Kuratorium für Forschung und Technik
der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e. V.

INFOR-Projekt Nr. 110 R

Reduktion des spezifischen Energieeinsatzes durch verbesserte Steuerung der Prozesszeiten

INFOR-Projekt Nr. 111 R

Erhöhung der Stoffdichten in den Prozessen der Stoffaufbereitung

Schlussbericht

August 2009

Technische Universität Dresden
Professur für Papiertechnik

Prof. Dr.-Ing. Harald Großmann
Dipl.-Ing. Heiko Fröhlich

Papiertechnische Stiftung (PTS)
München

Dr. Alois.-B. Kerkhoff
Dr.-Ing. Johannes Kappen

Abschlussbericht

Reduktion des spezifischen Energieeinsatzes durch verbesserte Steuerung der Prozesszeiten

(INFOR-Projekt Nr. 110R)

und

Erhöhung der Stoffdichten in den Prozessen der Stoffaufbereitung

(INFOR-Projekt Nr. 111R)

Prof. Dr.-Ing. Harald Großmann (TU Dresden, LPT),
Dr.-Ing. Johannes Kappen (PTS),
Dipl.-Ing. Heiko Fröhlich (TU Dresden, LPT)
Dipl.-Ing. Cornelia Lumpe (Millvision)
Dipl.-Ing. Jörg-Karl Bösner (TU Darmstadt, PMV)

August 2009

Projektbegleiter: Dr.-Ing. D. Rhodius (Papierfabrik Schoellershammer) X. Weig (Moritz J. Weig GmbH & Co. KG) O. Truppner (Smurfit Kappa Hoya Papier)	Das Forschungsprojekt wird gefördert über das Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im VDP e.V., Bonn

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS 2

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 4

TABELLENVERZEICHNIS 6

1. AUSGANGSSITUATION, PROBLEMSTELLUNG 7

1.1 Projekt 110R – Reduzierung Prozesszeiten 7

1.2 Projekt 111R – Erhöhung der Stoffdichte 8

2. KONZEPT, ARBEITSPLAN 11

2.1 Projekt 110R – Reduzierung der Prozesszeiten 11

2.2 Projekt 111R – Erhöhung der Stoffdichte 12

2.3 Änderungen des Arbeitsplanes (Beschluss PbA) 13

3. LÖSUNGSWEG UND ERGEBNISSE 16

3.1 Stand der Technik Stoffaufbereitung Verpackungspapierherstellung 16
3.1.1 Desintegration, Suspendierung 17
3.1.2 Entstippung 21
3.1.3 Reinigung 22
3.1.4 Sortierung, Fraktionierung 25
3.1.5 Mischen von Stoffströmen 26
3.1.6 Rohrleitungen 27

3.2 Ist-Zustand von Stoffaufbereitungsanlagen Verpackungspapierherstellung 28
3.2.1 Ergebnisse Betriebsdatenaufnahme 28
3.2.2 Ergebnisse Fragebögen 30
3.2.3 Zusammenfassung Ist-Zustand 34

3.3 Maßnahmen zur Reduzierung der Verweilzeit – Sicherstellung der Stippenreduzierung und der Festigkeitsentwicklung 35
3.3.1 Methodenentwicklung Stippengrößenverteilung 35
3.3.2 Versuchsplan und Ergebnisse Werksuntersuchungen 38
3.3.3 Bewertung der Entstippung in den untersuchten Werken 46
3.3.4 Versuchsplan und Ergebnisse Laboruntersuchungen 50
3.3.5 Bewertung der Einflussfaktoren (Verweilzeit und Energieeintrag) auf die Entstippung 54

3.4 Maßnahmen zur Erhöhung der Stoffdichte - Entwicklungstendenzen 55
3.4.1 Suspendierung 55
3.4.2 Sortierung 56
3.4.3 Stoffreinigung 58

3.5 Konzeptentwicklung 60
3.5.1 Basis der Konzeptentwicklung 60
3.5.2 Umsetzung des Standes der Technik 60
3.5.3 Weitere Reduzierung der Verweilzeit über den Stand der Technik hinaus 62
3.5.4 Bewertung der Wirtschaftlichkeit 72

4. ZUSAMMENFASSUNG / ZIELABGLEICH 74

5. AUSBLICK/ OFFENE FRAGEN / FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE 77

LITERATURVERZEICHNIS 78

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Entwicklung spezifischer Energieeinsatz 7
Abbildung 1.2: Vergleich der Verbräuche an elektrischer Energie wichtiger Teilprozesse der Papiererzeugung (INFOR-Projekt „Kostenstrukturanalyse“) 8
Abbildung 1.3: Abhängigkeit der Leistungskennzahl Ne von der Reynoldszahl Re beim Rühren fluider Systeme 9
Abbildung 3.1: Installierte elektrische Leistungen in verschiedenen Produktionsanlagen [] ..17
Abbildung 3.2:Suspensionscharakteristik von Pulpern bei verschiedenen Stoffdichten (Rohstoff: Zeitschriften) [2], [] 18
Abbildung 3.3:Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Einweichzeit [2], [] 19
Abbildung 3.4:Stippengehalt in Abhängigkeit von der Desintegrationszeit bei der Desintegration verschiedener Papiersorten bzw. Papiergemische 20
Abbildung 3.5:Standardabweichung der Komponentenanteile in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Verweilzeit [] 21
Abbildung 3.6:Zusammenhang zwischen der Auflösearbeit im Pulper und der Arbeit eines Entstippers [9] 22
Abbildung 3.7:Schwerteilabscheider [2] 23
Abbildung 3.8:Cleanerbauarten [2] 24
Abbildung 3.9:Reinigungseffizienz eines HW Cleaners in Abhängigkeit von Stoffdichte und Druckdifferenz [2] 25
Abbildung 3.10: Strömung im geraden Rohr 27
Abbildung 3.11: Strömung im gekrümmten Rohr 27
Abbildung 3.12: Vereinfachtes Prozessschema der untersuchten Papierfabriken 28
Abbildung 3.13: Spezifischer Energieverbrauch der Aggregate, Pumpen und Rührer der Stoffaufbereitung 30
Abbildung 3.14: durchschnittliche Produktionsmenge nach Angaben aus den Fragebögen 31
Abbildung 3.15: durchschnittliche Stoffdichte Suspendierung nach Angaben aus den Fragebögen 31
Abbildung 3.16: spezifischer Energieeinsatz Suspendierung nach Angaben aus den Fragebögen 32
Abbildung 3.17: durchschnittliche Stoffdichte Dickstoff- und Dünnstoffreinigung nach Angaben aus den Fragebögen 32
Abbildung 3.18: durchschnittliche Stoffdichte bei der Lochsortierung, der Fraktionierung und der Schlitzsortierung nach Angaben aus den Fragebögen 33
Abbildung 3.19: spezifischer Energieeinsatz bei der Lochsortierung, der Fraktionierung und der Schlitzsortierung nach Angaben aus den Fragebögen 33
Abbildung 3.20 Vergleich der gravimetrischen und der bildanalytischen Stippengehaltsmessung (Daten der Werke A, B und C) 37
Abbildung 3.21: Stippenprofil Werk A 38
Abbildung 3.22: Stippenprofil Werk B 39
Abbildung 3.23: Stippenprofil Werk C 40
Abbildung 3.24 Veränderung der Stippengrößenverteilung im Ableerturm (Werk A) 41
Abbildung 3.25 Veränderung der Stippengrößenverteilung im Ableerturm (Werk B) 42
Abbildung 3.26 Veränderung der Stippengrößenverteilung im Ableerturm (Werk C) 42
Abbildung 3.27 Veränderung der Stippengrößenverteilung in der Grobsortierung (Werk A) 43
Abbildung 3.28 Veränderung der Stippengrößenverteilung in der Grobsortierung (Werk B) 43
Abbildung 3.29 Veränderung der Stippengrößenverteilung in der Grobsortierung (Werk C) 44
Abbildung 3.30 Veränderung der Stippengrößenverteilung im Ableerturm bei der Nachuntersuchung in Werk B 45

Abbildung 3.31 Bilanzierung der Stippenfracht....46
Abbildung 3.32 Vorgeschlagene Darstellung zur vergleichenden Bewertung der Entstippung....47
Abbildung 3.33 Bewertung der Betriebsbereiche für Einzelaggregate und Aggregategruppen....47
Abbildung 3.34 Bewertung Entstippungswirkung der Vorsortierung in den untersuchten Werken....49
Abbildung 3.35: Abhängigkeit des Stippengehaltes von der Zerfaserungszeit, Firma A....52
Abbildung 3.36: Vergleich Stippengehalt in Abhängigkeit der Zerfaserungszeit, Fa. A, B, C 53
Abbildung 3.37: Abhängigkeit des Stippengehaltes von der Verweilzeit (alle Proben)....54
Abbildung 3.38: Abhängigkeit des Stippengehaltes von der Verweilzeit, aufgeschlagen im Pulper (Probe der Firma C)....54
Abbildung 3.39: Zerfaserungsarten in Abhängigkeit von der Stoffdichte....55
Abbildung 3.40: Verwirbelungen im Pulper, Strömungsprofil bei D-Form, Maximizer Lochgeometrie....56
Abbildung 3.41: spindelförmiger Rotor, Strömung im HC-Pulper, verbesserte Rotorgeometrie (Kandant Lamort)....56
Abbildung 3.42 Energieverlauf der Sortierung in Abhängigkeit der Stoffdichte []....57
Abbildung 3.43: Abhängigkeit des Abscheidewirkungsgrades von der Druckdifferenz und der Faserstoffdichte [6], []....59
Abbildung 3.44: Vergleich herkömmlicher Hydrozyklon und EcoMizer-Technologie []....59
Abbildung 3.46 Typischer Aufbau der untersuchten Stoffaufbereitungsanlagen für Verpackungspapiere (wichtige Volumina markiert)....60
Abbildung 3.47 Heutiger Stand der Technik der Stoffaufbereitung für Verpackungspapiere (Fluting): Beispiel Prozessschema [23]....61
Abbildung 3.48 Anpassung der Sortierung nach dem Stand der Technik [15]....62
Abbildung 3.49 Variantenbaum Konzeptentwicklung....65
Abbildung 3.50 Anpassung der Sortierung für Option 1b....67
Abbildung 3.51 Option 2b: Schaltung ohne Quellung aber mit zusätzlicher Stippenbehandlung; Basis ist der Stand der Technik....68
Abbildung 3.52 Optionen zur Umsetzung eines Aggregates zur Stippenverminderung....69
Abbildung 3.53 Option 2a: Schaltung ohne Quellung; Basis ist der Stand der Technik....69
Abbildung 3.54 Option 2b: Ausbau der Sortierung zum Betrieb einer Anlage ohne Ableerbütte....71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: spezifischer Energieeinsatz und Stoffdichte der Prozesse der Stoffaufbereitung [] 16
Tabelle 3.2: Bezeichnung der Stoffdichtebereiche in den Prozessen der Stoffaufbereitung [2] 17
Tabelle 3.3: Bauweise und Betriebsbedingungen der am häufigsten eingesetzten Zerfaserungsapparate 18
Tabelle 3.4: Eigenschaften von Cleanern für unterschiedliche Stoffdichtebereiche [2] 24
Tabelle 3.5: Einsatzbereiche verschiedener Sortierer [2] 26
Tabelle 3.6: Verweilzeiten in den Bütten der untersuchten Stoffsträngen (in min) 29
Tabelle 3.7: Mittlere Verweilzeit in den Aggregaten der untersuchten Anlagen (in min) 29
Tabelle 3.8 Bildanalytisch bestimmte Parameter 36
Tabelle 3.9 Klasseneinteilung der ermittelten Stippen 36
Tabelle 3.10: Effizienz der Stippenreduzierung im Hinblick auf Verweilzeit im Ableerturm (Werk A) 39
Tabelle 3.11: Effizienz der Stippenreduzierung im Ableerturm und in der Sortierung (Werk B) 40
Tabelle 3.12: Effizienz der Stippenreduzierung im Ableerturm und in der Sortierung (Werk C) 41
Tabelle 3.13: Stippenreduzierung der Ableerbütten der untersuchten Werke 41
Tabelle 3.14 Vergleich der Pulpersysteme (Aufbau und Betrieb; Betreiberangaben) 45
Tabelle 3.15 Für die Stippenbilanzen für Aggregategruppen der untersuchten Werke betrachtete Aggregategruppen ..... **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
Tabelle 3.16: Gewichtsverteilung der einzelnen Altpapiersortengruppen 51
Tabelle 3.17 Auswirkungen einer Auslegung der Stoffaufbereitung nach dem Stand der Technik 61
Tabelle 3.19 Nutzen einer Umsetzung des Leitgedankens „Delegation in den Nebenstrom“ 63
Tabelle 3.20 Bewertung der Risiken eines Wegfalls der Ableerbütte als Konsequenz der Umsetzung des Leitgedankens „Delegation in den Nebenstrom“ 64
Tabelle 3.21 Option 1: Konzept mit Verlegung der Quellung; Basis ist der Stand der Technik 65
Tabelle 3.22 Auswirkungen einer Elimination der Quellung; Basis: Stand der Technik 68
Tabelle 3.23 Auswirkungen einer Elimination der Quellung; Basis: Stand der Technik 70
Tabelle 3.24 Vergleich der Optionen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit 73

1. Ausgangssituation, Problemstellung

1.1 Projekt 110R – Reduzierung Prozesszeiten

Die komplexen Prozesse der Papiererzeugung einschließlich derjenigen für die Erzeugung der Faserstoffe haben in der Papierindustrie bereits in den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts zum Einsatz von Techniken zur Steuerung und Regelung geführt. Dabei galt das Hauptaugenmerk naturgemäß der Sicherstellung eines störungsfreien Produktionsablaufs und der Einhaltung immer enger werdender Qualitätslimits. Mit der Forderung nach verbesserter Umweltkompatibilität von Prozessen und Produkten kamen in den letzten Jahrzehnten zwar neue Aufgaben hinzu (Einhaltung von Grenzwerten), aber die Hauptziele blieben weiterhin die Prozessstabilität und die Qualitätssteuerung. Für die energetische Optimierung von Prozessen wird die Prozessleittechnik meist nur mittelbar eingesetzt.
Die aktuellen sowie die mittel- und langfristig zu erwartenden Entwicklungen der Energiepreise legen es nahe, die beeindruckend gestiegene Leistungsfähigkeit moderner Prozessleittechnik nun auch zur energetisch optimierten Steuerung von Teilprozessen deutlich stärker zu nutzen.

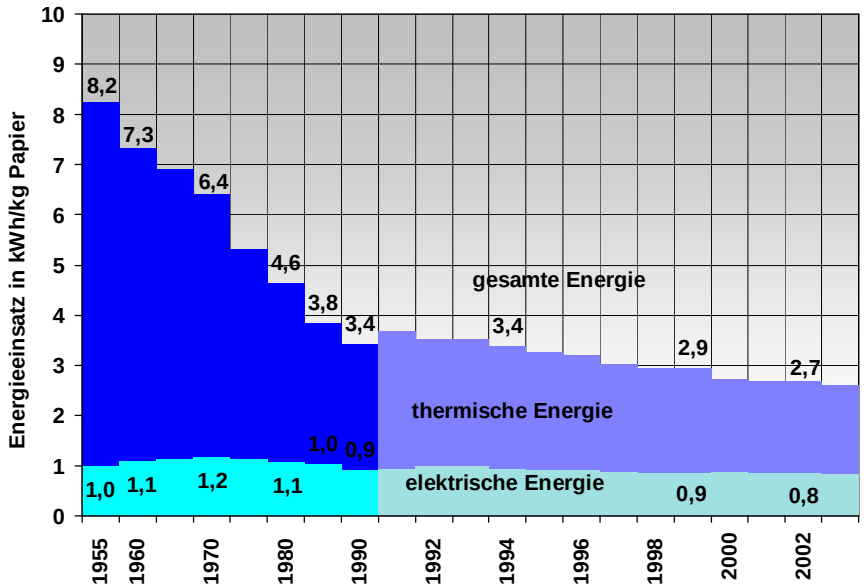

Abbildung 1.1: Entwicklung spezifischer Energieeinsatz

Abbildung 1.1 zeigt, dass es in den letzten Jahrzehnten gelungen ist, den Einsatz an thermischer Energie bei der Papiererzeugung deutlich zu reduzieren. Für den Einsatz elektrischer Energie gilt dies nicht in gleichem Maße. Vor diesem Hintergrund sollten sich entsprechende Anstrengungen in erster Linie auf die Optimierung des Einsatzes elektrischer Energie sowohl in der Stoffaufbereitung als auch an der Papiermaschine konzentrieren (s. auch Ergebnisse des INFOR-Projekts Kostenstrukturanalyse).

Potenziale für eine Energieeinsparung sind zu erwarten durch eine Reduzierung der Prozessvolumina im Stoff- und Wassersystem:

- Optimale Anpassung der Verweilzeiten an die technologischen Erfordernisse,
- Flexibilisierung der Anlagen durch minimale Volumina (Sortenwechselproblematik),
- Verringerung des Bauvolumens und der daraus resultierenden Investitionen,
- Verringerung der zu rührenden Büttenvolumina,

- Verringerung dynamischer Schwankungen im Prozess und sich daraus ergebende negative Folgen für Papiermaschine und Abwasserreinigungsanlage,
- Verringerung der Gefahr anaerober Prozesse in Stoff- und Wasserbütten (Geruch!).

Von besonderem Interesse sind dabei Pulper, Stapelbütten, Deinkingzellen, Bleichtürme, Wasserspeicher und Zwischenbehälter.
Eine Reduzierung der Volumina kann hinsichtlich der Vergleichmäßigung der Stoffeigenschaften (Ausgleich der Qualitätsschwankungen infolge der wechselnden Zusammensetzung des Eintrags (Altpapierqualität und -sortierung) problematisch sein. Dieser Aspekt ist im Rahmen des Projekts mit besonderer Aufmerksamkeit zu berücksichtigen.

1.2 Projekt 111R – Erhöhung der Stoffdichte

Die Ergebnisse des INFOR-Projekts „Kostenstrukturanalyse“ haben deutlich gezeigt, dass der Verbrauch an elektrischer Energie in Stoffaufbereitungsanlagen in ähnlicher Größenordnung liegt wie die der Papiermaschine (Abbildung 1.2). Sie haben sich in den letzen 50 Jahren auch nicht wesentlich geändert. Die Verbraucher sind vor allem die elektrischen Antriebe der Aggregate der Stoffaufbereitung sowie der Pumpen und Rührwerke.

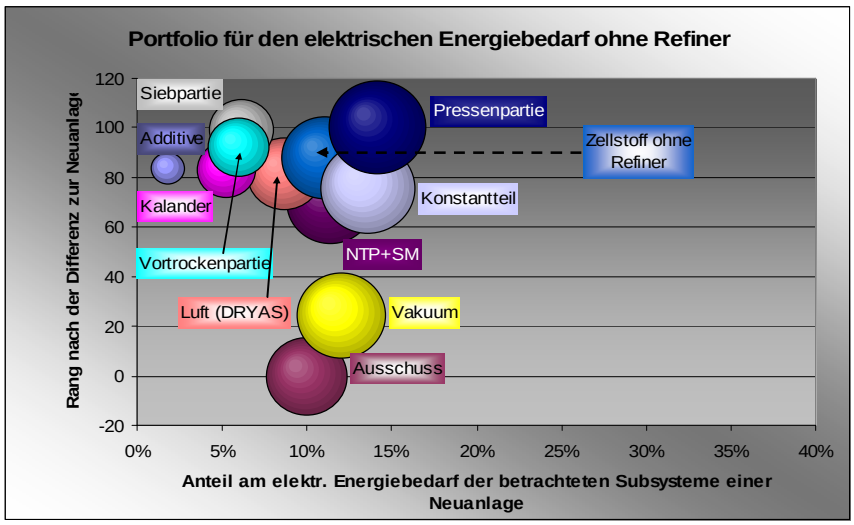

Abbildung 1.2: Vergleich der Verbräuche an elektrischer Energie wichtiger Teilprozesse der Papiererzeugung (INFOR-Projekt „Kostenstrukturanalyse“)

Ein wesentlicher Grund für den hohen Verbrauch an elektrischer Energie sind somit die nach wie vor sehr niedrigen Stoffdichten in zahlreichen Prozessstufen der Stoffaufbereitung und des Konstantteils, die den Transport extrem großer Suspensionsvolumina bei – um die Rohrleitungen in vernünftigen Dimensionen halten und störungsfrei (d.h. ablagerungsfrei) durchströmen zu können – relativ hohen Geschwindigkeiten.

Vor diesem Hintergrund überrascht es nicht, dass die Stoffdichten in einigen Bereichen der Stoffaufbereitung in den letzten Jahren deutlich erhöht worden sind, allerdings nicht in erster Linie aus Gründen der Energieeinsparung, sondern im Hinblick auf die Qualität des aufbereiteten Stoffes (Hochkonsistenzzerfaserung von graphischem Altpapier, Hochkonsistenzmahlung). Darüber hinaus haben Forschungsarbeiten auch erste Hinweise darauf geliefert, dass traditionell bei sehr niedrigen Stoffdichten gefahrene Prozesse (Flotationsdeinking) unter bestimmten Bedingungen auch bei deutlich höheren Konsistenzen erfolgreich durchgeführt werden können.

Die niedrigen Stoffdichten haben sich in der Vergangenheit zwar für die Stabilität der Prozesse häufig als vorteilhaft erwiesen. Angesichts der stark gestiegenen und wahrscheinlich auch zukünftig steigenden Energiekosten dürfte es mittel- und langfristig aber wichtig werden, geeignete Kompromisse zwischen Prozessstabilität, Produktqualität und Energieeinsatz zu finden.

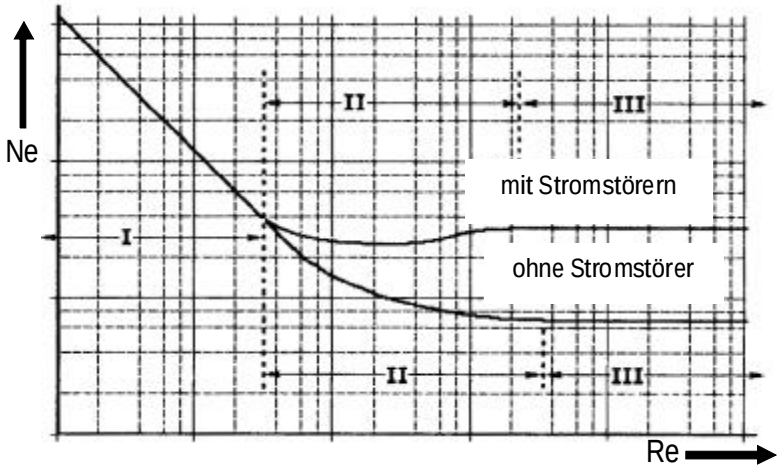

Abbildung 1.3: Abhängigkeit der Leistungskennzahl Ne von der Reynoldszahl Re beim Rühren fluider Systeme

Grundsätzlich können die Leistungscharakteristiken von Strömungsapparaten – stark verallgemeinert – in Leistungsdiagrammen dargestellt werden, in denen ein die Leistung bestimmender Faktor (im Falle von Rührwerken ist dies die so genannte Newtonzahl) über der Reynoldzahl der Strömung aufgetragen wird (Abbildung 1.3).
Wenn die Reynoldszahl als Quotient von Trägheits- und Zähigkeitskraft unter eine bestimmte Grenze absinkt, steigen – in diesem Beispiel – die Newtonzahl und damit der Leistungsbedarf rasch an. Jede Erhöhung der Stoffdichte hat in einem Mehrphasensystem jedoch eine Erhöhung der Viskosität zur Folge. Bei ansonsten gleichen Größen sinkt die Reynoldszahl – und die Newtonzahl steigt. Die aufgrund einer Erhöhung der Stoffdichte zu erwartende Energieeinsparung kann dadurch erheblich reduziert oder sogar kompensiert werden. Grundsätzlich dürfte aber in den Stoffdichtebereichen, die in den meisten Prozessen der Stoffaufbereitung vorherrschen, der negative Effekt der Viskositätserhöhung nicht zu einer wirklich signifikanten Reduktion des Energieeinspareffekts führen.
Daneben ist jedoch noch eine Reihe weiterer, eine Stoffdichteerhöhung begleitende Effekte zu beachten, wie

- die drastische Reduzierung der Baugrößen für Apparate (Sortierer, Cleaner, Flotationszellen),
- die Reduzierung des Aufwandes für Verdünnungs- und Entwässerungsschritte (Anlagenbau und Regelung),
- die Verringerung der im Kreislauf zu fahrenden Wassermengen (Volumenstrom),
- die Reduzierung der Prozessvolumina im Stoff- und Wassersystem (Synergien zur INFOR-Skizze „Reduktion des spezifischen Energieeinsatzes durch verbesserte Steuerung der Prozesszeiten“.

Grenzen für eine Erhöhung ergeben sich durch die Erfüllung der Anforderungen an die Reinheit des aufbereiteten Stoffs ebenso wie durch die Notwendigkeit einer Mindestverweilzeit vor der Blattbildung (Latenz, Faserquellung). Daneben sind auch die Anforderungen an die Vergleichmäßigung der Stoffeigenschaften eine wesentliche Randbedingung. Auch dieser letztgenannten Frage wird in dem parallel beantragten und oben genannten Projekt weiter nachgegangen.

Im Fazit ergibt sich hiermit hinsichtlich der Vorgehensweise eine klassische Optimierungsaufgabe: Maximierung der Stoffdichte zur Reduzierung der Energiekosten bei gleichzeitiger Erzielung der erwünschten Stoffqualität und Sicherstellung unveränderter Papiereigenschaften. Im Vordergrund der Arbeiten im Rahmen des Projektes steht dabei die Optimierung der einzelnen Verfahrenschritte in der Stoffaufbereitung sowie der sich ergebenden hydrodynamischen Vorteile.

2. Konzept, Arbeitsplan

2.1 Projekt 110R – Reduzierung der Prozesszeiten

Basis der geplanten Untersuchungen sollte eine umfassende vergleichende Analyse der Schwankungsbreite des Energieeinsatzes in industriellen Anlagen mit vergleichbaren Prozessergebnissen sein. In Zusammenarbeit mit einem Anlagenhersteller sollen dann diejenigen Prozessschritte identifiziert werden, die das größte Potenzial an Energieeinsparung durch die qualitäts- und energieoptimierte Regelung von Prozesszeiten erwarten lassen.

Der Lösungsweg stellt sich also wie folgt dar:

1. Jahr

Untersuchungen in Werken und Erfassung der relevanten Daten in den Prozessstufen.
Zuordnung der Verweilzeit (Volumen) des relevanten Energiebedarfs.

- Identifikation besonders energieintensiver Teilprozesse.
- Vergleichende Bewertung und Ermittlung der Schwankungsbreite des spezifischen Energieeinsatzes der untersuchten Teilprozesse.
- Zusammenstellung der derzeit für die Steuerung und Regelung der Verweilzeit genutzten Parameter (Führungsgrößen) und Onlinemesstechnik.
- Ermittlung der Güte der für die Verweilzeit relevanten Regelungen.

Ergebnisse:

- Darstellung der relevanten energieintensiven Prozessstufen und der Bedeutung der Prozesszeiten in der Praxis.
- Erstellung einer Zusammenfassung und Empfehlungen für die Fortführung und die weiteren Erfolgsaussichten des Projektes.

2. Jahr

- Ermittlung der technologisch erforderlichen, theoretisch minimalen Prozessvolumina (Quellzeiten etc.) und des theoretisch minimal erforderlichen Energieeinsatzes („Min 1“; physik. und chem. Grundlagen; Recherche in wiss. Literatur).
- Ermittlung der derzeit verfügbaren und recherchierbaren Techniken zur Minimierung der Prozessvolumina und der erwarteten Energieeffizienz („Min 2“; Interviews mit Herstellern, Markt- und Patentrecherche; Recherche in wiss. Literatur).
- Vergleich von „Min 1“ und „Min 2“ mit den vorgefundenen Prozesszeiten und dem Energieeinsatz in den untersuchten Anlagen.
- Ermittlung des Potenzials zur Verringerung der Prozesszeiten und der Reduzierung des Energieeinsatzes.
- Ermittlung und Bewertung verfügbarer innovativer Konzepte für die Steuerung und Regelung von Prozesszeiten und relevanter Onlinemesstechniken (Interviews mit Herstellern, Markt- und Patentrecherche; Recherche in wiss. Literatur).
- Ermittlung des resultierenden/zu erwartenden Nutzens zur Stabilisierung und Minimierung von Prozesszeiten durch Regelungstechnik.
- Vergleich der innovativen Konzepte mit der derzeit eingesetzten Regelungstechnik. Erstellung einer Zusammenfassung, Bewertung der weiteren Erfolgsaussichten des Projektes und Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise.

Ergebnisse:

Vorschläge für die hinsichtlich der Prozesszeit optimierte Prozessführung und Prognose des Einsparpotenzials.

3. Jahr

- Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse aus Jahr 1 und 2.
- Ermittlung des verfügbaren Einsparpotenzials durch Minimierung der Prozesszeiten.
- Verifizierung der gefundenen Einsparpotenziale durch Versuche im halbtechnischen und industriellen Maßstab. Dazu steht das Technikum der PTS in Heidenau zur Verfügung. Des Weiteren ist für den Zugang zu ausgewählten Pilot- bzw. Industrieanlagen die Unterstützung des Anlagenbaus erforderlich.
- Erarbeitung bzw. Darstellung geeigneter Prozess- und Regelungskonzepte einschließlich des zu erwartenden Nutzens.

Ergebnisse:
Absicherung und fallweise Verifizierung des Einsparpotenzials; Beschreibung geeigneter Prozess- und Regelungskonzepte.

2.2 Projekt 111R – Erhöhung der Stoffdichte

Ziel des geplanten Projekts ist die Bestimmung der durch eine signifikante Anhebung der heute üblichen Stoffdichten vorhandenen Einsparpotenziale an elektrischer Energie und die Erarbeitung von Maßnahmen zu ihrer Nutzung, vor allem in den Prozessen der Stoffaufbereitung.

Hierzu sollen

- ausgewählte Prozessstufen (Zerfaserung/Suspendierung, Grobreinigung, Loch- und Schlitzsortierung, Flotation, Dispergierung inkl. Eindickung) einer detaillierten Bestandsaufnahme bezüglich der heute gängigen Praxis unterzogen,
- die Auswirkungen steigender Stoffdichten auf die Qualität der Zwischenprodukte abgeschätzt,
- Maßnahmen zur Kompensation eventuell negativer Auswirkungen erarbeitet,
- innovative Ideen für die Prozesse der Stoffaufbereitung hinsichtlich des spezifischen Energieeinsatzes und die Wirtschaftlichkeit entsprechender Strategien bewertet werden.

Die Auswahl der Prozesse, die im Rahmen dieses für eine Dauer von drei Jahren geplanten Projekts zu analysieren sind, soll gemeinsam mit dem Projekt begleitenden Ausschuss sowie mit der in das Projekt einzubeziehenden Zulieferindustrie (Maschinenbau) festgelegt werden. Dabei soll insbesondere das Energieeinsparungspotenzial von Maschinen und Apparaten berücksichtigt werden, die bereits für höhere Stoffdichten (3,5 bis 4 %) konzipiert wurden, wie z.B. für die Grobsortierung sowie auch das Energieeinsparungspotenzial von Mehrstufensortierern.

Arbeitsprogramm für das 1. Projektjahr - Stoffdichteerhöhung bei Einsatz konventioneller Technik
Die im Rahmen des 1. Projektjahrs geplanten Arbeiten sollen sich konzentrieren auf:

- die Auswahl zu analysierender Prozessstufen der Aufbereitung mit hinreichend hoch erscheinendem Energieeinsparpotenzial. Dabei muss – in Abstimmung mit dem Projekt begleitenden Ausschuss - eine Einschränkung auf eine begrenzte Zahl typischer Produktionslinien vorgenommen werden (Basisrecherchen und moderierter Workshop im PbA),
- die Analyse der heute in der industriellen Praxis vorherrschenden Bedingungen in den ausgewählten Aufbereitungsprozessen in industriellen Anlagen (Auswahl von 4-6 Anlagen mit hohen Unterschieden hinsichtlich Stoffdichte (Stand der Technik); Besuch der Anlagen; Aufnahme von Betriebsparametern),

- die Analyse des Standes der Technik, also des Energieeinsatzes, in der modernsten (energiesparendsten) von der Zulieferindustrie gegenwärtig für die ausgewählten Prozessstufen angebotenen Aufbereitungstechnik (Interviews mit Zulieferern, Auswertung technischer Dokumentationen).

Es werden hierfür erarbeitet:

- Realisierbare und im Betrieb realisierte Stoffdichten
- Auswirkungen einer weiteren Erhöhung der Stoffdichte auf den Wirkungsgrad der Aggregate/Verfahrensschritte (i. d. R. Reinigungsleistung) und den Energiebedarf (Auswertung von Betriebserfahrungen; technischen Dokumentationen und wissenschaftlichen Arbeiten).

Zusammenfassend erfolgt eine Bewertung der Realisierbarkeit einer Erhöhung der Stoffdichte mit konventioneller Technik und des damit verfügbaren Potenzials zur Reduzierung des Energieeinsatzes. Es werden Empfehlungen für die Projektfortführung erarbeitet. In dieser Phase des Projekts ist zwar die aktive fachliche Mitarbeit der Zulieferindustrie unbedingt, nach dem aktuellen Planungsstand eine finanzielle Beteiligung aber noch nicht zwingend erforderlich (wohl aber wünschenswert).

