



Bergische Universität Wuppertal
Fachbereich D, Abteilung Sicherheitstechnik
Fachgebiet Sicherheitstechnik/Umweltchemie
Prof. Dr. Joachim M. Marzinkowski
Gaußstraße 20
42119 Wuppertal

Abschlussbericht

Prozessanalyse und Untersuchung der Möglichkeiten
produktionsintegrierter Umweltschutzmaßnahmen mit dem Ziel
der Gewässerentlastung am Beispiel der Textilveredlung

*Forschungsprojekt gefördert durch das
Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen*

ausgeführt in der Beispielfirma:

ERATEX
Gustav Ernstmeier GmbH & Co. KG
Mindener Straße 53
32049 Herford
www.ernstmeier.de

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Einleitung und Problemstellung.....	5
Ergebnisse.....	8
1 Untersuchung des Schlichtegehaltes und der Schlichteart.....	8
2 Darstellung der einzelnen Waschprozesse und der Prozessbedingungen	9
2.1 Brugman-Bleiche	9
2.2 Brugman-Waschmaschine.....	11
2.3 Küsters Waschmaschine	14
2.4 Zusammenfassende Darstellung der CSB-Frachten aus der Nassveredlung	15
3 Energiebilanzierung zur Vorbehandlung	18
3.1 Energiebilanzierung am Beispiel der Waschprozesse auf der großen Brugman- Waschmaschine	18
3.2 Darstellung des Energiebedarfes für alle Prozesse der Vorbehandlung	21
4 Darstellung der Untersuchungen zur Filtration der Waschwässer	27
4.1 Einsatz der großen UF-Pilotanlage zur Filtration des Waschwassers von der großen Brug- man-Waschmaschine.....	27
4.2 Einsatz einer kleinen UF-Pilotanlage zur Filtration des Waschwassers aus dem ersten Ab- teil der kleinen Brugman-Waschmaschine	32
4.3 Wirtschaftliche Betrachtung zum Einsatz der UF-Anlagentechnik	35
5 Ergebnisse und Diskussion zu den Versuchen zum Einsatz der Vakuumtechnik.....	38
5.1 Versuchsordnung	38
5.2 Vorschlag für einen optimierten Einsatz der Vakuumtechnik.....	41
5.3 Untersuchung der Beschaffenheit der Konzentrate	48
5.4 Vergleich der Optimierungsmaßnahmen nach Umweltgesichtspunkten.....	50
Vergleich Soll-Zustand mit Ultrafiltration mit Ist-Zustand	54
Vergleich Ist-Zustand und Soll-Zustand mit Sauge	55
Vergleich Ist-Zustand und Soll-Zustand mit Sauge und Änderung der Vorbehandlung	56

Zusammenfassung

Ziel dieses Vorhabens war es, die mit der Textilveredlung über das Abwasser einhergehenden Umweltbelastungen an der Quelle des Entstehens zu erfassen und nach geeigneten Vermeidungs- und Minimierungsmöglichkeiten zu suchen. Eine besondere Aufgabe bestand darin, den Prozess zu ermitteln, der wesentlich zur CSB-Fracht beiträgt, und nach einer Lösungsmöglichkeit zur Abtrennung zumindest eines Teils dieser Fracht zu suchen. Damit zusammenhängend waren relevante Prozesslösungen durch Optimierung und Anpassung der Systeme zu entwickeln und in der Praxis zu erproben.

Die Untersuchungen erfolgten am Beispiel der Vorbehandlung von Baumwoll- und Viskose-Geweben, die als Technische Textilien Verwendung finden. Am Praxisbeispiel eines Textilunternehmens wurden insbesondere für den Bereich der Veredlung eine intensive Beprobung und Analyse der Abwässer getrennt nach Maschinen und Verfahren vorgenommen, um Art und Höhe der Belastung zu ermitteln. Wie erwartet sind die Schlichtemittel, die bei der Rohwarenwäsche in das Abwasser gelangen, die Hauptverursacher der CSB-Fracht. Etwa 20% der Gesamtfracht (ca. 500 kg CSB/Tag) werden schon im ersten Schritt einer Imprägnierung mit Wasch-/Netzmittel und Natronlauge abgelöst. Die Hauptmenge (ca. 1.900 kg CSB/Tag) wird jedoch erst mit dem Abwasser des nachfolgenden Kontinuierwaschprozesses abgeleitet. Da es sich bei den Schlichtemitteln überwiegend um Derivate der Stärke handelt, ist eine gute biologische Abbaubarkeit ($CSB/BSB = 2,8$) gegeben. Der Anteil biologisch weniger gut abbaubarer Frachten ist gering (kleiner 10%) und stammt aus der Appretur der Stoffbahnen und der Färberei. Schwermetalle und organische Halogenverbindungen (AOX) sind im Abwasser dieser Veredlung ohne Bedeutung. Diese im Vorfeld der Versuche zur Ultrafiltration durchgeführten Analysen haben zu einem Strategiewechsel geführt. Nicht die ursprünglich vorgesehene Brugman-Bleiche, auf der die Imprägnierung der Webware mit Entschlichtungsflotte vorgenommen wird und deren Abwassermenge ausschlaggebend für die Überlegungen zur Ultrafiltration war, sondern der Waschprozess auf der Brugman-Waschmaschine wurde daher für die Praxisversuche mit der Pilotanlage ausgewählt. Das Filtrat sollte sofort wieder in den Waschprozess an geeigneter Stelle mit einer dem Filtrat ähnlich konzentrierten Waschlösung zurückgeführt werden. Für die Entnahme des Feed für die Ultrafiltration bietet sich der Vornetztrug der Brugman-Waschmaschine an, in dem das Waschwasser bedingt durch die Gegenstromverfahrensweise die höchste Konzentration aufweist. Der Waschprozess wird auf dieser modernen Waschmaschine zum Beginn der Untersuchungen optimal, das heißt mit geringstmöglicher Wassermenge durchgeführt.

Die Möglichkeit zur Entnahme von CSB-Frachten aus dem Abwasser der Imprägnierung wurde mithilfe einer kleineren Ultrafiltrations-Pilotanlage untersucht. Es kam ebenfalls eine Keramikmembran zum Einsatz, so dass vergleichbare Verhältnisse zu den Untersuchungen mit der großen Pilotanlage bestanden. Die Ultrafiltration ist geeignet, wenn das Abwasser partikuläre und/oder polymere Stoffe enthält. Diese Voraussetzung war für die Entschlichtungswäsche gegeben. Für den Einsatz der Ultrafiltration zur Aufkonzentrierung der Abwässer aus Imprägnier- und Waschprozess erweist sich eine hohe Temperatur (ca. 80°C) wegen einer dadurch reduzierten Viskosität des Abwassers als günstig für die Filtrate; sie setzt jedoch den Einsatz keramischer Membranen voraus. Ausgehend von einer CSB-

Konzentration des Waschwassers von durchschnittlich 16.000 mg O₂/L im Vornetztrug der Brugman-Waschmaschine gelang eine Aufkonzentrierung auf ca. 60.000 mg O₂/L. Das Filtrat enthält jedoch die in Wasser löslichen, niedrig molekularen Bestandteile des Abwassers, erkennbar als CSB-Konzentration von mehr als 6.000 mg O₂/L. Eine Wiederverwendung im Waschprozess war nur in einem der ersten Waschabteile möglich, da dort die CSB-Konzentration des Waschwassers vergleichbar war. Frischwasser konnte dadurch nicht eingespart werden. In allen Versuchen wurde ein rascher Leistungsabfall beobachtet. Der Filtratfluss sank ausgehend von ca. 400 L/m²h schon kurz nach dem Start der Filtration auf 150 L/m²h und darunter. Die Reinigung war zeitaufwändig und erforderte den Einsatz von alkalischen und sauren Reinigern.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine Ultrafiltration prinzipiell für derartige Problemstellungen geeignet ist. Im untersuchten Unternehmen ist der Einsatz jedoch wenig weiterführend, da das Filtrat in dem schon mit geringem Wasserverbrauch praktizierten Waschverfahren nicht unter Einsparung von Frischwasser verwendet werden kann. Hierfür ist es organisch zu hoch belastet. Die Membran zeigt außerdem eine zu geringe Standzeit auch bei hohen Temperaturen. Der Reinigungsaufwand ist deutlich zu hoch. Die angeratene Verbesserung des Entschlichtungsverfahrens führt zu einem Abbau der nativen Schlichte, wodurch ein noch geringerer Rückhalt an organischen Stoffen durch die Ultrafiltrationsmembran anzunehmen ist und die genannten Probleme eher verstärkt werden. Eine zusätzliche Nanofiltration könnte eine Verbesserung erbringen, würde jedoch das Verfahren erheblich verteuern.

Eine andere Möglichkeit besteht im Einsatz einer in den Waschprozess integrierten Vakuum-Extraktion. Die imprägnierte Ware wurde hierbei zu Beginn des Waschprozesses mit (Wasch-)Wasser zusätzlich zum bestehenden Feuchtegehalt benetzt und sofort anschließend über einen sogenannten Saugbalken geführt, der einen 6,2 bis 8 mm breiten Schlitz aufwies, über den der Unterdruck auf die Warenbahn übertragen wurde. Die hohe Geschwindigkeit der Warenbahn (90 m/min) und die aus den räumlichen Gegebenheiten bedingten beengten Verhältnisse am Wareneinlauf der Waschmaschine waren die technischen Hürden, die während der kurzen Dauer der Versuchsphase nicht überwunden werden konnten. Die prinzipielle Eignung der Vakuumtechnik zur Extraktion der Ware und damit zur Aufkonzentrierung des Waschbades konnte jedoch gezeigt werden. Wesentlich ist die Zuhilfenahme des Abwassers aus dem Conti-Waschprozess zur intensiven Benetzung der Ware vor der Sauge, um dadurch die Extraktion der Ware und gleichzeitig eine Aufkonzentrierung des Abwassers bis 100.000 mg O₂/L als CSB-Konzentration zu erreichen. Die Einführung der Saugtechnik setzt jedoch eine Änderung des Vorbehandlungsverfahrens voraus. Inwieweit sich die hierbei bevorzugte oxidative Entschlichtung auf die technologischen Eigenschaften der Fertigprodukte auswirken, kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden. Es wird angenommen, dass sich eine verbesserte Extraktion der abgebauten Schlichte zu Beginn des Waschprozesses auf eine Reduzierung des Wasserbedarfs und damit auch des Wärmeenergieeinsatzes des Waschprozesses auswirken wird. Dieser Zusammenhang konnte jedoch während der nur kurzen Versuchsphase nicht geklärt werden und muss unter Praxisbedingungen durch weitere Versuchsreihen erst bestätigt werden.

Bei beiden untersuchten Verfahren bleibt am Ende ein Konzentrat übrig. Die Konzentratmenge beträgt, berechnet auf der Basis einer CSB-Konzentration von 140.000 mg O₂/L, noch 1.800 L/h bzw. ca. 16-17 m³/d (ca. 85 m³/w). Bei einer externen Weiterbehandlung ist der Transportaufwand zu beachten. Für eine biologische Behandlung beispielsweise in einer anaeroben Anlage ist die Konzentration jedoch günstig. Analytische Untersuchungen weisen auf eine gute biologische Abbaubarkeit hin und zeigen, dass Schwermetalle und andere gefährliche Stoffe nicht nachweisbar sind. Da der Wasseranteil noch immer mehr als 85% beträgt, sollte einer biologischen Behandlung der Vorzug gegenüber einer Verbrennung gegeben werden. Eine Behandlung im Faulturm einer kommunalen Kläranlage ist derzeit jedoch ausgeschlossen. Aufgrund der Zusammensetzung wäre es jedoch wünschenswert, dass derartige Konzentrate mit gut biologisch abbaubaren Inhaltsstoffen, die nachweislich überwiegend aus pflanzlichen Stoffen (z.B. Stärkeprodukte oder deren Abbauprodukte Zucker) bestehen, in die Positivliste der Konzentratentsorgung aufgenommen werden. Für einen derartigen Entsorgungsweg, der bei Inanspruchnahme kommunaler Faulanlagen mit Transportfahrzeugen als „rollender Kanal“ erfolgt, muss die Wirtschaftlichkeit zwingend beachtet werden. Für die im untersuchten Beispiel pro Jahr anfallende Konzentratmenge von ca. 4.250 m³ (= ca. 4.500 t) müssen die Entsorgungskosten deutlich unter 30 €/t bleiben. Nur unter dieser Voraussetzung ist zumindest eine ausgeglichene Bilanz der Kosten für das einstufige optimierte Verfahren mit Einsatz der Sauge im Waschprozess möglich. Wirtschaftlich ist aber auch dieses Verfahren nur dann anzuwenden, wenn keine Entsorgungskosten anfallen.

Mit der Abtrennung der Konzentrate aus der Vorbehandlung der Gewebe werden die biologisch gut abbaubaren Inhaltsstoffe aus dem Abwasser herausgenommen. Damit verändert sich das Verhältnis CSB zu BSB₅ im verbleibenden Abwasser hinsichtlich der Einleitbedingungen ungünstig. Das Unternehmen muss prüfen, ob dieser Weg eine wirkliche Entlastung darstellt.

Es sollte überhaupt und grundsätzlich der ökologisch und ökonomisch günstigste Weg beschrritten werden!

Einleitung und Problemstellung

Durch die Textilveredlung werden der Webware die gewünschten Gebrauchseigenschaften verliehen. Hierfür sind mehrere Arbeitsschritte erforderlich, die in der Regel aus der Vorbehandlung, einem Färbeprozess und der Appretur bestehen. Die Vorbehandlung dient der Entfernung der für die textilen Vorstufen erforderlichen chemischen Stoffe, so unter anderem der aus der Weberei stammenden Schlichte und insbesondere bei Baumwollwaren auch der natürlichen Begleitstoffe sowie der Präparationsmittel und Avivagen, die zur Herstellung von Synthefasergarnen verwendet werden. Die in deutschen Unternehmen eingesetzte Webware stammt inzwischen größtenteils aus ausländischen Produktionsstätten, womit Informationsdefizite zu Schlichteart und Beschlichtungsgrad, der im Allgemeinen 3 bis 10 Gew.% bezogen auf die Webware beträgt, verbunden sind. Lohnveredler, die die Webware im Auftrag ihrer Kunden veredeln, haben in der Regel wenig bis gar keinen Einfluss auf die Schlichte. Ein Schlichterecycling ist wegen der unterschiedlichen Herkunftsorte der Webwaren nicht möglich. Das Abwasser, das in der Vorbehandlung entsteht, enthält die abgelöste Schlichte und die Faserbegleitstoffe sowie – in geringer Konzentration – die für diese Prozesse erforderlichen Tenside und Laugen bzw. Komplexbildner. Ca. 70% der CSB-Fracht des Abwassers aus der Textilveredlung stehen im Zusammenhang mit der Vorbehandlung. Demgegenüber sind die Färbeprozesse mit vergleichbaren Wassermengen verbunden. Jedoch liegt der Gehalt an organischen Stoffen, der als CSB erfasst wird, erheblich niedriger. Auch die Appretur, die üblicherweise nur in einem Tauch-/Netzprozess der Webware in den Appreturbädern und -pasten besteht, liefert nur eine geringe Abwassermenge und CSB-Fracht, die bei einer Entsorgung der Restflotten und -pasten lediglich aus den Reinigungsprozessen der Ansatz-, Transportbehälter und Auftragsaggregate stammen. Die Textilveredlungsbetriebe haben in den letzten Jahren ihren Wasserbedarf erheblich reduziert. Bei gleich bleibender Fracht erhöhte sich die durchschnittliche CSB-Konzentration im Abwasser auf Werte über 5.000 mg O₂/L.

Die Reinigung von Abwasser aus der Textilveredlung wird in der Regel mit Abwasser anderer Herkunft in einer kommunalen Kläranlage durchgeführt. Die biologische Abwasserreinigung ist hierbei Stand der Technik. Die Mikroorganismen der kommunalen Kläranlage sind an das Textilabwasser adaptiert, so dass normalerweise bei gut funktionierenden Kläranlagen eine hervorragende Reinigungsleistung erzielt wird und die Einhaltung der geforderten Grenzwerte kein Problem ist. Das gereinigte Abwasser wird üblicherweise in den Vorfluter geleitet. Ein Teil der bei der Textilveredlung ins Abwasser gelangenden Stoffe weist allerdings eine nur geringe biologische Abbaubarkeit auf, die etwa durch das Verhältnis des chemischen zum biologischen Sauerstoffbedarf charakterisiert wird. Das Verhältnis CSB/BSB₅ ist bei häuslichem Abwasser kleiner als 2,5. Bestimmte Schlichtemittel wie der synthetische Polyvinylalkohol oder die Carboxymethylcellulose, bestimmte Veredlungshilfsmittel, Farbstoffe und auch einige Appreturmittel weisen wesentlich höhere Verhältniswerte auf (4 bis 50) und gelten daher als wenig bis gar nicht biologisch abbaubar bzw. biologisch eliminierbar. Bei Polyvinylalkohol ist im besonderen Maß die Adaption der Mikroorganismen nötig, um einen Abbau zu gewährleisten. Ist dies, z.B. durch zu geringes Schlammalter, nicht möglich, ist auch diese Schlichte zu den schlechter abbaubaren zu zählen. Zur Entlastung der Gewässer, in die diese Stoffe gelangen können, wenn sie

nicht in der biologischen Kläranlage abgebaut oder zurückgehalten werden, steht der Textilveredler neuerdings vor der Anforderung, innerbetriebliche Maßnahmen ergreifen zu müssen, um diese Stoffe aus dem Abwasser herauszuhalten. Zu diesen Integrierten Umweltschutzmaßnahmen sind in den letzten Jahren verschiedene Forschungsprojekte auch mit finanzieller Unterstützung durch das MUNLV durchgeführt worden, die sich jedoch besonders dem „sichtbaren“ Problem der Farbigkeit des Abwassers zugewandt haben und eine Wiederverwendung des innerbetrieblich behandelten Abwassers zum Ziel hatten, um dadurch zumindest einen Teil der Kosten der Abwasserbehandlung zurückzuholen. Auch beschränkten sich die Maßnahmen auf gering belastete Spülwässer, die zum Teil sogar ohne weitere Aufarbeitung und mit geringem organisatorischem Aufwand wieder eingesetzt werden können. Um den Standort der deutschen Textilindustrie durch einen steigenden Aufwand und erhebliche Kosten- bzw. Gebührensteigerungen nicht zu gefährden, besteht eine wesentliche Voraussetzung darin, an die betrieblichen Bedingungen angepasste Maßnahmen zur Reduktion der Abwasserbelastung zu entwickeln. Die damit verbundene Verbesserung des biologischen Abbaus stellt einen erheblichen Beitrag zur Schonung der Gewässer dar. Gleichzeitig ist erwünscht, dass diese Maßnahmen mit einer Steigerung der Effizienz der Prozesse und damit deren Wirtschaftlichkeit verbunden sind.

Bei dem Beispielunternehmen handelt es sich um ein Textilveredlungsunternehmen mit langjähriger Tradition. Es werden fast überwiegend Vorprodukte für die industrielle Weiterverarbeitung gefertigt. Das Unternehmen ist Lohnveredler. Die Webware, die die Kunden des Unternehmens von verschiedenen deutschen und europäischen Webereien besorgen, wird zunächst bis zur Bearbeitung eingelagert. Die Nassveredlung findet als Vorstufe der Beschichtung statt und besteht überwiegend aus einem Auswaschprozess der Schlichtemittel und einer Vergleichmäßigung der Ware. Sie wird in mehreren Schritten vorgenommen, die sich nach Art des Fasermaterials erheblich unterscheiden können. Baumwollgewebe werden entweder (überwiegend) über einen alkalischen „Brühprozess“ oder zweistufig durch eine enzymatische Entschlichtung mit einem anschließenden Färbe-/Imprägnierprozess behandelt. Der Anteil an Baumwollwebware beträgt 80%. An die Vorbehandlung bzw. Färbung schließt sich eine Imprägnierstufe/Appretur mit anschließender Trocknung/Fixierung an. Im abschließenden Schritt der Veredlung erfolgt eine Beschichtung mit mehreren Aufstrichen. Zu einem deutlich geringeren Anteil werden im Unternehmen Produkte hergestellt, die im diskontinuierlichen Verfahren mit Direktfarbstoffen gefärbt werden.

Für die Veredlung stehen moderne Maschinen zur Verfügung. Der Wasserverbrauch konnte in den letzten Jahren nahezu halbiert werden und beträgt zurzeit etwa 80.000 m³/Jahr. Die zum Imprägnieren und Beschichten verwendeten Flotten und Pasten werden sehr genau auf die zu behandelnde Warenmenge abgemessen, so dass am Ende der Prozesse nur geringe Reste in den Auftragsaggregaten übrig bleiben, die schon jetzt entsorgt werden. Es werden konform zum Anhang 38 keine Restflotten eingeleitet. Abwasser entsteht nur beim Reinigen der Auftragsaggregate, der zum innerbetrieblichen Transport benutzten Behälter und der Rühr- und Dispergierwerke. Hauptsächlich fällt Abwasser bei der Entschlichtung, beim Brühprozess mit der anschließenden Auswäsche und bei den kurzen Wasch-/Färbe-/Imprägnierprozessen an. Die Färberei liefert wegen der kleinen Produktionsmengen derzeit

eine nur geringe Abwassermenge und trägt auch nur mit einer entsprechend geringen CSB-Fracht zur Abwasserbeschaffenheit bei.

Am Beispiel dieses Betriebes, der durchaus typisch für die Verarbeitung technischer Textilien ist, wurden zunächst eine intensive Beprobung und Analyse aller zum Abwasser beitragenden Prozesse bzw. ihrer Abwasserteilströme, des Wasser- und Energieverbrauches sowie der Abwassermengen und -beschaffenheit durchgeführt. Vorrangiges Ziel dieses Vorhabens war es, die mit der Textilveredlung über das Abwasser einhergehenden Umweltbelastungen an der Quelle des Entstehens zu erfassen und nach geeigneten Vermeidungs- und Minimierungsmöglichkeiten zu suchen. Darauf aufbauend waren relevante Prozesslösungen durch Optimierung und Anpassung der Systeme zu entwickeln und in der Praxis zu erproben. Da vermutlich die Schlichtemittel die Hauptverursacher der hohen CSB-Fracht sind, wurden aus dem gesamten Artikelsortiment die Gewebe für eine Bestimmung der Schlichteart und -auflagemenge festgelegt, die als Umsatzträger gelten und die sich durch verschiedenartige Schlichten/Schlichtemischungen unterscheiden. Zunächst über Laboruntersuchungen, dann durch Einsatz einer Pilotanlage mit 5-m³-Filtratvolumen wurde eine Ultrafiltration zur Behandlung des Abwassers aus der Entschlichtung zu einem stofflichen und/ oder Wasserrecycling erprobt, um mittels Ultrafiltration die im Wasser gelösten, polymeren Schlichtemittel zurückzuhalten und aufzukonzentrieren. Alle Maßnahmen dienen einer wesentlichen Reduktion der biologisch nicht oder nur wenig abbaubaren Stoffe im Abwasser des Betriebes. Da erwartet wurde, dass eine Unterteilung des Wasserstromes für den Entschlichtungsprozess in ein erstes Abteil mit hoher Belastung und einen nachfolgenden Spülprozess zu einer wirtschaftlichen Abtrennung der Schlichte führt, wurde zusätzlich zu dem zwischen den Waschabteilen üblichen Foulard zur Entwässerung der laufenden Warenbahn eine Saugmaschine eingesetzt, die nicht nur eine höhere Entwässerung mit sich bringt, sondern zusätzlich eine extrahierende Wirkung und damit verbesserte Schlichteablösung bewirkt.

