

Abschlussbericht

Ganzheitliche energetische Betrachtung einer Wäscherei als Lösungsansatz für prozessintegrierte Energieeinsparung zur nachhaltigen Steigerung der Energieeffizienz von Wäschereien - Phase I

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Aktenzeichen: 28612)

Projektlaufzeit 07.12.2011 - 06.06.2012

durchgeführt von:



06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	28612	Referat	-23	Fördersumme	121.969 €
Antragstitel		Ganzheitliche energetische Betrachtung einer Wäscherei als Lösungsansatz für prozessintegrierte Energieeinsparung zur nachhaltigen Steigerung der Energieeffizienz von Wäschereien			
Stichworte		Wäscherei, Energieeinsparung, Wasserreduktion, Ganzheitlichkeit, Kostensenkung			
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
6 Monate		07.12.2011		06.06.2012	
				Projektphase(n)	
				Phase I von II	
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger		Deutscher Textilreinigungs-Verband e.V. In der Raste 12 53129 Bonn		Tel 0228/ 917 310	
				Fax 0228/9173120	
				Projektleitung Frau Heike Fritsche	
				Bearbeiter Hans G. Hloch, Michael Tokos (wfk), Michael Deichsel (Hochschule Nürnberg)	
Kooperationspartner		wfk – Cleaning Technology Institute e.V. Campus Fichtenhain 11, 47807 Krefeld, 02151/8210-0 Georg-Simon-Ohm Hochschule Nürnberg Keßlerplatz 12, 90489 Nürnberg, 0911/5880-1345			
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens Wäschereien stehen aufgrund steigender Betriebsmittelkosten für Wasser und insbesondere Energie unter weiter steigendem Kostendruck, wobei der Energiekostenanteil bis zu etwa 15 %, der Wasserkostenanteil bis zu 5 % betragen. Der Waschwasserverbrauch bestimmt wiederum die Höhe der Wärmeenergiekosten und diese stellen den Hauptteil der anfallenden Energiekosten dar. Es wurden zwar für einzelne Bearbeitungsphasen bzw. Maschinensysteme unterschiedlichste Energie- und Wassereinsparmaßnahmen durch konstruktions-, verfahrens- und steuerungstechnische Neuentwicklungen umgesetzt. Dabei wurde jedoch nur in Ansätzen deren Auswirkung auf vor- und nachgeschaltete Bearbeitungsstufen und -verfahren in der Wäscherei berücksichtigt. Schließlich existieren keinerlei Energie- und Wasserflussbetrachtungen in Wäschereien, die einen nachträglichen Einbau neuer Maschinen mit integrierten Wasser- und/oder Energieeinsparmaßnahmen in die vorhandene Maschinenteknik einer Wäscherei erlauben. Da die Bedarfswerte von der Wäschereistruktur bzw. der behandelten Wäscheart bestimmt werden, war Ziel der hier vorliegenden Vorstudie das beispielhafte Aufzeigen möglicher Betriebsmittelströme und -einsparungen in einer Handtuch-, Matten- und Wischbezüge-Wäscherei als Vorbereitung einer weitestgehenden geplanten Studie, in der in typischen Wäschereien unterschiedlicher Wäschestruktur Lösungsansätze zur Reduzierung des Gesamtenergieeinsatzes unter Gewährleistung der Wäschequalität mit Berücksichtigung von Wäschelogistik, Maschinenteknik, Aufbereitungsverfahren sowie aller Wasser- und Energieströme als Basis zur Schaffung von Beratungsgrundlagen zum effizienten Energieeinsatz in Wäschereibetrieben erarbeitet werden sollen.					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Zur Problemlösung wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Betriebsbegehung mit anschließender Ausarbeitung Grobkonzept für detaillierte Erfassung von Wäscheströmen, Energie- und Massenströmen (Dampf, Wasser, Luft) sowie Wascheffektbestimmung
- IST-Analyse in Pilotbetrieb mit Ermittlung und Analyse von Wäschelogistik, Wasser- und Wärmeenergieströmen sowie Wasch-, Spül- und Finisheffekten mit Erfassung der entsprechenden Verfahrensabläufe; Erstellung von Wasser- und Energiebilanzen der gesamten Wäscherei
- Erarbeitung technischer Möglichkeiten zur Energieeinsparung mit Aufzeigen geeigneter Lösungsvorschläge zur Einsparung von Wasser und Energie anhand der ermittelten Daten
- Diskussion und Festlegung der erarbeiteten Lösungsvorschläge werden mit Wäschereibetrieb
- Transfer der Lösungsansätze in die Wäschereien mit Realisierung der Lösungsansätze
- Untersuchungen zum realisierten Einsparungspotenzial mit Ermittlung und Analyse der erhaltenen Wasser- und Wärmeenergieströme mit Erfassung der Wäschequalität; Erstellung von Wasser- und Energiebilanzen der gesamten Wäscherei
- Abschlussbewertung mit Wäschereibetrieb mit Erarbeitung von Problemlösungsvorschlägen und Aufzeigen ggf. weiteren Einsparpotenzialen
- Erste Arbeiten zur Konzepterarbeitung zur ganzheitlichen Bewertung von Wasser- und Energieeinsparmöglichkeiten, basierend auf dem realisierten Einsparungspotenzial und den aus der Abschlussbewertung resultierenden Folgerungen
- Dokumentation, Abschlussberichterstellung

Ergebnisse und Diskussion

Durch ganzheitliche Wäschereibetrachtung konnten Betriebsmitteleinsparungen bei Einhaltung des Waschstandards ohne Textilschädigungen aufgezeigt werden. Erreicht wurde dies durch reduzierte Trocknungstemperaturen bei optimiertem Trocknungsprozess, Einsatz von Wärmetauschern (Luft/Luft an Trockner, Abluft/Wasser an Mangel), reduzierte Waschetemperaturen, Brauchwasserbehandlung und -wiederverwendung des Abwassers der Handtuchrollenwäsche für die Aufbereitung von Wischbezügen und anschließende Verwendung dieses Abwassers für die Schmutzfangmattenbehandlung.

Durch die ganzheitliche Betrachtung aller Prozesse konnten Einsparungen an Dampf zum Beheizen der Handtuchwaschstraße um über 75 % und des Frischwasserbedarfs um ca. 80 % gesenkt werden. Am Trockner der bereits optimierten Mattenwaschanlage konnte eine Reduktion des Gasverbrauchs von ca. 33 % erzielt werden, wobei die Wärmerückgewinnung noch optimiert werden kann. Durch die Nutzung eines Abgaswärmetauschers, eines Wrasendampfwärmetauschers in der Speisewasserentgasung und die oben genannten prozessübergreifenden Maßnahmen konnte die Dampferzeugung um 35 % von ca. 1.462 kW auf ca. 942 kW gesenkt werden.

Im Einzelnen reduzierte sich der spezifische (auf das kg Textil bezogene Energieverbrauch) bei der Bearbeitung von Handtuchrollen (Waschstraßen und Mangel) von 0,761 kWh Erdgas/kg Textil auf 0,462 kWh Erdgas/kg Textil (Einsparung 39 %). Bei der Behandlung von Schmutzfangmatten und Feuchtwischbezügen (Waschstraße und Gastrockner) wurde der Energieeinsatz von 0,353 kWh Erdgas/kg Textil auf 0,243 kWh Erdgas/kg Textil reduziert (Einsparung 31%).

Es konnten erste Ansätze zur Simulation von Energie- und Ressourcenströmen in der Wäscherei mit dem Softwareprogramm EES erfolgreich entwickelt werden.

Die erzielten Ergebnisse sind ausschließlich für die untersuchte Matten- und Handtuchrollenwäscherei verwendbar und können nur sehr eingeschränkt auf andere Wäschearten bzw. Wäschereistrukturen übertragen werden. Da der Anteil von Wäschereien, die Schmutzfangmatten kombiniert mit Wischbezügen aufbereiten, in Deutschland im Vergleich zu den anderen Wäschereien bzw. behandelten Wäschearten gering ist, muss in einer zweiten, fortführenden Projektphase detailliert auf die anderen, deutlich häufiger vorzufindenden Wäschereistrukturen bzw. Textilarten eingegangen werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das erarbeitete Konzept zur ganzheitlichen Bewertung von Einsparmöglichkeiten, die zusätzlich erstellte funktionale Matrix zur Darstellung möglicher Einsparungen und das Berechnungstool zur einfachen Abschätzung von Wasser- und Wärmeenergieströmen in bestehenden Wäschereien werden als Plattform zur Installation einer über den DTV koordinierten Beratungsstelle für optimierten Energieeinsatz in Wäschereien genutzt.

Publikationen:

HLOCH, H.G., BOHNEN, J.

Ganzheitliche energetische Betrachtung einer Wäscherei als Lösungsansatz für prozessintegrierte Energieeinsparung, wfk Newsletter 1/2012, 5

HLOCH, H.G., BOHNEN, J.

Die Wäscherei ganzheitlich betrachtet, RW-Textilservice (2012) 5, 38

HLOCH, H.G.

Neues Projekt: Lösungsansatz für prozessintegrierte Energieeinsparung, WRP-textilpflege (2012) 4, 94

Präsentationen:

HLOCH, H.G., Ganzheitliche energetische Betrachtung einer Wäscherei als Lösungsansatz für prozessintegrierte Energieeinsparung zur nachhaltigen Steigerung der Energieeffizienz von Wäschereien wfk/DTV Workshop Energieeinsparung in Wäschereien, Tübingen, 21.03.12

HLOCH, H.G., Unter die Lupe genommen: Energieeinsparungen beim Waschen

wfk/DTV-Workshop Energieeffizienz, Krefeld, 23./24.05.12

KRAUSE, J., Richtig vernetzen – das spart Energie, vermeidet Leistungsverluste & finanzielle Folgen

wfk/DTV-Workshop Energieeffizienz, Krefeld, 23./24.05.12

BUCHHEISTER, F., Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit, Energiebilanzen – lohnt sich das?

wfk/DTV-Workshop Energieeffizienz, Krefeld, 23./24.05.12

Fazit

Bereits nach Abschluss der ersten Projektphase kann festgestellt werden, dass in dem untersuchten Wäschereibetrieb für Handtuchrollen, Schmutzfangmatten und Feuchtwischbezüge erhebliche Energie- und Ressourceneinsparungen realisierbar waren, wobei die vorhandenen Prozesse ganzheitlich berücksichtigt werden mussten. Wie sich zeigte, werden mögliche Einsparmaßnahmen von der Struktur des Wäschereibetriebes bestimmt. Daher sind zur Abdeckung des gesamten Wäscheartenspektrums weitere analoge Untersuchungen (einschließlich Wasch-, Trocknungs- und Mangel-/Finisheffekten) in Wäschereien mit den anderen typischen Wäschearten Berufskleidung, Hotel und Gastronomie, Krankenhauswäsche sowie Alten- und Pflegeheim durchzuführen. Darauf basierend sollten Berechnungsmodelle, welche das Aufzeigen von Energie- und Wasserflussbetrachtungen in Wäschereien ermöglichen und somit einen nachträglichen Einbau neuer Maschinen oder Prozesstechnologien mit integrierten Wasser- und/oder Energieeinsparmaßnahmen in die vorhandene Maschinenteknik einer Wäscherei erlauben, unter Berücksichtigung des bereits untersuchten Betriebes fertig gestellt werden.

Für die weiteren geplanten Untersuchungen hat sich die prinzipielle Vorgehensweise der im Rahmen der IST-Analyse vorgenommenen Erfassung von Wasser- und Energieströmen zunächst einzelner Maschinen und daran anschließend deren Gesamtbetrachtung innerhalb des Wäschereibetriebes bewährt. Gleiches gilt für die Erfassung der Wasch-, Spül- und Finishqualität. Die Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Partnern wfk und ieg sowie dem Wäschereibetrieb und den Herstellern von Maschinen und Waschmitteln erwies sich als sehr erfolgreich, da bei der Erfassung und Umsetzung möglicher Einsparmaßnahmen alle relevanten Bereiche vertreten waren. Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen konnten bei Einhaltung der Wasch- und Finishqualität hohe Einsparungen erzielt werden. Das erprobte Rechenprogramm EES erwies sich als geeignet und kann für die weitere Entwicklung als Berechnungstool verwendet werden.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
0	Kurzfassung..... 9
1	Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung..... 11
2	Stand der Technik..... 13
2.1	Generelle Situation..... 13
2.2	Derzeitige Energieeinsparmaßnahmen in Wäschereien..... 13
2.3	Auswirkungen von Energieeinsparmaßnahmen auf Wasch- und Trocknungseffekte..... 15
2.4	Beschreibung der Messtechnik, Energiebilanzerstellung..... 17
2.5	Zusammenfassung..... 18
3	Experimentelles..... 20
3.1	Prinzipieller Lösungsweg..... 20
3.2	Durchführung der IST-Analyse..... 21
3.2.1	Allgemein..... 21
3.2.2	Erfassung der Betriebsmittelströme..... 23
3.2.2.1	Wäschebehandlung 23
3.2.2.2	Wasser..... 24
3.2.2.3	Erdgas..... 24
3.2.2.4	Dampf..... 25
3.2.2.5	Druckluft..... 25
3.2.2.6	Elektrischer Strom..... 25
3.2.3	Erfassung der Wasch- und Trocknungseffekte..... 26
3.2.3.1	Wascheffekte..... 26
3.2.3.2	Trocknungseffekte..... 28
3.2.4	Charakterisierung der Wasserqualität..... 29
4	Ergebnisse und Diskussion der Einzelergebnisse..... 31
4.1	IST-Analyse..... 31
4.1.1	Betriebsmittelströme..... 31

4.1.1.1	Wasser.....	31
4.1.1.2	Erdgas.....	34
4.1.1.3	Dampfkessel.....	34
4.1.1.4	Gasbeheizter Tumbler.....	35
4.1.1.5	Dampf.....	36
4.1.1.6	Druckluft.....	37
4.1.1.7	Elektrischer Strom.....	38
4.1.2	Wascheffekte.....	40
4.1.2.1	Eingesetzte Maschinen und Waschprogramme.....	40
4.1.2.2	Schmutzentfernung.....	46
4.1.2.3	Textilschädigung, Vergrauung und Spülwirkung.....	48
4.1.3	Trocknungseffekte.....	50
4.1.3.1	Mangeln.....	50
4.1.3.2	Trocknen im Tumbler.....	50
4.1.4	Wasserqualität.....	52
4.1.4.1	Frischwasser.....	52
4.1.4.2	Abwasser.....	52
4.1.4.3	Wasserdaten innerhalb von Waschanlagen und Tanks.....	54
4.2	Verbesserungsvorschläge und deren Realisierung.....	57
4.2.1	Energieverbrauchsreduzierung bei der Dampferzeugung.....	57
4.2.2	Energieverbrauchsreduzierung beim Waschen von Handtuchrollen.....	58
4.2.3	Energieverbrauchsreduzierung beim Trocknen.....	59
4.2.3.1	Dampfbeheizte Mangel.....	59
4.2.3.2	Gasbeheizter Trockner.....	60
4.2.4	Reduzierung des Stromverbrauchs.....	61
4.2.5	Reduzierung des Energieverbrauchs Druckluft.....	61
4.2.6	Weitere diskutierte Maßnahmen.....	63
4.3	Realisierte Einsparungspotenziale unter Berücksichtigung der Wasch- und Trocknungseffekte.....	64

4.3.1	Einsparungspotenziale ausgewählter Maßnahmen.....	64
4.3.1.1	Energieverbrauch Dampferzeugung.....	65
4.3.1.2	Energieverbrauch Waschen.....	67
4.3.1.3	Energieverbrauch Trocknen.....	70
4.3.1.4	Wasserverbrauchreduzierung durch Elektrolyse- und Filtrationsbehandlung..	72
4.3.2	Einsparungspotenziale bei Behandlung einzelner Wäschearten.....	74
4.3.2.1	Handtuchrollen.....	74
4.3.2.2	Schmutzfangmatten und Feuchtwischbezüge.....	75
4.3.3	Einsparungspotenziale Gesamtwäscherei.....	76
4.3.3.1	Wasser.....	76
4.3.3.2	Wärmeenergie.....	78
4.3.3.3	Dampf.....	79
4.3.3.4	Druckluft.....	84
4.3.4	Wascheffekte.....	84
4.3.4.1	Schmutzentfernung.....	85
4.3.4.2	Sekundärwascheffekte.....	88
4.3.4.3	Spülwirkung.....	89
4.3.5	Trocknungseffekte.....	89
4.3.6	Abwasserdaten.....	91
4.4	Ansätze Rechnermodell.....	91
5	Zusammenfassende Diskussion und Folgerungen für die Praxis.....	95
5.1	Zusammenfassung der Einzelergebnisse.....	95
5.1.1	Aufbereitung Handtuchrollen.....	95
5.1.2	Aufbereitung Wischbezüge.....	96
5.1.3	Aufbereitung Schmutzfangmatten.....	96
5.1.4	Gesamtwäscherei.....	96
5.2	Ganzheitliche Betrachtung Wäscherei.....	97
5.2.1	Auswirkung Waschtemperaturabsenkung.....	97
5.2.2	Auswirkung Trocknungstemperaturabsenkung.....	97

5.2.3	Auswirkung Abwasseraufbereitung.....	98
5.2.4	Gesamtbewertung.....	98
5.3	Folgerungen für die Praxis.....	98
5.4	Anregungen für die Weiterführung des Projektes.....	99
6	Danksagung.....	100
7	Literaturverzeichnis.....	101

0 Kurzfassung der Ergebnisse

Wäschereien stehen aufgrund steigender Betriebsmittelkosten für Wasser und insbesondere Energie unter weiter steigendem Kostendruck, wobei der Energiekostenanteil bis zu etwa 15 %, der Wasserkostenanteil bis zu 5 % betragen. Der Waschwasserverbrauch bestimmt wiederum die Höhe der Wärmeenergiekosten. Bisherige Einsparmaßnahmen berücksichtigten nur in Ansätzen deren Auswirkung auf vor- und nachgeschaltete Bearbeitungsstufen und -verfahren in der Wäscherei. Außerdem existierten keine Energie- und Wasserflussbetrachtungen für Wäschereien, die einen nachträglichen Einbau neuer Maschinen mit integrierten Wasser- und/oder Energieeinsparmaßnahmen in die vorhandene Maschinenteknik der Wäscherei erlauben. Da die Bedarfswerte von der Wäschereistruktur bzw. behandelten Wäscheart bestimmt werden, wurden in dieser Vorstudie beispielhaft mögliche Betriebsmittelströme und -einsparungen in einer Handtuch-, Matten- und Wischbezüge-Wäscherei bei Einhaltung der Wäschequalität unter Berücksichtigung von Wäschelogistik, Maschinenteknik, Aufbereitungsverfahren sowie aller Wasser- und Energieströme aufgezeigt. Diese Studie soll als Vorbereitung weitergehender Untersuchungen unter Berücksichtigung der weiteren typischen Wäschereistrukturen als Basis für die Schaffung von Beratungsgrundlagen zum effizienten Energieeinsatz in Wäschereibetrieben dienen.

Die modellhafte Erarbeitung möglicher Einsparungen in der Wäscherei basiert auf der Durchführung einer IST-Analyse mit Ermittlung und Analyse von Wäschelogistik, Wasser- und Wärmeenergieströmen sowie Wasch-, Spül- und Finisheffekten, der Erarbeitung von technischen Einsparungsmöglichkeiten, der Umsetzung der Maßnahmen in die Betriebe und der Ermittlung des erzielten Einsparungspotenzials. Des Weiteren wurden erste Arbeiten zur Konzepterarbeitung für die ganzheitliche Bewertung von Wasser- und Energieeinsparmöglichkeiten begonnen.