Arbeitsprogramm in den Folgejahren - Alternative Prozesskonzepte und innovative Verfahrensschritte sowie Vertiefung und wirtschaftliche Bewertung

Basierend auf den Ergebnissen der Arbeiten des 1. Projektjahres sollen im 2. Jahr insbesondere folgende Schwerpunkte bearbeitet werden:

- Identifikation und Bewertung innovativer Ansätze für die Stoffaufbereitung (Zentrifugalflotation u.ä.) im Hinblick auf den spezifischen Energieeinsatz (Patentrecherchen, Gespräche mit Entwicklern, Auswertung der wiss. Literatur und Gespräche mit Anlagenbauern / -entwicklern).
- Ermittlung der Auswirkungen des Betriebs einzelner Verfahrensstufen auf die Prozessführung (s. oben und eigene Bewertungen).
- Recherche denkbarer alternativer Prozesskonzepte mit dem Ziel einer Erhöhung der Stoffdichte (s. oben).
- Ermittlung des vorhandenen Potenzials zur Reduzierung der erforderlichen Energie für den Stoff- und Wassertransport (vergleichende Auswertung der Informationen und Bewertung).

Nach Jahr 2 wird erneut eine Entscheidung über die Fortführung des Projekts getroffen und gegebenenfalls die Prioritätenliste für die im 3. Jahr durchzuführenden Arbeiten festgelegt.

- Genauere Untersuchung von und Versuche mit Erfolg versprechenden innovativen Verfahren und Prozesskonzepten auf der Basis der Ergebnisse des Vorjahres (Messungen in Betrieben; Betrieb-, Pilot-, Laborversuche),
- Wirtschaftliche Bewertung und zusammenfassende Empfehlungen.

2.3 Änderungen des Arbeitsplanes (Beschluss PbA)

Im Projektbegleitenden Ausschuss wurden folgende Änderungen des Arbeitsplans beschlossen:

Projektjahr 1:

- Aufgrund der Überschneidung der Lösungswege werden die Projekte 110R und 111R parallel bearbeitet.
- Die Aufnahme der Betriebsparameter erfolgte in 3 Papierfabriken.
- Um den Aufwand der Betriebsdatenaufnahme in Grenzen zu halten wurde beschlossen nicht wie ursprünglich vorgesehen, 4-6 Papierfabriken zu

untersuchen, sondern eine größere Datenmenge mit Hilfe eines Fragebogens, welcher an eine möglichst große Zahl von Papierfabriken verteilt werden sollte, zu ermitteln.

Projektjahr 2:
Aufgrund der Ergebnisse aus Projektjahr 1 wurden dem PbA folgende Ansätze als Basis für die weiteren Arbeiten vorgestellt:

110R Prozesszeit:

- Reduzierung Prozessvolumina, Prozesszeit besonders relevant für Ableerturm (am Beginn der Stoffaufbereitung zur Quellung, Durchmischung) und Stapelturm (am Ende der Stoffaufbereitung als Puffer).
- Schwerpunkt Eliminierung Ableerturm.

111R Stoffdichte:

- Erarbeitung neuer Konzepte ohne Unterstützung durch Voith Paper schwierig/unrealistisch.
- Ermittlung des Potenzials zur Reduzierung der erforderlichen Energie für den Stoff- und Wassertransport für die Projektbegleiter möglich, wird erarbeitet.
- Abschließende Recherche zu verfügbaren Technologien zur Stoffdichteerhöhung.

Für die Erarbeitung eines Verfahrenskonzeptes mit dem Ziel, Ort und Zeit für eine Quellung zu optimieren und damit das Volumen des Ableerturmes zu reduzieren bzw. diesen ganz zu eliminieren, sind die Durchführung von Laborversuchen sowie eine Literaturrecherche geplant. Dazu wurde ein prinzipieller Versuchsplan zur Untersuchung des Einflusses der Quellzeit auf die Stippen vorgestellt.

Basierend auf der Diskussion im PbA wurde folgender Arbeitsplan verabschiedet:

1. Beprobung vor Ort
   Beprobung der Prozesse der drei Projektbegleiter (max. 10 Proben). Dabei werden die Stippen vor Ort mittels Brecht-Holl absortiert und über einen Filter entwässert und anschließend getrocknet. Zusätzlich werden Rohstoffproben entnommen, die in den Versuchen im Technikum verwendet werden.
2. Messung der Stippen
   An den vorbereiteten Filtern werden die Stippen mittels DOMAS qualitativ vermessen. Nachdem die Filter nochmals getrocknet wurden, werden die Stippen quantitativ bestimmt.
3. Versuche im Labor
   Der Versuchsplan wurde in der Präsentation grob dargestellt. Dieser wird noch genauer ausgearbeitet. Für die Versuche wird der Stippengehalt wie bei den Proben der Firmen qualitativ und quantitativ bestimmt.
4. Auswertung
   Anhand der Ergebnisse wird ein allgemeingültiges Konzept zur Reduzierung des Prozessvolumens und somit der Prozesszeiten erarbeitet. Weiter wird für die drei Projektbegleiter jeweils ein Konzept entwickelt, um die bestehenden Systeme zu optimieren.

Projektjahr 3:

Die Arbeiten in Projektjahr 3 hätten eine intensive Zusammenarbeit mit der Zulieferindustrie, insbesondere Voith erfordert. Seitens Voith Paper bestand prinzipiell die Bereitschaft zur Zusammenarbeit, wenn beide Partner Vorteile von dieser Zusammenarbeit haben. Eine Zusammenarbeit hinsichtlich der Entwicklung neuer Technologien bzw. Verbesserung bestehender Lösungen wurde von Voith jedoch ausgeschlossen.

Aufgrund dieser Tatsache wurde im INFOR-Forschungsrat beschlossen, die Projekte nach dem 2. Projektjahr zu beenden. Die Entwicklung innovativer Konzepte wurde deshalb im Projektjahr 2 mit durchgeführt. Hierbei wurden die Projektbearbeiter von Voith unterstützt.

3. Lösungsweg und Ergebnisse

3.1 Stand der Technik Stoffaufbereitung Verpackungspapierherstellung

Als Stoffaufbereitung wird die Summe der verfahrenstechnischen Prozesse zur Aufbereitung des Rohmaterials bei der Papierherstellung bezeichnet. Dabei können als Rohmaterialien sowohl Primärfasern wie z.B. Zell- oder Holzstoffe, wie auch Sekundärfasern, d.h. verschiedene Altpapiersorten zum Einsatz kommen. Die Aufgabe der Stoffaufbereitung besteht darin, diese Rohmaterialien so aufzubereiten, dass mit ihnen die gewünschte Papierqualität d.h. Papier mit bestimmten mechanischen und optischen Eigenschaften hergestellt werden kann [1].

Die Aufbereitung umfasst, in Abhängigkeit vom eingesetzten Rohmaterial und dem gewünschten Endprodukt, folgende Prozesse:

- Desintegration, Suspendierung
- Entstippung
- Reinigung
- Sortierung, Fraktionierung
- Flotation, Deinking
- Dispergierung
- Mahlung
- Entwässerung
- Bleiche
- Speicherung und Komponentenmischung

Für die genannten Prozesse existieren verschiedene Technologien, wodurch sich sowohl für die gesamte Stoffaufbereitung als auch für einzelne Prozesse ein breites Arbeitsspektrum hinsichtlich Stoffdichte und spezifischer Energie ergibt (Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1: spezifischer Energieeinsatz und Stoffdichte der Prozesse der Stoffaufbereitung [2]

Prozess / Maschine	spezifischer Energiebedarf [kWh/t]	Stoffdichte [%]
Pulper	10 -40	3 - 18
Auflösetrommel (Sortierung)	15 - 20 (40)	3,5 - 20 (3,5 - 6)
Entstippung	20 - 60	3 - 6
Sortierung	5 - 20	0,5 - 4
Entspannungsflotation (DAF)	10 - 20	<0,3 → 0,01
Flotation	20 - 50	1 - 1,3
Reinigung (Zyklon)	4 - 8	< 0,5 - 4,5 (<6)
Eindickung	1-10	0,5 →5 (10)
Entwässerung (Schneckenpresse)	10 -15	4-10 → 25-40
Entwässerung (Doppelbandpresse)	2 - 4	3-10 → 25-50
Dispergierung	30 - 150	22 - 32
Refiner LC (pro SR-Wertpunkt)	3 - 25	3 - 5,5
Refiner HC (pro SR-Wertpunkt)	10 - 60	ca. 30
Speichern	0,02 – 0,1	3,0 - 5,5 (12)
Mischen	0,2 - 0,5	3,5 - 4,5

In der Papierindustrie existiert bisher keine klare Unterscheidung zwischen den Begriffen niedrige (LC), mittlere (MC) und hohe (HC) Stoffdichte. Die Definition des Stoffdichtebereiches hängt hier immer vom Prozess ab (Tabelle 3.2).

Tabelle 3.2: Bezeichnung der Stoffdichtebereiche in den Prozessen der Stoffaufbereitung [2]

Prozess / Bezeichnung	Suspendierung	Sortierung	Cleaner	Bleiche	Mahlung
LC (low consistency)	< 6 %	< 1,5 %	< 1,5 %	-	3 % - 6 %
MC (medium consistency)	< 12 %	< 4,5 %	< 2,5 %	10 % - 15 %	10 % - 13 %
HC (high consistency)	< 19%	-	2,5 % - 6 %	25 % - 35 %	28 % - 35 %

Eine typische Verteilung der installierten Leistungen über den gesamten Produktionsprozess bzw. den Teilbereich der Stoffaufbereitung ist für unterschiedliche Papierqualitäten in Abbildung 3.1 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass im Bereich der Verpackungspapierherstellung ein Großteil der Energie für die Sortierprozesse aufgewendet wird, was auch die Auswahl der o.g. Prozesse für dieses Projekt untermauert. Im Folgenden werden die ausgewählten Einzelprozesse bzw. mit ihnen in engem Zusammenhang stehende Prozesse sowie Prozesse, welche im Zusammenhang mit der Prozesszeitreduzierung von Interesse sind, dargestellt.

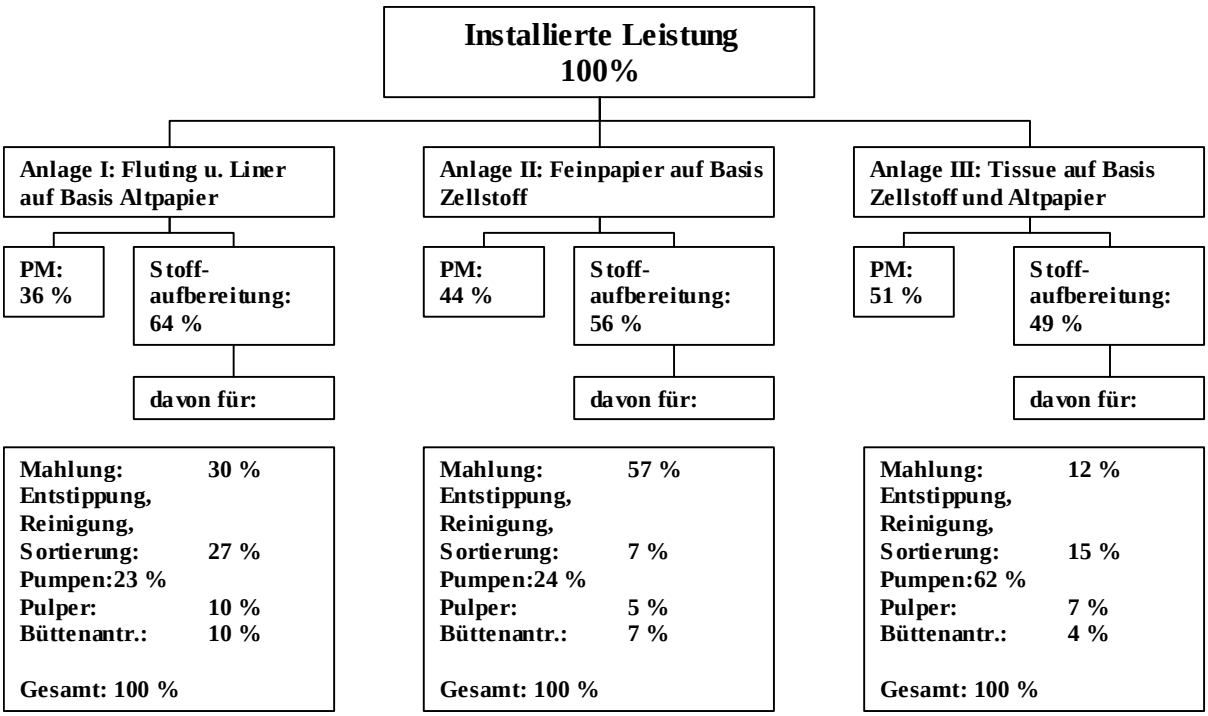

Abbildung 3.1: Installierte elektrische Leistungen in verschiedenen Produktionsanlagen [3]

3.1.1 Desintegration, Suspendierung

Ziel der Desintegration ist das Trennen der Rohmaterialien in einzelne Fasern sowie das Überführen in eine pumpfähige Suspension. Weiterhin sollen feste Verunreinigungen wie z.B. Folien, Stickies oder Druckfarben von den Fasern getrennt werden. Dabei soll eine weitere Zerkleinerung dieser Stoffe vermieden werden. Eine weitere Aufgabe beim Desintegrieren ist das Mischen der Suspension mit Chemikalien, welche für nachfolgende Prozesse wie z.B. die Flotation oder Bleiche benötigt werden.

Der eigentliche Suspendierprozess erfolgt heute im Pulper oder einer Auflösetrommel unter Zuhilfenahme von Wasser. In Tabelle 3.3 ist eine Übersicht über die verfügbaren Typen sowie deren Bauweise und Einsatzbedingungen dargestellt.

Tabelle 3.3: Bauweise und Betriebsbedingungen der am häufigsten eingesetzten Zerfaserungsapparate

Typ	Betriebsbedingungen				Maschinendaten				
	Stoffdichte [%]	Kapazität min–max [t/d]	Zerfaserungszeit [min]	Betriebsweise	Lage der Achse	Wirkkomponente	Umfangsgeschwind. [m/s]	Sieb	Durchmesser [mm]
HC-Pulper	< 19	30 - 400	15 - 20	batch	vertikal	Schraubenrührer	12 – 15	nein	< 7100
MC-Pulper	< 12	140 - 500	20 - 30	batch	vertikal	Schraubenrührer	13 - 17	nein	< 6000
LC-Pulper	< 6	200 - 1.600	5 - 40	kontin. mit Zopfwinde	alle Lagen	Flacher Rotor	15 - 20	ja	< 8000
Auflösetrom-mel	< 20	100 - 1.600	20 - 40	kontin.	horizontal	Trommel	15 - 20	ja	< 4250

Pulper bestehen meist aus einem zylindrischen Behälter mit einem angetriebenen Rotor. Zur Verbesserung der Energieübertragung können sog. Stromstörer eingebaut sein. Die Arbeitscharakteristik eines Pulpers wird durch seine Zerfaserungskurve beschrieben (Abbildung 3.2). Bei diskontinuierlichen Pulpern zeigt diese den Stippengehalt in Abhängigkeit der Suspensionszeit bzw. der spez. Energie. Wie in Abbildung 3.2 zu sehen, verringert sich für den dargestellten Stoff der spez. Energieeinsatz zum Erreichen eines bestimmten Stippengehaltes mit zunehmender Stoffdichte.

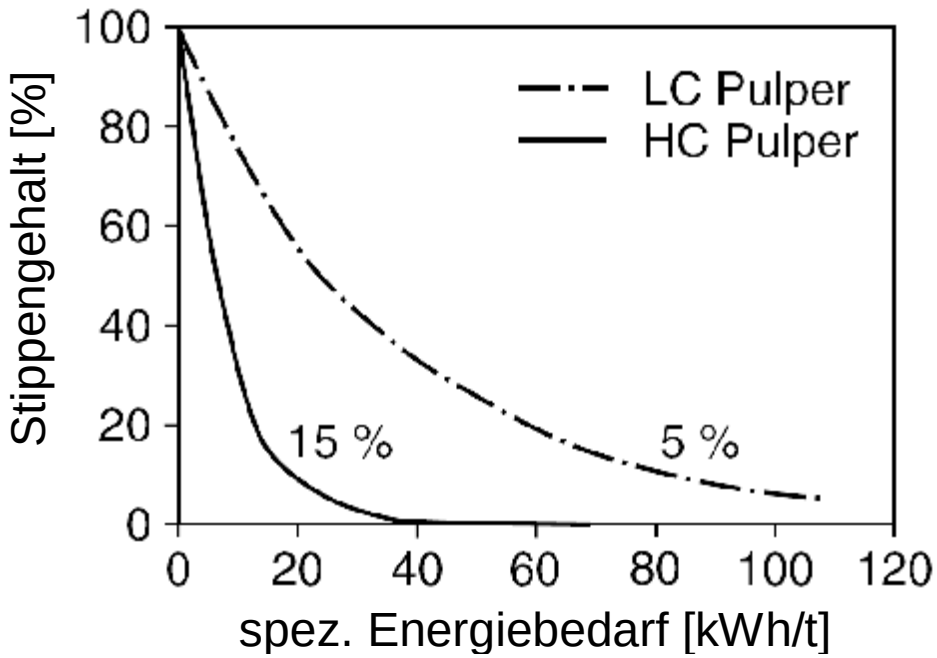

Abbildung 3.2: Suspensionscharakteristik von Pulpern bei verschiedenen Stoffdichten (Rohstoff: Zeitschriften) [2], [4]

Auflösetrommeln arbeiten generell kontinuierlich. Sie sind für leicht zu zerfasernde Altpapierstoffe (geringe Nassfestigkeit) sowie eine faserschonende Desintegration entwickelt

worden. Die mit ca. 100 - 120 m/min rotierenden Trommeln haben einen Durchmesser von 2,5 – 4 m und sind horizontal mit einer geringen Neigung von ca. 1° aufgestellt. Die Trommel ist in eine Einweichzone (ca. 2/3 der Baulänge) und eine Sortierzone unterteilt. In der Einweichzone arbeitet die Trommel bei einer Stoffdichte von 14 - 20 %, in der Sortierzone wird der Stoff auf 3 - 5 % verdünnt. Die für die Auflösung verantwortlichen Kräfte (Schwerkraft, Reibung) sind bei der Trommel geringer als beim Pulper. Dadurch können nassfeste Bestandteile von Altpapieren nicht aufgelöst werden und werden als Rejekt aussortiert [2], [5].

Die eigentlichen Vorgänge im Pulper, die zum Zerkleinern und Zerfasern des eingebrachten Rohstoffes führen, sind bisher weder messtechnisch noch rechnerisch eindeutig erfassbar.

Der in den Pulper eingetragene Rohstoff, z.B. Altpapier, soll mindestens soweit zerfasert werden, dass er pumpfähig wird. Ein weitergehendes Zerkleinern des Eintragsstoffes ist aber erstrebenswert.

Die Trennung der Fasern voneinander wird nicht nur durch die Einwirkung der mechanischen Energie, sondern auch durch Einlagerung von Wassermolekülen zwischen den Fasern erreicht. Diese führt zur Aufhebung bzw. Abschwächung der Wasserstoffbrückenbindung. Nach der Verringerung der Wasserstoffbrückenbindungen ist es notwendig, die mechanischen Bindungen zu lösen. Um eine Zerkleinerung des eingetragenen Stoffes zu erreichen, ist es notwendig, dass die an den Stippen wirksam werdende Kraft im Pulper größer als die innere Widerstandskraft des Papiers ist. Diese Größe der Widerstandskraft, meist der Nassbruchwiderstand, hängt vom Befeuchtungszustand des Rohstoffes bzw. der Altpapiersorte ab.

Für das Zerkleinern von Stippen sind entsprechende Zugkräfte notwendig. Die Widerstandskraft der Stippen ist abhängig von der Benetzungszeit. Der Stoff wird meist relativ trocken in den Pulper eingetragen und dort in Wasser suspendiert. Bei diesem Suspendierprozess wird das Papier mit Wasser benetzt und verliert an Festigkeit. Innerhalb der ersten Minute nach der Benetzung sind dies bereits 90 - 95 % des gesamten Festigkeitsabfalls (Abbildung 3.3), nach ca. 14 weiteren Minuten tritt praktisch kein Festigkeitsabfall mehr auf [6]. Daher wäre es energetisch günstig und sinnvoll, die Ballen vorher zu befeuchten, um ein Vorquellen zu erreichen und so den Energieeintrag im Pulper zu reduzieren.

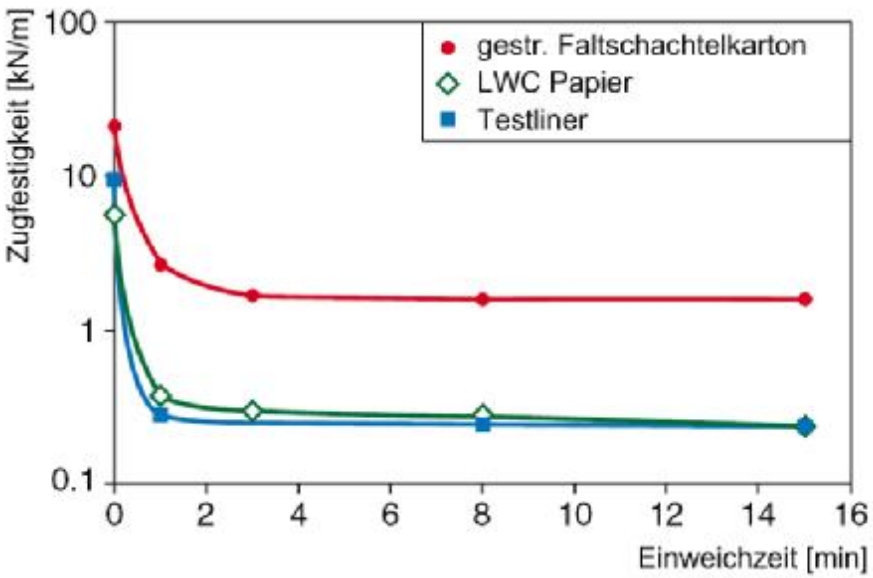

Abbildung 3.3: Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Einweichzeit [2], [7]

Die Desintegrationscharakteristik hängt weiterhin von der Nassfestigkeit des Rohmaterials ab. Der Stippengehalt bei der Zerfaserung von hoch nassfesten Papieren sinkt wesentlich langsamer ab als bei Papieren mit geringer Nassfestigkeit. Daher wird zum Erreichen des gleichen Stippengehaltes bei nassfesten Papieren eine längere Desintegrationszeit benötigt. Dieser Sachverhalt wirkt sich besonders bei der Aufbereitung von Altpapieren aus, da hier

stets Papiere mit unterschiedlichen Festigkeitseigenschaften gemeinsam verarbeitet werden. (Abbildung 3.4).

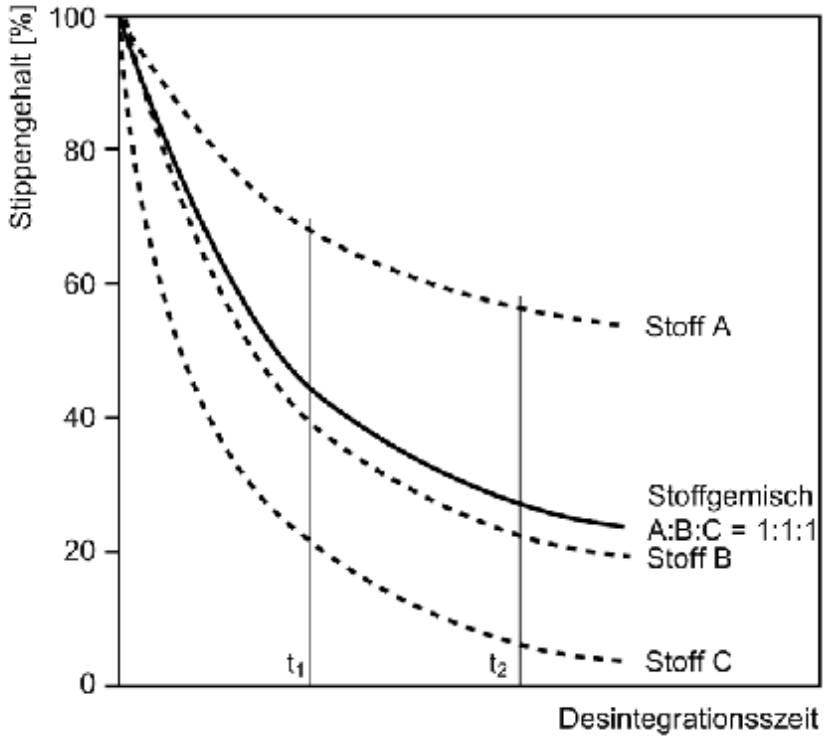

Abbildung 3.4: Stippengehalt in Abhängigkeit von der Desintegrationszeit bei der Desintegration verschiedener Papiersorten bzw. Papiergemische

Es ergeben sich daher folgende Anforderungen an die Pulperarbeitsweise:

Bereits nach einer Minute Benetzungszeit ist ein hoher Festigkeitsabfall zu verzeichnen. Daher ist es notwendig, die Benetzung des gesamten Stoffes möglichst schnell zu gewährleisten. Der Stoff sollte deshalb gut vorzerkleinert sein und im Pulper gut gemischt werden. Weiterhin sollte eine hohe Relativgeschwindigkeit zwischen Rotor und den einlaufenden Stippen gewährleistet sein, damit die Stippen stark beschleunigt werden. Dies kann durch hohe Rotordrehzahlen und hohe Stoffdichten erfüllt werden. Es ist aber zu beachten, dass dadurch ein höherer Energieeintrag notwendig wird und somit eine gute Abstimmung zu treffen ist. Eine gute Wirkleistung des Pulpers wird weiterhin durch eine große wirksame Rotorkantenlänge erreicht. Dies kann durch eine veränderte Laufradgeometrie, aber auch durch einen größeren Laufraddurchmesser erfolgen. Durch Einbau von zusätzlichen Strombrechern (Prallbleche) kommt es zu einer Abbremsung von Tangentialströmungen und damit zu Geschwindigkeitsgefällen. Stromleitbleche führen zusätzlich zu einer besseren Vermischung – allerdings auch zu einem höheren Energieverbrauch.

Eine weitere Möglichkeit, die Stoffsuspendierung zu optimieren, ist neben der Veränderung der Prozessparameter die Umstellung von diskontinuierlicher auf kontinuierliche Fahrweise. Dies bedeutet in den meisten Fällen eine Platz- und Energieersparnis.

Die Vorteile von kontinuierlichen Pulpern liegen zum einen in der Einsparung von Behältervolumen von ca. 40 % sowie in der Möglichkeit, bei einer ca. 1 % höheren Stoffdichte zu suspendieren. Eine höhere Stoffdichte führt zu einer höheren Faser-Faser-Reibung und damit auch zu einem höheren Zerfaserungswirkungsgrad. Zum Erreichen eines bestimmten Suspendiergrades nimmt daher der Energiebedarf ab. Da bei kontinuierlichen Pulpern konstante und damit auch kleinere Durchsatzmengen gefahren werden, werden kleinere Pumpen und Antriebsmotoren benötigt. Neben den geringeren Investitionskosten kann dadurch auch eine Energieeinsparung erreicht werden. Für eine effektive Nutzung ist aber ein Mindestdurchsatz an Rohstoff notwendig, damit sich die Anschaffung eines kontinuierlichen Pulpers rechnet. Der Mindestdurchsatz wird normalerweise mit ca. 300 t/d

angegeben. Bei geringeren Stoffmengen ist es in den meisten Fällen problematisch, die Stoffdichte zu regeln, da die Behältervolumina zu klein sind, um bei einer Ballenbeschickung (200 kg/Ballen) wie sie häufig vorkommt, größere Stoffdichteabweichungen auszugleichen. Die Schwankungen können durch die Abfolge der Beschickung mit den verschiedenen Rohstoffkomponentenanteilen (Altpapiersorten) entstehen.

Die Nachteile der kontinuierlichen Fahrweise sind der etwas höhere Stippengehalt sowie eine ungleichmäßigere Suspension bei gemischter Auflösung. Die Aufhebung der Ungleichmäßigkeiten bei der Gemischtfaserauflösung erfolgt dann in der Ableerbütte. Bei einer empfohlenen Verweilzeit von 60 min in dieser Bütte werden die Schwankungen, die durch die Beschickung der Anlage mit Ballen unvermeidlich sind, auf einen Wert von unter 0,2 % Standardabweichung gesenkt.

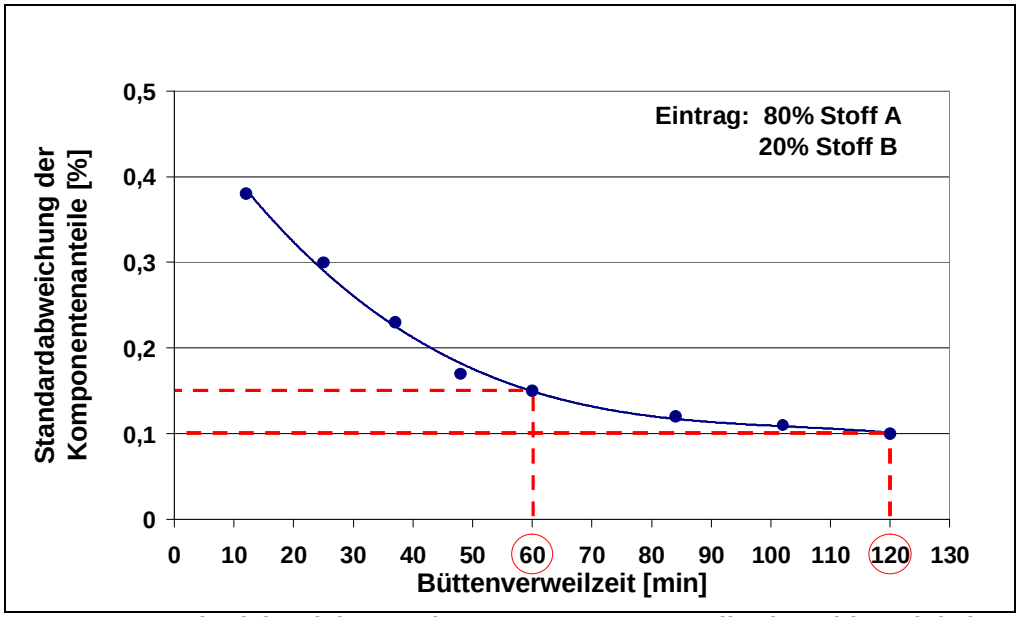

Abbildung 3.5: Standardabweichung der Komponentenanteile in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Verweilzeit [8]

Aus Abbildung 3.5 wird ersichtlich, dass eine Verweilzeit von 60 min in der Ableerbütte zur Vergleichmäßigung ausreicht, da im weiteren Verlauf bis 120 min die weitere Änderung nur noch geringfügig ist. Mit entsprechender Dimensionierung der Bütte kann damit das Problem der ungenügenden Durchmischung mehrerer Komponenten (Altpapiersorten) gelöst werden.

Aufgrund der kontinuierlichen Fahrweise ist die Verweilzeit der einzelnen Fasern im Pulper sehr unterschiedlich, dementsprechend unterscheidet sich auch der Suspendiergrad, d.h. die Fasern werden nicht immer vollständig vereinzelt. In den meisten Fällen wird auch aus diesem Grund eine Bütte dem Pulper nachgeschaltet. In dem Behälter sollte die Verweilzeit mindestens 40 min betragen, um eine Reduzierung der Stippen zu erreichen.

3.1.2 Entstippung

Wie in Abschnitt 3.1.1 bereits erläutert, verläuft die Suspendierung im Pulper prinzipiell nach der in Abbildung 3.2 dargestellten Kurve. Dabei ist zu erkennen, dass zum Erreichen eines geringen Stippengehaltes der spez. Energiebedarf sehr stark ansteigt. Grund dafür ist die sich verringernde Größe der Splitter bzw. Faserstippen während der Suspendierung, wodurch sich auch die Angriffsfläche für die hydraulischen Kräfte verkleinert. Die Auflösung im Pulper ist daher nicht mehr wirtschaftlich. Als Richtwert gilt hierbei ein Stippengehalt von 20 - 30 % [9]. Mit dem Entstipper können die Faserbündel wesentlich energieeffizienter in einzelne Fasern zerkleinert werden (Abbildung 3.6).

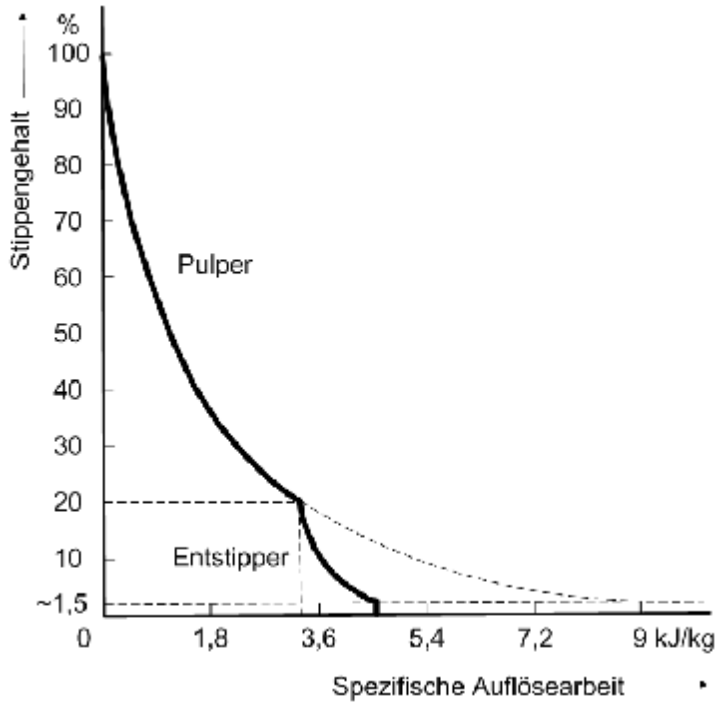

Abbildung 3.6: Zusammenhang zwischen der Auflösearbeit im Pulper und der Arbeit eines Entstippers [9]

Auch Scheibensortierer, die meist zur Grobsortierung von Suspensionen mit hohem Stippen- und Fremdkörpergehalt genutzt werden, können zur Entstippung eingesetzt werden. Der Vorteil gegenüber den Entstippern ist, dass der Scheibensortierer auch auf die Fremdkörper wirkt und diese gleichzeitig aussortiert. Der Nachteil ist die geringere Entstippungswirkung.