Aufbauend auf den Verbesserungen der Veredlungsprozesse wurden auch Maßnahmen zum Wasserrecycling, beispielsweise zum Einsatz des oben beschriebenen Filtrates aus der Ultrafiltration des ersten Entschlichtungsbades, untersucht. Hierbei war ein Aneinanderpassen von Prozess und Wasserrecycling erforderlich. Der Verbleib des Konzentrates, das sowohl bei der Ultrafiltration als auch bei der Vakuumsaugmaschine anfällt, konnte nicht endgültig geklärt werden. Die analytische Untersuchung des Konzentrates lässt den Schluss zu, dass sowohl eine Behandlung im Faulturn als auch zur Biogasfermentation möglich ist. Die Behandlung im Faulturn ist derzeit allerdings nicht zugelassen.

Das Textilunternehmen war an allen Untersuchungen beteiligt. Die Untersuchungen wurden „vor Ort“ im Textilbetrieb und zur Prozesssimulation auch im Institutslabor durchgeführt. Hierbei wurde die spezifische Erfahrung des Textilunternehmens gezielt zur Entwicklung von Verbesserungsmaßnahmen benötigt und konsequent eingesetzt. Das Funktionieren dieses Transfers in beide Richtungen war eine wesentliche Grundvoraussetzung für das Gelingen dieses Projektes.

Ergebnisse

1 Untersuchung des Schlichtegehaltes und der Schlichteart

Der Schlichtegehalt der Baumwoll- und Viskose-Gewebe, die im Bereich der technischen Artikel eingesetzt werden, wurde eingangs untersucht.

Weberei/ Gewebelieferant bzw. Artikel	Schlichteart ermittelt durch chemische Analyse	Gesamt-CSB ermittelt aus 5 g Stoff in 1 L Wasser [mg O ₂ /L]	spez. CSB [g O ₂ /g Stoff]	Schlichte- gehalt [g/g Stoff]	CSB-/ Schlichtegehalt [g O ₂ /g Schlichte]
1 – Artikel 1	Stärke/Dextrin Polyacrylat	472	0,09	0,08	1,1
1 – Artikel 2	Stärke/Dextrin	347	0,07	0,07	1,0
1 – Artikel 3	Stärke/Dextrin Polyacrylat	354	0,07	0,08	0,9
2	Polyacrylat	197	0,04	0,03	1,3
3	Stärke/Dextrin Polyacrylat	464	0,09	0,1	0,9
4	Stärke/Dextrin, PVA	651	0,13	0,09	1,4
5	Stärke/Dextrin	497	0,1	0,09	1,1
6	Stärke/Dextrin	538	0,11	0,09	1,2
7	Stärke/Dextrin, PVA	498	0,1	0,09	1,1
8	Stärke/Dextrin	306	0,06	0,09	0,7
9	Stärke/Dextrin	421	0,08	0,08	1,0
10	Stärke/Dextrin	533	0,1	n.b.	n.b.
11	Stärke/Dextrin, PVA	438	0,09	n.b.	n.b.
12	Stärke/Dextrin, PVA	515	0,1	n.b.	n.b.
13	Stärke/Dextrin, PVA	438	0,09	n.b.	n.b.
14	Stärke/Dextrin, PVA	465	0,09	n.b.	n.b.
15	Stärke/Dextrin	403	0,08	n.b.	n.b.
16	Stärke/Dextrin PVA	610	0,1	n.b.	n.b.

Tabelle 1: Schlichteart und -gehalt der für technische Textilien eingesetzten Baumwollgewebe

2 Darstellung der einzelnen Waschprozesse und der Prozessbedingungen

2.1 Brugman-Bleiche

Warendurchlauf:	50.000 m/Tag, 9,25 h/Tag
Warengeschwindigkeit:	90 m/min
Warengewicht:	ca. 285 g/m ²
Warenbreite:	ca. 1,5 m

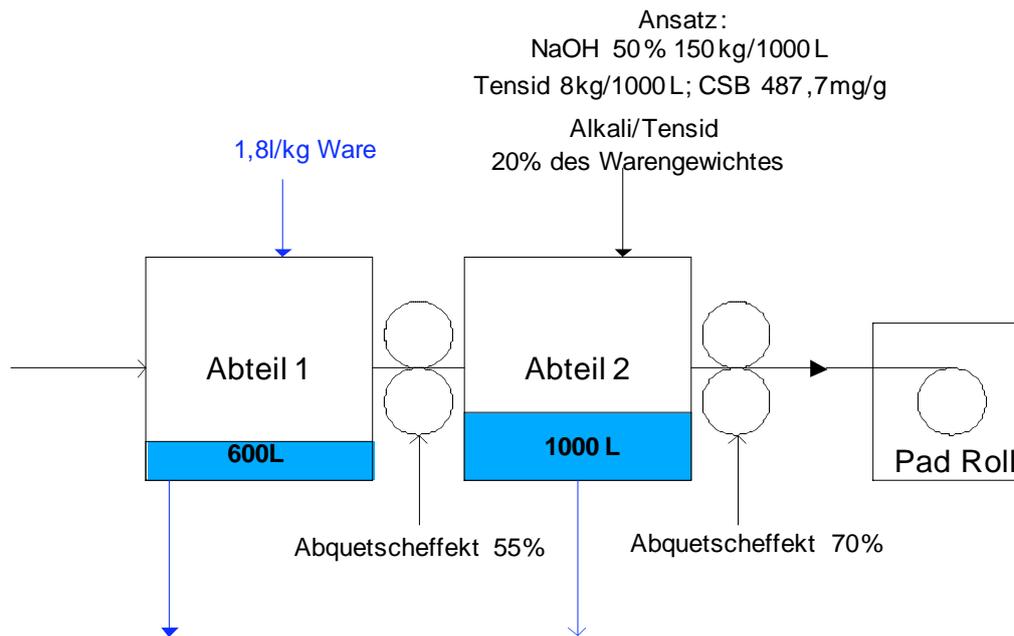


Abbildung 1: Prozessbedingungen für die Brugman-Bleiche
0,2 L Imprägnierflotte/kg Ware
Anteil Natronlauge (fest): 75 g/1 L Imprägnierflotte
Anteil Tensid (flüssig): 8 g/1 L Imprägnierflotte

Chemikalien:

Wasch- und Netzmittel	8 kg/1.000 L	CSB: 487,7 mg/g
Natronlauge 50%	150 kg/1.000 L	

Wasserverbrauch:

1. Bad = 600 L	1,8 L/kg Ware	
	38.475 L/Tag entsprechend:	2.405 L/h
2. Bad = 1.000 L	1.600 L/Tag (einmal pro Tag ablassen)	

Die Prozessbeobachtungen ergaben, dass sich erst nach ca. 2 Stunden ein Gleichgewicht der CSB-Konzentration einstellt. Es pendelt um einen imaginären Mittelpunkt, der bei ca. 60.000 mg O₂/L liegt (Abteil 2). Die CSB-Konzentration entwickelt sich in Abteil 1 aufsteigend bis zu einem Wert um 20.000 mgO₂/L.

Zu beachten ist hierbei, dass in den verschiedenen Versuchen unterschiedliche Artikel ausgewaschen worden sind. Dies zeigt der Vergleich der ersten beiden Versuche. Der Anstieg der CSB-Konzentration ist im ersten Versuch in Abteil 1 sehr viel steiler als der des zweiten Versuchs.

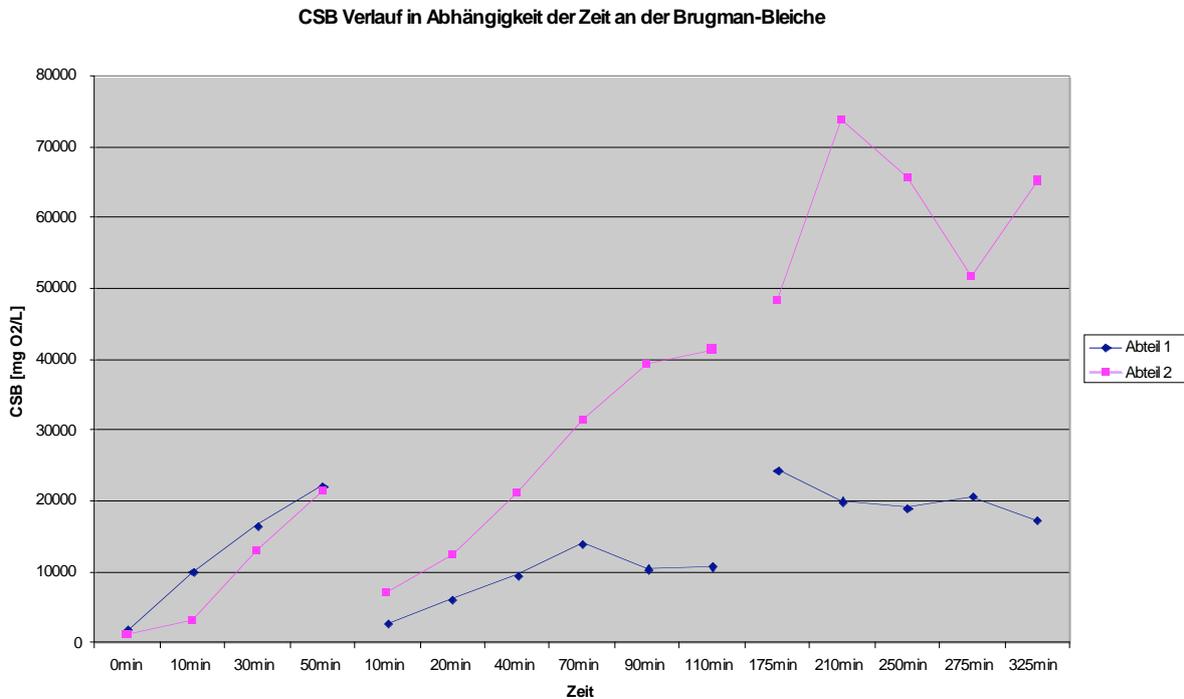


Abbildung 2: CSB-Konzentration der Waschbäder in den Abteilen 1 und 2 der Brugman-Bleiche. Es handelt sich um drei Partien. Nach der Beobachtung der ersten Partie wurden die Bäder frisch angesetzt. Zwischen dem zweiten und dritten Waschprozess kam es nur zu einer Unterbrechung zum Kaulenwechsel.

Im Laufe des Imprägnierprozesses wird eine An- und Abreicherung an organischen Stoffen als Änderung der CSB-Konzentration beobachtet. Das Wasser des ersten Abteils quillt und löst einen Teil der oberflächlich anhaftenden Schlichte. Ausgehend von einer Warengeschwindigkeit von 90 m/min und einem Warengewicht von 0,428 kg/lfm sowie einem Wasserverbrauch von 1,8 L/kg Ware werden pro Prozessstunde 2.330 kg Ware verarbeitet und hierfür 4.200 L Wasser benötigt.

Für den gesamten Imprägnierprozess wird folgende CSB-Fracht berechnet: Bei einer CSB-Konzentration von durchschnittlich 13.600 mg O₂/L ergibt sich eine Fracht von 57 kg/h bzw. 24,5 g/kg Ware. Ausgehend von einem Beschlichtungsgrad von 9% (Gesamtgewebe) und einem spez. CSB für die Schlichte von 1,1 g O₂/g beträgt die maximal ablösbare Schlichtemenge 230 kg/h. 57 kg/h entsprechen demnach 25% (gut wasserlösliche Schlichtemittel!) Der Wascheffekt dieses Prozesses ist daher nicht zu vernachlässigen. Der Carry-over vom ersten in das zweite Abteil, in dem die Benetzung der Ware in einem „stehenden Bad“ mit Natronlauge und Tensid erfolgt, führt auch dort zu Schwankungen in der Konzentration.

2.2 Brugman-Waschmaschine

Warendurchlauf:	50.000 m/Tag, 9,25 h/Tag
Warengeschwindigkeit:	90 m/min
Warengewicht:	ca. 285 g/m ²
Warenbreite:	ca. 1,5 m
Ablassen:	1-mal/Tag

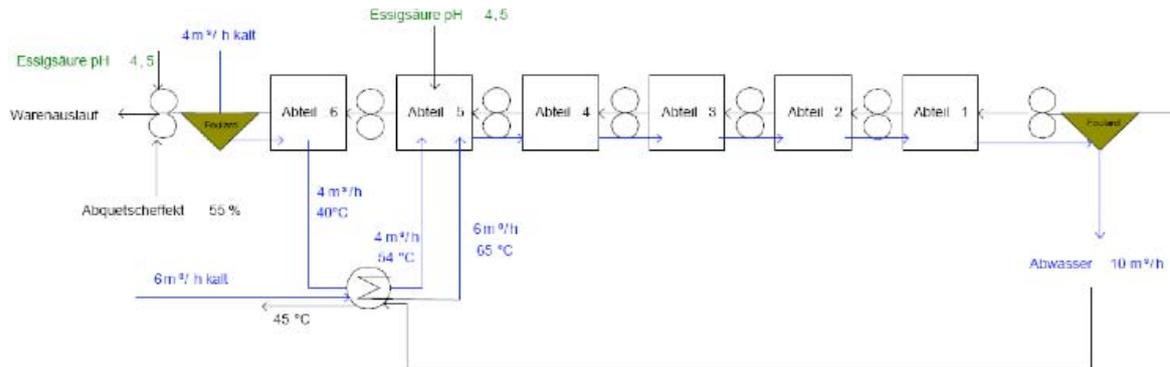


Abbildung 3: Prozessbedingungen für die Brugman-Waschmaschine (Zulauf von 4 m³/h kalt in den Foulard im Warenauslauf sowie 6 m³/h kalt in den Wärmetauscher vor Abteil 5; 10 m³/h Waschwasser von Abteil 1 in Chassis vor Foulard 1 (im Wareneinlauf ganz rechts) werden anschließend im Gegenstrom durch den Wärmetauscher geleitet.)

Chemikalien:

Essigsäure pH 4,5 (Bad 6 und Chassis Foulard Auslauf)

Wasserverbrauch:

insgesamt: 4,5 L/kg Ware
 95 m³/Tag entsprechend: 10 m³/h
 zusätzliche Füllmenge: ca. 8 m³/Tag

An der großen Waschmaschine wurden die Versuche zur Untersuchung des Waschprozesses so angelegt, dass eine zeitliche Ergänzung entstand. Die CSB-Konzentration erreicht am Warenauslauf im Trog des Foulards noch eine durchschnittliche CSB-Konzentration von 620 mg O₂/L.

Im Wareneinlauf der Waschmaschine findet zunächst ein Netzen der Ware durch das im Gegenstrom zur Ware geleitete Waschwasser statt. Die CSB-Konzentration steigt innerhalb von wenigen Minuten auf einen Mittelwert von ca. 20.000 mg O₂/L an. Diese CSB-Konzentration schwankt um +/- 5.000 mg/L CSB während der gesamten Prozessdauer.

Es handelt sich fast ausschließlich um Stärkeschichten als Hauptbestandteil der Schlichterezepturen. Der alkalisch eingestellte Waschprozess führt zu einem Lösen und Auswaschen der

Schlichte, ohne dass ein Abbau (zu Zucker) erfolgt. Am Ende des Waschprozesses ist der Rest-Schlichtegehalt auf der Ware < 0,1%.

<i>Probe</i>	<i>pH</i>	<i>LF [ms/cm]</i>	<i>CSB [mg O₂/L]</i>
Netzrog Foulard Einlauf	12,5	19	23.250
Abteil 1	12,4	9,31	9.920
Abteil 2	11,87	3,22	4.060
Abteil 3	11,17	1,288	2.300
Abteil 4	10,27	0,716	1.246
Abteil 5	7,25	0,524	830
Abteil 6 rechte Seite	4,6	0,535	1.220
Netzrog Foulard Auslauf (Durchschnitt)	3,8	0,460	960

Tabelle 2: CSB-Konzentration der Netztröge und Waschbäder der großen Brugman-Waschmaschine während eines zufällig ausgesuchten Waschprozesses

Das Waschwasser läuft im Gegenstrom zur Ware vom Netzrog des Warenauslaufes (4 m³) sowie zusätzlich vom Abteil 5 (+ 6 m³) bis in den Netzrog des Foulards im Wareneinlauf der Waschmaschine, von wo aus das Abwasser über den Wärmetauscher abgeleitet wird.

Im Abteil 5 sowie im Netzrog des Foulards im Warenauslauf wird Essigsäure zur Absäuerung der Ware zugegeben. Die Dosierate wird pH-gesteuert, der pH-Wert ist auf 4,5 (Abteil 6 und Netzrog des Foulards im Warenauslauf) eingestellt. Im Foulardtrog reagiert das System wegen des geringen Flotteninhaltes im Chassis etwas träger. Die Zudosierung der Säure in das Abteil 5 erfolgt zum Frischwasserzufluss an einer Abteilseite. Die pH-Messstelle ist so angeordnet, dass sie die mäanderförmige Fließrichtung des Wassers durch das in drei Fächer eingeteilte Abteil berücksichtigen kann. Die im Vergleich zum Abteil 5 im Abteil 6 höhere CSB-Konzentration steht im Zusammenhang mit der Säurezugabe. Dies gilt auch für den Netzrog und die sich dort einstellende CSB-Konzentration.

Auf der Berechnungsgrundlage der abnehmenden CSB-Konzentration ausgehend von Bad 1 bis Bad 5 beträgt der Waschwirkungsgrad für jedes der Waschabteile der Waschmaschine jeweils ca. 60%, d.h. in jedem der Rollenkufenabteile werden 60% der noch auf der Ware befindlichen und auszuwaschenden CSB-Fracht entfernt.

Die nachfolgend dargestellte zeitliche Änderung der CSB-Konzentration im Foulardtrog des Wareneinlaufs zeigt die erwartete Steigerung der CSB-Konzentration mit zunehmender Netzzeit und auch die An- und Abreicherungs effekte aus dem vorhergehenden Imprägnierprozess. Auch im

Foulardtrog des Warenauslaufs ist eine zeitliche Änderungen der CSB-Konzentration (auf niedrigem Niveau) zu erkennen.

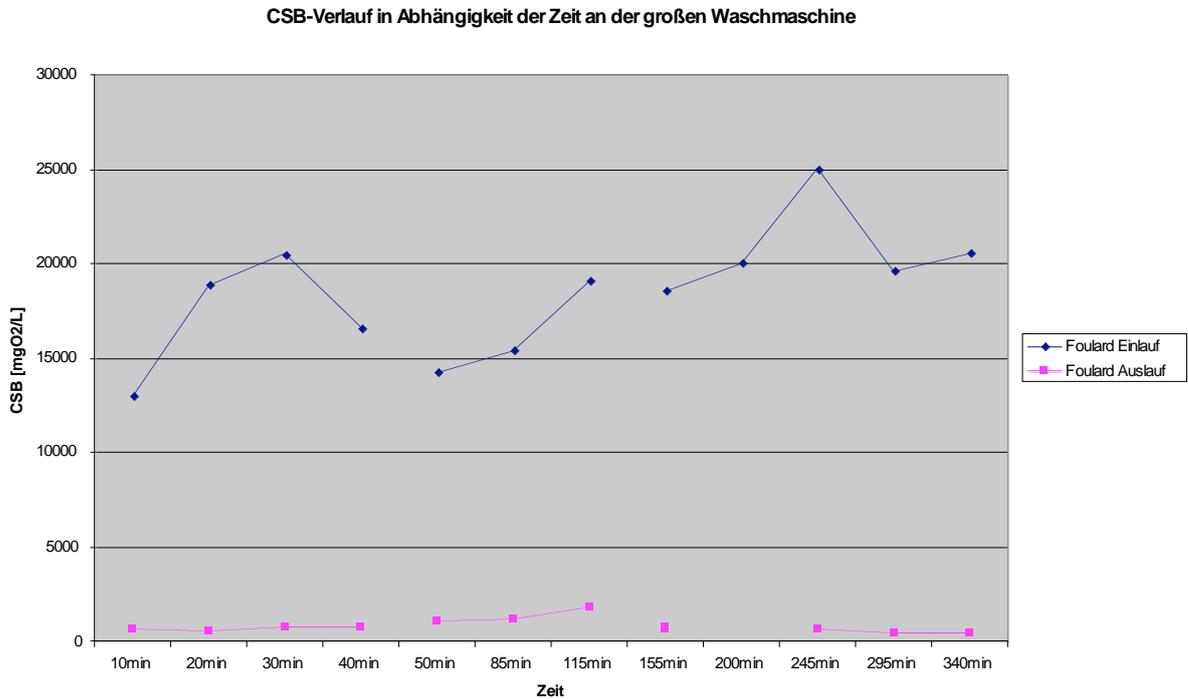


Abbildung 4: CSB-Konzentration der Bäder in den Foulard-Chassis (Warenein- und -auslauf) der Brugman-Waschmaschine
Es handelt sich um drei Versuche mit mehreren Waschpartien. Zwischen den Partiebeobachtungen kam es zu Unterbrechungen wegen des Kaulenwechsels. Ein Badwechsel wurde nicht vorgenommen. Die Zeitverschiebung, die sich aus dem Wasser im Foulard-Chassis des Warenauslaufes zu dem des Wassereinlaufes durch den Gegenstrom des Wassers durch alle Abteile ergibt, beträgt ca. 1 Stunde. Der Knick in der unteren hellen Kurve bei 115 min entspricht in etwa dem der oberen dunkleren Kurve bei ca. 25 min.

Frachten Brugman-Waschmaschine:

Foulard Wareneinlauf:

CSB-Fracht: 205 kg/h

Warengewicht: 2.300 kg/h

von der Schlichte stammender CSB (Annahme = 0,09 g O₂/g Stoff)

maximaler von der Schlichte stammender CSB = 180 kg/h

Die CSB-Fracht, die über die theoretische Schlichtemengenberechnung erhalten wurde, liegt deutlich unter der im Waschprozess ermittelten Fracht. Die CSB-Fracht im Abwasser der Waschmaschine enthält jedoch auch Faserbegleitstoffe. Die Differenz von 25 kg/h CSB-Fracht beträgt umgerechnet auf 1.000 kg/h Baumwolle 1,25%. Der Anteil natürlicher organischer Begleitstoffe kann bis zu 3,5% betragen. Es kann daher angenommen werden, dass der größte Teil der CSB-Fracht, die im Waschprozess auf der großen Brugman-Waschmaschine in das Abwasser gelangt, von der Schlichte verursacht wird.

