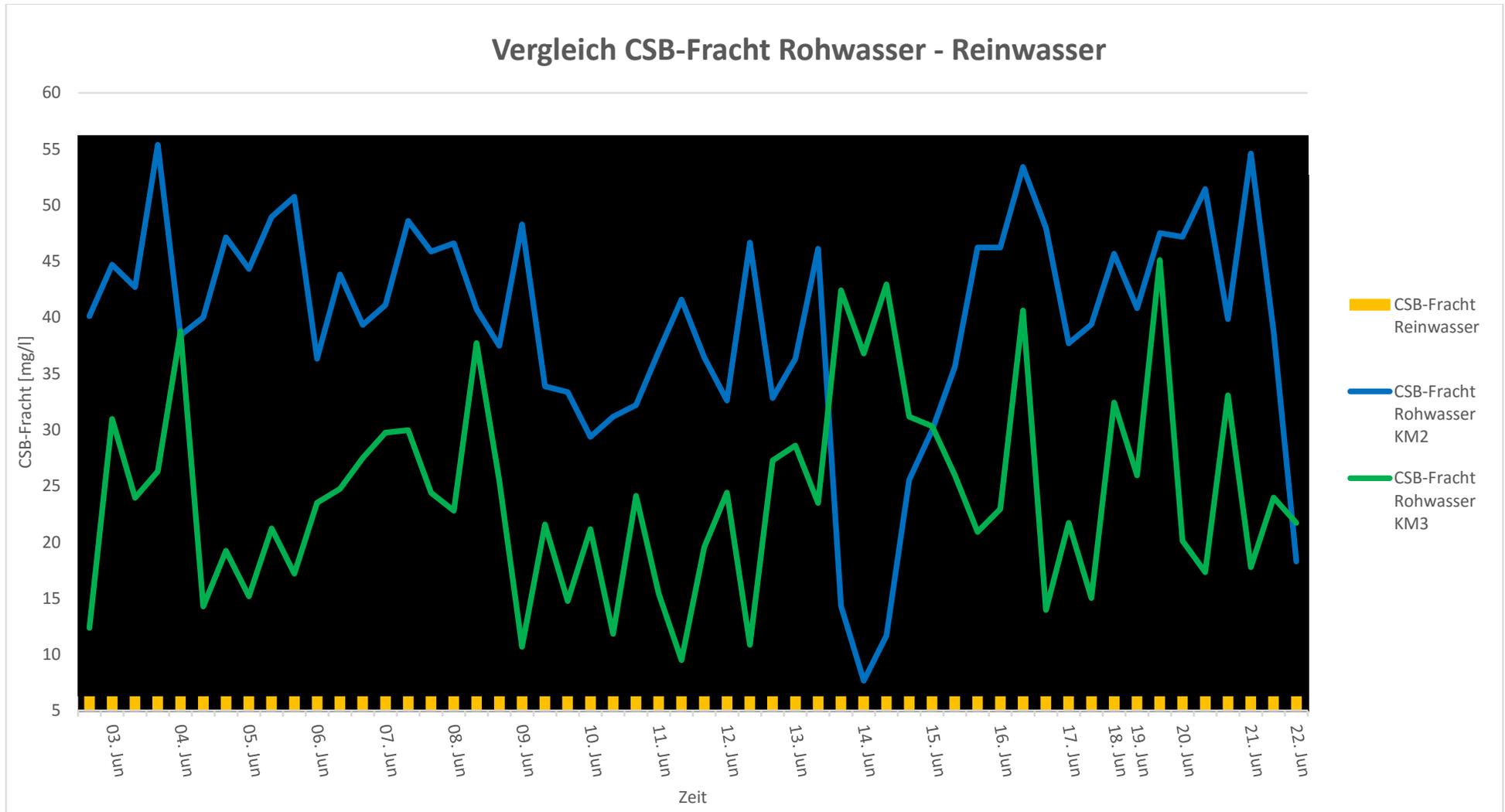


Diagramm 4-5: Vergleich der CSB- Frachten Rohwasser und Reinwasser

5 Untersuchungen von Altpapiersorten im Labor

Im Kapitel 5 wird das Auflöseverhalten einiger Altpapiersorten untersucht. Bevor die Hauptauflöseversuche im Pulper 9 an der KM2 durchgeführt werden konnten, wurden im Zeitraum vom 30.06.-16.07.2016 in einem Aufschlaggerät im Nasslabor der KM3 Laborversuche im kleinen Maßstab durchgeführt. Dabei wurden unterschiedliche Auflöseseiten und Einwirkzeiten analysiert um den Einfluss der Zeit auf die Löslichkeit des CSB zu erkennen. Die Sortenbezeichnungen wurden aus der DIN EN 643 [13] entnommen. Die Auswahl der Altpapiersorten erfolgte direkt am Altpapierlagerplatz Nord und Ost am Betriebsgelände der Mayr-Melnhof Karton GmbH.

Durch das kleine Volumen des „Labor-Pulpers“ (Abbildung 16) wurden Altpapiersorten gewählt, die in ihrer Zusammensetzung sehr homogen sind, um eine repräsentative Probenahme sowie Ergebnisse zu ermöglichen.

5.1 Versuchsdurchführung

Geräte und Reagenzien

Trockenschrank, Heraeus T5042

Präzisionswaage, Mettler PM480 DeltaRange

PE-Probenahmeflaschen mit unterschiedlichen Volumina

Thermometer

Aufschlaggerät, Fa. Ernst Haage Apparatebau GmbH&Co KG, Mülheim a.d.Ruhr

Filter Sartorius Klasse 3hw

Abnutschanlage

Wasserstrahlpumpe

Nutsche, Keramik 150 m

2 Liter Absaugkolben

Magnetrührer, IKA RCT Standard

Magnetstäbchen

Becherglas 3l

Hach Lange Kolbenhubpipette (0,1 – 1 ml)

Hach Lange Küvettentests LCK 614, Messbereich 50 – 300 mg/l CSB

Hach Lange Küvettentests LCK 514, Messbereich 100 – 2.000 mg/l CSB

Hach Lange Küvettentests LCK 014, Messbereich 1.000 – 10.000 mg/l CSB

Hach Lange Thermostat

Hach Lange Photometer



Abbildung 16: Aufschlaggerät im leeren und befüllten Zustand

Vor den Aufschlagversuchen wurde die jeweilige Altpapierprobe bei 105°C in den Trockenschrank gegeben und bis zur Gewichtskonstanz getrocknet um eine „ofentrockene“ (oto) Einwaage durchzuführen.

80 g Altpapier wurden jeweils abgewogen, zerkleinert und je nach Versuch mit 2l Reinwasser oder Frischwasser in den Behälter des Gerätes gefüllt. Aus diesem Eintrag ergibt sich eine Stoffdichte von 4%, die wie folgt, laut Formel 5-1, berechnet wurde:

$$C [\%] = \frac{80 \text{ g}}{2000 \text{ ml}} * 100$$

Formel 5-1

Um direkte Vergleiche zwischen dem Auflösungsverhalten mit Reinwasser(RW) und Frischwasser(FW) bei gleicher Temperatur ziehen zu können wurde diese bei jeder Probe gemessen.

Das Reinwasser wurde im Keller der KM3 einer Hauptleitung entnommen.

Das Frischwasser wurde direkt vom Leitungswasserhahn im Nasslabor KM3 abgefüllt. Mit dem Magnetrührer wurde es auf die benötigte gleiche Temperatur des RW erwärmt, wie in Abbildung 17 ersichtlich.



Abbildung 17: Temperierung des Frischwassers

Die Auflösezeit variierte von 5 bis 20 min und konnte am Bedienpanel des Aufschlaggerätes eingestellt werden.

Um danach die Einwirkzeit zu simulieren wurden die aufgelösten Proben in 2l PE Probeflaschen abgefüllt und bei Raumtemperatur im Labor abgestellt (5 bis 20 min).

Mit der Abnutschanlage wurde die Probe danach zur Untersuchung abfiltriert. Aus dem Absaugkolben wurde jeweils eine Menge von 250ml entnommen und unverdünnt in die Küvetten zur CSB-Bestimmung pipettiert. Für jede Probe wurden Doppelbestimmungen vorgenommen und aus dem Ergebnis der Mittelwert berechnet. Zur Bestimmung der CSB Belastung des Reinwassers wurden ebenfalls Doppelbeprobungen durchgeführt.

Die CSB Belastung des Frischwassers wurde als =0 angenommen.

Zur Berechnung des gelösten Δ CSB wurde die Vorbelastung des Reinwassers bzw. Frischwasser vom Messergebnis der Probe abgezogen.

5.2 Ergebnisse

Sorte 3.18.01: „weiße, ungestrichene Späne, unbedruckt, holzfrei“, als Rolle angeliefert



Abbildung 18: Sorte 3.18.01 in Rollenform

Am 30. 06. wurden die Proben der Altpapiersorte 3.18.01 (Abbildung 18) mit Reinwasser analysiert. Dafür wurden die Küvettentests der Kategorie LCK 014 verwendet. Am 05.07. wurde die Altpapierprobe mit Frischwasser aufgelöst. Es wurden LCK 514 Küvetten gewählt. Tabelle 3 zeigt die zusammengefassten Ergebnisse.

Tabelle 3: Untersuchungsergebnisse 3.18.01 mit RW und FW

ohne Einwirkzeit		RW	FW
Temperatur [°C]	Auflösezeit [min]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
45	5	931	857
44	10	973	1000
42	20	1009	1032
5 min Einwirkzeit		RW	FW
Temperatur [°C]	Auflösezeit [min]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
45	5	1005	926
44	10	1059	1009
42	20	1045	1043
10 min Einwirkzeit		RW	FW
Temperatur [°C]	Auflösezeit [min]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
46	5	1130	970
44	10	1132	1000
40	20	1136	1004
20 min Einwirkzeit		RW	FW
Temperatur [°C]	Auflösezeit [min]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
46	5	1220	1004
45	10	1255	1005
41	20	1282	1016

Im Diagramm 5-1 werden die Ergebnisse mit Reinwasser bei verschiedenen Einwirkzeiten dargestellt.

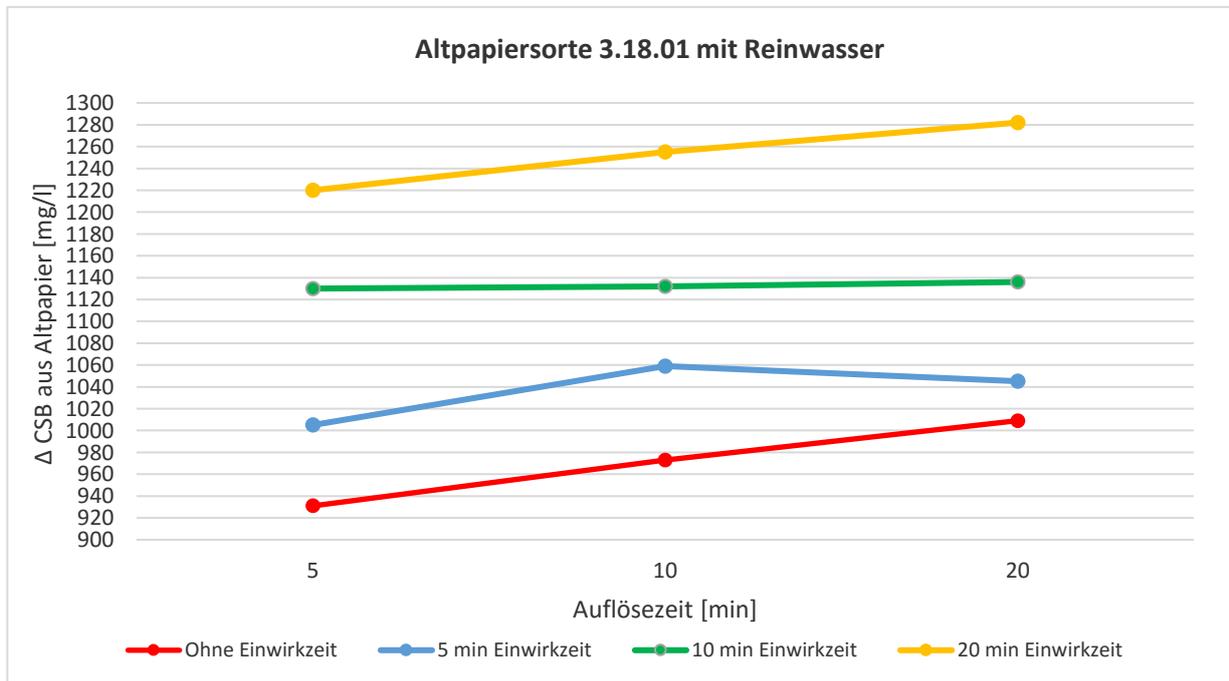


Diagramm 5-1: Auflöseversuch 3.18.01 mit RW

Wie in Diagramm 5-1 klar ersichtlich, hat die Einwirkzeit den größeren Einfluss auf die Löslichkeit des CSB aus dem Altpapier. Je länger die Einwirkzeit, desto mehr CSB wird aus dem AP gelöst. Während die Versuche ohne Einwirkzeit sich in einem CSB-Bereich unter 1000 mg/l befinden, steigen die Ergebnisse nach 20 min Einwirkzeit bis auf maximal 1282 mg/l an. Bei den verschiedenen Auflösezeiten, gibt es wenig Anstieg der CSB-Konzentration. Den höchsten Unterschied zwischen 5 und 20 min Auflösezeit gibt es bei den Proben ohne Einwirkzeit (78 mg/l) den geringsten bei 10 min Einwirkzeit (6mg/l).

Im Diagramm 5-2 werden die Ergebnisse mit Frischwasser bei verschiedenen Einwirkzeiten dargestellt.

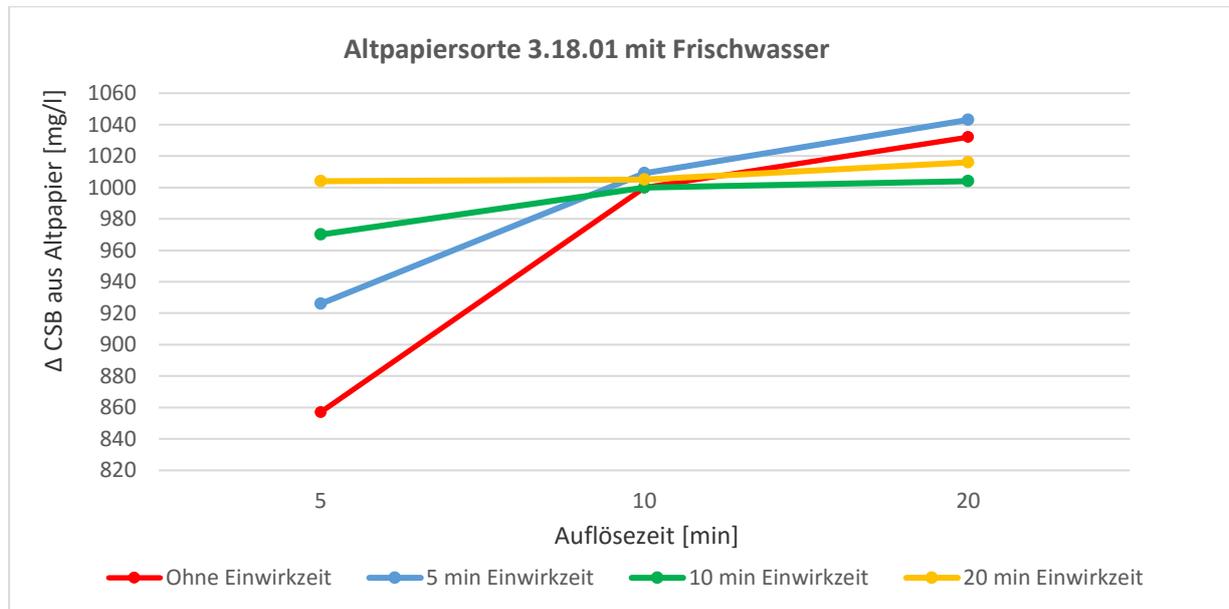


Diagramm 5-2: Auflöseversuch 3.18.01 mit FW

Bei der Versuchsreihe mit Frischwasser in Diagramm 5-2 erkennt man, dass die Auflösezeit einen größeren Einfluss auf das CSB hat als wie die Einwirkzeit. Bei 5 min Auflösezeit erkennt man die größten Differenzen während sich bei zunehmender Auflösezeit recht ähnliche CSB-Konzentrationen einstellen. Man sieht, dass das meiste CSB zwischen 5 und 10 min Auflösezeit ohne Einwirkzeit gelöst wird.

Den wenigsten Einfluss scheint die Auflösezeit auf die Probe mit 20 min Einwirkzeit zu haben. Hier gibt es eine Differenz von 12 mg/l zwischen 5 und 20 min Einwirkzeit.

Die Diagramme 5-3 bis 5-6 zeigen den Unterschied der Löslichkeit des CSB in RW und FW zu gewissen Einwirkzeiten.