Sowohl Entstipper als auch Scheibensortierer können in einem Stoffdichtebereich von 3 - 6 % arbeiten. Der spezifische Energiebedarf beträgt ca. 20 - 60 kWh/t.

3.1.3 Reinigung

Ziel der Stoffreinigung ist die Entfernung von Partikeln, die die Papierqualität negativ beeinflussen oder zur verstärkten Abnutzung der Apparate beitragen. Dabei wird prinzipiell zwischen Schwerschmutz (Sand, Metallteile, Glassplitter, usw.) und Leichtschmutz (Folien, Plastik) unterschieden. Für eine effektive Entfernung müssen sich diese Partikel hinsichtlich ihrer Dichte von Wasser unterscheiden und/oder einen signifikant anderen Strömungswiderstand als die erwünschten Komponenten aufweisen, sich also in Form und Größe von den anderen gewünschten Suspensionskomponenten unterscheiden.

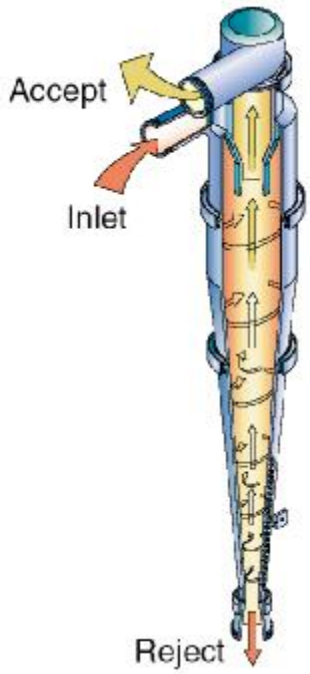

Abbildung 3.7: Schwerteilabscheider [2]

Die Trennung der Partikel erfolgt mit sog. Hydrozyklonen (Abbildung 3.7), welche die unterschiedliche Wirkung der Zentrifugalkraft auf die Teilchen ausnutzen und daher auch als Zentrifugalabscheider bezeichnet werden. Wie Abbildung 3.7 zeigt, strömt der Stoff tangential ein und bewegt sich weiter an der Wand nach unten. Dabei wirkt auf den gesamten Stoff die Zentrifugalkraft F:

$$F = \frac{m \cdot v^2}{r} \tag{1}$$

m… Teilchenmasse
v… Strömungsgeschwindigkeit an der Wand
r… Radius des Zyklons

Teilchen mit höherer Dichte (als der von Wasser) werden sich an der Wand des Zylons sammeln. Solche mit geringerer Dichte sammeln sich dagegen im Kern. Dieser Effekt wird genutzt, um entweder Schwerschmutz (HW Cleaner) oder Leichtschmutz (LW Cleaner) von den Fasern in der Suspension zu trennen. Je nach Einsatz unterscheiden sich die Cleaner daher auch in ihrer Bauart (Abbildung 3.8). Hydrozyklone mit einer Kapazität von 120 - 1200 l/min werden heute häufig eingesetzt [9]. Die Schaltung der Cleanerstufen erfolgt in Kaskadenform, wobei die Anzahl der Stufen von der Produktionsmenge, der Stoffdichte und den Reinheitsanforderungen abhängt. Die Trennwirkung eines Zentrifugalreinigers ist umso höher, je kleiner sein Kopfdurchmesser ist. Der Nachteil eines kleineren Durchmessers liegt aber im höheren Verstopfungsrisiko des Hydrozyklons.

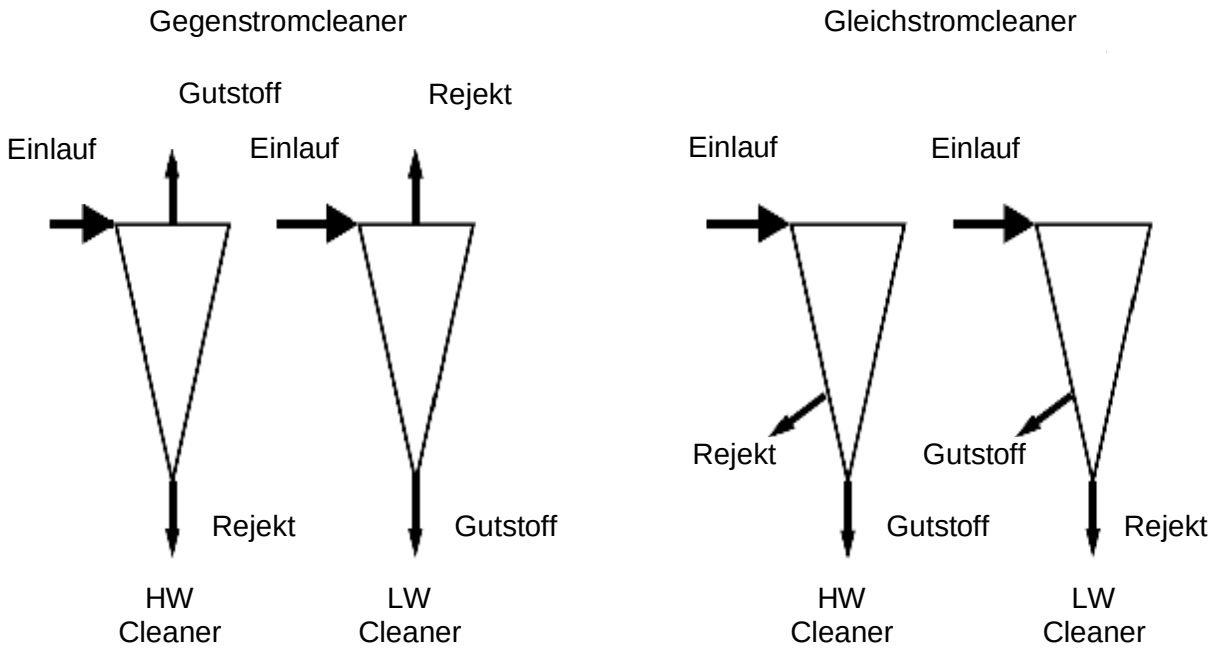

Abbildung 3.8: Cleanerbauarten [2]

Außer durch die Geometrie und die sonstige konstruktive Gestaltung sowie die Dichteunterschiede zwischen Wasser und Partikel wird die Trennwirkung eines Zyklons auch durch die spezifische Oberfläche der Partikel und die Viskosität des Stoffes, welche mit der Stofftemperatur und dem Luftgehalt variiert, beeinflusst. Eine Bewertung des Reinigungsprozesses kann anhand verschiedener Prozessparameter vorgenommen werden. Die wichtigsten sind:

- die Massenströme und Drücke am Zulauf, Akzept- und Rejektauslauf der Hydrozyklone
- der Eindickungsfaktor
- das Mengenverhältnis von Akzeptstoffstrom zu Rejektstoffstrom sowie
- die Stoffdichten am Zulauf, Akzept- und Rejektauslauf der Hydrozyklone.

Weiterhin unterscheiden sich die Cleaner nach ihrem Einsatzgebiet hinsichtlich der Stoffdichte in HC-, MC- und LC-Cleaner (Tabelle 3.4).

Tabelle 3.4: Eigenschaften von Cleanern für unterschiedliche Stoffdichtebereiche [2]

Cleaner Typ		HC-Cleaner		MC-Cleaner	LC-Cleaner	
Eigenschaft		m. Rotor	o. Rotor		HW	LW
Prinzip	-	Gegen-strom	Gegen-strom	Gegen-strom	Gegen-strom	Gleich-strom
Stoffdichte	%	2 - 4,5 (6)	2 - 4,5(1 - 5)	1 - 2	0,5 - 1,5	0,5 - 1,5
spez. Energie (je Stufe)	kWh/t	0,5 - 3	0,5 - 3	1 - 4	2 - 10	2 - 50
Druckunterschied Einlauf-Gutstoff	bar	0,1 - 10	0,4 - 2 (3)	1 - 2	0,7 - 2 (4)	0,8 - 2
Rejekt Rate (Masse je Stufe)	%	0,1 - 1,0	0,1 - 1,0	0,1 - 1,0	5 - 30	3 - 20 (0,2)

( ) spezielle Einsatzfälle

Wie in Tabelle 3.4 zu sehen, lassen sich Cleaner in einem weiten Stoffdichtebereich einsetzen. Allerdings sinkt die Reinigungseffizienz mit zunehmender Stoffdichte (Abbildung 3.9).

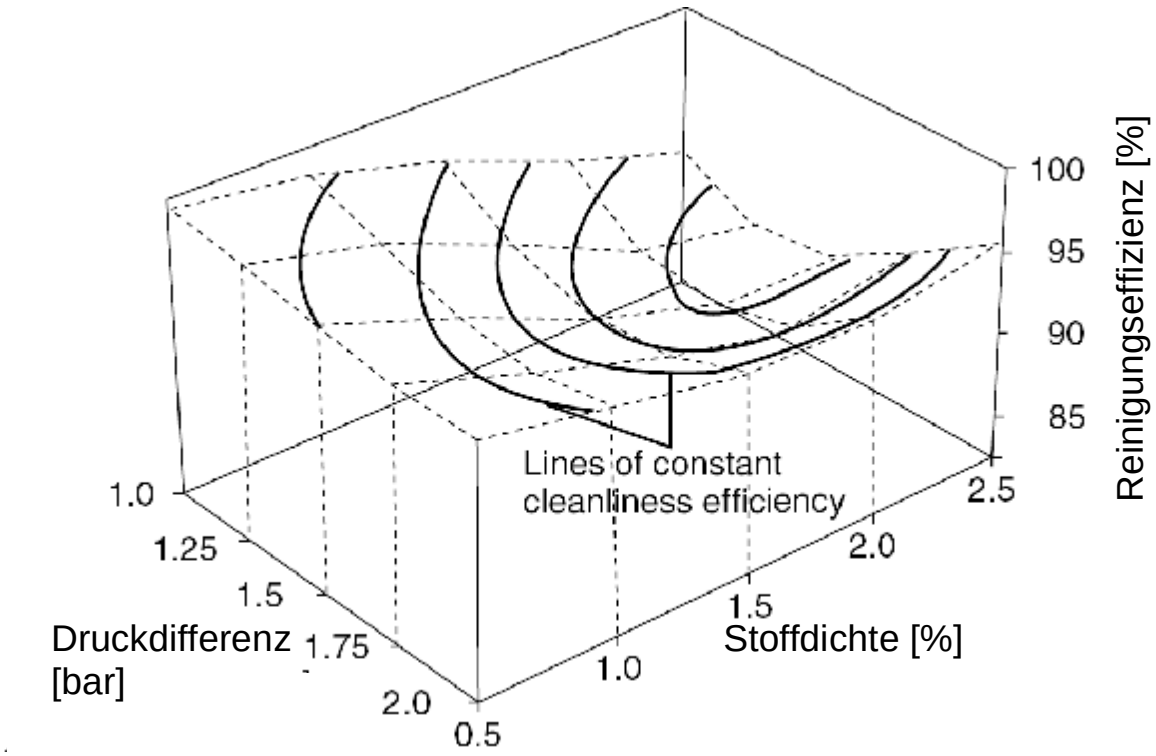

Abbildung 3.9: Reinigungseffizienz eines HW Cleaners in Abhängigkeit von Stoffdichte und Druckdifferenz [2]

3.1.4 Sortierung, Fraktionierung

Ziel der Sortierung ist die Entfernung von Fremdkörpern und festen Verunreinigungen aus der Stoffsuspension. Diese erfolgt in Sortierern mittels Sieben mit Löchern oder Schlitzen (Loch- oder Schlitzsortierer). In Abhängigkeit von der Größe, der Form und der Verformbarkeit der Verunreinigungen werden unterschiedliche Sortiererkonfigurationen genutzt. Auch die Trennung der Fasern gemäß Eigenschaften wie Länge oder Flexibilität kann notwendig sein und wird als Fraktionierung bezeichnet [1], [10], [11].

In Papierfabriken, die nur Zellstoff verarbeiten, werden meist Drucksortierer mit 2 mm Lochdurchmesser eingesetzt. Dagegen werden bei Faserstoffen aus Altpapier in dieser Position Schlitzkörbe mit engen Schlitzen von 0,25 - 0,35 mm oder auch so genannte Schweißspaltsiebe eingesetzt [9]. In den Sortierern wird der Stoffstrom kontinuierlich durch Lochsiebe oder Schlitzsiebe transportiert, an denen die Stoffbestandteile im Wesentlichen nach ihrer Form getrennt werden.

Die dem Drucksortierer zugeführte Stoffsuspension (Einlauf) wird in die Teilströme Durchlauf und Überlauf getrennt. Der entstehende Überlauf wird dann kontinuierlich oder diskontinuierlich ausgetragen, um das Zusetzen der Sortierelemente zu verhindern.

Der Durchlauf passiert den Siebkorb auf Grund des Druckunterschiedes zwischen Innen- und Außenseite des Siebkorbes. Als Trennelement wird in den Drucksortierern ein senkrecht stehender perforierter Zylinder verwendet. Die Perforationen können in Form von Bohrungen oder Schlitzen vorliegen. An Lochsieben werden vornehmlich flächige, an Schlitzsieben überwiegend kubische Partikel entsprechender Größe zurückgehalten. Um ein Verstopfen der Öffnungen des Zylinders zu verhindern, verfügen alle Drucksortierer über rotierende Pulsationskörper (Rotorflügel), die in geringem Abstand über die Zylinderoberfläche bewegt werden. Die auf die Öffnungen des Siebes entstehenden Druckwechselimpulse sorgen dafür, dass die Perforationen freigehalten werden. Tabelle 3.5 zeigt eine Übersicht über die Sortieraggregate und deren Einsatzbereiche.

Tabelle 3.5: Einsatzbereiche verschiedener Sortierer [2]

Eigenschaft / Siebtyp	Sortieröffnungen [mm]	Rotorgeschw. [m/s]	Stoffdichtebereich MC <6%	MC <4,5%	LC <1,5%
Scheibe	Loch 2,0-3,0	20-30	●		
Zylinder	Loch 0,8-1,5	10-30		●	
	Schlitz 0,1-0,4	10-30		●	●

Die Sortierung ist der Haupttrennprozess bei der Aufbereitung von Altpapier. Wegen des hohen Fremdkörperanteils bei der Aufbereitung von Altpapier werden jedoch auch hohe Ansprüche an die Sortierung in diesem Bereich gestellt. So können Versuche, möglichst viele dieser Partikel in einem Verfahrensschritt abzutrennen, den Sortierprozess behindern und zu hohem Verschleiß der Aggregate (Siebe, Rotor) führen. Weiterhin müssen auch flächige Fremdkörper und Folien durch die Sortierung erfasst und abgetrennt werden. Sehr anspruchsvoll ist auch die Aussortierung verformbarer Partikel und Stickies, welche sich unter hoher Belastung verformen oder weiter zerkleinert werden.

Daher ist eine Sortierung von Altpapierstoff in einem Verfahrensschritt nicht möglich. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Suspension kommen verschiedene Verfahren mit unterschiedlichen Rotoren und Sieben zum Einsatz. Das Hauptziel ist dabei immer eine möglichst frühe Entfernung der Verunreinigungen aus dem Prozess, damit keine weitere Zerkleinerung und somit eine Erschwerung des Sortierprozesses erfolgen kann.

Die verschiedenen Typen von Sortieren kommen in Abhängigkeit vom Rohstoff, Fremdkörperanteil, Splittergehalt und Stoffdichte an unterschiedlichsten Stellen in der Stoffaufbereitung zum Einsatz. Dies können die Grob- oder Feinsortierung sowie alle anderen Stufen des Sortiersystems sein [2], [12], [13].

3.1.5 Mischen von Stoffströmen

Neben den Abläufen in den bereits genannten Prozessen der Stoffaufbereitung finden zusätzlich auch Mischvorgänge statt. Hierbei geht es sowohl um die Mischung von verschiedenen Faserstoffen miteinander als auch um die Zumischung von Füllstoffen, Retentionsmitteln, Farbstoffen oder Leimungsmitteln. Darüber hinaus können auch weitere den Herstellungsprozess unterstützende Hilfsmittel, wie z.B. Entschäumer, eingemischt werden. Eine prozessgerechte Mischung wird bei einer Stoffdichte von ca. 3,5 - 4,5 % erreicht, weil bei diesem Faserstoff/Wasserverhältnis eine gute Messung und Regelung der Stoffströme möglich ist. Beim Mischen wird nach Chargen- oder kontinuierlichem Betrieb unterschieden. Vor allem bei größeren Produktionsmengen kann durch eine kontinuierliche Mischung der Investitionsaufwand für Bütten, Leitungen, Pumpen und Rührwerke reduziert werden.

Eine Anlage muss so dimensioniert werden (Prozesszeit/Büttenvolumina), dass eine homogene Mischung der Komponenten stattfinden kann. Die Einstellung der gewünschten Stoffmengen und Stoffdichten, welche die spätere Stoffzusammensetzung und Papierqualität bestimmen, erfolgt mittels Verbindung des Mess- und Regelsystem der Papiermaschine mit der Steuerung der Stoffmischung. Hierbei erweist sich die kontinuierliche Mischung als vorteilhaft, da die Reaktionszeit zwischen Korrektur und Ergebnis kürzer ist als bei einem diskontinuierlichen Mischverfahren. Gerade im Bezug auf eine flexiblere Produktionsgestaltung, wie z.B. schnellere Sortenwechsel und einer effizienteren Stoffzufuhr zum Stoffauflauf, geht der Trend hin zu einer kompakteren Bauweise der Stoffaufbereitung und des Konstantteils. Diskontinuierliche Mischverfahren werden aus diesem Grund nur noch sehr selten angewandt [9]. Neben einer größeren Flexibilität im Papierherstellungsprozess und höheren Produktionsgeschwindigkeiten darf natürlich die Qualität des zu fertigenden Papiers nicht vergessen werden.

Trotz dieser Vorteile der kontinuierlichen Mischung werden für die Mischung der Hauptstoffströme wie Dickstoff, Mineralstoff, Massestärke und andere Prozesshilfsmittel sehr verbreitet Mischbütten eingesetzt. Büttengrößen von mehr als 150 m³ sind dabei keine Seltenheit. Doch gerade im Hinblick auf eine effizientere Produktion, gekennzeichnet durch schnellere Sortenwechsel und kürzere Reaktionszeiten zwischen Korrektur und Ergebnis, muss der Trend hin zu kompakteren Bauweisen des Konstantteils gehen. Große Bütten- und Behältervolumen können aus diesem Grund nicht mehr Gegenstand zukünftiger Entwicklungen sein. Neuere Konzepte, wie z.B. das POM-Prinzip zeigen, dass eine Verringerung der Behältervolumina den Produktionsprozess hinsichtlich der genannten Parameter deutlich verbessert.

3.1.6 Rohrleitungen

Zwischen den einzelnen Prozessen in der Stoffaufbereitung wird der Stoff in der Regel über Rohrleitungen transportiert, in denen Reibungsverluste auftreten, die durch die Pumpenleistung kompensiert werden müssen. Zusätzlich stellen die Rohrleitungen auch Prozessvolumina dar und beeinflussen somit die Brutto-Prozesszeit.

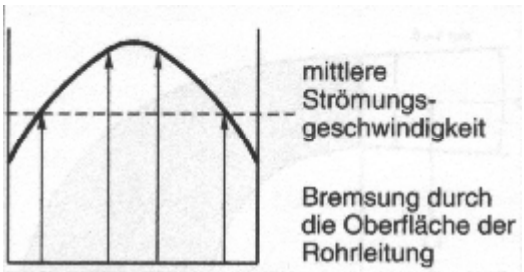

Abbildung 3.10: Strömung im geraden Rohr

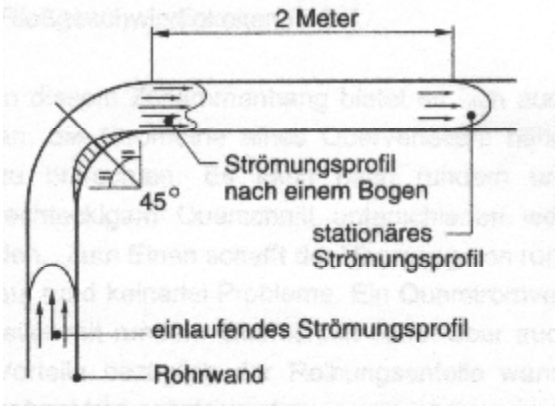

Abbildung 3.11: Strömung im gekrümmten Rohr

In Abbildung 3.10 ist das Strömungsbild einer Fasersuspension in einem geraden Rohrleitungsabschnitt bei laminarer Strömung dargestellt. Das sich unter diesen Bedingungen im stationären Zustand ausbildende parabelförmige Geschwindigkeitsfeld wird nach einer Rohrkrümmung signifikant verändert (Abbildung 3.11). Die für die Änderung des Geschwindigkeitsfeldes erforderliche Energie, wird der Strömung entnommen. Jede Rohrkrümmung trägt damit ebenfalls zum Druckverlust und damit zur erforderlichen Pumpenleistung bei.

3.2 Ist-Zustand von Stoffaufbereitungsanlagen Verpackungspapierherstellung

3.2.1 Ergebnisse Betriebsdatenaufnahme

Die Betriebsdatenaufnahme erfolgte in drei Papierfabriken, die ein- und mehrlagigen Testliner produzieren. Das grobe Prozessschema dieser Fabriken ist vergleichbar und besteht aus den Prozessschritten Auflösung, Lochsortierung, Fraktionierung, Cleanerung, Schlitzsortierung und Eindickung. Wobei die Dünnstoff-Cleanerung nicht in allen 3 Fabriken vorhanden ist. Die Produktionsmenge der untersuchten Fabriken ist vergleichbar. Die mittlere Tagesproduktion beträgt 694 Tonnen.

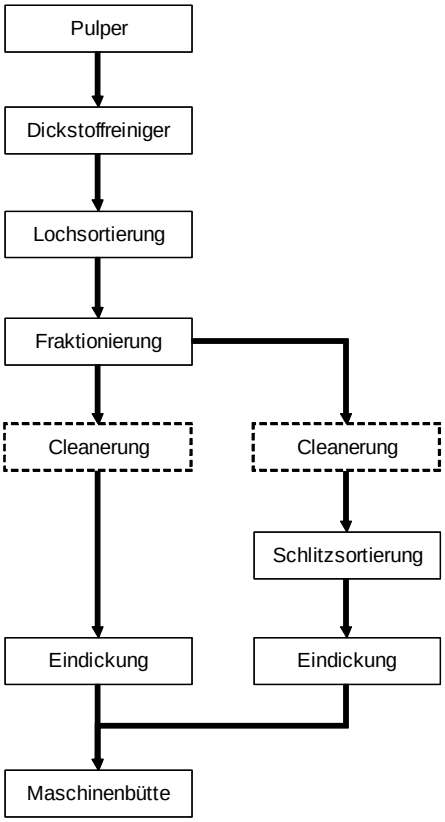

Abbildung 3.12: Vereinfachtes Prozessschema der untersuchten Papierfabriken

Aufgenommen wurden die Stoffdichten der einzelnen Prozessschritte (Projekt 111R), die installierte Leistung der Aggregate, die Büttenvolumina der zwischengeschalteten Bütten und die Längen und Durchmesser der Rohrleitungen (Projekt 110R).

Stoffdichten: Desintegration, Suspendierung

Die durchschnittliche Stoffdichte bei der Suspendierung bei den untersuchten Papierfabriken liegt bei 4,4%. Der Schwankungsbereich liegt zwischen 3,6 und 5,4%.

Stoffdichten: Reinigung

Die durchschnittliche Stoffdichte bei der Dickstoffreinigung liegt bei 5,1%, mit einer Schwankung von 4,8% bis 5,5 %.

Die durchschnittliche Stoffdichte bei der Dünnstoffreinigung liegt bei 1,6%, mit einer Schwankung von 1,4% bis 1,7%.

Stoffdichten: Sortierung, Fraktionierung

Die durchschnittliche Stoffdichte bei der Lochsortierung liegt bei 4,2%, mit einer Schwankung von 3,8% bis 4,5 %.

Die durchschnittliche Stoffdichte bei der Schlitzsortierung liegt bei 3,2%, mit einer Schwankung von 2,7% bis 4,1%.

Verweilzeiten: Bütten

Die mittlere Verweilzeit in den untersuchten Anlagen ist sehr unterschiedlich und ist abhängig von der Anzahl der dazwischen geschalteten Bütten. Die mittlere Verweilzeit vom Pulper bis zur Maschinenbütte beträgt im besten Fall 88 min, im schlechtesten Fall 238,3 min.

Tabelle 3.6: Verweilzeiten in den Bütten der untersuchten Stoffsträngen (in min)

	A	B	C	D	E	F	G
Bütte 1	26,5	193,5	35,1	35,1	70,9	38,7	38,7
Bütte 2	23,3	5,6	11,4	11,4	73,3	3,1	3,1
Bütte 3	11,8		18,5	50,2		27,4	21,4
Bütte 4	13,6		11,2	14,4		36,3	36,3
Bütte 5			5,2	100,7		17,9	17,9
Bütte 6			37,9				
Maschinenbütte	5,0	39,2	9,3	7,8	57,6		
Summe	**80,1**	**238,3**	**128,6**	**219,7**	**201,9**	**123,4**	**117,4**

Verweilzeiten: Rohrleitungen

Die mittleren Verweilzeiten in den Rohrleitungen in den verschiedenen untersuchten Unternehmen erwiesen sich bei genauerer Analyse als durchaus vergleichbar. Die mittlere Verweilzeit im Rohrleitungssystem (vom Pulper bis zur Maschinenbütte) beträgt 7,9 min, mit einem Minimum von 7,7 min und einem Maximum von 8,3 min.

Verweilzeiten: Aggregate

Die mittlere Verweilzeit von der Ableerbütte bis zur Maschinenbütte (ohne Pulper) beträgt in den Aggregaten der untersuchten Anlagen in der Summe 10,6 Minuten,). Die Mittelwerte der einzelnen Aggregate (von den drei untersuchten Fabriken) sind in Tabelle 3.7 aufgelistet.

Tabelle 3.7: Mittlere Verweilzeit in den Aggregaten der untersuchten Anlagen (in min)

Pulper	14,4
Dickstoffreiniger	0,26
Sortierer	1,47
Fraktionierer	0,16
Cleaner	0,13

Energieverbrauch

Der spezifische Energieverbrauch der einzelnen Aggregate, Pumpen und Rührer ist in Abbildung 3.13 dargestellt.

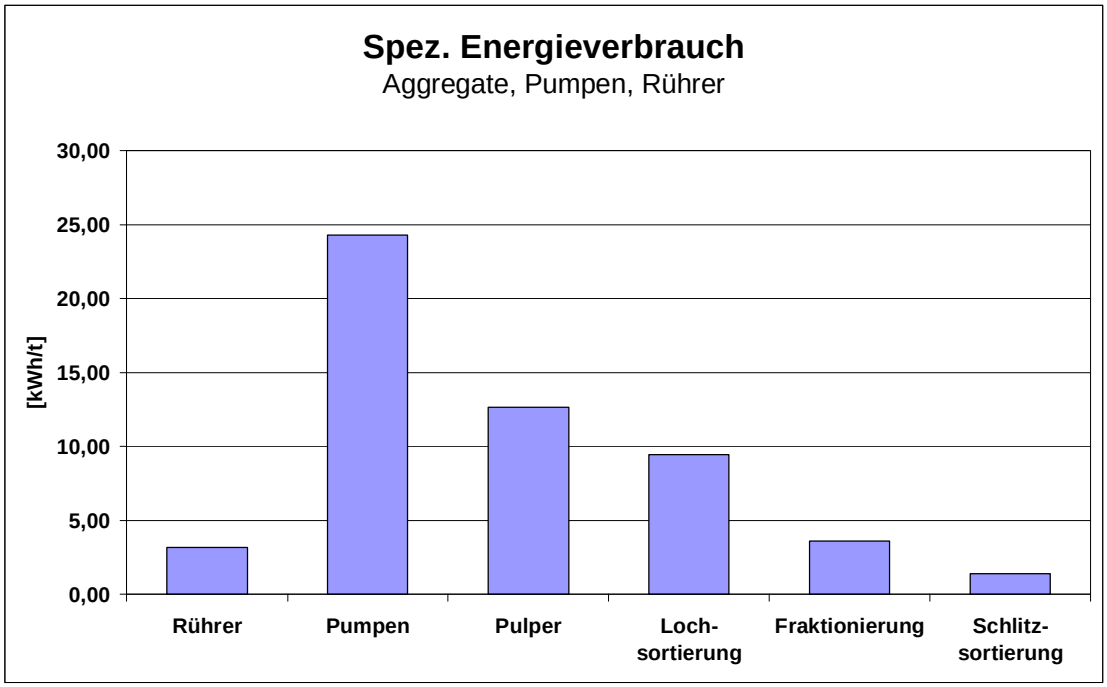

Abbildung 3.13: Spezifischer Energieverbrauch der Aggregate, Pumpen und Rührer der Stoffaufbereitung

Neben dem Refiner, der in diesem Projekt nicht betrachtet wird, sind die Pumpen die größten Energieverbraucher. Der dargestellte Energieverbrauch für Pumpen beinhaltet jedoch sowohl Pumpen für den Transport von Stoff als auch Pumpen für die Druckerhöhung. Der Anteil für die Druckerhöhung ist für die Funktion der nachfolgenden Aggregate erforderlich und beträgt durchschnittlich 16,66 kWh/t. Demnach ist das Einsparpotential hier nur 7,6 kWh/t. Durch eine Reduzierung der Stoffdichten ist hier ein hohes Energieeinsparungspotenzial vorhanden.

3.2.2 Ergebnisse Fragebögen

Desintegration, Suspendierung

Aus den Daten der ausgewerteten Fragebögen lässt sich der im Folgenden beschriebene Stand der industriellen Praxis bezüglich der Suspendierung ableiten. In allen bisher an der Umfrage beteiligten Werken werden Pulper zur Suspendierung eingesetzt. Diese Firmen produzieren alle vergleichbare Produkte, allerdings ist die Produktionskapazität unterschiedlich (Abbildung 3.14). Im Mittel liegt sie bei ca. 700 t/d.

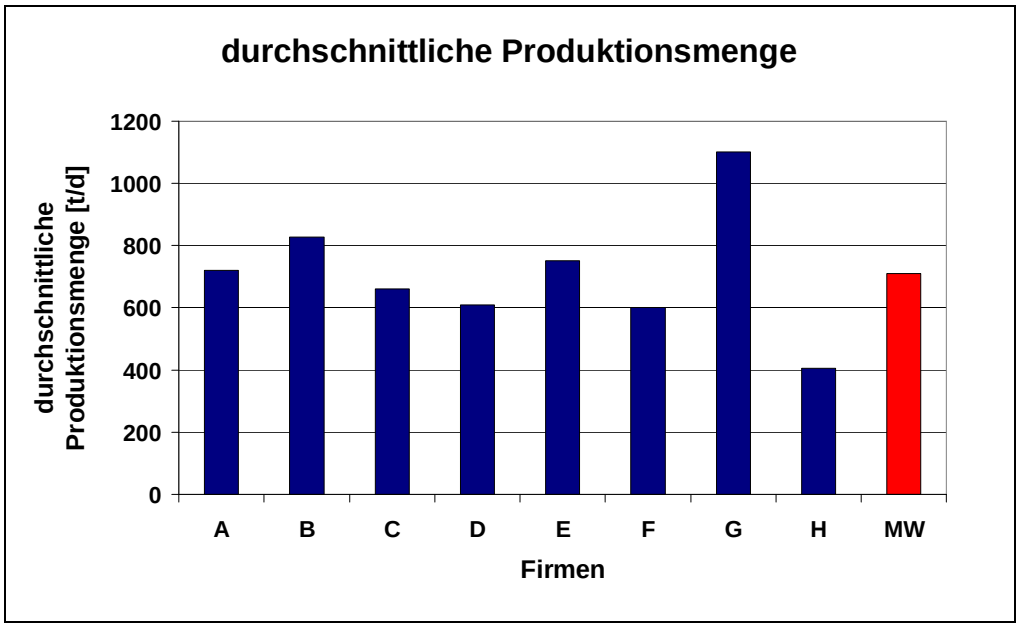

Abbildung 3.14: durchschnittliche Produktionsmenge nach Angaben aus den Fragebögen

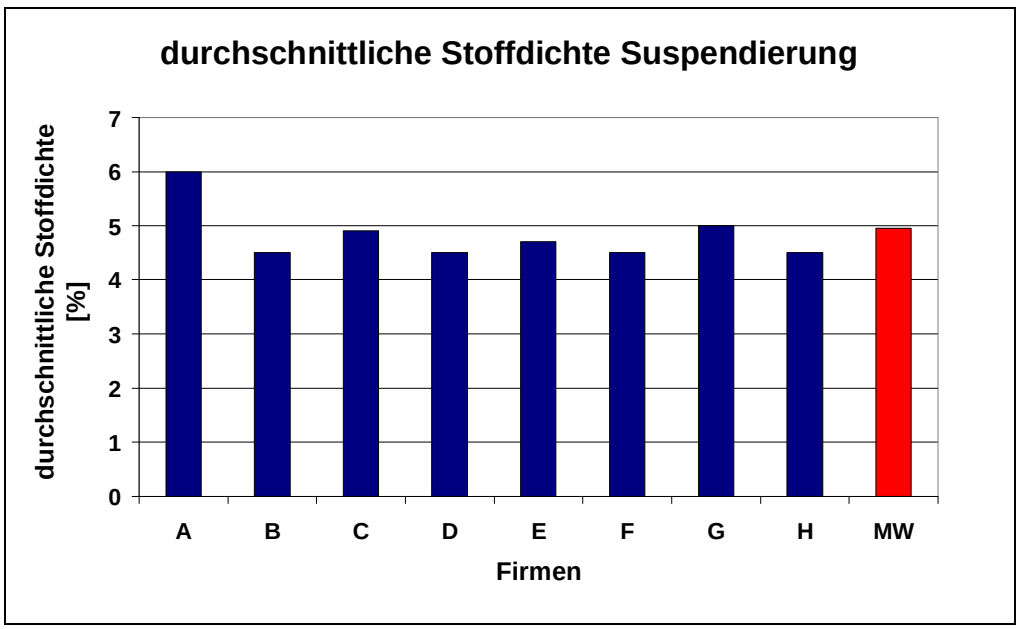

Abbildung 3.15: durchschnittliche Stoffdichte Suspendierung nach Angaben aus den Fragebögen

Wie in Abbildung 3.15 zu sehen, liegt die durchschnittliche Stoffdichte der Suspendierung bei 5 %. Der Schwankungsbereich liegt zwischen 4,5 % und 6 %. Der spezifische Energieeinsatz für die Suspendierung liegt im Mittel bei etwa 19 kWh/t, schwankt jedoch zwischen den einzelnen Firmen sehr stark (Abbildung 3.16).