Durch ganzheitliche Wäschereibetrachtung konnten Betriebsmitteleinsparungen bei Einhaltung des Waschstandards ohne Textilschädigungen aufgezeigt werden. Erreicht wurde dies durch reduzierte Trocknungstemperaturen bei optimiertem Trocknungsprozess, Einsatz von Wärmetauschern (Luft/Luft an Trockner, Abluft/Wasser an Mangel), reduzierte Waschetemperaturen, Brauchwasserbehandlung und -wiederverwendung des Abwassers der Handtuchrollenwäsche für die Aufbereitung von Wischbezügen und anschließende Verwendung dieses Abwassers für Schmutzfangmattenbehandlung.

Durch die ganzheitliche Betrachtung aller Prozesse konnten Einsparungen an Dampf zum Beheizen der Handtuchwaschstraße um über 75 % und des Frischwasserbedarfs um ca. 80 % gesenkt werden. Am Trockner der bereits optimierten Mattenwaschanlage konnte eine Reduktion des Gasverbrauchs von ca. 33 % erzielt werden, wobei die Wärmerückgewinnung noch optimiert werden kann. Durch die Nutzung eines Abgaswärmetauschers, eines Wrasendampfwärmetauschers in der Speisewasserentgasung und die oben genannten prozess-

übergreifenden Maßnahmen konnte die Dampferzeugung im Mittel um 35 % von ca. 1.462 kW auf ca. 942 kW gesenkt werden.

Im Einzelnen reduzierte sich der spezifische (auf das kg Textil bezogene Energieverbrauch) bei der Bearbeitung von Handtuchrollen (Waschstraßen und Mangel) von 0,761 kWh Erdgas/kg Textil auf 0,462 kWh Erdgas/kg Textil (Einsparung 39%). Bei der Behandlung von Schmutzfangmatten und Feuchtwischbezügen (Waschstraße und Gastrockner) wurde der Energieeinsatz von 0,353 kWh Erdgas/kg Textil auf 0,243 kWh Erdgas/kg Textil reduziert (Einsparung 31%).

Unter den erarbeiteten Wasch- und Trocknungsbedingungen konnte die erforderliche Wasch- und Verdampfungsleistung sowie Wasch- und Trocknungsqualität erhalten bleiben, erhöhte Textilschädigung wurde nicht festgestellt.

Es konnten erste Ansätze zur Simulation von Energie- und Ressourcenströmen in der Wäscherei mit dem Softwareprogramm EES erfolgreich entwickelt werden.

Die erzielten Ergebnisse sind ausschließlich für die untersuchte Matten- und Handtuchrollenwäscherei verwendbar und können nur sehr eingeschränkt auf andere Wäschearten bzw. Wäschereistrukturen übertragen werden. Da der Anteil von Wäschereien, die Schmutzfangmatten kombiniert mit Wischbezügen aufbereiten, in Deutschland im Vergleich zu den anderen Wäschereien bzw. behandelten Wäschearten gering ist, muss in einer zweiten, fortführenden Projektphase detailliert auf die anderen, deutlich häufiger vorzufindenden Wäschereistrukturen bzw. Textilarten eingegangen werden.

1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Wäschereien stehen aufgrund steigender Betriebsmittelkosten für Wasser und insbesondere Energie unter weiter steigendem Kostendruck. So kann der Energiekostenanteil der Wäscheaufbereitungskosten bis zu etwa 15 %, der Wasserkostenanteil bis zu 5 % betragen, wobei der Waschwasserverbrauch wiederum die Höhe der Wärmeenergiekosten mitbestimmt. Die Wärmeenergiekosten stellen den Hauptteil der für die Wäschebearbeitung anfallenden Energiekosten dar. Derzeit liegen trotz bereits realisierter unterschiedlichster Energie- und Wassereinsparmaßnahmen in der Wäscherei in Deutschland – mit dem in Europa höchsten Technologiestandard – die Gesamtenergiebedarfswerte zwischen 0,7 (modernste Wäschereitechnologie) bis etwa 6 kWh/kg Wäsche. Der spezifische Gesamtwasserverbrauch liegt zwischen 15 und 25 l/kg, für spezielle Anwendungen um 3,5 bis 6 l/kg. Während Wasser im Wesentlichen für das Waschen und zu geringerem Anteil für die Dampfkessel-speisewasserbereitstellung (überwiegend zentrale Dampfversorgung der Wäschereimaschinen) benötigt wird, ist Wärmeenergie für die Beheizung der Waschmaschinen, Trockner, Mangeln und Finishmaschinen erforderlich.

Für einzelne Bearbeitungsphasen bzw. Maschinensysteme konnten bislang unterschiedlichste Energie- und Wassereinsparmaßnahmen durch konstruktions-, verfahrens- und steuerungstechnische Neuentwicklungen umgesetzt werden. Es wurden dabei jedoch nur in Ansätzen deren Auswirkung auf vor- und nachgeschaltete Bearbeitungsstufen und -verfahren in der Wäscherei berücksichtigt. Ebenfalls unberücksichtigt bei Wasser- und Energieeinsparmaßnahmen blieben die Dampferzeugung und -versorgung der Maschinen oder die Integration von zunehmender direkter dezentraler Beheizung von Wäschereimaschinen. Schließlich existieren keinerlei Energie- und Wasserflussbetrachtungen in Wäschereien (z.B. als anwenderfreundliche Software), die einen nachträglichen Einbau neuer Maschinen mit integrierten Wasser- und/oder Energieeinsparmaßnahmen in die vorhandene Maschinenteknik einer Wäscherei erlauben.

Die hohe Schwankungsbreite der oben angeführten Verbrauchswerte weist auf unzureichende Umsetzung möglicher Energieeinsparungstechnologien in den Wäschereien hin. Ursache sind einerseits fehlende, allgemein zugängliche Untersuchungen, in denen exemplarisch für die typischen Wäschereistrukturen (abhängig von der bearbeiteten Wäscheart) anhand von Pilotbetrieben mögliche Energieeinsparungen im Gesamtbetrieb unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Wäschequalität aufgezeigt werden.

Entsprechende Optimierungen sind nur in personal- und kostenaufwändigen Untersuchungen in der Wäscherei möglich, wozu die überwiegend klein- und mittelständisch strukturierten Betriebe (2.200 Betriebe mit 7,2 Mio. kg Wäsche pro Tag, Gesamtumsatz ca. 2,2 Mrd. EUR/a) nicht in der Lage sind [1]. Aus gleichem Grund existiert keine Software zur Erfassung der Betriebsmittelströme in der gesamten Wäscherei, mit der Berechnungen zur Minimierung

des Energie- und Wassereinsatzes durchgeführt werden könnten. Durch eine zu entwickelnde Software bzw. anwenderfreundliche Rechnerprogramme könnten Möglichkeiten zu Energieeinsparung und Prozessoptimierung zur nachhaltigen Steigerung der Energieeffizienz von bestehenden Wäschereibetrieben (Beibehaltung des wesentlichen Maschinenparks, Energieerzeugung auf vorhandenem Stellplatzangebot) kostengünstig innerhalb kurzer Zeit aufgezeigt werden. Dies erleichtert die Umsetzung entsprechender Maßnahmen in den Wäschereibetrieben. Aus den oben genannten Gründen wurde das geplante Projekt vom Technischen Ausschuss des DTV angeregt, im Verein „Forschung Textilreinigung e.V.“ eingehend diskutiert und von der Mitgliederversammlung des DTV im September 2009 mit höchster Priorität befürwortet.

Im Rahmen des beantragten Projektes sollten zunächst in einem bestehenden Betrieb Modelluntersuchungen (IST-Analyse, Erarbeitung von Einsparungsmöglichkeiten, Umsetzung der Maßnahmen in die Betriebe, Ermittlung des Einsparungspotenzials) durchgeführt werden, die exemplarisch im Pilotbetrieb erreichte Einsparungen aufzeigen. Mögliche Einsparmaßnahmen werden von der Art der behandelten Wäsche bzw. der Struktur des Wäschereibetriebes bestimmt. Im Rahmen des untersuchten Betriebes wurde die Bearbeitung folgender Wäschearten untersucht:

- Schmutzfangmatten,
- Handtuchrollen und
- Feuchtwischbezüge.

Da sich Energieeinsparmaßnahmen negativ auf die Waschqualität auswirken können, sollten zur Gewährleistung des Wäschestandards Untersuchungen zur Erfassung der Primär- und Sekundärwascheffekte, sowie zur Einhaltung der Abwassereinleitbedingungen vorgenommen werden. Darauf basierend sollten erste Ansätze eines Rechnermodells, welches das Aufzeigen von Energie- und Wasserflussbetrachtungen in Wäschereien ermöglicht und somit einen nachträglichen Einbau neuer Maschinen oder Prozesstechnologien mit integrierten Wasser- und/oder Energieeinsparmaßnahmen in die vorhandene Maschinenteknik dieser Wäscherei erlaubt, entwickelt werden.

2 Stand der Technik

2.1 Generelle Situation

Den Hauptteil der für die Wäschebearbeitung anfallenden Energiekosten stellen die Wärmeenergiekosten dar. Derzeit liegen trotz bereits realisierter unterschiedlichster Energie- und Wassereinsparmaßnahmen in der Wäscherei in Deutschland – mit dem in Europa höchsten Technologiestandard – die Gesamtenergiebedarfswerte zwischen 0,7 (modernste Wäschereitechnologie) bis etwa 6 kWh/kg Wäsche. Der spezifische Gesamtwasserverbrauch liegt zwischen 15 und 25 l/kg, für spezielle Anwendungen um 3,5 bis 6 l/kg [2]. Während Wasser im Wesentlichen für das Waschen und zu geringerem Anteil für die Dampfkessel-speisewasserbereitstellung (überwiegend zentrale Dampfversorgung der Wäschereimaschinen) benötigt wird, ist Wärmeenergie für die Beheizung der Waschmaschinen, Trockner, Mangeln und Finishmaschinen erforderlich.

In Deutschland hat die Wäschereitechnologie insbesondere in Großwäschereien (Anteil etwa 6 % der Betriebe mit 50 % des Umsatzes) einen hohen Stand der Technik erreicht. In einem Ende 2009 fertig gestellten Betrieb konnte bei kompletter Neukonzeption des Gesamtbetriebs mit darauf ausgerichtetem Neubau bei hohen Neuinvestitionskosten durch Berücksichtigung aller in der Wäscherei vorliegenden Wasser- und Energieströme der Energiebedarf unter 1 kWh/kg Wäsche und der Wasserbedarf auf 6,5 l/kg Wäsche gesenkt werden [3]. Erreicht wurde dies durch Nutzung des Abwassers aus dem Waschbereich und der Abluft aus den Finishbereichen (Mangeln, Tunnelfinisher) zum Aufheizen des Frischwassers. Zusätzlich wurden Energie und Wasser sparende Waschmaschinen (Durchlaufwaschanlage mit Spülschleudertechnik) und Trockner (direkt gasbeheizt, Abluftwiederverwendung, Programmsteuerung mittels Oberflächentempersensor) eingesetzt.

2.2 Derzeitige Energieeinsparmaßnahmen in Wäschereien

Energieeinsparmaßnahmen in bestehenden Betrieben beschränken sich überwiegend auf Einzelmaßnahmen an einzelnen Maschinen bzw. Behandlungsstufen durch verbesserte Dampfausnutzung und -erzeugung, Einsatz neuer Wäschereimaschinen, Optimierung von Behandlungsprozessen durch neue Prozesstechnik und Niedrigtemperaturwaschmittel sowie Einsatz zusätzlicher Steuerungen und sonstige den Energiebedarf reduzierende Maßnahmen. Zur Realisierung werden sowohl von den Herstellern der Wäschereimaschinen als auch der Waschmittelhersteller unterschiedlichste Systeme angeboten. Durch die gleichzeitige Einführung von Niedrigtemperaturwaschmitteln in Kombination mit Abwasserwärmetauschern, die zur Frischwassererwärmung genutzt werden, und Wasser sparende Maschinenteknik ist es heute möglich, Durchlaufwaschanlagen ohne Dampfzufuhr zu betreiben. Voraussetzung zur Einführung derartiger Technologie ist eine exakte Abstimmung des Chemikalien-, Wasser- und Wärmeenergieeinsatzes.

Der überwiegende Teil der Wäschereimaschinen wird derzeit mit Dampf beheizt, der zentral in öl- oder gasbefeuerten **Kesseln** (vereinzelt auch Holzpellet-Beheizung) erzeugt wird. Trotz angewandter Kondensat- und Wärmerückgewinnung aus Mangeln, Trocknern und Finishern führt dies aufgrund der Wärmeverluste während der Dampfverteilung in der Wäscherei, ungünstigem Dampfkesselwirkungsgrad bei geringerer Wäschereimaschinenauslastung und niedrigem Wärmewirkungsgrad der Maschinen (z.B. Mangel oder Trockner um 30 %) zu hohem Primärenergieverbrauch mit der Folge hoher Kosten und Emissionen.

Beim **Waschen** konzentrieren sich Einsparungsmaßnahmen einerseits auf eine Wasserverbrauchsreduktion und damit verbundene Energieeinsparungen sowie auf durch reduzierte Wassertemperatur (Niedrigtemperaturverfahren) erzielbare Effekte. Dies schließt die Optimierung der Programmabläufe (teilweiser Ersatz der thermischen durch mechanische Energie, Anpassung der Wassermenge an die Beladungsmenge) ein. Andererseits wird das Abwasser und damit der darin enthaltene Wärmeinhalt entweder direkt für Wäschearten geringen Anspruchs (Klarwaschwasser z.B. für Schmutzfangmatten) weiterverwendet, wiederverwendet (Entwässerungs- und Spülwasser für Vorwäsche und Klarwäsche) und/oder über Wärmetauscher zur Erwärmung des Frischwassers eingesetzt. Folge ist geringerer Wärmebedarf aufgrund des höheren Temperaturniveaus oder eine geringere zu erwärmende Wassermenge. Gleichzeitig bewirken höheres Spülbad- bzw. Wasser im Waschgut geringere Feuchte nach der mechanischen Entwässerung mit dem Vorteil geringeren Energiebedarfs für das nachfolgende Trocknen. Zur Nutzung des Wärmeinhalts von Abluft von Waschmaschine (Wrasen), Trockner und Mangel werden seit 2009 Luft-Wärmetauscher zur Erwärmung des Frischwassers angeboten. Diese sind allerdings erst vereinzelt in der Praxis vorzufinden.

Bei der „dampflosen“ Wäscherei bzw. Waschmaschine wird das Waschniveau durch Verwendung geeigneter Waschchemie, niedrige Flottenverhältnisse, Wasserrückgewinnung und Verwendung von Wärmeaustauschern zum Erhitzen des Frischwassers so weit reduziert, dass das erforderliche Waschniveau ohne zusätzliche Wassererwärmung, z.B. mittels Direktdampfzufuhr, erreicht wird. Dies ist jedoch nur für Kontinuuwaschanlagen und leicht verschmutzte Wäsche möglich. Für Dämpfbehandlungen im Finisher wird dabei zur Dampferzeugung statt des herkömmlichen Dampfkessels ein Schnelldampferzeuger eingesetzt.

Bei **Trocknern und Mangeln** sind neben reduzierter Anfangsfeuchte des Waschgutes durch verbesserte Entwässerungstechnik einerseits Wärmeenergieeinsparungen durch Umstellung von Dampf auf Gasbeheizung möglich. Die neue Trocknergeneration besitzt außerdem eine zusätzliche Textiloberflächentemperaturerfassung, die – angepasst an die Beladungsmenge – eine Übertrocknung oder zusätzliches Trocknen aufgrund zu feuchter Ware verhindert. Des Weiteren weisen sie verbesserte Luftführung im Trockner mit der Möglichkeit einer feuchtig-

keitsabhängigen Wiederverwendung der Prozessluft auf. Zusätzliche Energieeinsparmaßnahmen bei Mangeln beziehen sich auf Maschinenisolierung, die Anwendung von Mangelabdeckhauben und den Einsatz der Heizbandtechnologie. Außerdem gibt es Ansätze zum Bau von direkt mit Gas beheizten Mangeln. Als sonstige, in der Wäschereipraxis anzutreffende Energiesparmaßnahmen sind beispielweise die Verwendung geeigneter Kondensatableiter, der Einsatz frequenzgesteuerter Motoren oder an die Leistung angepasster Kompressoren zu nennen.

In einem kürzlich von der DBU unterstützten Demonstrationsprojekt (DBU Az: 28543-23) wurde eine kombinierte Wärmerückgewinnungsanlage untersucht, bei der die Trocknerabluft zur Vorwärmung des Waschanlagenwassers (kontinuierlicher Frischwasserzulauf) und des Waschschleudermaschinenwassers (diskontinuierlicher Wasserzulauf) eingesetzt wird [4]. Eine Übertragung des Konzeptes auf andere Wäschereien bzw. andere Wäschearten ist jedoch nicht möglich, da sowohl die behandelten Wäschearten und -mengen nicht angeführt sind als auch Daten über die beim Trocknen verdampften Wassermassen (wird von Wäscheart, Entwässerungsbedingungen etc. bestimmt) nicht erfasst wurden. Des Weiteren wurde die bei der Wasservorerwärmung aufgetretene Waschtemperaturniveauerhöhung üblicherweise auftretende und nur nach Mehrfachbehandlungen feststellbare Textilschädigung (s.a. **Kapitel 2.3**) nicht überprüft. Schließlich fehlen Angaben über die veränderten Abwassereinleittemperaturen.

Die Umsetzung der oben genannten Einsparmaßnahmen in die Praxis ist bisher nur in personal- und kostenaufwändigen Untersuchungen in der Wäscherei möglich und beschränkt sich insbesondere für den Großteil der kleineren und mittleren Betriebe auf Einzelmaßnahmen an einzelnen Wäschereimaschinen bzw. -behandlungsstufen. Dies gilt sowohl für die notwendige Erfassung des IST-Zustandes als auch für Verbesserungsvorschläge. Da die Untersuchungen während des laufenden Betriebes vorgenommen werden müssen, sind sie zudem langwierig mit der Folge, dass die Auswirkungen entsprechender Verfahrensänderungen oder Logistikmaßnahmen erst nach längerer Bearbeitungsphase festgestellt werden können. Zusätzlich müssen zur Vermeidung negativer Auswirkungen auf die Wascheffekte und den Hygienestatus sowie die Abwasserbelastung umfangreiche Untersuchungen zu deren Überprüfung bzw. Anpassung an die geforderten Werte vorgenommen werden.

2.3 Auswirkungen von Energieeinsparmaßnahmen auf Wasch- und Trocknungseffekte

Wie bereits unter **Kapitel 2.2** angeführt, erfordert die Einführung von Wasser und Energie sparender Technologien eine exakte Abstimmung des Chemikalien-, Wasser- und Wärmeenergieeinsatzes. Verringertes *Wasservolumen in der Klarwäsche* und damit verringerter Energiebedarf können zu folgenden negativen Wascheffekten führen:

- Verstärkter mechanischer Textilabrieb (Folge: verkürzte Lebensdauer) und Farbabrieb (Folge: verändertes Erscheinungsbild der Wäscheteile),
- Verringerte Schmutz- und Fleckentfernung und
- Erhöhte Vergrauung (Folge: erhöhter Waschmitteleinsatz zur Kompensation) aufgrund unzureichender Flottenströmung und intensiven Reibvorgängen zwischen Textilien und Trommelwand

Verringerter *Spülwasserverbrauch* bewirkt unzureichende Spülwirkung wobei verlängerte Spüldauer aufgrund verringerten Maschinendurchsatzes unwirtschaftlich ist. Die vor kurzem entwickelte „Spülschleudertechnik“ mit erzwungener Flottenströmung während der mechanischen Entwässerung mit etwas geringerem Wasserverbrauch ist derzeit sehr umstritten, so dass derzeit Praxisuntersuchungen zur Auswirkung von Frischwasserreduzierungsmaßnahmen in Waschschleudermaschinen vorgenommen werden.