Foulard Warenauslauf:

CSB-Fracht: 2,3 kg/h

Warengewicht: 2.300 kg/h

Abquetscheffekt: 55%, entsprechend 1.100 L/h werden von Ware hinausgetragen
Die darin enthaltene CSB-Fracht beträgt: 0,6 kg/h (= 0,2% der Schlichte, durchschnittlich)

2.3 Küsters Waschmaschine

Warendurchlauf:	15.000 m/Tag, 3 h/Tag
Waregeschwindigkeit:	100 m/min
Warengewicht:	ca. 285 g/m ²
Warenbreite:	ca. 1,5 m
Ablassen:	1-mal/Tag

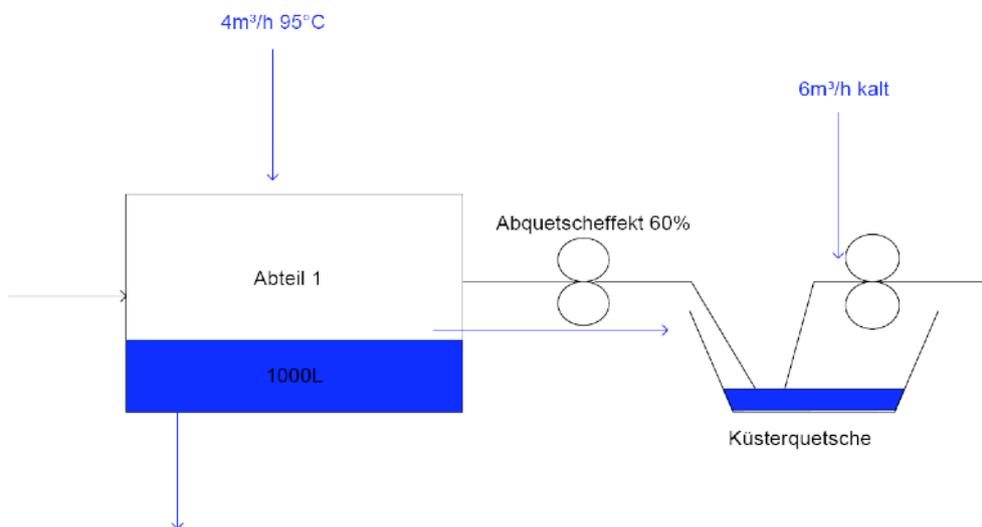


Abbildung 5: Prozessbedingungen für die Küsters-Waschmaschine

An der Küsters Waschmaschine reichert sich das Bad in kurzer Zeit an und erreicht eine CSB-Konzentration von ca. 25.000 mg O₂/L. Bei einem Partiewechsel nimmt die CSB-Konzentration ab, um dann zu Beginn einer neuen Partie wieder anzusteigen. Der durchschnittliche Wert der CSB-Konzentration liegt bei 22.000 mg O₂/L. Der Verlauf der CSB-Konzentration mit der Zeit weist darauf hin, dass während eines Partiewechsels der Wasserzufluss nicht unterbrochen wird. Da die Ware beim Auslauf aus dem Waschabteil 60% Waschwasser mitnimmt (Carry-Over) und anschließend nur noch ein kurzer Tauchvorgang an der „Küsterquetsche“ erfolgt, ist davon auszugehen, dass mit dem mit der Ware mitgenommenen Wasser ein erheblicher Teil der organischen Fracht mitgenommen wird. Je nachdem, welcher Prozessschritt folgt, kann es zu einem schwer einzuschätzenden „Übergang“ dieser Stoffe kommen, der sich als Verunreinigung oder auch Emission darstellt. Auch bei diesem – kurzen – Waschprozess treten Schwankungen in der CSB-Konzentration auf, wie die nachfolgende grafische Darstellung der CSB-Konzentration in Abhängigkeit von der Zeit im Waschbad zeigt (Abb. 6).

(Bei 285 g/m² ist die Menge des mitgenommenen Waschwassers bei 60% Abquetscheffekt 170 g Wasser, die bei 20.000 mg O₂/L CSB-Konzentration zu einer organischen Fracht von 3,4 g/m² Ware führen).

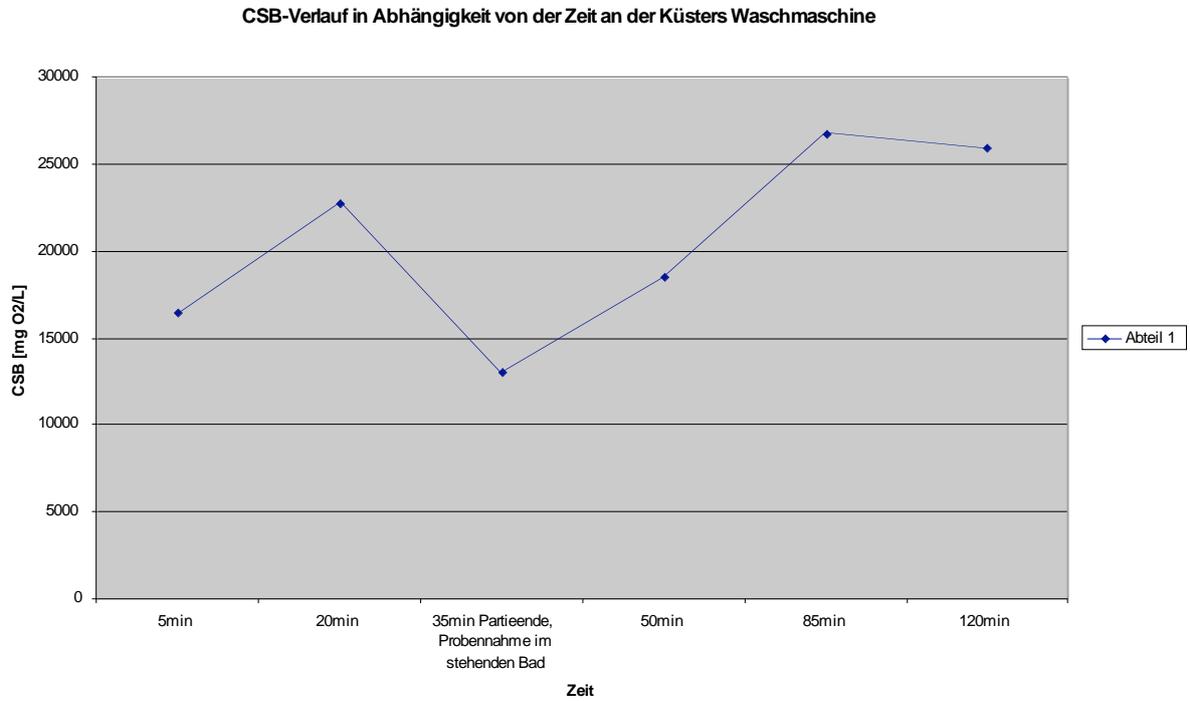


Abbildung 6: CSB-Konzentration des ersten Bades der Küsters-Waschmaschine

2.4 Zusammenfassende Darstellung der CSB-Frachten aus der Nassveredlung

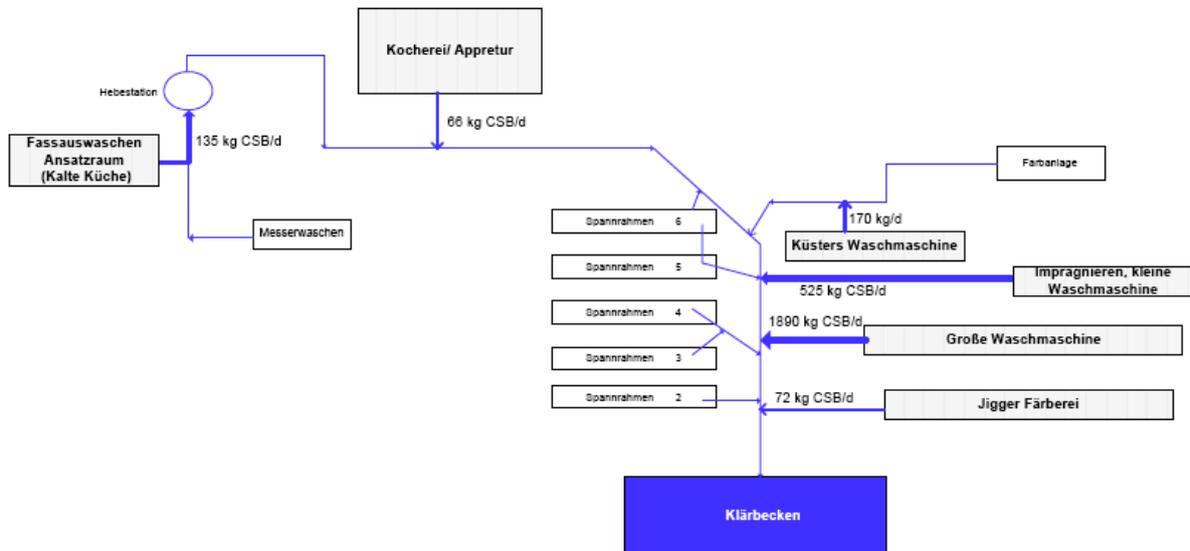


Abbildung 7: CSB-Frachten aus den einzelnen Teilströmen (Mehrfachbeprobung der einzelnen Teilströme, Ausführung durch die BUW)

Insgesamt beträgt die CSB-Tagesfracht:	2.858 kg/d	100%	185 m ³ /d
Anteil Küsters Waschmaschine:	170 kg/d	6%	30 m ³ /d
Anteil Impragnieren/kleine Brugman Waschmaschine:	525 kg/d	18%	24 m ³ /d
Anteil Waschprozess/große Brugman Waschmaschine:	1.890 kg/d	66%	98 m ³ /d
Anteil Jiggerfärberei:	72 kg/d	3%	30 m ³ /d
Anteil Kocherei/Appretur (Spülen der Aggregate):	66 kg/d	2%	< 1 m ³ /d
Anteil Fassaushwaschen, Ansatz Pasten („Kalte Küche“):	135 kg/d	5%	2 m ³ /d

Das Abwasser aus der Jiggerfärberei ist nur gering farbig. Die Farbigekeit wird im aeroben biologischen Klärprozess erfahrungsgemäß vollständig eliminiert, da es sich bei den Direkt- und Säurefarbstoffen, die in dieser Färberei im Wesentlichen eingesetzt werden, um „gut am Klärschlamm adsorbierbare Farbstoffe“ handelt.

Tagesfrachten insgesamt (Basis: chemische Analysen von qualifizierten Stichproben, entnommen von den einzelnen Teilströmen, bwl, Wuppertal):

N _{ges} :	40 kg/d
P _{ges} :	3 kg/d
CSB	3.750 kg/d
BSB ₅	1.310 kg/d

Die Ergebnisse der Abwasseruntersuchungen für die drei Vorbehandlungsteilströme als Hauptlieferanten von CSB-Fracht sind in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammengestellt.

Parameter	Einheit	Küsters Wasch- maschine	kleine Brugman Imprägnierung	große Brugman Auswäsche
TOC	mg/L	5.697	6.370	9.300
DOC	mg/L	5.487	5.300	9.090
Stickstoff ges. geb.	mg/L	222	122	264
CSB	mg/L	15.600	16.600	28.500
BSB ₅	mg/L	8.740	10.100	8.150
abfiltrierbare Stoffe	mg/L	288	530	5.680
Trockenrückstand	Gew. %	1,7	1,65	2,7
Phosphor ges.	mg/L	36,8	4,29	17,5

Tabelle 3: Analysenwerte zu den drei Vorbehandlungsteilströmen der Vorbehandlung. Probenahme erfolgte durch BUW als qualifizierte Stichprobe. Analytische Untersuchung durch das bwl Wuppertal

3 Energiebilanzierung zur Vorbehandlung

3.1 Energiebilanzierung am Beispiel der Waschprozesse auf der großen Brugman-Waschmaschine

Für eine Optimierung der Prozesse, die mit der Entnahme von CSB-Frachten einhergehen muss, ist eine Betrachtung des Wärmeenergiehaushaltes erforderlich. Diese wird an einem „Durchschnittsprozess“ durchgeführt.

Warengeschwindigkeit/min:	90 m/min
Warendaten:	285 g/m ² , 1,5 m breit
Warengewicht/Zeiteinheit:	38 kg/min
Warenlänge pro Tag:	50.000 m/d
Warengewicht pro Tag:	21.375 kg/d
Reine Laufzeit:	9,25 h
Stillstandzeit:	5,75 h
Ablassen:	1-mal täglich
Frischwassertemperatur:	20°C
Prozesstemperatur:	80°C

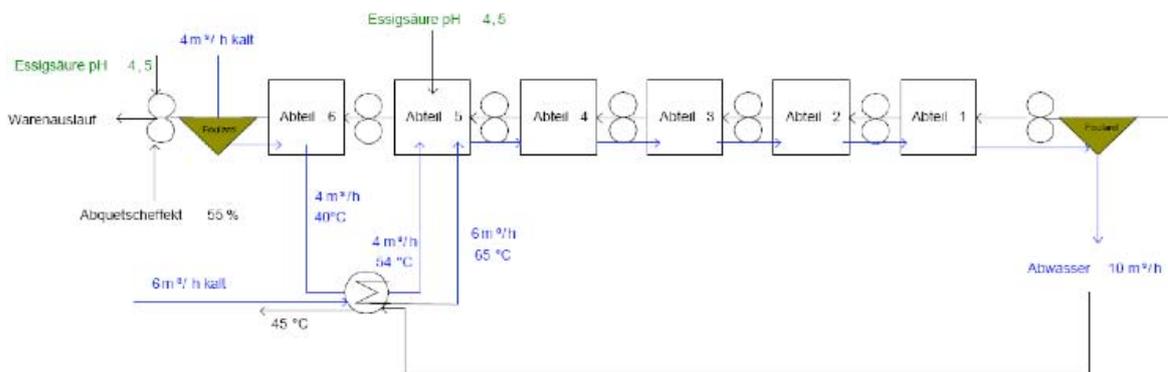


Abbildung 8: Wassermengen und Temperatur der Wasserströme an der Brugman-Waschmaschine

Das Abwasser aus dem Foulardeinlauf wird in zwei Teilströmen, 2 m³/h und 8 m³/h, über den Wärmetauscher geleitet. Dabei wird über den großen Teilstrom 6 m³/h Frischwasser aufgeheizt, was zur Kufe 5 geleitet wird, und über den kleinen Teilstrom 4 m³/h Abwasser von der Kufe 6, das ebenfalls zur Kufe 5 weitergeleitet wird.

Es wurden die Temperaturen der verschiedenen Teilströme gemessen.

Der große Abwasserstrom von 8 m³/h wird von 80°C auf 45°C abgekühlt, dabei wird das Frischwasser zu Abteil 5 von 18°C auf 65°C aufgeheizt.

Der kleine Abwasserteilstrom von 2 m³/h wird von 80°C auf 35°C abgekühlt, dabei wird das Abwasser der Kufe 6, das weiter nach Kufe 5 geleitet wird, von 40°C auf 54°C aufgeheizt.

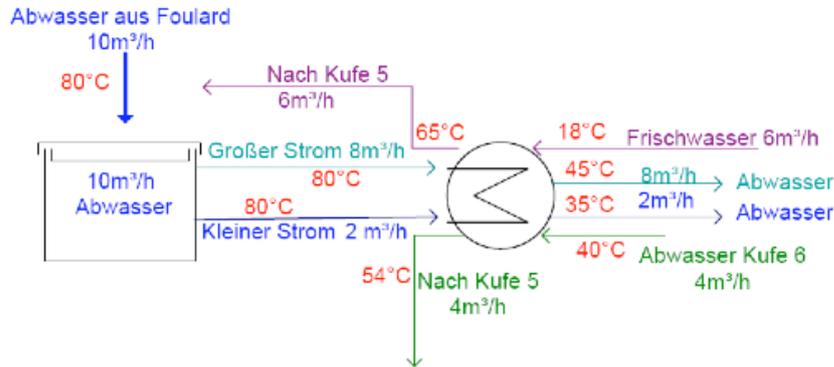


Abbildung 9: Wassermengen und Temperatur der Wasserströme des Wärmetauschers

Aus diesen Werten lässt sich der Wirkungsgrad des Wärmetauschers ermitteln:

Großer Abwasserteilstrom, 8 m³/h:

$$Q_{\text{Abwasser, 8 m}^3/\text{h}} \quad (\text{Abkühlen von } 80^\circ\text{C auf } 45^\circ\text{C})$$

$$= 8\,000 \text{ kg} \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} \cdot 35 \text{ K} = \underline{1.170 \text{ MJ/h}}$$

$$Q_{\text{Frischwasser, 6.000 L/h}} \quad (\text{Aufheizen von } 20^\circ\text{C auf } 65^\circ\text{C})$$

$$= 6.000 \text{ kg} \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} \cdot 45 \text{ K} = \underline{1.130 \text{ MJ/h}}$$

Kleiner Abwasserteilstrom, 2 m³/h

$$Q_{\text{Abwasser, 2 m}^3/\text{h}} \quad (\text{Abkühlen von } 80^\circ\text{C auf } 35^\circ\text{C})$$

$$= 2.000 \text{ kg} \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} \cdot 45 \text{ K} = \underline{376 \text{ MJ/h}}$$

$$Q_{\text{Wasser von Kufe 6, 4 m}^3/\text{h}} \quad (\text{Aufheizen von } 40^\circ\text{C auf } 54^\circ\text{C})$$

$$= 4.000 \text{ kg} \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} \cdot 14 \text{ K} = \underline{234 \text{ MJ/h}}$$

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{Q_{\text{Frischwasser1}} + Q_{\text{Frischwasser2}}}{Q_{\text{Abwasser } 8 \text{ m}^3/\text{h}} + Q_{\text{Abwasser } 2 \text{ m}^3/\text{h}}} \cdot 100\% = \mathbf{88 \%}$$

Das durch den Wärmetauscher auf 65°C aufgeheizte Frischwasser sowie das von der Kufe 6 kommende aufgeheizte Wasser von 54°C, muss durch Dampf auf die Betriebstemperatur von 85°C nachgeheizt werden, bevor es in Kufe 5 geleitet werden kann.

Erforderliche Energie zum Nachheizen mit Dampf

Teilstrom 1: 6 m³/h von 65°C auf 80°C

Teilstrom 2: 4 m³/h von 54°C auf 80°C

$$Q_1 = 6.000\text{kg/h} \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} \cdot 15 \text{ K} = 375 \text{ MJ/h}$$

$$Q_2 = 4.000\text{kg/h} \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} \cdot 26 \text{ K} = 435 \text{ MJ/h}$$

810 MJ/h müssen aufgebracht werden, um das Wasser für die große Brugman-Waschmaschine auf Betriebstemperatur aufzuheizen.

Entsprechend: **225 kW/h** oder: **350 kg Dampf/h**

Die spezifischen Wärmeenergiewerte sind daraus abgeleitet:

81 MJ/m³ Frischwasser bzw. **22,5 kW/m³** bzw. **35 kg Dampf/m³**

380 kJ/kg Ware bzw. **0,10 kWh/kg Ware** bzw. **0,2 kg Dampf/kg Ware**

Diese Werte gelten unter optimalen Bedingungen, die insbesondere von der Sauberkeit des Wärmetauschers abhängig sind.

3.2 Darstellung des Energiebedarfes für alle Prozesse der Vorbehandlung

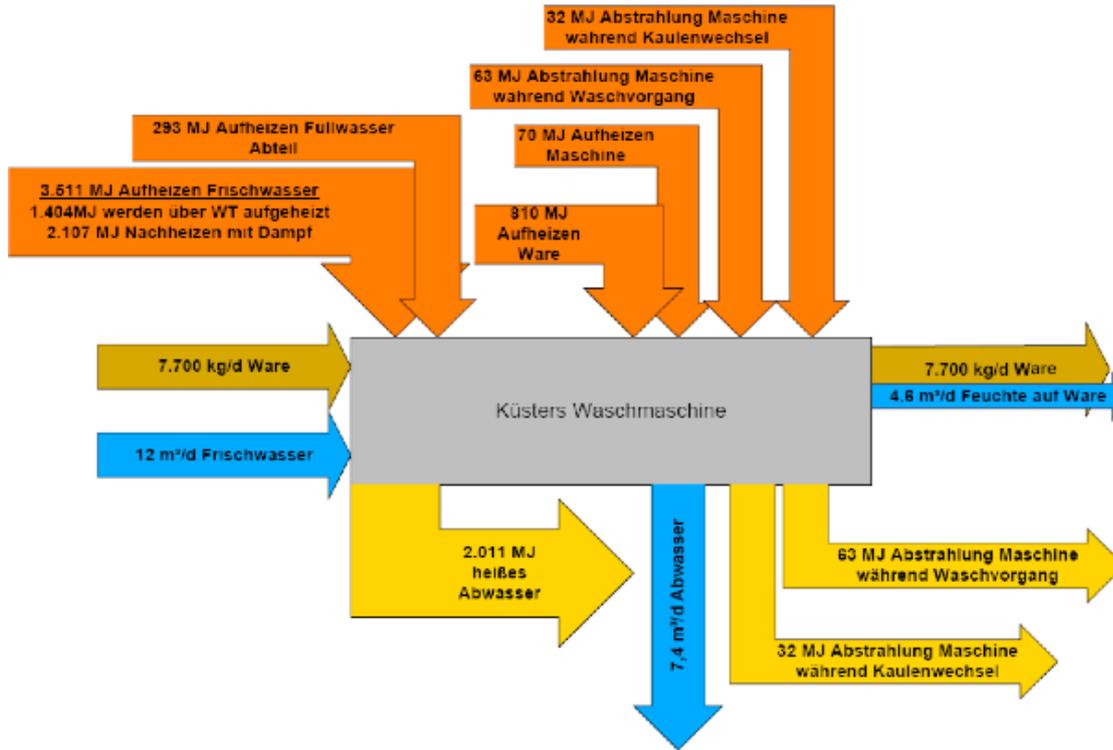
Der vorgeschaltete Prozess der Imprägnierung auf der kleinen Brugman-Waschmaschine sowie der Verweilprozess in der Pad-Roll-Kammer werden ebenfalls bei höheren Temperaturen durchgeführt. Auch der Waschprozess auf der Küsters Waschmaschine erfolgt bei einer höheren Waschtemperatur. Die Wärmeenergie, die bei den Prozessen jeweils erforderlich ist, ist in der nachfolgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt.

Maschine	max. Prozesstemperatur	Prozessbedingungen	Wärmebedarf/Tag	spezifischer Wärmebedarf
Küsters-Waschmaschine	95°C	7.700 kg Ware/d 12,5 m ³ Wasser/d WT: bis ca. 55°C Laufzeit: 3,0 h/d	3.374 MJ 1.606 kg Dampf 937 kW	0,44 MJ/kg Ware
kleine Brugman-Waschmaschine	80°C	21.375 kg Ware/d 40 m ³ Wasser/d WT: bis ca. 50°C Laufzeit: 9,25 h/d	7.679 MJ 3.657 kg Dampf 2.133 kW	0,36 MJ/kg Ware
Pad-Roll-Kammer	95°C	21.375 kg Ware/d 10 Dockenwagen/d Verweildauer: 2 h	2.303 MJ 1.096 kg Dampf 639 kW	0,11 MJ/kg Ware
große Brugman-Waschmaschine	80°C	21.375 kg Ware/d 97,5 m ³ Wasser/d WT: bis ca. 60°C Laufzeit: 9,25 h/d	9.435 MJ 4.100 kg Dampf 2.620 kW	0,44 MJ/kg Ware

Tabelle 4: Zusammenfassung der Wärmeenergiedaten zu den drei Vorbehandlungsprozessen (Frischwasser-, Waren- und Lufttemperatur: 25°C)

Der hohe spezifische Wärmebedarf, der kennzeichnend für die Waschprozesse auf der mit nur einem Waschabteil sehr kurzen Küsters-Waschmaschine ist, beruht auf der geringen Nutzung und dem hohen Anteil an Stillstandzeit (1,5 Stunden gegenüber 3 Stunden Prozessdauer). Die Waschwirkung liegt wegen der kurzen Behandlungszeit und der damit begrenzten mechanischen Wascharbeit bei 60 bis 70%. Das Waschwasser weist eine CSB-Konzentration auf, die zwischen 15.000 und 30.000 mg O₂/L liegt.

Nachfolgend werden für alle drei Vorbehandlungsprozesse das Energieflussdiagramm und die relative Verteilung der benötigten Wärmeenergie dargestellt. Alle Berechnungen basieren auf einer theoretischen Betrachtung ohne Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Wärmetauscher.