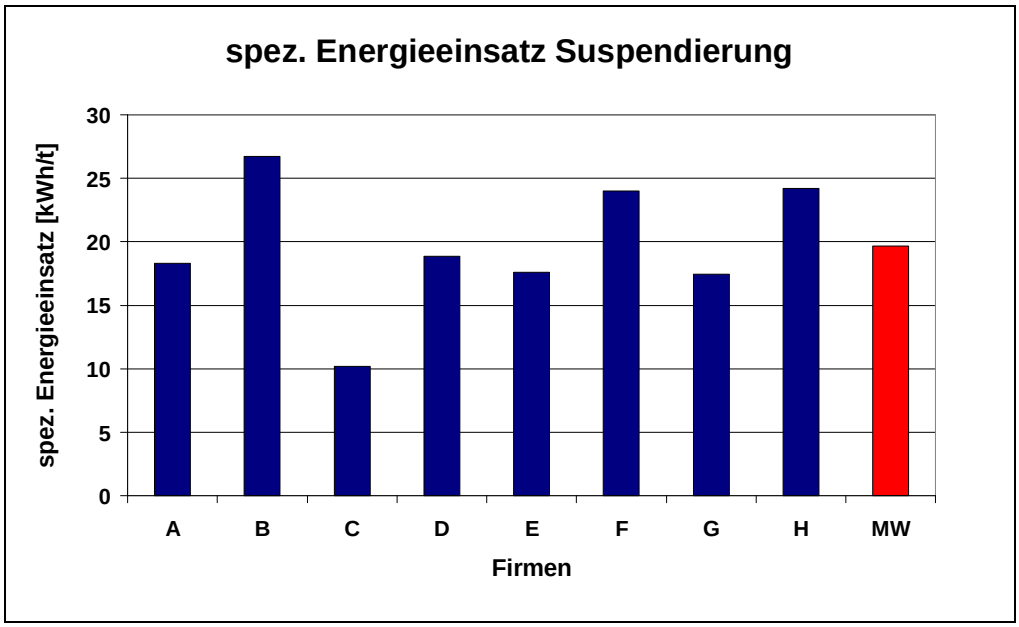

Abbildung 3.16: spezifischer Energieeinsatz Suspendierung nach Angaben aus den Fragebögen

Reinigung

Bei der Stoffreinigung mittels Hydrozyklonen sind prinzipiell die Bereiche Dickstoff- und Dünnstoffreinigung zu unterscheiden. In den befragten Firmen finden nicht immer beide Prozesse Anwendung bzw. waren nicht immer alle Daten verfügbar. Daraus ergibt sich der in Abbildung 3.17 dargestellte aktuelle Stand in der industriellen Praxis. Dabei ist zu erkennen, dass die Dickstoffreinigung aktuell im Durchschnitt bei etwa 4% Stoffdichte betrieben wird. Die Dünnstoffreinigung dagegen läuft bei ca. 1,5% ab.

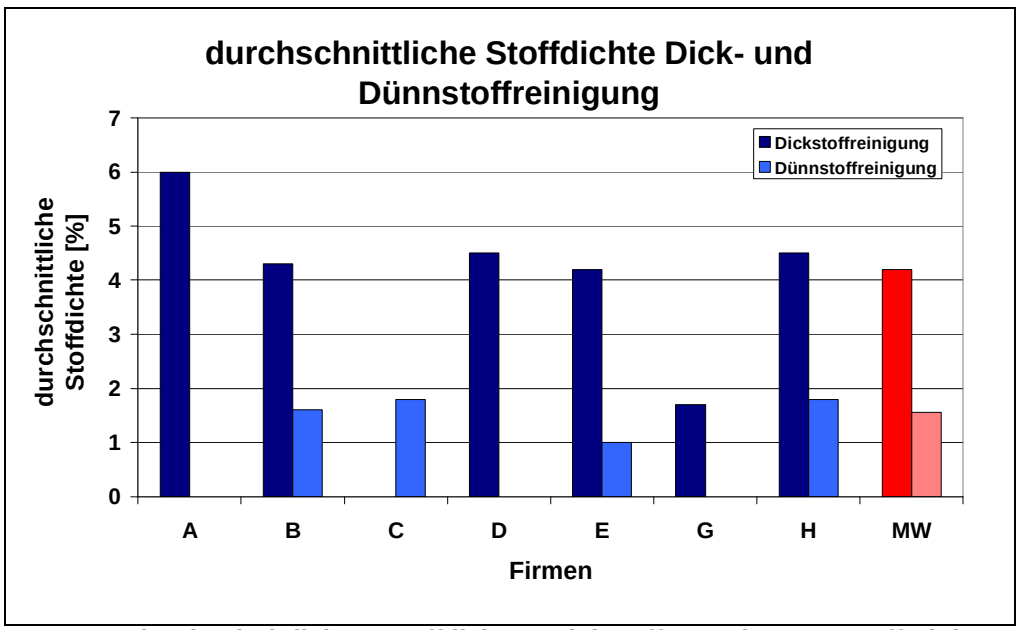

Abbildung 3.17: durchschnittliche Stoffdichte Dickstoff- und Dünnstoffreinigung nach Angaben aus den Fragebögen

Sortierung, Fraktionierung

Im Bereich der Sortierung bzw. auch der Fraktionierung konnte aus den mit dem Fragebogen erfassten Daten folgender Stand der industriellen Praxis abgeleitet werden (Abbildung 3.18 und Abbildung 3.19).

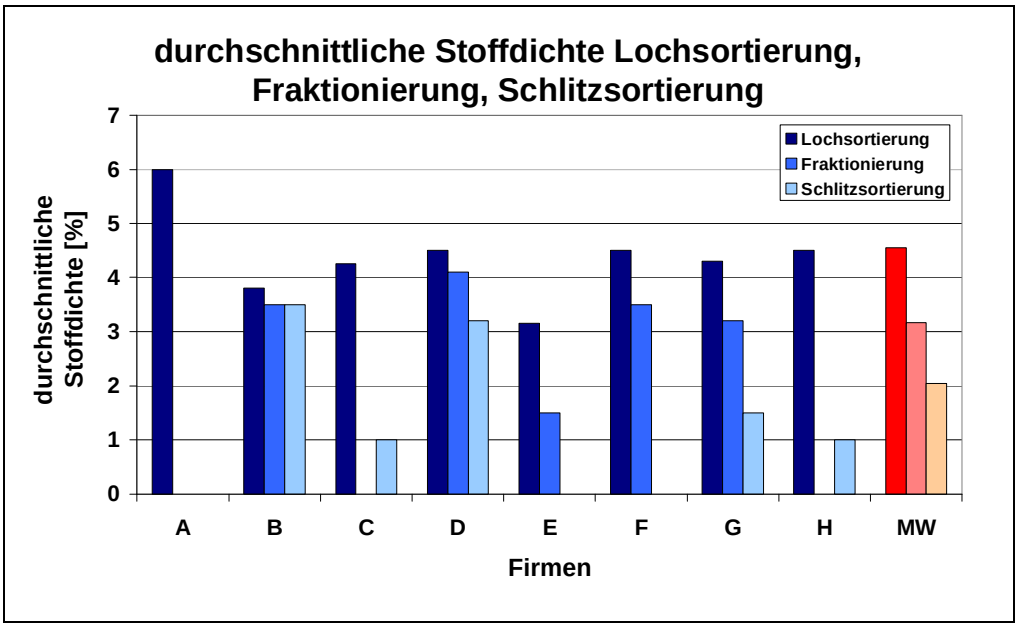

Abbildung 3.18: durchschnittliche Stoffdichte bei der Lochsortierung, der Fraktionierung und der Schlitzsortierung nach Angaben aus den Fragebögen

Im Bereich der Lochsortierung werden aktuell Stoffdichten zwischen 3 und 6 % gefahren. Der Durchschnittswert liegt hier bei etwa 4,5 %. Die Fraktionierung wird, soweit sie in den befragten Firmen vorhanden ist bzw. Daten verfügbar waren, in Stoffdichtebereichen von 1,5 bis 4% betrieben, wobei der Mittelwert bei ca. 3% liegt. Die Schlitzsortierung läuft zwischen 1 und 3,5 % bzw. im Mittel bei 2,3 %.

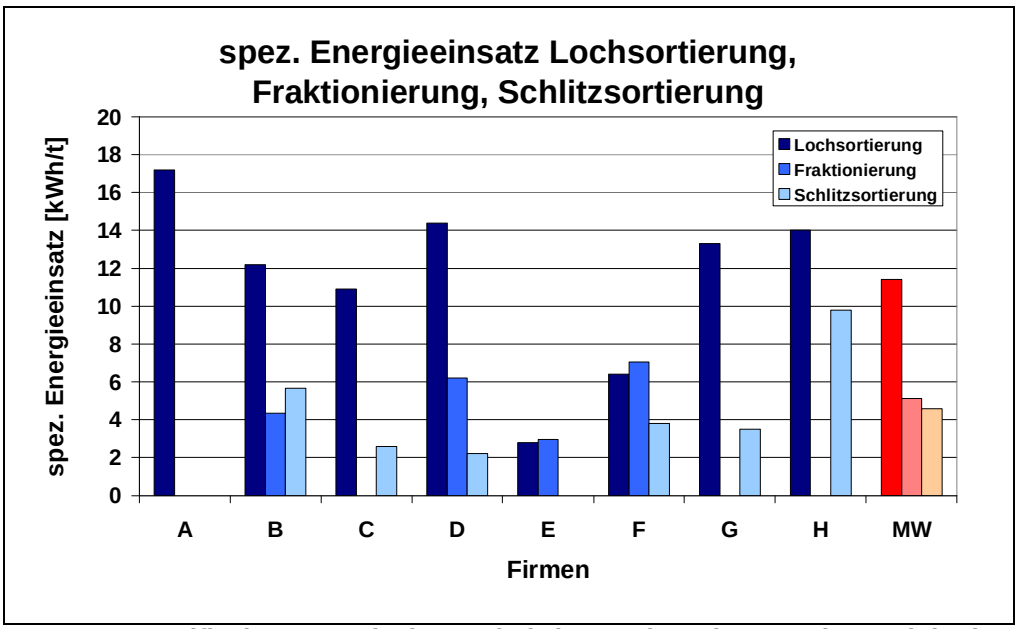

Abbildung 3.19: spezifischer Energieeinsatz bei der Lochsortierung, der Fraktionierung und der Schlitzsortierung nach Angaben aus den Fragebögen

Der spezifische Energieeinsatz im Bereich der Lochsortierung schwankt sehr stark zwischen 3 und 17 kWh/t und liegt im Mittel bei 11 kWh/t. Bei der Fraktionierung sind die Schwankungen weniger stark ausgeprägt und liegen zwischen 3 und 7 kWh/t. Der Mittelwert beträgt hier ca. 5 kWh/t.

3.2.3 Zusammenfassung Ist-Zustand

Auf Basis der bisherigen Recherche, der Auswertung der Fragebögen sowie der Betriebsdatenaufnahme kann zusammenfassend als Grundlage für zukünftige Diskussionen folgender aktueller Stand der industriellen Praxis dargestellt werden:

betrachtetes Produkt:	Liner, Wellenstoff
durchschnittliche Produktionsmenge:	710 t/d
durchschnittlicher spez. Rohstoffeinsatz:	92 %
typische Rohstoffzusammensetzung für Produkt:	58 % Sorte 1.04
	30 % Sorte 1.02
	12 % Sorte 4.01

typische Stoffdichten in den Einzelprozessen:

Suspendierung (Pulper)	4,9 % (Literatur bis 18 %)
Dickstoffreinigung	4,2 % (Literatur bis 6 %)
Lochsortierung	4,5 % (Literatur bis 4 %)
Fraktionierung	3,1 % (Literatur bis 4 %)
Schlitzsortierung	2,0 % (Literatur bis 4 %)
Dünnstoffreinigung	1,5 %

typischer spez. Energiebedarf (nur Antriebsenergie):

Suspendierung (Pulper)	19,7 kWh/t (Literatur bis 10-40 kWh/t)
Lochsortierung	11,4 kWh/t (Literatur bis 5-20 kWh/t)
Fraktionierung	5,1 kWh/t
Schlitzsortierung	4,6 kWh/t

3.3 Maßnahmen zur Reduzierung der Verweilzeit – Sicherstellung der Stippenreduzierung

Soll die Verweilzeit in der Stoffaufbereitung reduziert werden, ist eine wichtige Option die Reduzierung des Volumens des Ableerturmes oder dessen vollständige Elimination. Landläufig werden dem Ableerturm neben der Vergleichmäßigung und Bevorratung noch die Funktion der Entwicklung der Festigkeit durch Quellung und eine ebenfalls durch die Quellung erreichte Reduzierung „Auflösung“ von Stippen zugeschrieben. In [24] konnte eine Festigkeitssteigerung durch Beachtung der Quellzeit nicht bestätigt werden. Hier soll daher ergänzend die Stippenreduzierung bewertet werden. Um diese Frage zu klären, wurde

⇒ eine Methode zur Bestimmung der Stippengrößenverteilung neu erarbeitet
⇒ die Änderung der Stippengrößenverteilung in den Werken mit dieser neuen Methode gemessen
⇒ die Änderung der Stippengehalte in den Prozessen differenziert bewertet

und

⇒ mit Versuchen der Einfluss einzelner Parameter auf den Stippengehalt des Stoffes ermittelt

Die Ergebnisse dieser Arbeiten werden im Folgenden berichtet.

3.3.1 Methodenentwicklung Stippengrößenverteilung

3.3.1.1 Prüfbedingungen und Abweichungen davon

Die Bestimmung des Stippengehaltes wurde in Anlehnung an die Vorschrift der Zellcheming Merkblatt V 18/62 durchgeführt. Zur Berechnung des Stippengehalts gilt folgende Formel:

$$Stippengehalt(\%) = \frac{Stippenauswaage(g)}{\Pr obenmenge(g)} \times 100$$

Die Messungen fanden unter Nutzung folgender Einstellungen statt:

Tabelle 3.8 Versuchsbedingungen für die Probenvorbereitung im Brecht-Holl-Gerät

Sortierkriterium	Lochplatte 0,7 mm
Hub	Kleiner Hub (6 mm)
Spülwasserdruck	Ca. 0,1 bar
Spülwassermenge	Ca. 8 l/min
Eintragsmenge	2 g otro Stoff
Eintragsvolumen	1000 ml
Eintragsdauer	30 sec
Gesamte Waschzeit	270 sec

Der Sortierrückstand wurde über einen gewogenen Rundfilter (Durchmesser 240mm) in einem Rapid-Köthen-Blattbildner abfiltriert. Der Rundfilter wurde anschließend auf einen Gautschkarton übertragen und mit silikonisiertem Papier abgedeckt, anschließend erfolgte eine erste Trocknung im Rapid-Köthen-Blattbildner. Die Trocknung der Probe bis zur Gewichtskonstanz erfolgte im Trockenschrank bei 105°C. Dieses Vorgehen war notwendig, um die bildanalytische Bewertung der Stippen zu ermöglichen. An den Proben erfolgte zunächst die Bestimmung der Stoffdichte und anschließend die Bestimmung des Stippengehaltes.

3.3.1.2 Bildanalytische Bewertung der Stippen

Für die bildanalytische Bewertung der Stippen dürfen sich die Stippen auf dem Filter nicht überlagern. Bei einer Einwaage von 2g otro Faserstoff für die Stippengehaltsbestimmung und einer Messfläche von ca. 314cm² kam es bei den untersuchten Proben zu einer geringen gegenseitigen Überdeckung von Stippen auf dem Probeträgerblatt.
Die bildanalytische Bewertung der Stippen erfolgte mit dem PTS-DOMAS Bildanalysesystem. Das genutzte Softwaremodul erlaubt die benutzerdefinierte Erstellung von Größenklassen und verlangt die Eingabe der eingesetzten Masse. Die Ergebnisse werden sowohl flächenbezogen als auch massebezogen ausgegeben.

Tabelle 3.9 Bildanalytisch bestimmte Parameter

Parameter	**Dimension**
Anzahl pro analysierte Fläche	(n/analysierte Fläche)
Fläche pro analysierte Fläche	(mm²/analysierte Fläche)
Anzahl pro m²	(n/m²)
Fläche pro m²	(mm²/m²)
Anzahl pro kg	(n/kg)
Fläche pro kg	(mm²/kg)

Die Werte werden sowohl für die Gesamtprobe, als auch für jede Größenklasse angegeben. Für die Untersuchungen wurden folgende Größenklassen definiert:

Tabelle 3.10 Klasseneinteilung der ermittelten Stippen

Bezeichnung	**Dimension**
Klasse 1	700 – 2000µm
Klasse 2	2000 – 4000µm
Klasse 3	4000 – 8000µm
Klasse 4	8000 – 25000µm
Klasse 5	25000 – 50000µm

3.3.1.3 Bewertung der Bestimmungsgüte der bildanalytischen Bewertung

Ein Vergleich der Bestimmungsgüte des bildanalytischen Verfahrens mit dem Referenzverfahren (Zellcheming Merkblatt V 18/62) zeigt eine gute Übereinstimmung des Verfahrens mit der Referenzmethode. Eine weitere Verbesserung der Methode kann durch eine noch bessere Probenvorbereitung (Vereinzelung der Stippen auf dem Probeblatt) bei hohen Stippengehalten erreicht werden. Mit der erprobten Methode wurden bei hohen Stippengehalten in der Regel bildanalytisch zum Zeitpunkt der ersten Erprobung eher zu niedrige Werte bestimmt. Eine Weiterentwicklung der Methode ist derzeit in Arbeit (PTS).

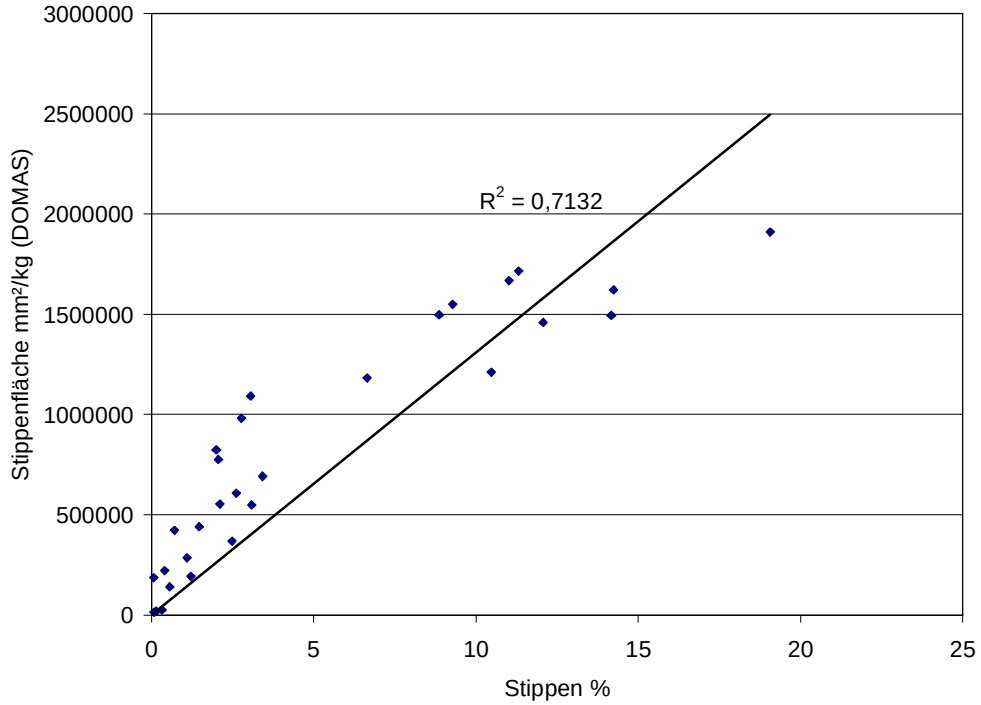

Abbildung 3.20 Vergleich der gravimetrischen und der bildanalytischen Stippengehaltsmessung (Daten der Werke A, B und C)

3.3.2 Versuchsplan und Ergebnisse Werksuntersuchungen

Zur Erfassung der Stippen wurden in den Betrieben jeweils drei Probenahmerunden durchgeführt. An 9 Stellen in Werk A bzw. 10 Stellen in den Werken B und C wurden Proben gezogen. Diese drei in den Runden gewonnenen, einzelnen Proben wurden zu einer Mischprobe zusammengeführt, welche dann für die Stippenbestimmung verwendet wurde.

3.3.2.1 Stippenprofile der 3 untersuchten Werke

In Abbildung 3.21 bis Abbildung 3.23 sind die Stippenprofile durch die untersuchten Anlagen vom Pulper bis zur Maschinenbütte dargestellt. Daran schließt sich eine Bewertung der Abtrenneffizienzen der einzelnen Aggregate an

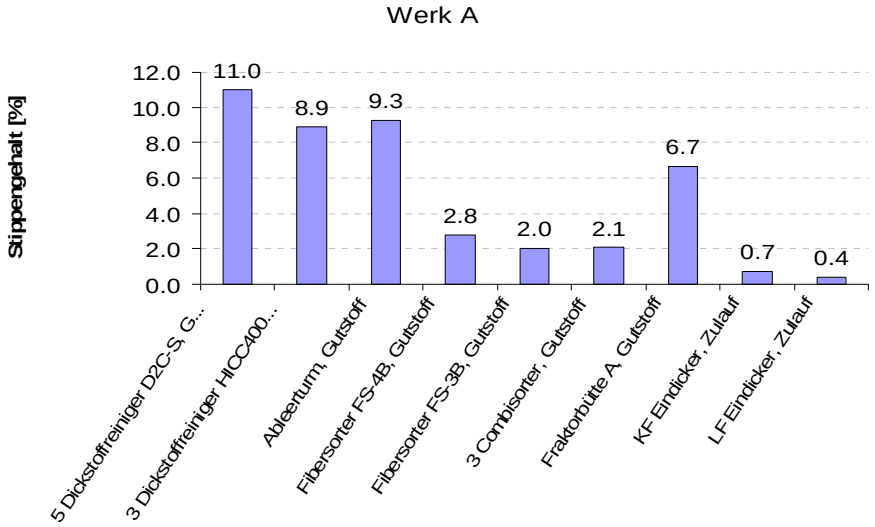

Abbildung 3.21 Stippenprofil Werk A

Werk A arbeitet mit 2 Pulpern, wobei der zweite Pulper effektiver arbeitet als der erste. In der Ableerbütte, in der die beiden Gutstoffe gemischt werden, ist der Zielwert von 10% unterschritten. Die Pulperkapazität ist demnach ausreichend.
Die Sortierer arbeiten alle mit hohem Wirkungsgrad. Allerdings ist eine Aufkonzentrierung in der Fraktorbütte A zu sehen. Diese Aufkonzentrierung konnte nicht zufriedenstellend erklärt werden, zumal auch die anschließenden Werte keine Aufkonzentrierung zeigen. Mögliche Ursache dieser Aufkonzentrierung scheint ein Fehler in der Probenahme (Stippenaufkonzentration am Probenahmehahn oder falsche Probenahmestelle) zu sein.
Nach der Schlitzsortierung sollte der Stoff mit max. 1% Stippen nahezu stippenfrei sein. Hier wurden 0,7% und 0,4% gemessen. Die Schlitzsortierung arbeitet also effektiv.
Zusammenfassend arbeiten in dieser Anlage die Aggregate im Hinblick auf Stippenreduzierung hervorragend.

Um den Einfluss der Quellzeit im Ableerturm darzustellen, ist in Tabelle 3.11 ist die Effizienz der Stippenreduzierung im Ableerturm und die Abtrenneffizienz der Sortierung angegeben. Die Verweilzeit im Ableerturm beträgt 35 min. In dieser Quellzeit werden die Stippen von 11,0% (Mittelwert der beiden Pulper Gutstoffe) auf 9,3% (Gutstoff Ableerturm) reduziert. In der nachfolgenden Sortierung werden die Stippen nochmals um 70,1% (Gutstoff Ableerbütte bis Gutstoff 1. Stufe) reduziert. Insgesamt wird durch die Quellung in der Ableerbütte und die Sortierung eine Abtrenneffizienz von 75,4% erreicht.

Tabelle 3.11 Effizienz der Stippenreduzierung im Hinblick auf Verweilzeit im Ableerturm (Werk A)

Probenahmestelle	Mittelwert Stippen [%]	Effizienz spez. Stippenreduzierung [%]
5 Dickstoffreiniger D2C-S, Gutstoff	11.0	15.8
Ableerturm, Gutstoff	9.3	
Ableerturm, Gutstoff	9.3	70.1
Fibersorter FS-4B, Gutstoff	2.8	
Ableerturm, Gutstoff	9.3	75.4
Fraktorbütte A, Gutstoff	2.3*)	

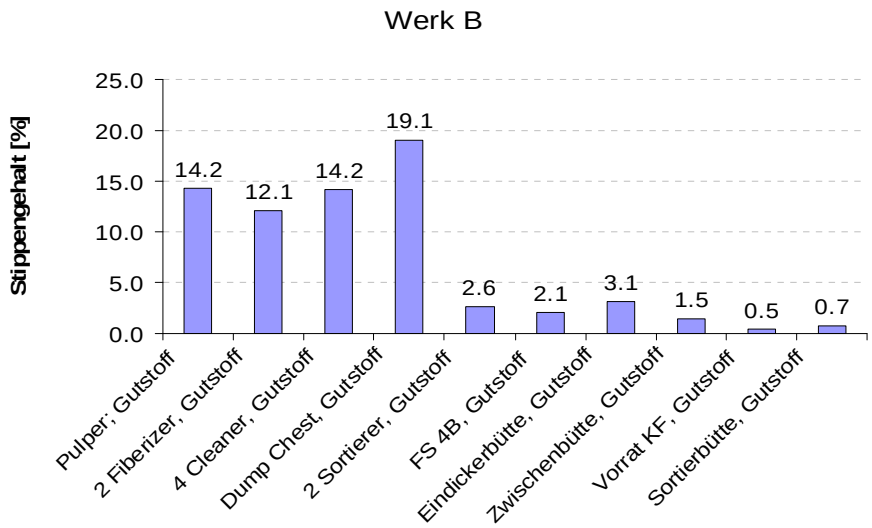

Abbildung 3.22 Stippenprofil Werk B

Der Gutstoff des Pulpers von Werk B liegt mit 14,2% über dem Zielwert von 10%. Außerdem erfolgt auch hier eine Aufkonzentration der Stippen. Diesmal allerdings schon in der Ableerbütte. Da hierfür keine ausreichende Erklärung gefunden wurde, wurden die Untersuchungen zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt (siehe Kapitel 3.3.2.3).
Die Sortierer arbeiten hier jedoch auch mit einem hohen Wirkungsgrad, so dass der Stoff in der Zwischenbütte schon nahezu stippenfrei (1,5%) ist. In der Schlitzsortierung erfolgt eine weitere Reduzierung auf 0,5% und 0,7%.
Die Sortierung arbeitet also auch in diesem Werk hervorragend.

In Tabelle 3.12 ist die Effizienz der Stippenreduzierung im Ableerturm (im Hinblick auf die Verweilzeit) und der Sortierung dargestellt. Die Verweilzeit im Ableerturm beträgt 23 min und es findet keine Stippenreduzierung, sondern eine Aufkonzentrierung statt. Der Fibersorter hat eine sehr gute Abtrennwirkung von 81,5% und in der Sortierung werden Stippen nochmals um 43,8% reduziert. Insgesamt werden durch die Sortierung fast 90% der Stippen entfernt.

*) Da der gemessene Wert in der Fraktorbütte wahrscheinlich ein Messfehler ist (s. Erklärung oben) wurde hier mit dem theoretische Wert aus der Summe der Gutstoffe der 3 Sortierstufen gerechnet

Tabelle 3.12 Effizienz der Stippenreduzierung im Ableerturm und in der Sortierung (Werk B)

Probenahmestelle	Mittelwert Stippen [%]	Effizienz spez. Stippenreduzierung [%]
Pulper; Gutstoff	14.2	x
Dump Chest, Gutstoff	19.1	
4 Cleaner, Gutstoff	14.2	81.5
2 Sortierer, Gutstoff	2.6	
2 Sortierer, Gutstoff	2.6	43.8
Zwischenbütte, Gutstoff	1.5	
4 Cleaner, Gutstoff	14.2	89.6
Zwischenbütte, Gutstoff	1.5	

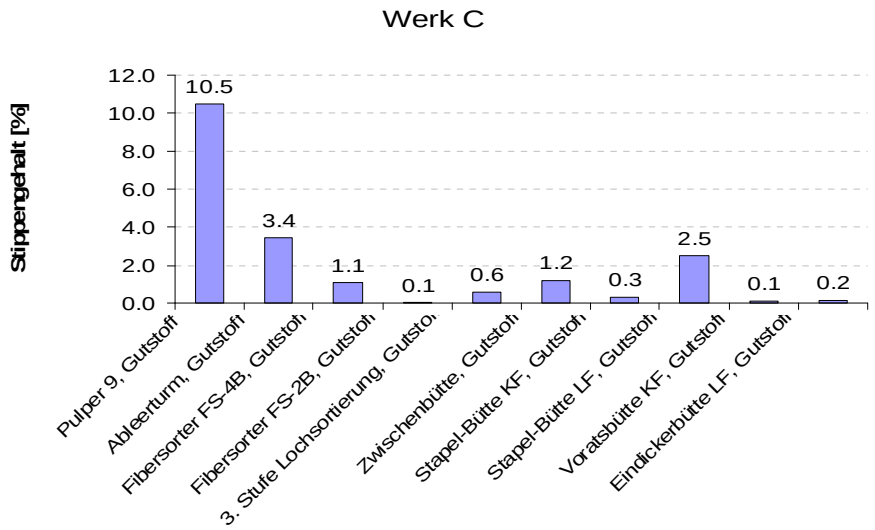

Abbildung 3.23 Stippenprofil Werk C

Der Pulpergutstoff hat mit 10,5% fast den Zielwert von 10% erreicht. Die Pulperkapazität ist somit ausreichend. Im Ableerturm erfolgt eine weitere Reduzierung der Stippen auf 3,4%.
Alle Sortierer arbeiten mit einem hohen Wirkungsgrad. Es ist eine minimale Aufkonzentrierung in der Zwischenbütte zu sehen. Allerdings handelt es sich um Werte von ca. 1%, was als nahezu stippenfrei betrachtet wird. Der minimale Anstieg liegt also im Bereich des Messfehlers. Der Stoff ist somit schon nach der Vorsortierung nahezu stippenfrei. Der Stippenrest wird durch die Schlitzsortierung entfernt, so dass am Ende 0,1% und 0,2% Stippen bleiben.
Auch in Werk C arbeiten somit alle Aggregate im Hinblick auf die Stippenreduzierung hervorragend.

Allerdings ist (im Gegensatz zu den anderen untersuchten Werken) in Werk C ein deutlicher Einfluss der Quellzeit im Ableerturm zu beobachten; siehe Tabelle 3.13. Die Verweilzeit im Ableerturm beträgt 35 min. In dieser Zeit findet eine Stippenreduzierung von 67,3% statt. Der anschließende Fibersorter reduziert die Stippen nochmals um ca. 68%. Insgesamt werden durch die Quellung in der Ableerbütte und der Vorsortierung 65% Stippen entfernt.

Tabelle 3.13: Effizienz der Stippenreduzierung im Ableerturm und in der Sortierung (Werk C)

Probenahmestelle	Mittelwert Stippen [%]	Effizienz spez. Stippenreduzierung [%]
Pulper 9, Gutstoff	10.5	67.3
Ableerturm, Gutstoff	3.4	
Ableerturm, Gutstoff	3.4	67.9
Fibersorter FS-4B, Gutstoff	1.1	
Ableerturm, Gutstoff	3.4	64.4
Zwischenbütte, Gutstoff	1.2	

Zusammenfassend in Tabelle 3.14: Die Stippenreduzierung in den Ableerbütten der untersuchten Werke.

Tabelle 3.14: Stippenreduzierung der Ableerbütten der untersuchten Werke

Werk	Ableerturm [m³]	Füllstand [%]	Stippen: Pulper-Gutstoff [%]	Stippen: Ableerturm-Gutstoff [%]	Verweilzeit [min]	Stippenreduzierung [%]
Werk A	1000	50	11.0	9.3	35	15.8
Werk B	300	82	14.2	19.1	23	x
Werk C	400	75	10.5	3.4	35	67.3

3.3.2.2 Stippengrößenverteilung in den Ableerbütten und Sortierstufen

Im Nachfolgenden sind die Stippengrößenverteilungen vor und nach den Ableerbütten sowie vor und nach den Sortierstufen dargestellt. Durch die Betrachtung der Reduzierung der einzelnen Größenklassen wird deutlicher, ob evtl. Agglomerationen stattfinden.