Die Verwendung verringerter *Waschtemperaturen* bewirkt

- unzureichende Wascheffekte sowie
- verringerte Keimreduktion.

Ein teilweiser Ersatz des Temperatureinflusses durch verlängerte Bearbeitungsdauer (im Privathaushalt „Energiesparprogramm“) schließt sich aus wirtschaftlichen Gründen aufgrund des daraus resultierenden verringerten Maschinendurchsatzes aus.

Auch den bei *energiesparenden Waschverfahren* (Temperaturen 40 bis 60 °C) zur Erzielung ausreichender Waschwirkung eingesetzten speziellen oxidativ wirkenden Bleich- und Desinfektionssysteme sowie Enzymen sind Grenzen gesetzt. Bleichmittel hoher Dosierung führen zu unerwünschter Farbänderung mit der Folge eines veränderten Erscheinungsbildes der Kleidung. Zusätzlich werden cellulosehaltige Fasermaterialien chemisch abgebaut, was eine reduzierte Textillebensdauer bewirkt. Enzyme sind nur zur Entfernung spezieller Schmutzarten geeignet und verursachen hohe Kosten. Bleich- und Desinfektionsmittel auf der Basis von Aktivchlor dürfen aufgrund der Bestimmungen der Abwasserverordnung nur noch in bestimmten Ausnahmefällen eingesetzt werden. Die derzeit verfügbaren Systeme auf Basis von Aktivsauerstoff weisen bei niedrigen Temperaturen keine ausreichende Wirksamkeit auf. Dies gilt sowohl für die herkömmlichen Bleich- und Desinfektionsmittel (Peressigsäure, Wasserstoffperoxid, Persalze, aktivierte Systeme) als auch für alternative Systeme. Die bei textilen Aufbereitungsprozessen eingesetzten Desinfektionsmittel zeigen die bereits oben angeführten negativen Effekte von Farbänderungen und Materialschädigung. Da die Zusicherung einer definierten mikrobiologischen Qualität aufbereiteter Textilien gemäß EN 14065 für textile Dienstleister an Bedeutung zunimmt, hat die Einhaltung des geforderten Hygieneniveaus bei Anwendung energiesparender Technologien höchste Bedeutung. Die hygienische Quali-

tät muss dokumentiert und den Kunden garantiert werden. Voraussetzung hierfür ist häufig eine desinfizierende Behandlung der Textilien mit ausreichender Keimreduktionsrate. Dies gilt insbesondere für die wirtschaftlich attraktiven Bereiche wie Lebensmittelindustrie, Lebensmittelhandel, Hotelgewerbe und Gastronomie, aber auch Pharma- und Kosmetikindustrie.

Die Verwendung direkter *Rückgewinnungssysteme* für Wasser höheren Temperaturniveaus (mit der Folge verringerten Energiebedarfs zur Temperaturerhöhung auf erforderliche Temperatur) kann zu Flusenübertragung auf andere Wäschearten, erhöhter Vergrauung und/oder Eintrag unerwünschter Flotteninhaltsstoffe (z. B. Bleichkomponenten) führen. Hohe Temperaturen, z.B. erreicht durch mittels Wärmetauscher über Abwasser erwärmtes Wasser, verursachen verstärkte Knitterbildung synthesefaserhaltiger Textilien (bei Einsatz im letzten Spülbad) oder Denaturierung eiweißhaltiger Verschmutzungen (Blut verschmutzte Wäsche) mit der Folge erschwerter Auswaschbarkeit bei Verwendung in der Vorwäsche.

Die Auswirkungen energiesparender Maßnahmen im Bereich des *Mangelns, Trocknens und Finishens* auf mögliche negative Textileffekte beschränken sich auf erhöhte Materialschädigung (Schrumpfen, Abrieb, Flusenbildung, Pilling etc.) durch verstärkte „Trocknungsmechanik“ (Temperaturabsenkung bei verlängerter Dauer).

Schließlich ist bei verringertem Wassereinsatz und/oder Verwendung von Wasserrückgewinnungssystemen mit erhöhter Konzentration der aus den Textilien entfernten Schmutzbestandteile im *Abwasser* zu rechnen, was zur Überschreitung der geforderten Einleitbedingungen führen kann. Auch dies ist bei der Einführung energiesparender Maßnahmen in Wäschereibetrieben zu berücksichtigen. Hier ist ggf. der Einsatz spezieller Abwasseraufbereitungsverfahren gefordert.

2.4 Beschreibung Messtechnik, Energiebilanzerstellung

In vielen Wäschereibetrieben werden keine detaillierten Energieverbrauchsdaten erfasst. Meist sind nur die von den Versorgungsunternehmen zur Abrechnung durchgeführten Aufzeichnungen für den Energie- oder Wasserverbrauch vorhanden. Energieverbrauchsdaten werden häufig nur auf einzelne Maschinen oder Waschstraßen bezogen erfasst und ausgewertet, wenn der Hersteller solche Module integriert hat. In diesen Fällen kann die einzelne Einheit hinsichtlich des Stoff- und Energieverbrauchs optimiert werden, eine ganzheitliche Optimierung ist bisher nur in Einzelfällen vorgenommen worden. So kann allein aus dem Gesamtgasverbrauch der Wäscherei keine Aussage zu den einzelnen Verbrauchergruppen bzw. Verbrauchern abgeleitet werden.

Aufgrund der hohen Kosten für die Betriebsdatenerfassung ist diese bisher nur in wenigen Wäschereien bzw. an einzelnen Maschinen realisiert. Daher müssen typische Betriebe ganzheitlich exemplarisch untersucht werden. Die dabei gewonnenen Ergebnisse lassen

sich dann auf gleichartige bzw. ähnlich strukturierte Betriebe übertragen. Durch die vom DTV vorgesehene Beratungsleistung können die Erkenntnisse und erprobten Verfahren in vielen Betrieben auch ohne den Einsatz teurer Messtechnik dann angewendet werden.

Eine mögliche Einführung energiesparender Technologien und Verfahren lässt sich mit Simulations- oder Berechnungsmodellen vor evtl. kostenintensiver Installation überprüfen. Hierzu existieren bisher keine „Wäscherei spezifischen“ Software-Programme, wobei deren Entwicklung aufwändig ist. Trotz vorhandener Software, z.B. aus dem Facility-Management-Bereich, sind hier umfangreiche Anpassungsarbeiten erforderlich. Dies gilt beispielsweise für Software von SolidSim und Aspen Tecnology Inc., die hinsichtlich des Einsatzes in Wäschereien angepasst werden muss. Leichter und schneller umsetzbar ist die Entwicklung und Verifizierung einfacher Berechnungsmodelle für die verwendeten Maschinen auf Basis der erfassten Messdaten, um daraus ein Berechnungstool für die ganzheitliche Betrachtung einer Wäscherei zu entwickeln. Hierbei muss zusätzlich geklärt werden, ob es für die energetische Beurteilung ausreichend ist, die Energieeinsparpotenziale für einzelne Maschinen bzw. Waschprozesse zu berechnen bzw. zu simulieren. Im Rahmen der Berechnungen bzw. rechnerischen Simulation müsste untersucht werden, in welchem Ausmaß z.B. in den Waschstraßen nicht mehr nutzbare Energie anderweitig eingesetzt werden kann, z.B. als Energiequelle für die Gebäudeheizung.

Für einzelne Bearbeitungsphasen bzw. Maschinensysteme existierende Simulationsmodelle und Rechnersoftware für Betriebsdatenerfassungssysteme unterschiedlicher Hersteller (Maschinen, Waschmittel), sind nicht miteinander kombinierbar und lassen keine ganzheitliche Analyse zu.

2.5 Zusammenfassung

Der Stand der Technik zeigt, dass zwar für einzelne Bearbeitungsphasen bzw. Maschinensysteme unterschiedlichste Energie- und Wassereinsparmaßnahmen durch konstruktions-, verfahrens- und steuerungstechnische Neuentwicklungen umgesetzt werden. Es wurden dabei jedoch nur in Ansätzen deren Auswirkung auf vor- und nachgeschaltete Bearbeitungsstufen und -verfahren in der Wäscherei berücksichtigt.

Ebenfalls unberücksichtigt bei Wasser- und Energieeinsparmaßnahmen blieben die Dampferzeugung und -versorgung der Maschinen oder die Integration von zunehmender direkter dezentraler Beheizung von Wäschereimaschinen. Schließlich existierten keinerlei Energie- und Wasserflussbetrachtungen in Wäschereien (z.B. als anwenderfreundliches Berechnungsmodell), die einen nachträglichen Einbau neuer Maschinen mit integrierten Wasser- und/oder Energieeinsparmaßnahmen in die vorhandene Maschinenteknik einer Wäscherei erlaubten.

Die hohe Schwankungsbreite der Verbrauchswerte weist auf unzureichende Umsetzung möglicher Energieeinsparungstechnologien in den Wäschereien hin. Ursache sind einerseits fehlende, allgemein zugängliche Untersuchungen, in denen exemplarisch für die typischen Wäschereistrukturen (abhängig von der bearbeiteten Wäscheart) mögliche Energieeinsparungen unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Wäschequalität aufgezeigt werden. Entsprechende Optimierungen sind nur in personal- und kostenaufwändigen Untersuchungen in der Wäscherei möglich, wozu die überwiegend klein- und mittelständisch strukturierten Betriebe nicht in der Lage sind. Aus dem gleichem Grund existierte kein Berechnungsmodell zur Erfassung der Betriebsmittelströme in der gesamten Wäscherei, mit dem Berechnungen zur Minimierung des Energie- und Wassereinsatzes durchgeführt werden konnten.

3 Experimentelles

3.1 Prinzipieller Lösungsweg

In dem Pilotbetrieb Handtuch-, Matten und Wischbezüge-Wäscherei CHMS, Coburg, wurden folgende Arbeitsschritte zur Erarbeitung der ganzheitlichen Bewertung zur Energie- und Wassereinsparung durchgeführt:

- Vorbereitungsarbeiten, Grobanalyse
- IST-Analyse in Wäschereibetrieb
- Erarbeitung technischer Energieeinsparungsmöglichkeiten
- Transfer Lösungsansätze in Wäscherei
- Untersuchung realisierbares Einsparungspotenzial
- Erarbeitung von Ansätzen für ganzheitliche Bewertung

Die Arbeitsschritte beinhalteten die nachfolgenden Tätigkeiten:

A. Betriebsbegehung und Grobanalyse

mit Festlegung des Feinkonzeptes für die detaillierte Erfassung von Energie- und Massenströmen sowie Wascheffekten etc., Abfrage und Ausarbeitung von Betriebsdaten, Waschverfahren; Festlegung, Beschaffung und Vorbereitung unterschiedlichster Monitore zur Bestimmung der Wascheffekte (Schmutzentfernungs-Monitore, Prüfgewebe zur Bestimmung von Vergrauung, Textilschädigung), Spülwirkung und der Textileigenschaften nach Mangel- und Trocknungsbehandlungen; siehe auch **Kapitel 3.2.3**.

B. IST-Analyse im ausgewählten Pilotbetrieb

Ermittlung und Analyse der vorliegenden Wäschelogistik, Wasser- und Wärmeenergieströme sowie der Wasch-, Spül- und Finisheffekte mit Erfassung der entsprechenden Verfahrensabläufe anhand Betriebsdatenerfassung und Wasch- und Finisheffektbestimmung, einschließlich Abwasserdatenerfassung sowie Erstellung von Wasser- und Energiebilanzen der gesamten Wäscherei

C. Erarbeitung technischer Möglichkeiten zur Energieeinsparung

Aufzeigen geeigneter Lösungsvorschläge zur Einsparung von Wasser und Energie anhand der ermittelten Daten, Diskussion der mit den Fremdleistern erarbeiteten Lösungsvorschläge mit dem Wäschereibetrieb, Festlegung geeigneter Lösungsansätze

D. Transfer der Lösungsansätze in die Wäscherei

Realisierung der Lösungsansätze in der Wäscherei

E. Untersuchungen zum realisierten Einsparungspotenzial

Ermittlung und Analyse der erhaltenen Wasser- und Wärmeenergieströme mit Erfassung der Wäschequalität im Wäschereibetrieb anhand Betriebsdatenerfassung mit Messgeräten und Wasch- und Finisheffektbestimmungen mit Auswertung der Daten; Erstellung von Wasser- und Energiebilanzen der gesamten Wäscherei

F. Darstellung des realisierten Einsparungspotenzials

Abschlussgespräch mit Darstellung der erhaltenen Ergebnisse, Diskussion der zwischenzeitlich ggf. aufgetretenen Probleme, Erarbeitung von Problemlösungsvorschlägen und Aufzeigen ggf. weiterer Einsparpotenziale, Erarbeitung erster Ansätze zum Konzept der ganzheitlichen Bewertung von Wasser- und Energieeinsparmöglichkeiten unter Berücksichtigung des bis zu diesem Zeitpunkt erstellten Berechnungstools

3.2 Durchführung der IST- Analyse

3.2.1 Allgemein

Die IST-Analyse erfolgte nach einem vorgehenden Informationsgespräch, einer Betriebsbegehung und der Grobanalyse. Sie diente zur Ermittlung und Analyse der vorliegenden Wäschelogistik, Wasser- und Wärmeenergieströme sowie der Wasch-, Spül- und Finisheffekte mit Erfassung der entsprechenden Verfahrensabläufe, einschließlich Abwasserdatenerfassung sowie Erstellung von Wasser- und Energiebilanzen der gesamten Wäscherei.

Im Rahmen dieses Projektes wurden über die Bilanzgrenzen der einzelnen Maschinen und Waschstraßen hinaus die gesamten Betriebsmittelflüsse in der Wäscherei erfasst. Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, die Maschinen und Prozesse miteinander zu verknüpfen. Zusätzlich zu den vorhandenen Maschinendaten wurden die einzelnen Stoffströme und insbesondere deren Energieniveaus aufgezeichnet und analysiert. Hierbei kamen Sensoren zum Einsatz, die mit Datenloggern über typische Betriebszyklen aufgezeichnet wurden. Zum Einsatz kommen dabei Temperatur- und Feuchtesensoren, Geschwindigkeitssensoren für Gase, Durchflussmessgeräte, Wärmemengenzähler, Stromzähler und Infrarotkamera. Die Analyse der aufgezeichneten Daten liefert die Stoff- und Energieströme, aus denen jeweils der aktuelle Massen- und Energieverbrauch abgeleitet bzw. berechnet wurde.

Die Analyse der aufgezeichneten Stoff- und Energieströme ermöglicht das Erkennen von Einsparungspotenzialen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die Stoff- und Energieflüsse von den einzelnen Maschinen und Anlagen bis hin zur Gebäudehülle einbezogen wurden. Da insbesondere die dazu erforderliche Verdrahtung der Sensoren mit Datenloggern teilweise den Arbeitsablauf in der Wäscherei belastete, wurde zum Ende des Projektes ein drahtloses Messwerterfassungssysteme eingesetzt. Anhand der aufgezeichneten Verbrauchsdaten lassen sich die möglichen Energie- und Wassereinsparpotenziale ermitteln.

Zum Einsatz kamen dabei die in den **Tabellen 1** und **2** angegebenen Messgeräte.

Tabelle 1: eingesetzte Messgeräte				
Hersteller	Typ	Messverfahren	Messbereich	Genauigkeit
Fluke	Hydra Data Bucket 2635A	Temperatur (J,K,N,E,T,R,S,B,C) Spannung (DC/AC) Widerstand (2 und 4 Leiter)	Typ K (-100 °C bis 1372 °C) DC (90 mV bis 300 V) RTDs (-200 °C bis +600 °C)	±0,44 K zwischen -100 °C bis -30 °C (bis 90 Tage) ±0,40 K zwischen -30 °C bis +150 °C (bis 90 Tage) Bereich bis 30 V DC ±0,024 % ± 2 mV Bereich 0 °C bis 100 °C ±0,27 °C
Voltcraft	Thermologger K204	Temperatur	-200 °C - +200 °C +200 °C - +400 °C +400 °C - +1370 °C	± (0,2 % + 1 K) ± (0,5 % + 1 K) ± (0,2 % + 1 K)
B&B	Temperatur-Fühler K- Typ Tauchfühler Ø 3 mm	Temperatursensor	-50 °C - +1150 °C	±1,5 K zwischen -40 °C und 375 °C ±0,004 KxT zwischen 375 °C und 1000 °C Toleranzklasse 1 nach IEC 584
B&B	Mantelthermoelement Typ K Ø 1,5 mm	Temperatursensor	-100 °C - +1000 °C	±1,5 K zwischen -40 °C und 375 °C ±0,004 KxT zwischen 375 °C und 1000 °C Toleranzklasse 1 nach IEC 584
B&B	Thermoelementdraht Typ K	Temperatursensor		
Fluke	Wärmebildkamera Ti55	Temperatur	-20 °C bis +100 °C -20 °C bis +350 °C +250 °C bis 600 °C	±2 °C oder ±2 %
Ultraflus	UF 801-P	Durchfluss Temperatur Leistung (T,V)	für Rohrdurchmesser 10 mm bis 10 m abhängig vom gewählten PT100/PT1000 Sensor und der Leiterschaltung 2/4)	typische Messgenauigkeit laut Hersteller ±0,5 %
Testo	Testo 300XL	Rauchgasanalyse	Temperatur -40 °C bis 1200 °C Zugmessung ±80 hPa CO Messung 0 bis 8000 ppm NO Messung 0 bis 3000 ppm O ₂ Messung 0 bis 21 %	±0,5 °C (0 bis 99,9 °C) und ±0,5 % v. Mw. (>100 °C) ±0,03 hPa (bis 3 hPa) und ±1,5 % v. Mw. (>3 hPa) ±5 ppm (bis 400 ppm) / ±5 % v. Mw. (bis 2000 ppm) ±5 ppm (bis 100 ppm) / ±5 % v. Mw. (bis 2000 ppm) ±2 % absolut
Airflow	DM1	Differenzdruck	0 bis 2000 mbar	0,5 % SE
Airflow	Flügelradanemometer AV-2	Luftgeschwindigkeit	100 mm Sonde 0,25 m/s bis 30 m/s 30 mm Sonde 0,50 m/s bis 20 m/s	±1% v. Mw. ±1 Digit
Airflow	Digitalbarometer DB1	Luftdruck	0 bis 2000 mbar	

Tabelle 2: eingesetzte Messgeräte, Fortsetzung				
Hersteller	Typ	Messverfahren	Messbereich	Genauigkeit
TSI	VelociCalc Plus 8386A	Temperatur Feuchte Geschwindigkeit stat. Druck dyn. Druck (Pitot-Rohr)	-10 °C bis +60 °C 0 bis 95 % RH 0 bis 50 m/s (Thermosensor) -1245 Pa bis +3735 Pa 1,27 bis 78,7 m/s (Umrechnung in v)	±0,3 °C ±3 % RH ±3 % der Anzeige bzw. ±0,015 m/s (größerer Wert zählt) ±1 % der Anzeige ±1 Pa ±1,5 %
Fluke	Fluke 62 Mini	Temperatur	-30°C bis +500 °C	10 °C bis 30 °C tabw = ±1 °C Rest tabw = ±1,5 °C oder 1,5 % der Anzeige (größerer Wert)
CPS	CC-100	Waage	0-50 kg	±10 g
Fluke	Power Quality Analyser 43	Spannung Frequenz Strom Widerstand	AC und DC 0 bis 1250 V 10 Hz bis 15 kHz AC 1250 kA 0 bis 30 MΩ	±(1 % + 10 Ziffer) ±(0,5 % + 2 Ziffer) ±(1 % + 10 Ziffer) ±(0,6 % + 5 Ziffer)
Gossen	Metra Hit 18s	Spannung Strom Widerstand Kapazität	0 bis 1000 V 0 bis 10 A 0 bis 30 MΩ 10000 µF	stark vom gewählten Messbereich und der Abtastgeschwindigkeit abhängig.
Vaisala	HMP 233	Temperatur Feuchte	-40 °C bis +80 °C 0 % RH bis 100 % RH	-60 °C bis 0 °C tabw = ±(0,4+0,028*t) 0 °C bis 250 °C tabw = ±(0,4+0,007*t) 0 bis 90 % RH Rhabw = ±2 % 90 bis 100 % RH Rhabw = ±3 %
Eltek Datenlogger	GenII	Funkdatenlogger und Empfänger RX250 Temperaturtransmitter GD 24 Hochtemperaturtransmitter GD24H Strom-Spannungstransmitter GS44 Temperatur-Feuchtetransmitter GD13E	-200 °C bis +200°C -200 °C bis +1200°C 0 bis 20 mA, 0 bis 10 V -40 °C bis +85 °C 0 bis 100 % rF	+/- 0,4 °C +/- 2 % rF

3.2.2 Erfassen der Betriebsmittelströme

Die zum Waschen und Finishen erforderlichen und erfassten Betriebsmittel waren im untersuchten Betrieb Wasser, Erdgas, Dampf, Waschchemikalien, Druckluft und elektrischer Strom. In **Kapitel 3.2.2.1 bis 3.2.2.5** wird detailliert auf die messtechnische Erfassung der jeweiligen Betriebsmittel eingegangen. Der Coburger Handtuch- und Mattenservice (CHMS) hat sich auf Handtuchrollen, Feuchtwischbezüge und Fußmatten spezialisiert und seine Betriebsmittelströme teilweise bereits auf diese Anwendungen hin optimiert.