Prozentualer Anteil der benötigten Wärmemenge der einzelnen Prozessstufen zum Schlichteauswaschen an der Küsters Waschmaschine

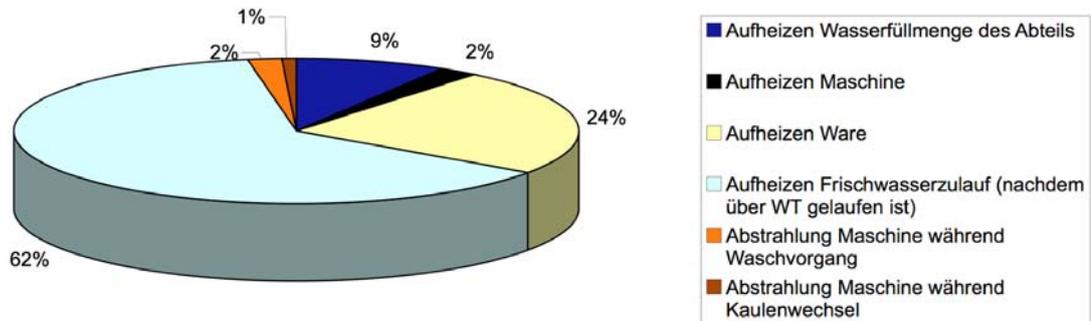
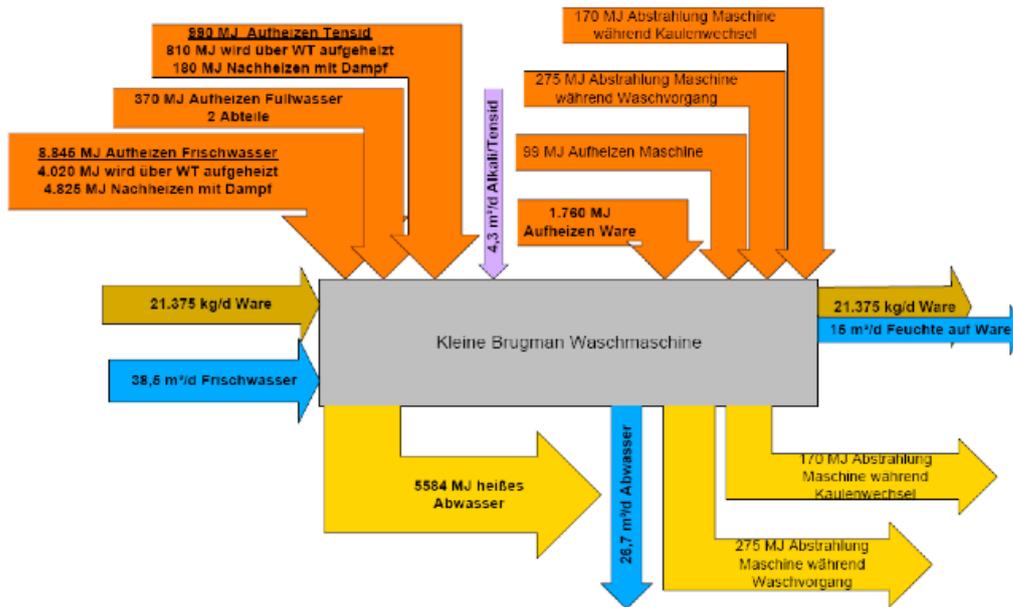


Abbildung 10: Energieflussdiagramm und relative Verteilung des Wärmeenergiebedarfes für den Waschprozess auf der Küsters-Waschmaschine



Prozentualer Anteil der benötigten Wärmemenge der einzelnen Prozessstufen zum Schlichteauswaschen an der kleinen Brugman Waschmaschine

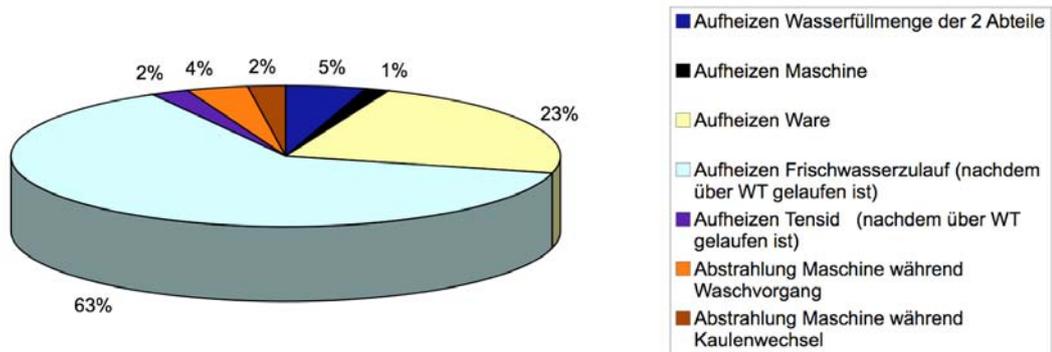
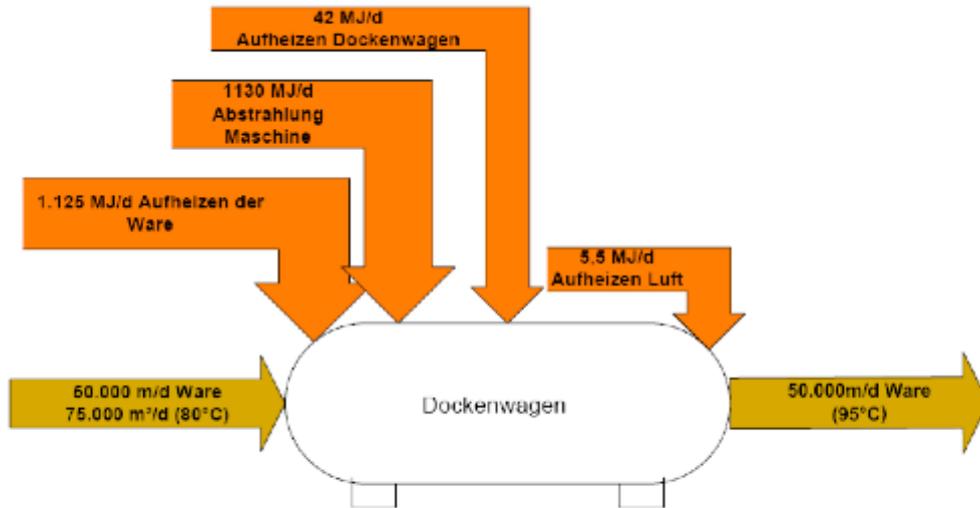


Abbildung 11: Energieflussdiagramm und relative Verteilung des Wärmeenergiebedarfes für den Imprägnierprozess auf der kleinen Brugman-Waschmaschine



Prozentualer Anteil der benötigten Wärmemenge der verschiedenen Prozessstufen am Dockenwagen

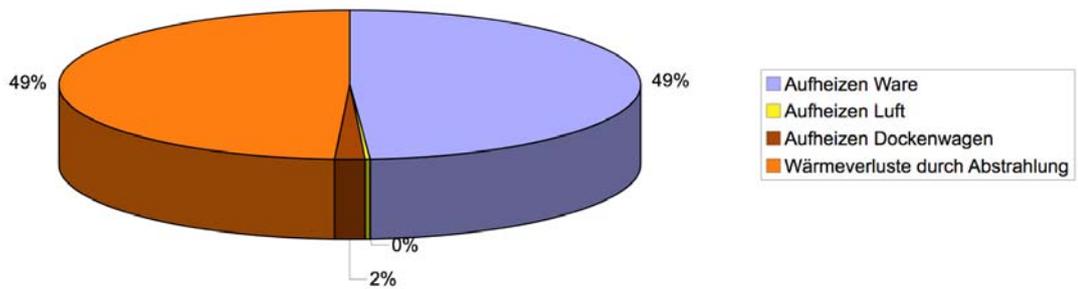
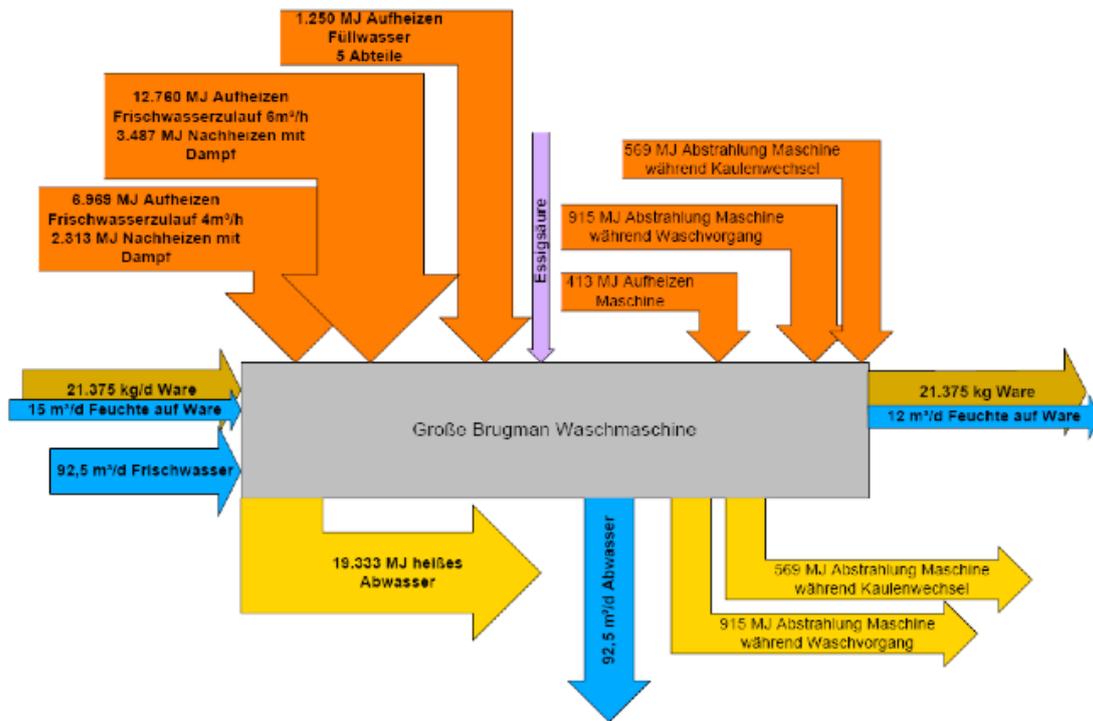


Abbildung 12: Energieflussdiagramm und relative Verteilung des Wärmeenergiebedarfes für den Verweilprozess auf der Pad-Roll



Prozentualer Anteil der benötigten Wärmemenge der einzelnen Prozessstufen zum Schlichteauswaschen an der großen Brugman Waschmaschine

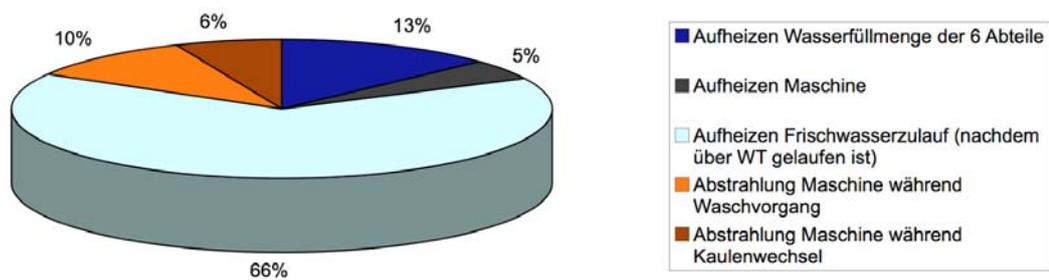


Abbildung 13: Energieflussdiagramm und relative Verteilung des Wärmeenergiebedarfes für den Waschprozess auf der großen Brugman-Waschmaschine

Prozentualer Anteil der benötigten Wärmemenge der drei untersuchten Waschmaschinen sowie des Dockenwagens

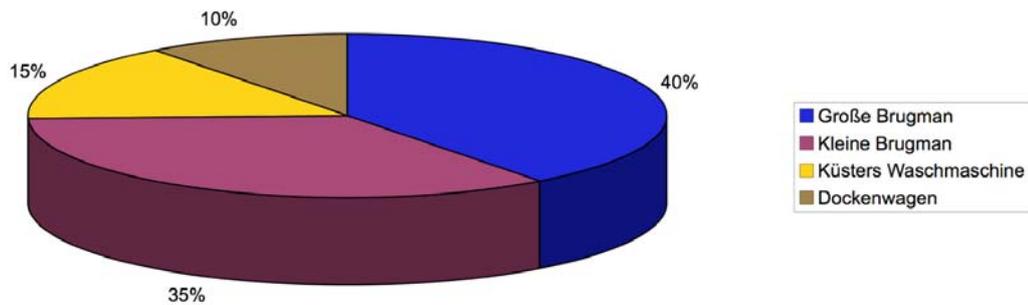


Abbildung 14: Relative Verteilung des Wärmeenergiebedarfes für alle Prozesse der Vorbehandlung

Der hohe Wärmeenergiebedarf für die Imprägnierprozesse auf der kleinen Brugman-Waschmaschine überrascht zunächst. Er ist jedoch direkt vergleichbar mit dem Wärmeenergiebedarf für den nachfolgenden Waschprozess auf der großen Brugman-Waschmaschine, da es sich um dieselbe Warenmenge und eine identische Prozessdauer handelt. Unterschiede bestehen in der Wassermenge (+ 15% für die Auswaschprozesse).

Die Hälfte der gesamten Wärmeenergie wird für den Imprägnier- und den Verweilprozess benötigt. Hier besteht das größte Einsparpotenzial (ca. 0,5 MJ/kg Ware; siehe hierzu Tabelle 4), wenn es gelingt, diesen Prozess durch einen Kalt-Imprägnier- und -Verweilprozess zu ersetzen (ohne „Vorwäsche“).

Der hohe Wasserverbrauch auf der großen Brugman-Waschmaschine für den Auswaschprozess stellt gleichzeitig den größten Anteil am Wärmeenergiebedarf dar. Eine Reduktion, die durch eine Prozessoptimierung möglich sein sollte, müsste gleichzeitig auch zu einer entsprechenden Reduktion des Energiebedarfs führen.

4 Darstellung der Untersuchungen zur Filtration der Waschwässer

Im ersten Teil der Untersuchungen zur Membranfiltration des Abwassers aus den Imprägnier- und Waschprozessen wurde zunächst eine größere Membrananlage, die in einem Container untergebracht war, an die Brugman-Waschmaschine angeschlossen. Ziel war die Entnahme einer größeren Menge an CSB-Fracht. Die Trenngröße der Keramikmembran lag bei 20 kD. Dies erschien ausreichend, um die überwiegend polymeren Schlichtemittel, die im Waschprozess abgelöst werden, zurückzuhalten. Da sich aus den Vorversuchen ergeben hatte, dass die CSB-Hauptfracht an der großen Brugman-Waschmaschine anfällt, wurde zunächst dieses Abwasser für die Filtrationsversuche herangezogen. Bei einer Membranfläche von $7,3 \text{ m}^2$ und einer erwarteten Filtrationsrate von durchschnittlich $200 \text{ L/m}^2\text{h}$ konnte davon ausgegangen werden, dass ca. $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ Waschwasser (entsprechend 15%) gereinigt werden und damit eine CSB-Frachtreduktion von mindestens 30 kg/h möglich sein müsste. Im zweiten Teil der Untersuchungen wurde eine kleine Pilotanlage der Firma A3, die ebenfalls mit einer Keramikmembran jedoch mit einer Trenngrenze bzw. Porosität von $0,01 \mu\text{m}$ und einer Membranfläche 11 m^2 ausgestattet war, an das Abwasser der kleinen Brugman-Waschmaschine angeschlossen (vor dem Wärmetauscher). Beide Filtrationsanlagen wurden nach dem Cross-Flow-Verfahren betrieben.

4.1 Einsatz der großen UF-Pilotanlage zur Filtration des Waschwassers von der großen Brugman-Waschmaschine

Aufgrund der Ergebnisse der Teilstromanalysen wurde eine Ultrafiltrationsanlage der Firma A3 mit einer Membranfläche von $7,3 \text{ m}^2$ an das Abwasser der großen Brugman-Waschmaschine angeschlossen. Das Abwasser durchläuft einen Wärmetauscher, bevor es in die innerbetriebliche Kanalisation geht. Für die UF-Versuche wurde zunächst der Abwasserteilstrom nach dem Wärmetauscher entnommen (Temperatur ca. 45°C). Später wurde das Abwasser vor dem Wärmetauscher für die UF entnommen (Temperatur ca. 75°C).

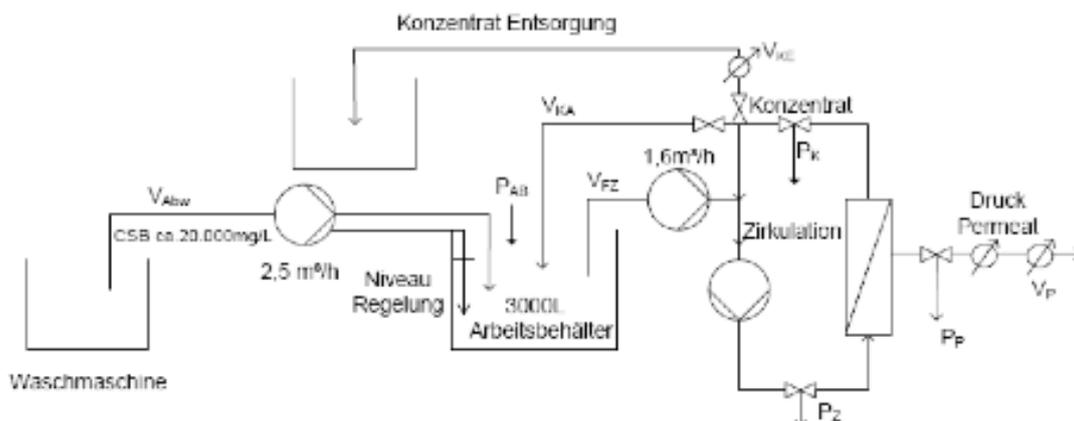


Abbildung 15: Schema zur Ultrafiltration „Große Anlage“ mit $7,3 \text{ m}^2$ Filterfläche

Es wurden wöchentlich mehrere Versuche während des Waschbetriebes durchgeführt. Regelmäßig erfolgte eine Reinigung der Anlage und insbesondere der Membran. Vor und nach jedem Versuch wurden hierfür mindestens zwei Stunden Zeit benötigt, um die Anlage mit Wasser und alkalischem bzw. saurem Reiniger (bzw. Natronlauge und Zitronensäure) zu spülen. Gegen Frischwasser (das durch Reste der in der Anlage von der Reinigung noch vorhandenen Wassers verunreinigt wurde) wurde der Zustand der Membran hinsichtlich der Membranleistung (L/h) getestet. Dieser so genannte **Wasserwert** betrug nach einer optimalen Reinigung bis **4.500 L/h**.

Energiebedarf:

Von der Versuchsanlage wurde der Energieverbrauch aufgezeichnet. Allerdings war an den Stromzähler ebenfalls ein Heizlüfter angeschlossen.

Aufzeichnung vom 21.-23.11.:

Zeit: 41 h, Verbrauch 452 kWh

Betrieb der UF-Anlage 13 h, (zusätzlich ca. 11 h im Stand-By-Modus)

Annahme: Heizlüfter verbraucht 2 kW und hatte eine Laufzeit von 100% der Zeit

Heizlüfter verbraucht daher: 82 kWh

Energiebedarf der UF-Anlage = (452 – 82 =) 370 kWh für 13 h Betrieb + 11 h Stand-By-Modus

Energiebedarf der Anlage mindestens 15 kWh pro Stunde Betrieb.

<i>Parameter</i>	<i>untere und obere Grenzen</i>	<i>Durchschnittswert</i>
Dauer der Versuche/min	225 – 360	275
durchschnittliche Filtratleistung/L·h ⁻¹	1.260 – 1.800	1.470
spez. Filtratleistung/L·m ⁻² ·h ⁻¹	173 – 247	202
Permeabilität/L·m ⁻² ·h ⁻¹ ·bar ⁻¹	34 – 63	45
abgeführte Konzentratmenge/L·h ⁻¹	200 – 1.500	950
CSB-Konzentration Abwasser/mg·L ⁻¹	15.000 – 28.000	20.300
CSB-Konzentration Konzentrat/mg·L ⁻¹	32.000 – 80.000	48.900
abgeführte CSB-Fracht/kg·h ⁻¹ (i.v.H.)		46,5 (20%)

Tabelle 5: Zusammenfassung der Ultrafiltrationsversuche, ausgeführt mit der großen Pilotanlage am Abwasser aus der großen Brugman-Waschmaschine
 Temperatur des Abwassers im Zulauf zur UF-Anlage: Ø 50°C
 Durchschnittliche Druckdifferenz: 3-5 bar
 Membranfläche: 7,3 m², 20 kD, Keramik

Ein Versuch wurde mit vergleichbaren Ergebnissen über eine Dauer von 14 Stunden durchgeführt.

Nachfolgende Abbildungen beschreiben den Versuchsablauf, wie er üblicherweise vorlag.

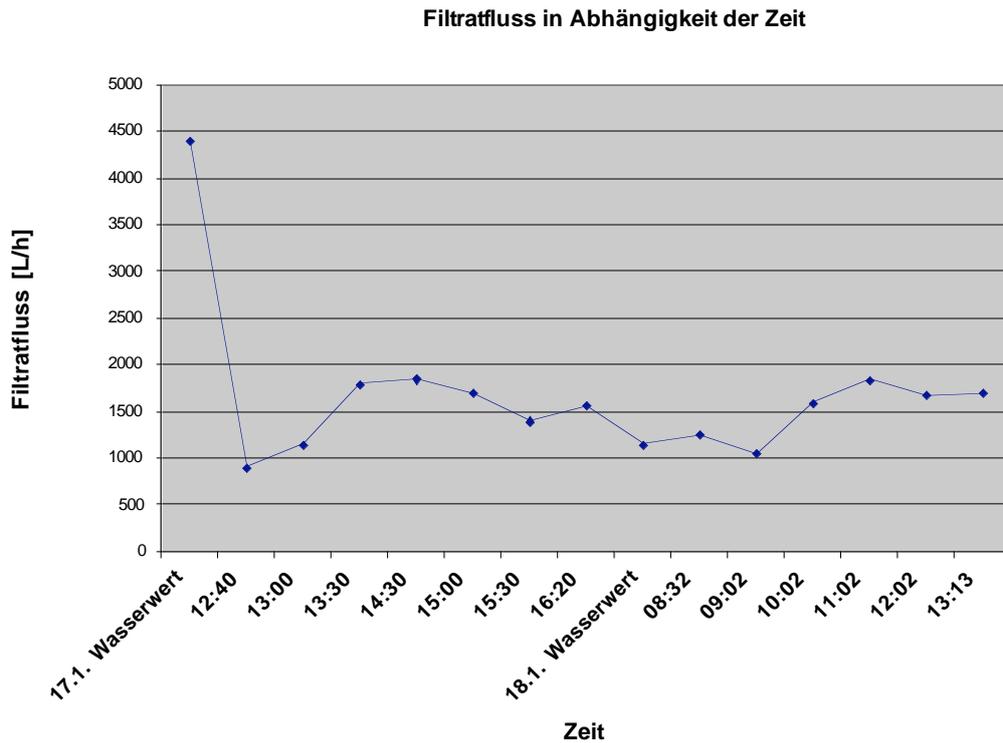


Abbildung 16: Verlauf des Filtratflusses mit der Zeit (Abwassertemperatur: 50°C, Differenzdruck: 5 bar)

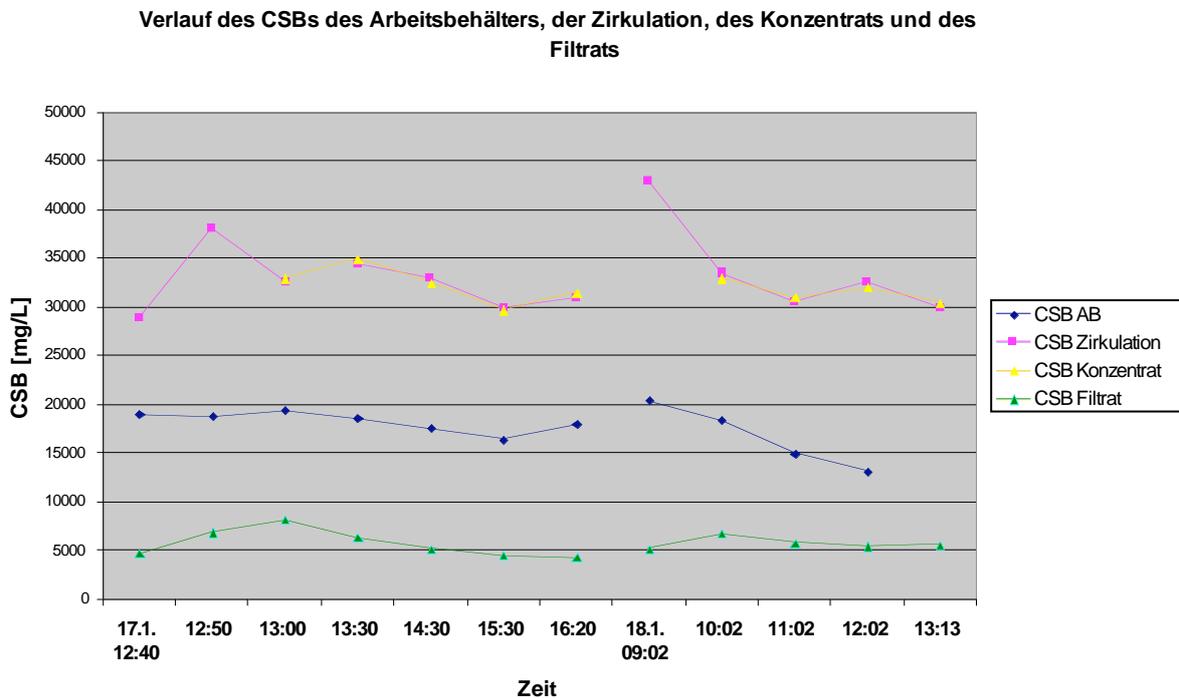


Abbildung 17: Änderung der CSB-Konzentration vom Abwasser (AB), vom Feed in der Zirkulation, vom Konzentrat und vom Filtrat über die Dauer der Ultrafiltration

Der Filtratfluss sank bei fast allen Versuchen innerhalb von ein paar Stunden auf die Hälfte. Bei allen Versuchen wurde deutlich, dass das Abwasser die Membran zu schnell zusetzt.