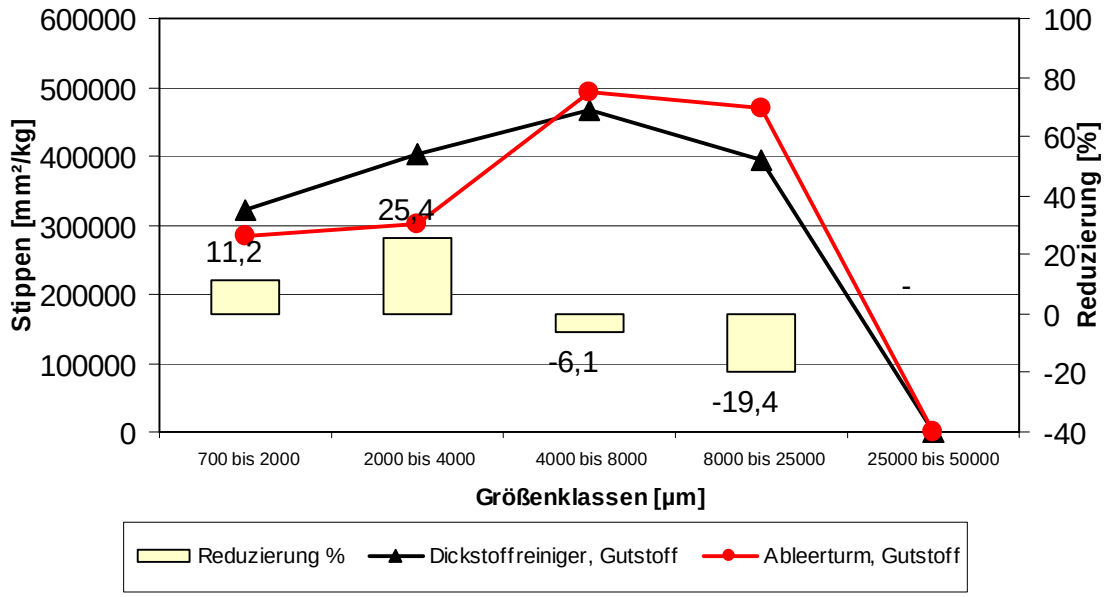

Abbildung 3.24 Veränderung der Stippengrößenverteilung im Ableerturm (Werk A)

In Werk A findet im Ableerturm eine Reduzierung der Stippen um 15,8% statt. Anhand der Größenverteilung wird jedoch deutlich, dass hauptsächlich die kleinen Stippen (700-2000 µm und 2000-4000 µm) reduziert werden. Diese agglomerieren jedoch teilweise, da in den Größenklassen 4000-6000 µm und 8000-25000 µm ein leichter Anstieg zu verzeichnen ist.

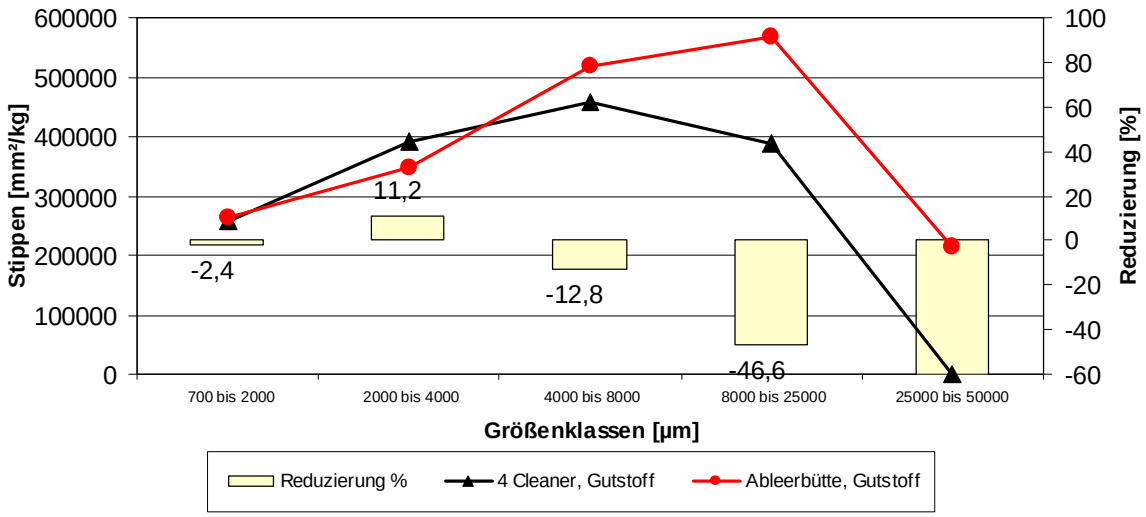

Abbildung 3.25 Veränderung der Stippengrößenverteilung im Ableerturm (Werk B)

In Werk B findet in der Ableerbütte keine Stippenreduzierung, sondern eine Aufkonzentration statt. Dies ist auch in der Größenverteilung zu sehen. Vor allem die Anzahl der großen Stippen (4000 bis 50000 µm) nimmt zu.

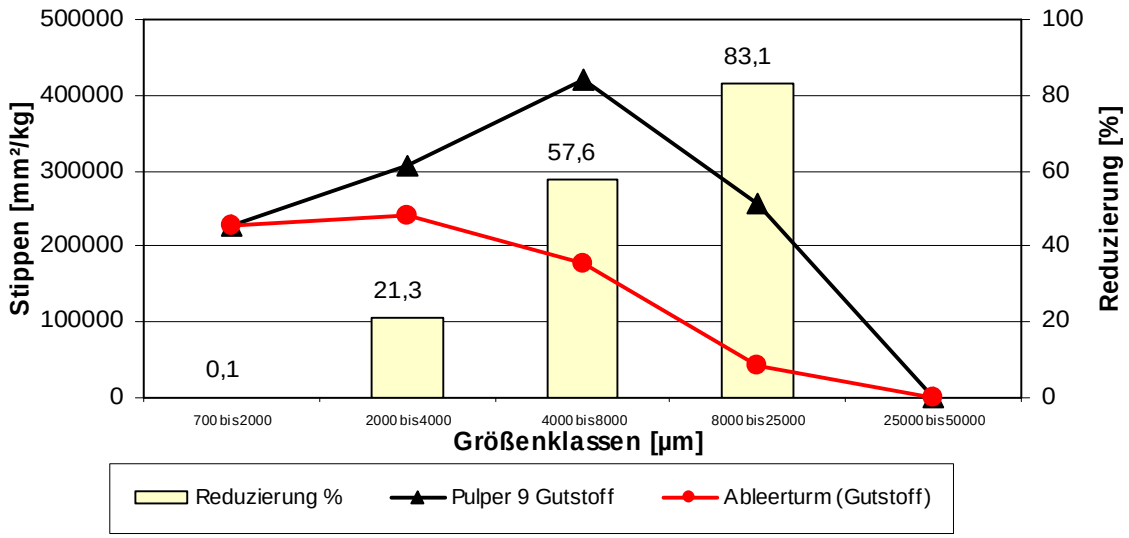

Abbildung 3.26 Veränderung der Stippengrößenverteilung im Ableerturm (Werk C)

In Werk C findet in der Ableerbütte eine Stippenreduzierung von 67% statt. Diese Reduzierung findet allerdings nur in den mittleren bis großen Größenklassen statt. Die kleinen Stippen (700-2000 µm) werden durch die Quellung in der Ableerbütte nicht reduziert.

Abbildung 3.27 bis Abbildung 3.29 zeigt die Stippengrößenverteilung vor und nach der Grobsortierung in den 3 untersuchten Werken. In allen 3 Werken ist zu sehen, dass durch die Grobsortierung vor allem die größeren Stippen (> 4000 µm) entfernt werden.

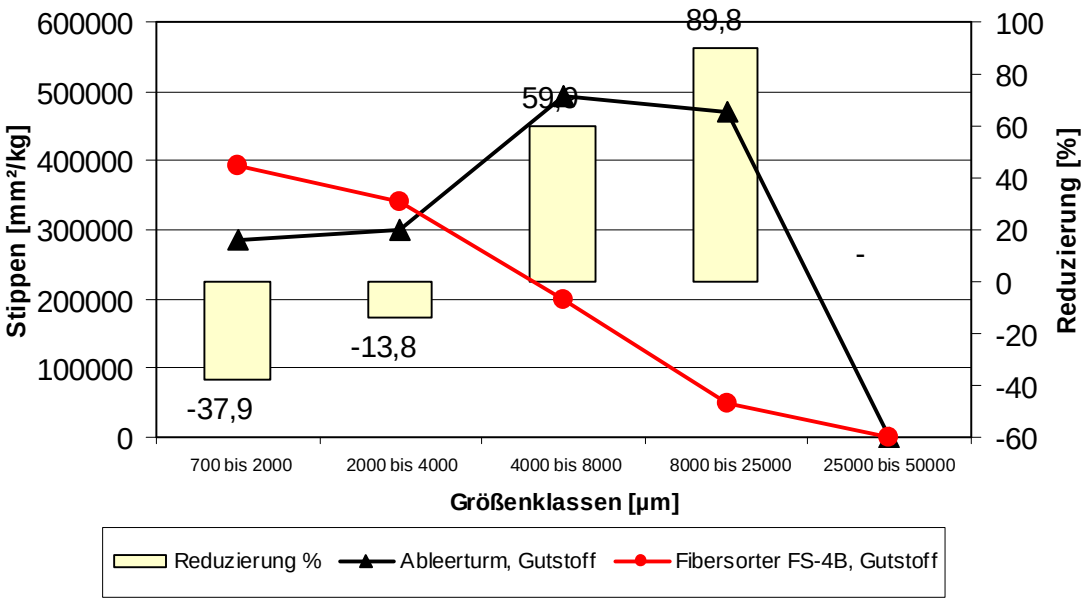

Abbildung 3.27 Veränderung der Stippengrößenverteilung in der Grobsortierung (Werk A)

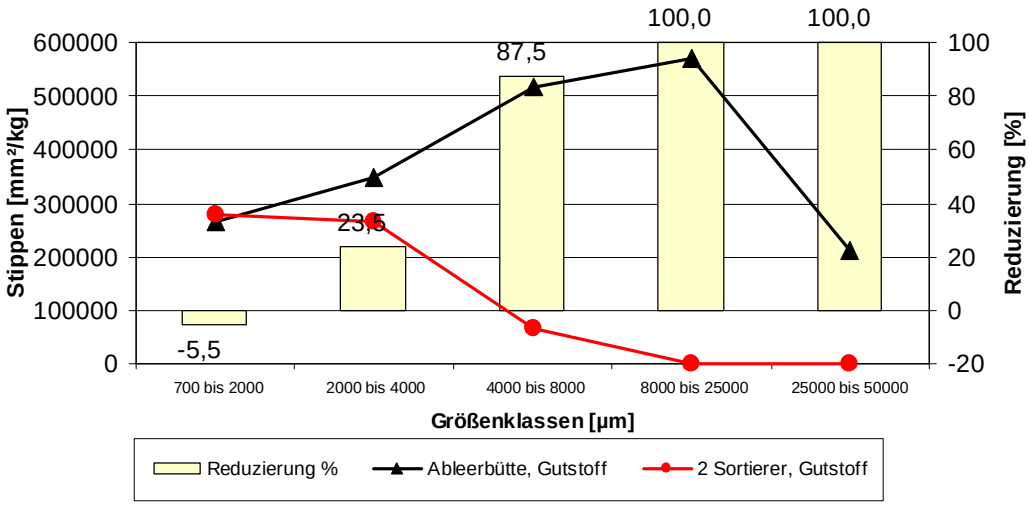

Abbildung 3.28 Veränderung der Stippengrößenverteilung in der Grobsortierung (Werk B)

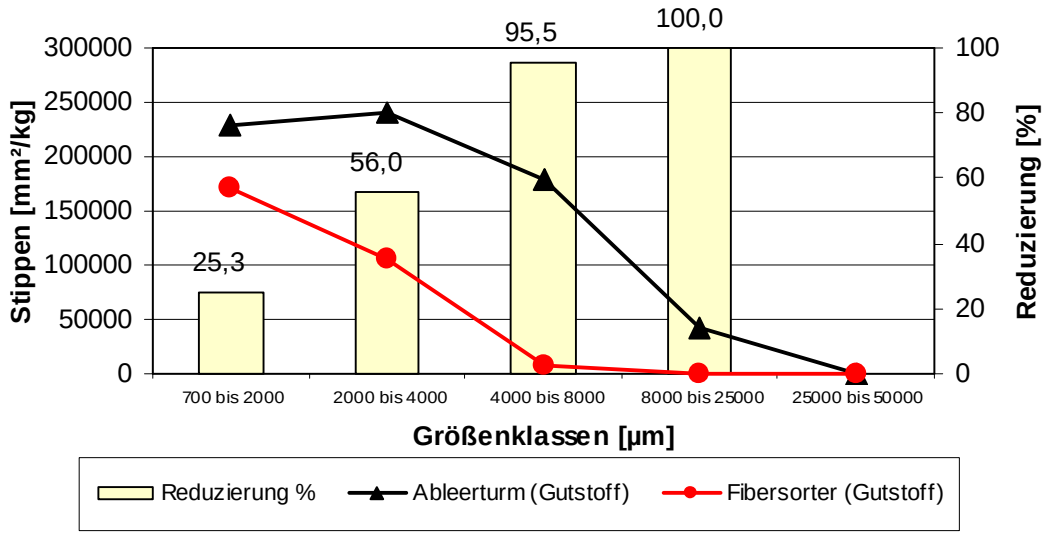

Abbildung 3.29 Veränderung der Stippengrößenverteilung in der Grobsortierung (Werk C)

3.3.2.3 Überprüfung der Ergebnisse in Werk B und C

Die in Werk B festgestellte Zunahme des Stippengehaltes nach der Ableerpumpe der Ableerbütte (19,1%) im Vergleich zum Einlauf zur Ableerbütte (14,2%) führte zu einer Überprüfung, um Fehler bei den Probenahmen auszuschließen. Diese Überprüfung bestätigt die Zunahme, wenn auch in deutlich geringerem Umfang: Der Stippengehalt stieg von 20% auf 20,5% an und bestätigt damit auch die Erfahrungen des Betreibers, dass keine Verringerung eintritt. Damit wurden im Zulauf zur Lochsortierung in diesem Fall extrem hohe Werte festgestellt. Gleichzeitig war zu beobachten, dass der Stippengehalt insbesondere in den größeren Klassen angestiegen war. Der schon bei der ersten Untersuchung festgestellte Anstieg der mittleren Stippengröße von 4,8 auf 6,3 mm² war erneut mit einem Anstieg von 7,2 auf 7,6 mm² feststellbar. Auch der Verlauf der Stippengrößenverteilung (Abbildung 3.30) ist im Wesentlichen vergleichbar mit der ersten Beprobung (Abbildung 3.25), so dass derselbe Mechanismus als Ursache vermutet werden muss. Wann und warum dieses (reproduzierbare) Phänomen auftritt ist noch unklar und bedarf weiterer Untersuchungen. Für Werk A ist ein zu Werk B vergleichbarer Mechanismus zu vermuten.

Nachuntersuchungen in Werk C zeigten, dass bei einer Probenahme nach der Ableerpumpe (ein für alle Untersuchungen in allen Werken angewandtes Verfahren), wie bei der ersten Analyse eine deutliche Stippenverminderung messbar war. Wurde die Probe dagegen direkt in der Bütte am Auslauf vor der Pumpe entnommen, war die Stippenverminderung gering. Die Reduzierung der Verweilzeit durch Verringerung des Füllstandes der Ableerbütte brachte auch hier keine Erhöhung der Stippenbeladung mit sich!

Es ist daher davon auszugehen dass:

- In Bütten keine Reduzierung des Stippengehaltes stattfindet
- Die Verweildauer des Stoffs in einer Bütte (sog. „Quellen“) keinen Einfluss auf seinen Stippengehalt hat
- Eine Quellung des Stoffs in Hinblick auf die Stippenverminderung keinen Sinn für die untersuchten Stoffsysteme macht
- Eine Stippenverminderung nur in einzelnen Werken auftritt und dann ausschließlich auf die Zerschlagung der Stippen in der Ableerpumpe zurückzuführen ist.

Diese Aussagen gelten unter den Randbedingungen der untersuchten Produktion und für die eingesetzten Rohstoffe.

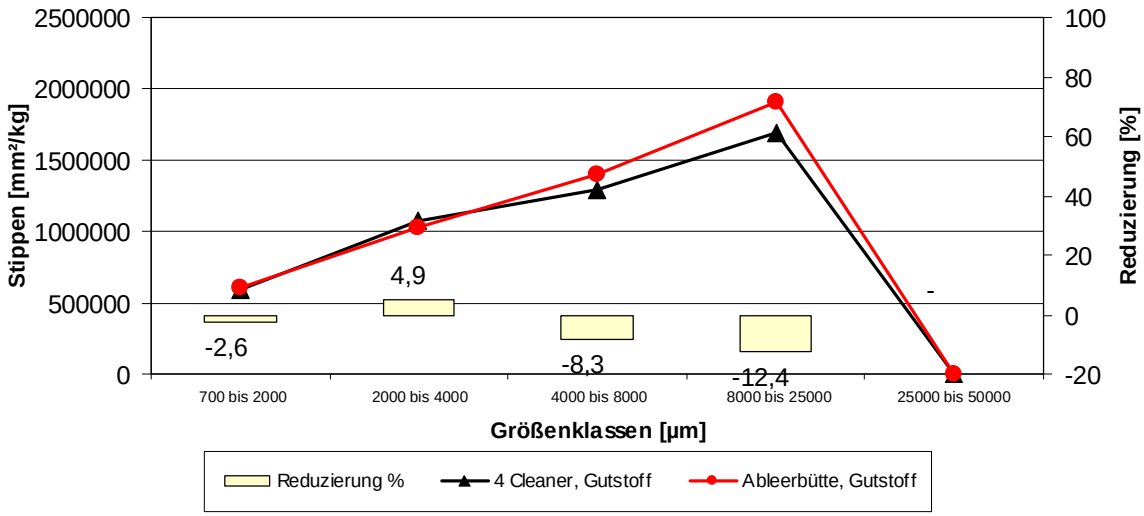

Abbildung 3.30 Veränderung der Stippengrößenverteilung im Ableerturm bei der Nachuntersuchung in Werk B

3.3.2.4 Vergleich der Pulpersysteme

Infolge der signifikant unterschiedlichen Entwicklung der Stippenbeladung in den Werken wurde durch die Projektbegleiter eine Bewertung der Pulpersysteme vorgeschlagen und von den Projektbeteiligten durchgeführt. Dieser Vergleich (Tabelle 3.15) zeigt nur geringe Unterschiede. Die Geometrie ist nahezu gleich, die Entsorgungssysteme unterscheiden sich allerdings. Nicht in allen Systemen wird ein Zopf gebildet. Die Betriebsbedingungen sind in den Aspekten Temperatur und spez. Energieeintrag nahezu identisch. Allerdings sind die Stoffdichten im Werk A niedriger. Auch sind in diesem Werk die Verweilzeiten höher. Dies ist ein Hinweis auf unter Umständen vorliegende günstigere Stofflösebedingungen. Alle angegebenen Werte sind Betreiberangaben für typische Betriebsbedingungen. Die Werte können daher von den im Rahmen der Prozessanalyse aufgenommenen Daten abweichen.

Tabelle 3.15 Vergleich der Pulpersysteme (Aufbau und Betrieb; Betreiberangaben)

		Werk A	Werk A	Werk B	Werk C
Typ	(Bezeichnung)	ST9CA (Pulper 1)	ST9CA (Pulper 2)	ST 10C-W-EscherWys	ST9
Lochblech: Ø der Lochung	mm	20	16	20	14
Volumen	m³	80	80	80	70
Verweilzeit	min	(2)-8	(2)-11	4,5	8
Stoffdichte	%	4,5	4,5	5	6
Temperatur	°C	45	45	40	50
spez. Energieeintrag	kWh/t	11,2	11,2	12,6	12
Art der Pulperentsorgung	-	Fiberizer	Pump-Siebcontaminex	Zopf	System GW
Treibergeometrie	(teilüberdeckt / ganz überdeckt)	ganz	ganz	ganz	ganz
Strömungsbrecher	(ja/nein)	ja	ja	ja	ja

3.3.3 Bewertung der Entstippung in den untersuchten Werken

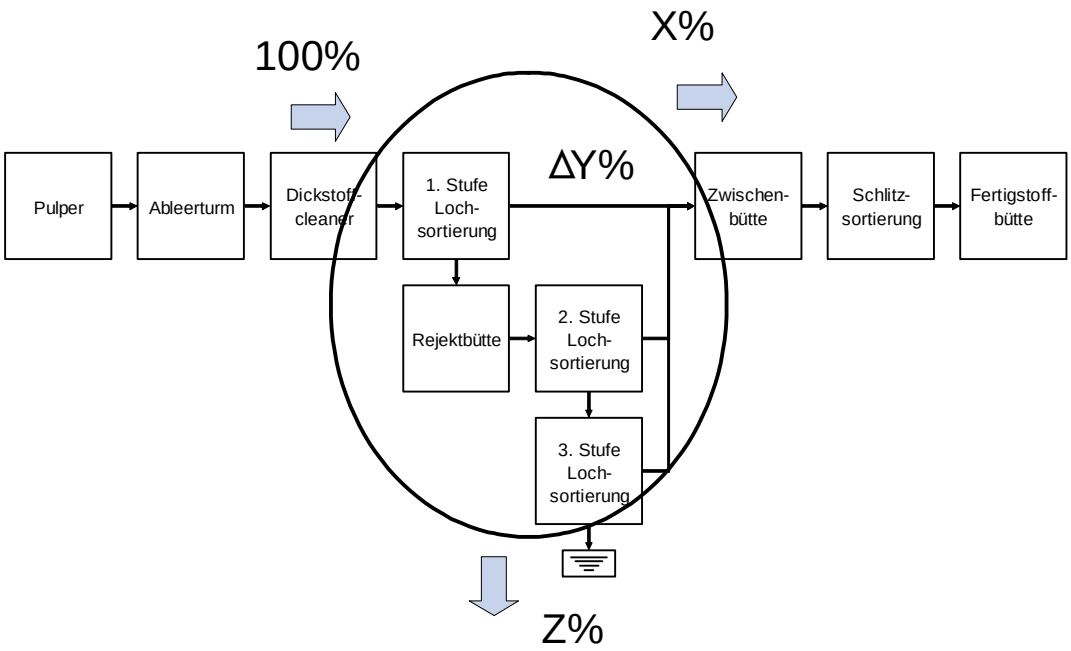

Abbildung 3.31 Bilanzierung der Stippenfracht

Ziel einer optimalen Entstippung: Der Faserverlust Z (siehe Abbildung 3.31) sollte so gering wie möglich sein. Gleichzeitig sollte der Durchgang X so gering wie möglich sein, um eine hohe Stoffreinheit zu gewährleisten. Dies kann gleichzeitig erreicht werden, indem der Stippenabbau ΔY maximiert wird. Dann wird eine maximale Ausbeute erreicht.

Um eine Bewertung der Entstippung durchzuführen, wird eine Darstellung der Bilanzen in folgendem Diagramm (Abbildung 3.32) vorgeschlagen. Der Anteil der Stippen im Gutstoff wird über dem Anteil der Stippen im Rejekt aufgetragen. Ein guter Sortierwirkungsgrad führt zunächst grundsätzlich zu einer Verlagerung des Arbeitspunktes nach rechts unten. Der gleichzeitig stattfindende Stippenabbau verschiebt den Arbeitspunkt näher an den Koordinatenursprung.

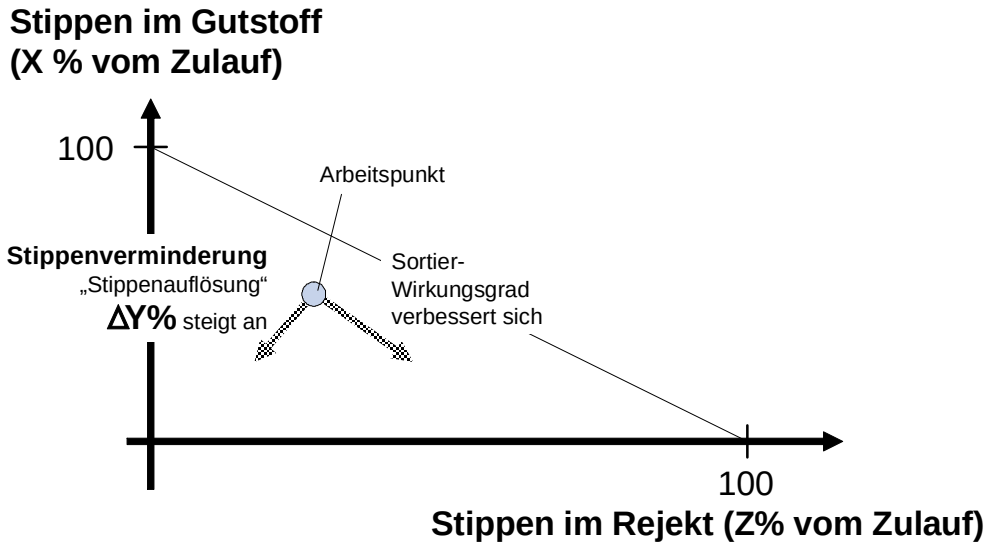

Abbildung 3.32 Vorgeschlagene Darstellung zur vergleichenden Bewertung der Entstippung

Mit der vorgeschlagenen Darstellung können sowohl Einzelaggregate als auch Aggregategruppen bewertet und miteinander verglichen werden (Abbildung 3.33).

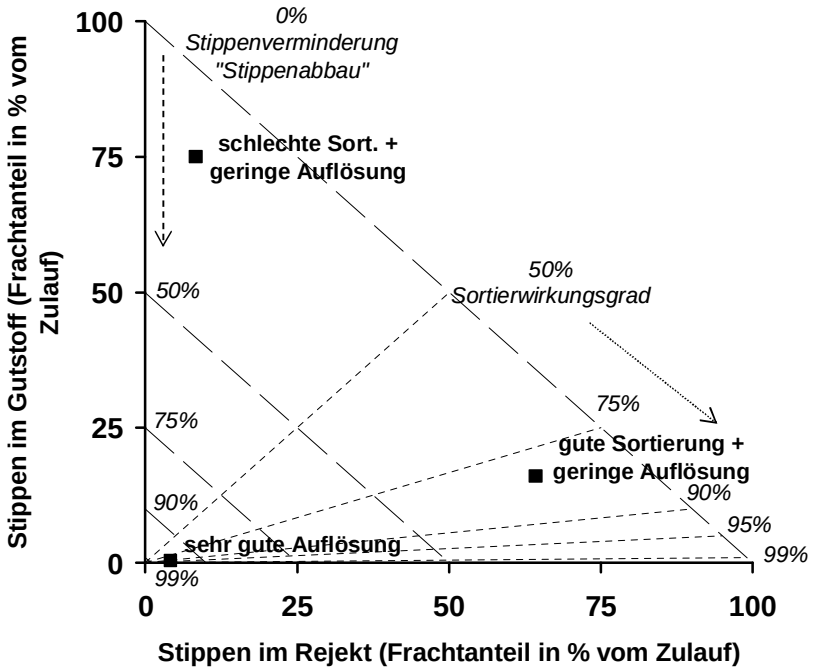

Abbildung 3.33 Bewertung der Betriebsbereiche für Einzelaggregate und Aggregategruppen

Wird eine Stippenbilanz erstellt, beziehen sich die %(Prozent)-Angaben auf die Stippenfracht; 100% = die gesamte Stippenfracht im Zulauf (z.B. ein Stippengehalt von 10% x 5 t Stoff /h). Diese Bilanz kann sowohl für eine gesamte Verfahrenstufe als auch für ein einzelnes Aggregat erstellt werden. Bilanzen für folgende Teilbereiche der einzelnen Fabriken wurden berechnet:

Tabelle 3.16 Für die Stippenbilanzen für Aggregategruppen der untersuchten Werke betrachtete Aggregategruppen

Kennung	Verfahrensstufe	Werk
o-Sort. Werk A	Lochsortierung (Endstufe nicht berücksichtigt)	A
II-Sort. Werk A	Schlitzsortierung (Endstufe nicht berücksichtigt)	A
o+II-Sort. Werk A	Loch+ Schlitzsortierung (incl. Endstufe)	A
o-Sort. Werk B	Lochsortierung	B
II-Sort. Werk B	Schlitzsortierung	B
o+II-Sort. Werk B	Loch+ Schlitzsortierung	B
o-Sort. Werk C	Lochsortierung	C
II-Sort. Werk C	Schlitzsortierung	C
Frakt. Werk C	Fraktionierung	C
o+II-Sort. Werk C	Loch+ Schlitzsortierung	C

Bei der Berechnung der Bilanzen für die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** verzeichneten Aggregategruppen mussten in einzelnen Fällen Annahmen getroffen werden. Diese betreffen die Fraktionierungen in den Werken A und B. Hier wurden Verhältnisse analog zu Werk C angenommen. Die Ergebnisse der Bilanzen wurden in die vorgeschlagene Darstellungsform überführt (Abbildung 3.34). Folgende Bewertung der Enstippung ergibt sich:

- Alle betrachteten Aggregategruppen reduzieren die Stippenfracht um mindestens 20%.
- Typischerweise liegt der Wert für die Stippenverminderung zwischen 5 und 50%.
- Es ist keine klare Differenzierung der Lochsortierungen (Vorsortierungen) von den Schlitzsortierungen (Feinsortierung) hinsichtlich der Stippenverminderungen in der jeweiligen Aggregategruppe möglich.
- Auch in der untersuchten Fraktionierung vermindert sich die Stippenfracht.
- Bei gut arbeitenden Aggregategruppen finden sich jeweils ca. 5-10% der eingetragenen Stippen in Gutstoff und Rejekt.
- Bei Aggregategruppen mit einer schlechteren Stippenverminderung finden sich typischerweise 25-50% der Stippen im Gutstoff und im Rejekt wieder.
- In Werk A vermindert sich der Stippengehalt in Verlauf von Vor- und Feinsortierung (o+II-Sort. Werk A) insgesamt um über 97%. Nur 2,2 % der Stippen werden mit dem Rejekt ausgetragen.
- Auch für die anderen Anlagen wird insgesamt eine gleich gute Stippenreduzierung erreicht.
- In den Werken B und C werden deutlich höhere Anteile (9% bzw. 39%) der eingetragenen Stippenfracht mit dem Rejekt aussortiert und nicht durch „Auflösung“ verlustneutral vermindert. Zu berücksichtigen ist allerdings der sehr unterschiedliche Stippengehalt im Zulauf zur Lochsortierung: Während die Werte für Werk A und B mit 9,3% bzw. 19,1% sehr hoch sind, ist der Stippengehalt des Stoffs von Werk C durch die Stippen vermindernde Wirkung der Ableerpumpe mit 3,4% sehr niedrig. Die Stoffverluste durch Stippen sind daher mit ca. 1,6 % (Anteil der Stippenfracht im Rejekt an der Stoffmenge im Zulauf zur Lochsortierung) in Werk B am höchsten, gefolgt von 1,3% in Werk C. Werk A hat mit 0,2% die geringsten Verluste.

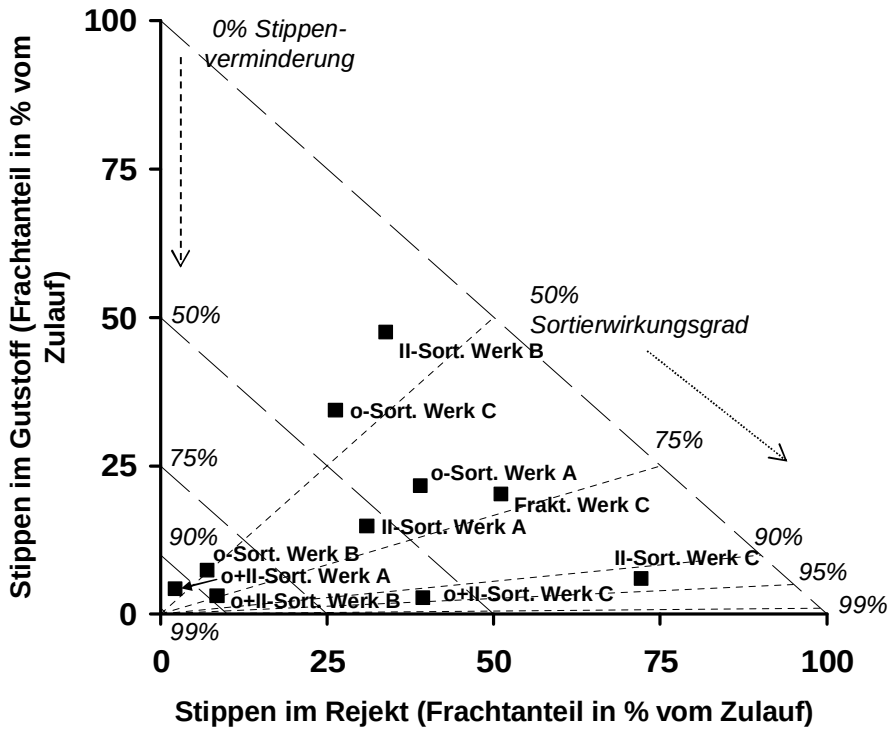

Abbildung 3.34 Bewertung Stippenverminderung der Sortierung in den untersuchten Werken.

3.3.4 Versuchsplan und Ergebnisse Laboruntersuchungen

Ziel dieser Untersuchungen war es, die Entwicklung des Stippengehaltes in Abhängigkeit vom Rohstoffeintrag, der Zerfaserungszeit und der Verweilzeit, d. h. als Funktion des Energieeintrages zu erfassen.

3.3.4.1 Begriffsdefinitionen

Verweilzeit:	Zeit, in der die Stoffsuspension ohne Energieeintrag verweilt.
Zerfaserungs-/Pulperzeit:	Zeit, die der Pulper in Betrieb ist.

3.3.4.2 Eingesetzte Laborgeräte

Der eingesetzte Escher-Wyss Pulper wurde im Niedrerkonsistenzbereich bei 4 % Stoffdichte betrieben. Die Stippengehaltsbestimmung erfolgte mit dem Brecht-Holl-Gerät und einer 0,7 mm Lochplatte nach Zellcheming Merkblatt V/18/62.