3.2.2.1 Wäschebehandlung

Um die Betriebsmittelströme detailliert und exakt zuzuordnen sowie darstellen zu können, wurde die gesamte Wäscherei in die drei zu bearbeitenden Wäschearten unterteilt:

- Handtuchrollen
- Feuchtwischbezüge

- Schmutzfangmatten

3.2.2.2 Wasser

Bei CHMS wird Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz sowie Regenwasser als Frischwasser eingesetzt. Der Verbrauch des Frischwassers wurde an den Waschstraßen zusammen mit den verwendeten Waschprogrammen über Displayanzeigen erfasst. Die Frischwasser- und Abwasserströme, die nicht über Displays aufgezeichnet wurden, wurden mit Hilfe von Ultraschall-Durchflussmessgeräten gemessen, die es erlauben, den Wassermassenstrom zu bestimmen, ohne die Rohre zu öffnen.

Die Frischwasserversorgung erfolgt hauptsächlich aus dem öffentlichen Trinkwassernetz und über Regenwassernutzung. Da das Wasser aus dem Netz nicht die erforderliche Wasserhärte aufweist, muss diese noch eingestellt werden. Zur Enthärtung wird ein Ionenaustauscher eingesetzt. Hauptabnehmer des Frischwassers sind die Handtuchrollenwaschstraßen. Deren Frischwasserzufuhr wurde mittels eines Ultraschall-Durchflussmessgerätes direkt an der Maschine über einen längeren Zeitraum ermittelt. Weiterhin konnte an diesen Maschinen der Momentanverbrauch der eingesetzten Frischwassermengen und der Anteil des wiederverwendeten Wassers über die Displayanzeigen der Waschstraßen abgelesen werden.

Für den Ausgleich des Wasserverlustes im Dampfkessel muss das dort nachgespeiste Wasser über eine Osmoseanlage vollentsalzt werden. Die nachgespeiste Wassermenge wurde über einen typischen Produktionszyklus mittels einer installierten Wasseruhr gemessen.

Eine weitere Wasserquelle ist die Regenwasserzisterne. Das Wasser aus dem Regenwasserbehälter muss keiner Enthärtung unterzogen werden, da es die erforderliche Qualität diesbezüglich bereits erfüllt. Es ist lediglich eine Sicherheitschlorung und eine Filtration nötig, um eventuell vorhandene Mikroorganismen zu eliminieren.

Zusätzlich wurden über im Betrieb vorhandene Wasserzähler die verbrauchten Wassermengen für die sanitären Anlagen ermittelt.

3.2.2.3 Erdgas

Die benötigte thermische Energie wird primär durch Erdgas erzeugt. Zur Dampferzeugung wird ein gasbetriebener Kessel verwendet. Die beiden Trockner für Matten und Feuchtwischbezüge sind ebenfalls gasbeheizt. Für Kessel und Trockner sind in der Firma jeweils Messeinrichtungen für den Gasverbrauch fest installiert. Dieser wird von den Mitarbeitern täglich abgelesen und dokumentiert. Die Firma bezieht das erforderliche Erdgas aus dem öffentlichen Gasnetz. Der gesamte Gasverbrauch der Firma CHMS betrug z.B. im Monat März 2012, 18.713 m³ Erdgas mit einem angegebenen Brennwert von 11,03 kWh/m³ und einem Heizwert von 10,1 kWh/m³.

3.2.2.4 Dampf

Der Dampfkessel versorgt die Maschinen mit Wärme. Diese wird durch Eindüsen von Frischdampf in die Maschinen eingebracht (Direktdampfbeheizung). Der Dampfdruck im Kessel beträgt 11 bar. Die Mangeln werden mit 11 bar, die Waschmaschinen mit einem Druck von 5 bar versorgt. Die den Prozessen zugeführte Dampfmenge muss an Frischwasser nachgespeist werden. Hierfür ist vollentsalztes (VE-) Wasser notwendig, welches durch eine Osmoseanlage aufbereitet wird. Eine exakte Volumenstrom- bzw. Massenstrommessung stellt sich bei Dampf im Allgemeinen als schwierig dar. Bei CHMS sind keine für eine exakte Dampfmenge notwendigen Messgeräte installiert. Daher musste der Dampfstrom indirekt über die erfassten Temperaturen, Drücke und Leistungen bzw. Energieverbräuche berechnet werden.

3.2.2.5 Druckluft

Zum Ansteuern von Ventilen und Zylindern an den Wäschereimaschinen werden pneumatische Ventile eingesetzt. Die größten Verbraucher jedoch stellen die Hängebahnen und die automatischen Abwickler der Handtuchrollen dar. Diese arbeiten ab einem Mindestbetriebsdruck von 6 bar störungsfrei. Die erforderliche Druckluft wird zentral über einen Kompressor (Kompressor A: Hersteller Boge, Typ: S10, Betriebsdruck: ca. 7,3 bar, Leistung: 7,5 kW bei einem Volumenstrom von 1,06 m³/min, Kompressor B: Hersteller: Kaeser, Typ SM11, Betriebsdruck ebenfalls ca. 7,3 bar, Leistung 7,5 kW bei einem Volumenstrom von 0,92 m³/min) erzeugt. Die erzeugte Druckluft wird über eine fest verlegte Druckluftversorgung und über Schläuche zu den entsprechenden Verbrauchern geführt. Die Kompressoren ergänzen sich bei Belastungsspitzen. Da Leckagen bei der Verwendung von Druckluft einen nicht unerheblichen Anteil an Verlusten und somit unerwünschte Kosten erzeugen, werden bei CHMS kontinuierlich Kontrollen und Wartungsarbeiten durchgeführt, um dies zu minimieren. Die Verluste im Druckluftnetz werden durch partielles Absperren und Aufzeichnung des Druckabfalls erfasst. Die Laufzeiten der Kompressoren und die Höhe des erzeugten Druckniveaus werden mit Hilfe von Datenloggern überprüft. Eine Leckagemessung wurde mit Hilfe eines Piezo-Relativ-Druckaufnehmers durchgeführt und über einen Zeitraum von 4 Tagen aufgezeichnet.

3.2.2.6 Elektrischer Strom

Der elektrische Stromverbrauch wurde zunächst ganzheitlich über die monatlichen Stromkostenabrechnungen bestimmt. Hierbei wurde z.B. im Monat März 2012 ein Gesamtenergieverbrauch von 28.511 kWh ausgewiesen.

Im Rahmen des Projekts wurden die elektrischen Leistungsaufnahmen der wichtigsten Verbraucher aufgezeichnet und ausgewertet. Hierbei handelt es sich um Messungen über län-

gere Zeiträume, so dass man von einer recht zuverlässigen Aussage der Ergebnisse ausgehen kann. Folgende Verbraucher wurden einzeln gemessen und auf Plausibilität geprüft:

- Handtuchrollenwaschstraße,
- Presse,
- Tumbler ohne Heizung (zum Auflockern des Presskuchens),
- Mangel,
- Mattenwaschstraße und
- Gastrockner der Mattenwaschstraße

Die Messungen erfolgten mit einer Strom-Messzange. Hierbei wurde der Strom jeweils einer Phase abgegriffen und über einen bestimmten, prozessrelevanten Zeitraum aufgezeichnet. Dabei bestätigte sich die Erwartung, dass es sich bei den genannten Maschinen um die größten Verbraucher handelt. Die Differenz zwischen dem monatlichen Stromverbrauch und der Verbrauchssumme der gemessenen Maschinen spiegelt den Gesamtstromverbrauch aller restlichen Verbraucher wieder. Als wichtigste Bestandteile wären hier Beleuchtung, Pumpen und Elektroheizung zu nennen.

Im Folgenden sei bereits auf den Austausch sämtlicher Leuchtstoffröhren im gesamten Betrieb hingewiesen. Hier wurden 450 Leuchtstoffröhren mit einer Leistungsaufnahme von 58 W/Stk. gegen LED-Röhren mit einer Leistungsaufnahme von lediglich 17 W/Stk. ausgetauscht, was den Jahres-Stromverbrauch durch Beleuchtung von 62.000 kWh auf rund 18.000 kWh senkte.

3.2.3 Erfassung der Wasch- und Trocknungseffekte

Da die in der Wäscherei behandelten Wäschearten nur in Waschanlagen gewaschen werden und die vorhandenen Waschschleudermaschinen nur zur Nachwäsche eingesetzt werden, wurden alle eingesetzten Prüftextilien in den Waschanlagen untersucht. Die Waschanlagen und deren wesentlichen Daten sind in **Kapitel 4.1.2** angeführt.

3.2.3.1 Wascheffekte

Zur Ermittlung der **Schmutzentfernung** wurden handelsübliche Schmutzgewebe eingesetzt (**Abbildung 1**). Diese bestehen aus einem Trägergewebe, auf dem 13 verschiedene Läppchen mit unterschiedlichen Verschmutzungen fixiert sind.

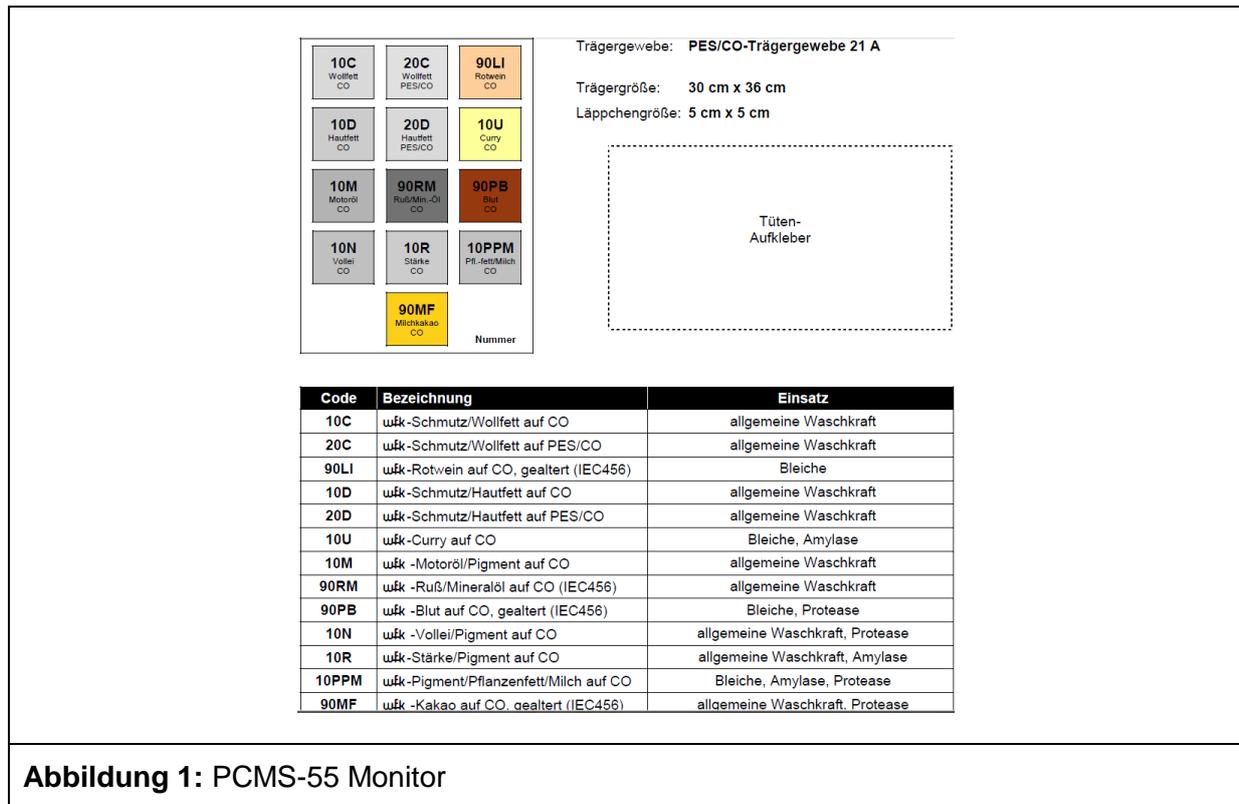


Abbildung 1: PCMS-55 Monitor

Alle Waschversuche wurden dreimal wiederholt. In jeden untersuchten Wäscheposten (übliche, in dem jeweiligen Programm gewaschene normal verschmutzte Wäsche) wurden insgesamt fünf PCMS-55 Monitore gegeben, so dass pro Waschverfahren insgesamt 15 Messwerte pro Anschmutzung vorlagen. Die Auswertung der Schmutzentfernung erfolgte entsprechend DIN EN 60456:2005-09 durch Messung des Tristimulus Wertes Y mittels eines Spektralfotometers.

Zur Ermittlung der **Sekundärwascheffekte** wurde weißes Gewebe aus CO (Code 10 A) sowie aus PES/CO 50/50 (Code 20 A) eingesetzt, um einerseits Aussagen über die aufgetretene *Vergrauung bzw. Vergilbung* zu erhalten. Da sich Vergrauung erst nach mehreren Waschversuchen quantifizieren lässt, wurden diese Monitore jeweils nach 5, 10, 25 und 50 identischen Waschzyklen farbmetrisch vermessen. Dazu wurde mittels Farbmessgerät unter Ausschaltung der Messwerte bei Wellenlängen unterhalb von 420 nm zur Eliminierung des Effektes von optischen Aufhellern die Weißgradabnahme (charakterisiert über Y-Werte nach DIN EN 60456:2005-09) berechnet.

Des Weiteren wurden pro Waschprogramm zwei standardisierte weiße Baumwollgewebe-Monitore nach DIN 53919 bis zu 50mal mitgewaschen. An diesen wurden nach 25 und 50 Waschwiederholungen die *chemische Schädigung, der Festigkeitsverlust* und *die anorganische Inkrustation* bestimmt. Die Gewebe wurden jeweils vor der thermischen Trocknung den Wäscheposten entnommen und erneut gewaschen. Zum Ende eines Arbeitstages wurden die Monitore über Nacht luftgetrocknet. Während dieser insgesamt 50 Wäschen wurde das

Waschverfahren nicht verändert. Der Festigkeitsverlust (in %) im Vergleich zum unbehandelten Ausgangsmaterial wurde nach DIN EN ISO 13934 Teil 1, der Depolymerisationsgrad (chemische Schädigung) nach DIN 54270 Teil 3 und die Textilinkrustation nach DIN 53919 ermittelt.

Parallel zum Prüfgewebeeinsatz in den Waschanlagen wurden zur *Charakterisierung der Wasch- und Spülflotte* über vorhandene Probeentnahmestellen nach vorherigem Ablass von 10 l Flotte Flottenproben aus jeder Kammer mit einem Volumen von 250 ml entnommen. An diesen wurde der pH-Wert, die Temperatur sowie die elektrische Leitfähigkeit messtechnisch bestimmt sowie das Wasser visuell bewertet. Zusätzlich wurden über einen in den Wäsche-posten eingebrachten Datenlogger die Flottentemperaturverläufe aufgezeichnet.

Da die Spülwirkung im untersuchten Betrieb insbesondere bei Schmutzfangmatten und Wischbezügen untergeordnete Bedeutung für den Anwender hat, wurde lediglich die Flottenalkalität für das Waschen von Handtuchrollen in den einzelnen Kammern der Waschanlage sowie des aus der Wäsche entfernten Wassers bei der mechanischen Entwässerung nach dem Pressen bzw. Zentrifugieren bestimmt.

3.2.3.2 Trocknungseffekte

Zur Ermittlung der Trocknungseffekte bei der Wäschebehandlung im Trommeltrockner (Tumbler) und in der Mangel wurde die Textilrestfeuchte vor (bzw. nach dem mechanischen Entwässern) und nach dem Trocknen bestimmt.

Zusätzlich wurde der Trocknungsprozess im Tumbler hinsichtlich auftretender Textilschädigungen bewertet. Zur Beschreibung des Trocknungsprozesses wurden die Trocknungsdauer, Temperaturen (Heißluft, Abluft) und der Trocknungsluftvolumenstrom im Tumbler gemessen.

Die untersuchten Tumbler und Mangeln und deren wesentlichen Daten sind in **Kapitel 4.1.3** angeführt.

- *Bestimmung der Textilrestfeuchte*

Die Bestimmung der Textilrestfeuchte erfolgte gravimetrisch. Dazu wurden die Wäscheposten nach dem mechanischen Entwässern bzw. nach dem Trocknungsprozess mit einer Waage gewogen. Die Ermittlung des absolut trockenen Gewichts („bone-dry“), auf das sich die Textilfeuchte bezieht, erfolgte nach mehrmaligem Trocknen bis zur Gewichtskonstanz. Da im Rahmen des Projektes Vergleichsversuche vor und nach der Realisierung von Energiesparmaßnahmen durchgeführt werden, wurde auf den Bezug der Restfeuchte auf klimatisierte Bedingungen verzichtet.