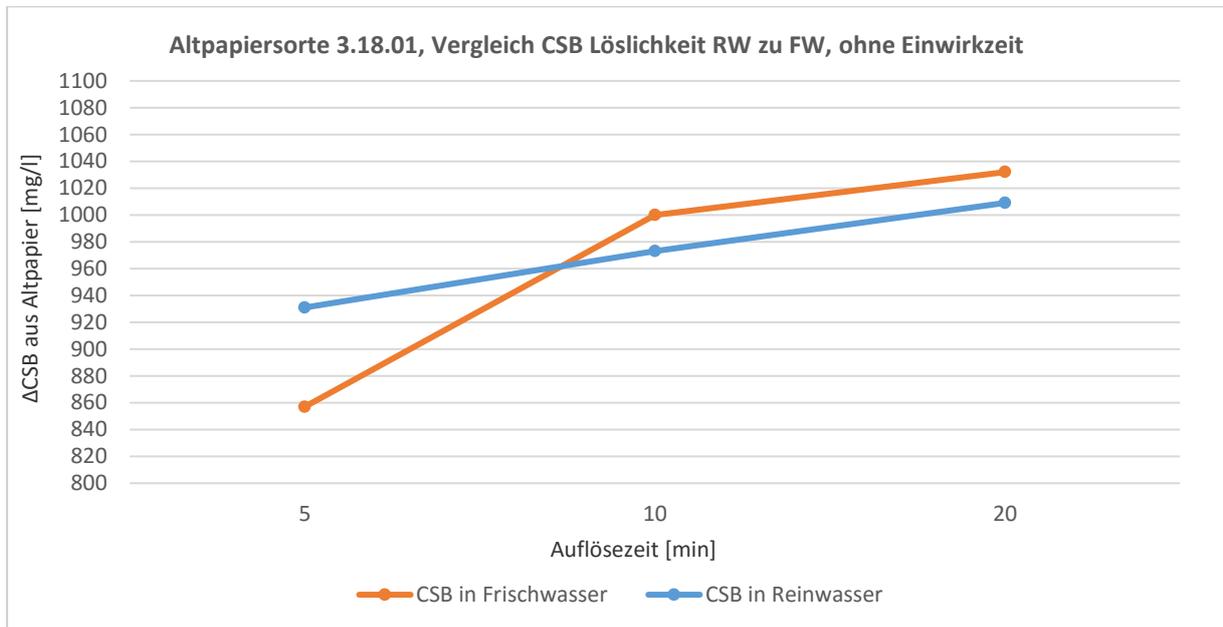


Diagramm 5-3: Vergleich ohne Einwirkzeit

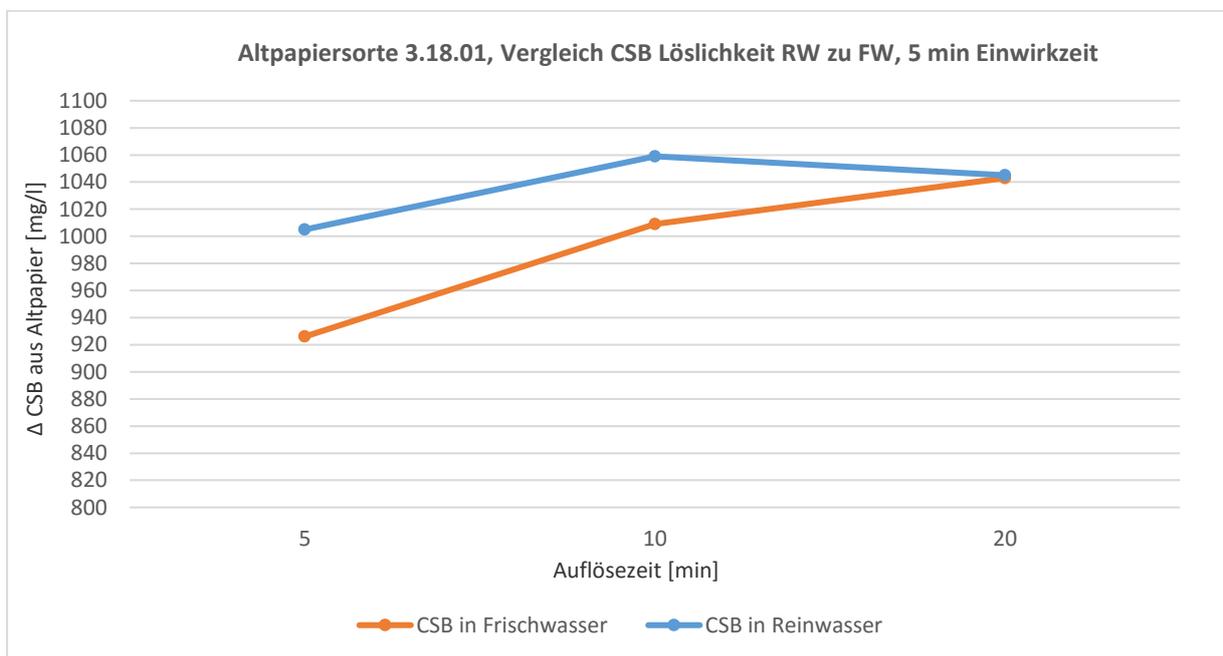


Diagramm 5-4: Vergleich 5 min Einwirkzeit

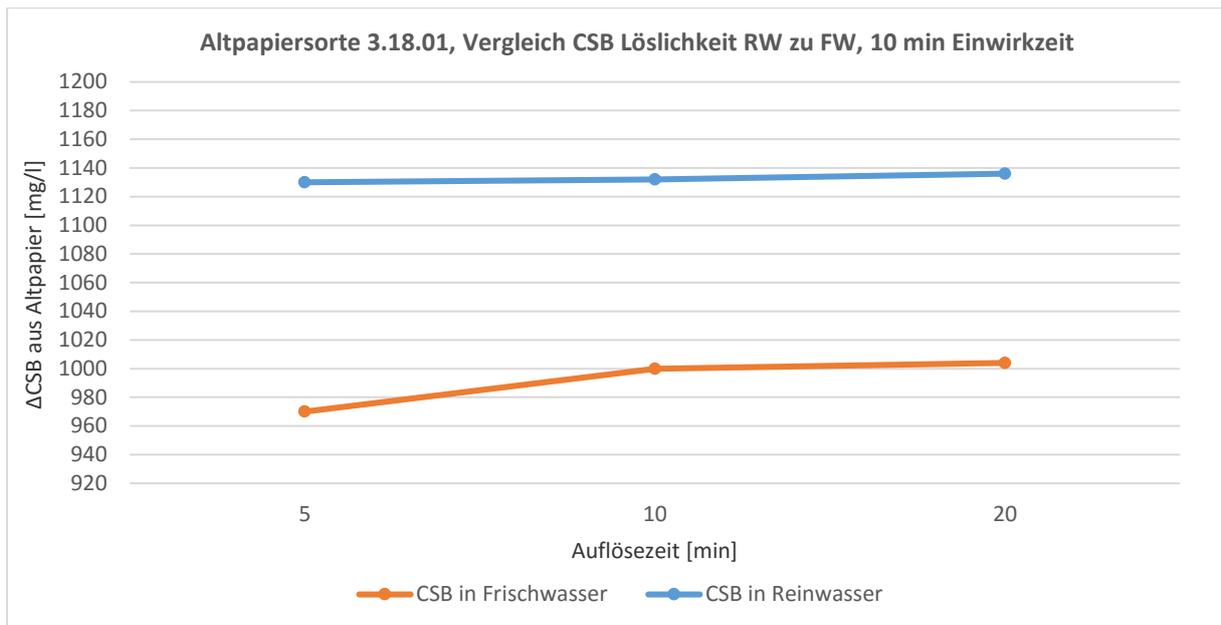


Diagramm 5-5: Vergleich 10 min Einwirkzeit

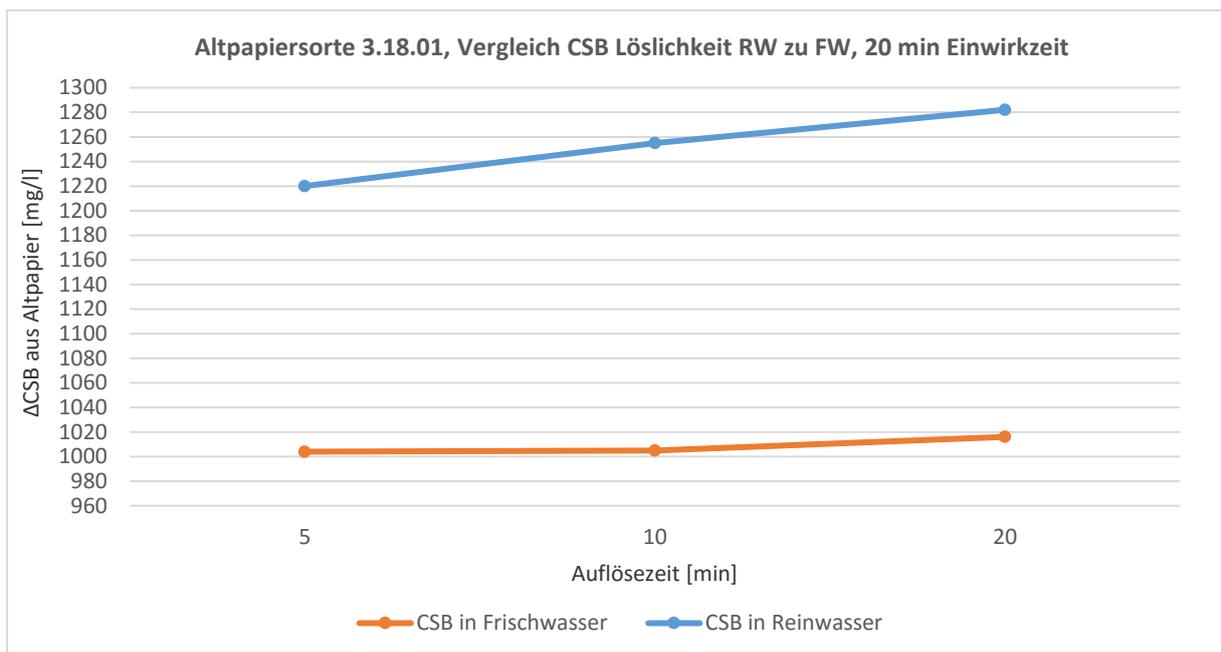


Diagramm 5-6 : Vergleich 20 min Einwirkzeit

Aus den Diagramm 5-3 bis Diagramm 5-6 geht eindeutig hervor, dass die Differenz zwischen der Löslichkeit des CSB in RW und FW mit zunehmender Einwirkzeit immer größer wird. Während die Frischwasser-Werte nur um maximal 175 mg/l schwanken, treten bei den Reinwasser-Versuchen Schwankungen von bis zu 351 mg/l auf.

Sorte: 4.01.00 „unbenützte Pappe und Späne aus Wellpappe“

Abbildung 19: Sorte 4.01.00 in Ballenform

Am 07.07. wurden Stichproben eines Ballens der Sorte 4.01.00 (Abbildung 19) der Laboruntersuchung mit Reinwasser unterzogen. Dabei wurden Küvetten der Klasse LCK 014 verwendet. Die Analysen mit Frischwasser wurden am 08.07. durchgeführt. Dabei wurden die Küvetten LCK514 verwendet. Die Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle 4.

Tabelle 4: Untersuchungsergebnisse 4.01.00 mit RW und FW

ohne Einwirkzeit		RW	FW
Temperatur [°C]	Auflösezeit [min]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
44	5	676	1084
42	10	757	1168
41	20	1081	1439
5 min Einwirkzeit		RW	FW
Temperatur [°C]	Auflösezeit [min]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
42	5	685	1026
44	10	715	1160
41	20	1047	1417
10 min Einwirkzeit		RW	FW
Temperatur [°C]	Auflösezeit [min]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
42	5	663	1020
41	10	819	1117
43	20	987	1443
20 min Einwirkzeit		RW	FW
Temperatur [°C]	Auflösezeit [min]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
44	5	671	1082
41	10	735	1151
43	20	960	1481

Im Diagramm 5-7 werden die Ergebnisse mit Reinwasser bei verschiedenen Einwirkzeiten dargestellt.

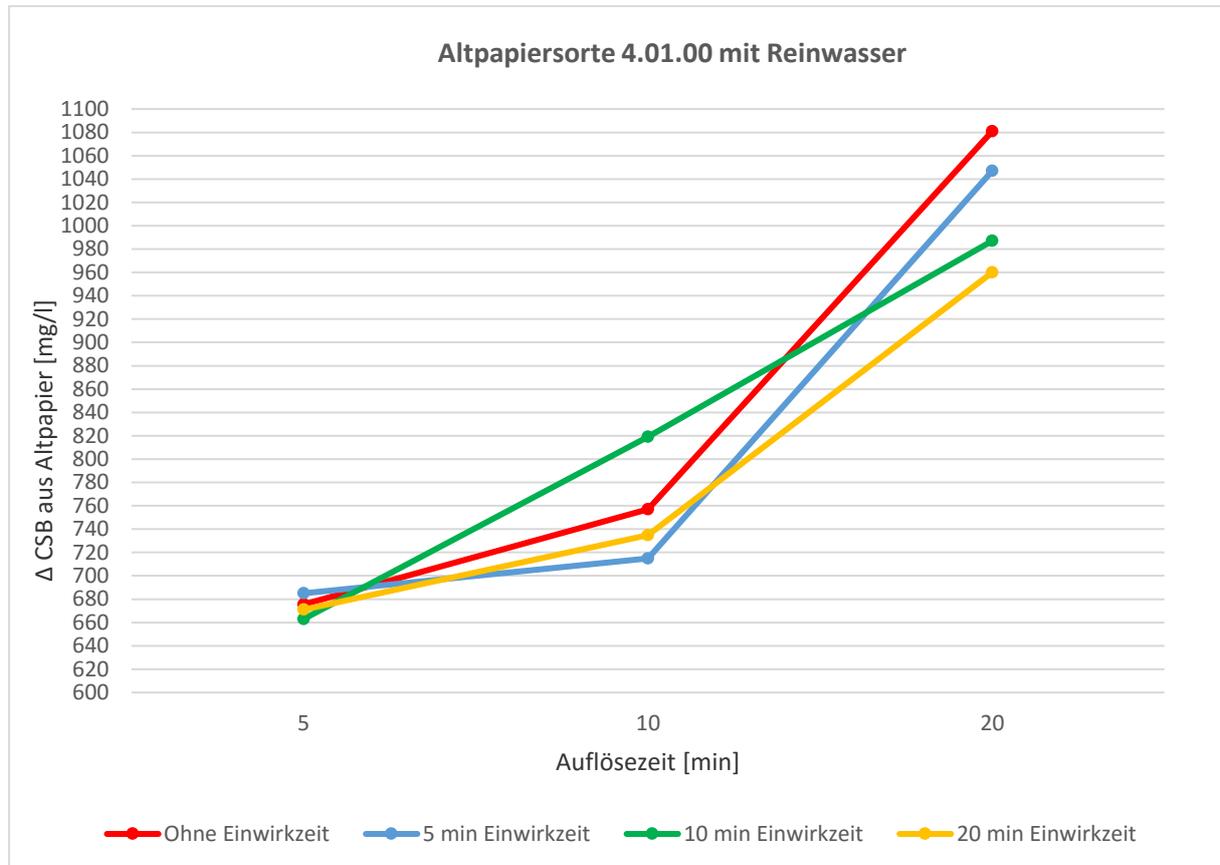


Diagramm 5-7: Auflöseversuch 4.01.00 mit RW

In Diagramm 5-7 erkennt man, dass Auflösezeit von 10 auf 20 min die Lösung des CSB stark positiv beeinflusst. Hier wird bei allen Einwirkzeiten das meiste CSB gelöst. Zwischen 10 und 20 min Auflösezeit wird bei einer Einwirkzeit von 5 die meiste Steigerung in der Löslichkeit verzeichnet (332 mg/l). Interessanterweise wird beim Auflösen ohne Einwirkzeit am meisten CSB über die Auflösezeit von 5 auf 20 min gelöst (405 mg/l). Mit zunehmender Einwirkzeit nimmt die CSB-Konzentration ab. Evident in diesem Diagramm ist die Tatsache, dass beim Auflösen mit Reinwasser die Einwirkzeit weniger Einfluss hat als die Auflösezeit.

Im Diagramm 5-8 werden die Ergebnisse mit Frischwasser bei verschiedenen Einwirkzeiten dargestellt.

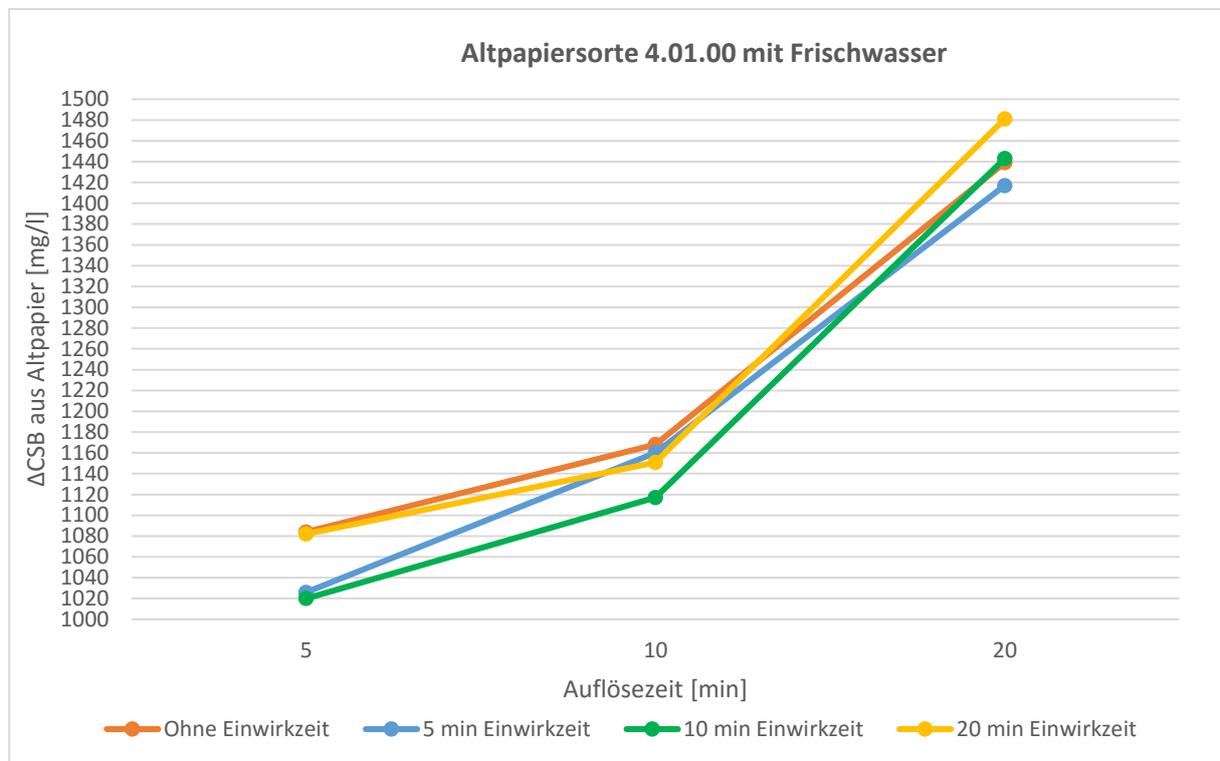


Diagramm 5-8: Auflöseversuch 4.01.00 mit FW

Gleich wie beim Auflöseversuch mit Reinwasser zeigt sich auch beim Auflösen mit Frischwasser in Diagramm 5-8, dass die Erhöhung der Auflösezeit von 10 auf 20 min die Lösung des CSB fördert. Bei einer Einwirkzeit von 10 min löst sich zwischen 5 und 20 min Auflösezeit das meiste CSB (423 mg/l). Die größte Steigung von 330 mg/l bei der CSB-Konzentration ergibt sich bei 20 min Einwirkzeit und zwischen 10 und 20 min Auflösezeit. Da die Werte bei den verschiedenen Einwirkzeiten dicht beieinanderliegen, kann man auch bei den Auflöseversuchen mit FW behaupten, dass die Einwirkzeit bei dieser Altpapiersorte wenig Einfluss hat.

Das Diagramm 5-9 zeigt den Unterschied zwischen dem Auflösen in Reinwasser und dem Auflösen in Frischwasser bei allen Einwirkzeiten.

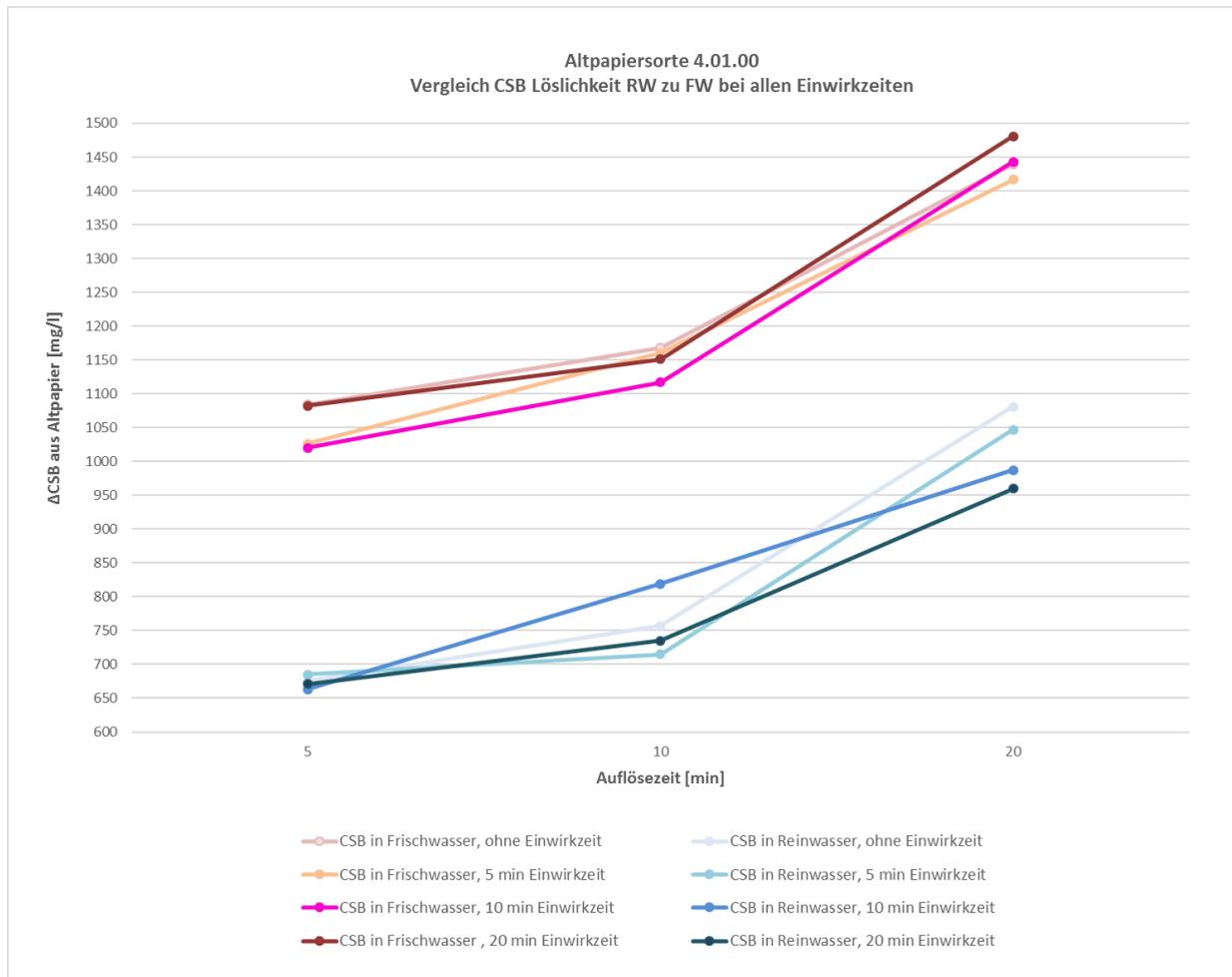


Diagramm 5-9: Vergleich RW zu FW, alle Einwirkzeiten

Aus dem Diagramm 5-9 wird ersichtlich, dass die Sorte 4.01.00 das gleiche Löseverhalten des CSB in RW wie in FW aufzeigt, jedoch mit einer Differenz von ca. 300 – 400 mg/l. Der höchste Unterschied zwischen FW und RW ergibt sich bei 20 min Auflösezeit und 20 min Einwirkzeit.

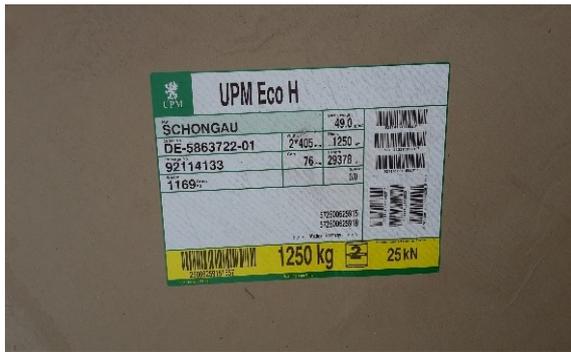
Sorte 3.15.01 „weißes Papier, holzhaltig, unbedruckt, gestrichen“, als Rolle angeliefert

Abbildung 20: Sorte 3.15.01 in Rollenform

Am 13.07. wurde die Altpapiersorte 3.15.01 (Abbildung 20) mit Reinwasser aufgelöst. Es wurden die Küvettentests der Kategorie LCK 014 verwendet. Am 14.07. wurde die Proben mit FW aufgelöst. Aufgrund der Versuche mit RW, wurden die Küvettentests der Kategorie LCK 614 gewählt, da davon ausgegangen wurde, dass sich wenig CSB im Altpapier lösen wird. Diese Vermutung bestätigt sich, wie man in Tabelle 5 und Diagramm 5-15 sehen kann.

Tabelle 5: Untersuchungsergebnisse 3.15.01 mit RW, RW 2 und FW

ohne Einwirkzeit		RW	RW 2	FW
Temperatur [°C]	Auflösezeit [min]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
44	5	-314	-254	68
42	10	-304	-163	85
41	20	-166	-147	90
5 min Einwirkzeit		RW	RW 2	FW
Temperatur [°C]	Auflösezeit [min]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
42	5	-354	-231	81
44	10	-314	-197	84
41	20	-164	-111	91
10 min Einwirkzeit		RW	RW 2	FW
Temperatur [°C]	Auflösezeit [min]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
42	5	-247	-211	63
41	10	-237	-162	66
43	20	-236	-159	69
20 min Einwirkzeit		RW	RW 2	FW
Temperatur [°C]	Auflösezeit [min]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
44	5	-174	-177	79
41	10	-179	-146	88
43	20	-194	-165	96

Im Diagramm 5-10 werden die Ergebnisse mit Reinwasser bei verschiedenen Einwirkzeiten dargestellt.

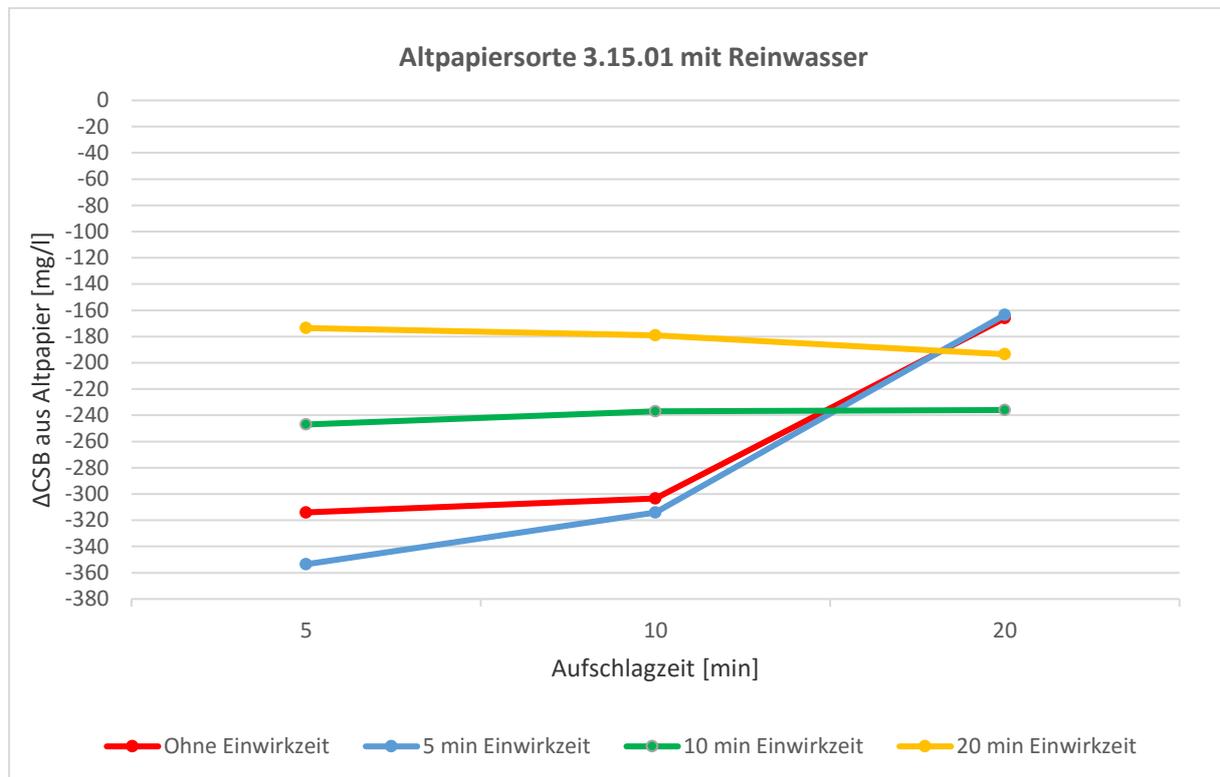


Diagramm 5-10: Auflöseversuch 3.15.01 mit RW

Wie man in Tabelle 5 und Diagramm 5-10 sofort erkennen kann, verhält sich diese Altpapiersorte beim Auflösen in RW ganz anders als die Sorten 3.18.01 und 4.01.00. Während diese Sorten ein CSB lösen, fällt das berechnete ΔCSB bei den Versuchen mit 3.15.01 in den Minusbereich bzw. die Konzentration des CSB im Reinwasser gesenkt. Da es sich um eine Stichprobe aus einer ganzen Altpapier-Rolle handelte, kam der Verdacht auf, dass es sich um einen Messfehler, bzw. Fehler in der Methodik der Probenahme oder des Aufschlagversuches handeln könnte. Aus diesem Grund wurde der Versuch am 16.07. wiederholt. Die Ergebnisse sind als RW2 in Tabelle 5 und in Diagramm 5-11 dargestellt.