Durch Umlegen der Zuflusspumpe in den Trog der Waschmaschine konnten weitere Versuche bei einer höheren Abwassertemperatur durchgeführt werden.

Parameter	untere und obere Grenzen	Durchschnittswert
Dauer der Versuche/min	240 – 300	270
durchschnittliche Filtratleistung/L·h ⁻¹	1100 – 1.600 (3300)	1.350
spez. Filtratleistung/L·m ⁻² ·h ⁻¹	151 – 219 (452)	202
Permeabilität/L·m ⁻² ·h ⁻¹ ·bar ⁻¹	39 – 68 (116)	54
abgeführte Konzentratmenge/L·h ⁻¹	(600)	
CSB-Konzentration Abwasser/mg·L ⁻¹	14.500 – 20.000	17.500
CSB-Konzentration Konzentrat/mg·L ⁻¹	33.500 – 59.000	51.000
abgeführte CSB-Fracht/kg·h ⁻¹ (i.v.H.)		(20%)

Tabelle 6: Zusammenfassung der Ultrafiltrationsversuche, ausgeführt mit der großen Pilotanlage am Abwasser aus der großen Brugman-Waschmaschine, In Klammern: (Extremfall)
 Temperatur des Abwassers im Zulauf zur UF-Anlage: Ø 70°C
 Durchschnittliche Druckdifferenz: ca. 4 bar
 Membranfläche: 7,3 m², 20 kD, Keramik

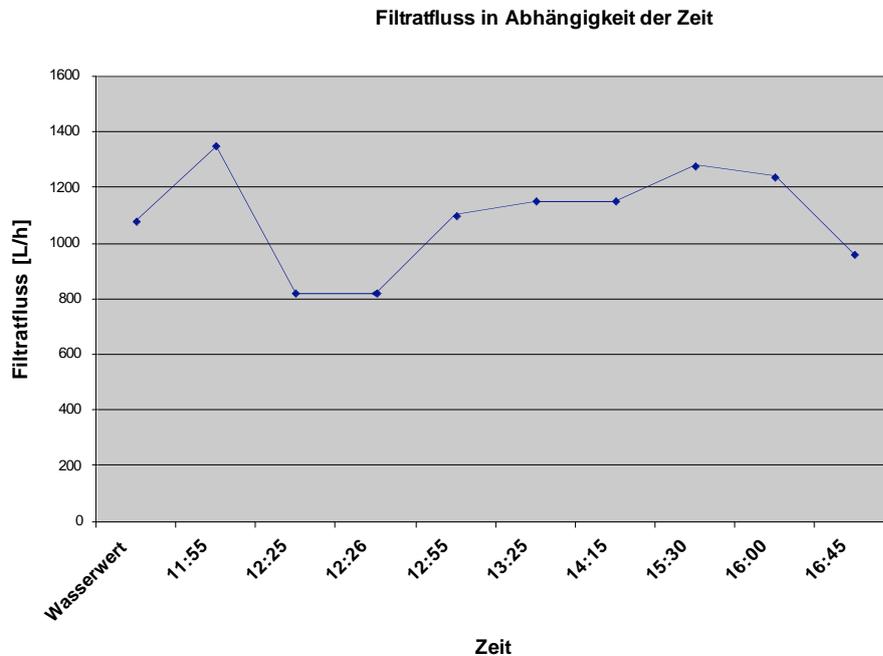


Abbildung 18: Verlauf des Filtratflusses mit der Zeit (Abwassertemperatur: 70°C, Differenzdruck: 4 bar)

In einem abschließenden Versuch mit der Großanlage wurde das Ziel verfolgt, das Abwasser, das der UF-Anlage vorgelegt wird, vor dem Wärmetauscher zu entnehmen, so dass eine Temperatur von ca. 80°C während der Filtration eingehalten werden konnte. Damit sollten realistische Bedingungen zum prozessnahen Einsatz eingestellt werden. Der Versuch lief über 5 Stunden. Das Konzentrat wurde wieder zurück in den Vorlagenbehälter geführt. Während des Versuchs wurden ca. 7 m³ Filtrat ausgeschleust.

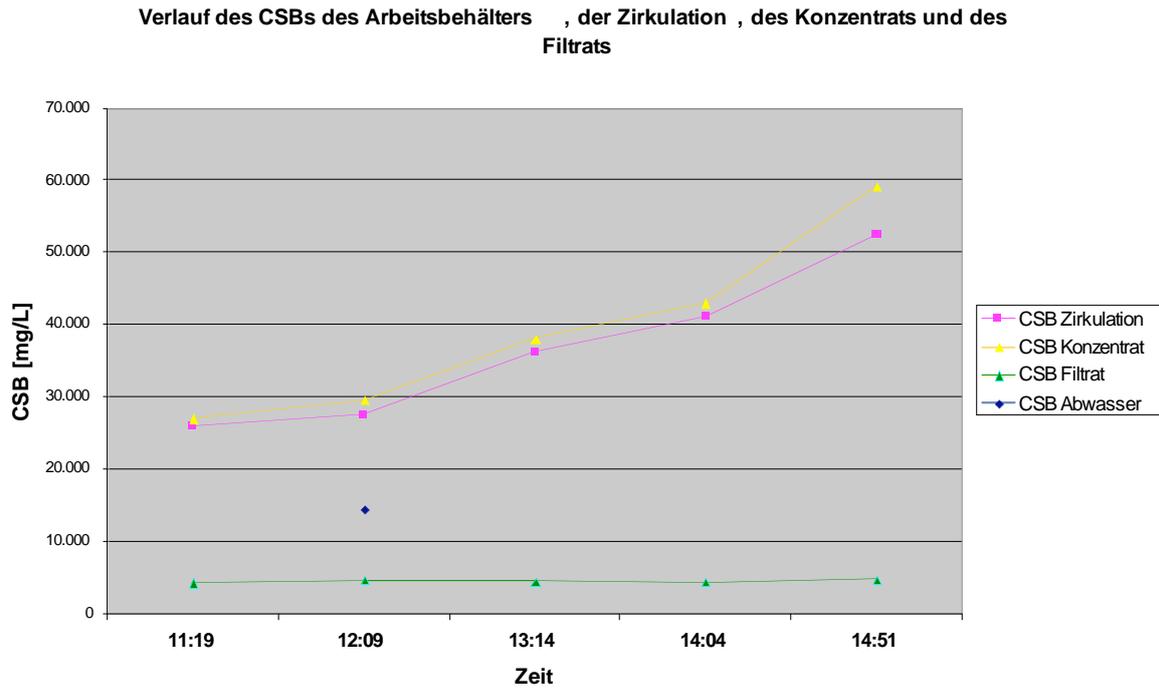


Abbildung 19: Änderung der CSB-Konzentration des Feed in der Zirkulation, des Konzentrats und des Filtrats über die Dauer der Ultrafiltration des Filtrationsversuches bei 70°C Abwassertemperatur im Zufluss zur Ultrafiltration. Die Konzentration des Abwassers, das kontinuierlich zugeführt wurde, betrug ca. 15.000 mg/L (in der Grafik nur als Punkt zum Messzeitpunkt 12:09 dargestellt).

Durch die Erhöhung der Temperatur des Abwasserzulaufs konnte die Permeabilität deutlich gesteigert werden (+ 20%).

Nachteilig ist der Umstand, dass die CSB-Konzentration im Filtrat bei ca. 6.000 bis 8.000 mg/L liegt. Diese hohe Belastung des Filtrates macht eine Wiederverwendung im Waschprozess unmöglich, was wegen der Beibehaltung der Temperatur prinzipiell erwünscht wäre (Einsparung von Wärmeenergie). Die CSB-Konzentration des Filtrates entspricht etwa der des ersten Waschbades.

4.2 Einsatz einer kleinen UF-Pilotanlage zur Filtration des Waschwassers aus dem ersten Abteil der kleinen Brugman-Waschmaschine

Um das Waschwasser aus dem Imprägnierprozess hinsichtlich einer Reinigung durch Ultrafiltration zu untersuchen, wurde eine kleine Ultrafiltrationsanlage der Firma A3 neben der Waschmaschine aufgestellt und an das erste Waschbad angeschlossen. Auf diese Weise war ein Betrieb der Anlage unter realen Waschttemperaturen möglich. Die Pilotanlage enthielt jedoch eine andere Keramikmembrane (Titanoxid-Membran) mit einer mittleren Porengröße von $0,01\ \mu\text{m}$. Die Membranfläche betrug $11,2\ \text{m}^2$, der Betriebsdruck $4,5\ \text{bar}$, die Betriebstemperatur konnte bis 95°C betragen und der Filtratfluss lag durchschnittlich bei $30\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bar})$.

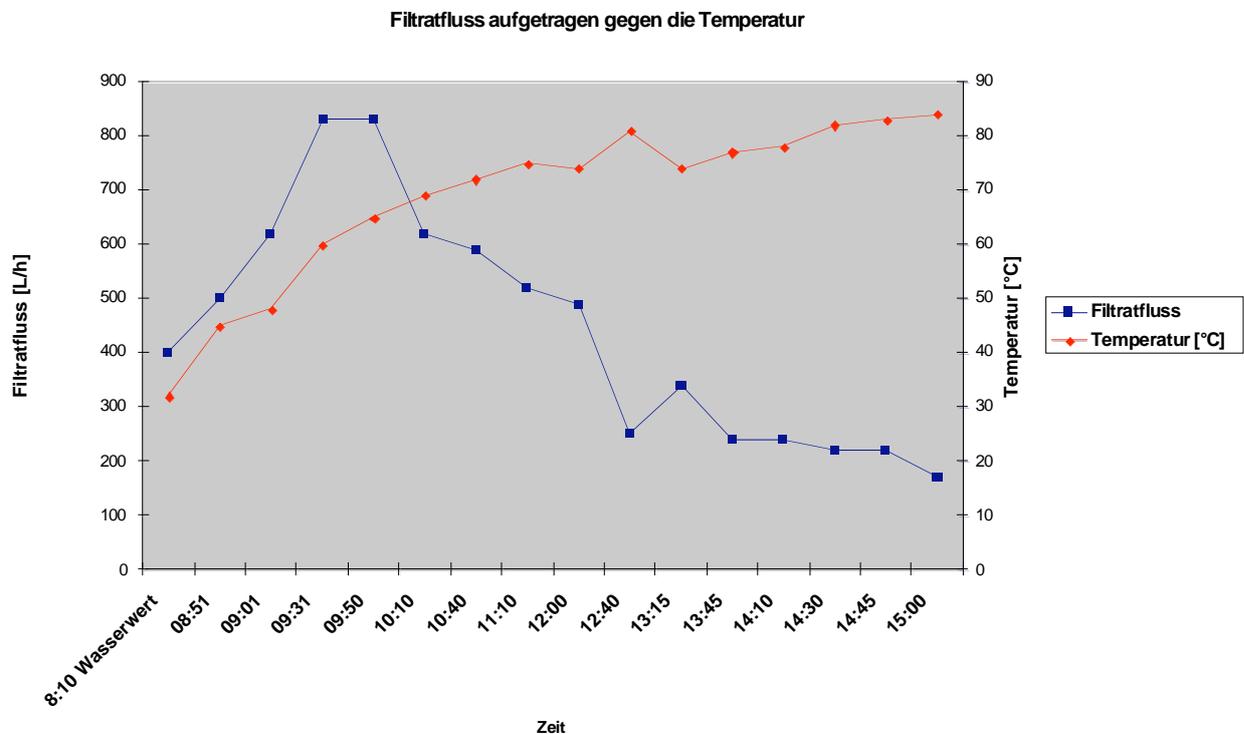


Abbildung 20: Änderung von Filtratfluss und Temperatur über die Dauer der Ultrafiltration mit der kleinen Pilotanlage bei maximaler Aufkonzentrierung (ohne Konzentratausschleusung)

Das Abwasser wird vor dem Wärmetauscher entnommen und über die Anlage geführt. Zunächst wird das Abwasser über ein Schüttelsieb in eine Pumpvorlage und von dort in den Arbeitsbehälter geführt, der ein Volumen von $670\ \text{L}$ aufweist.

Das Konzentrat wird komplett zurück in den Arbeitsbehälter geführt.

Der Wasserwert betrug $1.420\ \text{L/h}$ bei 32°C bzw. $1.715\ \text{L/h}$ bei $38,9^\circ\text{C}$ und einem Filtratdruck von $3,0\ \text{bar}$.

Zu Beginn der Versuche fiel der Filtratfluss schnell auf $940\ \text{L/h}$ bei einem Filtratdruck von $2,9\ \text{bar}$ und dann weiter auf $300\ \text{L/h}$ zum Ende des Versuchs ab.

Parameter	untere und obere Grenzen	Durchschnittswert
Dauer der Versuche/min	135 – 370	
durchschnittliche Filtratleistung/L·h ⁻¹	410 – 570	460
spez. Filtratleistung/L·m ⁻² ·h ⁻¹	37 – 52	42
Permeabilität/L·m ⁻² ·h ⁻¹ ·bar ⁻¹	19 – 28	22
abgeführte Konzentratmenge/L·h ⁻¹		
CSB-Konzentration Abwasser/mg·L ⁻¹	19.250 – 22.500	21.500
CSB-Konzentration Konzentrat/mg·L ⁻¹	55.000 – 148.000	
abgeführte CSB-Fracht/kg·h ⁻¹ (i.v.H.)		

Tabelle 7: Zusammenfassung der Ultrafiltrationsversuche, ausgeführt mit der kleinen Pilotanlage am Abwasser aus der kleinen Brugman-Waschmaschine
 Temperatur des Abwassers im Zulauf zur UF-Anlage: Ø 70°C
 Durchschnittliche Druckdifferenz: ca. 2 bar
 Membranfläche: 11 m², 0,01 µm, Keramik

Bei allen Versuchen mit der kleinen Pilotanlage wurde das Konzentrat immer zurück in den Arbeitsbehälter geführt, so dass es zu einer Aufkonzentrierung kam. Die (überhaupt) höchste Konzentration, die mit 148.000 mg O₂/L CSB durch die Ultrafiltration des Abwassers erzielt wurde, lässt das Potenzial erkennen, das mit dieser Filtrationstechnik einhergeht. Es ist jedoch zu beachten, dass das zirkulierende Konzentrat mit zunehmender Konzentration eine steigende Viskosität aufweist und gleichzeitig das Rückhaltevermögen und auch die Permeabilität abnimmt. Es kommt zu einer Abnahme der Filtratrate, einer Zunahme der Temperatur in der Zirkulation (siehe auch vorangehende Abbildung 19, die hohe Temperatur wirkt sich günstig auf ein Absenken der Viskosität aus) und einem Anstieg der CSB-Konzentration im Filtrat auf einen maximalen Wert von 6.500 mg O₂/L.

Auch die kleine Anlage wurde an einen Stromzähler angeschlossen. Die Leistungsaufnahme beträgt 12 kW.

Ein Vergleich der beiden Membrananlagen erfolgt in der nachfolgenden Tabelle 8.

Die Filtratleistung der kleinen Anlage fällt wegen der erheblich niedrigeren Porosität deutlich niedriger aus, da auch niedriger molekulare Stoffe aus dem Abwasser zurückgehalten wurden, wie dies die niedrigere CSB-Konzentration im Filtrat zeigt. Aber auch diese Filtratqualität reicht nicht aus, um ein Wiederverwenden des Filtrates im Waschprozess als Ersatz für Frischwasser zu ermöglichen. Dies setzt eine sehr viel niedrigere CSB-Konzentration im Filtrat (= höhere Rückhaltrate) voraus.

Parameter	große Pilotanlage	kleine Pilotanlage A3
Ausführung	im Container Edelstahl	kompakte Kleinanlage Edelstahl
Aufstellort	Hof	neben Waschmaschine
Vorfilter		Schüttelsieb, 50 µm
Membran	Keramik	Keramik (TiO ₂)
Filterfläche	7,3 m ²	11 m ²
Porosität/Permeabilität	20 kD	0,01 µm
Membranverfahren	Cross-Flow	Cross-Flow
durchschnittlicher Differenzdruck	4-5 bar	2-3 bar
maximal mögliche Arbeitstemperatur	ca. 95°C	ca. 95°C
„Wasserwert“ (25°C)	4.500 L·h ⁻¹	1.400 L·h ⁻¹
durchschnittliche Filtrateleistung (70°C) * ohne Konzentratausschleusung	1.400 L·h ⁻¹	*500 L·h ⁻¹
spez. Filtrateleistung * ohne Konzentratausschleusung	200 L·m ⁻² ·h ⁻¹	*40 L·m ⁻² ·h ⁻¹
Permeabilität * ohne Konzentratausschleusung	54 L·m ⁻² ·h ⁻¹ ·bar ⁻¹	*22 L·m ⁻² ·h ⁻¹ ·bar ⁻¹

Tabelle 8: *Vergleich der beiden in den Ultrafiltrationsversuchen angewandten Membranfiltrationsanlagen, große Anlage: Abwasser von der Auswäsche/große Brugman-Waschmaschine
kleine Pilotanlage: Abwasser aus der kleinen Brugman-Waschmaschine
Temperatur des Abwassers im Zulauf zur UF-Anlage: jeweils Ø 70°C*

Abschließend ist zur Membranfiltration zu bemerken, dass ihr Einsatz dann zu empfehlen ist, wenn schon ein möglichst hoch (CSB) konzentriertes Abwasser vorliegt. Die Filtration sollte mit heißem Abwasser erfolgen. Das setzt den Einsatz von Keramikmembranen und eine (kostenintensive) Verrohrung aus Edelstahl voraus, hat jedoch den Vorteil, dass mit dem heißen Filtrat auch eine Wärmerückführung in den Prozess möglich ist (Energiesparen).

Die Permeabilität steht im direkten Zusammenhang mit der (CSB-) Konzentration des zirkulierenden Konzentrates. Mit steigender CSB-Konzentration im Konzentrat nimmt die Permeabilität ab. Es konnte nicht eindeutig ermittelt werden, bei welcher Konzentration eine kontinuierliche (periodische) Konzentratausschleusung mit einer noch vertretbaren Permeabilität einhergeht.

Wenn eine Verfahrensänderung der Veredlung, z.B. eine oxidative Entschlichtung, zu einem Abbau der polymeren Schlichtemittel führt, ist der Einsatz der Ultrafiltration nicht mehr sinnvoll.

Grundsätzlich sind Membranverfahren zur Abtrennung von CSB-Fracht aus dem Abwasser der Vorbehandlung geeignet. Durch die Versuche mit beiden Anlagen konnte gezeigt werden, dass eine höhere Frachtentnahme (20%) als erwartet (15%) erzielt werden konnte. Der sich mit (klebrigen) Polymeren einstellende, rasche Leistungsabfall der Membranen und die für eine Wiederverwendung im Waschprozess zu hohe CSB-Konzentration im Filtrat stehen einem wirtschaftlichen Einsatz jedoch entgegen.

4.3 Wirtschaftliche Betrachtung zum Einsatz der UF-Anlagentechnik

Annahmen:

10 m³/h Waschwasser der Waschmaschine werden heiß filtriert (da bei 80°C eine bessere Leistung als bei 50°C besteht). Das Abwasser wird hierfür vor dem Wärmetauscher zur UF-Anlage geführt. Es wird das Abwasser mit der höchsten CSB-Konzentration genommen, das am vorde- ren Ablauf der Waschmaschine (Foulard Wareneinlauf) anfällt.

Durch die Filtration werden 8,5 m³/h Filtrat und 1,5 m³/h Konzentrat erhalten. Von dem Filtrat sol- len trotz der hohen CSB-Konzentration von ca. 8.000 mg O₂/L max. 3,5 m³/h als Recyclingwasser gebraucht werden. Diese 3,5 m³/h Filtrat werden heiß in den Waschprozess zurückgeleitet (Waschabteil 2 mit ähnlich hoher CSB-Konzentration), 5 m³/h Filtrat gehen über den Wärmetau- scher ins Abwasser und 1,5 m³/h Konzentrat werden ebenfalls über einen Wärmetauscher gelei- tet, jedoch anschließend entsorgt.

Durch die 3,5 m³/h Filtrat, die heiß zurück in den Waschprozess gegeben werden, werden 3,5 m³/h Wasser eingespart und es müssen nur noch 6,5 m³/h Frischwasser aufgeheizt werden, die für den Waschprozess durch den vorhandenen Wärmetauscher geleitet werden, durch den im Gegenstrom 1,5 m³/h Konzentrat bzw. 5 m³/h Filtrat abgekühlt werden.

Erforderliche Energiemenge zum Aufheizen der 6,5 m³/h Frischwasser

Wirkungsgrad WT = 88%

6,5 m³/h Konzentrat und Filtrat werden von 80°C auf 45°C abgekühlt

6,5 m³/h Frischwasser werden von 20°C aufgeheizt

$$\frac{Q_{\text{Frischwasser}}}{Q_{\text{Abwasser}}} = 0,88$$

$$Q_{\text{Abwasser}} = 6.500 \text{ kg/h} \cdot 4,18 \cdot 35 \text{ K} = 950.950 \text{ kJ/h}$$

$$\Rightarrow \frac{950.950 \text{ kJ} \cdot 0,88}{4,18 \text{ kJ/kgK} \cdot 6.500 \text{ kg}} + 20^\circ\text{C} = 55^\circ\text{C}$$

=> von 55°C auf Betriebstemperatur von 80°C muss mit Dampf nachgeheizt werden

$$\text{Erforderliche Wärmemenge} = 6.500 \text{ kg/h} \cdot 4,18 \cdot 25 \text{ K} = 680 \text{ MJ/h}$$

=> Kosten zum Aufheizen der 6,5 m³/h Frischwasser von 55°C auf 80°C

Produktionszeit: 9,25 h/d, 5 d/w, 50 w/a

Energiepreis: 0,06 €/kWh

Nebenrechnung:

Verfahren	Energie/h [MJ/h]	Energie/a [MJ/a]	Energie/a [kWh/a]	Kosten/a [€/a]	Ersparnis/a [€/a]
regulär	1.020	2.358.750	655.200	39.310	
mit UF	680	1.572.500	436.800	26.210	13.100

Kostensparnis durch Wassereinsparung

Wassersparnis = $3.500 \text{ L/h} \cdot 9,25 \text{ h/d} \cdot 5 \text{ d/w} \cdot 50 \text{ w/a} = \mathbf{8.094 \text{ m}^3/\text{a}}$

Annahme: $1 \text{ m}^3 \text{ Wasser} = 4,96 \text{ €}$ (1,70 € Frischwasser und 3,26 € Abwasser)

Ersparnis: $8.094 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 4,96 \text{ €/m}^3 = \mathbf{40.146 \text{ €/a}}$

Der direkten Wiederverwendung des Ultrafiltrates im Waschprozess steht allerdings dessen hohe Konzentration an organischen Stoffen, die die Membran passieren und die einer CSB-Konzentration von ca. 6.000 mg O₂/L entsprechen, entgegen. Die einzusparende Frischwassermenge wird aus qualitativen Gründen daher sehr viel niedriger als angenommen sein.