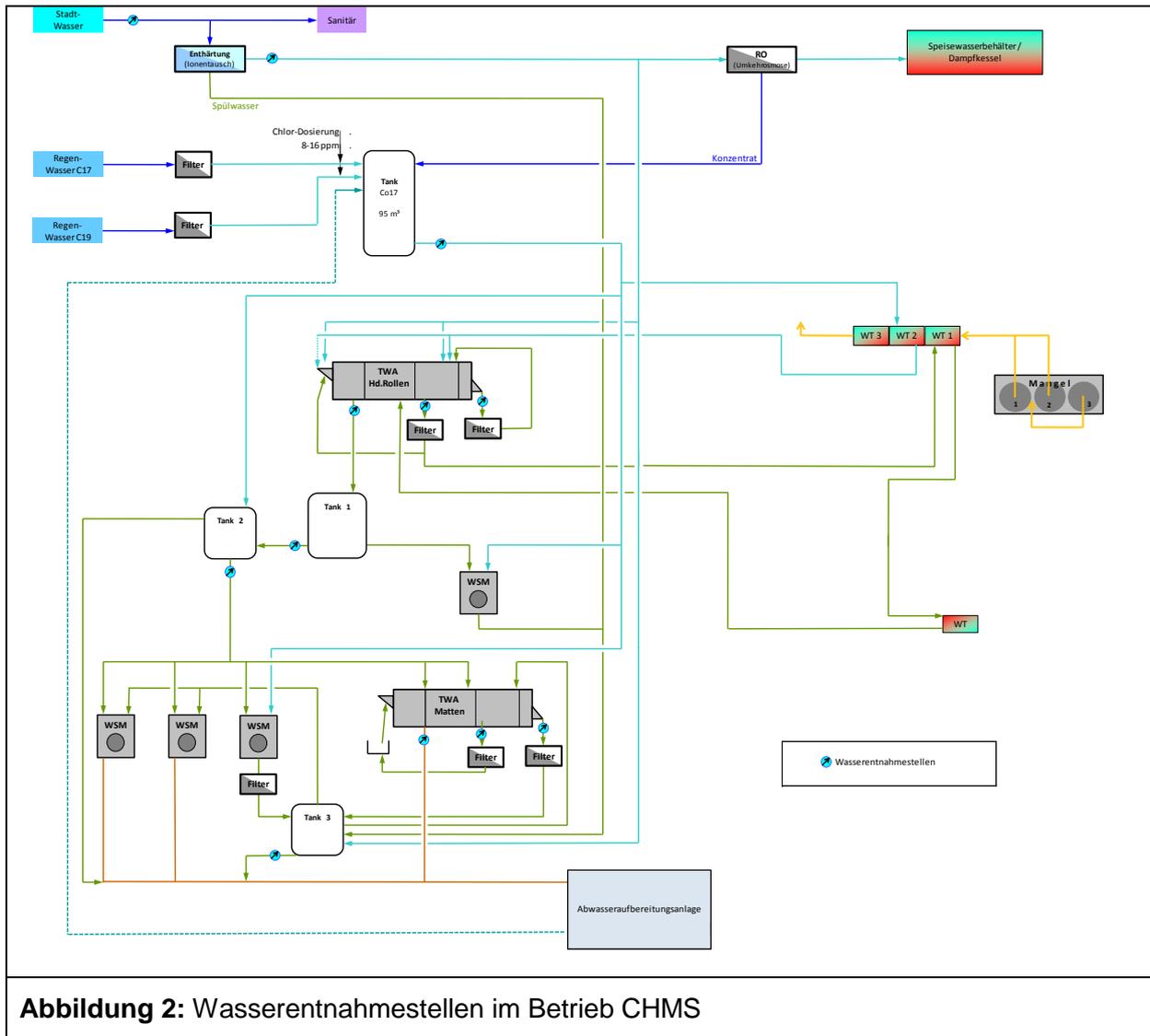
- *Bestimmung der Textileffekte*

Da die Bestimmung der Textileffekte, insbesondere der erst nach Mehrfachbehandlungen aufgetretenen Textilschädigung aus organisatorischen Gründen in der Wäscherei CHMS nicht durchgeführt werden konnte, wurden diese im wfk-Institut unter identischen Trocknungsbedingungen (Füllverhältnis, Restfeuchte, Zuluft- und Ablufttemperatur, Volumenstrom) wie bei CHMS vorgenommen.

Hierbei wurden nach 5, 10, 25 und 50 Trocknungszyklen an Standard-Baumwollgewebe (Festigkeitsverlust, Vergilbung, Weißgradänderungen), an PES/CO (Vergilbung) und an den in der Wäscherei eingesetzten Mikrofaserwischbezügen (unbenutztes Neumaterial, Hersteller: meiko Textil GmbH, Typ: Mikrofaser-Mopp, weiß, 50 cm breit, Art.Nr. 942150) Synthesefaserveränderungen bewertet. Bezüglich Festigkeitsverlust, Vergilbung und Weißgradänderungen wurden die oben angeführten Prüfmethode angewandt. Die Bewertung der Eigenschaftsveränderungen durch Trocknungsbehandlungen an den Mikrofaserwischbezügen erfolgte über von einem Expertengremium vorgenommene Grifftests zur Beurteilung der Härte (Notenvergabe 1 bis 5, Note 5: starke Verhärtung). Hierüber sollten Informationen über evtl. durch zu intensive Heißluftbehandlung verursachtes Anschmelzen von Mikrofaserenden erhalten werden. Die Untersuchungen wurden bei definierter Anfangsfeuchte und Endrestfeuchte durchgeführt (siehe **Kapitel 4.1.3**).

3.2.4 Charakterisierung der Wasserqualität

Zur Charakterisierung des verwendeten Wassers wurde das zum Waschen eingesetzte Frischwasser sowie das mit etwa 8 bis 16 ppm chlorierte Regenwasser untersucht. Da in der Wäscherei CHMS Abwasser der Handtuchrollen-Kontinueanlage für das Waschen von Wischbezügen und dieses für Schmutzfangmatten eingesetzt wird, wurde das Abwasser (zurückgewonnene Wasser) aller Waschanlagen charakterisiert. Die Wasserentnahmestellen sind in **Abbildung 2** dargestellt.



An diesen Wässern wurden folgende Parameter bestimmt:

- ⇒ (Ab-)Wassertemperatur beim Verlassen der Waschstraße nach DIN 38404
- ⇒ pH-Wert nach DIN 38404 C5
- ⇒ spezifische elektrische Leitfähigkeit anlehnend an DIN EN 27888
- ⇒ Abdampfdruckstand anlehnend an DIN 38414 S2

Zur Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte für Wäschereien gemäß Abwasserverordnung, Anhang 55, für die Einleitung in das öffentliche Kanalnetz wurden durch ein von CHMS beauftragtes Unternehmen mittels AAS am Abwasser der Arsen-, Cadmium-, Chrom-, Nickel-, Quecksilber-, Zink-, Blei- und Kupfergehalt sowie mit genormten Methoden ggf. vorhandene AOX und Kohlenwasserstoffe ermittelt.

4 Ergebnisse und Diskussion der Einzelergebnisse

4.1 IST-Analyse

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der durchgeführten IST-Analyse in der Wäscherei CHMS dargestellt. Dies umfasst die Beschreibung der Betriebsmittelströme mit Angabe der Verbrauchswerte, die Ermittlung der Wasch- und Trocknungseffekte und die Charakterisierung der in der Wäscherei auftretenden Wasserarten.

Die Waschprozesse der Firma CHMS sind auf zwei Hallen verteilt. In Halle 1 (ca. 1.700 m²) befindet sich der Waschprozess für die Feuchtwischbezüge und Schmutzfangmatten (MWSt mit ca. 360 kg/h) mit nachgeschalteter Zentrifuge und gasbeheiztem Trommelrockner (Tumbler). In Halle 2 (ca. 3.000 m²) sind parallel zwei Waschstraßen für Handtuchrollen (HWSt 1 mit ca. 585 kg/h, HWSt 2 mit ca. 982 kg/h) mit anschließender Presse, ein Trockner ohne Heizung zum Auflockern des Presskuchens und eine dampfbeheizte Mangel aufgestellt. Außerdem befindet sich dort ein Technikraum, in dem der Dampfkessel mit der Speisewasseraufbereitung aufgestellt ist. Beide Hallen sind über eine Brücke (ca. 80 m) verbunden, in der die Betriebsmittelströme Frischwasser, Grau- bzw. Abwässer, Dampf, Druckluft und Strom geführt werden. Zur detaillierten Analyse der Möglichkeiten zur Energieeinsparung bei CHMS sowie der plausiblen Bewertung der durchgeführten Maßnahmen wurden die Maschinen vor dem Eingriff in das System zunächst einzeln betrachtet und bilanziert.

4.1.1 Betriebsmittelströme

Im Folgenden werden die einzelnen Maschinen, Anlagen und Prozesse nach ihren Merkmalen der Zuordnung zu den verschiedenen Betriebsmittelströmen dargestellt. Da die Betriebsmittel- und Medienströme diskontinuierlich und mit oft stark wechselnden Zuständen fließen, die Verluste über die Systemgrenzen oft nur unzureichend erfasst werden konnten und es im Messzyklus des Öfteren zu einem betriebsbedingten Stillstand mit Wiederanfahren der Anlagen bzw. Prozesse kam, stellen die Bilanzen nur einen gemittelten Betriebszustand dar und weisen häufig Differenzen auf.

4.1.1.1 Wasser

Der Betriebsmittelstrom Wasser wird gespeist durch Regenwasser (Hallendachfläche ca. 4.700 m²) und Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz. Das Regenwasser deckt ca. 22 % des Gesamtfrischwasserbedarfs für die Waschprozesse. Es wird über die hier vorhandenen 4.700 m² Dachfläche gesammelt, gefiltert und gechlort. Hierbei entsteht, bei gegebener Dachfläche und einem durchschnittlichem Jahresniederschlag von 747 l/m², eine verwendbare Wassermenge von ca. 3.160 m³/a. Das aufgefangene Regenwasser wird dem Handtuchrollenwaschprozess zugeführt und reduziert damit den Trinkwasserbedarf aus dem öffentlichen Netz um ca. 22 %.

Die Waschprozesse haben folgenden aus Regen- und Trinkwasser zusammengesetzten Frischwasserbedarf (FW), bezogen auf die zum Zeitpunkt der Untersuchungen bearbeitete Wäschemenge (Trockengewicht):

- + Waschprozess für Handtuchrollen: bis ca. 5,0 l Frischwasser/kg
- + Dampfkessel: bis ca. 0,375 l Frischwasser/kg

Da CHMS bereits in der Vergangenheit auf einen sorgfältigen Umgang mit der Ressource Wasser geachtet hat, werden die Abwässer aus dem Handtuchrollenwaschprozess in Tanks zwischengespeichert und über die Brücke dem Waschprozess für Matten und Feuchtwischbezüge zugeführt. Dadurch wird für diese Waschprozesse kein Frischwasser benötigt.

▪ **Anlage zum Waschen von Handtuchrollen**

Zum täglichen Waschen von durchschnittlich 9,2 t Handtuchrollen (im Messzeitraum) kommen im untersuchten Betrieb zwei Anlagen zum Waschen von Handtuchrollen (Handtuchwaschstraße) zum Einsatz. Die beiden Maschinen sind bauähnlich für unterschiedliche Wäschemengen ausgelegt: HWSt 1 mit ca. 585 kg/h, HWSt 2 mit ca. 982 kg/h

Beide Maschinen wurden bilanziert. Die detaillierten Bilanzierungen für die Waschstraße HWSt 2 mit ca. 982 kg/h ist in **Abbildung 3** dargestellt. Die Maschine benötigt eine Frischwasserzufuhr von 2,15 kg/s. Dieses Wasser bezieht sie im Messzeitraum zu knapp 4 % aus einem Regenwassertank, den Rest von 96 % aus enthärtetem Trinkwasser, welches dem Wassernetz entstammt. Die Beschickung erfolgt dabei ohne Vorerwärmung. Es wird bis zu 404 kW Heizleistung zur Erwärmung benötigt.

Um die erforderlichen Waschflottentemperaturen einzustellen, wird Dampf aus der Dampferzeugung eingesetzt: Es werden 0,088 kg/s mit einer Leistung von 240 kW bei der HWSt 1 und 0,148 kg/s mit einer Leistung von ca. 404 kW bei der HWSt 2 zugeführt. Über einen Wärmetauscher werden zudem 54,7 kW aus dem Mangelkondensat in das System eingespeist. Für einen durchschnittlichen Wäschedurchsatz von 982 kg/h bzw. 585 kg/h errechnet sich für beide Maschinen ein spezifischer Energieverbrauch aus dem Dampf zur Beheizung von ca. 0,413 kWh/kg.

Ein Teil des Wassers, das die Maschine verlässt, wird wieder in den Kreislauf zurückgespeist. Der Massenstrom beträgt hier 0,1 kg/s und enthält 22,7 kW. Ein großer Anteil des Abwassers von 2,24 kg/s (ca. 477 kW) wird in einen Tank geleitet und dort zur weiteren Verwendung gespeichert. Eine kleinere Wassermenge von 0,097 kg/s wird mit der Wäsche (gebundene Flotte) ausgetragen. Der Rest von 0,0037 kg/s geht für die weitere Nutzung verloren und wird dem Abwasserkanal zugeführt. In der Anlage zum Waschen von Handtuchrollen wurde bei der IST-Analyse ein spezifischer Frischwasserverbrauch von ca. 4,1 bis 4,4 kg Frischwasser pro kg Handtuchrollen und ca. 0,545 kg Dampf pro kg Handtuchrollen ermittelt.

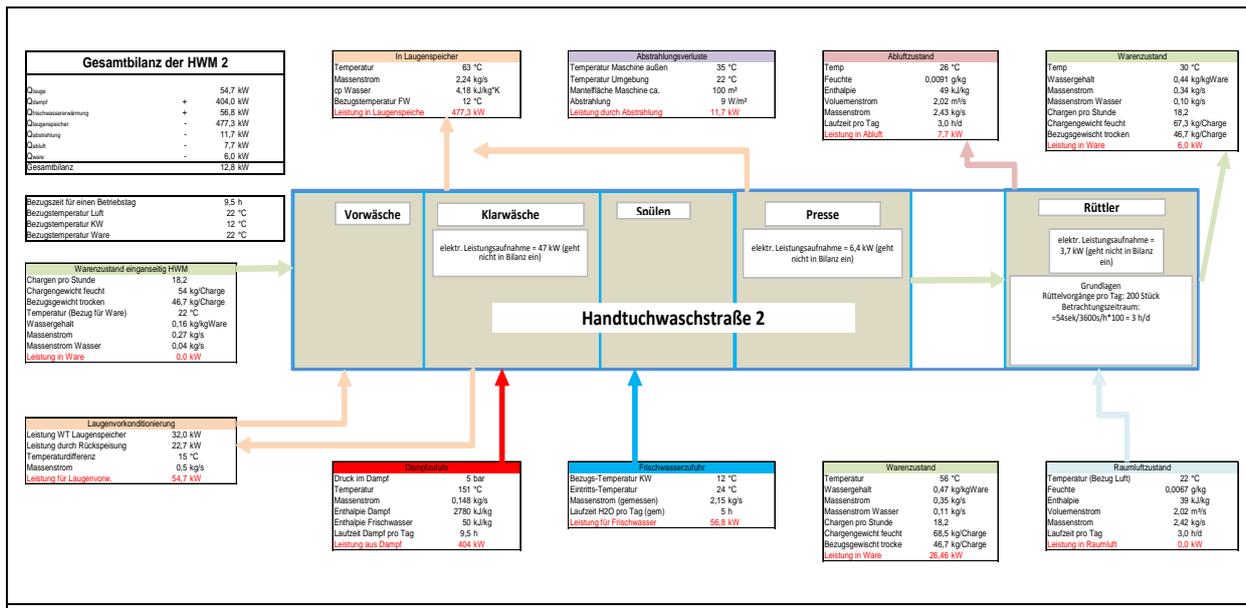


Abbildung 3: Bilanzierung Handtuchrollen-Waschstraße 2 für ca. 982 kg/h, IST-Analyse

■ Anlage zum Waschen von Matten und Feuchtwischbezügen

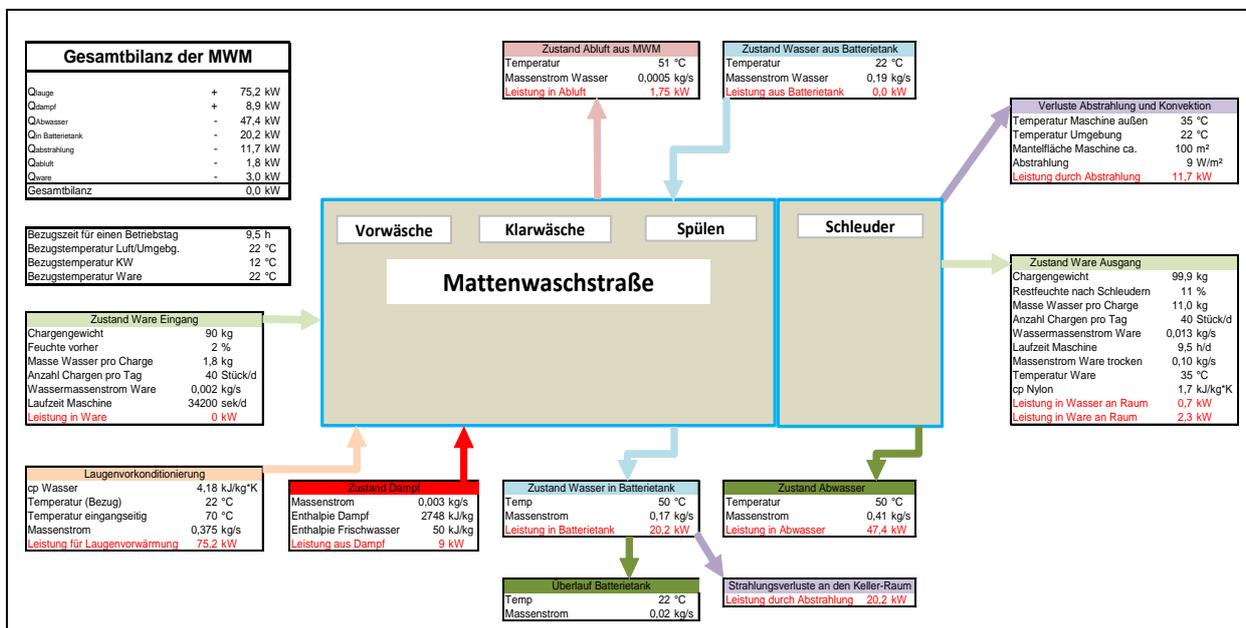


Abbildung 4: Bilanzierung Mattenwaschstraße, IST-Analyse

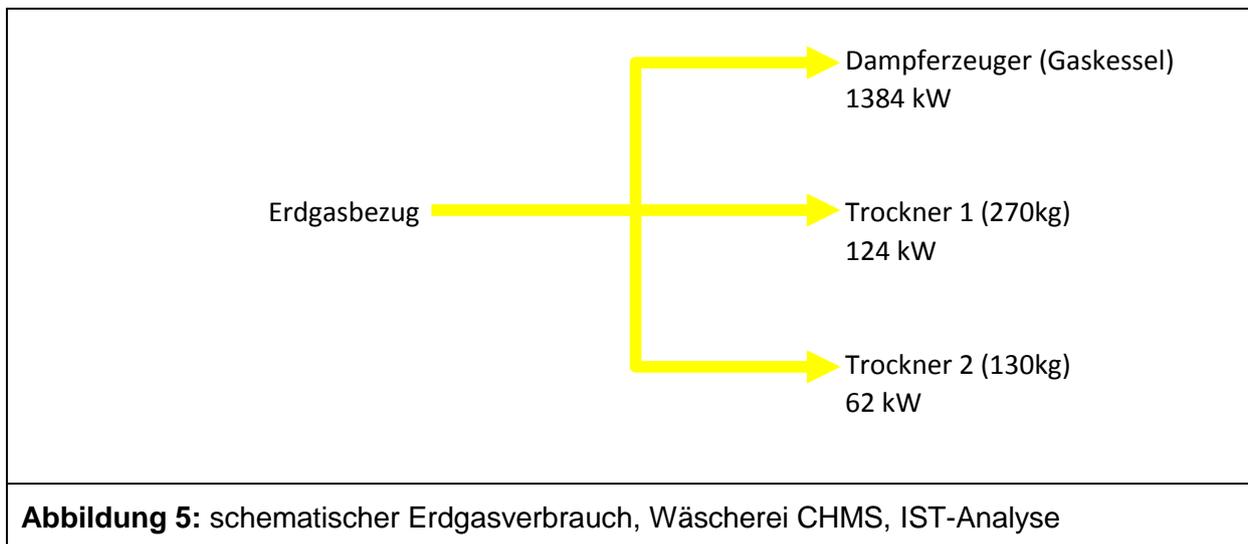
Die **Abbildung 4** zeigt die Werte für die Anlage zum Waschen von Matten und Feuchtwischbezügen (Mattenwaschstraße MWSt). Bereits zum Zeitpunkt der IST-Analyse verwendete CHMS in der Mattenwaschstraße nur aufbereitetes Abwasser aus dem Handtuchwaschprozess, weshalb kein Frischwasserverbrauch anfiel. Während des Waschprozesses bei 40 °C für Matten und 53 °C für Feuchtwischbezüge fiel ein Dampfverbrauch von 0,0035 kg/s an, woraus sich ein spezifischer Dampfverbrauch von 0,035 kg pro kg Matten bzw. Feuchtwischbezüge ergibt. Für einen durchschnittlichen Wäshedurchsatz von ca. 0,10 kg/s (ca.