3.3.4.3 Versuchsplan

Probennahme
Repräsentative Altpapierproben stammten aus folgenden Firmen:

- Proben der Firma A (1.02)
- Proben der Firma B (Mischung aus 40 % 1.01, 30 % 1.04 und 30 % 4.01)
- Proben der Firma C (1.04)

Zusammensetzung des Probenmaterials
Das Altpapier wurde nach folgenden Sortengruppen manuell sortiert und die Fraktionsanteile gravimetrisch bestimmt. Die proportional aus den einzelnen Fraktionen ohne Verwendung der papierfremden Materialien wieder zusammengesetzte Menge wurde im Escher-Wyss-Pulper zerfasert. Folgende Sortengruppen wurden sortiert:

- Wellpappe
- Karton
- Sonstige braune Papiere
- Magazine
- Zeitungen
- Sonstige holzfreie Papiere (Kopierpapier)
- Sonstige gestrichene holzfreie Papiere
- Sonstige Papiere
- Papierfremde Materialien (wurde verworfen).

Die Zusammensetzung der einzelnen Altpapiersorten findet sich in Tabelle 3.17.

Tabelle 3.17 Gewichtsverteilung der einzelnen Altpapiersortengruppen

Probe		Well-pappe	Karton	Sonstige braune Papiere	Maga-zine	Zeitungen	Sonstige holzfreie Papiere	Sonstige holzfreie gestr. Papiere	Sonstige Papiere
A	%	23,0	17,3	0,8	26,2	11,0	3,0	5,0	13,6
B (4.01)	%	53,0		47,0					
B(1.02)		32,6	14,1		32,5	7,8	5,7	5,5	1,9
B (1.04)		41,4	9,3		41,8	0,9	5,6		1,0
C	%	76,1	10,3	3,5	10,0				

Für die einzelnen Versuche wurden jeweils 480 g otro Altpapier zusammengestellt; hierbei wurde auf eine gleichmäßige Auswahl des Materials geachtet. Die Zerfaserung des Materials erfolgte bei 50 °C und 4 % Stoffdichte. Die Temperatur blieb über die Zerfaserungszeit konstant. Die aufzuwendende Zerfaserungszeit wurde in Vorversuchen ermittelt.

Reihenfolge der Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden in folgender Reihenfolge durchgeführt, damit ein eventueller Einfluss der Verweilzeit ausgeschlossen werden konnte:

1. Die Suspension wurde im Pulper bei 4 % Stoffdichte für 10 bzw. 30 min aufgeschlagen, danach ohne Energieeintrag für verschiedene Zeiten ruhen gelassen. Nach jedem dieser Schritte wurde der Stippengehalt bestimmt. Hierbei werden auch Stippen mitbestimmt, die nur noch einen geringen Energieeintrag benötigen, um aufgeschlagen zu werden.

2. Um eine Messung von durch die Verweilzeit „aktivierten“ Stippen zu vermeiden, wurde der Stoff anschließend bei gleicher Stoffdichte noch im Standarddesintegrator bei 3000 min^{-1} für 2 min aufgeschlagen.

3. Da nicht auszuschließen ist, dass im Standarddesintegrator auch nicht aktivierte Stippen aufgeschlagen werden, wurde der Versuch zusätzlich bei Proben der Firma C mit Aufschlagen im Escher-Wyss-Pulper (2 Minuten) bei ansonsten gleichen Bedingungen durchgeführt.

4. Um den Einfluss der Pulperzeit zu untersuchen, wurde die Suspension im Escher-Wyss-Pulper ebenfalls bei 4 % Stoffdichte und 50 °C Wassertemperatur 60 min zerfasert, wobei alle 5 min Proben genommen und der Stippengehalt bestimmt wurde.

Schematisch ist die Versuchsdurchführung in den Abb. 1 und 2 wiedergegeben.

Alle Stippengehaltsuntersuchungen erfolgten am PMV in Darmstadt nach Zellcheming Merkblatt V/18/62 mit einer 0,7 mm Lochplatte. Es fand jeweils eine Doppelbestimmung statt.

3.3.4.4 Ergebnisse Stippengehalt

Zerfaserungszeit

Abbildung 3.35 zeigt exemplarisch die Entwicklung des Stippengehaltes von zwei unabhängig durchgeführten Zerfaserungsversuchen. Deutlich ist der exponentielle Abfall des Stippengehaltes in Abhängigkeit der Zerfaserungszeit zu beobachten.

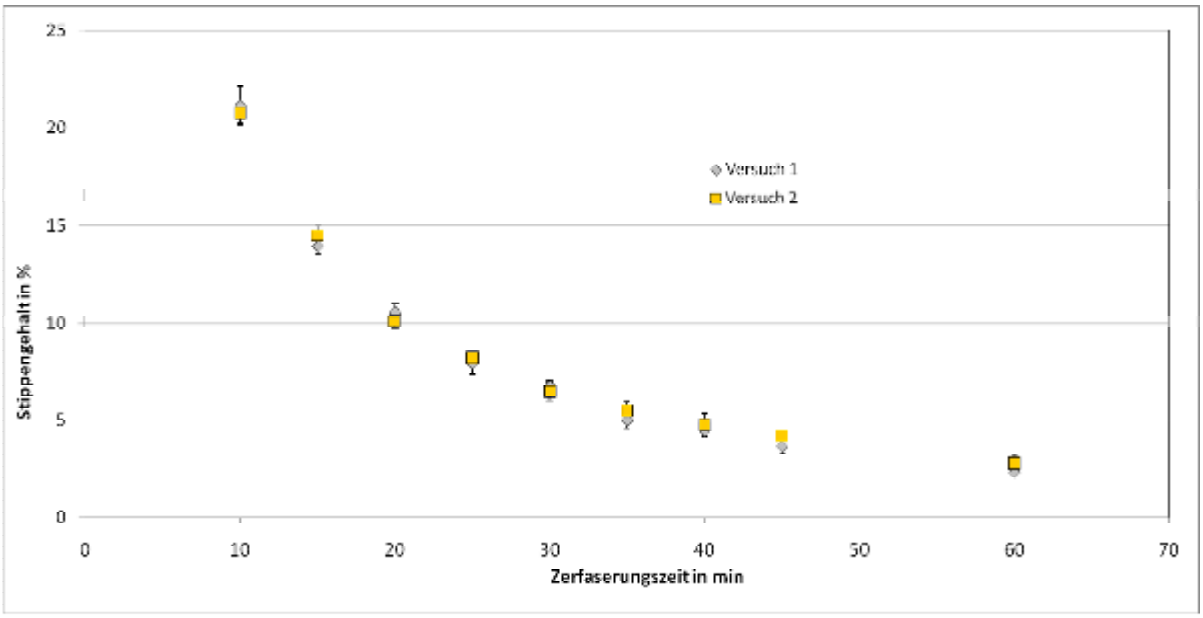

Abbildung 3.35 Abhängigkeit des Stippengehaltes von der Zerfaserungszeit, Firma A

Abbildung 3.36 zeigt den Verlauf des Stippengehaltes mit zunehmender Zerfaserungszeit für die Proben der drei untersuchten Firmen. Bei allen Proben ist – bei unterschiedlichem Anfangsstippengehalt – ein exponentieller Abfall zu beobachten.

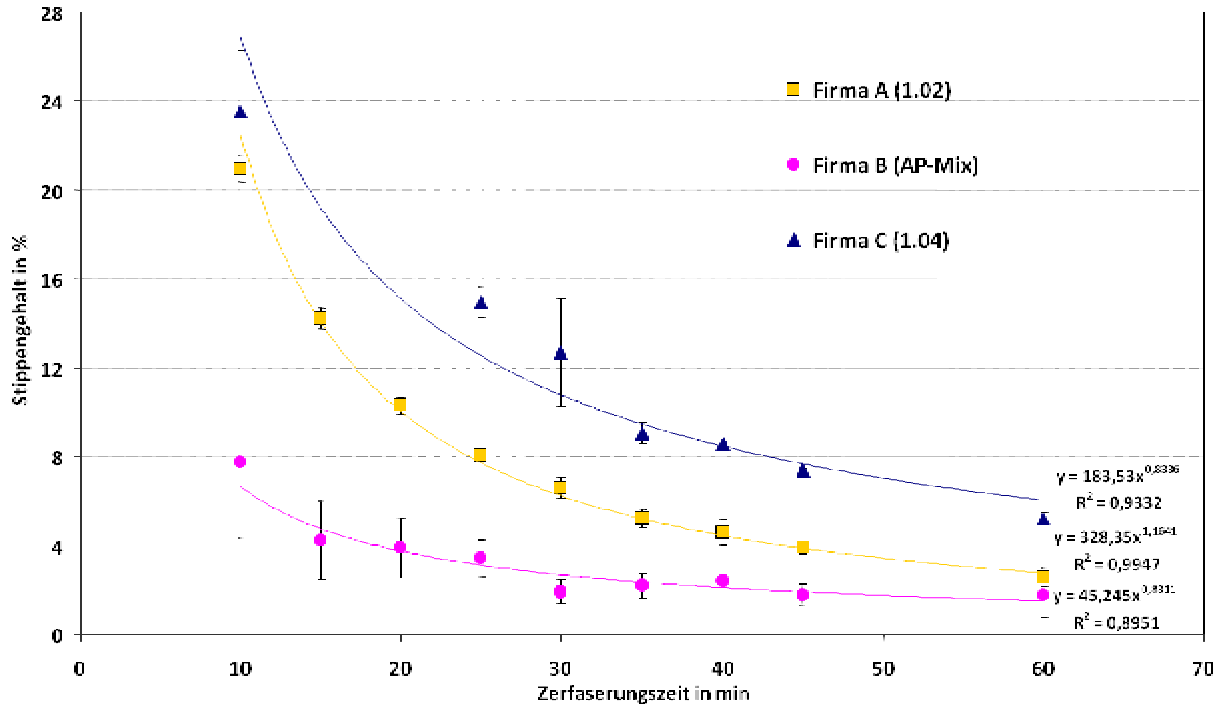

Abbildung 3.36 Vergleich Stippengehalt in Abhängigkeit der Zerfaserungszeit, Fa. A, B, C

Stippengehalt in Abhängigkeit der Verweilzeit

Abbildung 3.37 zeigt eine Übersicht über die Messungen der Altpapiere aller drei Firmen. Dabei ist ein einheitliches Bild zu erkennen: Im Rahmen der Messgenauigkeit bleibt der Stippengehalt nahezu konstant. Die Schwankungen sind mit denen der Messungen bei unterschiedlicher Zerfaserungszeit vergleichbar.

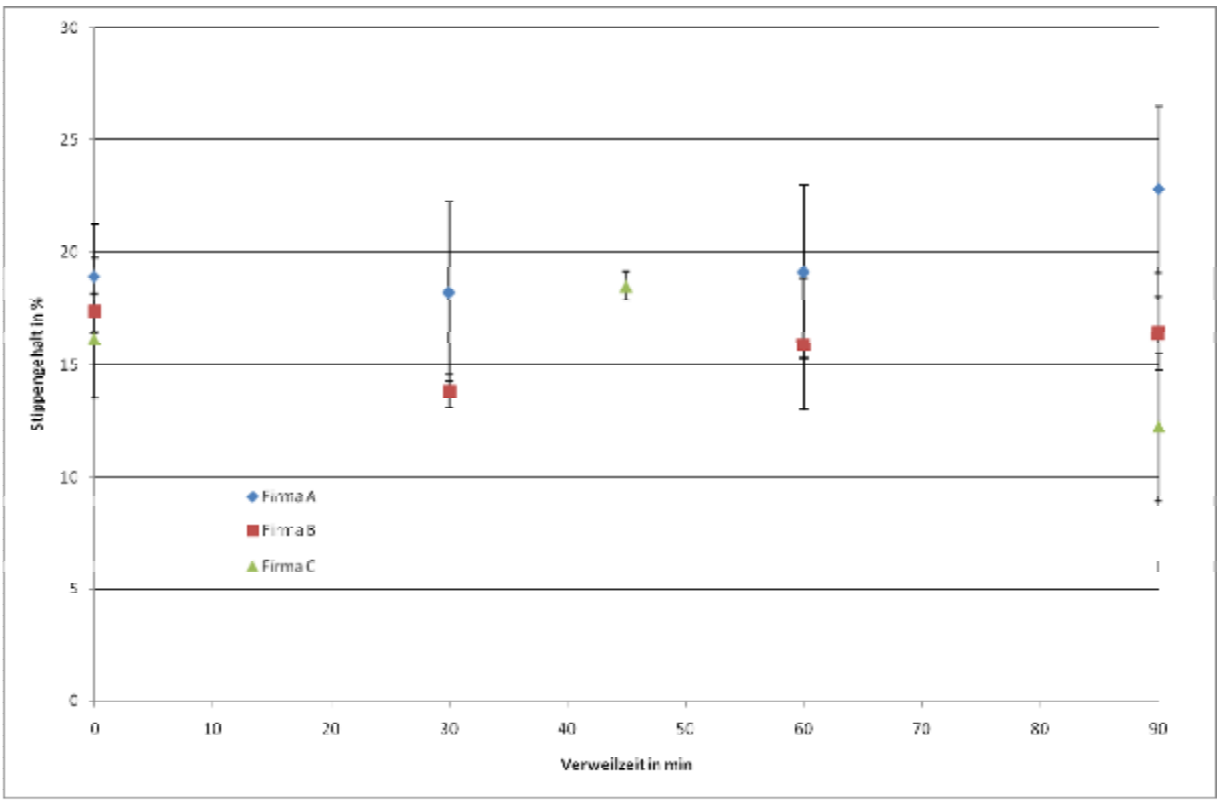

Abbildung 3.37 Abhängigkeit des Stippengehaltes von der Verweilzeit (alle Proben)

Mit dem Probenmaterial der Firma C wurde zusätzlich der Versuch mit Aufschlagen im Escher-Wyss-Pulper (ebenfalls 2 min) vorgenommen. Hierbei zeigt sich ein vergleichbarer Verlauf des Stippengehaltes.

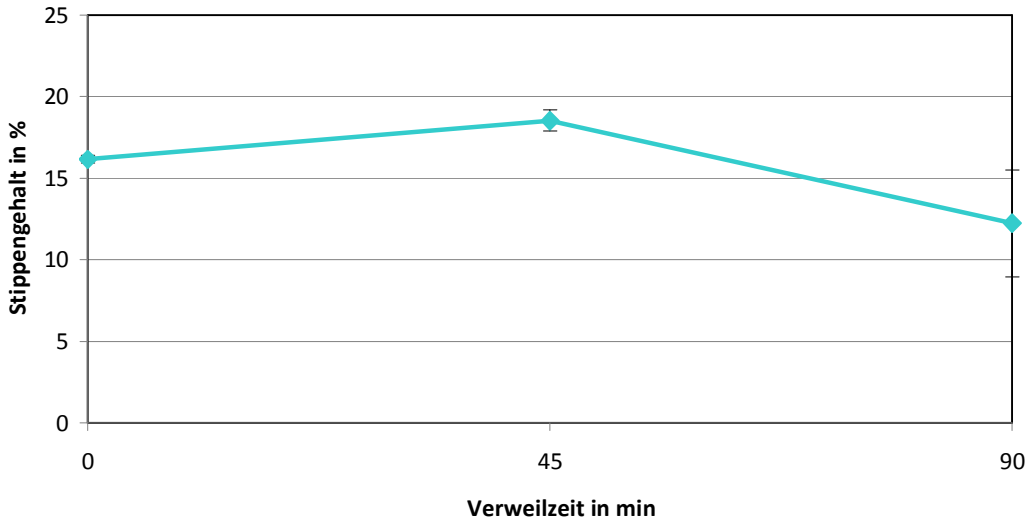

Abbildung 3.38 Abhängigkeit des Stippengehaltes von der Verweilzeit, aufgeschlagen im Pulper (Probe der Firma C)

3.3.5 Bewertung der Einflussfaktoren (Verweilzeit und Energieeintrag) auf die Entstippung

3.3.5.1 Abhängigkeit des Stippengehaltes von der Auflösezeit

Bei allen Proben der drei Firmen konnte ein stetiger, exponentieller Abfall des Stippengehaltes mit zunehmender Zerfaserungszeit beobachtet werden. Dies ist unabhängig vom initialen Stippengehalt, der je nach eingesetzter Altpapiersorte unterschiedlich ausfällt (Siehe Abbildung 3.36). Dies stimmt mit der allgemeinen Erwartung und mit älteren Messungen am PMV überein.

3.3.5.2 Abhängigkeit des Stippengehaltes von der Verweilzeit

Bei allen drei Proben konnte trotz zunehmender Verweilzeit keine Abnahme des Stippengehaltes festgestellt werden. Um Einflüsse durch den Standarddesintegrator auszuschließen, wurde eine Probe der Firma C analog dazu im Escher-Wyss-Pulper zerfasert. Auch hierbei ergab sich keine Stippengehaltsänderung mit der Verweilzeit.
Ob die Ergebnisse mit den bereits vor 15 Jahren beobachteten Ergebnissen einer Einzelmessung von Voith und Berichten aus den jeweiligen Firmen (Stippengehalt verringert sich mit zunehmender Verweilzeit) übereinstimmen, lässt sich nicht sicher feststellen. Um fundierte Aussagen in diese Richtung machen zu können, wäre ein Versuch im Technikumsmaßstab bzw. eine Untersuchung, in wieweit Laborversuche zur Stippengehaltsbestimmung mit solchen in der Industrie vergleichbar sind, sinnvoll.

3.4 Maßnahmen zur Erhöhung der Stoffdichte - Entwicklungstendenzen

3.4.1 Suspendierung

Nach aktuellen Erkenntnissen kann die Zerfaserung von Altpapier auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Zum einen durch hydromechanische Kräfte und zum anderen durch Wechselwirkungen zwischen den Fasern (Abbildung 3.39).
Die hydromechanischen Kräfte treten vor allem bei geringen Stoffdichten zwischen Pulperrotor und Grundplatte auf. Ursache für diese Kräfte sind die Vielzahl von Wirbeln und Druckvariationen zwischen Pulperrotor und Grundplatte. Weiterhin wird die Entstehung solcher Wirbel durch sich im Pulper bewegende nicht zerfaserte Papierbündel begünstigt.
Die Wechselwirkungen zwischen den Fasern treten vorwiegend bei höheren Stoffdichten auf. Ursache ist die Entstehung unterschiedlicher Strömungsprofile im Pulper in Abhängigkeit des Abstandes vom Pulperrotor bzw. von der Pulperwandung. Dadurch ergibt sich ein Geschwindigkeitsgradient über den Pulperradius. Dieser führt zu einer intensiven Scherbeanspruchung der Fasern.

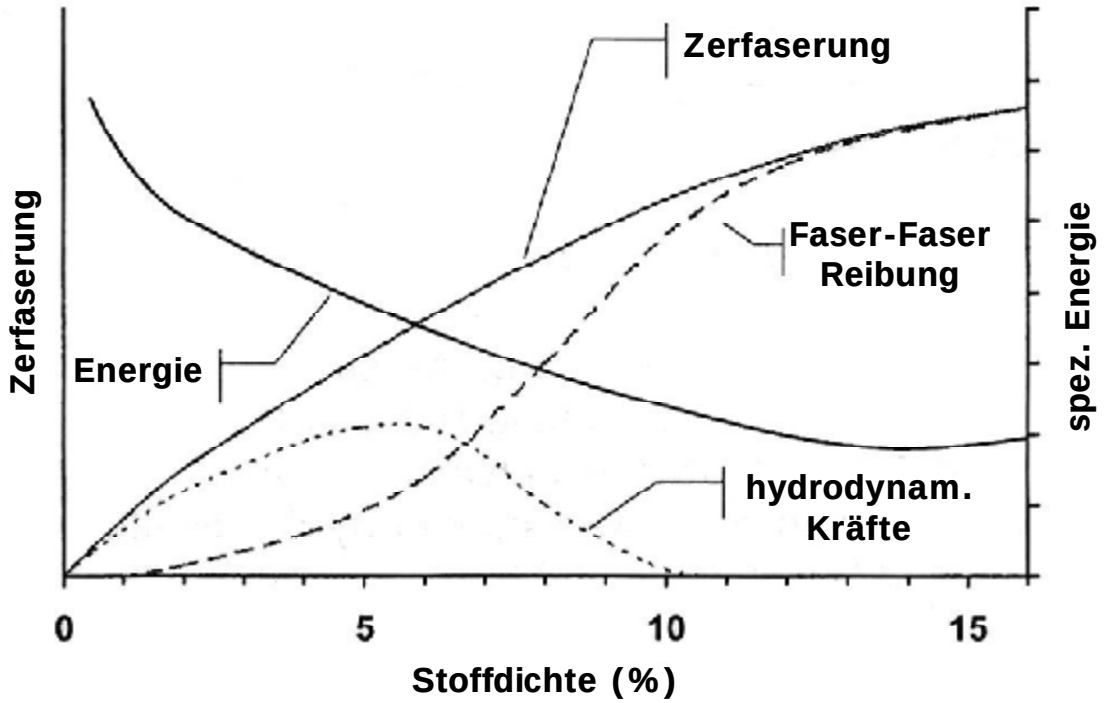

Abbildung 3.39 Zerfaserungsarten in Abhängigkeit von der Stoffdichte

Nicht zuletzt nach diesem Ansatz wird zwischen Hoch- und Niedrigkonsistenzzerfaserung unterschieden. Dabei werden aufgrund der unterschiedlichen Vorgänge verschiedene Optimierungsansätze verfolgt.
Mit der Ausrüstung für eine Niedrigkonsistenzzerfaserung (LC) sind Stoffdichten von bis zu 8% erreichbar. Dabei werden die folgenden Optimierungen genutzt (Abbildung 3.40):

- flache Rotorgeometrie (Vokes oder Vorto Rotoren), womit das Auftreten von Verwirbelungen und hydromechanischen Kräften begünstigt wird,
- D-Form des Pulpertroges für eine gleichmäßigere und schnellere Zerfaserung durch die verbesserte Rückführung des Stoffes in die Rotorzone,
- Veränderung der Lochgeometrie der Lochplatte (Maximizer) für eine zusätzliche Scherwirkung.

Dadurch ist es in mehreren Fällen gelungen, die Produktionsleistung um bis zu 30% zu steigern und dabei 20% weniger Energie einzusetzen.

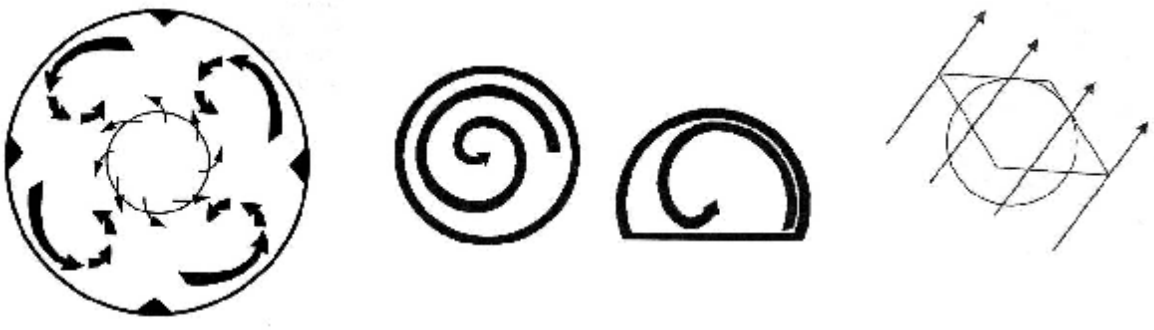

Abbildung 3.40 Verwirbelungen im Pulper, Strömungsprofil bei D-Form, Maximizer Lochgeometrie

Im Bereich der Hochkonsistenzzerfaserung wird das Ziel verfolgt, die Faser-Faser-Reibung zu intensivieren. Dazu werden bereits seit langem schraubenförmige Rotoren (Helico) eingesetzt (Abbildung 3.41). Damit ist es möglich, die Zerfaserung im Pulper in Stoffdichtebereichen von bis zu 18% durchzuführen.

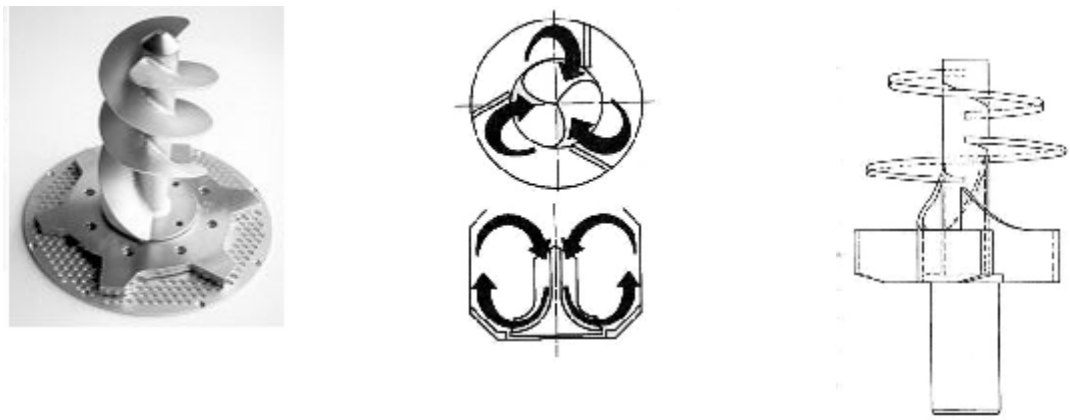

Abbildung 3.41 Spindelförmiger Rotor, Strömung im HC-Pulper, verbesserte Rotorgeometrie (Kandant Lamort)

Die Optimierungen im Bereich der Hochkonsistenzzerfaserung konzentrieren sich sehr stark auf die Veränderung der Rotorgeometrie, um die Stoffbewegung/-zirkulation im Pulper (Abbildung 3.41) zu beeinflussen und somit die Zerfaserungsleistung des Pulpers zu steigern bzw. den Energiebedarf zu senken. Ein Beispiel der Fa. Kandant Lamort ist in Abbildung 3.41 zu sehen. Mit dieser Geometrie ist es möglich, die Zerfaserungskapazität gegenüber herkömmlichen Systemen um 22% zu steigern und den Energiebedarf um 20-30% zu senken. Die Zerfaserung ist dabei bei Stoffdichten von bis zu 22 % möglich.

3.4.2 Sortierung

Bei dem in der Papiertechnik als Sortieren bekannten Verfahrensschritt handelt es sich im eigentlichen Sinne um eine Klassierung, d.h. das Trennen eines dispersen Stoffsystems nach dem Merkmal Teilchen-(Korn-)größe. Das Ziel dieses Prozesses ist die Aufteilung disperser Stoffsysteme in zwei oder mehrere Fraktionen unterschiedlicher Teilchengröße.
In der Papierindustrie wird zwischen offenen, drucklos arbeitenden und geschlossenen, unter Druck arbeitenden Sortierern unterschieden. Bei offenen Maschinen wirken nur die Schwerkraft bzw. Zentrifugalkräfte auf die Faserstoffsuspension, während bei geschlossenen Maschinen zusätzlich Druck aufgewendet wird.
Heute werden hauptsächlich Drucksortierer für die verschiedenen Sortieraufgaben eingesetzt. Drucklos arbeitende Aggregate, wie z.B. Plansortierer (Plansichter, Wuchtschüttler, Vibrationssortierer, Flachsortierer) oder Schleudersortierer finden sich nur

noch in älteren Fabriken oder in speziellen Positionen (z.B. Plansortierer bei der Holzschliffsortierung).
Prinzipiell lassen sich druckbeaufschlagte Sortiermaschinen anhand der Siebform in zwei Gruppen unterteilen:

- scheibenförmiges Sieb – Scheibensortiermaschinen (z.B. Sekundärpulper)
- zylinderförmiges Sieb (Siebkorb) – Zylindermaschinen (Vertikalsichter)

Scheibensortierer finden dort Anwendung, wo zusätzlich entstippende Aufgaben zu bewältigen sind (z.B. Sekundärpulper). Die heute überwiegend anzutreffende Bauart von Drucksortieren sind die Zylindermaschinen, bei denen ein senkrecht stehender, perforierter Zylinder (Siebkorb) das Trennelement bildet.
Hinsichtlich der Siebdurchströmung bzw. der Anordnung des Rotors existieren bei Drucksortierern unterschiedliche Konfigurationen. Der Durchfluss der Suspension durch den Siebkorb kann entweder von innen nach außen (zentrifugal) oder umgekehrt (zentripetal) erfolgen. Bei zentripetaler Strömung kann sich der Rotor sowohl im sortierten als auch im unsortierten Stoff befinden [14], [15].
Eine Erhöhung der Stoffdichte führt bei den Drucksortierern zwangsläufig zur Steigerung des spezifischen Energieverbrauchs, da sich aufgrund der höheren Konsistenz schneller eine Fasermatte am Siebkorb bildet und zum Zerreißen dieser Matte vom Rotor mehr Energie aufgebracht werden muss (Abbildung 3.42). Dabei ist die Mehrenergie zum Zerreißen der Fasermatte um ein Vielfaches größer, als die eingesparte Pumpenenergie durch die Erhöhung der Stoffdichte. Zusätzlich verschlechtert sich die Abtrennung bei steigender Stoffdichte. Es ist so keine klare Unterscheidung zwischen Reject und Accept mehr möglich. Eine Sortierung ist bei einer Arbeitsstoffdichte von 1 % am effektivsten. Reject und Accept werden bei dieser Stoffdichte am besten abgetrennt.

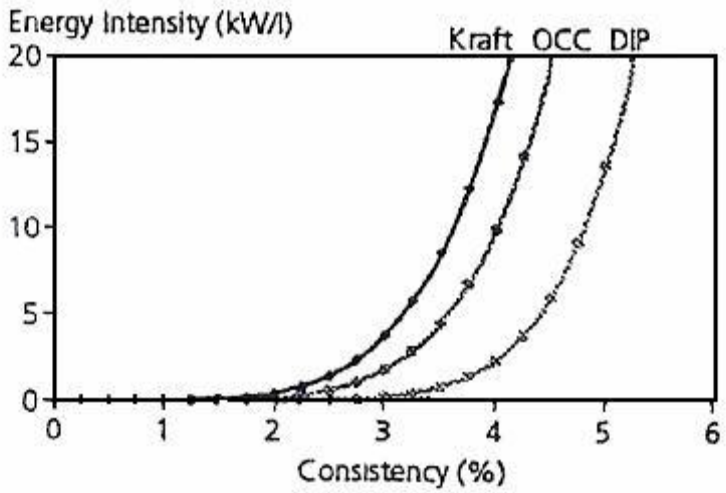

Abbildung 3.42 Energieverlauf der Sortierung in Abhängigkeit der Stoffdichte [16]

Die Optimierungen im Bereich der Drucksortierer konzentrieren sich auf die Siebkörbe und die Rotoren. Es hat sich gezeigt, dass die Verwendung von Stabsiebkörben und Multi-Foil-Rotoren anstelle von geschlossenen Rotoren eine Reduzierung der Rotorumfangsgeschwindigkeit bei vergleichbarem Sortierergebnis zulässt. Damit lassen sich in Einzelfällen bis zu 40% Energie einsparen [17], [18]. Allerdings arbeiten offene Rotoren am besten bei geringen Stoffdichten (0,5 - 2%), geschlossene Rotoren hingegen können auch bei höheren Stoffdichten (2 - 4%) eingesetzt werden.
Es ist bekannt, dass die wichtigsten Einflussgrößen auf die Sortiereffizienz die Form der Rotorelemente sowie die Betriebsparameter Umlaufgeschwindigkeit des Rotors und der Siebkorb-/Rotorelementabstand sind [19]. Durch optimierte Siebkorb- und Rotorgeometrien

und gezielte Kombination beider können ein gezielter Sortiereffekt und eine Energiereduzierung erreicht werden. Derzeit werden offene Rotoren und profilierte Stabsiebkörbe als Optimum angesehen, allerdings hängt die Auswahl der einzelnen Elemente sehr stark vom Prozessziel bzw. dem Einsatzfall ab. Wird z.B. eine effektive Sticky-Abtrennung angestrebt, so ist ein schonender Sortiervorgang zu bevorzugen, d.h. feine Schlitze, niedrige Rotordrehzahl und niedrige Siebdurchtrittsgeschwindigkeit, gleichmäßige Siebdurchströmung (turbulenzarm) sowie niedrige Stoffdichte.

3.4.3 Stoffreinigung

Beim Reinigen im Zentrifugalfeld werden Fremdstoffe, deren Sink- bzw. Auftriebsverhalten sich von dem der Fasern unterscheidet, aus der Faserstoffsuspension abgetrennt. Das Auftriebs- und Sinkverhalten papierfremder Stoffe werden vor allem von der Dichte, aber auch von der Form und Größe dieser Teilchen bestimmt. Die Reinigung erfolgt im Zentrifugalfeld mit Hydrozyklonen. In der Papierindustrie werden Hydrozyklone auch als Reiniger oder Cleaner (bei Einsatz im Niedrigstoffdichtebereich) bezeichnet.
Die Reinigung mittels Hydrozyklonen erfolgt im Mittel- (2 - 4 %) und Niederkonsistenzbereich I (< 1 %) und II (1 - 2 %). Die besten Abscheidewirkungsgrade sind im Niederkonsistenzbereich vorhanden. In speziellen Fällen wie der Vorreinigung bei der Altpapieraufbereitung erfolgt jedoch auch die Reinigung bei höherer Stoffdichte. Grund dafür ist, dass nachfolgende Maschinen und Apparate, die aus technologischen oder wirtschaftlichen Gründen bei 2 - 4 % Stoffdichte betrieben werden müssen, durch die Abscheidung von groben, abrasiven Schwerteilen vor Verschleiß geschützt werden müssen (z.B. Refiner, Sortierer, Pumpen).
Die im Mittelkonsistenzbereich arbeitenden Hydrozyklone werden als Dickstoffreiniger oder Dickstoffschleudern bezeichnet. Der Unterschied liegt im Prinzip der Erzeugung bzw. der Erhaltung der Rotationsströmung im Abscheideraum. Bei einfacheren Typen wird die erforderliche Rotationsenergie einzig durch die zufuhrseitig installierte Pumpe in Form von Druck und Geschwindigkeit auf den Stoffstrom gegeben (für suspendierte Faserstoffe, die ein ausreichendes Fließverhalten besitzen, wie z.B. AP-Stoff aus Zeitungen, Illustrierte). Für Faserstoffe mit sehr schlechtem, Fließverhalten (hoher Strömungswiderstand) ist zusätzliche Rotationsenergie (zur Einlaufpumpe) erforderlich, um die Suspension zu beschleunigen. Diese wird durch einen im Dickstoffreiniger befindlichen Rotor eingebracht [20].
Die wesentlichen Einflussgrößen auf den Abscheidewirkungsgrad (Differenz zwischen der Störstoffkonzentration von Einlauf und Gutstoff bezogen auf die Einlaufkonzentration) sind der Druckverlust zwischen Einlauf und Gutstoff sowie die Faserstoffdichte (Abbildung 3.43).