Energiekosten durch den Betrieb der UF

Eine größere Anlage mit mehr Filterfläche (ca. 3-fach) wird mit derselben Motorleistung zu betreiben sein wie die Versuchsanlage.

Energieverbrauch der UF = 15 kWh

$15 \text{ kWh} \cdot 9,25 \text{ h/d} \cdot 5 \text{ d/w} \cdot 50 \text{ w/a} = \mathbf{34.700 \text{ kWh/a}}$

Energiepreis: 0,06 €/kWh

Verbrauch: $34.700 \text{ kWh/a} \cdot 0,06 \text{ €/kWh} = 2.080 \text{ €/a}$

Kosten durch Konzentratentsorgung (1,5 m³/h Konzentratanfall)

$1,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 9,25 \text{ h/d} \cdot 5 \text{ d/w} \cdot 50 \text{ w/a} = 3.470 \text{ m}^3/\text{a}$

Annahme: Entsorgung über biologisches Verfahren.

Kostenangaben sind zurzeit nicht verfügbar.

Die **Konzentratentsorgung** ist ein wesentlicher Faktor der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. In NRW ist die Einbringung derartiger Abfälle im Faulurm einer Kläranlage nicht erlaubt. Die Verwendung der Konzentrate in einer Biogasanlage könnte jedoch ein gangbarer Weg sein, der jedoch nicht geprüft werden konnte. Zu beachten ist, dass die Transportkosten einer externen Konzentratentsorgung sich nachteilig auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens auswirken. Außerdem sind die Entsorgungskosten zu berücksichtigen, für die keine Angebote von Betreibern von Faulurm- oder Biogasanlagen eingeholt werden konnten, da diese Konzentrate nicht in der Positivliste enthalten sind.

Wirtschaftlichkeitsberechnung zum Einsatz der Ultrafiltration

1. Ersparnisse/Erlöse

Wasser/Abwasserkosten	=	40.146 €/a
Wärmeenergie	=	13.100 €/a
<u>Summe Ersparnisse</u>	=	53.246 €/a

2. Investkosten

Kauf der UF-Anlage	=	150.000 € netto
Umbau-/Anpassungskosten (Verrohrung, Zwischenstapeltank, elektronischer Anschluss)	=	35.000 €

3. Betriebskosten

Personal (1 h/d – Kosten 25 €/h)	=	6.250 €/a
Energiekosten	=	2.080 €/a
Konzentratentsorgung (noch nicht bekannt)		
Reparatur/Instandhaltung (1% der Investkosten)	=	1.500 €/a
<u>Summe Betriebskosten (ohne Konzentrat)</u>	=	9.830 €/a

4. Gesamtkosten pro Jahr

Restwert nach 10 Jahren	=	0 €
Abschreibung (linear)	=	18.500 €/a
Betriebskosten (ohne Konzentrat)	=	9.830 €/a
<u>Summe Kosten/a</u>	=	28.330 €/a

5. Ersparnisse/ Erlöse pro Jahr

Summe Ersparnisse/a	=	53.246 €/a
abzüglich Kosten/a	=	28.330 €/a
<u>Rest ohne Berücksichtigung der Entsorgungskosten</u>	=	30.030 €/a

Neben den beschriebenen technologischen Problemfeldern ist alleine unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ein Einsatz der Ultrafiltrationsanlage nicht zu empfehlen.

5 Ergebnisse und Diskussion zu den Versuchen zum Einsatz der Vakuumtechnik

Ein wesentliches Ziel dieser Forschungsarbeit bestand darin, Verfahrensverbesserungen zu untersuchen, die mit Einsparungen an Wasser, Energie und eventuell auch an chemischen Stoffen verbunden sein sollen. Es war daher der Einsatz der Vakuumtechnik am Ende der Laufzeit des Projektes vorgesehen. Die Erwartungshaltung bestand darin, dass durch die Vakuumtechnik zu Beginn des Auswaschprozesses ein erheblicher Reinigungseffekt der Waschware eintreten sollte. Das Vakuum bewirkt einen tief in die Ware eindringenden Saugeffekt, der nicht nur zu einer Entwässerung der Ware bis in den Kapillarbereich führt, sondern auch die an den Kapillaroberfläche anhaftenden chemischen Stoffe (hydrolysierte Wachse und Salze als natürliche Begleitstoffe der Baumwolle, Schlichtemittel und Tenside sowie Neutralsalze als Textilhilfsmittel) im Sinne einer Extraktion mit „wegzieht“. Da die polymeren Schlichtemittel nicht abgebaut sind, sondern im gequollenen Zustand vorliegen, ist mit einer hohen Viskosität des Wasserfilmes auf der Kapillaroberfläche zu rechnen, die jedoch durch die im Wasser gelösten Salze und eine hohe Temperatur erniedrigt wird. Da das Ziel in einer Entnahme einer möglichst hohen CSB-Fracht aus dem Waschprozess mit gleichzeitiger Wasser- und Energieeinsparung besteht, kann die Waschware zur Unterstützung des Saugeffektes vor der Vakuumeinrichtung nicht mit Frischwasser besprüht werden. Vielmehr erschien es sinnvoll, das schon angereicherte Waschwasser aus dem Foulardtrog im Wareneinlauf für die „Benetzung“ der Ware heranzuziehen. Dieses Waschwasser weist jedoch mit ca. 20.000 mg O₂/L schon eine hohe CSB-Konzentration auf. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass wegen der hohen Warengeschwindigkeit die Verweildauer der Ware am Saugschlitz nur ca. 1 Millisekunde beträgt, in der das „zähe“ Kapillarwasser abgezogen werden muss.

5.1 Versuchsanordnung

Für die auf einen Monat begrenzte Versuchsdauer konnte nur eine Anordnung der Saugbalken realisiert werden. Diese wurden vor dem Foulardtrog im Wareneinlauf horizontal eingerichtet. Vor jedem der beiden Saugbalken, die an die Unterseite der Warenbahn angelegt waren, war jeweils ein Spritzregister so angeordnet, dass das aus dem Trog entnommene Waschwasser bzw. das Frischwasser auf die Warenbahn gleichmäßig aufgespritzt wurde und einen Wasserfilm bildete, der mit dem Vakuum der Saug- in bzw. durch die Ware durchgesaugt wurde. Die Anordnung ist der nachstehenden bildlichen Darstellung (auf der rechten Seite des Anlagenschemas zu erkennen) zu entnehmen. Die Platzverhältnisse waren sehr beengt. Eine aufgeweitete Anordnung von Saugen und Spritzregistern oder ein Tauchgang im Foulardtrog mit einem anschließenden Passieren der Saug- war nicht möglich. Der Foulard wird auch weiterhin als Warenantrieb benötigt.

Es wurde die Höhe des Vakuums, die Schlitzbreite, die Art des Spritzwassers sowie der Betrieb eines oder beider Spritzregister variiert. 18 Partien wurden beobachtet, die Konzentratmengen und deren CSB-Konzentration ermittelt und den Artikeldaten der in den Versuchen verwendeten Gewebe zugeordnet.

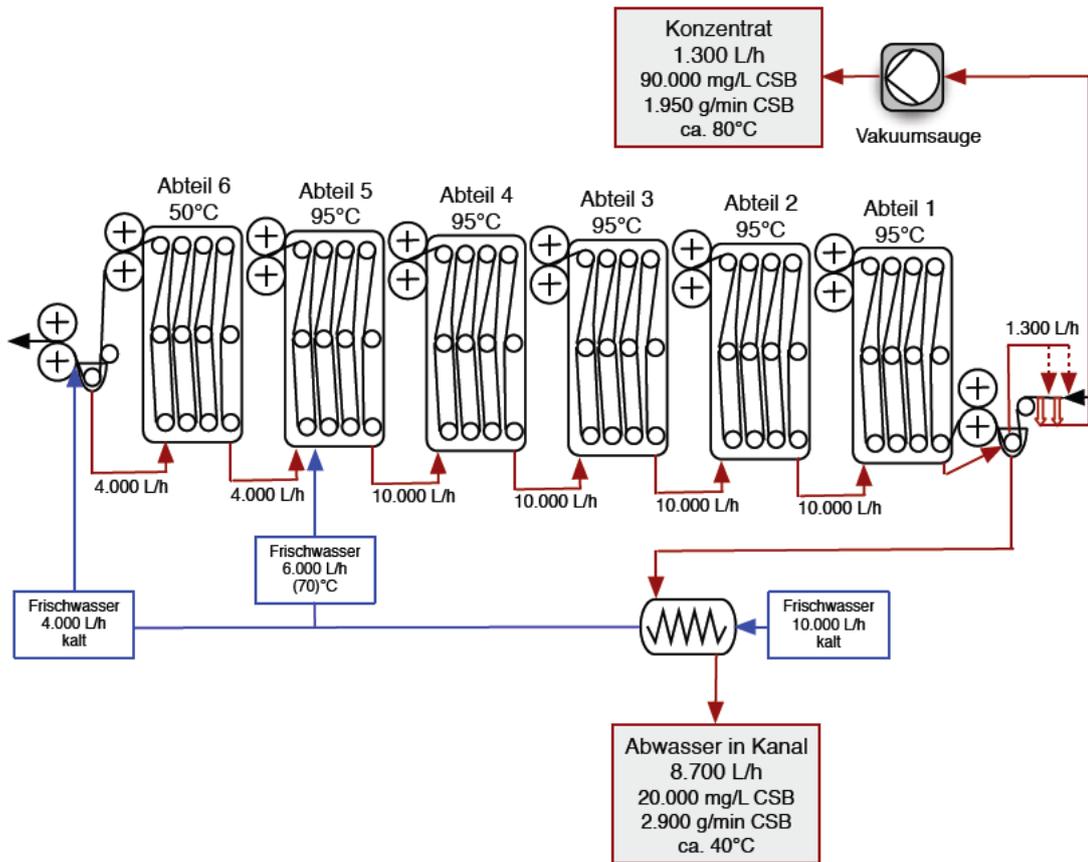


Abbildung 21: Große Brugman-Waschmaschine mit zwei Saugbalken, die im Wareneinlauf (rechte Seite der schematischen Darstellung der Anlage) hintereinander angeordnet sind.
Warenlaufrichtung: von rechts nach links
Wasserflussrichtung: von links nach rechts, entgegen der Warenrichtung

Ca. 1.300 L/h Waschwasser aus dem Foulard-Chassis (ersatzweise in der Versuchsphase auch Frischwasser) wurde aus dem Trog des Foulards im Wareneinlauf entnommen und auf die Ware jeweils unmittelbar vor den Saugschlitzen aufgespritzt. Die CSB-Konzentration im Waschwasser betrug ca. 20.000 mg O₂/L. Im Konzentrat der Saugung, dessen Volumen bei den Versuchen durchschnittlich weniger als 1.000 L/h betrug, wurde eine maximale CSB-Konzentration von ca. 90.000 mg O₂/L ermittelt. Von der Gesamtfracht wurden (ohne Berücksichtigung der Fracht, die durch die Extraktion vor Eintritt der Ware in das Waschwasser mit dem Wasser der Saugung entnommen wurde) auf diese Weise 1.950 g CSB-Fracht/min von insgesamt 4.850 g CSB-Fracht/min entnommen, entsprechend 40%.

Technische Daten der Versuche:

Energieverbrauch:

bei 550 mbar = 12 kW

bei 450 mbar = 9,7 kW

(„Faustregel“: 20% mehr elektrische Energie bei 100 mbar mehr Unterdruck)

Saugschlitz: 5,5 mm Breite

Die ersten Versuche wurden mit einem Unterdruck von 450 mbar gefahren. Bei diesen Versuchen wurde zum Benetzen der Ware sauberes Mischwasser verwendet, das eine Temperatur von 60°C aufwies.

Ab Versuch Nr. 7 wurde beim 1. Spritzrohr heißes Abwasser (ca. 80°C) aus Trog des Foulards im Wareneinlauf verwendet, beim zweiten Spritzrohr wurde weiterhin sauberes Mischwasser verwendet. Ab Versuch Nr. 15 wurde bei beiden Spritzrohren Wasser aus dem Trog des Foulard im Wareneinlauf verwendet. Der Unterdruck wurde auf 550 mbar erhöht.

Ab Versuch Nr. 18 wurde der erste Saugschlitz auf 8,2 mm vergrößert; Saugschlitz 2 blieb bei 5,5 mm Schlitzbreite. Damit sollte der Saugeffekt verbessert werden. Der breitere Saugschlitz von 8,2 mm bringt jedoch Probleme mit sich, wenn die Ware am Ende einer Waschpartie mit einer langsameren Geschwindigkeit über den Saugbalken geführt wird oder die Ware nicht richtig gespannt ist. Es kommt zu einem „Klebeeffekt“, der mit einer Faltenbildung einhergeht.

Webware, deren nach außen stehende Kanten „flattern“ zeigt ebenfalls einen unruhigen Warenlauf auf dem Saugbalken. Teilweise schlagen die Kanten um.

Als Fazit ist festzuhalten, dass eine Saugschlitzbreite von 8,2 mm technisch möglich, jedoch für die Anwendung von langsam laufender Webware nicht geeignet ist. Der Saugschlitz sollte verkleinert werden, evtl. auf 7 mm. Der zweite Saugschlitz muss hingegen vergrößert werden von den in den Versuchen eingehaltenen 5,5 mm auf ebenfalls 7 mm. Die Versuche hierzu konnten nicht mehr ausgeführt werden.

Die Saugleistung variierte von Versuch zu Versuch, unabhängig von der Art des Artikels und oft auch innerhalb einer Partie. Es wurde vermutet, dass hier ein Zusammenhang mit der Imprägnierung als Vorstufe vor den Waschprozess bestand. Die Qualitätskontrolle hat an den mit der Saugbehandlung behandelten Geweben im Vergleich zu den ohne Saugleistung gewaschenen Waren eine verbesserte Saugfähigkeit und geringere Steifheit festgestellt. Eine Einschätzung dieser Qualitätsverbesserung hinsichtlich eines verbesserten Beschichtungsergebnisses konnte während der Versuchsphase nicht geklärt werden.

Gute Ergebnisse (= hohe CSB-Konzentration, durchschnittlich 90.000 bis 100.000 mg O₂/L im Saugenwasser = Konzentrat) wurden erzielt, wenn das Waschwasser aus dem Wareneinlauf für die Spritzregister genommen wurde. Das angestrebte Optimum (CSB-Konzentration = ca. 140.000 mg O₂/L) konnte nicht erreicht werden, auch nicht mit reduzierter Wassermenge (Volumen des Saugwassers < 1.000 L/h). Es erwies sich ein durchschnittliches Saugwasservolumen von ca. 1.500 L/h als günstig. Das heißt jedoch, dass bei einem Waschbetrieb von 9,25 Stunden pro Tag ca. 14 m³ Konzentrat pro Tag anfallen! Hierzu besteht weiterer Optimierungsbedarf. Es konnte auch nicht geklärt werden, wie viel Wasser und damit Energie für den Waschprozess eingespart werden können.

5.2 Vorschlag für einen optimierten Einsatz der Vakuumtechnik

Der Einsatz einer Saugereinrichtung an der Brugman-Waschmaschine setzt, wenn das Ziel der Abtrennung eines hochbelasteten (CSB-Fracht als Leitparameter) Abwassers unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten für erstrebenswert gehalten wird, eine andere Gestaltung der Wasserführung für den Waschprozess voraus. Die im Wareneinlauf angeordnete Saugung wird zu einer verbesserten Waschleistung führen, so dass es gelingen müsste, eine erhebliche Menge Wasser und damit verbunden auch Wärmeenergie einzusparen. Die Leistung der Saugung muss jedoch auf eine Wassermenge = Konzentratmenge von max. 1.000 L/h zu begrenzen sein, da dieses konzentrierte Abwasser nicht mehr über die Kanalisation, sondern wegen der guten biologischen Abbaubarkeit über den „rollenden Kanal“ in eine biologische Behandlung/Verwendung entsorgt werden müsste.

Nachfolgende Berechnung stellt den Versuch dar, die Verhältnisse für einen optimierten Waschprozess unter Einsatz der Vakuumtechnik zu klären und die Bedingungen zur Auslegung einer Saugereinrichtung/Bemessung der Saugleistung zu skizzieren.

Zurzeit wird das Washwasser mit einer Menge von 10 m³/h im Gegenstrom zur Ware von Abteil 5 (Foulardtrog Warenauslauf/Abteil 6: 4 m³/h, Abteil 5: zusätzlich 6 m³/h) zum Netztrog des Foulards im Wareneinlauf geführt, von wo aus die Ableitung des Abwassers über den Wärmetauscher in die innerbetriebliche Kanalisation erfolgt.

Waschwassermenge: 167 L/min

Warenmenge: 38,5 kg/min¹⁾

¹⁾ Warengeschwindigkeit: 90 m/min, Warengewicht: 0,285 g/m², Warenbreite: 150 cm

Warendurchlauf: 50.000 m/Tag

Die durchschnittliche CSB-Konzentration des Washwassers im Foulard-Trog beträgt 20.000 mg/L bzw. als CSB-Fracht 3.340 g/min. Bei einem durchschnittlichen, spezifischen CSB von 1.500 mg/g chemischer Stoffe²⁾, die sich auf der Ware befinden und die mit dem Washwasser abgewaschen werden, beträgt die Konzentration dieser chemischen Stoffe als Feststoff (TS)³⁾ ca. 13 g/L bzw. 2.170 g/min als Fracht.

²⁾ Schlichtemittel, Tenside, Faserbegleitstoffe als „Schmutzfracht“

³⁾ TS = Trockensubstanz einer eingedampften Probe

Es wird angenommen, dass diese Konzentration auf ca. 100 g/L (= 10% und entsprechend einer CSB-Konzentration von ca. 140.000 mg/L) ansteigen darf (Faktor 6-8), ohne dass es zu einer zu hohen Viskosität des Washwassers kommt, die das Fließverhalten beeinträchtigt. Hier besteht ein Unterschied zum Konzentrat der Membranfiltration, das überwiegend die polymeren Stoffe enthält, die zu einer hohen Viskosität führen. Durch den zusätzlichen Gehalt an Salzen und niedermolekularen Tensiden im Saugenwasser (es erfolgt keine Trennung!) wird die Viskosität der

Polymerlösung reduziert. Gleichzeitig erfolgt durch den enzymatischen oder oxidativen Abbau der natürlichen Schlichtepolymere eine weitere Reduzierung der Viskosität.

Dies setzt einen optimierten Prozess voraus, indem für den bisher auf der kleinen Brugman-Waschmaschine durchgeführten Imprägnierprozess, bei dem ca. 20% der CSB-Fracht schon entfernt werden, eine Alternative gefunden wird (zum Beispiel: Additivverfahren mit Zwangsbenetzung), bei der es zu keiner Ablösung von Stoffen vom Gewebe kommt. Zu Beginn des Auswaschprozesses liegt dann auf dem Gewebe noch der gesamte Gehalt an in Wasser löslichen bzw. dispergierbaren Stoffen vor:

Frachtanteil Imprägnierprozess:	57 kg CSB/h
Frachtanteil Auswaschprozess:	205 kg CSB/h
Gesamtfracht:	262 kg CSB/h

Geht man nun davon aus, dass mit Hilfe der Saugtechnik ca. 90% der Schmutzfracht (als CSB) aus dem Waschprozess ferngehalten und über einen gesonderten Entsorgungsweg abgeführt werden, so ergibt sich die in der nachfolgenden Tabelle berechnete CSB-Fracht-Verteilung [ausgehend von der Annahme, dass die Webware 4.370 g CSB-Fracht/Minute (= 100%) in den Waschprozess einbringt]. Es wird hierzu angenommen, dass der Foulardtrog im Wareneinlauf durch die Vakuumanlage ersetzt wird und dass nur der Teil des Waschwassers, das im Gegenstrom zur Ware vom 6. bzw. 4. Waschabteil in Richtung des Wareneinlaufes fließt, in die Waschabteile 1 und 2 eingeleitet wird, der von den Saugen aufgenommen werden kann. Da das Waschwasser im ersten Abteil, das zum Übergießen der Ware vor den Saugschlitzen genommen wird, sehr hoch belastet ist, wird anstelle der Spritzregister eine Überlaufeinrichtung zur Benetzung der Ware vorgeschlagen.

CSB-Fracht:	4.370	g/min
Warenmenge:	38,5	kg/min
spezifische CSB-Fracht:	114	g/kg Ware
Waschwassermenge:	100	L/min (– 40% gegenüber Ist-Zustand)

Die abgelöste CSB-Fracht ist die im jeweiligen Abteil von der Ware abgewaschene Menge. Die übergeleitete CSB-Fracht ist die mit dem Waschwasser im Gegenstrom zur Ware transportierte Menge. Es wird von einem Waschwirkungsgrad der Rollenkufen-Waschabteile von jeweils 40% bis 50% der einzelnen Abteile ausgegangen. Die Hauptfracht wird durch die Saugung entfernt (Tabelle 9). (In der Realität kann die Waschwirkung der einzelnen Waschabteile dennoch höher ausfallen, was dann zu einem verbesserten Endergebnis führen wird.)

Ort	Pad-Roll-Kammer	Sauge (Ablauf)	Abt. 1	Abt. 2	Abt. 3	Abt. 4	Abt. 5	Abt. 6 + 0,5 g/L Zitronensäure
Waschwirkungsgrad (Annahme)	—	80%	40%	40%	50%	50%	50%	50%
CSB-Fracht der Ware bei Verlassen des Abteils	4.370 g/min	870 g/min	520 g/min	320 g/min	160 g/min	80 g/min	40 g/min	20 g/min (0,5% Rest)
abgelöste CSB-Fracht	—	3.500 g/min	350 g/min	200 g/min	160 g/min	80 g/min	40 g/min	20 g/min
übergeleitete CSB-Fracht		630 g/min	280 g/min	80 g/min	160 g/min	80 g/min	20 + 20 g/min	20 ¹⁾ g/min
CSB-Konzentration		138.000 mg O ₂ /L	21.000 mg O ₂ /L	9.300 mg O ₂ /L	3.200 mg O ₂ /L	1.600 mg O ₂ /L	800 mg O ₂ /L	1.200 mg O ₂ /L
mit dem Abwasser abgeleitete CSB-Fracht		4.130 g/min (90%)			240 g/min (10%)			
Frischwasserzulaufmenge							40 L/min	2 x 30 L/min
Wasserzulauf gesamt zum Abteil		30 L/min	30 L/min	30 L/min	100 L/min	100 L/min	100 L/min	60 L/min
Abwasserablauf		30 L/min			70 L/min			
CSB-Konzentration im Abwasserablauf		140.000 mg/L			3.200 mg/L			
Tages-CSB-Fracht im Abwasser (50.000 m/Tag) und relativ zur betrieblichen Gesamtfracht		2.330 kg/d 80%			120 kg/d 5%			

¹⁾ Fracht von der Zitronensäure: 0,5 g/L bleiben im Waschwasser und neutralisieren das dort vorhandene Alkali. Die neutralisierte Zitronensäure trägt zur CSB-Fracht des Waschwassers bei und fließt mit ihm in Gegenrichtung zur Ware.