360 kg/h) errechnet sich ein spezifischer Energieverbrauch aus dem Dampf zur Beheizung von ca. 0,025 kWh/kg Ware. Da der Waschprozess für Matten mit ca. 40 °C und der Waschprozess für Feuchtwischbezüge mit ca. 53°C unter der Abwassertemperatur der Waschprozesse für Handtuchrollen mit ca. 60 – 70 °C liegt, kann auch die in der Waschflotte enthaltene Wärme vollständig genutzt werden. Dazu wird die Waschflotte aus den HWST 1 und 2 gefiltert und in Laugenspeicher gepuffert. Die beim Umpumpen und der Speicherung entstehenden Wärmeverluste sind ebenfalls durch die in der Flotte enthaltene Wärme vollständig abgedeckt.

4.1.1.2 Erdgas

Der Energieträger Erdgas als fossiler Brennstoff wird in der Firma CHMS zur Dampferzeugung und zur direkten Beheizung der Trockner für Matten und Feuchtwischbezüge eingesetzt.

Abbildung 5 zeigt schematisch den Erdgasverbrauch bei CHMS. Ein Einsparpotenzial für Erdgas kann nur erschlossen werden, wenn sich Einsparpotenziale bei der Dampferzeugung oder beim Betrieb der gasbeheizten Trockner erzielen lassen. Auf die beiden Prozesse wird in den folgenden Kapiteln eingegangen.



4.1.1.3 Dampfkessel

Um die verschiedenen Prozessschritte des Waschens mit ausreichend Energie zu versorgen, wird Heißdampf erzeugt. Dies geschieht durch kontrollierte Verbrennung von Erdgas. In einem Siederohrkessel wird Wasser verdampft und für den gesamten Wäschereibetrieb bereitgestellt. Versorgt werden so zwei Waschstraßen zum Waschen von Handtuchrollen, zwei Mangeln und eine Waschstraße zum Waschen von Matten und Feuchtwischbezügen.

Für eine ausreichende Energieversorgung ist insgesamt ca. 1.383 kW Heizleistung nötig. Der Dampf wird mittels Gasbrenner mit einem Wirkungsgrad von durchschnittlich 93 % erzeugt. Hierzu wird eine Gasmenge von ca. 137 m³/h eingesetzt (siehe auch **Abbildung 6**).

Die angegebenen Wirkungsgrade und Leistungen beziehen sich auf den Heizwert des eingesetzten Erdgases von 10,1 kWh/m³. Während der IST-Analyse hat die durchschnittliche Dampferzeugung bei der Firma CHMS 0,53 kg/s betragen. Der spezifische Energieaufwand an Erdgas zur Dampferzeugung betrug bei der IST-Analyse 0,73 kWh Erdgas/kg Dampf. Dem Dampfkreislauf muss Frischwasser nachgespeist werden, da die Waschstraßen direkt mit Dampf beheizt werden und das Kondensat somit dem Waschprozess zugeführt wird. Der Frischwasserbedarf beträgt ca. 0,2 l/s wozu Osmosewasser eingesetzt wird. Das Kondensat aus den dampfbeheizten Mangeln wird zum Dampferzeuger zurückgeführt. Der Dampferzeuger der Firma Loos mit einer Feuerungsleistung von 444 kW bis 3.166 kW kann mit 50% seiner Nennleistung im Standardbetrieb gefahren werden.

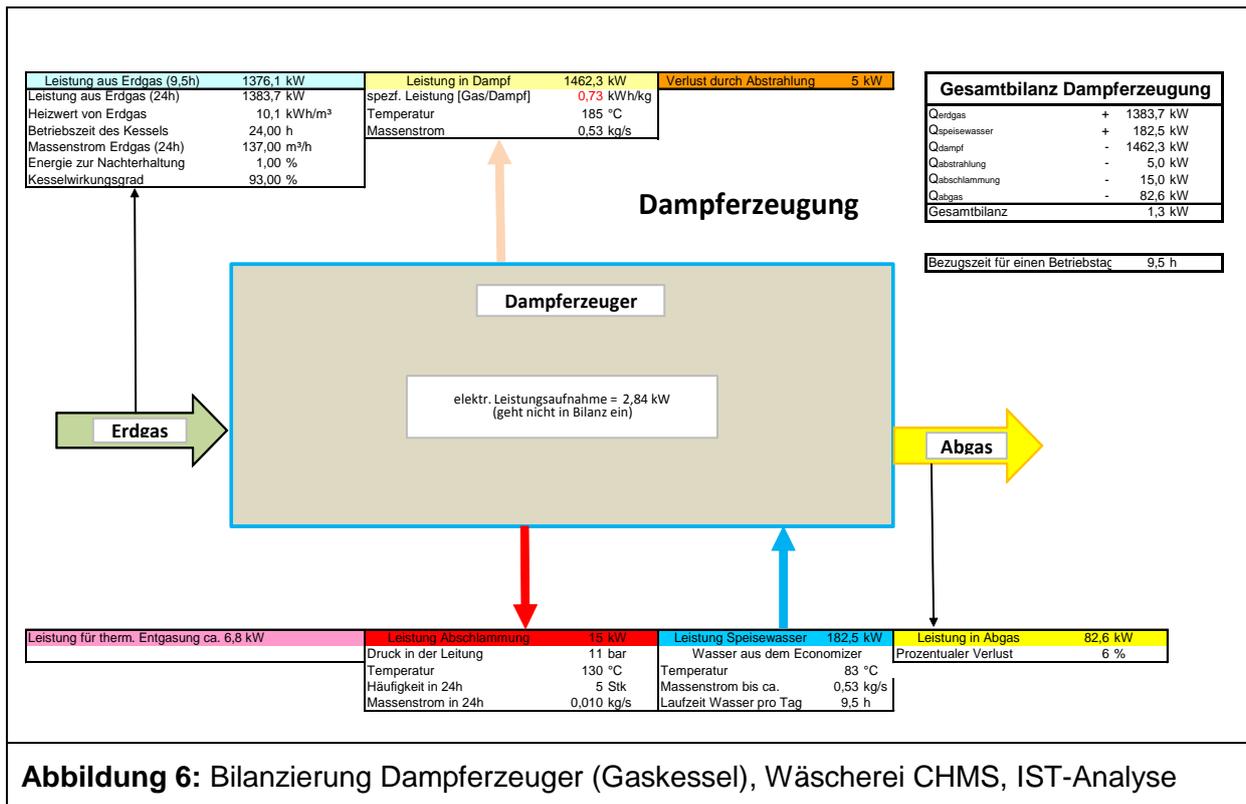


Abbildung 6: Bilanzierung Dampferzeuger (Gaskessel), Wäscherei CHMS, IST-Analyse

4.1.1.4 Gasbeheizter Tumbler

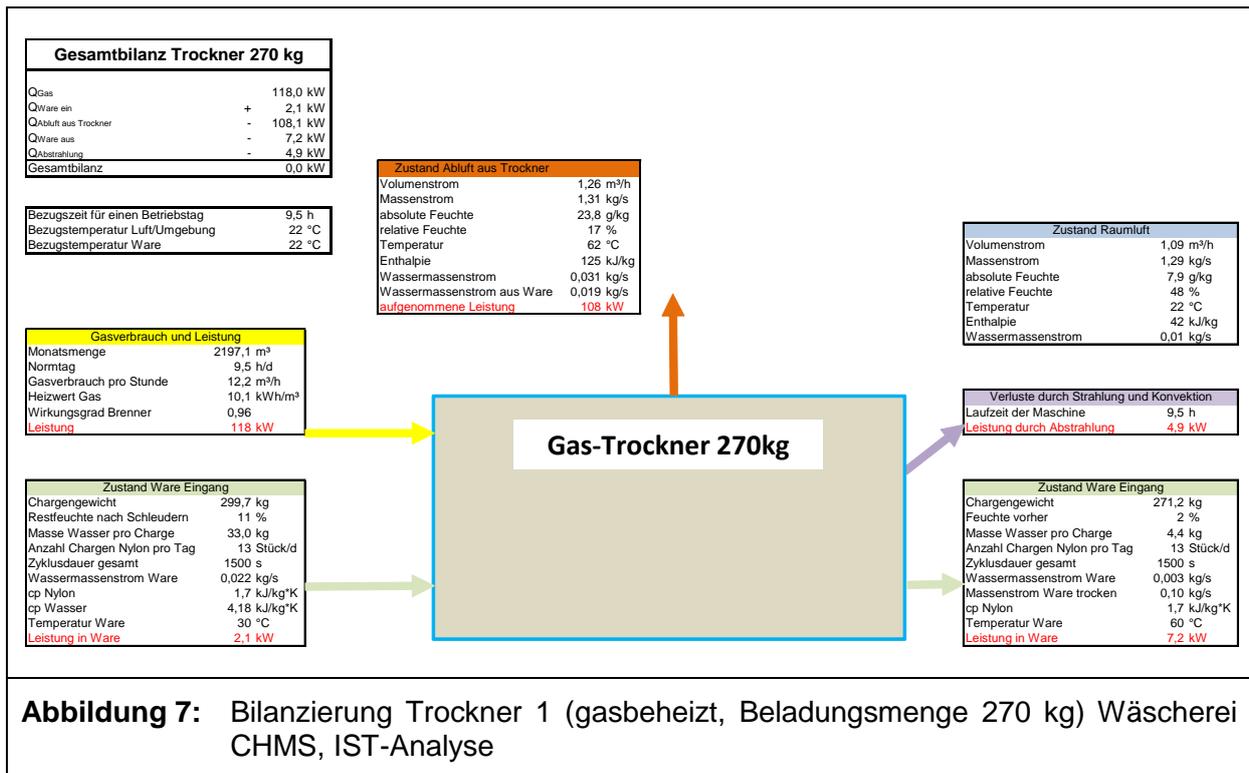
Zur Trocknung der Wäsche aus der Anlage zum Waschen von Matten und Feuchtwischbezügen (Mattenwaschstraße) werden zwei gasbeheizte Tumbler verwendet. Die beiden Maschinen sind funktionell vom gleichen Bautyp und unterscheiden sich lediglich in ihrem Fassungsvermögen. Trockner 1 besitzt eine Beladekapazität von 270 kg, während Trockner 2 mit bis zu 130 kg bestückt werden kann. Im Folgenden soll der Prozess am größeren Trockner 1 betrachtet werden, wobei sich der Energieeinsatz im Trockner 2 proportional zur Chargengröße verhält.

Die Wäsche aus dem Waschprozess wird mit einer Restfeuchte von 11 % in den Trockner geladen. Damit vergrößert sich das Chargengewicht vor dem Trocknungsprozess von durchschnittlich 267 kg Trockengewicht auf ein Gesamtgewicht von 300 kg. Mit dieser Masse wer-

den demzufolge 33 kg Wasser eingetragen, die nahezu vollständig aus der Ware entfernt werden müssen. Nach dem Trockenvorgang verlässt die Ware mit einer Restfeuchte von ca. 2 % den Prozess, d.h. die Ware beinhaltet noch 4,4 kg Wasser.

Um dies zu gewährleisten, ist eine durchschnittliche Trocknerleistung von 118 kW erforderlich. Diese Leistung wird beim betrachteten Trockner 1 durch das direkte Verbrennen von Erdgas erzeugt. Je Charge von im Durchschnitt 267 kg Wäsche werden bei einem Brennerwirkungsgrad von 96 % somit ca. 12,2 m³ Gas eingesetzt, um die Ware zu trocknen und etwaige Verluste abzudecken (siehe auch **Abbildung 7**).

Der spezifische Energieverbrauch (Gas) zum Trocknen errechnet sich zu ca. 0,328 kWh/kg Ware_{trocken}.



4.1.1.5 Dampf

Im Dampferzeuger werden durchschnittlich 0,53 kg/s Heißdampf mit 11 bar und 185 °C erzeugt. Der Heißdampfmassenstrom wird zur Beheizung der einzelnen Anlagen in den Hallen 1 und 2, wie in **Abbildung 8** gezeigt, verteilt.

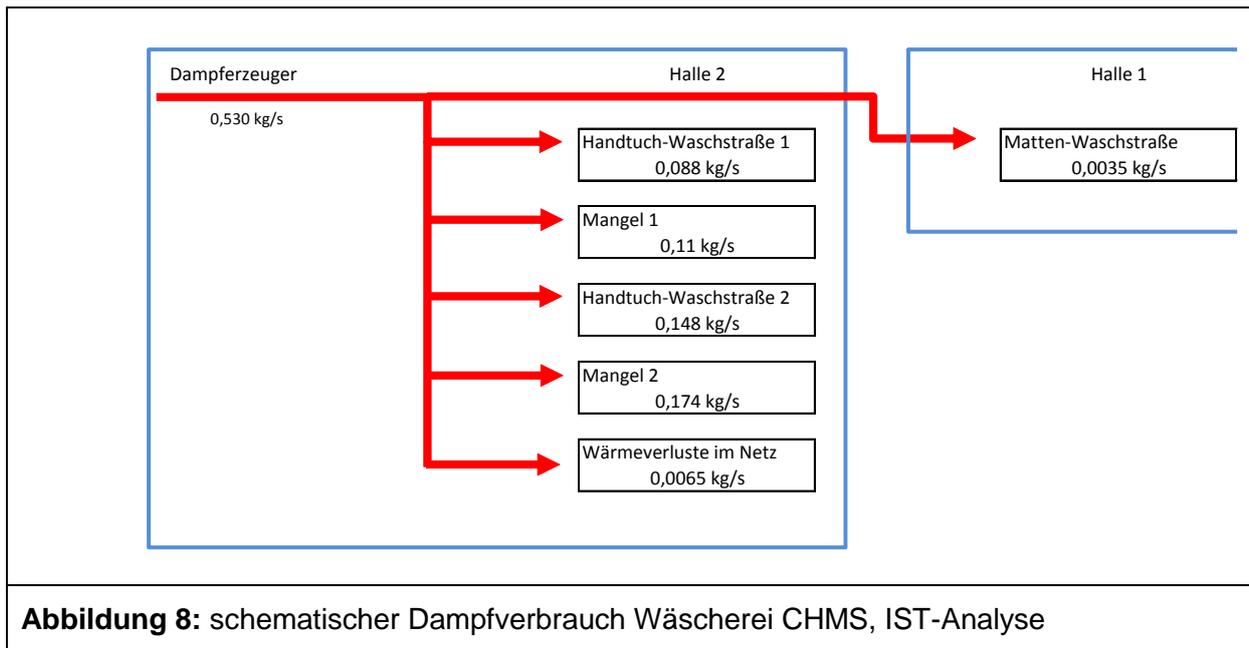


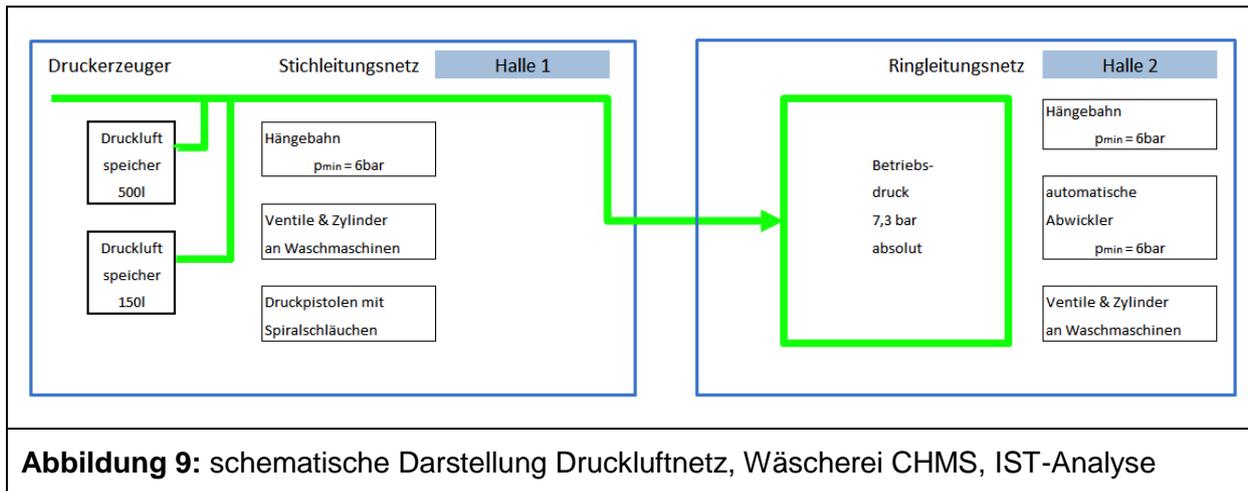
Abbildung 8: schematischer Dampfverbrauch Wäscherei CHMS, IST-Analyse

Der spezifische Energieeinsatz aus Erdgas pro erzeugtes kg Dampf betrug während der IST-Analyse ca. 0,73 kWh Erdgas/kg Dampf. Der Dampf wird in gedämmten Leitungen (Dämmstärke 100 mm) in den Hallen verteilt, über die Brücke von Halle 2 in Halle 1 transportiert und dort in die Mattenwaschstraße eingespeist. In diesem ausgedehnten Dampfnetz fällt ein Wärmeverlust von ca. 0,0065 kg/s Dampf an, wie dies **Abbildung 8** zeigt.

4.1.1.6 Druckluft

Die Druckluft wird durch zwei Kompressoren (Boge Typ S10 und Kaeser Typ SM 11) zentral auf einem Druckniveau von 7,3 bar erzeugt. Wie **Abbildung 9** zeigt, wird in Halle 1 diese Luft mittels Stichleitung (DN 25) verteilt. In Halle 2 ist ein besser geeignetes Ringleitungsnetz (DN25) installiert, das die Druckluft zu den Verbrauchern führt. Die für industrielle Anwendungen empfohlenen Nennweiten von mehr als 25 mm wurden in der Firma CHMS berücksichtigt.

Obwohl die stärksten Verbraucher (Hängebahn und automatische Abwickler der Handtuchrollen) bereits ab einem Mindestdruck von 6 bar störungsfrei arbeiten, beträgt der Betriebsdruck direkt an den Kompressoren 7,3 bar. Dieser ist auf Grund der langen Strecken notwendig, um auch die am weitesten entfernten Verbraucher (Halle 2) mit dem erforderlichen Mindestdruck zu versorgen und somit Belastungsspitzen kompensieren zu können. Die beiden installierten Druckluftspeicher (500 l und 150 l) verringern die Laufzeiten der Kompressoren und unterstützen die Versorgung bei Spitzenlast.