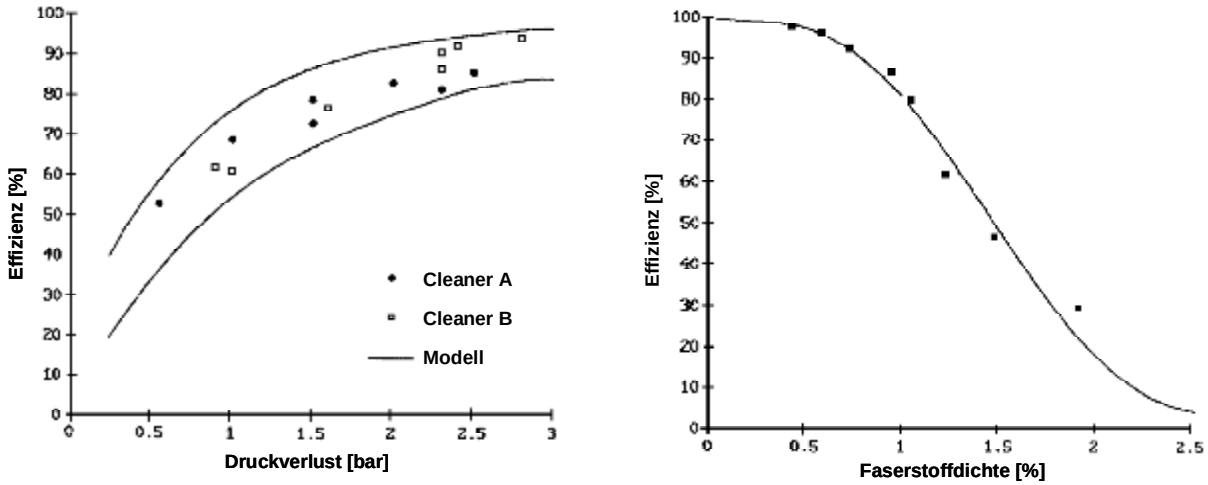

Abbildung 3.43 Abhängigkeit des Abscheidewirkungsgrades von der Druckdifferenz und der Faserstoffdichte [16], [21]

Wie zu erkennen ist, nimmt der Abscheidewirkungsgrad mit steigender Stoffdichte sehr stark ab. Der Grund dafür ist, dass mit steigender Faserstoffdichte das Fasernetzwerk in der Suspension immer engmaschiger wird. Damit wird es für das abzuscheidende Partikel immer schwieriger durch dieses Netzwerk hindurchzuschlüpfen; die Zentrifugalkraft, welche auf das Partikel wirkt, reicht nicht mehr aus, um die Fasern zu verdrängen. Es ist damit keine klare Trennung zwischen Reject und Accept mehr möglich.
Einen Lösungsansatz für dieses Problem bietet die Verdünnung des Stoffes im unteren Teil des Hydrozyklons (EcoMizer-Technologie bei Voith Paper) durch Einbringen eines Verdünnungswasserstromes. Damit kann die Trennung von Reject und Accept trotz höherer Stoffdichte im eigentlichen Hydrozyklon stark verbessert werden (Abbildung 3.44).

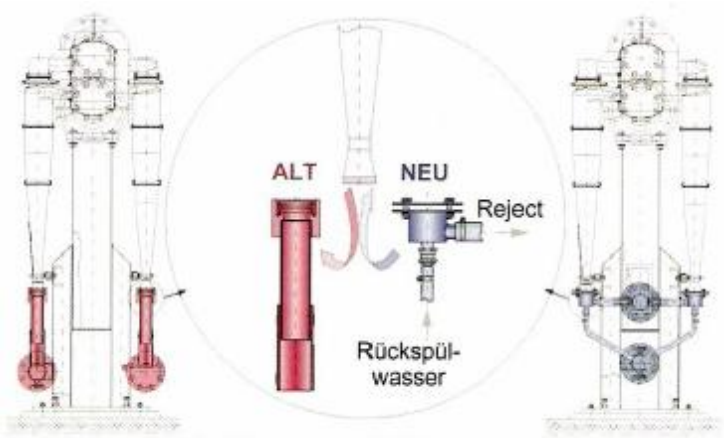

Abbildung 3.44 Vergleich herkömmlicher Hydrozyklon und EcoMizer-Technologie [22]

3.5 Konzeptentwicklung

3.5.1 Basis der Konzeptentwicklung

Primärer Fokus der Konzeptentwicklung ist die Reduzierung der Volumina. Für die Erhöhung der Stoffdichten werden mögliche Optionen nach dem Stand der Technik im Rahmen dieser Konzeptentwicklung berücksichtigt. Darüber hinaus konnten jedoch im Rahmen dieses Projektes keine neuen Konzepte abgeleitet werden, die sich auf eine ausschließliche Erhöhung der Stoffdichten stützen.

Ausgangspunkt der Konzeptentwicklung ist der derzeitige Stand der untersuchten Anlagen. In Abbildung 3.45 ist dieser in eine stark vereinfachten Darstellung wiedergegeben.

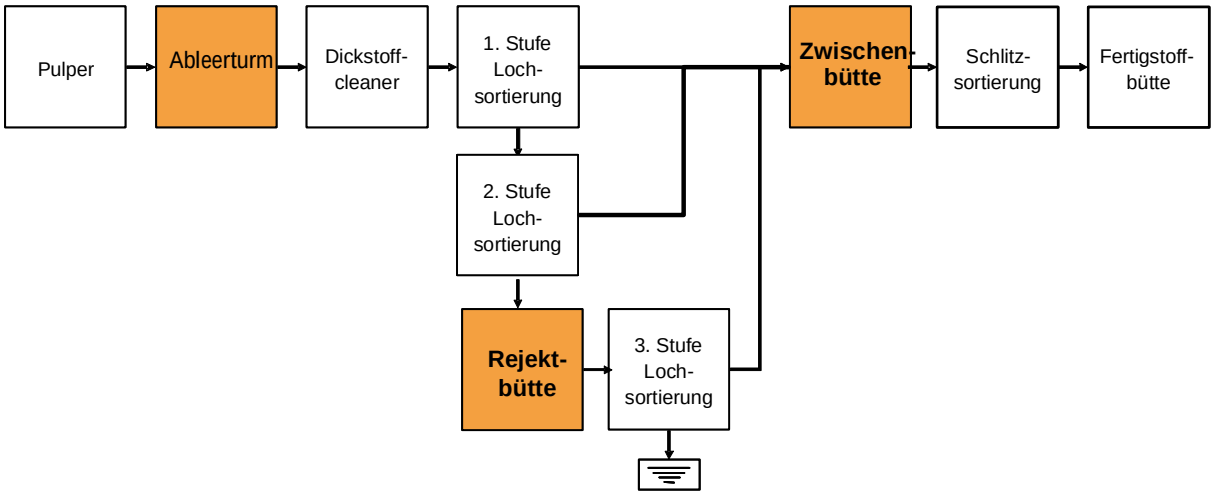

Abbildung 3.45 Typischer Aufbau der untersuchten Stoffaufbereitungsanlagen für Verpackungspapiere (wichtige Volumina markiert)

Typische Größen der untersuchten Ableerbütten sind 0,4-1,3 m³/t/d mit einer Verweilzeit von ca. 25 -75 min. Die Zwischenbütten liegen bei in etwa 0,1-0,4 m³/t/d. Die Bütten in der Sortierung schlagen nur mit in etwa 0,05 m³/t/d zu Buche.

3.5.2 Umsetzung des Standes der Technik

In den vergangenen Jahren sind eine Reihe von Entwicklungen in der Prozesstechnologie erfolgt, die heute auf der Basis des Standes der Technik eine deutlich vom Aufbau der untersuchten Anlagen abweichende Konfiguration ermöglichen [23]. Wesentlicher Vorteil der aktuellen Schaltungsvarianten ist eine Minimierung des Volumens des Ableerturms und des Behältervolumens zwischen den Stufen der Sortierung. Auf die Zwischenbütte kann vollständig verzichtet werden. Zusätzlich zur Schlitzsortierung wird eine Cleanerung des Stoffs empfohlen. Je nach Anwendung unterscheiden sich die Schaltungen nach der Lochsortierung deutlich voneinander:

- Fluting: Aufbau analog zu Abbildung 3.46. Keine zusätzliche Cleanerung an der Papiermaschine. Die Schlitzsortierung an der Papiermaschine ist lediglich als Polizeifilter mit 0,3 - 0,35 mm Schlitzweite ausgestattet.
- Testliner: Nutzung einer Fraktionierung nach der Lochsortierung zur Gewinnung einer Kurz- und einer Langfaser. Cleanerung beider Fraktionen. Schlitzsortierung der Langfaserfraktion und anschließend Übergabe beider Fraktionen an die Papiermaschine. Der Aufbau ist hinsichtlich der Stofftechnik dann analog zur Fluting-Anlage.

Aufwendigere Anlagen sind denkbar und werden in der Praxis auch realisiert, sollen hier aber als fallspezifische Lösungen nicht weiter diskutiert werden.

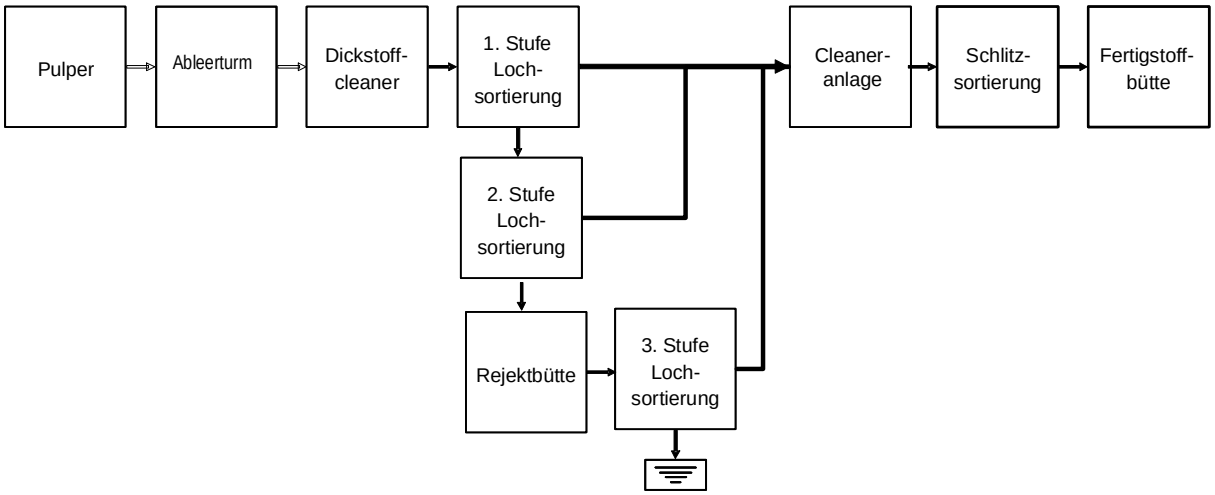

Abbildung 3.46 Heutiger Stand der Technik der Stoffaufbereitung für Verpackungspapiere (Fluting): Beispiel Prozessschema [23]

Durch eine Umsetzung des Aufbaus der Stoffaufbereitung nach dem Stand der Technik können Stoffbüttenvolumina von in etwa 0,13-0,73 m³/t/d bei einer Reduzierung der mittleren Verweilzeit auf 40 min eingespart werden. Zwischenbütten können ganz entfallen und die Rejektbütte vor der dritten Stufe kann mit einer minimalen Verweilzeit von 3-5 min betrieben werden. Eine Erhöhung des Volumens der Ableerbütten, um eine Verweilzeit von 40 min zu erreichen, ist hierbei berücksichtigt. [23]

Tabelle 3.18 Auswirkungen einer Auslegung der Stoffaufbereitung nach dem Stand der Technik

Maßnahme	Volumen vorher m³/t/d*	Volumen nachher m³/t/d*	Ersparnis m³/t/d*
Optimale Auslegung des Ableerturms	0,42-1,3	0,69	(-0,27)-0,61
Verzicht auf die Zwischenbütte	0,13-0,42	0	0,13-0,42
Optimierung der Rejektbütte (Größe, Position)	0,05	0,01	0,04
Einsparung im Stoffsystem			0,17-0,77
Anpassung der Wasserbütten (Ableerturm; Zwischenbütte)			013,-0,73
Gesamteinsparung ggü. „Ist-Zustand“			0,3-1,5

* 1m³/t/d entspricht bei 1000t/d einem Volumen von 1000m³

Die Reduzierung der Volumina um 0,17 bis 0,77 m³/t/d entspricht bei einer angenommenen mittleren Stoffdichte in der Stoffaufbereitung von 4% einer Reduzierung der mittleren Verweilzeit von mindestens 10 bis maximal 45 min. Insgesamt ergibt sich eine Reduzierung des Volumens des Stoff-Wassersystems von 0,3-1,5 m³/t/d. Bei einer spez. Abwassermenge von 4m³/t ergibt sich damit eine Reduzierung der Verweilzeit des Wassers im Wasserkreislauf von 1,8h - 9h.

Es ist eine Anpassung der Sortierung erforderlich, die in neuen Systemen möglichst einfach gestaltet wird (Abbildung 3.47).

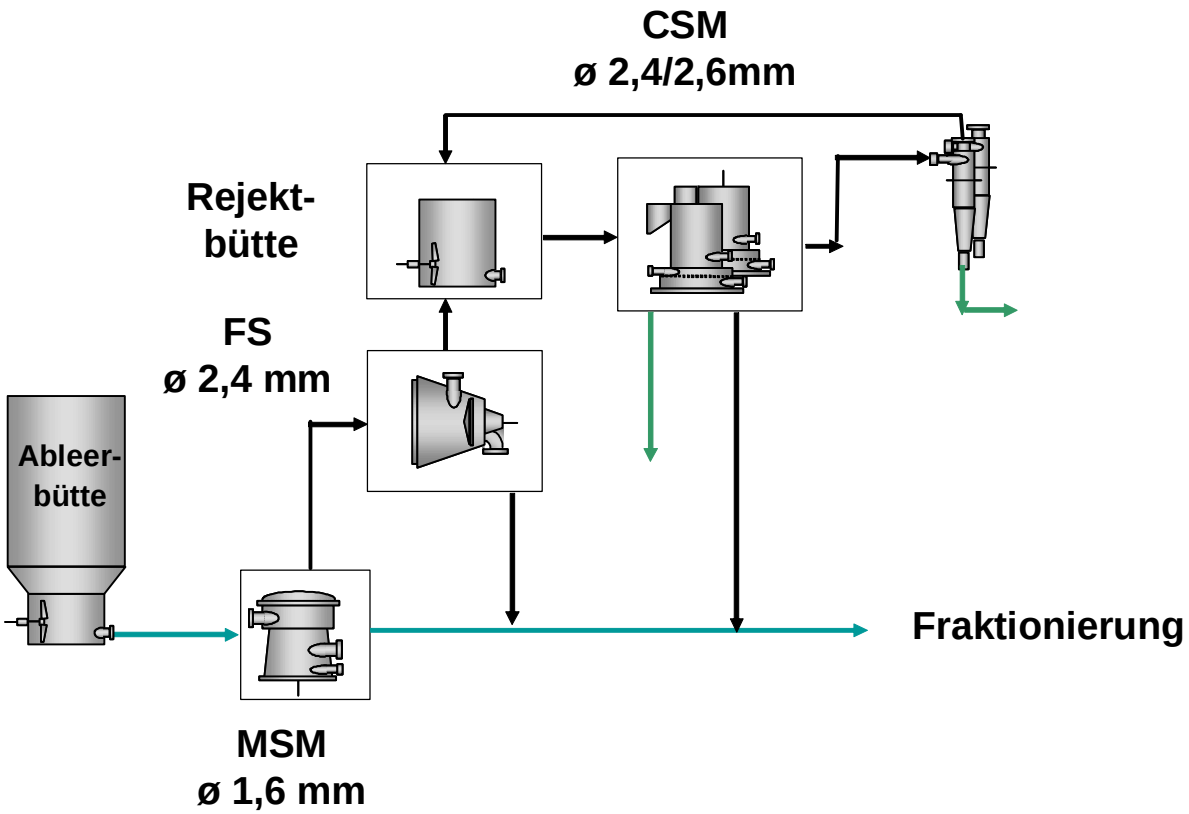

Abbildung 3.47 Anpassung der Sortierung nach dem Stand der Technik [23]

3.5.3 Weitere Reduzierung der Verweilzeit über den Stand der Technik hinaus

3.5.3.1 Prämissen der Konzeptentwicklung

Im Rahmen des Projektes wurden Optionen für eine weitere Reduzierung der Verweilzeit durch Reduzierung des Volumens erarbeitet und hinsichtlich ihres Potenzials zur Energieeinsparung bewertet. Die Auflöseleistung des Pulpersystems und der Sortierverlust sollen nicht negativ beeinflusst werden. Gleichzeitig sollen die Fertigstoffreinheit und Fertigstoffgleichmäßigkeit gewährleistet sein. Wichtigster Schlüssel hierfür ist die Beherrschung des Stippengehaltes des Stoffes.

Leitgedanke der Prozessentwicklung ist das „Prinzip der Delegation der Stippenverminderung aus dem Hauptstrom in den Nebenstrom“.

Die Umsetzung dieses Leitgedankens birgt eine Vielzahl von Chancen zur Prozessverbesserung und verspricht Nutzen hinsichtlich der primären Projektziele (Energie, Volumen, Stoffdichte; Tabelle 3.19).

Tabelle 3.19 Nutzen einer Umsetzung des Leitgedankens „Delegation in den Nebenstrom“ in Hinblick auf die Projektziele

Chance/Option	Verweilzeit /Volumina werden verringert?	Stoffdichte wird erhöht?	Energie-einsparung zu erwarten?
Quellung im Teilstrom statt im Hauptstrom ermöglicht geringere Volumina bei gleichen Verweilzeiten; die Ableerbütte nach dem Pulper kann entfallen.	ja		
Stabilisierung des Hauptstoffstroms durch „offenere“ Fahrweise der Sortieraggregate.		(ja)	
Bessere, gezielte Applikation von Hilfsmitteln im Teilstrom zur Verbesserung der Auflöseleistung (z.B. Enzyme tetc.).			ja
Behandlung einer geringeren Stoffmenge (Maschinengröße, Energiebedarf).			ja
Aggregat/Verfahren im Nebenstrom kann speziell auf die Behandlung von Stippen angepasst werden.			ja
Aggregat zur Behandlung des Nebenstroms kann bedarfsgerecht nach Bedarf zu- und abgeschaltet werden			ja

Neben den Chancen einer solchen Maßnahme sind mit einer Umsetzung des Leitgedankens „Delegation in den Nebenstrom“ auch Risiken verbunden. Wesentlicher Kumulationspunkt für die Formulierung von Risiken (Tabelle 3.20) ist der Wegfall der Ableerbütte.

Tabelle 3.20 Bewertung der Risiken eines Wegfalls der Ableerbütte als Konsequenz der Umsetzung des Leitgedankens „Delegation in den Nebenstrom“

Risiko	**Bewertung**
Die fehlende Quellung führt zu einem deutlich höheren Stippengehalt im Zulauf der Lochsortierung, Funktionsstörungen dort sind die Folge.	Die Funktion der Ableerbütte zur Stippenverminderung wird kontrovers bewertet: ⇒ Geht man von der Wirksamkeit der Quellung aus und soll diese im Nebenstrom erfolgen, muss die Sortierung in den ersten Stufen auf die höhere Stippenfracht angepasst werden (s. auch Konzeptentwicklung Option 1b). ⇒ Ist die Ableerbütte für eine Auflösung der Stippen nicht relevant, sind Funktionsstörungen nur infolge sehr ungleichmäßiger Einträge mit zeitweise sehr hohen Beladungen an Verunreinigungen zu erwarten. Die Optionen 2b berücksichtigt dies.
Die Reduzierung der Verweilzeit hat einen negativen Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften des Papiers, da eine unzureichende Quellung der Einzelfaser erfolgt.	⇒ Der Verlauf der Festigkeitseigenschaften des Faserstoffs in der Stoffaufbereitung von Verpackungspapierfabriken hängt primär von der Elimination der Kerbwirkung von Verunreinigungen und Stippen ab. [24]
Da die Sicherheitsfunktion (Puffer) der Bütte entfällt muss die Papiermaschine häufiger abgestellt werden.	⇒ Durch eine “offenere” Fahrweise der Aggregate werden weniger Störungen im Betrieb der Stoffaufbereitung auftreten. ⇒ Die Fertigstoffbütte ist als Puffer nutzbar und ausreichend.
Eine Vergleichmäßigung des Faserstoffes erfolgt nicht mehr.	⇒ Die Vergleichmäßigung erfolgt zu einem großen Teil im Pulper. ⇒ Die Funktion der Vergleichmäßigung ist durch die Ableerbütte nur sehr eingeschränkt erfüllbar. Durch die geringe Rührwirkung nur im unteren Teil wird der Stoff in den oberen Bereichen fast nicht durchmischt. ⇒ Befindet sich am Ende der Stoffaufbereitung ein echter Stapelturm, trägt auch dieser nicht wesentlich zu einer Vergleichmäßigung bei. Auch hier wird nur der unterste Teil des Turmes gemischt.

Auf der Basis dieser Vorüberlegungen wurde eine Reihe von Varianten entwickelt (Abbildung 3.48). Grundsätzlich ist zu unterscheiden, ob trotz gegenteiliger Ergebnisse des

Forschungsvorhabens weiterhin von einer relevanten Wirksamkeit der Verweilzeit des Stoffs in der (Ableer-)Bütte zur Stippenverminderung ausgegangen wird (Szenariengruppe 1) oder ob, in Umsetzung der Ergebnisse der Untersuchungen, davon ausgegangen wird, dass die Verweilzeit keine Rolle spielt (Szenariengruppe 2). Diese Varianten werden im Folgenden detailliert beschrieben und Vorschläge für die technische Umsetzung mit existierenden Apparaten dargestellt.

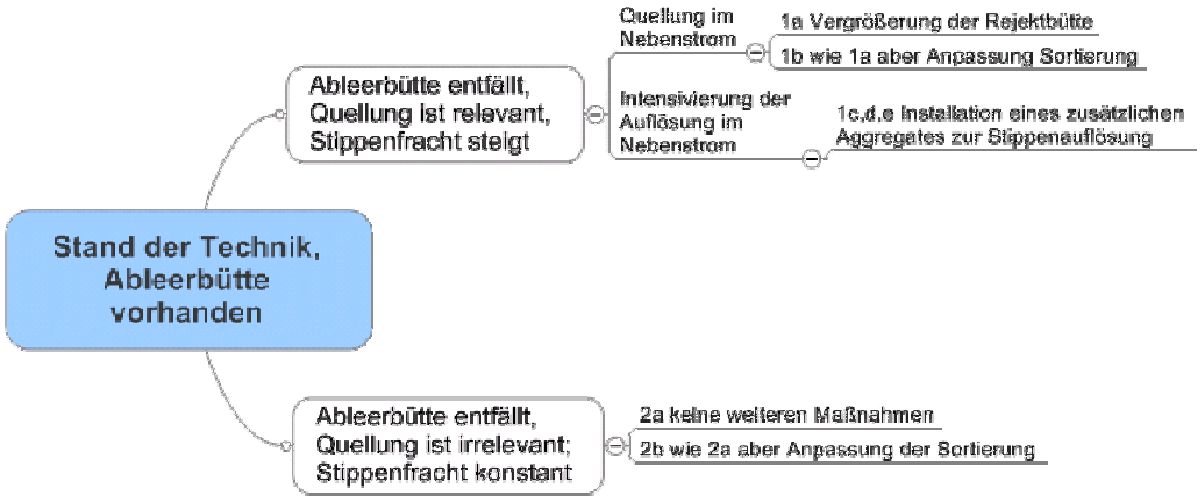

Abbildung 3.48 Variantenbaum Konzeptentwicklung

3.5.3.2 Option 1a: Verlagerung der Quellung in den Nebenstrom (Rejektbütte)

Die Sortierung leistet eine gute Auflösung und Abtrennung der Stippen; diese liegen im Rejekt aufkonzentriert vor. Die Stippenbehandlung kann vom Hauptstoffstrom in den Nebenstoffstrom verlagert werden; dort kann eine gezielte und damit effizientere Behandlung erfolgen. Die Verweilzeit kann gezielt für eine Fraktion genutzt werden in der die Stippen aufkonzentriert sind.

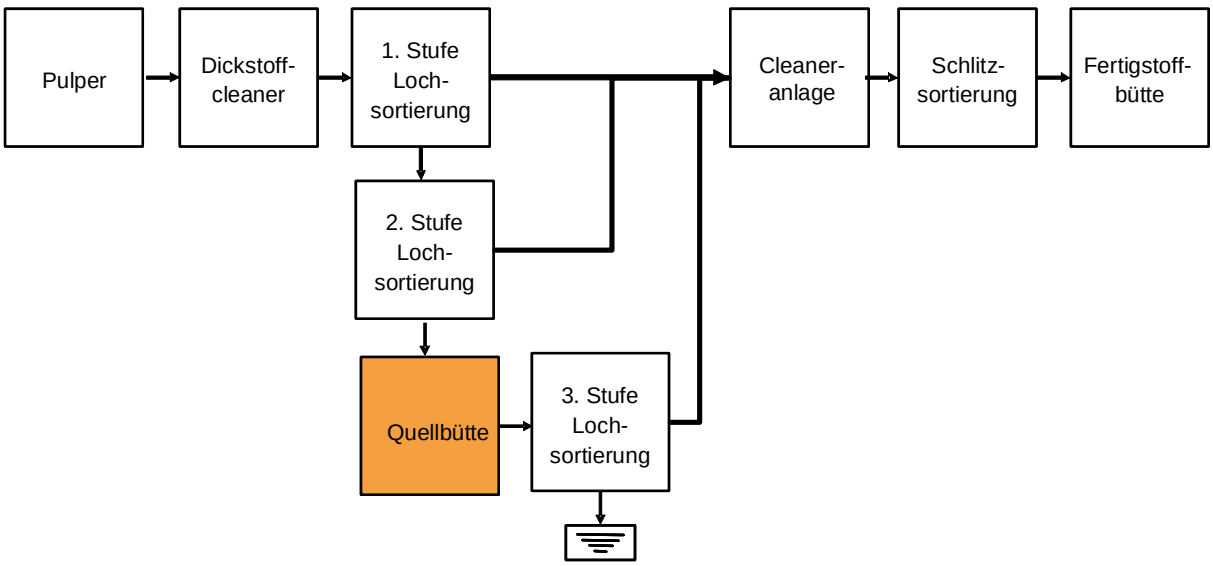

Tabelle 3.21 Option 1: Konzept mit Verlegung der Quellung; Basis ist der Stand der Technik [23]

Maßnahme	Volumen vorher m³/t/d*	Volumen nachher m³/t/d*	Ersparnis m³/t/d*
Verzicht auf den Ableerturm.	0,69	0	0,69
Auslegung der Rejektbütte als Quellbütte mit 40 min Verweilzeit.	0,01	0,14	-0,13
Einsparung im Stoffsystem.			0,56
Anpassung der Wasserbütten (Ableerturm, Rejektbütte).			0,56
Gesamteinsparung ggü. Stand der Technik.			1,12

* 1m³/t/d entspricht bei 1000t/d einem Volumen von 1000m³

Die Reduzierung der Volumina um 0,56 m³/t/d entspricht bei einer angenommenen mittleren Stoffdichte in der Stoffaufbereitung von 4% einer Reduzierung der mittleren Verweilzeit von ca. 30 min. Insgesamt ergibt sich eine Reduzierung des Volumens des Stoff-Wassersystems von 1,1 m³/t/d. Bei einer spez. Abwassermenge von 4m³/t ergibt sich damit eine Reduzierung der Verweilzeit des Wassers im Wasserkreislauf von 6h.
Eine zusätzliche Chance ergibt sich für Option 1a: Stippen können durch eine gezielte Dosierung von Additiven oder Enzymen u. U. noch besser auflösbar gemacht werden. Es ist zu erwarten, dass der Einsatz dieser Additive wirtschaftlicher als bei einer Dosierung in den Hauptstrom erfolgen kann

3.5.3.3 Option 1b: Verlagerung der Quellung und Anpassung der Sortierung

Durch eine Verlagerung der Quellung in den Nebenstrom und den Entfall der Ableerbütte ist mit einer drastischen Erhöhung des Stippengehaltes im Zulauf zu den ersten beide Stufen der Lochsortierung zu rechnen. Dem sollte die Auslegung der Anlage durch robustere Ausführung der Sortierung gegenüber dem Stand der Technik Rechnung tragen (Abbildung 3.49). [23]

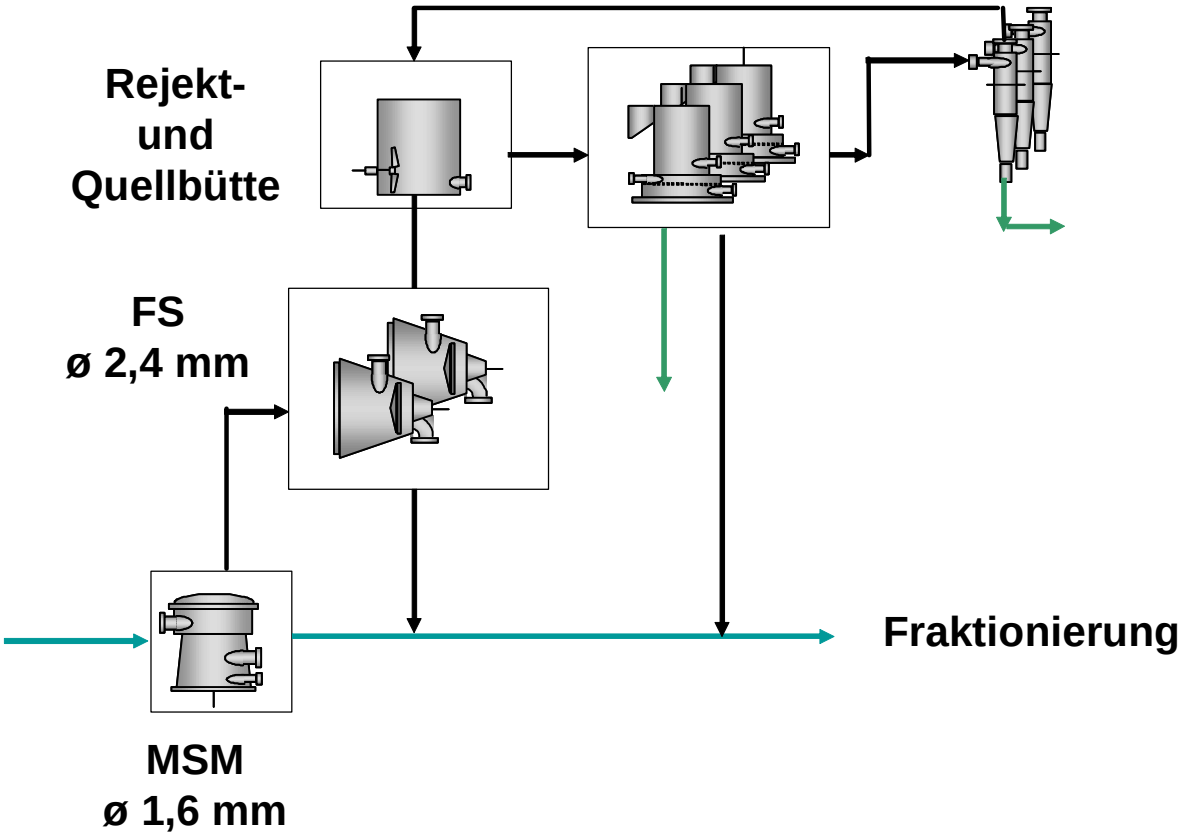

Abbildung 3.49 Anpassung der Sortierung für Option 1b

3.5.3.4 Option 1c-e: Nutzung eines (neuen) Aggregates zur Stippenbehandlung

Die Überlegungen zur dieser Option gehen über die derzeit erprobten Verfahren hinaus und stellen Vorüberlegungen dar. Eine Machbarkeit ist in jedem einzelnen Fall noch nachzuweisen.

Ausgangspunkt ist ebenfalls eine möglichst effektive Stippenverminderung z.B. durch Zerkleinerung. Ein minimaler Faserverlust mit den Rejekten soll bei minimalem Energieneintrag erreicht werden. Eine größtmögliche Reduzierung im Gutstoff ggü. dem Zulauf ist anzustreben Stickies und andere papierfremde Bestandteile sollten nicht zerkleinert werden. Daher ist auch zu prüfen, ob diese vor einer Zerkleinerung der Stippen abgetrennt werden müssen.