Im Diagramm 5-10 wird deutlich, dass die Auflösezeit nur bei den Versuchen ohne Einwirkzeit und 5 min Einwirkzeit einen Einfluss auf das Löseverhalten hat. Mit zunehmender Auflösezeit steigen die CSB Werte wieder an. Zwischen den Auflösezeiten 5 und 10 min gibt es kaum eine Änderung der CSB Werte. Die Einwirkzeiten 10 und 20 min haben die höchsten CSB Werte und schwanken nur gering.

Diagramm 5-11 stellt die Ergebnisse der 2. Versuchsreihe mit Reinwasser dar.

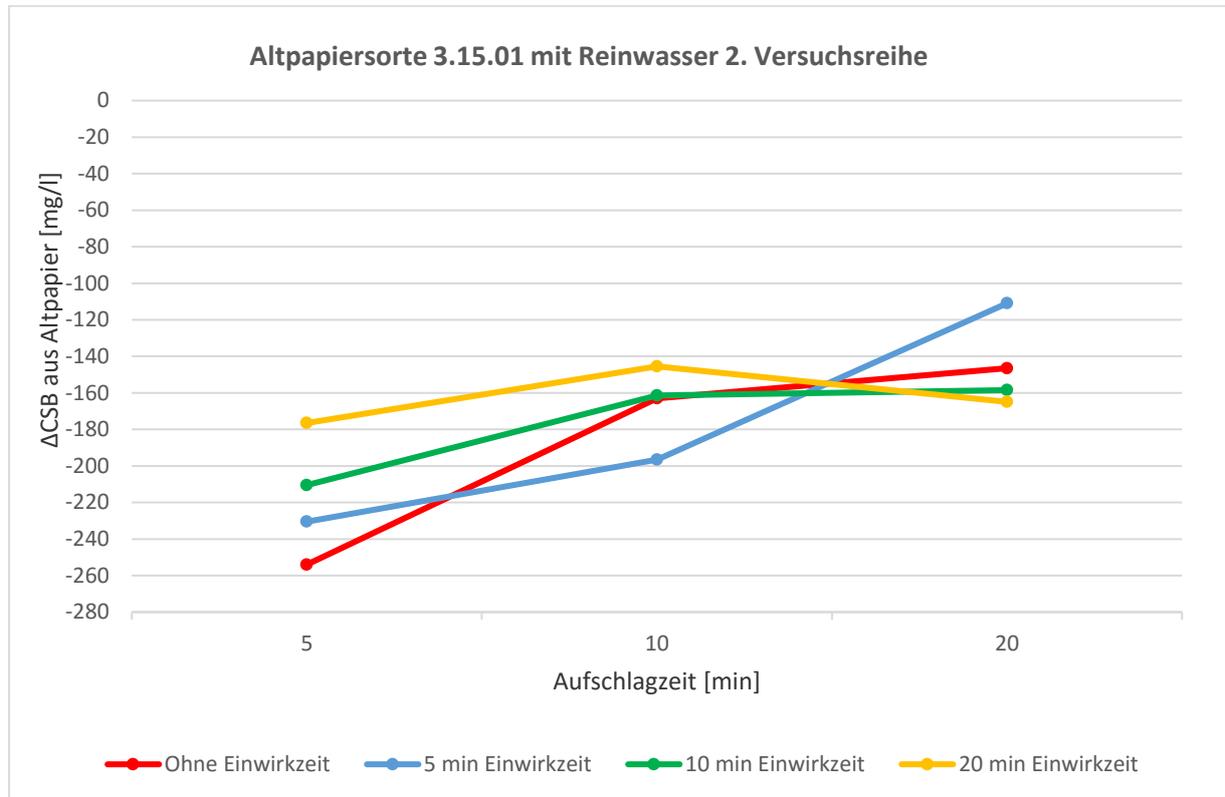


Diagramm 5-11: 2. Auflöseversuch 3.15.01 mit RW

Auch im 2. Versuch, dargestellt in Diagramm 5-11, wird deutlich, dass diese Altpapiersorte sich beim Auflösen anscheinend so verhält, dass CSB gebunden und nicht gelöst wird. Damit wurde bestätigt, dass es sich nicht um einen Fehler handelt. Auch bei dieser Auswertung ergeben sich mit zunehmender Einwirkzeit, durchschnittlich die höchsten Δ CSB Werte.

Im Diagramm 5-12 werden die Ergebnisse mit Frischwasser bei verschiedenen Einwirkzeiten dargestellt.

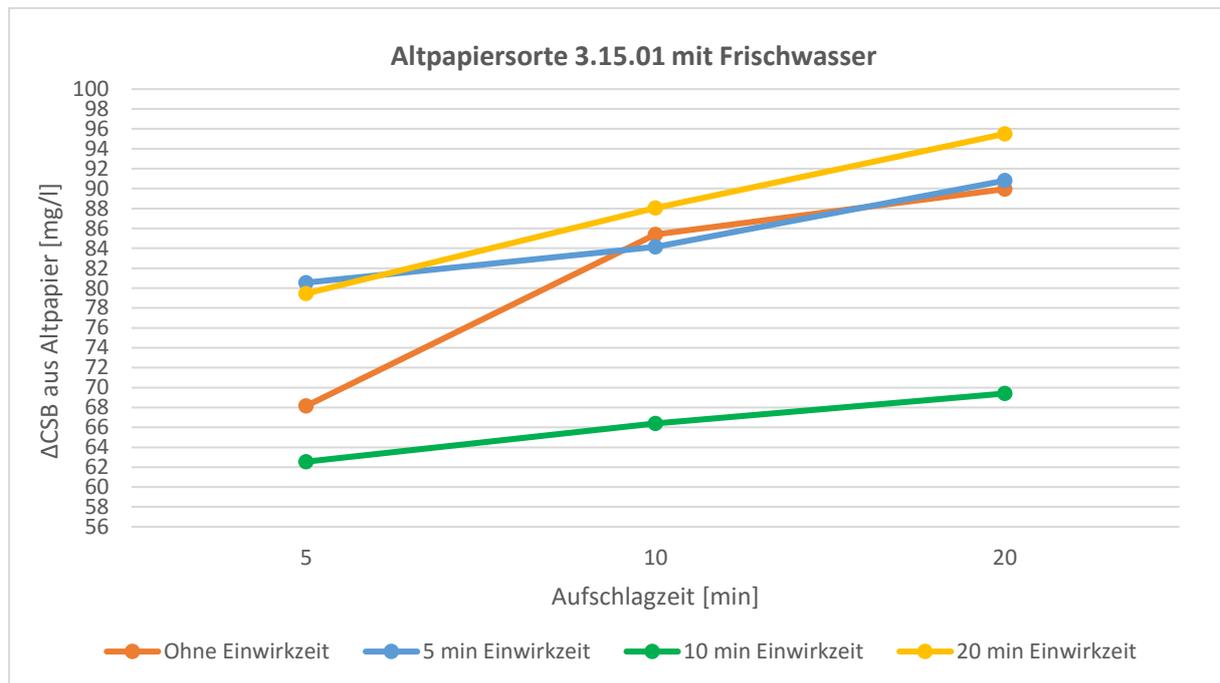


Diagramm 5-12: Auflöseversuch 3.15.01 mit FW

Im Diagramm 5-12 erkennbar, löst sich bei den Auflöseversuchen mit Frischwasser nur wenig CSB. Dies liegt vermutlich daran, dass diese Altpapiersorte wenig CSB in sich trägt. Der maximale Wert ergibt sich nach 20 Minuten Auflösezeit und 20 Minuten Einwirkzeit und liegt unter 100 mg/l CSB.

Des Weiteren erkennt man, dass sich die Probe mit 10 min Einwirkzeit anders verhält, als die restlichen aufgelösten Proben. Es wird weniger CSB gelöst. Aufgrund der geringen Abweichung kann aber ein Pipettierfehler o.Ä. nicht ausgeschlossen werden.

Das Diagramm 5-13 zeigen den Unterschied der Löslichkeit des CSB in RW und FW bei allen Einwirkzeiten. Es wurden die Ergebnisse der beiden Reinwasseruntersuchungen als Mittelwert gerechnet und mit den Ergebnissen des Auflöseversuches mit FW verglichen.

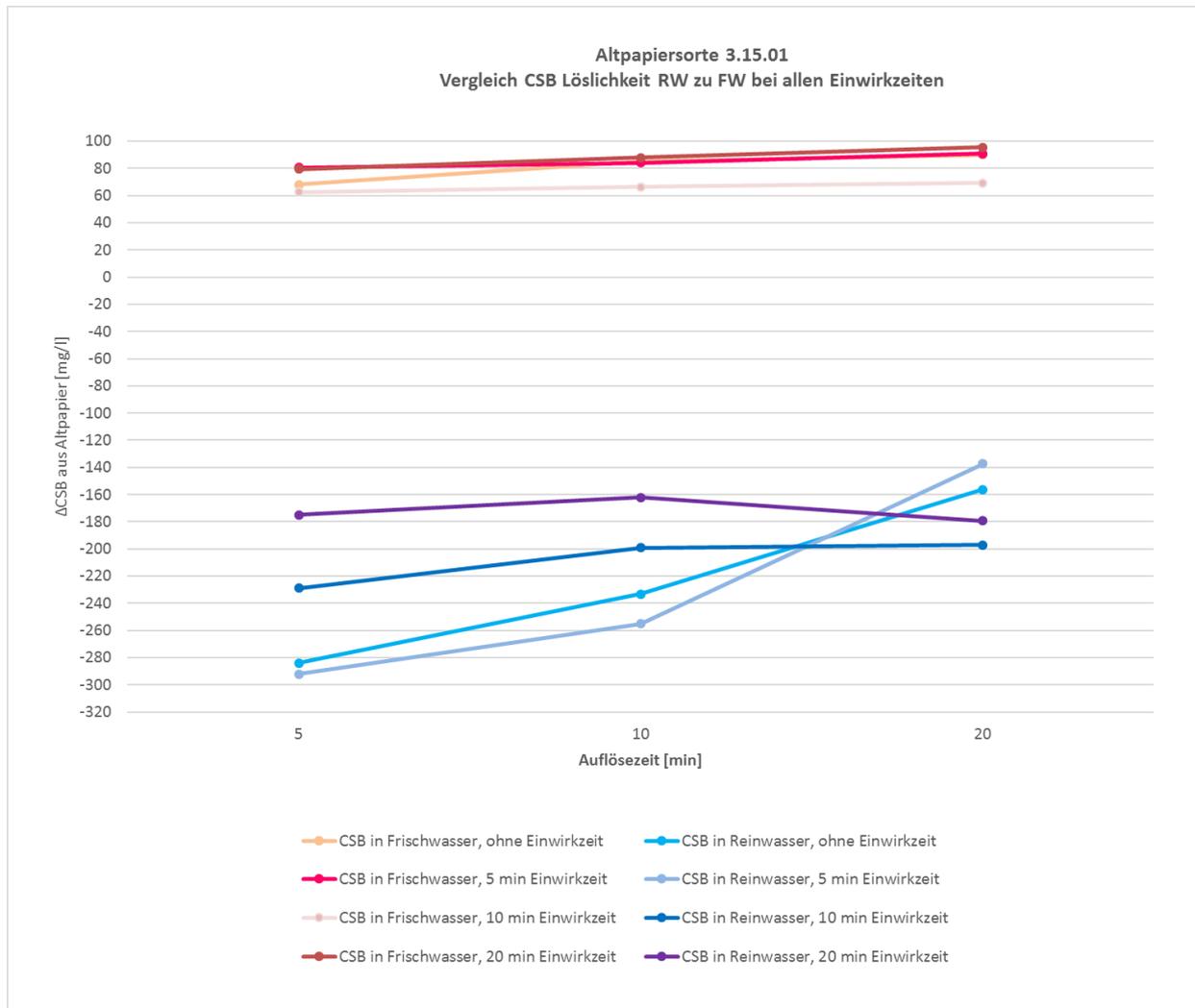


Diagramm 5-13: Vergleich RW zu FW, alle Einwirkzeiten

Während die CSB Werte im Frischwasser im direkten Vergleich mit Reinwasser kaum schwanken, kann man in Diagramm 5-13 zusätzlich erkennen, dass die Aufnahme des CSB im RW mit zunehmender Auflösezeit bei 10 und 20 min Einwirkzeit weniger wird.

Diskussion der Ergebnisse Kapitel 5

Über die Frage, warum die Altpapiersorte 3.15.01 CSB aufnimmt bzw. die Konzentration des CSB im Reinwasser senkt, können nur Vermutungen angestellt werden. Sicher ist, dass es sich im Vergleich zu den anderen Altpapierproben (3.18.01 und 4.01.00) um eine holzhaltige Sorte handelt. Chemische Reaktionen und Biologische Aktivitäten können in dieser kurzen Zeit ausgeschlossen werden. Eine mögliche Theorie ist, dass sich der CSB im Filterkuchen ansammelt und so nicht in das Filtrat ausgeschwemmt wird. Durch die niedrige CSB Belastung des Altpapieres könnte auch die Möglichkeit bestehen, dass durch Konzentrationsgleichgewichte die aufgelösten Fasern den CSB des RW aufsaugen bzw. binden. Diese Vermutung geht in aber Richtung Fasertechnologie und müsste in weiteren Studien untersucht werden, da dies den Rahmen dieser Masterarbeit überschreitet.

6 Untersuchungen von Altpapiersorten im Pulper 9

Im Zeitraum vom 28.07. bis 08.09. wurden die großtechnischen Versuche im Pulper 9 der KM2 durchgeführt.

Aus diesem Grund wurden alle im Werk eingesetzten Faserrohstoffe, sprich Altpapier und Frischfasern, auf CSB-Löslichkeit untersucht. Nach Rücksprache mit dem Rohstoffeinkauf im Werk Frohnleiten wurden die entsprechenden Sorten zur Untersuchung festgelegt. Alle Bezeichnung und Gruppen in den nächsten Kapiteln wurden der DIN EN 643 [13] entnommen.

Bevor mit den Auflöseversuchen begonnen werden konnte, musste eine Reihe von Recherchen und Berechnungen durchgeführt werden. Auch die Erstellung eines Versuchsplans gehörte zur Aufgabe, da der Pulper nicht immer zur Verfügung stand und um die Mitarbeiter der Entladung zu koordinieren.

Der Pulper 9 in der Stoffaufbereitung der KM2 (Abbildung 21) ist ein sogenannter LC-Pulper (low-consistency-Pulper), also ein Niederkonsistenzstofflöser der kontinuierlich bei einer Stoffdichte von 3-6 % arbeitet. Er wurde von der Firma Andritz unter der Typenbezeichnung ST8 hergestellt und hat ein Volumen von 50m³. Das Laufrad wird von einem 280 kW Motor angetrieben und das Siebblech hat eine 7mm Lochung. Im Produktionsbetrieb kann er für jede Kartonlage, Decke, Einlage und Rückseite verwendet werden, hauptsächlich jedoch zur Auflösung von Holzstoff und Getränkekartons (z.B. Tetra Pak).

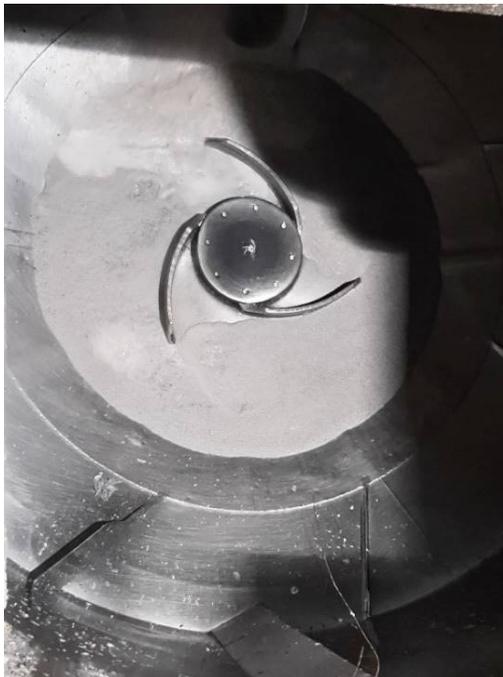


Abbildung 21: Blick in den Pulper 9

Wie in den Labor-Auflöseversuchen im Aufschlaggerät wurde auch hier eine Stoffdichte von 4 % angestrebt. Die Tatsache, dass es keinen Durchflussmesser für den Zulauf des Reinwassers und keine Waage auf dem Förderband des Pulper 9 gibt, machte eine Berechnung des Gesamtvolumens des Pulpers notwendig, um die Füllmenge in % über das PLS einstellen zu können. Die Füllstandanzeige LIC des Pulpers (Abbildung 22) beginnt erst an der untersten Stelle des Pulpermantels zu messen, d.h. das darunterliegende Volumen des Kegels, des Ringes unter dem Lochsieb, sowie die darunterliegenden Rohrleitungen werden nicht berücksichtigt. Da von einem rotierenden System ausgegangen wurde und sich bei der drehenden Suspension ein Rotationsparaboloid ausbildet, beträgt der maximale Füllstand 4,5 m und geht somit über den Pulperrand hinaus. Anhand von Skizzen und Datenblättern wurde das tatsächliche Volumen berechnet und ist im Anhang 2 zu finden.

Durch die Werte der Feuchtigkeitsmessung der Altpapierballen konnte das trockene Gewicht errechnet, und über die Ziel-Stoffdichte die erforderlichen Liter Reinwasser ermittelt werden. Diese wurden dann in die benötigten % Füllstand umgerechnet (siehe Formel 6-1 bis 6-3).

Berechnungsbeispiel:

$$\text{Masse Altpapierballen [kg]} - \text{Masse Feuchte [kg]} = \text{tatsächliche Masse Altpapier [kg]}$$

Formel 6-1

$$\frac{\text{tatsächliche Masse Altpapier [kg]}}{4 \% \text{ Stoffdichte}} = \text{benötigtes Reinwasser [l]}$$

Formel 6-2

$$75.324 \text{ l} = 100\% \text{ Füllstand}$$

$$\frac{\text{benötigtes Reinwasser [l]} * 100}{75.324} = \text{Füllstand Pulper [\%]}$$

Formel 6-3

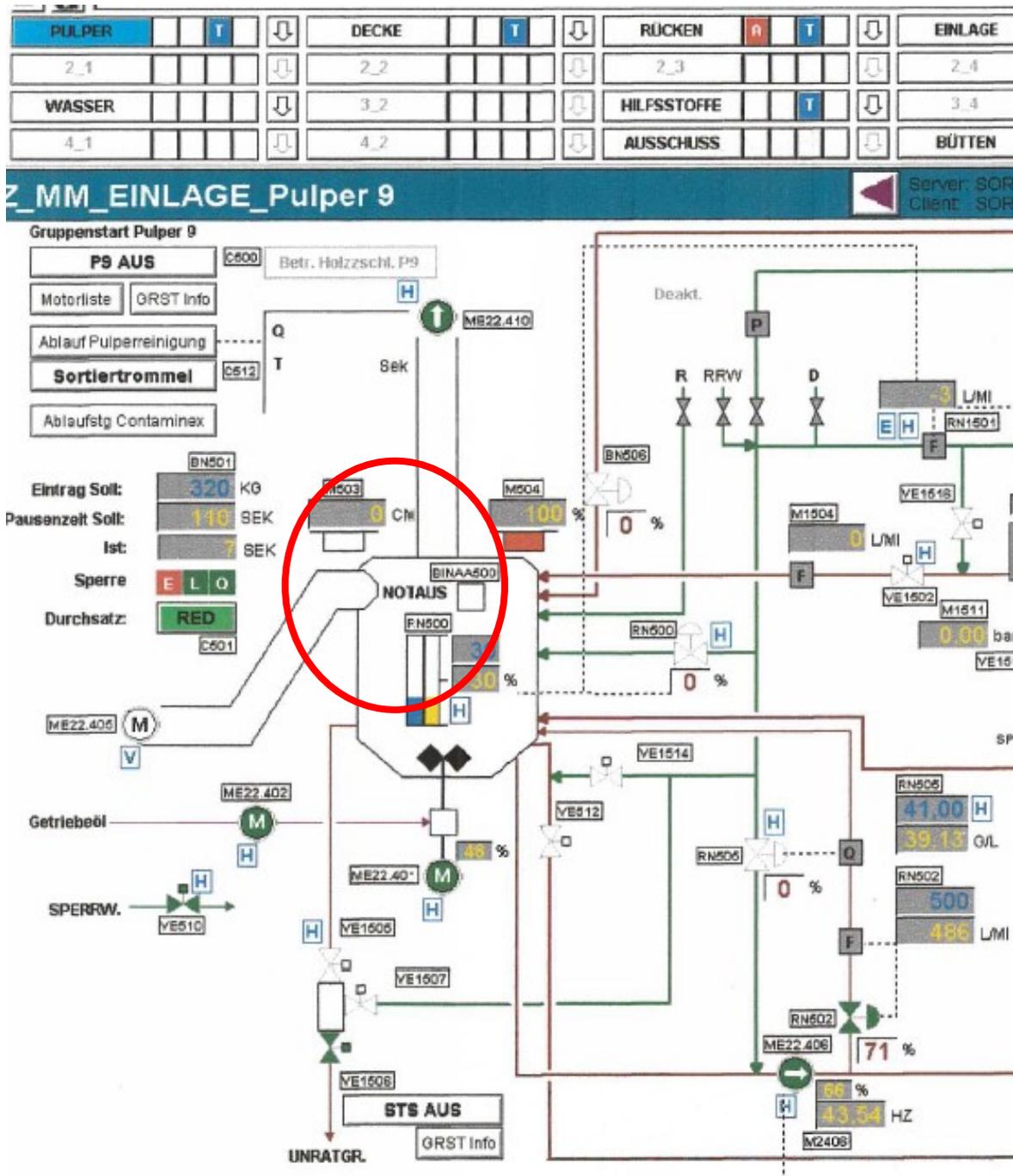


Abbildung 22: PLS Darstellung des Pulper 9 mit Füllstandanzeige

6.1 Versuchsdurchführung

Vor jedem Auflöseversuch kam die Anweisung, den Pulper und das Förderband von den Mitarbeitern der Stoffaufbereitung gründlich zu reinigen, um so sortenrein wie möglich aufzulösen. Im nächsten Schritt wurde eruiert, welche Altpapiersorte für die Versuche zur Verfügung steht. Je nach Gewicht wurden ein, zwei oder drei Ballen am Altpapierlagerplatz gewählt und mit dem Stapler zur Brückenwaage vor das Betriebsgebäude 2 transportiert und gewogen. Zusätzlich wurde mit einem Feuchtemessgerät der Fa. Schaller die % Feuchte der Ballen bestimmt (Abbildung 23). Dabei wurden auf jeder Seite des Ballens eine Messung durchgeführt und danach der Mittelwert bestimmt. Danach wurden die Ballen mit einem Klebezettel versehen und zur Verloaderampe der Stoffaufbereitung KM2 gebracht und abgestellt.