Tabelle 9: *Kalkulation der CSB-Konzentration in den Waschbädern der großen Brugman-Waschmaschine im optimierten Zustand mit Saugereinrichtung im Wareneinlauf und mit einem verbesserten, vorgehenden Imprägnierprozess sowie Kalkulation der Frachten, die aus diesem Waschprozess mit dem Konzentrat der Sauge bei 1.800 L/h Volumen und mit dem Abwasser bei insgesamt 6.000 L/h Waschwassereinsatz abgeleitet werden. Zugrunde gelegt wurde eine Tagesproduktionsmenge von 50.000 m Ware und eine Betriebszeit von 9,25 Stunden. Die CSB-Konzentrationswerte wurden jeweils aufgerundet.*

An der Saugereinrichtung soll es zu einer Entfernung von CSB-Fracht in der Größenordnung von 80% kommen. Die Ware verweilt nach dem Imprägnieren (ohne Ablösung von Schlichte!) weiterhin in den Pad-Roll-Kammern (bei einer für den noch festzulegenden Prozess vorgegebenen

Temperatur). Durch die höhere Entfrachtungsleistung der Saugung wird jedoch die Waschwirkung in den Waschabteilen geringer ausfallen. Sie wird mit 40 bis 50% angenommen. Die hier vorgestellte Strategie setzt daher wesentliche Änderungen der betrieblichen Verfahrensweisen (und damit möglicherweise auch Änderungen in den technologischen Eigenschaften der vorbehandelten Gewebe) voraus:

So muss der Imprägnierprozess wesentlich verbessert werden. Auf die bisher übliche Benetzung der Ware durch eine Badpassage bei hoher Temperatur, die zum Quellen, An- und Ablösen von Teilen der Schlichte führt, sollte verzichtet werden. Es ist zu prüfen, ob eine oxidative Entschlichtung der Ware unter alkalischen Bedingungen bei 35°C eine Verbesserung der Entschlichtung (oxidativer Abbau der Stärkeschlichte zu oligomeren Zuckern mit verbesserter Wasserlöslichkeit und biologischer Abbaubarkeit), verbunden mit einer verbesserten Saugfähigkeit und mit einer oxidativen Zerstörung der Baumwollschalenanteile (Qualitätsvorteil) erbringt. Gegenüber dem bestehenden Prozess können auf diese Weise ca. 4 m³/h Wasser sowie ein Großteil der Wärmeenergie, die bisher für das Erwärmen des Wassers und der Ware im Imprägnierabteil sowie für die Beheizung der Pad-Roll-Abteile erforderlich ist sowie weitere 4 m³/h im Waschprozess (50% der gesamten Vorbehandlung!), eingespart werden. Um mögliche Nachteile in Folge der geänderten Vorbehandlung durch Veränderungen der technologischen Eigenschaften der Gewebe zu verhindern, muss eine sorgfältige Untersuchung dieses Zusammenhanges erfolgen.

Es konnte bisher nicht geprüft werden, ob durch den Einsatz der Saugtechnik zu Beginn des Waschprozesses auf der Brugman-Waschmaschine ein Großteil des Waschwassers und damit der Wärmeenergie eingespart werden kann, wie dies in der Tabelle 9 angenommen ist (statt bisher 10 m³/h nur noch 6 m³/h). Diese Prozessoptimierung, die in der Kalkulation auf ein (theoretisches) Optimum gebracht ist, muss schrittweise erarbeitet werden. Die Konzentration des Waschwassers, das zum Benetzen der Ware vor den Saugen herangezogen werden soll, weist nach dieser Modellrechnung eine CSB-Konzentration auf, die mit den Werten der bisherigen Versuche (CSB-Konzentration von maximal 30.000 mg O₂/L) vergleichbar ist. Es führte zu einer Aufkonzentrierung um den Faktor 3 (bei nur ca. 1.000 L Waschwasser, was für die beiden Spritzrohre vor den beiden Saugen eingesetzt wurde). In der Kalkulation wurde von einer maximalen Aufkonzentration von F = ca. 7 ausgegangen. Wenn allerdings die Stärke zu niedermolekularen Stoffen abgebaut ist, wird sich auch eine sehr viel niedrigere Viskosität und damit verbesserte Durchdringung der Ware mit dem Waschwasser bei dem Saugprozess einstellen lassen. Hierzu sind jedoch weitere Versuche erforderlich, die an das insgesamt geänderte Konzept anzupassen sind.

Es zeigt sich jedoch der Vorteil der Vakuumtechnik gegenüber den Membranverfahren zur Aufkonzentrierung des Waschwassers mit dem Ziel einer wesentlichen Entnahme von CSB-Fracht zur Entlastung der kommunalen Kläranlage. Insbesondere wenn der Imprägnierprozess auf eine oxidative Entschlichtung umgestellt wird, sinkt damit auch der Anteil der polymeren Stoffe, die durch die Ultrafiltration bevorzugt zurückgehalten werden. Für eine wirksame CSB-Fracht-Entnahme müsste für das Abwasser aus der Vorbehandlung dann ein mindestens zweistufiges Membranverfahren erprobt werden (1. Stufe: Ultrafiltration zur Rückhaltung der faserigen, partiku-

lären und noch weiter vorhandenen polymeren Stoffe; 2. Stufe: Nanofiltration zur Abtrennung der niedermolekularen Stoffe und eines Teils der Salze). Da für beide Stufen keramische Membranen zur Verfügung stehen, kann die Filtration vorzugsweise am heißen Abwasser durchgeführt werden, sodass mit dem als Waschwasser sicher wiederverwendbaren Filtrat/Permeat auch ein Teil der Wärme zurückgewonnen werden kann. Als Vorlage (Feed) für die Membranfiltration sollte auch ein möglichst hoch konzentriertes Waschwasser eingesetzt werden. Das heißt, dass auch bei Anwendung der Membranfiltration mindestens ein Drittel des Waschwassers einzusparen ist.

Im nachfolgenden Schema ist der in der Tabelle kalkulierte Waschprozess im optimierten Zustand mit Anwendung der Saugtechnik im Wareneinlauf zur Waschmaschine nochmals dargestellt.

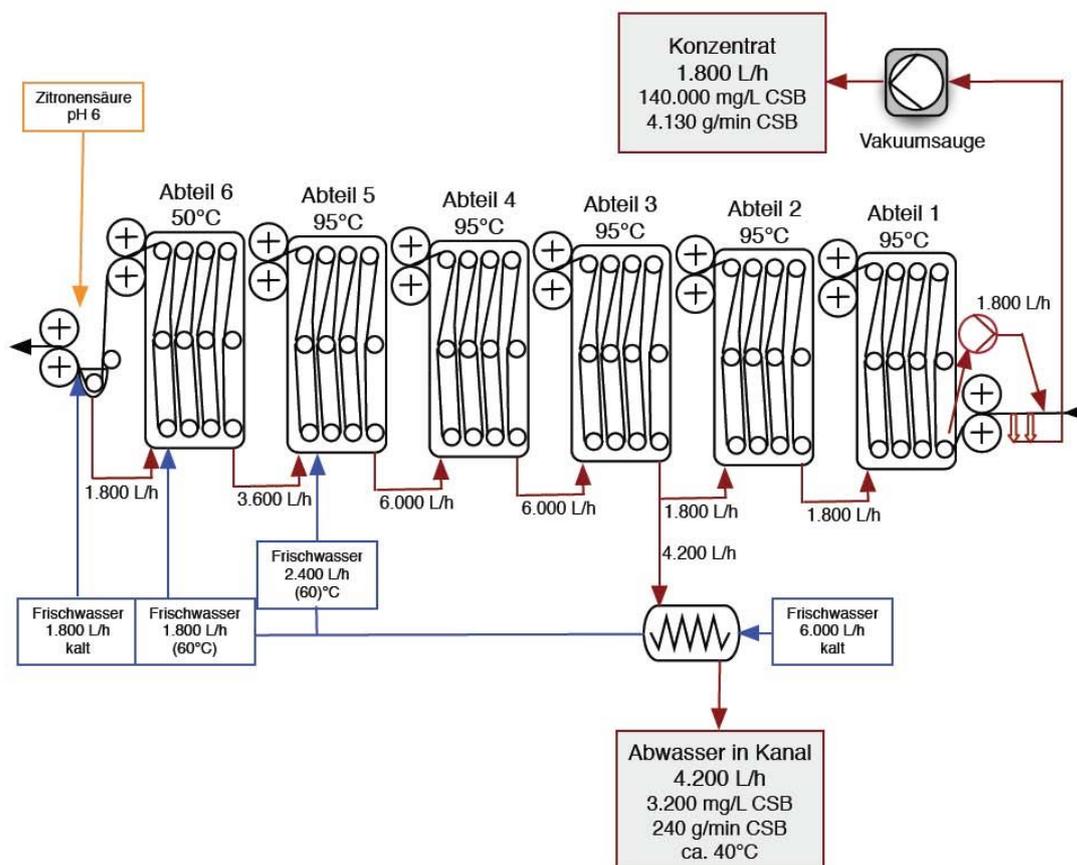


Abbildung 22: Waschprozess im optimierten Zustand auf der großen Brugman-Waschmaschine mit zwei Saugbalken, die im Wareneinlauf (rechte Seite der schematischen Darstellung der Anlage) hintereinander angeordnet sind. Das Waschwasser wird direkt dem ersten Waschabteil entnommen und über ein Überlaufwehr auf die Warenbahn aufgetragen.
 Warenlaufrichtung: von rechts nach links
 Wasserflussrichtung: von links nach rechts, entgegen der Warenrichtung

Im optimierten Prozess werden vor dem Wareneinlauf zwei Saugbalken installiert, die den größten Teil der anfallenden CSB Fracht direkt von der Ware absaugen. Durch das Absaugen kann die Wassermenge auf voraussichtlich insgesamt 6 m³/h reduziert werden. Wenn die Saugleistung

auf 1.800 L/h eingestellt werden kann (Ziel: möglichst niedrige Abwassermenge und möglichst hohe CSB-Konzentration), so wären nur noch 1.800 L/h von Abteil 3 nach Abteil 2 und weiter nach Abteil 1 zu leiten, um von dort mit einer Pumpe und einer Überlaufrinne auf die Ware vor den Saugbalken gegeben und dort abgesaugt zu werden. Die aus Abteil 3 in den Kanal geleitete Abwassermenge beträgt dann 4.200 L/h. Das Abwasser, das von Abteil 3 aus über den Wärmetauscher in den Kanal eingeleitet wird, würde dann eine CSB-Konzentration von 3.200 mg O₂/L aufweisen. Durch die Saugung würde demnach eine Fracht von 250 kg/h separiert. Das ist ein Anteil von ca. 80% der gesamten, derzeitigen CSB-Fracht des Betriebes! Die CSB-Konzentration im Saugenwasser erreicht dann ca. 140.000 mg O₂/L, was je nach Gehalt an (nicht oxidativ abgebauten) Polymeren zu einer mehr oder weniger hohen Viskosität der Flüssigkeit führen wird.

Konzentratmenge: 1.800 L/h bzw. 83 m³/w bzw. 4.150 m³/a.

Wirtschaftlichkeitsberechnung zum Einsatz der Vakuumtechnik (ohne Berücksichtigung der Optimierung des Imprägnierprozesses)

1. Ersparnisse/Erlöse

Einsparung von 4 m ³ /h Wasser/Abwasser (9,25 h/d, 5 d/w, 50 w/a; 4,96 €/m ³)	
Wasser/Abwasserkosten	= 45.880 €/a
Einsparung an Wärmeenergie (Q = 4.000 kg/h · 4,18 kJ/kgK · 20 K = 335 MJ = 90 kWh/h; 0,08 €/kWh;	= 16.650 €/a
Summe Ersparnisse	= 62.530 €/a

2. Investkosten

Kauf der Vakuumanlage, Einrichten eines Überlaufwehres, Umbau der Waschmaschine, Verrohrung und elektrischer Anschluss an vorhandene Steuerung	= 85.000 € netto
--	------------------

3. Betriebskosten

Personal/Pflege der Anlage (1/2 h/d à 25 €/h)	= 3.100 €/a
Energiekosten (Verbrauch bei 550 mbar: 12 kW/h)	= 2.220 €/a
Konzentratentsorgung (noch nicht bekannt)	
Reparatur/Instandhaltung (1% der Investkosten)	= 850 €/a
Summe Betriebskosten (ohne Konzentrat)	= 6.170 €/a

4. Gesamtkosten pro Jahr

Restwert nach 10 Jahren	= 0 €
Abschreibung (linear)	= 8.500 €/a
Betriebskosten	= 6.170 €/a
Summe Kosten/a	= 14.670 €/a

5. Ersparnisse/ Erlöse pro Jahr

Summe Ersparnisse/a	= 62.530 €/a
abzüglich Kosten/a	= 14.670 €/a
Erlöse/a	= 47.860 €/a

Ein Return on Investment und eine Amortisationsdauer werden nicht errechnet, da die Konzentratentsorgung nicht berücksichtigt wurde. Die Konzentratentsorgung ist jedoch ein wesentlicher Faktor der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Je nach Art des biologischen Verfahrens entstehen unterschiedliche Kosten. Da in NRW die Einbringung derartiger Abfälle im Faulturn einer Kläranlage nicht erlaubt ist und die Verwendung der Konzentrate in einer Biogasanlage bisher nicht geprüft werden konnte, liegen keine belastbaren Entsorgungskosten vor. Zu beachten sind auch die Transportkosten einer externen Konzentratentsorgung.

Wenn jedoch davon ausgegangen wird, dass sowohl das Wasser/Abwasser und die für die Erwärmung erforderliche Wärmeenergie des Imprägnierprozesses bei einer veränderten Imprägnierung der Ware zusätzlich eingespart werden können, stellt sich die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens günstiger dar. Es wird angenommen, dass die Zusatzinvestitionen für den Additivauftrag der Imprägnierflotte ca. 200.000 € Investkosten inklusive aller Anschlüsse und Umbaumaßnahmen verursacht (die beiden Waschabteile der kleinen Brugman-Waschmaschine könnten als zusätzliche Abteile an die Küsters-Waschmaschine angeschlossen werden, was dem dort durchgeführten Waschprozess sehr nützlich wäre). Bei den Personal- und Energiekosten soll es keine Veränderung gegenüber dem Ist-Zustand geben.

Wirtschaftlichkeitsberechnung zum vollständig verbesserten Vorbehandlungsprozess

1. Ersparnisse/Erlöse

Einsparung von 8 m ³ /h Wasser/Abwasser (9,25 h/d, 5 d/w, 50 w/a; 4,96 €/m ³)	
Wasser/Abwasserkosten	= 91.760 €/a
Einsparung an Wärmeenergie (Q = 4.000 kg/h · 4,18 kJ/kgK · 20 K = 335 MJ = 90 kWh/h; und: Q = 4.000 kg/h · 4,18 kJ/kgK · 70 K = 1.200 MJ = 330 kWh/h)	
0,08 €/kWh;	= 77.700 €/a
<u>Summe Ersparnisse</u>	<u>= 169.460 €/a</u>

2. Investkosten

Kauf der Vakuumanlage, Einrichten eines Überlaufwehres, Umbau der Waschmaschine, Verrohrung und elektrischer Anschluss an vorhandene Steuerung	= 85.000 € netto
Kauf einer Anlage zum Additivauftrag mit Zusatz- aggregaten, Umbau der Anlagen, Verrohrung und elektrische Anschlüsse	= 200.000 € netto
<u>Summe Investitionskosten</u>	<u>= 285.000 € netto</u>

3. Betriebskosten

Personal/Pflege der Anlage (1/2 h/d à 25 €/h)	= 3.100 €/a
Energiekosten (Verbrauch bei 550 mbar: 12 kW/h)	= 2.220 €/a
Konzentratentsorgung (noch nicht bekannt)	
Reparatur/Instandhaltung (1% der Investkosten)	= 850 €/a
<u>Summe Betriebskosten (ohne Konzentrat)</u>	<u>= 6.170 €/a</u>

4. Gesamtkosten pro Jahr

Restwert nach 10 Jahren	=	0 €
Abschreibung (linear)	=	28.500 €/a
Betriebskosten	=	6.170 €/a
<u>Summe Kosten/a</u>	=	<u>34.670 €/a</u>

5. Ersparnisse/ Erlöse pro Jahr

Summe Ersparnisse/a	=	169.460 €/a
abzüglich Kosten/a (ohne Konzentrat)	=	34.670 €/a
<u>Erlöse/a (ohne Konzentrat)</u>	=	<u>134.790 €/a</u>

Erst eine gesamte Umstellung der Vorbehandlung führt **ohne Berücksichtigung der Entsorgungskosten** zu Erlösen in Höhe von ca. 135.000 €/a. Für die im untersuchten Beispiel pro Jahr anfallende Konzentratmenge von ca. 4.250 m³ (= ca. 4.500 t) bedeutet dies, dass die Entsorgungskosten deutlich unter 30 €/t bleiben müssen, damit zumindest eine ausgeglichene Bilanz der Kosten dieser Verfahrensweise gegeben ist. Wirtschaftlich ist aber auch dieses Verfahren nur dann, wenn keine Entsorgungskosten anfallen.

5.3 Untersuchung der Beschaffenheit der Konzentrate

Ziel der Konzentratbildung ist die getrennte Behandlung des Konzentrates vom übrigen Abwasser. Für eine externe Behandlung des Konzentrates ist eine vorrangige Bedingung, dass die Menge des Konzentrates möglichst gering gehalten wird, demzufolge eine möglichst hohe CSB-Konzentration angestrebt wird. Für die Konzentratuntersuchung standen jedoch nur die durch die Ultrafiltration bzw. über die Vakuum-Extraktion erhaltenen Proben in der jeweils erzielten CSB-Konzentration zur Verfügung. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die stoffliche Zusammensetzung des Konzentrates bei einer Anhebung der Konzentration nicht wesentlich ändert.

Durch die Trennung der polymeren Schlichtemittel von niedermolekularen tensidischen Komponenten des Waschwassers, die mit der Ultrafiltration erreicht wurde, wies das Konzentrat eine hohe Viskosität („dickflüssig“) auf.

Bei dem Extraktionsverfahren kommt eine derartige Trennung nicht in Frage. Die Viskosität ist trotz höherer CSB-Konzentration erkennbar niedriger als die des Konzentrates der Ultrafiltration.

Wenn die Vorbehandlung derart umgestellt wird, dass vor der Wäsche kein Ablösen von Schlichtemitteln erfolgt und die natürlichen Polymeren enzymatisch oder oxidativ abgebaut werden (es entstehen niedermolekulare Zuckerderivate), wird die Viskosität der Konzentrate nochmals abnehmen. Gleichzeitig wird eine verbesserte biologische Abbaubarkeit zu erreichen sein.

Für Konzentrate, die gut biologisch abbaubare Substanzen enthalten, empfiehlt sich für die Entsorgung ein biologisches Verfahren. Hierfür stehen aerobe wie auch anaerobe Verfahren zur Ver-

fügung. Zur Feststellung des Gehaltes an Substanzen, die den biologischen Abbauprozess stören, wurden nachfolgende Konzentratuntersuchungen durchgeführt.

Eine Analyse eines typischen Konzentrates (Chemisch-biologische Laboratorien des Stadtentwässerungsbetriebes der Landeshauptstadt Düsseldorf, Juni 2007, durchgeführt am Konzentrat aus dem Waschprozess der großen Brugman-Waschmaschine) hat folgendes Ergebnis:

Trockenrückstand	7,5	%
Glühverlust des Trockenrückstandes	72,9	%
Gesamt-Schwefel (Bromoxidation)	220	mg/L
Arsen	< 1,00	mg/L
Blei	< 1,00	mg/L
Cadmium	< 0,0500	mg/L
Chrom	< 0,500	mg/L
Kupfer	< 0,500	mg/L
Nickel	< 0,500	mg/L
Quecksilber	< 0,100	mg/L
Zink	0,700	mg/L
AOX	0,29	mg/L
DOC	24.000	mg/L
Chlorid	< 1000	mg/L
CSB gesamt	54.500	mg/L

Eine andere Untersuchung (bwl Bergisches Wasser- und Umweltlabor, Wuppertal, März 2007, Konzentrat UF) führte zu folgendem Ergebnis:

TOC	10.300	mg/L
DOC	9.280	mg/L
Stickstoff, ges. geb.	556	mg/L
CSB	32.200	mg/L
BSB ₅	9.740	mg/L
abfiltrierbare Stoffe	15.500	mg/L
Trockenrückstand	2,9	Gew. %
Phosphor, gesamt	44,4	mg/L

Die untersuchten Konzentrate sind als „biologisch gut abbaubar“ einzustufen.

Für eine Co-Fermentation im Faulturm muss jedoch die Hemmwirkung zusätzlich untersucht werden, um sicherzustellen, dass keine hemmend wirkenden Stoffe enthalten sind, die über die Parameter der analytischen Untersuchungen nicht direkt erfasst werden.

Bei beiden untersuchten Verfahren bleibt am Ende ein Konzentrat übrig. Die Konzentratmenge beträgt, berechnet auf der Basis einer CSB-Konzentration von 140.000 mg O₂/L, noch 1.800 L/h bzw. ca. 16 bis 17 m³/d (ca. 85 m³/w). Für eine externe Weiterbehandlung ist diese Menge wegen des Transportaufwandes zu groß. Für eine biologische Behandlung ist die Konzentration jedoch günstig. Da der Wasseranteil noch immer mehr als 85% beträgt, sollte einer biologischen Behandlung der Vorzug gegenüber einer Verbrennung gegeben werden. Eine Behandlung im Faulturm einer kommunalen Kläranlage ist derzeit jedoch ausgeschlossen.

5.4 Vergleich der Optimierungsmaßnahmen nach Umweltgesichtspunkten

Für die Ermittlung der Veränderungen bezüglich der Umweltbelastungen wurden die beschriebenen Prozessstadien mit dem Softwaretool UMBERTO als Stoffstromnetze modelliert. UMBERTO basiert auf der so genannten Petri-Netz-Technik, bei der innerhalb von Stoffstromsystemen zwischen Transitionen und Stellen unterschieden wird. In Transitionen werden Zusammenhänge und Reaktionen zwischen Input- und Outputflüssen definiert, während Stellen als Verbindungs- und Lagerstellen sowie am Rand des Systems als Quellen und Senken definiert werden können. Dabei wurden jeweils die vorhandenen Informationen verwendet zur Definition von Transitionen (z.B. einzelne Abteile der Waschmaschine) und der gesamten Netzstruktur mit dem Gegenstrom in der Brugman-Waschmaschine und den weiteren Verknüpfungen. Die Modelle stellen eine vereinfachte Abbildung des tatsächlich vorhandenen Prozesses dar, in der insbesondere die Parameter erfasst sind, die sich durch die Umstellung und den Einsatz von Sauge oder Ultrafiltration verändern. Für den Vergleich der Umweltbelastungen werden auch die Emissionen aus vorgelagerten Prozessen wie der Strom- oder Dampfbereitstellung sowie von nachgeschalteten Prozessen wie der Abwasserentsorgung einbezogen, insbesondere wenn sich durch die Umstellung der Prozesse in diesem Bereich Änderungen ergeben; für einige Bereiche kann auf vorhandene Module zurückgegriffen werden, z.B. für das Stromnetz in Deutschland mit dem bestehenden Kraftwerkspark. Insgesamt wurden Modelle für folgende Vergleichszustände erstellt:

- Ist-Zustand (Referenz)
- Soll-Zustand mit Einsatz der Ultrafiltration
- Soll-Zustand mit Einsatz der Sauge ohne Veränderung an der Brugman-Bleiche („Sauge“)
- Soll-Zustand mit Einsatz der Sauge mit Veränderung an der Brugman-Bleiche („Sauge groß“).