Druckluftverluste durch Leckagen sind in Druckluftsystemen unvermeidlich. Die Zusatzkosten durch die Leckage mindern die Wirtschaftlichkeit eines Druckluftsystems erheblich. Zur Reduzierung dieser Verluste können Maßnahmen ergriffen werden, die ihrerseits natürlich Kosten verursachen, deren Kosten allerdings im ungünstigen Fall die Einsparungen durch die Minderung der Druckluftverluste übersteigen können. Das Ziel muss es also sein, die Druckluftverluste bei akzeptablem Aufwand so gering wie möglich zu halten. In der Firma CHMS wird derzeit mit einer Leckrate von ca. 9,5 % gearbeitet, was bei einer allgemeinen Toleranzgrenze bei kleineren und mittleren Netzen, von 5 - 7 % als verbesserungswürdig zu bewerten ist.

Auch der vor der IST-Analyse durchgeführte Austausch eines veralteten Kompressors der Firma Kaeser mit einem regelungstechnisch optimierten und energieeffizienteren neuen Modell der Firma Boge Typ S10 erwies sich als wirtschaftlich sinnvoll und zeigt im jährlichen Strombedarf deutliches Einsparpotential auf. Beide Kompressoren erzeugten vor der Maßnahme einen jährlichen Stromverbrauch von 26.700 kWh, der nunmehr auf 22.000 kWh reduziert werden konnte.

4.1.1.7 Elektrischer Strom

Die **Abbildung 10** zeigt in einem Verteilungsschema den Stromverbrauch, wie er während der IST-Analyse ermittelt wurde. Die in **Abbildung 10** gelisteten Verbraucher zeigen in der Spalte „Rückgewinnung/Aufbereitung“ die zusätzlichen Filter und Pumpen, die benötigt werden, um den Mattenwaschprozess mit der aufbereiteten Waschflotte aus den HWSt 1 und 2 zu versorgen. Wegen der Medienbrücke weisen die Pumpen zum Teil eine hohe Leistung aus. Dies ist auf den Hebevorgang von ca. 5 m Höhe beim Anlaufen des Pumpvorgangs zurückzuführen. Im Betrieb geht die Stromaufnahme stark zurück, da dann nur noch der Reibungsdruckverlust in den Rohren zu überwinden ist.

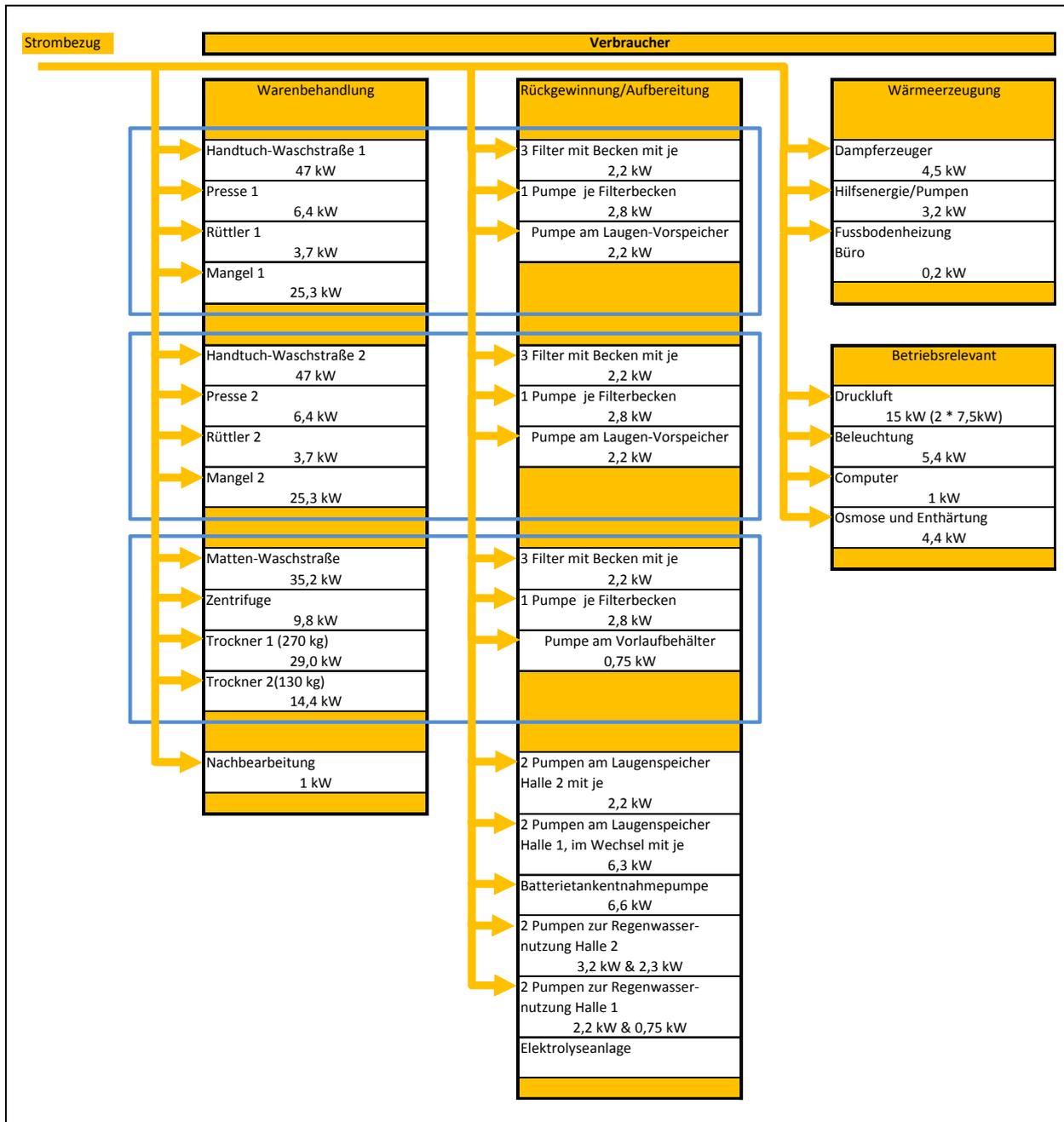


Abbildung 10: Stromverbrauch im Betrieb CHMS, Wäscherei CHMS, IST-Analyse

4.1.2 Wascheffekte

4.1.2.1 Eingesetzte Maschinen und Waschprogramme

Zur Überprüfung der Wascheffekte wurden in den unterschiedlichen Waschstraßen (alle mit Zentrumstransport, Bodentransfer) Versuchsreihen entsprechend **Kapitel 3.2.1** durchgeführt.

Tabelle 3 zeigt die Maschinendaten.

Tabelle 3: Waschmaschinendaten, Wäscherei CHMS, IST-Analyse			
Parameter	Maschine A (Handtuchrollen)	Maschine B (Feuchtwischbezüge)	Maschine B (Schmutzfangmatten)
Maschinenhersteller	Lavatec	Lavatec	Lavatec
Maschinentyp	LT 50x12-BT	LT90x6 BT	LT90x6 BT
Wäschetransport	archimedische Schraube	archimedische Schraube	archimedische Schraube
Kammerzahl	12	6	6
Kammervolumen in l (Kammer 1 / ab Kammer 2)	2400 / 1803	4181 / 2837	4181 / 2837
Wäschemenge in kg	50 ± 2	80 ± 3	90 ± 5
Füllverhältnis in l/kg (Kammer 1 / ab Kammer 2)	48 / 36	52 / 36	47 / 32

Das neueste Maschinenmodell A zum Waschen von Handtuchrollen verfügte über eine automatische Beladungsmengenerfassung über Hängebahnbefüllung. Die Beladungsmengenerfassung der Maschinen zum Waschen der Feuchtwischbezüge und Schmutzfangmatten erfolgte manuell vom Bedienpersonal. Maschine A wurde mit Regen- bzw. Frischwasser gespeist (Wasserhärte 0 °d).

▪ Anlage zum Waschen von Handtuchrollen

Abbildung 11 zeigt die Anlagenkonzeption für Maschine A.

Die einzelnen Bearbeitungszonen sind wie folgt eingeteilt:

- Vorwaschzone Kammer 1 - 2 (Mitstrom)
- Klarwaschzone Kammer 3 - 7 (Gegenstrom)
- Spülzone Kammer 8 - 11 (Gegenstrom)
- Ausrüstkammer: Kammer 12 (stehendes Bad)

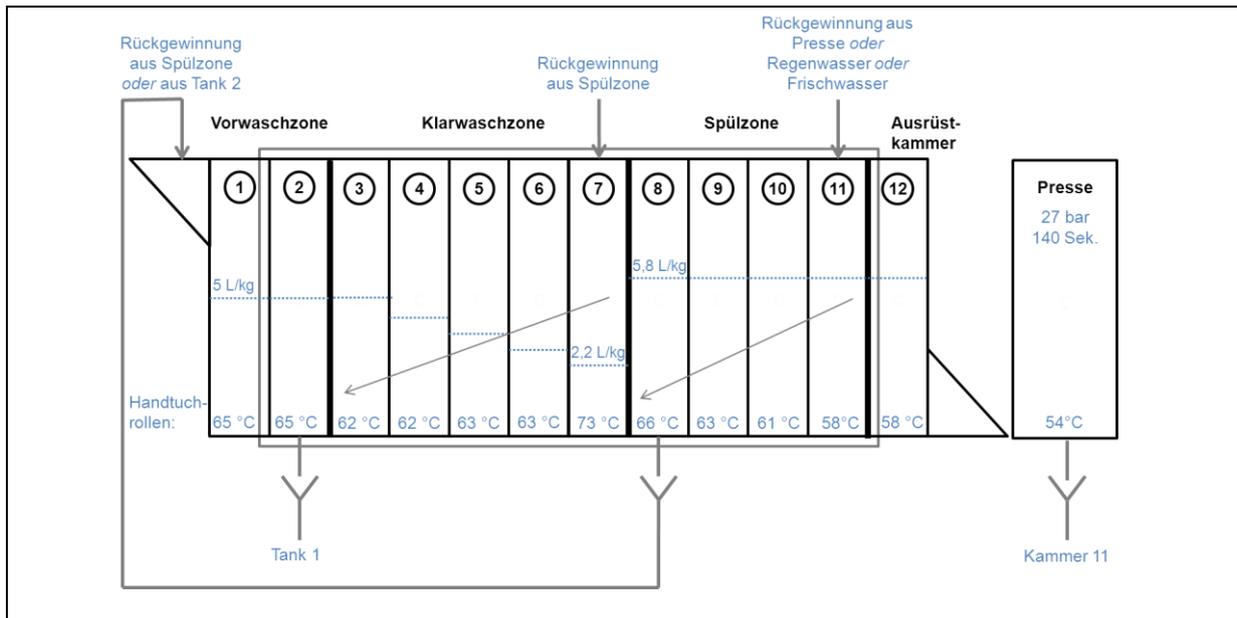


Abbildung 11: Anlagenkonzeption Maschine A, CHMS, Handtuchrollen

Maschine A wird entweder mit Direktampf beheizt (5 bar) oder mit Dampf aus der Nachverdampfung der Mangel (etwa 2 bar), wobei die Waschflotte nur in den Kammern 3, 4, 5 und 7 aufgeheizt wird. Die Flottentemperaturen der beheizbaren Kammern betragen zum Zeitpunkt der Messungen für:

- Kammer 3: 62 °C (Soll) 62 °C (Ist)
- Kammer 4: 62 °C (Soll) 62 °C (Ist)
- Kammer 5: 62 °C (Soll) 63 °C (Ist)
- Kammer 7: 65 °C (Soll) 73 °C (Ist)

Die Flottenführung (**Abbildung 11**) im untersuchten Waschprogramm 13 (Handtuchrollen) wies folgende Besonderheiten auf:

- Kammer 1: Einschwemmen mit Flottenverhältnis von 5 l/kg mit rückgewonnenem Wasser aus Überschuss der Spülflotte sowie aus Tank 1 (gesamtes Abwasser Handtuchrolle)
- Kammer 3 - 7: Flottenverhältnis wie K1, danach Umladen des Postens mit gesamter Flotte in Spülzone (ohne Ablass in K7).
- Kammer 8 - 11: Flottenverhältnis von etwa 6 l/kg in Richtung Entwässerung ansteigend, Spülen mit konstanten 5,8 m³/h mit Wasser aus rückgewonnenem Pressenwasser oder, wenn notwendig, Regen-/Frischwasser
- Kammer 12: Nach Umladung Flottenablass auf Flottenverhältnis von ca. 4 l/kg, danach Umladen mit gesamter Flotte in Presse

Wasch- und Waschhilfsmittel wurden in konstanter Menge pro Waschtakt in die Kammern dosiert, wobei die Mengendosierung über die Laufzeit der Pumpe eingestellt war:

Kammer 1:	Smart Alkaline (Alkalibooster)	2,3 ml/kg
Kammer 1:	Mulan Citro (Fettlöser)	3,3 ml/kg
Kammer 5:	Peracid forte (Peressigsäure)	9,5 ml/kg
Kammer 7:	Smart Lubritex (Tensidbooster)	3,5 ml/kg
Kammer 12:	Citrotex (Zitronensäure)	0,8 ml/kg
Kammer 12:	Bisoft antifoam (Weichspüler mit Antischaum)	1,3 ml/kg

Tabelle 4 zeigt zusammenfassend den Programmablauf des untersuchten Waschprogramms der Handtuchrollenwäsche, wobei die Taktzeit 155 s plus 30 s Transportzeit des Postens zur nächsten Kammer betrug. Der g-Faktor betrug 0,11 und der Schwenkwinkel 270°. Die Entwässerung wurde durch eine Presse realisiert, die einen Pressdruck von 27 bar für ca. 140 s aufwies.

Tabelle 4: Programmablauf zum Waschen von Handtuchrollen, CHMS					
Kammer	Wasserart	Niveau [l/kg]	Flottentemperatur [°C]	Flottenablass	Wasch- und Waschhilfsmittel
1	RW aus Spülzone	5	65	Kein Ablass, Entwässerung über Überlaufkasten	Alkalibooster, Fettlöser
2	kein	wie K1	wie K1	kein	keine
3	RW	5	62	Kein Ablass, Entwässerung über Überlaufkasten	keine
4	wie K5	wie K5	62	kein	Keine
5	wie K6	wie K6	63	Kein	Peressigsäure
6	wie K7	wie K7	63	Kein	keine
7	RW aus Spülzone	2,2	73	Kein	Tensidbooster
8	wie K9	5,8	66	Kein Ablass, Entwässerung über Überlaufkasten	keine
9	wie K10	5,8	63	Kein	keine
10	wie K11	5,8	61	Kein	keine
11	RW aus Presse + FW/Regen-wasser	5,8	58	Kein	Keine
12	wie K11	5	58	Kein, Übergabe in Presse	Zitronensäure, Weichspüler

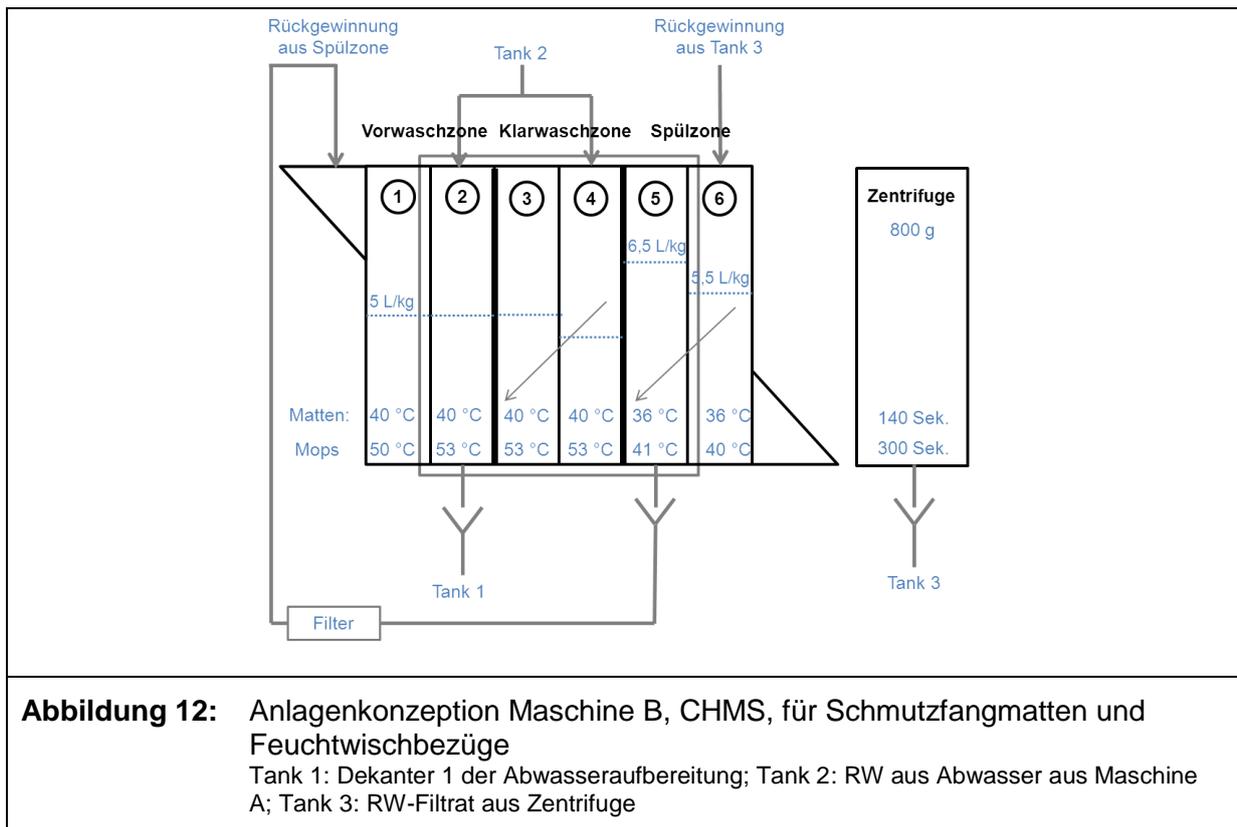
FW= Frischwasser

RW= Rückgewinnungswasser

Die im Betrieb CHMS verwendeten Baumwoll-Handtuchrollen weisen ein Flächengewicht von 220 g/m² sowie eine Gewebedicke von 0,7 mm auf.

▪ Anlage zum Waschen von Schmutzfangmatten

In Waschanlage B wurden Schmutzfangmatten sowie Feuchtwischbezüge gewaschen, **Abbildung 12** verdeutlicht die Anlagenkonzeption für Maschine B.



Bei dieser Waschanlage mit insgesamt 6 Kammern und nachgeschalteter Zentrifuge wurden die Zonen wie folgt eingeteilt:

- Vorwaschzone Kammer 1 - 2 (Mitstrom, Badabsenkung K2 zum Ende)
- Klarwaschzone Kammer 3 - 4 (Gegenstrom)
- Spülzone Kammer 5 - 6 (Gegenstrom, nach 50 % Taktzeit Spülwasser aus schließlich in K5)

Maschine B wird ebenfalls mit Direkt Dampf beheizt (5 bar), wobei dieser den Kammern 1, 2 und 3 zugeführt wird. Die Flottentemperaturen der beheizbaren Kammern betragen zum Zeitpunkt der Messungen für alle Kammern 40 °C.

Die Flottenführung (**Abbildung 12**) im untersuchten Waschprogramm 2 (Schmutzfangmatten) wies folgende Besonderheiten auf:

- Kammer 1: Einschwemmen mit Flottenverhältnis von 5 l/kg mit rückgewonnenem Wasser aus der Spülzone der Mattenwäsche; nach 50 % der Taktzeit wird mit Lauge aus dem Abwasser der Maschine A (Tank 2) aufgefüllt.
- Kammer 2: Flottenverhältnis wie K1, danach Badabsenkung (in Kanal) vor Umladen in K3

- Kammer 3 - 4: Flottenverhältnis 5 l/kg in Richtung Vorwaschzone ansteigend.
 Kammer 5 - 6: Flottenverhältnis 6 l/kg in Richtung Klarwaschzone ansteigend.