Abbildung 23: Feuchtemessung am Altpapierballen

Je nach Gewicht des jeweiligen Altpapierballens wurde der entsprechend Füllstand an Reinwasser für den Pulper berechnet. Danach wurde mit den über das PLS gesteuerten Ventilen in der Stoffaufbereitungs-Warte der Pulper gefüllt. Während dem Befüllen wurde eine Reinwasserprobe für die spätere Bilanzierung der CSB-Konzentration gezogen.

In der Zwischenzeit wurden die dementsprechenden Altpapierballen auf das Förderband gestellt und die Ballendrähte entfernt. Falls die Altpapiersorte als Rolle geliefert wurde, mussten diese mit einer Rollenguillotine aufgeschnitten werden bevor diese auf das Band kam.

Im Anschluss wurde der Motor des Pulperrotors per PLS eingeschaltet und das Förderband manuell in Betrieb genommen. Ab dem Zeitpunkt, von dem an sich die ganze Altpapierprobe im Pulper befand, wurde das Band gestoppt und die Zeit gemessen. Als Auflösezeit wurden 10 min gewählt, da durch die Größe und den Umfang der Versuche im Pulper jede AP-Sorte nur mit einer Füllung untersucht werden konnte.

Nach dem Auflösen wurde mit dem Probennehmer, der ein Volumen von 2l hat, die erste Probe gezogen und in zwei 2l PE-Probeflaschen gefüllt.

Diese wurden dann in das Nasslabor der KM2 zur weiteren Untersuchung gebracht. Die erste 2l Probe wurde zur Filtration und zur Bestimmung der CSB Konzentration verwendet, wie

schon in den vorherigen Kapiteln beschrieben. Die zweite Probe wurde zur Bestimmung der Stoffdichte herangezogen.

Um die Zeit, die der Faserstoff in der Praxis vom Auflösen bis an die Kartonmaschine braucht (vgl. Kapitel 2.1.1) zu simulieren, wurden 3 Stunden Einwirkzeit abgeschätzt.

Jede Stunde wurde der Rotormotor für ca. 30s in Betrieb genommen um eine homogene Suspension zu garantieren. Nach dem Abstellen wurde sofort eine Probe genommen.

Pro Probenahme wurde eine Doppelbestimmung auf CSB und der Stoffdichte durchgeführt.

Geräte und Reagenzien

PE-Probenahmeflaschen mit unterschiedlichen Volumina

Filter Papers, 113, Wet strengthened, Fa. Whatman, 150 mm

Filter Sartorius, Klasse hw3

Abnutschanlage

Vakkumpumpe, 0,28 kW, Fa. KNF Neuberger

Nutsche, 150 mm, Keramik

2 Liter Absaugkolben

Trockenschrank, Heraeus T5042

Präzisionswaage, Fa. Mettler Toledo PB1502-S

Messbecher, 1l, Fa. PTA

Hach Lange Kolbenhubpipette (0,1 – 1 ml)

Hach Lange Küvettentests LCK 014, Messbereich 1.000 – 10.000 mg/l CSB

Hach Lange Thermostat

Hach Lange Photometer

Die Stoffdichte ist nach EN DIN ISO 4119 das Verhältnis der Trockenmasse der abfiltrierbaren Masse einer Stoffsuspension zur unfiltrierten Probenmasse.

Man wiegt dabei die gesamte Stoffprobe ein (Abbildung 24).



Abbildung 24 : Einwaage Stoffprobe

Danach filtriert man die Suspension in einer Nutsche mithilfe eines Filters, der zuvor getrocknet und sein Gewicht bestimmt wurde, unter Einsatz einer Vakuumpumpe, ab. Der so entstandene Filterkuchen wird mit dem Filter in den Trockenofen gegeben. Dort verbleibt der Kuchen bei einer Temperatur von ca. 105°C bis zum Erreichen der Gewichtskonstanz.

Die Stoffdichte, auch Konsistenz genannt, wird in Prozent, laut Formel 6-1 berechnet aus:

$$C = \frac{w-f}{g} \times 100 \%$$

Formel 6-4

worin

w = Gewicht vom Filter mit filtriertem Stoff

f = Gewicht des getrockneten Papierfilters

g = Gewicht der eingewogenen Stoffprobe.

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden nun die untersuchten Sorten beschrieben. Die Unterteilung in die Gruppen wurde wie in der DIN EN 643 durchgeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen befinden sich im Anhang 3.

6.2 Gruppe 1, untere Sorten

Altpapiersorte 1.01.00, einfach gemischtes Altpapier

Mischung verschiedener Papier-, Karton- und Pappesorten (Abbildung 25).



Gesamtgewicht	840 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	10,5%
Füllstand Pulper	30%
Stoffdichte \bar{x}_a	3,1%

Abbildung 25: Probekugeln der Sorte 1.01.00

Altpapiersorte 1.02.00, gemischtes Altpapier

Mischung verschiedener Papier-, Karton- und Pappequalitäten, die maximal 40% an Zeitungen und Illustrierten enthalten (Abbildung 26).



Gesamtgewicht	1160 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	13%
Füllstand Pulper	30%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,1%

Abbildung 26: Probekugeln der Sorte 1.02.00

Altpapiersorte 1.04.00, Verpackungen aus Papier und Karton

Gebrauchte Papier- und Kartonverpackungen, die mind. 70% Wellpappe enthalten (Abbildung 27).



Gesamtgewicht	800 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	8%
Füllstand Pulper	23%
Stoffdichte \bar{x}_a	3,9%

Abbildung 27: Probekugeln der Sorte 1.04.00

Altpapiersorte 1.05.00, Wellpappe 90

Gebrauchte Schachteln und Bogen aus Wellpappe mit 10% anderen Verpackungspapieren (Abbildung 28).



Gesamtgewicht	820 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	10%
Füllstand Pulper	28%
Stoffdichte \bar{x}_a	2,8%

Abbildung 28: Probekugeln der Sorte 1.05.00

Altpapiersorte 1.11.00, Deinkingware

Sortiertes graphisches Papier, mind. 80% Zeitungen und Illustrierte. Druckprodukte, die für Deinking ungeeignet sind, sind auf 1,5% begrenzt (Abbildung 29).



Gesamtgewicht	1400 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	15%
Füllstand Pulper	35%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,1%

Abbildung 29: Probekugeln der Sorte 1.11.00

Vergleich der Sorten in Gruppe 1

Tabelle 6: Übersicht Ergebnisse Gruppe 1

Einwirkzeit	Δ CSB aus AP [mg/l]				
	1.01.00	1.02.00	1.04.00	1.05.00	1.11.00
0 min	338	844	650	698	697
60 min	348	1027	691	752	745
120 min	462	1121	824	806	881
180 min	457	1313	958	971	996

Wie in Tabelle 6 und Diagramm 6-1 ersichtlich, wird bei „gemischtem Altpapier“ am meisten CSB, über alle Einwirkzeiten, gelöst. Der Maximalwert beträgt nach 3 Stunden 1313 mg/l. Zusätzlich ist erkennbar, dass die Einwirkzeit bei dieser Sorte den größten Einfluss hat und sich über 3 Stunden eine Steigung von 469 mg/l ergibt. Die Sorten 1.04.00, 1.05.00 und 1.11.00 zeigen ein sehr ähnliches Löseverhalten bezüglich CSB mit wenigen Schwankungen untereinander. Sie befinden sich nach 10 Minuten auflösen im Bereich zwischen 650 bis 700 mg/l. Zwischen 60 min und 180 min erkennt man einen Anstieg, der bis in den Bereich von knapp 1000 mg/l geht. „Einfach gemischtes Altpapier“ weist die geringsten CSB-Konzentrationen im Vergleich auf und einen geringen Einfluss der Einwirkzeit (119 mg/l Anstieg über 3 Stunden).

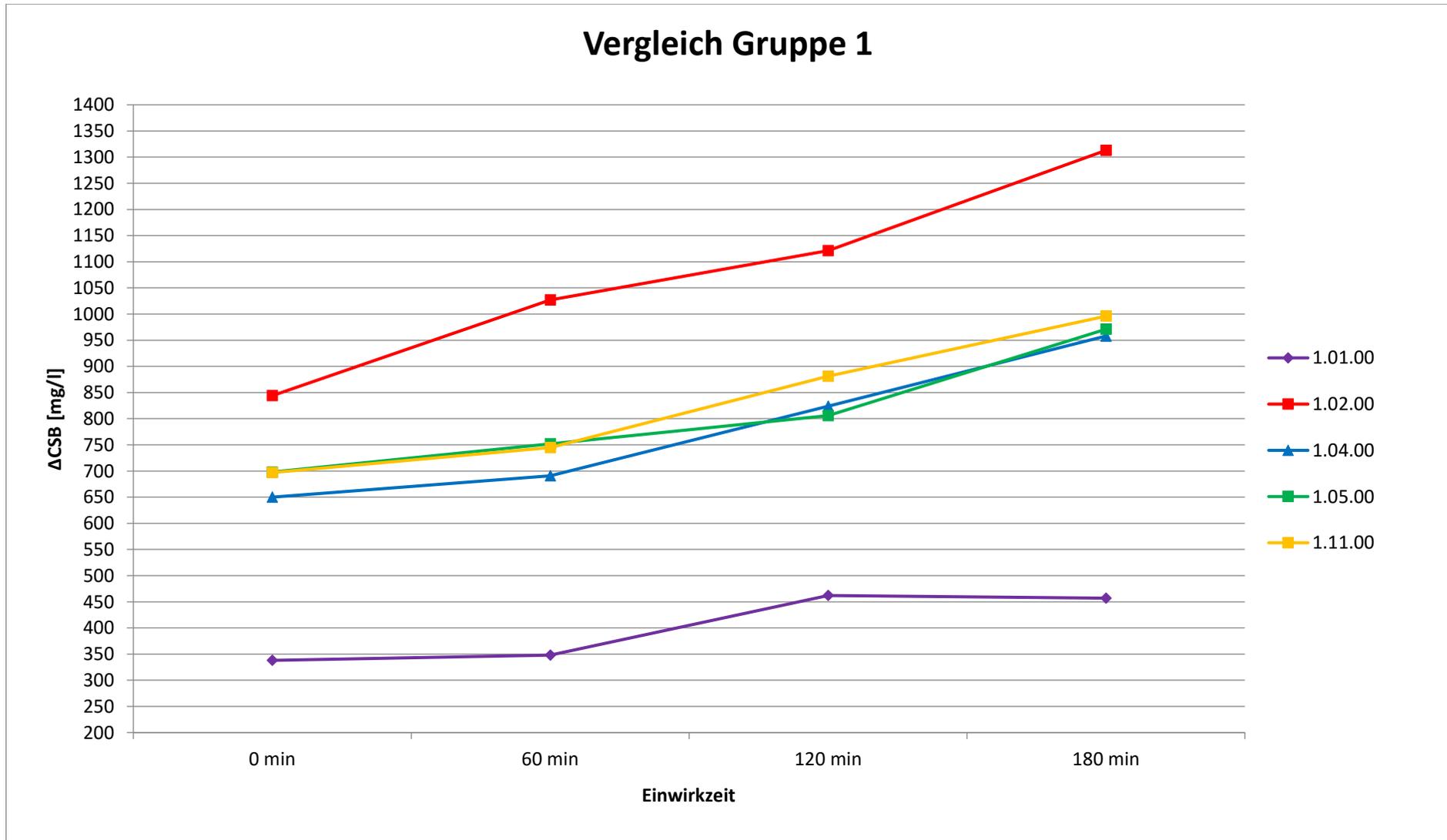


Diagramm 6-1: Vergleich der Sorten in Gruppe 1

6.3 Gruppe 2, mittlere Sorten

Altpapiersorte 2.03.01, weiße Späne mit leichtem Andruck, ohne Kleber

Gestrichen oder ungestrichen, überwiegend aus holzhaltigem Papier (Abbildung 30).



Gesamtgewicht	940 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	sehr feucht
Füllstand Pulper	25%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,0%

Abbildung 30: Probekugeln der Sorte 2.03.01

Altpapiersorte 2.06.00, einfache, sortierte bunte Akten

Papier, das typischerweise im Büro anfällt, zerkleinert oder unzerkleinert, mit leichtem Andruck, mind. 70% holzfreies Papier, frei von Durchschlagpapier, frei von Briefhüllen, Aktendeckeln, Zeitungen und Karton (Abbildung 31).



Gesamtgewicht	1060 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	10%
Füllstand Pulper	27%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,0%

Abbildung 31: Probekugeln der Sorte 2.06.00

Altpapiersorte 2.07.01, weiße Bücher, holzhaltig

Bücher oder Bücherspäne, überwiegend aus weißen holzhaltigen Papieren, ohne Buchdeckel, überwiegend schwarz bedruckt, max. 10% gestrichenes Papier (Abbildung 32).



Gesamtgewicht	1060 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	8%
Füllstand Pulper	29%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,1%

Abbildung 32: Probekugeln der Sorte 2.07.01

Vergleich der Sorten in Gruppe 2

Tabelle 7: Übersicht Ergebnisse Gruppe 2

Einwirkzeit	Δ CSB aus AP [mg/l]		
	2.03.01	2.06.00	2.07.01
0 min	9	835	-53
60 min	-49	928	-77
120 min	-21	1041	-41
180 min	34	1084	-14

In der Gruppe 2 kann man zwei verschiedene Trends erkennen (ersichtlich in Tabelle 7 und Diagramm 6-2). Die Sorten 2.03.01 und 2.07.01 liefern Δ CSB Werte im Minusbereich bzw. geringe Konzentrationen (maximal 34 mg/l), während die Sorte 2.06.00 eine erhebliche Menge an CSB löst. Nach 10 min auflösen beträgt die Konzentration 835 mg/l welche sich nach 3 Stunden Einwirkzeit auf über 1000 mg/l erhöht. Bei der Sorte 2.03.01 ergaben die Messungen Werte im Bereich von 0, bei maximalen Schwankungen von 83 mg/l über die gesamte Einwirkzeit. Bei der Sorte „weiße Bücher“ befanden sich alle CSB Werte im Minusbereich wobei ein leichter Aufwärtstrend in den Bereich um 0 erkennbar ist.

Bei den Proben 2.03.01 und 2.07.01 handelt es sich um holzhaltige Altpapiersorten. Wie auch schon bei den Laborversuchen in Kapitel 5.4 beschrieben, lässt sich hier ein Zusammenhang zwischen Senkung der CSB-Konzentration im Reinwasser und holzhaltigen Altpapiersorten erklären. Aus diesem Grund, und wegen der hohen Anzahl der verschiedenen Sorten, werden die Altpapiersorten in der Gruppe 3 in holzfreie und holzhaltige Sorten unterteilt.

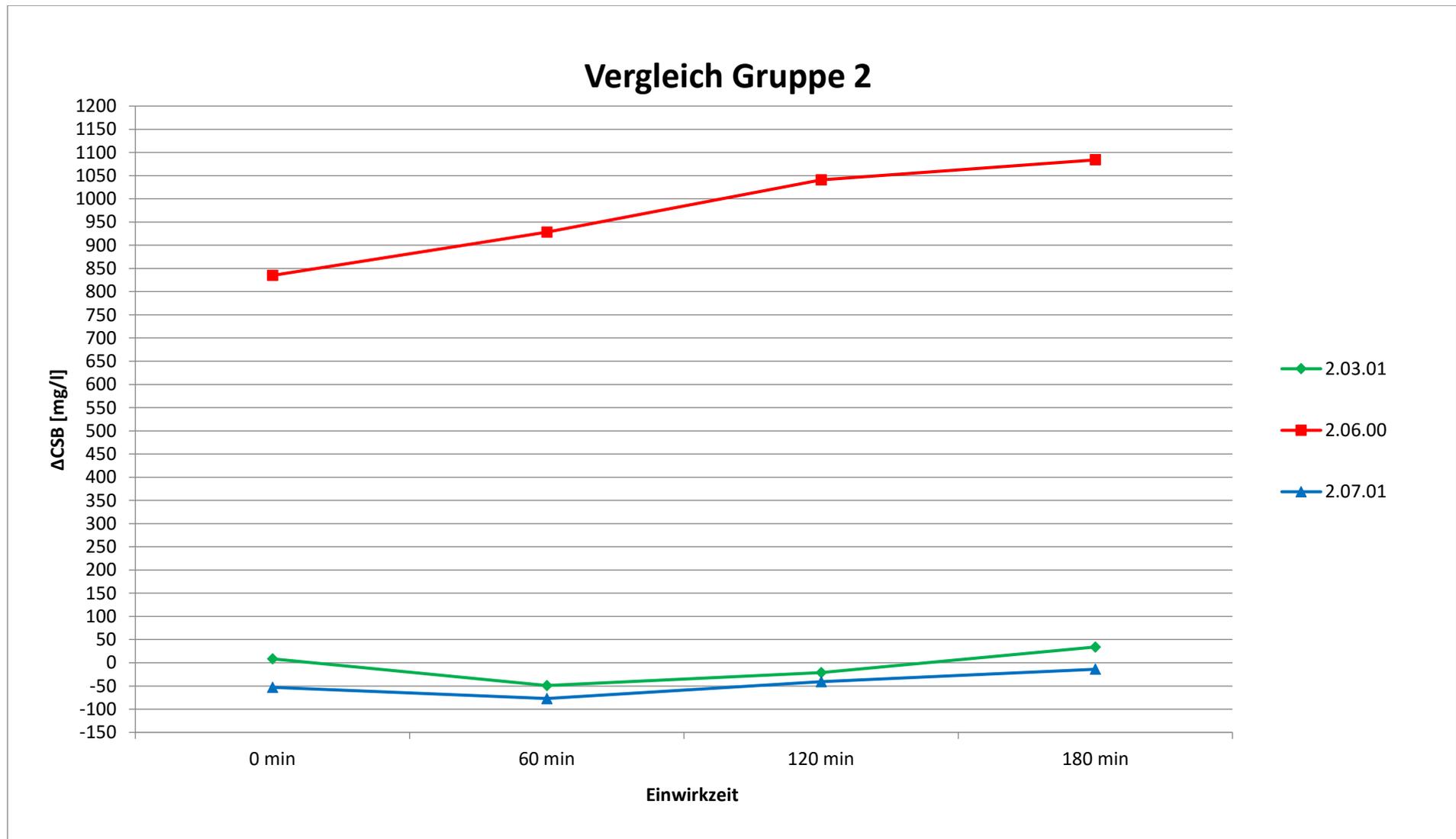


Diagramm 6-2: Vergleich der Sorten in Gruppe 2

6.4 Gruppe 3, bessere Sorten

Holzfremde Sorten in Gruppe 3

Altpapiersorte 3.04.00, weiße Späne mit leichtem Andruck, holzfrei

Ohne Kleber frei von nassfestem und durchgefärbtem Papier (Abbildung 33).



Gesamtgewicht	1020 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	~20%
Füllstand Pulper	28%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,2%

Abbildung 33: Probekugeln der Sorte 3.04.00

Altpapiersorte 3.05.00, weiße Akten, holzfrei

Sortierte, ungestrichene, Druck- und Schreibpapiere, bedruckt, frei von Kassenblöcke, Kohlepapier Kleber, max. 5% holzhaltige Papiere (Abbildung 34).



Gesamtgewicht	1180 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	~15%
Füllstand Pulper	29%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,2%

Abbildung 34: Probekugeln der Sorte 3.05.00

Altpapiersorte 3.06.00, weiße Geschäftsformulare

Frei von Selbstdurchschreibpapier (NCR) und Kleber (Abbildung 35).



Gesamtgewicht	1020 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	~15%
Füllstand Pulper	27%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,2%

Abbildung 35: Probekugeln der Sorte 3.06.00

Altpapiersorte 3.10.00, Multidruck

Holzfrees, gestrichenes Papier mit leichtem Andruck, als Bogen oder Randabschnitte, frei von nassfestem oder durchgefärbtem Papier (Abbildung 36).



Gesamtgewicht	1000 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	12%
Füllstand Pulper	29%
Stoffdichte \bar{x}_a	3,9%

Abbildung 36: Probekugeln der Sorte 3.10.00

Altpapiersorte 3.16.00, weißes gestrichenes, holzfreies Papier

Späne und Abrisse von gestrichenem Papier, unbedruckt ohne Kleber (Abbildung 37).



Gesamtgewicht	1260 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	10%
Füllstand Pulper	33%
Stoffdichte \bar{x}_a	3,80%

Abbildung 37: Proberolle der Sorte 3.16.00

Altpapiersorte 3.18.00, weiße Späne, holzfrei

Späne und Abrisse von gestrichenen und ungestrichenen Papieren, unbedruckt, ohne Kleber (Abbildung 38).



Gesamtgewicht	1280 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	8,0%
Füllstand Pulper	33,5%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,5%

Abbildung 38: Probekugeln der Sorte 3.18.00

Altpapiersorte 3.18.01, weiße ungestrichene Späne, holzfrei

Späne und Abrisse von unbedrucktem Papier, frei von gestrichenen Papieren, ohne Kleber (Abbildung 39).