Für die Bilanzierung der einzelnen Abteile werden in den Transitionen Input- und Outputflüsse und deren Zusammenhänge spezifiziert. Als Beispiel ist in der folgenden Abbildung die Spezifikation der Transition Foulard 1 der Waschmaschine dargestellt. Der Zulauf von Abwasser aus dem Prozess verteilt sich auf die Outputflüsse Filtrat und Konzentrat. Neben Einschleppungen aus dem vorgelagerten Prozess Brugman-Bleiche wird hier auch die in den hinteren Abteilen der Waschmaschine abgelöste Schmutzfracht, gemessen über den Summenparameter CSB, über den Gegenstrom der Waschmaschine eingetragen. Diese in der Flotte frei verfügbare Fracht wird anteilig in den Waschprozess eingeschleppt, der größere Anteil wird mit dem Abwasser über den Wärmetauscher aus dem Prozess ausgezogen.

Var	Place	Material	B. Unit	DQ
X00	P9	▲ BenetzteWareA2	kg	●
X01	P9	▲ AusschleppungAbt2	kg	●
X02	P9	▲ CSB_co	kg	●
X03	P7	▲ RückführungA1	kg	●
X04	P7	▲ CSB_R	kg	●

Var	Place	Material	B. Unit	DQ
Y00	P3	▲ Benetzte Ware F1	kg	●
Y01	P3	▲ AusschleppungF1	kg	●
Y02	P3	▲ CSB_co	kg	●
Y03	P5	▲ AbwasserzumWT	kg	●
Y04	P5	▲ CSB_abw	kg	●

Abbildung 23: Übersicht zu den Input- und Outputflüssen für die Transition Ultrafiltration; Screenshot aus UMBERTO, beschnitten

Die funktionalen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Input- und Outputflüssen sind jeweils bei der Transition hinterlegt, für das Beispiel des Foulards am Eingang der Waschmaschine werden die im Bericht dargestellten Annahmen zu den Volumina an Abwasser, Carry-over und Washwirkung interpretiert und als lineare Zusammenhänge modelliert.

```

1 ;Einschleppung aus der Brugmann-Bleiche
2 X00=R04
3 X01=R06
4 X02=R05
5
6
7 ;Rückführung aus der Waschmaschine (Gegenstrom)
8 X03=R03
9 X04=R07
10
11 ;Warenmenge entspricht Input, Abquetscheffekt allgemein mit 55% angenommen, Wascheffekt mit 5% angenommen
12
13 ;Carry-over-Faktor, Verhältnis Ausschleppung zu Abwasser
14 CF=0.1
15
16 Y00=X00
17 Y01=COF * Y00
18 Y03=X01-Y01+X03
19 Y02=0.95 * X02 + (X04 * CF)
20 Y04=X02 * 0.05 + (X04 * (1-CF))
    
```

Abbildung 24: Funktionale Zusammenhänge für die Transition Foulard 1 der Waschmaschine; Screenshot aus UMBERTO, beschnitten

Bei der Berechnung des Gesamtmodells werden sämtliche über Stellen verknüpfte Transitionen entsprechend der angegebenen Spezifikationen berechnet. Für jede Transition können die Teilergebnisse zur Ergebniskontrolle abgerufen werden, für das gewählte Beispiel ist das Ergebnis in der folgenden Abbildung dargestellt.

Input:			Output:		
Item	Quantity	Unit	Item	Quantity	Unit
Summenparameter			Summenparameter		
▲ CSB_co	1557.888789403	kg	▲ CSB_abw	1537.426707767	kg
▲ CSB_R	1621.70252033	kg	▲ CSB_co	1642.164601966	kg
Ware			Ware		
▲ BenetzteWareA2	21353.625	kg	▲ Benetzte Ware F1	21353.625	kg
Wasser			Wasser		
Prozesslösung			Abwasser		
▲ AusschleppungAbt2	14947.5375	kg	▲ AbwasserzumWT	95703.04375	kg
▲ RückführungA1	92500	kg	Prozesslösung		
			▲ AusschleppungF1	11744.49375	kg

Abbildung 25: Bilanz für die Transition Ultrafiltration; Screenshot aus UMBERTO, beschnitten

Für die Transitionen werden Input- und Outputflüsse mit identischen Einheiten auch aufsummiert, so dass über den Vergleich der Summen Abweichungen bei der Massenbilanz deutlich werden; diese Darstellung ist zur Verbesserung der Lesbarkeit abgeschnitten. Erkennbar ist hier, dass mit der Rückführung aus der Waschmaschine ein Teil der bereits von der Ware gewaschenen CSB-Fracht wieder in die Waschmaschine zurückgeführt wird, die mit der Ware in das nachfolgende Abteil geleitete CSB-Fracht ist etwas höher als die insgesamt eingeschleppte Fracht. Da die Schmutzfracht dieses Abteil in der Regel mindestens zweimal passiert – nämlich als Eintrag an der Ware gebunden und als abgewaschene freie Fracht im Abwasser aus dem Gegenstrom – ist die berechnete Gesamtbelastung als Fracht über einen durchschnittlichen Produktionstag im Foulard 1 somit auch besonders hoch. Zur Berücksichtigung dieser höheren Aufkonzentrierung im Kreislauf ist es notwendig, die CSB-Frachten zu unterscheiden in die gebundene Fracht im Carry-over (CSB_co) und die freie Fracht in der Rückführung (CSB_R). Bei der Berechnung der Gesamtbilanz für jedes der vier definierten Prozessstadien werden die Modelle insgesamt auf ihre Konsistenz überprüft und die Ergebnisse für die grün bzw. rot dargestellten Quellen und Senken an der Grenze des Gesamtsystems aufsummiert. Die Ergebnisse können dann auf einen für alle Modelle einheitlichen Referenzfluss, in diesem Fall wurde die an einem Tag durchschnittlich behandelte Warenmenge gewählt, bezogen werden. Ein Ausschnitt aus diesem im Rahmen der Ökobilanzierung als Sachbilanz bezeichneten Zwischenergebnis ist in der folgenden Tabelle enthalten. Unter dem unteren grauen Querbalken sind die summierten Ergebnisse dargestellt. Abweichungen in den Summen kommen durch das importierte Modul „Stromnetz D“ zustande.

Balance Sheet Input / Output					
Input			Output		
Item	Quantity	Unit	Item	Quantity	Unit
Chemische Grundstoffe			Abfälle		
Chem. Grundstoffe, anorg.			Abfälle zur Beseitigung (AzB)		
Chlor	1,88	kg	Abfälle, hausmüllähnlich (AzB)	0,40	kg
Energieträger, sekundär			Abfälle, un spezifiziert (AzB)	2,83	kg
Energie, elektrisch	31.060,48	kJ	Abraum (AzB)	31,91	kg
Energie, thermisch	8.417,84	kJ	Aschen u. Schlacken (AzB)	4,67	kg
Hilfsmittel			Klärschlamm (AzB)	0,00	kg
Schlichte	1.921,83	kg	Sonderabfall (AzB)	0,01	kg
Rohware	21.353,63	kg	NOx (L)	3,74	kg
Wasser			Schwefeldioxid (L)	4,04	kg
Brauch-/Trinkwasser			Schwefelwasserstoff (L)	0,00	kg
Wasser, unspez.	2.490,42	kg	VOC (L)		
Frischwasser			Methan (L)	1,84	kg
Kühlwasser	22,97	kg	NMVOG (L)		
Wasser (Prozess)	135.974,48	kg	Benzol (L)	0,00	kg
			Indikatorparameter		
			BSB-5 (W)	49,83	kg
			CSB (W)	317,12	kg
			CSB_co	20,09	kg
			gewaschene Ware FC2	21.353,63	kg
			Wasser		
			Abwasser		
			Abwasser (Kühlwasser)	22,97	kg
			Abwasser, geklärt	122.221,36	kg
			Abwasser, unspez.	2.095,11	kg
			Prozesslösung		
			Ausschleppung F2	11.744,49	kg
			Wasserdampf	467,74	kg
kJ	20.415.454,05	kJ	kg	163.014,10	kg
kg	162.509,74	kg			

Tabelle 10: Ausschnitt aus dem Sachbilanzergebnis für das Modell zum Ist-Zustand (Export aus UMBERTO nach MS-EXCEL)

Da das Sachbilanzergebnis in der Regel sehr umfangreich ist, werden die Ergebnisse im Rahmen einer Wirkungsabschätzung aggregiert und damit die Information verdichtet. Dazu werden die ermittelten Flüsse einzelnen Wirkungskategorien wie Klimaveränderung, toxischen Wirkungen oder Ressourcenabbau zugeordnet. Das Zwischenergebnis der Wirkungsabschätzung für das Modell mit Ultrafiltration ist in der folgenden Tabelle dargestellt. Als Wirkungsabschätzungsmethode wurde hier die vom Zentrum für Umweltwissenschaften der Universität Leiden (CML) vorgeschlagene Vorgehensweise in der aktuellsten Version von 2002 angewendet.

Valuation System Results		
Item	Quantity	Unit
Aggregierte Ergebnisse		
Ressourcenverbrauch	9,22	kg Sb eq
Versauerung	6,80	kg SO ₂ eq
Eutrophierung	0,51	kg PO ₄ eq
ökotoxische Emissionen (Süßwasser)	0,06	kg p-DCB
ökotoxische Emissionen (Sed. Süß)	0,16	kg p-DCB
Klimaveränderung	1.259,32	kg CO ₂ eq
toxische Substanzen	9,92	kg p-DCB
ökotoxische Emissionen (Meer)	4.007,08	kg p-DCB
Geruch	25.898,20	m ³
POCP	0,23	kg Ethylen
ökotoxische Emissionen (Boden)	0,01	kg p-DCB

Tabelle 11: Wirkungsabschätzungsergebnisse für das Modell zum Ist-Zustand (Export aus UMBERTO nach MS-EXCEL)

Für den Vergleich der insgesamt vier Prozessstadien wird eine weitergehende Aggregation nach dem Vorschlag des Umweltbundesamtes angewendet. Dazu werden für alle drei Soll-Zustände für jede Wirkungskategorie Differenzen zum bestehenden Ist-Zustand gebildet, die dann mit der Gesamtbelastung für diese Kategorie normiert werden. Den normierten Differenzen wird in grafischen Darstellungen als Balkendiagramm zusätzlich zur Länge eine Balkenfärbung zugeordnet, die sich aus der relativen Bedeutung und der ökologischen Priorität nach Einschätzung des Umweltbundesamtes ergibt. Die Auswahl an Wirkungskategorien unterscheidet sich von der oben in der Tabelle enthaltenen, so ist z.B. für „Geruch“ keine Gesamtbelastung angegeben. Auf der Grundlage der Grafiken, die im folgenden Abschnitt für die drei Vergleiche dargestellt sind, können die Veränderungen gegenüber dem Ist-Zustand gut erfasst und für eine Gesamteinschätzung interpretiert werden.

Vergleich Soll-Zustand mit Ultrafiltration mit Ist-Zustand

Der Einsatz einer Ultrafiltrationsanlage führt zu einem verringerten Eintrag von CSB in die kommunale Kläranlage. Die über das Konzentrat abgeführte Fracht ist in den Modellen noch nicht berücksichtigt, da keine Informationen zu Energie- und Rohstoffbedarf einer geplanten Behandlung vorliegen. Am Betrieb der Waschmaschine ändert sich der Energiebedarf insgesamt nicht. Dem steht jedoch ein Mehrbedarf an elektrischer Energie für den Betrieb der Ultrafiltrationsanlage gegenüber, die sich besonders bei den Kategorien Ressourcenbedarf, Versauerungspotenzial und Klimaänderung durch den Anteil von fossilen Energieträgern im Kraftwerksmix deutlich negativ auswirkt. Insgesamt steigt durch die Ultrafiltration somit die Umweltbelastung an.

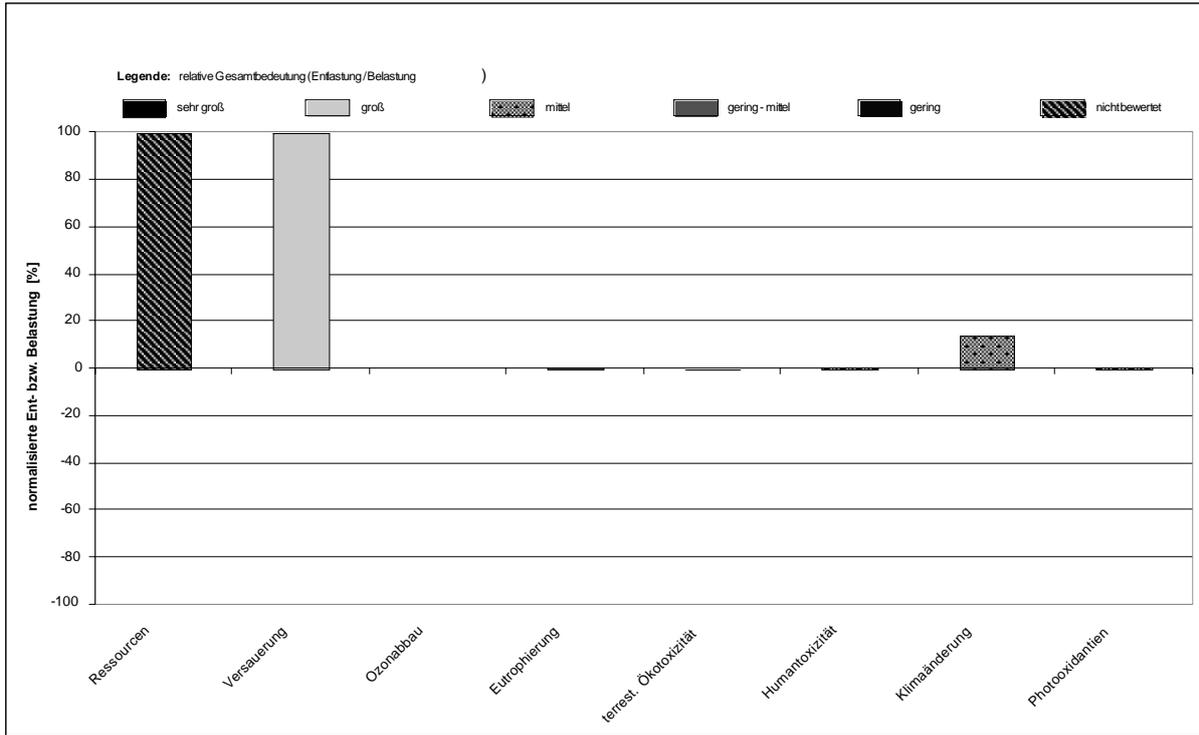


Abbildung 26: Vergleich der normalisierten Umweltent- bzw. Mehrbelastung für den Vergleich zwischen Ist-Zustand und Soll-Zustand mit Ultrafiltration

Vergleich Ist-Zustand und Soll-Zustand mit Saug

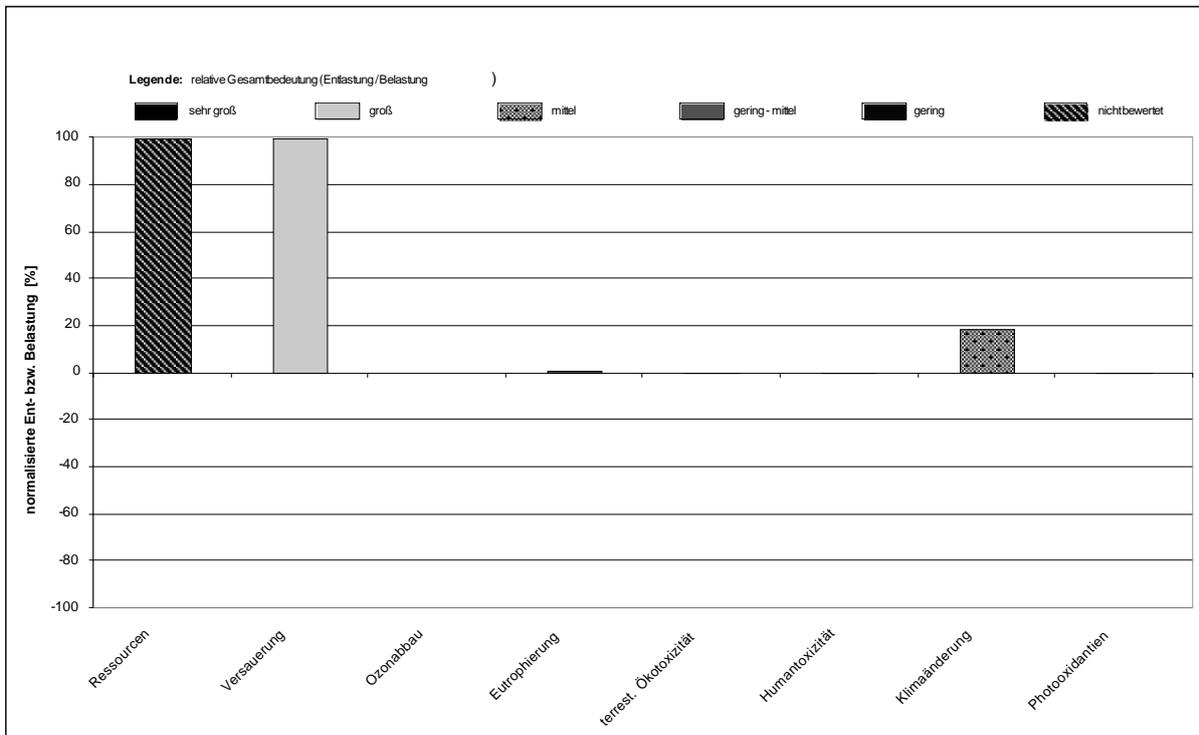


Abbildung 27: Vergleich der normalisierten Umweltent- bzw. Mehrbelastung für den Vergleich zwischen Ist-Zustand und Soll-Zustand mit Saug

Bei der „kleinen Lösung“ ohne Veränderung an der Auftragstechnik wird die Sauge als zusätzliches Aggregat betrieben, das durch den Strombedarf für den Betrieb eine Mehrbelastung in den Kategorien Versauerung, Klimaänderung und Ressourcenbedarf verursacht. Weiterhin wirkt sich auch negativ aus, dass für das Konzentrat aus der Sauge keine Wärmerückgewinnung vorgesehen ist und somit 1.500 L/h weniger heißes Abwasser am Wärmetauscher zur Verfügung steht, so dass der Gasbedarf für die Dampferzeugung ebenfalls erhöht wird. Für den Betrieb der Sauge ohne weitere Änderungen an der Vorbehandlung ergibt sich damit aus Umweltgesichtspunkten ein negatives Bild.

Vergleich Ist-Zustand und Soll-Zustand mit Sauge und Änderung der Vorbehandlung

Bei der Umsetzung dieser Optimierung wird mit einem verringerten Frischwasserbedarf in der Waschmaschine gerechnet. Allerdings ist auch in diesem Fall der Strombedarf für die Sauge zu berücksichtigen und ebenso wie bei der „kleinen Lösung“ kann der Saugenablauf nicht für eine Wärmerückgewinnung genutzt werden. Trotzdem ist das Gesamtbild in diesem Fall positiv, weil die Entlastungen beim Ressourcenbedarf und beim Versauerungspotenzial diesen Effekt offensichtlich überwiegen. Bei den übrigen Kategorien sind in der graphischen Darstellung keine Änderungen zu erkennen.

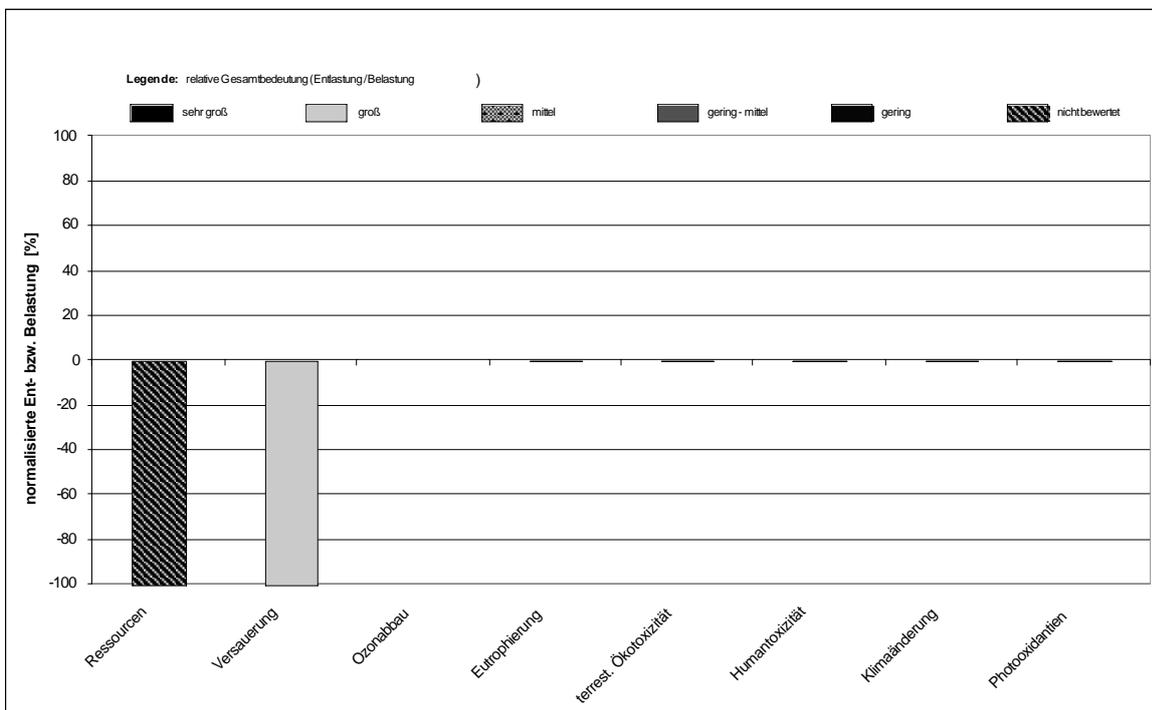


Abbildung 28: Vergleich der normalisierten Umweltent- bzw. Mehrbelastung für den Vergleich zwischen Ist-Zustand und Soll-Zustand mit Sauge und geänderter Vorbehandlung

In der Betrachtung konnte für diesen Vergleich ein Effekt durch die Umstellung der Auftragechnik nicht berücksichtigt werden. Durch diese weitere Änderung kann möglicherweise ein verringerter Dampfbedarf erreicht werden, was sich positiv auf das Gesamtergebnis aus Umweltgesichtspunkten auswirken würde.

Insgesamt zeigt sich durch die Kombination aus Sauge und geänderter Vorbehandlung eine Tendenz zur Umweltentlastung. Für eine weitergehende Beurteilung ist die Einbeziehung möglicher Dampfeinsparungen in der Vorbehandlung erforderlich, auch Effekte aus der Konzentratbehandlung konnten nach dem derzeitigen Informationsstand noch nicht einbezogen werden. Durch die Berücksichtigung weiterer Elemente des Gesamtsystems könnten dann auch Hinweise auf Schwachstellen und mögliche Ansatzpunkte für Optimierungen erhalten werden.

Nachfolgend ist das Stoffstromnetz dargestellt, das mit dem Softwaretool UMBERTO für die beschriebenen Prozessstadien des Waschprozesses auf der großen Brugman-Waschmaschine modelliert ist. In Transitionen werden Zusammenhänge und Reaktionen zwischen Input- und Outputflüssen definiert, während Stellen als Verbindungs- und Lagerstellen sowie am Rand des Systems als Quellen und Senken definiert werden können. Dabei wurden jeweils die vorhandenen Informationen verwendet zur Definition von Transitionen (z.B. einzelne Abteile der Waschmaschine) und der gesamten Netzstruktur mit dem Gegenstrom in der Brugman-Waschmaschine und den weiteren Verknüpfungen.