Die Sortierung leistet eine gute Auflösung und Abtrennung der Stippen; diese liegen im Rejekt aufkonzentriert vor. Auch hier kann wie in der vorhergehenden Überlegung die Stippenbehandlung vom Hauptstoffstrom in den Nebenstoffstrom verlagert werden; dort kann eine gezielte und damit effizientere Behandlung erfolgen.

Ein Energieeintrag bringt immer eine Stippenverminderung. Dies konnte durch die Laborversuche erneut bestätigt werden.

Ausgangspunkt für die Verfahrensentwicklung ist daher die weitere Steigung des Energieeintrags, jedoch nur in den durch die Lochsortierung der Menge nach deutlich reduzierten Rejektstrom (Abbildung 3.50). Grundsätzlich besteht hier das Risiko durch den Energieeintrag neben den Stippen auch Stickys zu zerschlagen. Diese würden dann nicht mehr durch die Sortierung abgetrennt werden.

Diese Optionen (1c-1e) könnten bei einer sehr robusten Auslegung der ersten Stufen der Lochsortierung sogar den Verzicht auf einen Sekundärpulper ermöglichen.

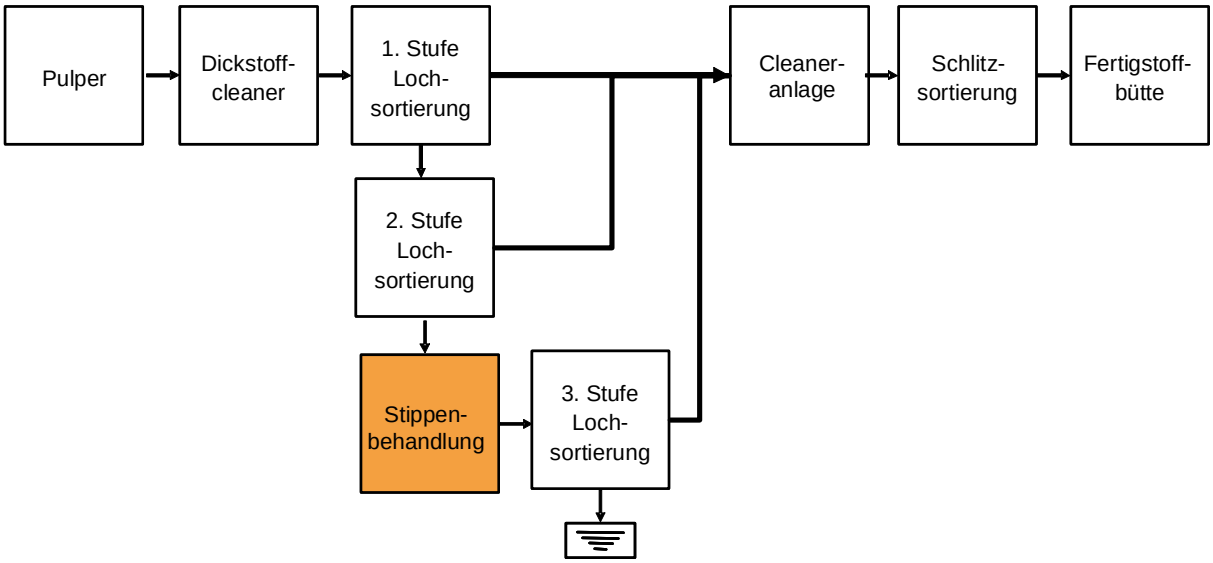

Abbildung 3.50 Option 1b: Schaltung ohne Quellung aber mit zusätzlicher Stippenbehandlung; Basis ist der Stand der Technik

Im Rahmen des Projektes wurden folgende Optionen erarbeitet (Tabelle 3.23). Weitere Optionen sind denkbar.

Tabelle 3.22 Auswirkungen einer Elimination der Quellung; Basis: Stand der Technik

Option	Bezeichnung	Beschreibung
1c	Verfahren in einem Schritt	Zerkleinerung und Entfernung durch Sortierung in einem einzigen Aggregat (z.B. Rejektsorter).
1d	Verfahren in zwei Schritten (1)	Vorab Entfernung der Stickies und Fremdstoffe (z.B. durch Flotation). „Entstippen“ des dann sauberen Stoffs.
1e	Verfahren in zwei Schritten (2)	Zerschlagung der Stippen (ohne Stickies und Fremdstoffe zu zerschlagen). Danach Entfernung der Stickies und Fremdstoffe (z.B. durch Sortierung).

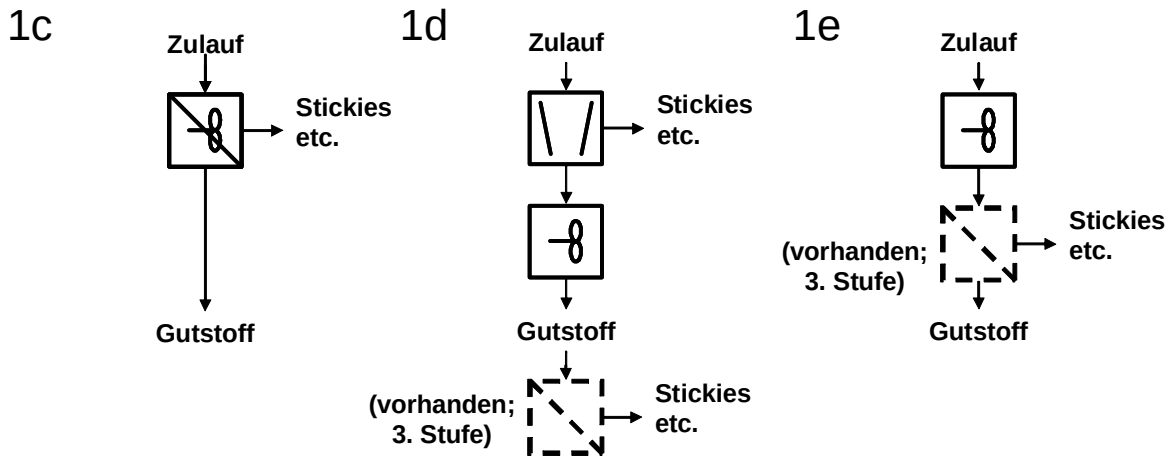

Abbildung 3.51 Optionen zur Umsetzung eines Aggregates zur Stippenverminderung

Einsetzbare Aggregate für eine Reduzierung der Stippenfracht wurden im Rahmen des Projektkonsortiums diskutiert. Eine Verfahrensentwicklung war für Jahr 3 des Projektes geplant und war im Rahmen der verkürzten Laufzeit nicht durchführbar.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die entscheidenden Aspekte einer Bewertung des Nutzens einer solchen Konfiguration die Folgenden sind:

- ⇒ Kann auf einen Sekundärpulper im Einzelfall verzichtet werden?
- ⇒ Kann die erste und die zweite Stufe der bestehenden Sortierung analog zur Lösung 1b einfacher/mit geringerer Entstippungswirkung aufgebaut werden, um in diesen Schritten Energie und Investitionen zu sparen?

3.5.3.5 Option 2a: Verzicht auf die Quellung

Hypothese: Die **Verweilzeit** in Bütten (Quellung) hat **keinen wesentlichen Einfluss** auf den Stippengehalt.

Hintergrund der Hypothese: In keinem Werk konnte eine signifikante Reduzierung des Stippengehaltes infolge der Quellzeit ermittelt werden. Im Labor konnte diese weder nachgestellt, noch für einen der anderen untersuchten Einträge bestätigt werden.

Konsequenz: Die Quellbütte (Ableerturm) entfällt ersatzlos.

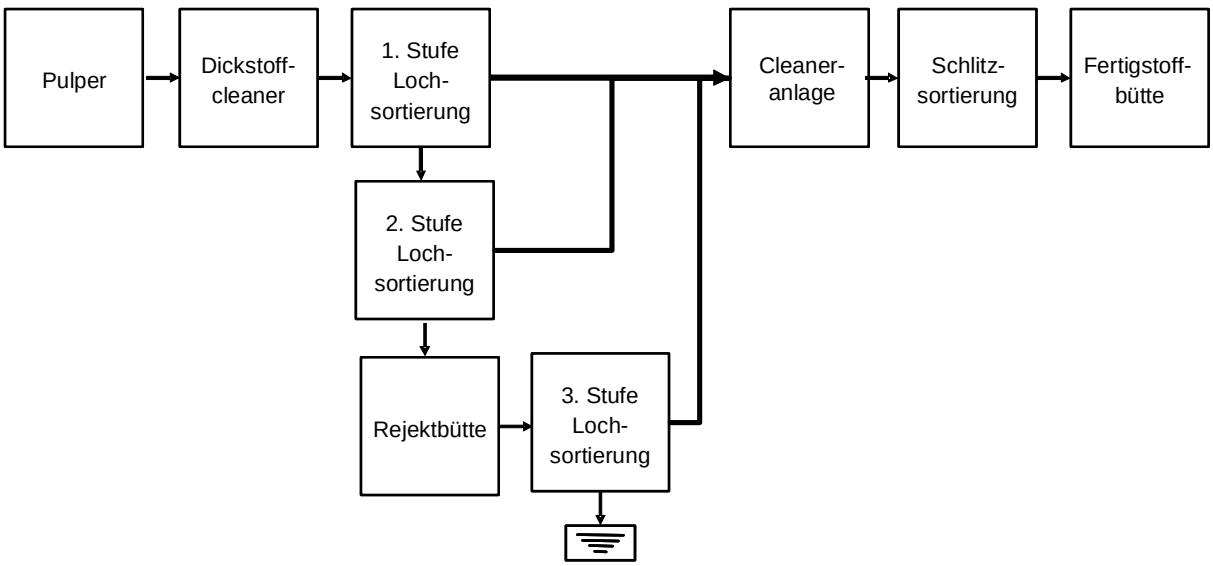

Abbildung 3.52 Option 2a: Schaltung ohne Quellung; Basis ist der Stand der Technik

Tabelle 3.23 Auswirkungen einer Elimination der Quellung; Basis: Stand der Technik

Maßnahme	Volumen vorher m³/t/d*	Volumen nachher m³/t/d*	Ersparnis m³/t/d*
Verzicht auf den Ableerturm	0,69	0	0,69
Einsparung im Stoffsystem			0,69
Anpassung der Wasserbütten (Ableerturm)			0,69
Gesamteinsparung ggü. Stand der Technik			1,38

* 1m³/t/d entspricht bei 1000t/d einem Volumen von 1000m³

Die Reduzierung der Volumina um 0,69m³/t/d entspricht bei einer angenommenen mittleren Stoffdichte in der Stoffaufbereitung von 4% einer Reduzierung der mittleren Verweilzeit von ca. 40min. Insgesamt ergibt sich eine Reduzierung des Volumens des Stoff-Wassersystems von 1,4m³/t/d. Bei einer spez. Abwassermenge von 4m³/t ergibt sich damit eine Reduzierung der Verweilzeit des Wassers im Wasserkreislauf von 8h.

Die apparatetechnische Umsetzung von Option 2a enthält keine neuen Aggregate im Vergleich zum Stand der Technik.

3.5.3.6 Option 2b: Verzicht auf die Quellzeit und Anpassung der Sortierung

Um die Option 2a abzusichern, kann eine Anpassung der Sortierung sinnvoll sein [23]. Die Sortierung soll die Abscheidung durch Sortierung ebenso wie die Stippenverminderung durch Auflösung leisten. Im Folgenden wird eine Lösung vorgestellt, die diesen Anforderungen gerecht werden soll. Die 2. Stufe wird zwischen die 1. und die bisherige 2. Stufe eingefügt. Die Sortierung wird offen (mit hohen Rejektraten) gefahren und dient der frühzeitigen Abführung von Gutstoff, ohne selbst eine Stippenverminderungen durch Eintrag mechanischer Energie in größerem Umfang zu leisten.

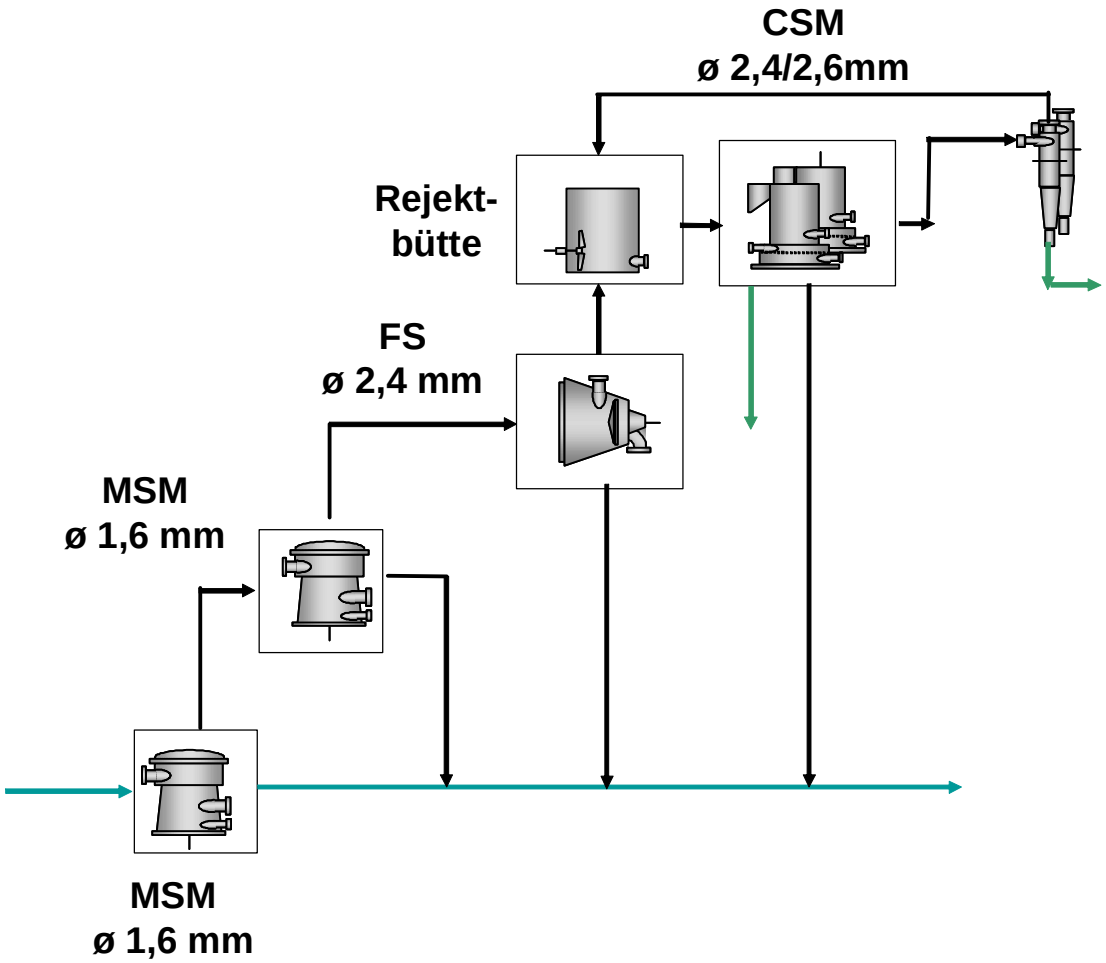

Abbildung 3.53 Option 2b: Ausbau der Sortierung zum Betrieb einer Anlage ohne Ableerbütte [24]

3.5.3.7 Anpassung der Schlitzsortierung

Nicht in allen Fällen wird bei einer Umsetzung der Optionen eine Reduzierung des Stippengehaltes im Gutstoff der Lochsortierung im bisherigen Umfang erfolgen. Hier kann in der Folge eine Verbesserung der Stippung in der Endstufe der nachfolgenden Schlitzsortierung erforderlich sein, um einen möglichst stippenarmen Stoff bei gleichzeitig niedrigen Stoffverlusten zu gewährleisten. Hierfür stehen eine Reihe von bereits etablierten Optionen zur Verfügung [23]:

- ⇒ MultiMizer (Voith,Aggregatebeispiel); ein Endstufensortierer mit Entstipperaufsatz, der als Endstufe zur Entstippung eingesetzt werden kann
- ⇒ Entstipper vor der Endstufe der Sortierung
- ⇒ Lochkorb vor der Endstufe mit einem Combisorter (Voith, Aggregatebeispiel) im Rejektstrom dieser Lochkorbmaschine. Alternativ ist zum Combisorter auch ein Entstipper denkbar.

3.5.4 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

3.5.4.1 Kalkulationsgrundlage [23]

Aggregat	**Energiebedarf kWh/t Fertigstoff**	**Bemerkung**
Bütte 500m³	1	
Lochsortierer (Korb) 1. Stufe Ø 1,6 mm	5	(Angabe pro Apparat)
Lochsortierer (Fibersorter) 2. Stufe Ø 2,4 mm	5	(Angabe pro Apparat)
Loch-Entstufensortierer (Combisorter) 1. Stufe Ø 2,4 mm	5	(Angabe pro Apparat)

Es werden geschätzte Investitionskosten angegeben. Einen wesentlichen Hinweis auf die Betriebskosten gibt der angegebene Energiebedarf.

3.5.4.2 Zusammenfassende Bewertung

Durch die Elimination der Ableerbütte können sowohl Energie- als auch Investitionskosten eingespart werden. Dies gilt auch dann, wenn eine größere Rejektbütte als Quellbütte im Nebenstrom vorgesehen wird.

Tabelle 3.24 Vergleich der Optionen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit

Option	Beschreibung	Änderung Energiebedarf (kWh pro t Fertigstoff ggü. SdT)	Investitions-kosten (ggü. SdT)	Risiko ● (niedrig) ●●● (hoch)	Änderung Volumen [m³/t/d]
Ist	Typischer Ist-Zustand der Anlagen				
Stand der Technik (SdT)	Empfehlungen nach dem derzeitigen Stand der Technik [23]	-	-	-	-1,1 bis -3,7 ggü. Ist-Zustand
1a	Elimination Ableerbütte und Verkleinerung Wasserbehälter; Vergrößerung Rejektbütte	- 0,7	- 400 T€	● (Nutzen der Ableerbütte komplex!)	-1,12 ggü. SdT
1b	3-stufiger Ansatz Verdoppelung 2 Stufe 3 statt 3 Aggregate in der 3. Stufe	+ 6	+ 100 T€ (+ 500 T€ ggü. 1a)	● (Sortierung fängt negative Effekte ab)	-1,12 ggü. SdT
1c	Ersatz der Quellung durch Endstufe hohem Energieeintrag und guter Sortierwirkung	nicht bewertet		●●● (Aggregat unklar)	-1,38 ggü. SdT
1d	Ersatz der Quellung durch Endstufe als Kombination (1) Selektivität zur Abtrennung hydrophober Bestandteile (2) Entstippungswirkung	nicht bewertet		●●● (Aggregat unklar)	-1,38 ggü. SdT
1e	Ersatz der Quellung durch Endstufe als Kombination (1) Energieeintrag (2) selektiv zur Abtrennung partikulärer Verunreinigungen	nicht bewertet		●●● (Aggregat unklar)	-1,38 ggü. SdT
2a	Elimination Ableerbütte und Verkleinerung Wasserbehälter	- 1	- 500 T€	●● (Nutzen der Ableerbütte komplex!; keine Kompensation in der Sortierung)	-1,38 ggü. SdT
2b	4-stufiger Ansatz: In der 2. Stufe eine neue Korbmaschine; die heutigen Stufen 2 und 3 (Stand der Technik) werden 3. und 4.vierte Stufe	+ 3	-200 T€ (+ 300 T€ ggü. 2a)	● (Sortierung fängt negative Effekte ab)	-1,38 ggü. SdT

4. Zusammenfassung / Zielabgleich

Im Projektjahr 1 wurde der Stand der Technik erfasst. Dies geschah durch eine umfangreiche Literaturstudie über die Technologien der verschiedenen Prozessstufen in Stoffaufbereitungsanlagen zur Verpackungspapierherstellung. In Werksuntersuchungen sowie durch Fragebögen wurde der Stand der Technik folgendermaßen ermittelt:

- durchschnittliche Produktionsmenge: 710 t/d
- durchschnittlicher spez. Rohstoffeinsatz: 92 %
- typische Rohstoffzusammensetzung für Produkt: 58 % 1.04, 30 % 1.02, 12 % 4.01
- typische Stoffdichten in den Einzelprozessen:
- Suspendierung (Pulper) 4,9 % (Literatur bis 18 %)
- Dickstoffreinigung 4,2 % (Literatur bis 6 %)
- Lochsortierung 4,5 % (Literatur bis 4 %)
- Fraktionierung 3,1 % (Literatur bis 4 %)
- Schlitzsortierung 2,0 % (Literatur bis 4 %)
- Dünnstoffreinigung 1,5 %
- typischer spez. Energiebedarf (nur Antriebsenergie):
- Suspendierung (Pulper) 19,7 kWh/t (Literatur bis 10-40 kWh/t)
- Lochsortierung 11,4 kWh/t (Literatur bis 5-20 kWh/t)
- Fraktionierung 5,1 kWh/t
- Schlitzsortierung 4,6 kWh/t

Aufgrund der Ergebnisse aus Projektjahr 1 wurde im folgenden Projektjahr folgender Ansatz verfolgt.

<u>110R Prozesszeit:</u>

- Reduzierung Prozessvolumina, Prozesszeit besonders relevant für Ableerturm (am Beginn der Stoffaufbereitung zur Quellung, Durchmischung) und Stapelturm (am Ende der Stoffaufbereitung als Puffer).
- Schwerpunkt Eliminierung Ableerturm.

<u>111R Stoffdichte:</u>

- Erarbeitung neuer Konzepte ohne Unterstützung durch Voith Paper schwierig/unrealistisch.
- Ermittlung des Potenzials zur Reduzierung der erforderlichen Energie für den Stoff- und Wassertransport für die Projektbegleiter möglich, wird erarbeitet.
- Abschließende Recherche zu verfügbaren Technologien zur Stoffdichteerhöhung.

Für die Erarbeitung eines Verfahrenskonzeptes mit dem Ziel, Ort und Zeit für eine Quellung zu optimieren und damit das Volumen des Ableerturmes zu reduzieren bzw. diesen ganz zu eliminieren, wurde im Weiteren der Einfluss der Quellzeit auf die Stippenreduzierung untersucht.

Eine neue Stippenmessmethode wurde entwickelt und angewandt. Auf der Basis eines bildanalytischen Verfahrens können Aussagen zur Stippengrößenverteilung gewonnen werden, die eine differenzierte Anlagenbewertung ermöglichen.

In Werksuntersuchungen wurden die Stippenprofile über die Stoffaufbereitungsanlagen erfasst. Hierbei wurde festgestellt, dass in den untersuchten Werken alle Anlagen zur Stippenreduzierung optimal arbeiten und der Stoff nach den Sortierstufen nahezu stippenfrei

(< 1%) ist. Die Quellzeit in der Ableerbütte hatte nur in einem untersuchten Werk einen signifikanten Einfluss auf die Stippenreduzierung.

In Laboruntersuchungen wurde der Einfluss der Auflösezeit und der Verweilzeit auf die Stippenreduzierungen untersucht. Hier konnte ein stetiger exponentieller Abfall des Stippengehaltes mit zunehmender Zerfaserungszeit beobachtet werden. Mit zunehmender Verweilzeit konnte keine Abnahme des Stippengehaltes festgestellt werden.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse wurden neue Konzepte für die Stoffaufbereitung entwickelt und wirtschaftlich bewertet. Primärer Fokus der Konzeptentwicklung war die Reduzierung der Volumina. Für die Erhöhung der Stoffdichten werden mögliche Optionen nach dem Stand der Technik im Rahmen dieser Konzeptentwicklung berücksichtigt. Darüber hinaus konnten jedoch im Rahmen dieses Projektes keine neuen Konzepte abgeleitet werden, die sich auf eine ausschließliche Erhöhung der Stoffdichten stützen.

Im ersten Schritt wurde eine Verbesserung durch gezielte Umsetzung des Standes der Technik erarbeitet. Folgende Punkte können zu einer Energiereduzierung beitragen:

- Minimierung des Volumens des Ableerturms und des Behältervolumens zwischen den Stufen der Sortierung.
- Auf die Zwischenbütte kann vollständig verzichtet werden.
- Zusätzlich zur Schlitzsortierung wird eine Cleanerung des Stoffs empfohlen.
- Je nach Anwendung unterscheiden sich die Schaltungen nach der Lochsortierung deutlich voneinander:

  Fluting:
  - Keine zusätzliche Cleanerung an der Papiermaschine.
  - Die Schlitzsortierung an der Papiermaschine ist lediglich als Polizeifilter mit 0,3 - 0,35 mm Schlitzweite ausgestattet.

  Testliner:
  - Nutzung einer Fraktionierung nach der Lochsortierung zur Gewinnung einer Kurz- und einer Langfaser.
  - Cleanerung beider Fraktionen.
  - Schlitzsortierung der Langfaserfraktion und anschließend Übergabe beider Fraktionen an die Papiermaschine.

Das durch Umsetzung des Standes der Technik verfügbare Potenzial zur Reduzierung des Volumens beträgt für die untersuchten Anlagen 0,3-1,5 m³/t/d.

Danach wurden Optionen für eine weitere Reduzierung der Verweilzeit durch Reduzierung des Volumens auf der Basis konventioneller Technologie erarbeitet und hinsichtlich ihres Potenzials zur Energieeinsparung bewertet. Die Auflöseleistung des Pulpersystems und der Sortierverlust sollen nicht negativ beeinflusst werden. Gleichzeitig soll die Fertigstoffreinheit und -gleichmäßigkeit gewährleistet sein. Wichtigster Schlüssel hierfür ist die Beherrschung des Stippengehaltes des Stoffes. Leitgedanke der Prozessentwicklung ist das „Prinzip der Delegation der Stippenverminderung aus dem Hauptstrom in den Nebenstrom“. Folgende Optionen wurden ausgearbeitet:

- Option 1a: Verlagerung der Quellung in den Nebenstrom (Rejektbütte)
- Option 1b: Verlagerung der Quellung und Anpassung der Sortierung
- Option 1c-e: Nutzung eines (neuen) Aggregates zur Stippenbehandlung (Einstieg in innovative Konzepte; im Rahmen des Projektes nicht ausgeführt)
- Option 2a: Verzicht auf die Quellung
- Option 2b: Verzicht auf die Quellzeit und Anpassung der Sortierung

Das durch Realisierung der bestgeeigneten Optionen maximal verfügbare Potenzial zur Reduzierung des Volumens beträgt zusätzlich 1,4 m³/t/d gegenüber dem Stand der Technik. Die resultierenden Energieeinsparungen sind mit maximal 1 kWh/t relativ gering. Zusätzlich können bei einer Realisierung einzelner Optionen in Neuanlagen die Investitionskosten signifikant reduziert werden.

5. Ausblick/ offene Fragen / Forschungsschwerpunkte

Die Ausarbeitung der bildanalytischen Methode zur Bestimmung der Stippengrößenverteilung sollte erfolgen, um diese Verpackungspapier erzeugenden Papierfabriken sowie den interessierten Zulieferern dieser Branche zugänglich zu machen. Eine Nutzung des Verfahrens für helle Stippen, die einen zu geringen Kontrast zum Probeblatt aufweisen, ist ebenfalls zu ergänzen. Eine Übertragbarkeit der Methode zur Nutzung in Sortenbereichen mit anderen AP-Sorten bzw. Faserstoffeinträgen ist ebenfalls zu prüfen.

In den Werksuntersuchungen wurde keine wesentliche Abnahme des Stippengehaltes in der Ableerbütte beobachtet. Dies wurde in Nachuntersuchungen bestätigt. Es ist wünschenswert, diese Erkenntnisse weiter abzusichern. Auch für andere Einträge und Sortenbereiche sollte die Bedeutung der Quellzeit überdacht und Untersuchungen zum Nachweis ihrer Wirksamkeit angestellt werden.

In den Werksuntersuchungen wurde in Werk B eine Zunahme des Stippengehaltes beobachtet, welche in Nachuntersuchungen bestätigt wurde. Die Ursache und die Gründe für dieses Phänomen sind unklar. Unter Nutzung der neu entwickelten Methode zur bildanalytischen Bewertung der Stippengrößenverteilung sollten weitere Untersuchungen zur Entwicklung der Stippengrößen im Prozess der Stoffaufbereitung erfolgen.

Empfehlungen für eine standardisierte Charakterisierung von Altpapieren in Hinblick auf eine sichere Vorhersage des zu erwartenden Stippengehaltes nach dem Pulper bzw. der Sortierung fehlen. Um fundierte Aussagen im Vorfeld von Neuanlagen und Umbauten machen zu können, wäre die Entwicklung einer Methode basierend auf Versuchen im Technikumsmaßstab bzw. eine Untersuchung, in wieweit Laborversuche zur Stippengehaltsentwicklung auf Ergebnisse in industriellen Anlagen übertragbar sind, sinnvoll.

Die Entwicklung neuer Verfahrenskonzepte in der Stoffaufbereitung sollte weiter voran getrieben werden. Im Zuge der Untersuchungen wurde an einer Stelle deutlich, dass allgemein anerkannte Vorstellungen, die auch als Basis einer Auslegung von Neuanlagen und Umbauten gebräuchlich sind, nicht bestätigt werden konnten. Eine weitere auch quantitative Aufklärung aller relevanten Phänomene und Prozesse der Stoffaufbereitung ist zu empfehlen. Darauf aufbauend können dann völlig neue Anlagenkonzepte entstehen.

Die Herausnahme von Volumina aus dem Prozess sowie andere wesentliche Änderungen verändern den Bedarf an Mess- und Regelungstechnik. Es sind neue Sensoren und Automatisierungskonzepte zu entwickeln, die den Erfordernissen der neuen Prozesskonzepte Rechnung tragen. Ziele ist eine konstante Fertigstoffqualität bei minimalen Gesamtkosten.

Literaturverzeichnis

[1] http://www.voithpaper.de/stoffaufbereitung.htm
[2] N.N., Papermaking Science and Technology, Book 7 „Recycled Fiber and Deinking", Fapet Oy, PO Box 146, FIN-00171 Helsinki, Finland, 2000
[3] Strobel, S., Siewert, W., Wege zur Einsparung in Stoffaufbereitungssystemen, Das Papier 38, 1984, S.492-500
[4] Siewert, W., Das Papier 37(7), 1984, S.313
[5] Himanen, J., "Fiberflow drum pulper technology for modern deinking applications", 1995 Paperex Proceedings, Indian Agro Paper Mills Association, New Delhi, p. 295.
[6] Holik, H., Escher Wyss – Stoffaufbereitung – Seminar, 19.10.-21.10.1983
[7] Holik, H., "Towards a better understanding of the defibering process", TAPPI 1988 Engineering Conference Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, p. 223.
[8] Wultsch, F., Weissmann, H., Mahlungseigenschaften von gequollenen Zellstoffen, Akademische Druck- und Verlagsanstalt, Graz, 1959
[9] Bos J.H.; Veenstra P.; Verhoeven H. u. P.D. de Vos, Das Papierbuch, ECA Pulp & Paper b.v.; EPN Verlag, 3994 DB Houten, Niederlande, 1999
[10] Musselmann, W., in Secondary Fiber Recycling (R. J. Spangenberg, Ed.), TAPPI PRESS, Atlanta, 1993, p. 207.
[11] Meltzer, F. P., Progress in Paper Recycling 8(3):60(1998).
[12] Rienecker, R., Schabel, S., and Schweiss, P., "Screening - a tool for stickies removal", Voith Sulzer Brochure St.SD.05.0003, Ravensburg, Germany, 1997, 14 pp.
[13] Schweiss, P., Wochenbl. Papierfabr. 125(17):855(1997).
[14] ZERLER, D.; SCUDLIK, R., Stoffaufbereitung Band 2, 1. Auflage, Lehrbuchreihe der Papiererzeugung, Papiermacherschule Gernsbach, 2005
[15] N.N., Einführung in die Papiererzeugung (Modul 1), Faserrohstoffe in der Papierindustrie, Faserstofferzeugung und -aufbereitung, STRAUß, J., PTS-Manuskript PTS-MS 731, 2007
[16] JULIEN SAINT AMAND F., Principles and Technology of Cleaning, In: 8th CTP / PTS Advanced Training Course on Deinking Technology, 29./31. May 2007, CTP, Grenoble
[17] BRETTSCHNEIDER, W., Energiekostenreduzierung – auch in der Stoffaufbereitung eine Herausforderung, Voith Paper together, Nr. 24, S. 13-15, 2007
[18] N. N., Voith Paper Fiber Systems GmbH & Co. KG, Ravensburg, Produktdatenblatt: Voith C-bar™ SE – Die Siebkorbbaureihe für die wirtschaftliche Störstoffabscheidung
[19] GASSMANN H., Vermeidung klebender Verunreinigungen durch die mechanische Abtrennung in Sortierer und Cleaner, Wochenblatt für Papierfabrikation 126, Nr. 19, S. 925-928, 1998
[20] BRITZ H. und HARTMANN, R., Apparate und Anlagen zum Reinigen mittels Zentrifugalfeld und durch Flotation, Grundprozesse der Papiererzeugung: Trennen, München: PTS Verlag, 1995, PTS-Manuskript PTS-MS 12/95
[21] JULIEN SAINT AMAND F., PERRIN B. und E. BERNARD, Modellierung und Dimensionierung von Cleanern - eine vergleichende Untersuchung zur Abscheidung von Schmutzpunkten aus deinktem Altpapier, Wochenblatt für Papierfabrikation 120, Nr. 8, S. 295-302, 1992
[22] MEßMER, P., Stand der Technik in modernen Stoffaufbereitungsanlagen – Chancen zur Energieeinsparung, Wochenblatt für Papierfabrikation, Nr. 11-12, S. 687-693, 2008
[23] Persönliche Mitteilung; Voith Paper Fiber Systems GmbH & Co. KG[
[24] HAMANN L., KUNTZSCH T., MEINL G., KAPPEN J.: Entwicklung einer simulationsgestützten Prozessanalyse zur optimalen Nutzung des Festigkeitspotenzials bei der Erzeugung von Wellpappenrohpapieren auf Altpapierbasis. http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/IW_061079.pdf, PTS 2008