Gesamtgewicht	1160 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	9%
Füllstand Pulper	32%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,3%

Abbildung 39: Probekugeln der Sorte 3.18.01

Vergleich der holzfreien Sorten in Gruppe 3

Tabelle 8: Übersicht Ergebnisse Gruppe 3, holzfrei

Einwirkzeit	Δ CSB aus AP [mg/l]						
	3.04.00	3.05.00	3.06.00	3.10.00	3.16.00	3.18.00	3.18.01
0 min	722	858	1005	683	825	611	1086
60 min	748	939	1080	721	850	801	1224
120 min	883	1167	1126	747	804	857	1310
180 min	993	1193	1273	820	826	958	1380

Wie in Tabelle 8 und in Diagramm 6-3 erkennbar, kann man allgemein behaupten, dass holzfreie Altpapiersorten in den Auflöseversuchen die höchsten CSB-Konzentrationen liefern. Dabei ist ersichtlich, dass im direkten Vergleich mit den anderen Sorten, sich bei 3.18.01 das meiste CSB löst. Nach 10 Minuten beträgt die CSB-Konzentration schon 1086 mg/l was sich über den Zeitraum von 3 Stunden auf fast 1400 mg/l steigert. Im Vergleich zu den Laborversuchen in Kapitel 5.2 (Tabelle 3) wird in etwa die gleiche Menge an CSB gelöst. Bei der Sorte 3.18.00 zeichnet sich über den Zeitraum von 3 Stunden die höchste Steigerung von 348 mg/l ab. Die Sorte „weiße Geschäftsformulare“ beginnt nach 10 min Auflösezeit ebenfalls mit hohen Werten über 1000 mg/l und erreicht nach 3 Stunden eine Steigerung von 268 mg/l. Bei den Sorten 3.04.00 und 3.05.00 scheint es, dass die CSB Löslichkeit erst nach 60 min Einwirkzeit zu steigen beginnt. Dabei macht die Sorte 3.05.00 von 60 auf 120 min Einwirkzeit den größten Sprung mit einer Steigerung von 228 mg/l. Den geringsten Einfluss der Einwirkzeit erkennt man bei der Sorte 3.16.00, deren Werte man annähernd als konstant betrachten kann (maximale Schwankung 47 mg/l über 3 Stunden). Die niedrigsten CSB-Konzentrationen zeigt die Sorte „Multidruck“. Die Werte erreichen nach 3 Stunden, im Vergleich zu den anderen Sorten, nur maximal 820 mg/l. Bei den Sorten mit der niedrigsten CSB-Löslichkeit, 3.10.00 und 3.16.00, handelt es sich um gestrichene Altpapiere. Es kann daher ein Zusammenhang zwischen gestrichenen Altpapieren und geringer CSB-Löslichkeit nicht ausgeschlossen werden.

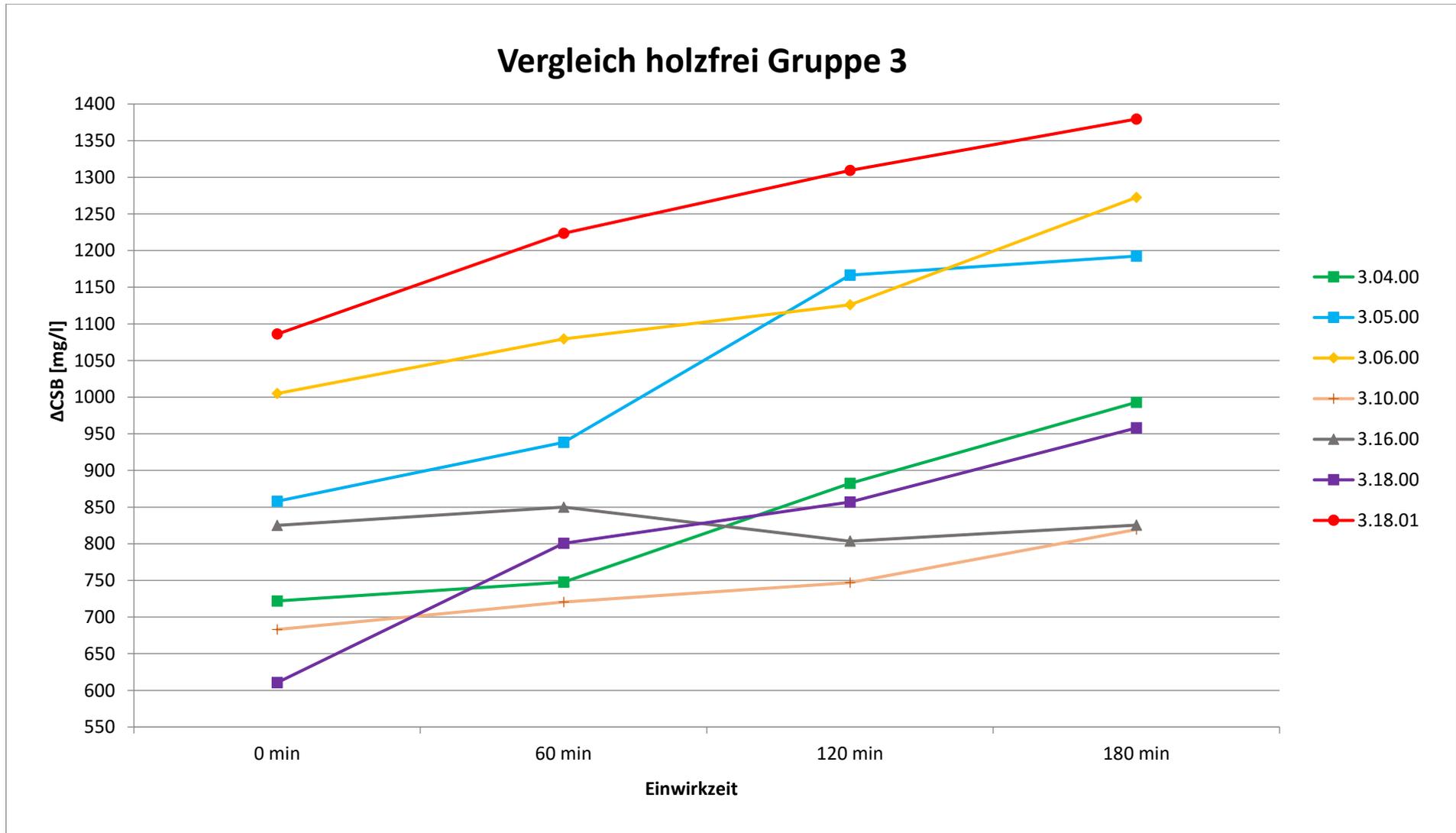


Diagramm 6-3: Vergleich der holzfreien Sorten in Gruppe 3

Holzhaltige Papiere in Gruppe 3

Altpapiersorte 3.14.00, weißes Zeitungspapier

Späne und Abrisse von weißem Zeitungsdruckpapier, unbedruckt, frei von Illu-Druckpapier und Kleber (Abbildung 40).



Gesamtgewicht	800 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	7%
Füllstand Pulper	30%
Stoffdichte \bar{x}_a	3,3%

Abbildung 40: Probekugeln der Sorte 3.14.00

Altpapiersorte 3.15.00, weißes Papier holzhaltig

Späne und Abrisse von unbedrucktem, gestrichenen und ungestrichenen Papier, ohne Kleber (Abbildung 41).



Gesamtgewicht	1080 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	Sehr feucht
Füllstand Pulper	25%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,2%

Abbildung 41: Probekugeln der Sorte 3.15.00 (am Bild falsche Beschriftung)

Altpapiersorte 3.15.01, weißes, gestrichenes, holzhaltiges Papier

Späne und Abrisse von unbedrucktem, gestrichenen Papier, ohne Kleber (Abbildung 42).



Gesamtgewicht	860 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	10%
Füllstand Pulper	25%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,0%

Abbildung 42: Proberolle der Sorte 3.15.01

Vergleich der holzhaltigen Papiersorten in Gruppe 3

Tabelle 9: Übersicht Ergebnisse Gruppe 3, holzhaltige Papiere

Einwirkzeit	Δ CSB aus Altpapier [mg/l]		
	3.14.00	3.15.00	3.15.01
0 min	-497	562	-293
60 min	-448	536	-349
120 min	-440	601	-400
180 min	-433	648	-316

Bei den holzhaltigen Papieren verhält es sich ähnlich wie bei dem Vergleich der Sorten in der Gruppe 2. Zwei Sorten haben Δ CSB-Werte im Minusbereich während die Sorte 3.15.00 das CSB löst, wie in Tabelle 9 und Diagramm 6-4 zu sehen ist. Die Sorte 3.15.00 zeigt Werte im Bereich von 560 bis 650 mg/l, wobei die Einwirkzeit keine großen Veränderungen bewirkt. 3.15.01 zeigt in den Großversuchen eine weitere Senkung der CSB-Konzentrationen im Vergleich zu den Auflöserversuchen im Laborpulper (Kapitel 5.2, Tabelle 5). Bei beiden Altpapiersorten handelt es sich um ähnliche Sorten der Firma UPM (MAX H und Eco H). Laut Normdefinition liegt der Unterschied zwischen 3.15.00 und 3.15.01 allein im Strich. Wie weit dieser Auswirkungen auf die CSB-Löslichkeit aus Altpapieren hat, die auch schon bei den vorherigen Untersuchungen der gestrichenen holzfreien Sorten Gruppe 3 beobachtet werden konnte, kann nur vermutet werden. Sorte 3.14.00 verhält sich am konstantesten über die gesamte Einwirkzeit von 3 Stunden, die Werte schwanken um maximal 64 mg/l.

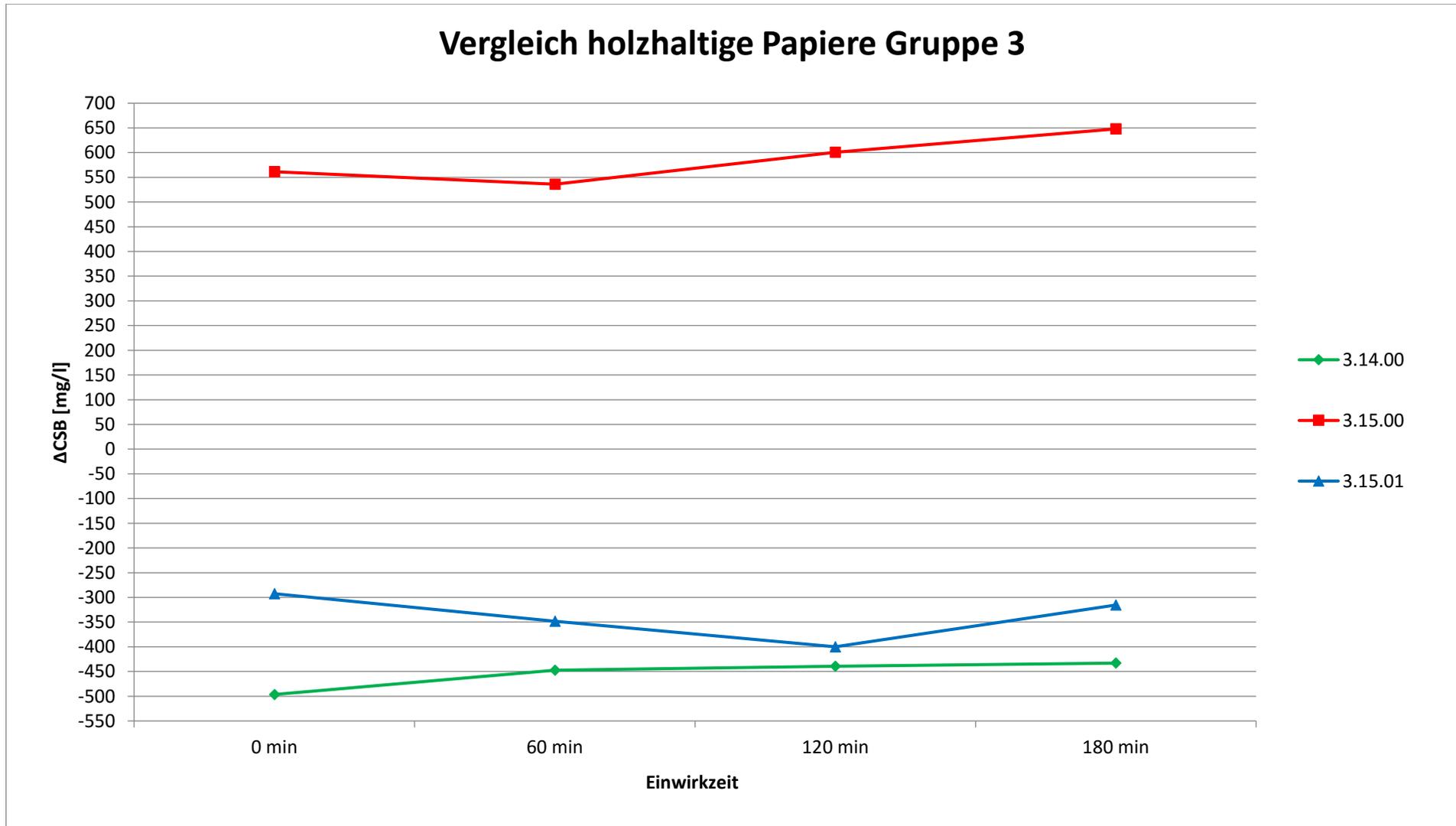


Diagramm 6-4: Vergleich der holzhaltigen Papiere in Gruppe 3

Holzhaltige Kartonsorten in Gruppe 3

Altpapiersorte 3.11.00, weißer mehrlagiger Karton, stark bedruckt

Abschnitte von ungebrauchten, Karton mit holzfreien oder holzhaltigen Lagen, jedoch keine grauen und braunen Lagen (Abbildung 43).



Gesamtgewicht	1220 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	9,5%
Füllstand Pulper	36%
Stoffdichte \bar{x}_a	3,9%

Abbildung 43: Probekugeln der Sorte 3.11.00

Altpapiersorte 3.11.01, gemischter, weißer mehrlagiger Karton, stark bedruckt

Abschnitte von ungebrauchtem, stark bedrucktem Karton mit holzfreien oder holzhaltigen Lagen und max. 20% grauen und braunen Lagen (Abbildung 44).



Gesamtgewicht	1280 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	12%
Füllstand Pulper	36,5%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,1%

Abbildung 44: Probekugeln der Sorte 3.11.01

Altpapiersorte 3.13.00, weißer mehrlagiger Karton, unbedruckt

Abschnitte von ungebrauchtem Karton, holzfrei oder holzhaltige Lagen enthaltend, jedoch keine grauen und braunen Lagen (Abbildung 45).



Gesamtgewicht	840 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	~ 15%
Füllstand Pulper	26%
Stoffdichte \bar{x}_a	3,5%

Abbildung 45: Probekugeln der Sorte 3.13.00

Vergleich der holzhaltigen Kartonsorten in Gruppe 3

Tabelle 10: Übersicht Ergebnisse Gruppe 3, holzhaltige Kartons

Einwirkzeit	Δ CSB aus Altpapier [mg/l]		
	3.11.00	3.11.01	3.13.00
0 min	220	390	31
60 min	230	450	118
120 min	254	460	146
180 min	326	594	273

Die drei holzfreien Kartonsorten der Gruppe 3 zeigen, wie in Tabelle 10 und Diagramm 6-5 ersichtlich, ähnliches Löseverhalten des CSB. Der CSB-Wert steigt bei allen Sorten mit zunehmender Einwirkzeit. Die höchsten CSB-Konzentrationen erreicht dabei die Sorte 3.11.01, was sich eventuell im Vergleich zu 3.11.00, auf die maximal 20 % enthaltenen grauen und braunen Lagen zurückführen lässt. Nach 3 Stunden wird ein Wert knapp unter 600 mg/l erreicht. Die Sorte 3.11.00 liefert Werte im Bereich von 220-326 mg/l und hat somit die geringste Steigung der Löslichkeit über die Einwirkzeit. Die Sorte 3.13.00 löst im Vergleich am wenigsten CSB (unter 300 mg/l), besitzt aber den höchsten Anstieg über 3 Stunden (242 mg/l). Somit hat bei dieser Sorte die Einwirkzeit den meisten Einfluss auf die Löslichkeit des CSB.

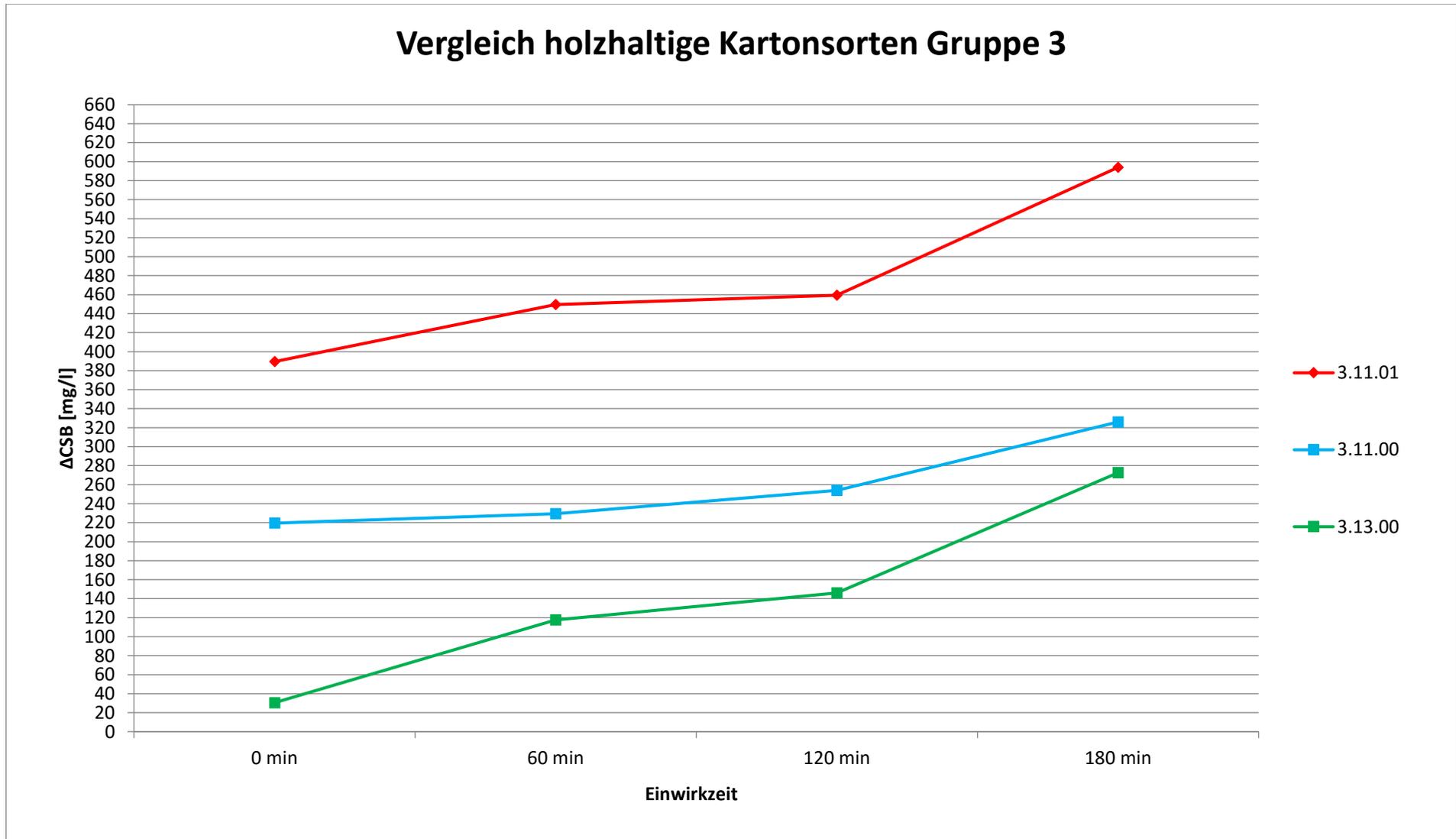


Diagramm 6-5: Vergleich der holzhaltigen Kartons in Gruppe 3

6.5 Gruppe 4, krafthaltige Sorten

Altpapiersorte 4.01.00, unbenutzte Pappe und Späne aus Wellpappe

Unbenutzte Verpackungen, Bogen und Späne aus Wellpappe (Abbildung 46).



Gesamtgewicht	1180 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	7%
Füllstand Pulper	33%
Stoffdichte \bar{x}_a	3,9%

Abbildung 46: Probekugeln der Sorte 4.01.00 (am Bild falsche Beschriftung)

Tabelle 11: Untersuchungsergebnisse 4.01.00

	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	3508	
0 min	4596	1089
60 min	4664	1157
120 min	4664	1157
180 min	4675	1168

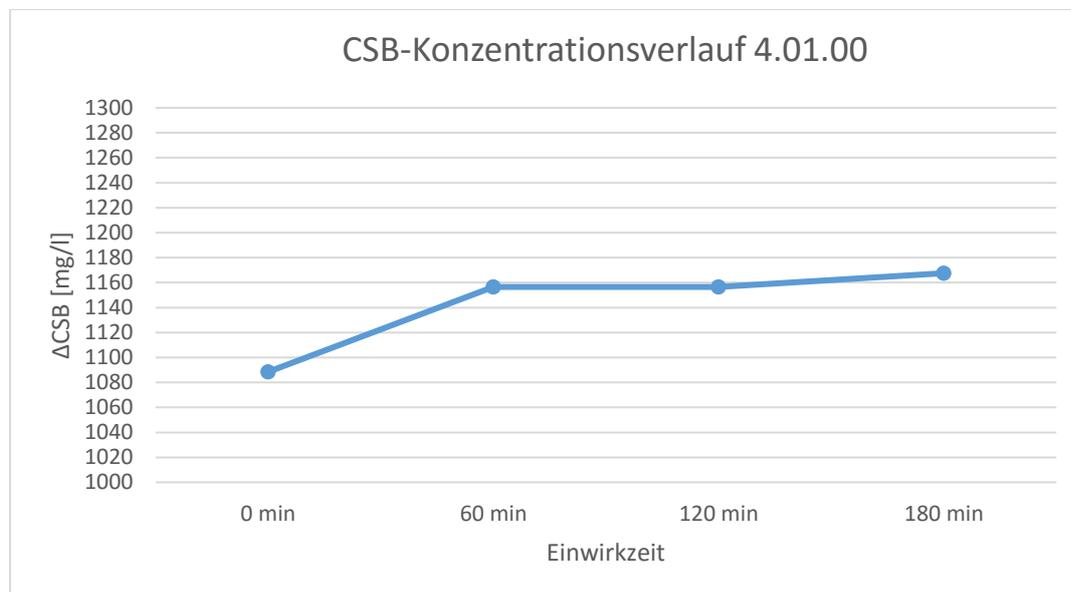


Diagramm 6-6: Auflöseversuch 4.01.00

Wie in Tabelle 11 und Diagramm 6-6 ersichtlich, hat die Einwirkzeit von 3 Stunden auf die AP-Sorte 4.01.00 nur wenig Einfluss, es lösen sich nur 80 mg/l als maximale Differenz über 3 Stunden. Im Vergleich zu den Laborversuchen in Kapitel 5 stellen sich in etwa gleiche Werte wie nach 20 min Auflösezeit (vgl. Tabelle 4 und Diagramm 5-7), jedoch höhere Werte als bei der Sorte 1.05.00 (Wellpappe 90) ein.

6.6 Gruppe 5, Sondersorten

Altpapiersorte 5.03.00, gebrauchte Getränkekartonverpackungen

Mit Kunststoffbeschichtung (mit oder ohne Aluminiumanteil), mind. 50% Massenanteile an Fasern beinhalten (Abbildung 47).



Gesamtgewicht	1600 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	nicht durchführbar
Füllstand Pulper	36%
Stoffdichte \bar{x}_a	2,5%

Abbildung 47: Proballen der Sorte 5.03.00

Tabelle 12: Untersuchungsergebnisse 5.03.00

	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4594	
0 min	5264	670
60 min	5497	903
120 min	5693	1099
180 min	5821	1227

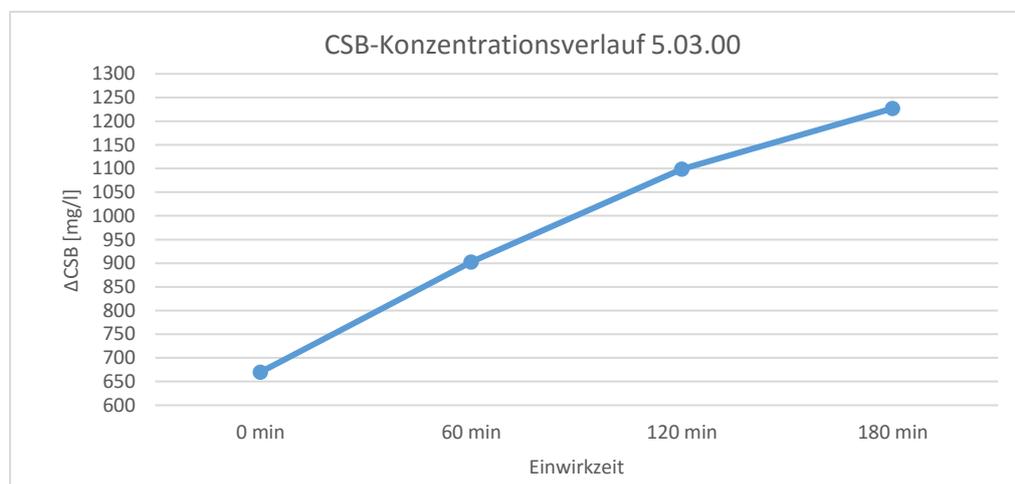


Diagramm 6-7: Auflöseversuch 5.03.00

Bei keiner anderen Altpapiersorte gab es eine so steile Steigung der CSB-Konzentration über die Einwirkzeit von 3 Stunden wie bei den gebrauchten Getränkekartons (siehe Tabelle 12 und Diagramm 6-7). Nach 3 Stunden ergaben sich Maximalwerte die nur von einigen Sorten aus der Gruppe 3 erreicht wurden. Die maximale Steigung in einer Zeit von 3 Stunden beträgt 575mg/l.

6.7 Frischfasern

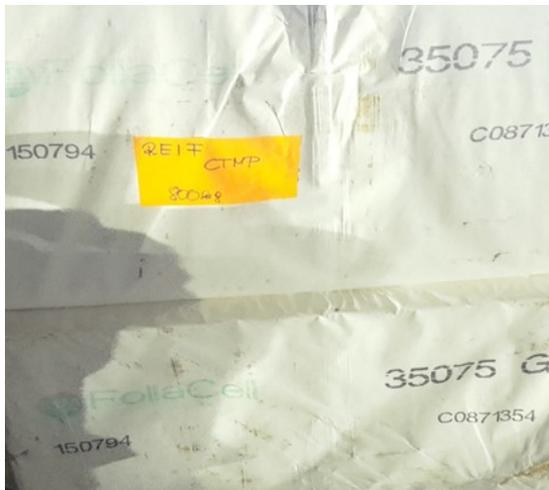
Holzstoff



Gesamtgewicht	860 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	8%
Füllstand Pulper	25%
Stoffdichte \bar{x}_a	4,0%

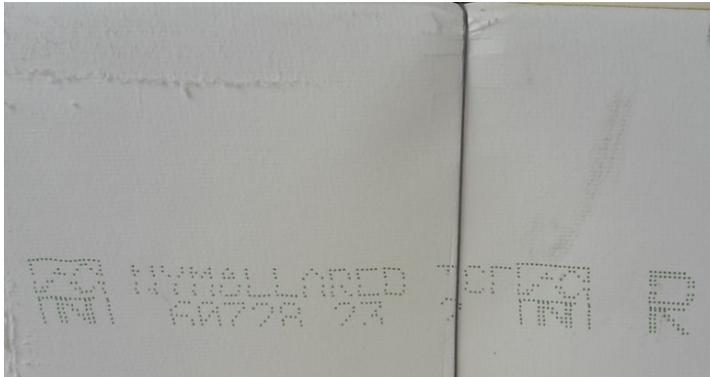
Abbildung 48: Proballen Holzstoff

CTMP, Chemithermomechanical pulp (chemo-thermisch erzeugter Holzstoff)



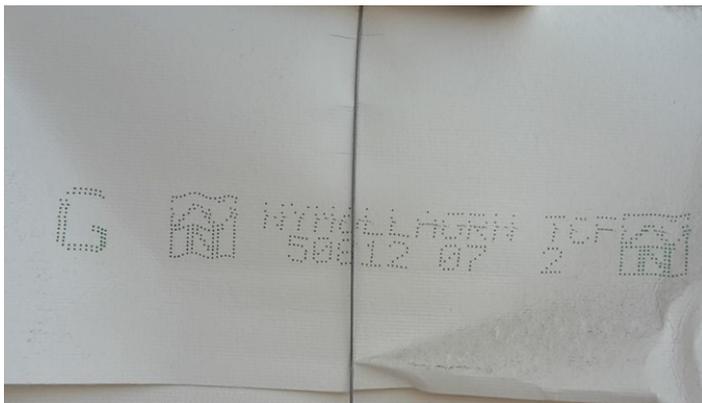
Gesamtgewicht	800 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	17%
Füllstand Pulper	21%
Stoffdichte \bar{x}_a	3,8%

Abbildung 49: Proballen CTMP

Zellstoff Kurzfaser

Gesamtgewicht	800 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	17%
Füllstand Pulper	23%
Stoffdichte \bar{x}_a	3,4%

Abbildung 50: Proballen Kurzfaser

Zellstoff Langfaser

Gesamtgewicht	780 kg
Feuchtemessung \bar{x}_a	17%
Füllstand Pulper	23%
Stoffdichte \bar{x}_a	3,4%

Abbildung 51: Proballen Langfaser

Vergleich der Frischfasern

Tabelle 13: Übersicht Ergebnisse Frischfasern

Einwirkzeit	Δ CSB aus Frischfaser [mg/l]			
	Holzstoff	CTMP	Kurzfaser	Langfaser
0 min	184	-54	-122	-160
60 min	197	-92	-97	-220
120 min	245	-40	-22	-167
180 min	269	51	36	-151

Klar erkennbar in der Tabelle 13 und Diagramm 6-7 ist, dass die beiden Zellstofffrischfasern im Auflöserversuch ein Δ CSB im Minusbereich liefern. Dabei geht die Langfaser am meisten in den Minusbereich und erreicht ihren Tiefpunkt nach 60 min Einwirkzeit bei -220 mg/l. Bei den Untersuchungsergebnissen der Kurzfaser wird deutlich, dass die im Minusbereich liegenden Δ CSB Werte mit zunehmender Einwirkzeit in den Bereich der Löslichkeit übergehen. Das gleiche Verhalten zeigt sich bei den Werten von CTMP. Hier stellt sich aber erst ab einer Einwirkzeit von 60 min eine Zunahme der CSB-Konzentration ein. Die Frischfasersorte Holzstoff löst nach 10 min Auflöszeit CSB Werte um 180 mg/l und steigert sich nach 3 Stunden auf 269 mg/l.

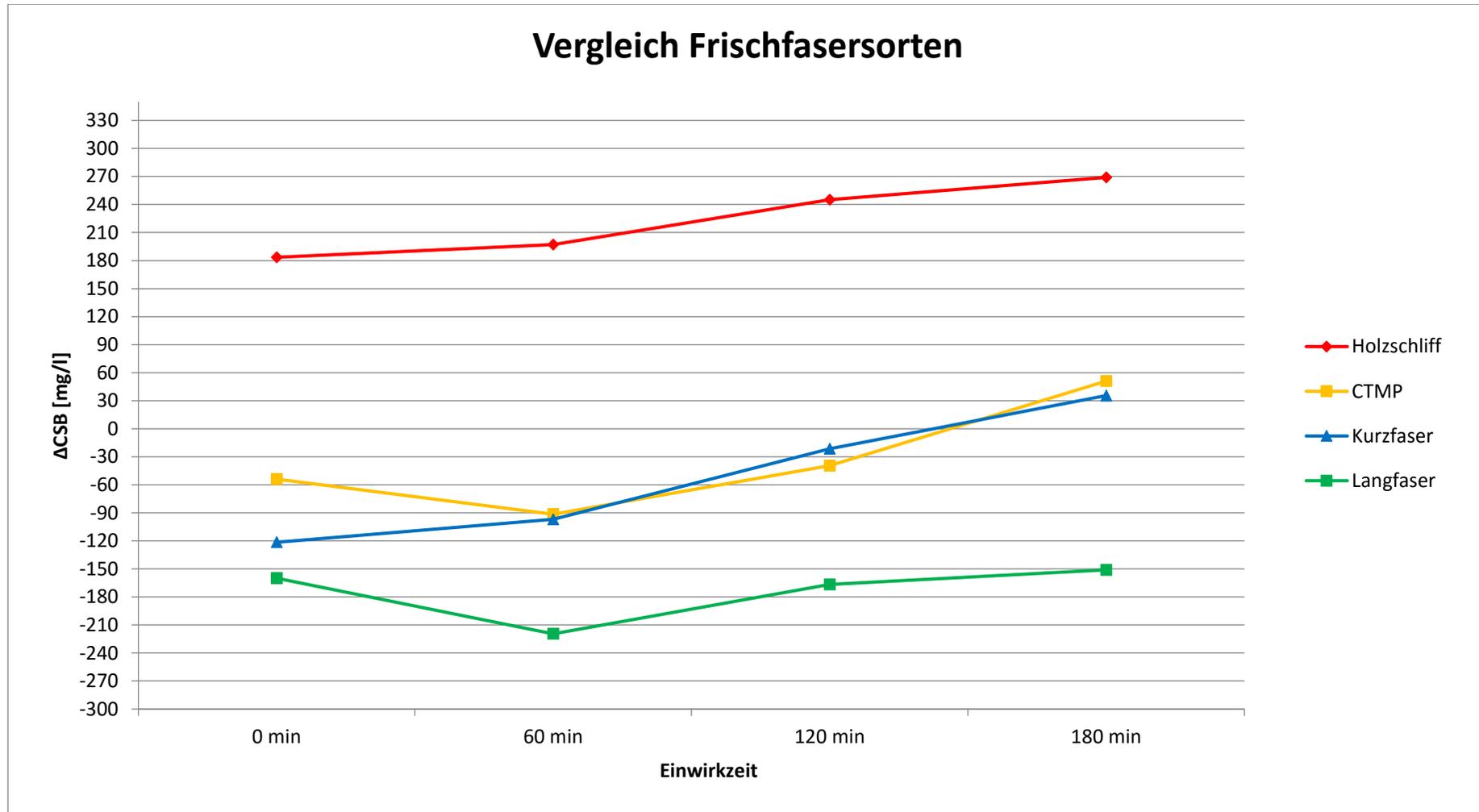


Diagramm 6-8: Frischfasern

Um die Untersuchungsergebnisse jeder Rohstoffsorte miteinander vergleichen zu können, wurden die Δ CSB Werte aller aufgelösten Rohfasern, nach der maximalen Einwirkzeit von 3 Stunden, in die großtechnisch bedeutende Einheit kg CSB pro t Rohstoff otro umgerechnet. Die Berechnung zeigen die Formeln 6-5 bis 6-8.

$$\text{Gesamtgewicht Ballen [kg]} * (1 - \% \text{ Feuchte}) = \text{Rohstoff otro [kg]} \quad \text{Formel 6-5}$$

$$\frac{\text{Rohstoff otro [kg]}}{\text{Stoffdichte } \left[\frac{\text{kg}}{\text{l}}\right]} = \text{Füllmenge Pulper [l]} \quad \text{Formel 6-6}$$

$$\frac{\text{Füllmenge Pulper [l]} * \Delta\text{CSB aus Rohstoff } \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right]}{10^6} = \text{CSB [kg]} \quad \text{Formel 6-7}$$

$$\frac{\text{CSB [kg]}}{\text{Rohstoff otro [kg]}} * 10^3 = \frac{\text{kg CSB}}{\text{t Rohstoff}} \quad \text{Formel 6-8}$$

Die Ergebnisse werden im Diagramm 6-9 dargestellt, die Berechnungen sind in Anhang 4 zu finden.

Die Berechnung der Sorte „Getränkekartons“, 5.03.00, konnte nicht durchgeführt werden, da an den Proballen keine vernünftige Feuchtigkeitsmessung durchgeführt werden konnte, zusätzlich wurde die Stoffdichteberechnung durch die Anteile von Kunststoff und Aluminium erschwert. Im Vergleich zu den vorherigen Kapiteln, erkennt man auch im Diagramm 6-9, dass die Altpapiersorten 3.18.01, 1.02.00 und 3.06.00 den meisten CSB eintragen. Hier ergeben sich Werte über 30 kg CSB pro Tonne Rohstoff. Den höchsten CSB-Eintrag liefert die Sorte „Wellpappe 90“ (34,7 kg CSB/t Rohstoff). Dies könnte auf den Einsatz von Stärke oder ähnlichen Produkten als Kleber zurückzuführen sein. Auch die Sorte „unbenützte Wellpappe“ liefert Werte knapp unter 30 kg CSB/t Rohstoff.

Auch bei den Sorten, die CSB-Konzentrationen im Minusbereich lieferten, zeichnen sich nach diesen Berechnungen die gleichen Tendenzen ab. Das sind die Altpapiersorten 3.14.00, 3.15.01, 2.07.01 sowie bei der Zellstoff Langfaser ab.

2.03.01 („weiße Späne, leichter Andruck“) sowie die Frischfasern CTMP und Zellstoff Kurzfasern liefern sehr geringe CSB-Einträge (0,9 – 1,3 kg CSB/ kg Rohstoff). Auch diese Berechnungen zeigen die gleiche Tendenz wie die Konzentrationswerte der vorherigen Untersuchungen.

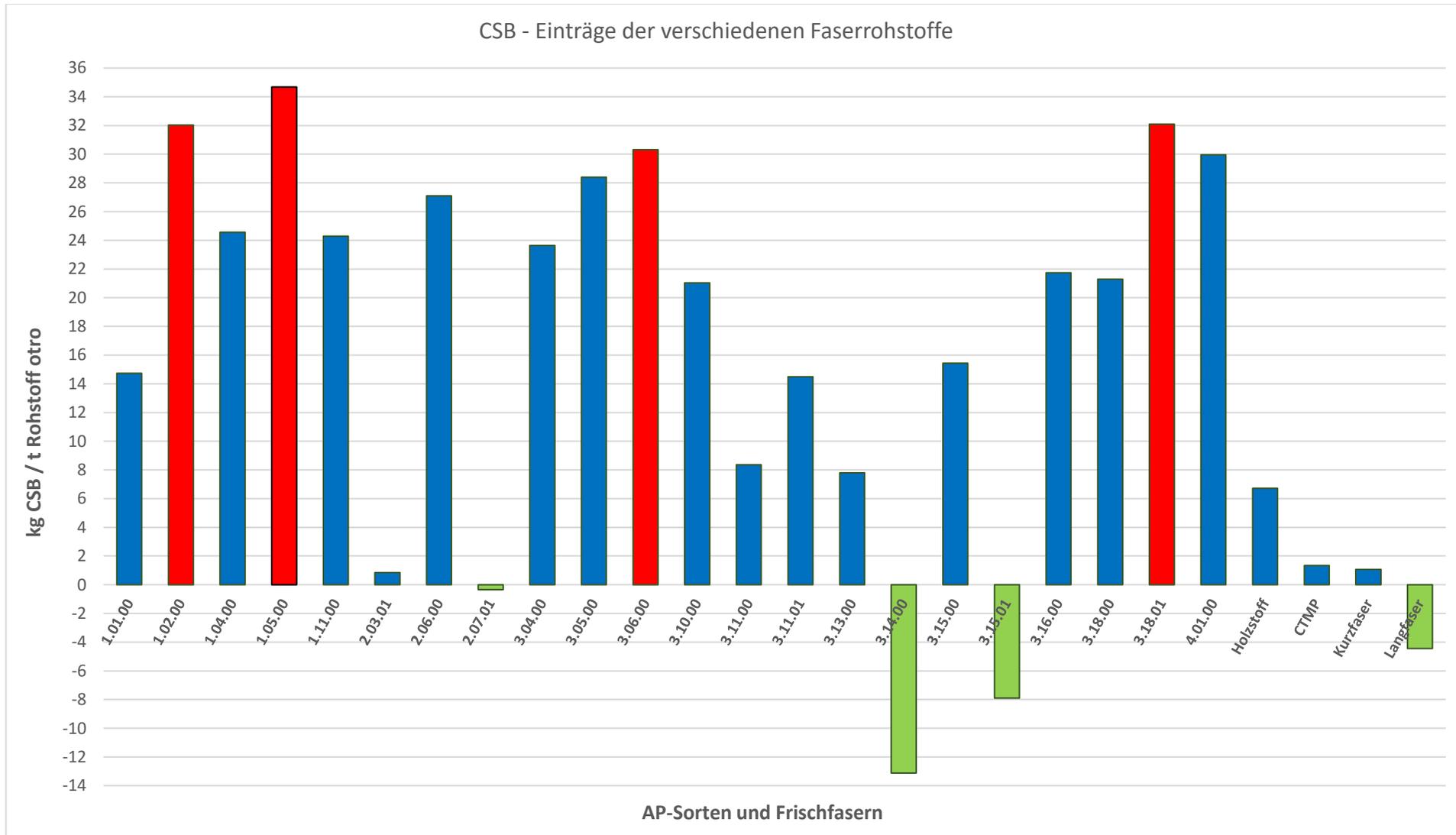


Diagramm 6-9: CSB Einträge der untersuchten Altpapier- und Frischfasersorten

7 Untersuchungen der Arbeitsbüten

Die Arbeitsbüten sind die letzte Prozessstufe bevor der fertig aufbereitete und gemischte Stoff die Kartonmaschine erreicht (siehe Kapitel 2.1.1). Für jede Lage des Kartons gibt es eine Arbeitsbüte: Decke, Einlage, Schonschicht und Rückseite. Die Überlegung war, die einzelnen Arbeitsbüten auf CSB zu untersuchen, um zu sehen, welche CSB-Konzentration direkt an die Kartonmaschine geht. Im nächsten Schritt sollte über die Rezepturen der einzelnen produzierten Kartonsorten und den Rohstoffeintrag bilanziert werden. Danach sollten die Ergebnisse verglichen werden um die Resultate der Versuche im Pulper zu verifizieren.

7.1 Versuchsdurchführung

Ab August 2016 wurden während der Auflöseversuche im Pulper 9 zusätzlich aus jeder Arbeitsbüte jeder Lage an der KM2 und KM3 jeweils 1 l Stoffprobe gezogen. Von jeder produzierten Kartonsorte wurden zu unterschiedlichen Zeiten die Proben genommen um direkte Vergleiche ziehen zu können.

Als erstes wurde im Programmstand ermittelt, welche Kartonsorte an welcher Maschine produziert wird. Vor jeder Arbeitsbüte befindet sich ein Konsistenztransmitter mit einer Probenahmestelle (siehe Abbildung 52) an der der Stoff entnommen wurde.



Abbildung 52: Probenahmestelle an der Deckenlage KM3

Wie schon in den vorherigen Versuchsdurchführungen beschrieben, wurden die Proben in das Labor gebracht, filtriert, und der CSB-Analyse unterzogen.

Zusätzlich wurde zur gleichen Zeit direkt an der Maschine eine Reinwasserprobe genommen um auch hier ein Δ CSB zu berechnen.

Die Ergebnisse wurden danach mit den Berechnungen der Bilanzierung verglichen. Aufgrund der vielen verschiedenen und umfangreichen Rezepte wurde nur die Bilanzierung der Deckenlage beispielhaft an einigen Kartonsorten durchgeführt.

Im folgenden Kapitel werden diese Kartonsorte 1 „KS1“ und Kartonsorte 2 „KS2“ benannt.

Geräte und Reagenzien

PE-Probenahmeflaschen mit unterschiedlichen Volumina

Filter Sartorius, Klasse hw3

Abnutschanlage

Vakkumpumpe, 0,28 kW, Fa. KNF Neuberger

Nutsche, 150 mm, Keramik

2 Liter Absaugkolben

Hach Lange Kolbenhubpipette (0,1 – 1 ml)

Hach Lange Küvettentests LCK 014, Messbereich 1.000 – 10.000 mg/l CSB

Hach Lange Thermostat

Hach Lange Photometer

7.2 Ergebnisse

Nach einigen Untersuchungen zeigt sich, dass sehr unterschiedliche CSB-Konzentrationen in den einzelnen Büten vorliegen, obwohl die gleiche Kartonsorte und die gleiche Grammaturn produziert wurde. In Tabelle 14 und Tabelle 15 werden die Ergebnisse der KS1 und KS2, produziert an der KM3, dargestellt. Man sieht deutlich, dass die Werte, z.B. bei den Ergebnissen der Rückseite, starke Schwankungen aufweisen (über 300 mg/l bei KS1 und über 750 mg/l bei KS2).

Tabelle 14: Untersuchungsergebnisse KS1, 250 g/m²

14.09.2016, 09:45		
KS1 250	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
Decke	3365	420
Einlage	3275	331
Rückseite	3016	71
Schonschicht	3370	426
Reinwasser	2945	
27.09.2016, 09:15		
KS1 250	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
Decke	2978	-25
Einlage	3217	215
Rückseite	2741	-262
Schonschicht	3107	105
Reinwasser	3002	

Tabelle 15: Untersuchungsergebnisse KS2, 320 g/m²

13.09.2016, 09:44		
KS2 320	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
Decke	4260	174
Einlage	4663	576
Rückseite	3924	-163
Schonschicht	4702	616
Reinwasser	4087	
24.10.2016, 08:13		
KS2 320	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB [mg/l]
Decke	3711	0
Einlage	3980	270
Rückseite	4298	588
Schonschicht	3997	287
Reinwasser	3711	

Jede produzierte Kartonsorte (siehe Tabelle 2) an beiden Kartonmaschinen besitzt eine gewisse Rezeptur, Standardeintrag genannt. Tabelle 16 zeigt diese beispielhaft von der KS2 an der KM3 und im Vergleich dazu Tabelle 17 KS2 an der KM2. Diese Standardeinträge bilden die Grundlage für die nachfolgende Bilanzierung.

Tabelle 16: Standardeintrag KS2 an der KM3

Rezeptur KS2, KM3			
	Anteil	AP-Sorte	
Decke	30%	3.14	Zellstoff 20%
	20%	3.18	
	20%	3.06	
	20%	3.05	
	10%	2.07	
	Lagengewicht	32 - 35 g/m ²	
Schonschicht	Aus Einlage ohne Holzstoff		
		28 - 32g/m ²	
Einlage	50%	1.05/4.01	20-27 %
	30%	1.01	Holzstoff
	20%	1.02	
	Lagengewicht	je nach Grammaturn des Kartons	
Rückseite	80%	3.14	
	15%	Zellstoff	
	5%	CTMP	
	Lagengewicht	38 – 42 g/m ²	

Tabelle 17: Standardeintrag KS2 an der KM2

Rezeptur KS2, KM2			
	Anteil	AP-Sorte	
Decke	55%	3.05	
	15%	3.10	
	15%	2.07	
	10 %	2.06	
	5 %	3.15.01	
	Lagengewicht	20 g/m ²	
Schonschicht	Wie Decke ohne Flotation		
		25 g/m ²	
Einlage		1.04	Bis zu 25 %
		1.01	Holzstoff
		1.02	
	Lagengewicht	je nach Grammaturn des Kartons	
Rückseite	70%	3.14	
	20%	3.13	
	10%	CTMP	
	Lagengewicht	32/m ²	

CSB Bilanzierung

Aufgrund der Vielzahl der Untersuchungen und Ergebnisse der CSB-Messungen wurden nur die Ergebnisse Arbeitsbütte „Decke“ der KS1 an der KM3 sowie KS2 an der KM2 und KM3 zur Bilanzierung herangezogen. Es wurde eine einfache Massenbilanzierung, wie in Abbildung 53 ersichtlich, durchgeführt, indem alle Konzentrationen auf ein Volumen von 1l bezogen wurden (siehe Formel 7-1)

$$m_{CSB}[mg] = \beta_{CSB} \left[\frac{mg}{l} \right] * V [l]$$

Formel 7-1

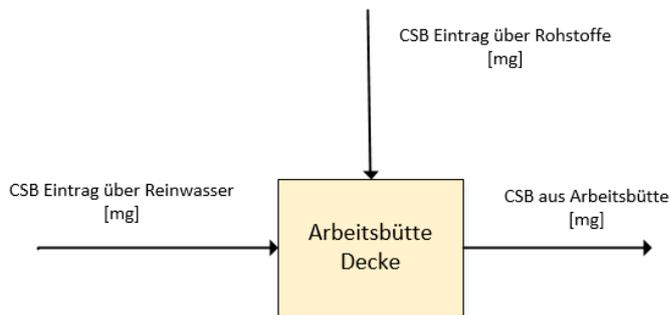


Abbildung 53: Bilanzraum Arbeitsbütte Decke

Deckenbilanzierung KS1

Die Deckenlage der Kartonsorte KS1 besteht aus 75 % Altpapier und aus 25 % Zellstoff. Die 75 % wurden anteilmäßig auf die verschiedenen Altpapiersorten der Rezeptur aufgeteilt. Für die CSB-Berechnungswerte wurden die Ergebnisse der Untersuchungen in Kapitel 6 der jeweiligen Sorten bei 3 Stunden Einwirkzeit herangezogen. Bei der Sortenangabe 3.18 wurde der Mittelwert der CSB-Werte von 3.18.00 und 3.18.01, und beim Zellstoffanteil der Mittelwert der CSB-Werte von Kurzfasern und Langfasern verwendet. Zu diesen Werten wurden die mg CSB des Reinwassers addiert. Danach wurde mit den %-Anteilen multipliziert um den CSB-Eintrag zu erhalten. Die Summe ergibt den CSB-Gesamteintrag der Decke (Tabelle 18).

Tabelle 18: Bilanzierung Deckenlage KS1, 14.09.2016

KS1		14.09.2016			
		<i>% Anteil</i>	<i>Sorte</i>	<i>CSB [mg]</i>	<i>Eintrag CSB [mg]</i>
	60% von 0,75	45,0%	3.18	4114	1851
	30% von 0,75	22,5%	3.14	2512	565
	10% von 0,75	7,5%	3.06	4218	316
Altpapier	75%	75,0%			
Zellstoff	25%	25%	Zellstoff	2888	722
	100%	100%		<i>Summe</i>	3455

Die berechnete Summe wurde mit den Ergebnissen der Bütenuntersuchung verglichen. Die Konzentrationen der Büten wurden ebenfalls auf 1l Volumen bezogen um die Massen vergleichen zu können.

Das Ergebnis der Büte war **3365** mg (Tabelle 14). Daraus ergibt sich eine Abweichung von **90** mg CSB zwischen Messung und Berechnung.

Die zweite Bilanzierung, ersichtlich in Tabelle 19, brachte eine noch größere Abweichung von **534** mg CSB zwischen Messung (Tabelle 14) und Berechnung.

Tabelle 19: Bilanzierung Deckenlage KS1, 27.09.2016

KS1		27.09.2016			
		<i>% Anteil</i>	<i>Sorte</i>	<i>CSB [mg]</i>	<i>Eintrag CSB [mg]</i>
	60% von 0,75	45,0%	3.18	4171	1877
	30% von 0,75	22,5%	3.14	2569	578
	10% von 0,75	7,5%	3.06	4275	321
Altpapier	75%	75,0%			
Zellstoff	25%	25%	Zellstoff	2945	736
	100%	100%		<i>Summe</i>	3512

Aufgrund dieser Ergebnisse kann man davon ausgehen, dass trotz gleich produzierter Sorte und Grammatur die Bilanzierung eine hohe Schwankungsbreite liefert.

Deckenbilanzierung KS2, KM3

Die Deckenlage der Kartonsorte KS2 KM3 besteht aus 80 % Altpapier und aus 20% Zellstoff (Tabelle 16).

Tabelle 20: Bilanzierung Deckenlage KS2 KM3, 13.09.2016

KS2		13.09.2016			
		<i>% Anteil</i>	<i>Sorte</i>	<i>CSB [mg]</i>	<i>Eintrag CSB [mg]</i>
	30% von 0,8	24%	3.14	3654	877
	20% von 0,8	16%	3.18	5256	841
	20% von 0,8	16%	3.06	5360	858
	20% von 0,8	16%	3.05	5280	845
	10% von 0,8	8%	2.07	4073	326
Altpapier	80%	80%			
Zellstoff	20%	20%	Zellstoff	4030	806
				Summe	4552

Der Vergleich mit den Messwerten in Tabelle 15 ergibt eine Differenz von **292 mg**.

Die Bilanzierung vom 24.10.2016, ersichtlich in Tabelle 21, ergab im Vergleich mit den Messergebnissen in Tabelle 15 eine Differenz von **465 mg**. Diese unterschiedlichen Ergebnisse lassen auch hier darauf schließen, dass eine Bilanzierung in dieser Weise hohe Schwankungen liefert.

Tabelle 21: Bilanzierung Deckenlage KS2 KM3, 24.10.2016

KS2		24.10.2016			
		<i>% Anteil</i>	<i>Sorte</i>	<i>CSB [mg]</i>	<i>Eintrag CSB [mg]</i>
	30% von 0,8	24%	3.14	3278	787
	20% von 0,8	16%	3.18	4880	781
	20% von 0,8	16%	3.06	4984	797
	20% von 0,8	16%	3.05	4904	785
	10% von 0,8	8%	2.07	3697	296
Altpapier	80%	80%			
Zellstoff	20%	20%	Zellstoff	3654	731
				Summe	4176

Deckenbilanzierung KS2, KM2

Durch eine andere Maschinenausstattung an der Kartonmaschine 2, ist auch die Rezeptur der gleichen Kartonsorte anders als an der Kartonmaschine 3 (vgl. Tabelle 16 mit Tabelle 17).

In der Bilanzierung Tabelle 22 erkennt man, dass der CSB-Eintrag in Summe in diesem Fall geringer ist, als im Vergleich zu den Einträgen bei gleicher Sorte an der KM3 (vgl. Tabelle 20 und Tabelle 21).

Rezeptur MCB, KM2			
	Anteil	AP-Sorte	
Decke	55%	3.05	
	15%	3.10	
	15%	2.07	
	10%	2.06	
	5%	3.15.01	
	Lagengewicht	20g/m ²	
Schonschicht	Wie Decke ohne Flotation		
	25g/m ²		
Einlage		1.02	bis zu 25 %
		1.04	Holzstoff
		1.01	
	Lagengewicht	je nach Grammaturn des Kartons	
Rückseite	70%	3.14	
	20%	3.13	
	5%	CTMP	
	Lagengewicht	32 g/m ²	

Tabelle 22: Bilanzierung Deckenlage KS2 KM2, 08.09.2016

KS2		08.09.2016	
% Anteil	Sorte	CSB [mg]	Eintrag CSB [mg]
55%	3.05	4399	2419
15%	3.10	4026	604
15%	2.07	3192	479
10%	2.06	4290	429
5%	3.15.01	2890	145
100%		Summe	4076

Auch diese Werte der Bilanzierung kann man erneut mit den Messungen der Arbeitsbütte Decke KM2 (Tabelle 23) vergleichen. Es ergibt sich eine Differenz von **459** mg CSB.

Tabelle 23: Untersuchungsergebnisse KS2 400 g/m², KM2

08.09.2016, 15:30		
KS2 400	CSB \bar{x}_a [mg]	Δ CSB [mg]
Decke	3617	411
Einlage	5143	1937
Rückseite	4152	946
Schonschicht	4059	853
Reinwasser	3206	
26.09.2016, 09:15		
KS2 400	CSB \bar{x}_a [mg]	Δ CSB [mg]
Decke	2910	-621
Einlage	3855	323,5
Rückseite	3366	-165,5
Schonschicht	3229	-302
Reinwasser	3531	

Eine weitere Bilanzierung vom 27.09.2016 ist in Tabelle 24 dargestellt. Im Vergleich mit den CSB-Berechnungswerten aus Tabelle 23 ergibt sich eine sehr hohe Differenz von **1491 mg**.

Tabelle 24: Bilanzierung Deckenlage KS2 KM2, 26.09.2016

KS2			
26.09.2016			
<i>% Anteil</i>	<i>Sorte</i>	<i>CSB [mg]</i>	<i>Eintrag CSB [mg]</i>
55%	3.05	4724	2598
15%	3.10	4351	653
15%	2.07	3517	528
10%	2.06	4615	462
5%	3.15.01	3215	161
100%		Summe	4401

Auch bei den Bilanzierungen von KS2 an der KM2 zeigt sich, wie auch in allen vorherigen Bilanzierungen, dass zu viele Schwankungen in den Ergebnissen vorhanden sind. Jedoch ist zu sagen, dass die Abweichungen an der KM2 größer sind als an der KM3.

7.3 Diskussion der Ergebnisse

Nach nur wenigen Untersuchungen der Arbeitsbüten wurde die Vermutung bestätigt, dass sehr unterschiedliche Ergebnisse erzielt wurden. Diese Vermutung spiegelt sich auch in den Bilanzierungen wieder. Der Grund liegt zum einen wahrscheinlich daran, dass es sich bei der Probenahme um Stichproben handelt und diese nur zweimal je Sorte genommen wurden. Mehrere Beprobungen und Bilanzierungen wären notwendig um zu sehen, ob die Abweichungen zwischen Messung und Bilanzierung sich in ähnlichen Bereichen befinden. Zum anderen darf man die Tatsache nicht außer Acht lassen, dass lediglich die CSB-Konzentration des Reinwassers zur Bestimmung des ΔCSB verwendet wurde. In der Praxis ergibt sich jedoch eine Mischung verschiedener Prozesswasser (Siebwasser, Presswasser, Frischwasser, usw.), aus denen sich das Verdünnungswasser des Stoffes in den Arbeitsbüten zusammensetzt. Durch die Komplexität der Wasserkreisläufe müsste man Wasserproben an sehr vielen Stellen nehmen, wodurch die Untersuchung auf CSB und die Durchführung der Bilanzierung einen hohen Aufwand bedeuten würde. Des Weiteren ist zu sagen, dass es sich bei den Untersuchungen in Kapitel 6, trotz der Dimensionen, nur um eine Stichprobe von einem Ballen und einem Lieferanten handelt. Somit ist die Schwankungsbreite der CSB-Werte der einzelnen Altpapiersorten nur schwer abschätzbar. Eine Untersuchung von verschiedenen Altpapierlieferungen mehrerer Lieferanten wäre sinnvoll, stellt jedoch einen hohen Aufwand dar. Ein zusätzlicher Faktor ist die Qualität des Rohstoffes. Man erkennt eine Verschlechterung der Qualität über die letzten Jahre, welche vermutlich an einem vermehrten Einsatz von Stärke und ähnlichen Hilfsmitteln in der Herstellung liegen kann. Des Weiteren stellt sich die Frage, in wie weit die Standardeinträge der Rohstoffe von den Mitarbeitern der Stoffaufbereitung konstant gehalten werden. Als weiterer Punkt sollte der Chemikalieneintrag als CSB-Quelle in der Bilanzierung berücksichtigt werden. Der Einsatz von Stärke sowie anderen Füll- und Hilfsstoffen müsste hinsichtlich Auswirkungen auf den CSB-Eintrag untersucht werden. Zusätzlich ist auch der Einfluss von mechanischer und thermischer Energie auf die Löslichkeit zu berücksichtigen, die durch Prozesse in der Stoffaufbereitung, z.B. Dispergierung (siehe Kapitel 2.1.1), eingebracht werden. Zu berücksichtigen ist auch, welche Kartonsorte zur gleichen Zeit an der jeweils anderen Kartonmaschine produziert wird, da dies Auswirkungen auf die CSB-Gesamtbilanz der Prozesswasser hat. Um bessere Aussagen treffen zu können, sollte in nächsten Schritten die Bilanzierung aller Lagen jeder einzelnen Kartonsorte durchgeführt werden. Mit einer CSB-Gesamtbilanz, bzw. einer Gegenüberstellung der Bilanz beider Kartonmaschinen, könnte man die Berechnungen mit den Messwerten des Rohwassers in Kapitel 4 vergleichen und so den Kreislauf über das gesamte Werk schließen. Hauptansatzpunkt bleibt jedoch die Qualität des Rohstoffes, da dies durch unterschiedliche Belastung des Altpapieres die Hauptquelle des CSB darstellt.

Man kann schlussendlich behaupten, dass diese Form der Bilanzierung durch zu viele Einflussfaktoren als noch nicht aussagekräftig angesehen werden kann.

8 Zusammenfassung

Aufgrund der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit können folgende Aussagen getroffen werden:

Durch die Untersuchungen der Prozesswasser in der ARA kann man keine eindeutige Zuordnung von CSB-Frachten zu gewissen produzierten Kartonsorten machen. Jedoch sind gewisse Trends vorhanden.

Wird über einen längeren Zeitraum an der KM3 die Sorte MCM und MCS produziert, verzeichnen sich erhöhte Werte in der CSB-Konzentration. Hohe CSB-Konzentrationen und CSB-Frachten im Rohwasser KM2 ergeben sich bei der Produktion von MCS. Wird an der KM2 MCS und an der KM3 MCM produziert, ergeben sich Höchstwerte in der CSB-Konzentration des Reinwassers. Wird die Sorte TopColor über einen längeren Zeitraum an der KM3 produziert, sinken alle CSB-Konzentrationen und Frachten in allen Prozesswassern.

Die Untersuchung von drei Altpapiersorten durch Auflöserversuche im Nasslabor der KM3 im Laborpulper führten zur Erkenntnis, dass die Altpapiersorte 3.15.01 die CSB-Konzentration im Reinwasser senkt, während die beiden anderen Sorten CSB lösen.

Bei der Altpapierprobe 3.18.01 wurde im Reinwasser mehr CSB gelöst als im Frischwasser, wobei die Differenz mit zunehmender Einwirkzeit größer wurde. Es wurden Werte über 1000mg/l erreicht.

Die Wellpappeproben lösten weniger CSB (600-1000 mg/l) und blieben so unter den Erwartungen, jedoch wurde hier im Frischwasser mehr CSB als im Reinwasser gelöst.

3.15.01 lieferte beim Auflösen mit Reinwasser Δ CSB Werte im Minusbereich, beim Auflösen mit Frischwasser wurden geringe Mengen (60-100 mg/l) gelöst.

Bei den großtechnischen Versuchen im Pulper 9 wurden die Altpapiersorten in einzelnen Gruppen über einen Zeitraum von 3 Stunden untersucht und miteinander verglichen.

Gruppe 1 zeigte hohe CSB-Löslichkeit bei der Sorte 1.02.00, während die anderen Sorten im Durchschnitt um 400 mg/l darunterlagen. Am wenigsten wurde aus der Altpapiersorte „einfach gemischtes Altpapier“ gelöst.

Bei den holzhaltigen Sorten der Gruppe 2 fällt das Δ CSB in den Minusbereich, während 2.06.00, welches aus 70% holzfreien Papier besteht, eine CSB-Konzentration im 1000 mg/l - Bereich hervorbrachte.

Die Altpapiersorten der Gruppe 3 wurden auf Grund der Untersuchungsergebnisse von Gruppe 2 in „holzfrei“ und „holzhaltig“ unterteilt.

Die holzfreien Sorten der Gruppe 3 lieferten, wie erwartet, alle ein positives Δ CSB in den Bereichen von 600 – 1300 mg/l. Die Sorte 3.18.01 löste dabei die höchste Menge nach 3 Stunden (1380 mg/l).

Bei den holzhaltigen Papieren der Gruppe 3 wiesen zwei Sorten (3.14.00 und 3.15.01) erneut CSB-Werte im Minusbereich auf, während die Sorte 3.15.00 im 600 mg/l-Bereich löst.

Die holzhaltigen Kartons lösten alle CSB-Konzentrationen im Bereich von 100-600 mg/l.

Die Altpapiersorte 4.01.00 lieferte nach 3 Stunden Einwirkzeit ein Δ CSB von 1168 mg/l.

Die gebrauchten Getränkekartonverpackungen der Gruppe 5 zeigten von allen aufgelösten Sorten die größte Steigung der Löslichkeit über 3 Stunden von 670 mg/l auf 1227 mg/l.

Bei den Frischfasern löste sich aus den zwei Zellstofffrischfasern im Versuch ein Δ CSB im Bereich von 30 bis -220 mg/l. Auch CTMP lieferte Werte im Bereich von -100mg/l. Holzstoff löste maximal 262 mg/l CSB nach 3 Stunden Einwirkzeit.

Zusammenfassend zu den Untersuchungen im Pulper kann gesagt werden, dass die Altpapiersorten 3.18.01, 1.02.00, 3.06.00 und 5.03.00 am meisten CSB, bei maximaler Einwirkzeit von 3 Stunden, lösen. Die Altpapiersorten 3.14.00, 3.15.01 und 2.07.01 und die Zellstofffrischfasern weisen dagegen ein Δ CSB im Minusbereich auf, bzw. senken sie die Konzentration des CSB im Reinwasser.

Nach der Umrechnung in die großtechnisch bedeutende Einheit kg CSB/t Rohstoff zeichneten sich die gleichen Tendenzen wie bei den vorherigen Auflöseversuchen im Pulper ab, zusätzlich berechnete sich aus der Sorte „Wellpappe 90“ der höchste Eintrag mit 35 kg/t.

Die Ergebnisse der Untersuchung der Arbeitsbüten lieferten sehr unterschiedliche CSB-Konzentrationen, trotz gleicher Sortenproduktion und Grammat. Die nachfolgende Bilanzierung wurde anhand von Faserrezepturen mit der Deckenlage von verschiedenen Kartonsorten durchgeführt. Der Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Messungen der Arbeitsbüte ergab unterschiedliche Ergebnisse, sodass keine Aussage über den Zusammenhang der eingesetzten Altpapiersorten und den Schwankungen der CSB-Fracht in den Prozesswassern getroffen werden konnte.

9 Verzeichnisse

9.1 Literatur

- [1] PTS-Projekt Nr. 13748, „Ermittlung der Ursachen für den Anstieg der CSB-Fracht und Erarbeitung von Optimierungsmöglichkeiten“, 2011
- [2] Geschäftsbericht des Mayr-Melnhof Konzerns, Mayr-Melnhof Karton AG, Wien, 2015
- [3] Umwelterklärung, Mayr-Melnhof Karton GmbH, Frohnleiten, 2016
- [4] Kartonbasisschulung, Mayr Melnhof Karton GmbH, Frohnleiten, 2016
- [5] Umweltmanagementhandbuch, Mayr-Melnhof Karton GmbH, Frohnleiten, 2016
- [6] Qualitätsmanagementhandbuch, Mayr-Melnhof Karton GmbH, Frohnleiten, 2016
- [7] DI Klaus Peter Janisch, Skriptum Papierrecycling, Institut für Verfahrenstechnik, MUL, SS 2016
- [8] Jürgen Blechschmidt, „Taschenbuch der Papiertechnik“, Hanser Verlag, München, ISBN 978-3-446-41967-4
- [9] Dr. Wilhelm Kilpper, Dr. Walter Wernisch, Wolfgang Felsch, Dr. Ing. Hannes-Lutz Dalpke, „Papiermacher Taschenbuch“, Dr. Curt Hafner – Verlag GmbH, Heilberg, 2003
- [10] ÖNORM ISO 15705: Wasserbeschaffenheit – Bestimmung des chemischen Sauerstoffbedarfs (ST – CSB) - Kuvettentest, Österreichisches Normungsinstitut, 2003
- [11] Produktbeschreibungen, Technische Daten, Hach Lange, <http://de.hach.com/csb-kuvetten-test-1000-10000-mg-l-o-sub-2-sub/product-details?id=26370260944>, Oktober 2016
- [12] Datenblätter, Broschüren, Arbeitsanleitungen, Hach Lange, <http://de.hach.com/product.detail-downloads.jsa?id=23358295122>, Oktober 2016
- [13] DIN EN 643: Papier, Karton und Pappe – Europäische Liste der Altpapier-Standardsorten, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2014.

9.2 Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
AP	Altpapier
ARA	Abwasserreinigungsanlage
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CTMP	Chemithermomechanical pulp
d	Tag
d.h.	das heißt
FW	Frischwasser
kg	Kilogramm
KM 2	Kartonmaschine 2
KM 3	Kartonmaschine 3
KS1	Kartonsorte 1
KS2	Kartonsorte 2
kW	Kilowatt
l	Liter
lutro	lufttrocken
MM	Mayr Melnhof
mm	Millimeter
ml	Milliliter
o.Ä.	oder Ähnliches
otro	Ofentrocken
PE	Polyethylen
PLS	Prozessleitsystem
RW	Reinwasser
s	Sekunden
Stk.	Stück
t	Tonne
z.B.	zum Beispiel

9.3 Tabellen

Tabelle 1: Maschinenausstattung im Werk Frohnleiten.....	5
Tabelle 2: Kartonsorten im Werk Frohnleiten.....	5
Tabelle 3: Untersuchungsergebnisse 3.18.01 mit RW und FW.....	33
Tabelle 4: Untersuchungsergebnisse 4.01.00 mit RW und FW.....	38
Tabelle 5: Untersuchungsergebnisse 3.15.01 mit RW, RW 2 und FW.....	42
Tabelle 6: Übersicht Ergebnisse Gruppe 1.....	56
Tabelle 7: Übersicht Ergebnisse Gruppe 2.....	59
Tabelle 8: Übersicht Ergebnisse Gruppe 3, holzfrei.....	63
Tabelle 9: Übersicht Ergebnisse Gruppe 3, holzhaltige Papiere.....	66
Tabelle 10: Übersicht Ergebnisse Gruppe 3, holzhaltige Kartons.....	69
Tabelle 11: Untersuchungsergebnisse 4.01.00.....	71
Tabelle 12: Untersuchungsergebnisse 5.03.00.....	72
Tabelle 13: Übersicht Ergebnisse Frischfasern.....	75
Tabelle 14: Untersuchungsergebnisse KS1, 250 g/m ²	81
Tabelle 15: Untersuchungsergebnisse KS2, 320 g/m ²	81
Tabelle 16: Standardeintrag KS2 an der KM3.....	82
Tabelle 17: Standardeintrag KS2 an der KM2.....	82
Tabelle 18: Bilanzierung Deckenlage KS1, 14.09.2016.....	83
Tabelle 19: Bilanzierung Deckenlage KS1, 27.09.2016.....	84
Tabelle 20: Bilanzierung Deckenlage KS2 KM3, 13.09.2016.....	85
Tabelle 21: Bilanzierung Deckenlage KS2 KM3, 24.10.2016.....	85
Tabelle 22: Bilanzierung Deckenlage KS2 KM2, 08.09.2016.....	86
Tabelle 23: Untersuchungsergebnisse KS2 400 g/m ² , KM2.....	87
Tabelle 24: Bilanzierung Deckenlage KS2 KM2, 26.09.2016.....	87

9.4 Abbildungen

Abbildung 1: Geschäftsstruktur (Stand 2015)	4
Abbildung 2: Standorte der Mayr-Melnhof Kartonwerke.....	4
Abbildung 3: Kartonaufbau am Beispiel Sorte GD2 300g/m ²	6
Abbildung 4: Prozessstufen	6
Abbildung 5: Stofflöser (Pulper).....	7
Abbildung 6: Nasspartie	9
Abbildung 7: Pressenpartie	10
Abbildung 8: Schema der Trockenpartie.....	10
Abbildung 9: Endfertigung	11
Abbildung 10: Prozessschema der ARA.....	15
Abbildung 11: Kurzanleitung LCK 014 Küvettentests.....	18
Abbildung 12: Hach Lange Thermostat HT 200 S während des Aufschlusses mit eingesetzten Küvetten.....	19
Abbildung 13: Photometer DR 3900 mit aufgeschlossenen Küvetten	19
Abbildung 14: Untersuchungsaufbau.....	20
Abbildung 15: Probenahmestelle ARA.....	21
Abbildung 16: Aufschlaggerät im leeren und befüllten Zustand	31
Abbildung 17: Temperierung des Frischwassers	32
Abbildung 18: Sorte 3.18.01 in Rollenform	33
Abbildung 19: Sorte 4.01.00 in Ballenform.....	38
Abbildung 20: Sorte 3.15.01 in Rollenform	42
Abbildung 21: Blick in den Pulper 9	48
Abbildung 22: PLS Darstellung des Pulper 9 mit Füllstandanzeige.....	50
Abbildung 23: Feuchtemessung am Altpapierballen	51
Abbildung 24 : Einwaage Stoffprobe.....	53
Abbildung 25: Probeballen der Sorte 1.01.00	54
Abbildung 26: Probeballen der Sorte 1.02.00	54
Abbildung 27: Probeballen der Sorte 1.04.00	54
Abbildung 28: Probeballen der Sorte 1.05.00	55

Abbildung 29: Probestellen der Sorte 1.11.00	55
Abbildung 30: Probestellen der Sorte 2.03.01	58
Abbildung 31: Probestellen der Sorte 2.06.00	58
Abbildung 32: Probestellen der Sorte 2.07.01	58
Abbildung 33: Probestellen der Sorte 3.04.00	61
Abbildung 34: Probestellen der Sorte 3.05.00	61
Abbildung 35: Probestellen der Sorte 3.06.00	61
Abbildung 36: Probestellen der Sorte 3.10.00	62
Abbildung 37: Probestelle der Sorte 3.16.00	62
Abbildung 38: Probestellen der Sorte 3.18.00	62
Abbildung 39: Probestellen der Sorte 3.18.01	63
Abbildung 40: Probestellen der Sorte 3.14.00	65
Abbildung 41: Probestellen der Sorte 3.15.00 (am Bild falsche Beschriftung)	65
Abbildung 42: Probestelle der Sorte 3.15.01	65
Abbildung 43: Probestellen der Sorte 3.11.00	68
Abbildung 44: Probestellen der Sorte 3.11.01	68
Abbildung 45: Probestellen der Sorte 3.13.00	68
Abbildung 46: Probestellen der Sorte 4.01.00 (am Bild falsche Beschriftung)	71
Abbildung 47: Probestellen der Sorte 5.03.00	72
Abbildung 48: Probestellen Holzstoff	73
Abbildung 49: Probestellen CTMP	73
Abbildung 50: Probestellen Kurzfasern	74
Abbildung 51: Probestellen Langfasern	74
Abbildung 52: Probenahmeort an der Deckenlage KM3	79
Abbildung 53: Bilanzraum Arbeitsbühne Decke	83

Anhang 1

Untersuchungsdaten Rohwasser KM2

Zeit	Datum	CSB Konzentration [mg/l]	Produzierte Sorte	Zulauf KM2 [l/min]	CSB Fracht [kg/min]
08:30		3993		10046,06	40,11
11:30	03. Jun	4267	MCM	10476,32	44,7
14:30		4168		10248,7	42,72
08:30		4817		11497,04	55,38
11:30	04. Jun	4841		7935,09	38,41
14:30		4676		8554,82	40
08:30		4344		10849,88	47,13
11:30	05. Jun	4408	MCB	10055,77	44,33
14:30		4461		10973,98	48,95
08:30		4799	MCS	10572,96	50,74
11:30	06. Jun	4435		8192,88	36,34
14:30		4317		10153,81	43,83
08:30		4451		8838,79	39,34
11:30	07. Jun	4418		9307,49	41,12
14:30		4488		10831,07	48,61
08:30		4146	MCM	11068,28	45,89
11:30	08. Jun	4963		9392,89	46,62
14:30		3709		10982,63	40,73
08:30		3679		10185,91	37,47
11:30	09. Jun	3594		13435,38	48,28
14:30		3298		10273,9	33,88
08:30		3624		9205,49	33,36
11:30	10. Jun	3351		8766,72	29,38
14:30		3396		9176,5	31,16
08:30		3274		9834,67	32,2
11:30	11. Jun	3596		10287,36	37
14:30		3617		11501,18	41,6
08:30		3814	MCB	9561,6	36,46
11:30	12. Jun	3755		8681,27	32,6
14:30		3895	EP	11983,78	46,67
08:30		4380		7494,47	32,83
11:30	13. Jun	4207	CME	8638,46	36,34
14:30		4503		10244,37	46,13

Zeit	Datum	CSB Konzentration [mg/l]	Produzierte Sorte	Zulauf KM2 [l/min]	CSB Fracht [kg/min]
08:30		3309	Stillstand	4327,97	14,32
11:30	14. Jun	3149	06:00-19:00	2432,1	7,66
14:30		3549		3286,96	11,67
08:30		3708	MCS	6890,13	25,55
11:30	15. Jun	3837		7810,2	29,97
14:30		3960		8986,18	35,59
08:30		4338	MCM	10659,12	46,24
11:30	16. Jun	4319		10702,25	46,23
14:30		4317		12374,2	53,42
08:30	17. Jun	4136		11599,18	47,97
11:30		4100		9194,42	37,69
08:30	18. Jun	4272		9219,13	39,39
15:45		4539		10061,86	45,67
14:00	19. Jun	4546	MCS	8978,36	40,82
08:30		4946		9607,38	47,52
11:30	20. Jun	4941		9550,09	47,19
15:00		4883		10535,81	51,45
08:30		4823		8264,32	39,85
12:00	21. Jun	4557	CME	11981,94	54,6
14:30		4492		8629,26	38,76
08:30	22. Jun	3962	MCM	4613,96	18,28

Untersuchungsdaten Rohwasser KM3

Zeit	Datum	CSB Konzentration [mg/l]	Produzierte Sorte	Zulauf KM3 [l/min]	CSB Fracht [kg/min]
08:30		4567	MCS	2704,54	12,35
11:30	3. Jun.	4861		6368,86	30,96
14:30		4910		4874,91	23,94
08:30		5621	MCM	4676,30	26,29
11:30	4. Jun.	5256		7378,38	38,78
14:30		5250		2719,36	14,28
08:30		4968		3871,04	19,23
11:30	5. Jun.	4685		3237,13	15,17
14:30		5027		4223,77	21,23
08:30		5129		3350,01	17,18
11:30	6. Jun.	5007		4694,77	23,51
14:30		5029		4920,40	24,74
08:30		5364	EP	5127,23	27,50
11:30	7. Jun.	5069	MCB	5867,26	29,74
14:30		4695	FB	6384,48	29,97
08:30		4239	TC	5753,99	24,39
11:30	8. Jun.	4044		5634,45	22,79
14:30		4345		8682,11	37,72
08:30		3930		6483,22	25,48
11:30	9. Jun.	3419		3123,17	10,68
14:30		3948		5463,54	21,57
08:30		3581		4118,89	14,75
11:30	10. Jun.	3650		5796,07	21,15
14:30		3491		3390,04	11,83
08:30		3696	MCB	6529,03	24,13
11:30	11. Jun.	3654	FB	4216,54	15,41
14:30		3845		2468,83	9,49
08:30		4608	MCB	4240,38	19,54
11:30	12. Jun.	4302		5674,86	24,41
14:30		4300	CME	2522,63	10,85
08:30		5047		5401,91	27,26
11:30	13. Jun.	5005	ACK	5712,01	28,59
14:30		5132		4576,51	23,49

Zeit	Datum	CSB Konzentration [mg/l]	Produzierte Sorte	Zulauf KM3 [l/min]	CSB Fracht [kg/min]
08:30		5148	FB	8239,93	42,42
11:30	14. Jun.	4938	FB	7451,86	36,79
14:30		5012		8568,43	42,94
08:30		4479	ACK	6958,69	31,17
11:30	15. Jun.	4366		6944,57	30,32
14:30		4540		5720,37	25,97
08:30		4921	MCS	4247,10	20,90
11:30	16. Jun.	4611		4978,13	22,95
14:30		4673		8691,85	40,62
08:30		4471		3123,11	13,96
11:30	17. Jun.	4782		4539,38	21,71
08:30		5323		2820,23	15,01
15:45	18. Jun.	5177		6263,62	32,43
14:00	19. Jun.	5300	MCM	4895,44	25,95
08:30		5202		8672,13	45,12
11:30	20. Jun.	4399		4571,86	20,11
15:00		5172		3348,51	17,32
08:30		4964	FB	6663,27	33,08
12:00	21. Jun.	4475		3969,15	17,76
14:30		4820		4971,07	23,96
08:30	22. Jun.	4031	TC	5386,54	21,71

Untersuchungsdaten Reinwasser

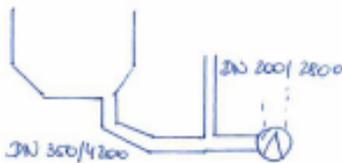
Zeit	Datum	CSB [mg/l]	Verbrauch KM2 [l/min]	Verbrauch KM3 [l/min]	CSB Fracht [kg/l]	Produzierte Sorte	
						KM2	KM3
08:30		4150	4990,57	5052,40	41,68	MCS	FB
11:30	31. Mai	4245	3864,20	4106,95	33,84		ACK
14:30		4449	4096,47	4685,66	39,07		
08:30		4299	3408,15	5400,65	37,87		CME
11:30	01. Jun	4312	3413,34	5414,23	38,07		
14:30		4464	3901,96	4763,98	38,68		MCS
08:30		4314	3709,94	5179,93	38,35		
11:30	02. Jun	4354	3768,69	5302,89	39,50		
14:30		4492	3798,51	5746,50	42,88		
08:30		4189	3452,86	5168,73	36,11		
11:30	03. Jun	4310	3562,88	4087,26	32,97	MCM	
14:30		4231	3364,80	4409,78	32,89		
08:30		4696	3988,70	3923,64	37,16		MCM
11:30	04. Jun	4699	4235,25	5211,86	44,40		
14:30		4819	4091,42	4599,82	41,89		
08:30		4496	5408,04	4499,59	44,54		
11:30	05. Jun	4408	4323,28	4764,83	40,06	MCB	
14:30		4685	5737,08	4997,14	50,29		
08:30		4609	3952,56	4438,10	38,67	MCS	
11:30	06. Jun	4749	5008,33	4329,98	44,34		
14:30		4604	4160,58	4134,39	38,19		
08:30		4451	4330,62	4390,68	38,82		EP
11:30	07. Jun	4552	4407,35	6422,61	49,30		MCB
14:30		4524	3899,08	4341,01	37,28		FB
08:30		4229	3834,77	8459,99	52,00	MCM	TC
11:30	08. Jun	4097	3809,13	7118,03	44,76		
14:30		4079	3942,01	6960,07	44,47		
08:30		3646	3900,73	6845,57	39,18		
11:30	09. Jun	3687	3812,83	8182,45	44,23		
14:30		3598	3810,55	5854,40	34,77		
08:30		3492	3472,71	5234,74	30,41		
11:30	10. Jun	3299	3426,62	7088,73	34,69		
14:30		3469	3593,35	4945,99	29,62		
08:30		3268	4276,01	5884,74	33,20		MCB
11:30	11. Jun	3306	4737,21	5999,09	35,49		FB
14:30		3333	4883,91	6133,59	36,72		
08:30		3906	4972,51	5559,83	41,14	MCB	MCB
11:30	12. Jun	3851	5011,36	4181,07	35,40		
14:30		3780	4932,63	4532,71	35,78	EP	CME
08:30		4082	3546,51	4934,72	34,62		
11:30	13. Jun	4299	3674,98	6413,65	43,37	CME	ACK
14:30		4303	3555,63	5097,75	37,23		

Zeit	Datum	CSB [mg/l]	Verbrauch KM2 [l/min]	Verbrauch KM3 [l/min]	CSB Fracht [kg/l]	Produzierte Sorte	
						KM2	KM3
08:30		4615	2538,66	4529,28	32,62	Stillstand	FB
11:30	14. Jun	3941	1640,62	4190,16	22,98	11 Std.	
14:30		3746	4866,23	4145,56	33,76		
08:30		3841	3502,55	4165,92	29,46	MCS	ACK
11:30	15. Jun	3830	3343,83	4869,41	31,46		
14:30		3990	3243,37	4627,66	31,40		
08:30		4329	3629,50	5168,64	38,09	MCM	MCS
11:30	16. Jun	4378	3458,28	4974,18	36,92		
14:30		4225	3674,59	4573,42	34,85		
08:30		4220	4124,28	4255,97	35,36		
11:30	17. Jun	4238	3623,85	5207,77	37,43		
08:30	18. Jun	4337	3793,41	5606,18	40,77		
15:45		4375	3911,35	5886,76	42,86		
14:00	19. Jun	4727	3644,27	4070,79	36,47	MCS	MCM
08:30		4881	4100,61	4565,77	42,30		
11:30	20. Jun	4821	5156,82	4736,07	47,69		
15:00		4792	4243,94	4138,84	40,17		
08:30		4565	4037,48	5429,26	43,21		FB
12:00	21. Jun	4222	4061,55	4935,09	37,98	CME	
14:30		4429	3985,16	5364,29	41,40		
08:30	22. Jun	4112	4192,59	4452,45	35,55	MCM	TC

Anhang 2

Pulper 9 Berechnungen [mm]

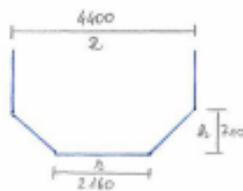
ANDRITZ



$$V_{\text{rohr } 350} = 175^2 \pi \cdot 4200 \approx 404 \text{ l}$$

$$V_{\text{rohr } 200} = 100^2 \pi \cdot 2800 \approx 88 \text{ l}$$

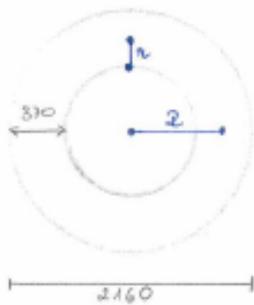
$$492 \text{ l} = V_0$$



$$V_{\text{Ziegel}} = \frac{h \cdot \pi}{3} (2^2 + 2 \cdot r + r^2)$$

$$= \frac{710 \cdot \pi}{3} (2200^2 + 2200 \cdot 1080 + 1080^2)$$

$$= 6.232 \text{ l} = V_1$$



$V_{\text{Zing unter Locher}} = \text{halber Torus}$

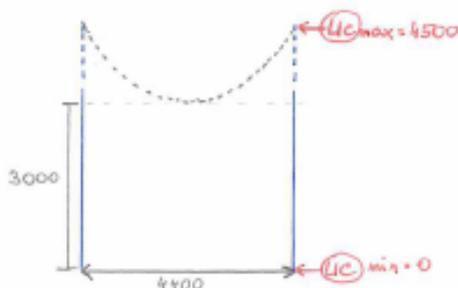
$$V = \frac{d \pi^2 \cdot 2 \cdot r^2}{2}$$

$$= \frac{2 \pi^2 \cdot 895 \cdot 185^2}{2} \approx 302 \text{ l} = V_2$$

$$V_{\text{aktor}} (800 \text{ kg}, 8 \text{ g/cm}^3) \approx 100 \text{ l} = V_3$$

$$V_{\text{baustant}} = V_0 + V_1 + V_2 - V_3 \approx \underline{\underline{6900 \text{ l}}}$$

$V_L = \text{Ziegelgröße, Pulvermantel}$



$$V_L = 2200^2 \cdot \pi \cdot 4500$$

$$\approx 68.424 \text{ l}$$

$$+ V_{\text{baust}} \quad 6.900 \text{ l}$$

$$\underline{\underline{75.324 \text{ l}}}$$

$$= 100\% \text{ Füllstand} = \text{LIC max}$$

Anhang 3

Untersuchungsergebnisse Gruppe 1, untere Sorten

1.01.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4044	
0 min	4382	338
60 min	4392	348
120 min	4505	462
180 min	4500	457
1.02.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4270	
0 min	5114	844
60 min	5297	1027
120 min	5391	1121
180 min	5583	1313
1.04.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4265	
0 min	4914	650
60 min	4956	691
120 min	5088	824
180 min	5223	958
1.05.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	3404	
0 min	4102	698
60 min	4156	752
120 min	4210	806
180 min	4375	971
1.11.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	3206	
0 min	3903	697
60 min	3951	745
120 min	4087	881
180 min	4202	996

Untersuchungsergebnisse Gruppe 2, mittlere Sorten

2.03.01	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	3942	
0 min	3951	9
60 min	3894	-49
120 min	3921	-21
180 min	3976	34
2.06.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	3015	
0 min	3850	835
60 min	3942	928
120 min	4055	1041
180 min	4098	1084
2.07.01	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4602	
0 min	4549	-53
60 min	4525	-77
120 min	4562	-41
180 min	4588	-14

Untersuchungsergebnisse Gruppe 3, bessere Sorten, holzhaltige Papiere

3.14.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4116	
0 min	3620	-497
60 min	3669	-448
120 min	3677	-440
180 min	3683	-433
3.15.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	2995	
0 min	3557	562
60 min	3531	536
120 min	3596	601
180 min	3643	648
3.15.01	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4808	
0 min	4515	-293
60 min	4459	-349
120 min	4408	-400
180 min	4492	-316

Untersuchungsergebnisse Gruppe 3, bessere Sorten, holzhaltige Kartons

3.11.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4621	
0 min	4841	220
60 min	4851	230
120 min	4875	254
180 min	4947	326
3.11.01	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	3526	
0 min	3916	390
60 min	3976	450
120 min	3986	460
180 min	4120	594
3.13.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	3606	
0 min	3636	31
60 min	3723	118
120 min	3752	146
180 min	3878	273

Untersuchungsergebnisse Gruppe 3, bessere Sorten, holzfrei

3.04.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	3865	
0 min	4587	722
60 min	4612	748
120 min	4747	883
180 min	4858	993
3.05.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4349	
0 min	5207	858
60 min	5287	939
120 min	5515	1167
180 min	5541	1193
3.06.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	3289	
0 min	4294	1005
60 min	4368	1080
120 min	4415	1126
180 min	4561	1273
3.10.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4061	
0 min	4744	683
60 min	4782	721
120 min	4808	747
180 min	4881	820
3.16.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4848	
0 min	5673	825
60 min	5698	850
120 min	5652	804
180 min	5674	826
3.18.00	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4325	
0 min	4936	611
60 min	5126	801
120 min	5182	857
180 min	5283	958
3.18.01	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus AP [mg/l]
Reinwasser	4232	
0 min	5318	1086
60 min	5455	1224
120 min	5541	1310
180 min	5611	1380

Untersuchungsergebnisse Frischfasern

Holzstoff	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus Faser [mg/l]
Reinwasser	4218	
0 min	4402	184
60 min	4415	197
120 min	4463	245
180 min	4487	269
CTMP	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus Faser [mg/l]
Reinwasser	4204	
0 min	4150	-54
60 min	4112	-92
120 min	4164	-40
180 min	4254	51
Kurzfaser	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus Faser [mg/l]
Reinwasser	4570	
0 min	4448	-122
60 min	4473	-97
120 min	4548	-22
180 min	4605	36
Langfaser	CSB \bar{x}_a [mg/l]	Δ CSB aus Faser [mg/l]
Reinwasser	4557	
0 min	4397	-160
60 min	4337	-220
120 min	4390	-167
180 min	4406	-151

Anhang 4

Berechnungsergebnisse der Rohstoff Einträge

Sorte		kg CSB/t Faserrohstoff
einfach gemischtes Altpapier	1.01.00	14,73
gemischtes Altpapier	1.02.00	32,02
Verpackung aus Papier und Karton	1.04.00	24,56
Wellpappe 90	1.05.00	34,68
Deinkingware	1.11.00	24,29
weiße Späne, leichter Andruck	2.03.01	0,85
einfache, sortierte bunte Akten	2.06.00	27,10
weiße Bücher holzhaltig	2.07.01	-0,34
weiße Späne, leichter Andruck, holzfrei	3.04.00	23,64
weiße Akten, holzfrei	3.05.00	28,40
Weißes Geschäftsformulare	3.06.00	30,31
Multidruck	3.10.00	21,03
weißer mehrlagiger Karton, stark bedruckt	3.11.00	8,36
gemischter weißer mehrlagiger Karton	3.11.01	14,49
weißer mehrlagiger Karton, unbedruckt	3.13.00	7,80
weißes Zeitungspapier	3.14.00	-13,12
weißes holzhaltiges Papier	3.15.00	15,43
weißes holzhaltiges gestrichenes Papier	3.15.01	-7,90
weißes holzfreies gestrichenes Papier	3.16.00	21,74
weiße Späne, holzfrei	3.18.00	21,29
weiße Späne, holzfrei, ungestrichen	3.18.01	32,09
unbenutzte Wellpappe	4.01.00	29,95
Holzstoff		6,73
CTMP		1,34
Kurzfaser		1,06
Langfaser		-4,44