Wasch- und Waschhilfsmittel wurden in konstanter Menge pro Waschtakt in folgenden Kammern dosiert, wobei die Mengendosierung über die Laufzeit der Pumpe realisiert wurde:

Kammer 1:	Smart Alkaline (Alkalibooster)	5,5 ml/kg
Kammer 3:	Dual Color (Tensidbooster)	0,8 ml/kg

Die Waschmitteldosierung ist beim Waschen von Matten relativ niedrig. Dies liegt daran, dass die Matten bereits mit Flotte aus der Handtuchrollenwaschstraße (Tank 2) eingespült werden und nur auf Grund der höheren Schmutzfracht noch Waschmittel dosiert werden muss.

Tabelle 5 zeigt zusammenfassend den Programmablauf des untersuchten Waschprogramms der Mattenwäsche, wobei die Taktzeit 280 s plus 30 s Transportzeit des Postens zur nächsten Kammer betrug. Der g-Faktor betrug 0,12 und der Schwenkwinkel 270°. Die Entwässerung erfolgte durch eine Zentrifuge, die den Posten mit einem g-Faktor von 800 insgesamt 230 s schleuderte.

Tabelle 5: Programmablauf zum Waschen von Schmutzfangmatten, CHMS					
Kammer	Wasserart	Niveau [l/kg]	Flottentemperatur [°C]	Flottenablass [s]	Wasch- und Waschhilfsmittel
1a (erste Hälfte des Waschtaktes)	RW aus K5+ bei Bedarf Lauge aus Tank 2	5	35	Badwechsel	Kein
1b (zweite Hälfte des Waschtaktes)	Lauge aus Tank 2	5	40	keiner	Alkalibooster
2	Wie K1b	5	40	Badabsenkung	-
3	Wie K4	5	40	Überlaufwasser geht in Kanal	Tensidbooster
4	RW aus Tank 2	5	40	kein	-
5	RW aus K6	6	36	Kein	-
6	RW aus Tank 3	6	36	Badabsenkung	-

RW= Rückgewinnungswasser

Untersucht wurden zunächst ausschließlich Schmutzfangmatten mit PA-Floor sowie einem Untermaterial aus Nitrilkautschuk. Das Flächengewicht der Matten betrug 2,6 kg/m², wobei der Flooranteil etwa 900 g/m² beträgt. Unterschieden haben sich die Matten in Größe und Verschmutzungsart auf Grund der stark unterschiedlichen Einsatzbereiche beim Kunden.

▪ Waschen von Feuchtwischbezügen

In Waschanlage B wurden ebenfalls die Untersuchungen der Wascheffekte bei der Bearbeitung von Feuchtwischbezügen ermittelt. Die Konzeption der eingesetzten Waschstraße ist in **Abbildung 12** ersichtlich. Des Weiteren ist die Flottenführung innerhalb der Waschstraße identisch mit dem Waschen von Schmutzfangmatten.

Die Flottentemperaturen der beheizbaren Kammern betragen zum Zeitpunkt der Messungen:

- Kammer 1: 45 °C (Soll) 50 °C (Ist)
- Kammer 2: 60 °C (Soll) 53 °C (Ist)
- Kammer 3: 60 °C (Soll) 53 °C (Ist)

Kammer 1:	Einschwemmen mit Flottenverhältnis von 5 l/kg mit rückgewonnenem Wasser aus der Spülzone Mattenwäsche, nach 50 % einer Taktzeit wird mit Lauge aus Tank 2 (Abwasser Handtuchrolle) aufgefüllt
Kammer 2:	Flottenverhältnis wie K1, danach Badabsenkung (in Kanal) vor Umladen in K3
Kammer 3 - 4:	Flottenverhältnis 5 l/kg in Richtung Vorwaschzone ansteigend.
Kammer 5 - 6:	Flottenverhältnis 6 l/kg in Richtung Klarwaschzone ansteigend.

Wasch- und Waschhilfsmittel wurden in konstanter Menge pro Waschtakt in folgenden Kammern dosiert, wobei die Mengendosierung über die Laufzeit der Pumpe realisiert wurde:

Kammer 1:	Smart Alkaline (Alkalibooster)	6,9 ml/kg
Kammer 3:	Dual Color (Tensidbooster)	0,8 ml/kg

Tabelle 6 zeigt zusammenfassend den Programmablauf des untersuchten Waschprogramms für Feuchtwischbezüge, wobei die Taktzeit 380 s plus 30 s Transportzeit des Postens zur nächsten Kammer betrug. Die mechanischen Parameter (g-Faktor und Schwenkwinkel) bleiben im Vergleich zur Mattenwäsche unverändert. Die Entwässerung wurde durch eine Zentrifuge realisiert, die den Posten mit einem g-Faktor von 800 insgesamt 300 Sekunden schleuderte.

Die eingesetzten Feuchtwischbezüge bestanden aus Baumwolle und hatten ein Flächengewicht von etwa 3,3 kg/m² (1 Wischbezug: 200 g; Abmessungen 13 cm * 50 cm).

Tabelle 6: Programmablauf zum Waschen von Feuchtwischbezügen, CHMS

Kammer	Wasserart	Niveau [l/kg]	Flottentemperatur [°C]	Flottenablass	Wasch- und Waschhilfsmittel
1a (erste Hälfte des Waschtaktes)	RW aus K5+ bei Bedarf Lauge aus Tank 2	5	50	Badwechsel	Kein
1b (zweite Hälfte des Waschtaktes)	Lauge aus Tank 2	5	50	keiner	Alkalibooster
2	Wie K1b	5	53	Badabsenkung	-
3	Wie K4	5	53	Überlaufwasser geht in Kanal	Tensidbooster
4	RW aus Tank 2	5	53	kein	-
5	RW aus K6	6	41	Kein	-
6	RW aus Tank 3	6	40	Badabsenkung	-

RW= Rückgewinnungswasser

4.1.2.2 Schmutzentfernung

Die Untersuchungen zur Ermittlung der Schmutzentfernung erfolgten in den Waschanlagen A und B. **Abbildung 13** zeigt die erzielte Schmutzentfernung beim Waschen von Handtuchrollen.

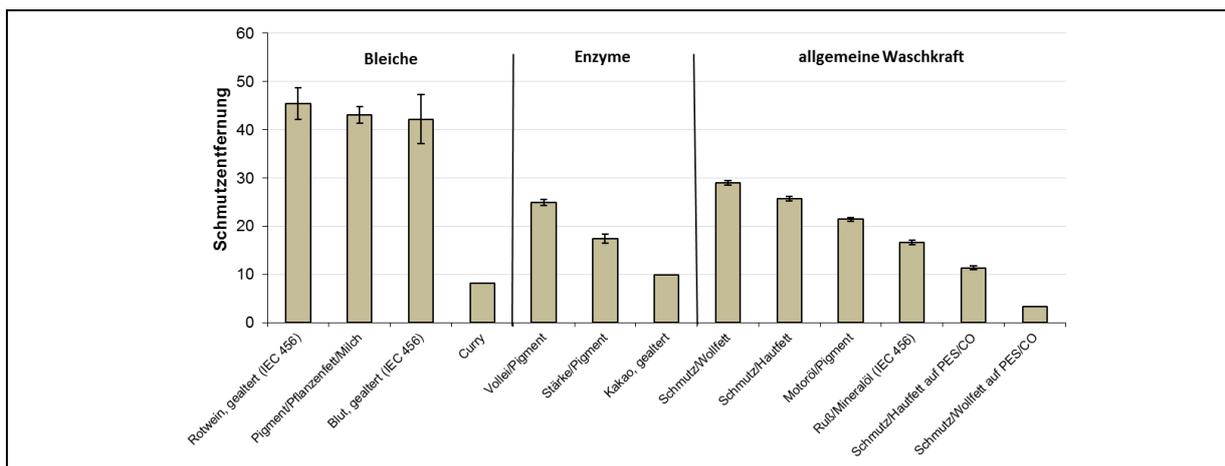


Abbildung 13: Schmutzentfernung (Y-Wert), Maschine A, bei Handtuchrollenwäsche unter Variation der Schmutzarten, Mittelwerte aus insgesamt 3 Versuchsreihen

Besonders bei der Handtuchrollenaufbereitung ist ausreichende Fleckentfernung gefordert. Dementsprechend führen die vorliegenden Waschbedingungen in diesem Programm an den eingesetzten Anschmutzungen zu hohen Remissionswerten (Y-Werte). Der Einsatz von größtenteils unbelastetem Frischwasser verhindert Depositionseffekte auf den gewaschenen Textilien, was hohe Schmutzentfernung begünstigt.

Im Vergleich dazu werden beim Waschen von weniger anspruchsvollen Wischbezügen aufgrund der angewandten Waschprogrammeinstellung (keine Bleichmittelzugabe, geringere Waschttemperaturen) insgesamt geringere Y-Werte gemessen (**Abbildung 14**). Der schwankende Schmutzeintrag durch die stark unterschiedlich verschmutzten industriellen Wischbezüge in den jeweiligen Wäscheposten bewirkt zusätzlich höhere Vertrauensbereiche der Y-Werte im Vergleich zum Waschen von Handtuchrollen.

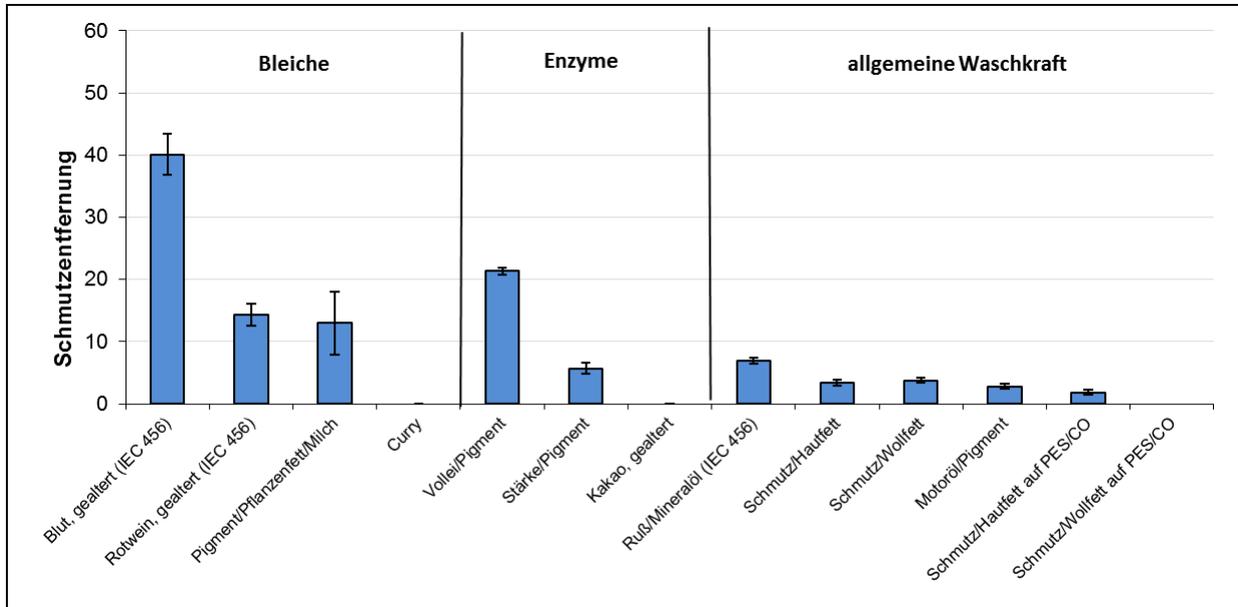


Abbildung 14: Schmutzentfernung (Y-Wert), Maschine B, bei Feuchtwischbezügen unter Variation der Schmutzarten, Mittelwerte aus insgesamt 3 Versuchsreihen

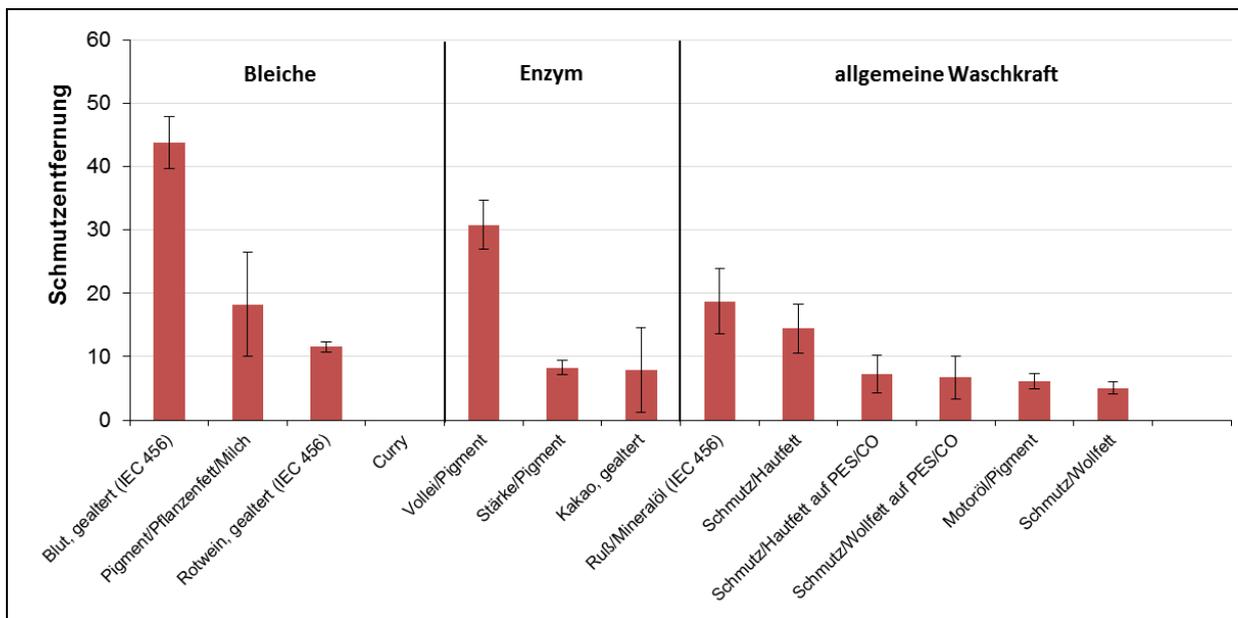


Abbildung 15: Schmutzentfernung (Y-Wert), Maschine B, bei Schmutzfangmatten unter Variation der Schmutzarten, Mittelwerte aus insgesamt 3 Versuchsreihen

Abbildung 15 zeigt die Schmutzentfernung (Y-Werte) in Maschine B beim Waschen von Schmutzfangmatten. Die Messwerte liegen im Vergleich zum Waschen der Wischbezüge insbesondere bezüglich der allgemeinen Waschkraft trotz der von 53 auf 40 °C reduzierten Waschttemperaturen und etwas verringerten Waschmitteldosierung etwas höher. Dies ist auf die leichtere Entfernung des überwiegend locker gebundenen gröbereren Schmutzes in den Schmutzfangmatten begründet.

4.1.2.3 Textilschädigung, Vergrauung und Spülwirkung

An den in **Kapitel 3.2.3.1** beschriebenen sauberen Prüfgeweben wurden die zur Charakterisierung der *Textilschädigung* dienenden Kenngrößen bestimmt (**Tabelle 7**).

Tabelle 7: Textilschädigung an Baumwolle bei CHMS, IST-Analyse				
Wäscheart bzw. Waschprogramm	chemische Schädigung Schädigungsfaktor (s)		mechanische Schädigung Festigkeitsverlust	
	Nach 25 Zyklen	Nach 50 Zyklen	Nach 25 Zyklen	Nach 50 Zyklen
Handtuchrollen	0,1	0,1	6 %	6 %
Schmutzfangmatten	0,1	0,1	6 %	8 %
Feuchtwischbezüge	0,2	0,3	53 %	12 %

Es wird deutlich, dass die chemische Schädigung bei allen Waschprozessen nur gering ist (Grenzwert nach 50 Wäschen maximal 1,0). Die mechanische Schädigung bei Handtuchrollen und Schmutzfangmatten ist ebenfalls in einem akzeptablen Bereich (Grenzwert maximal 30 % nach 50 Wäschen) [5]. Der unzulässig hohe Wert von 53 % Festigkeitsverlust bei Feuchtwischbezügen nach 25 Zyklen ist auf prozessbedingte Stillstandzeiten der Waschstraße sowie fehlerhaften Umgang mit den Prüfgeweben während der Waschversuche seitens des Bedienpersonals zurückzuführen. Da nach 50 Waschzyklen lediglich 12 % Festigkeitsverlust gemessen wurde, kann auch hier von insgesamt geringer Textilschädigung ausgegangen werden.

Ein weiterer sekundärer Wascheffekt ist die Vergrauung der Textilien. **Abbildung 16** zeigt die ermittelten Messwerte nach 5, 10, 25 und 50 Zyklen.

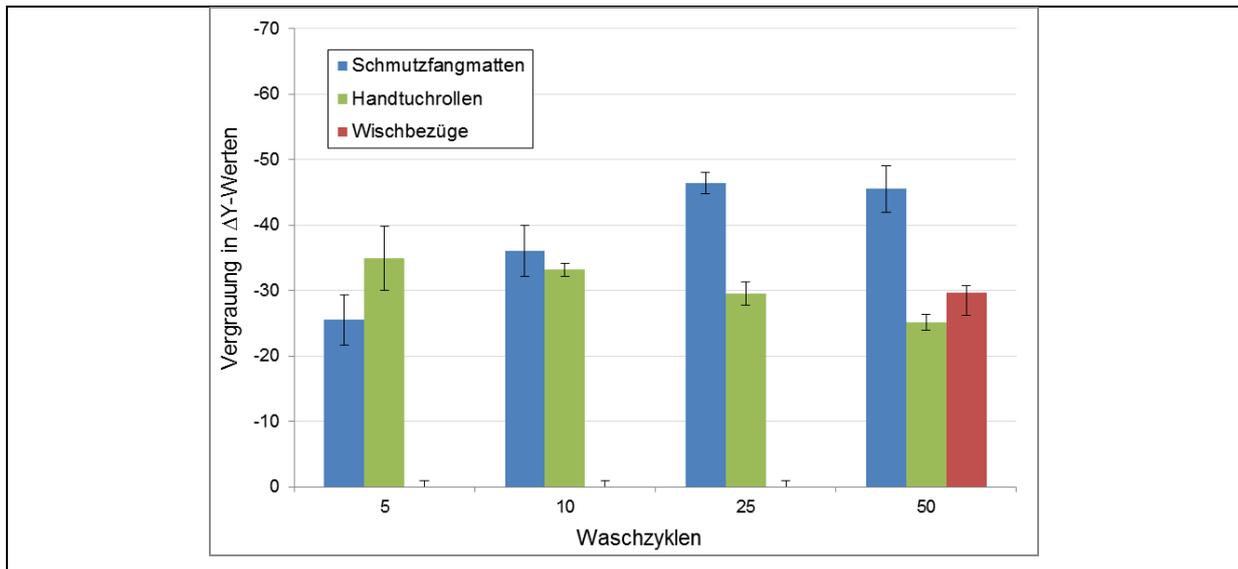


Abbildung 16: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO in unterschiedlichen Waschprogrammen bei CHMS nach unterschiedlicher Waschzyklenzahl

Während beim Waschen von Handtuchrollen die Vergrauungswerte des Baumwoll-Standardgewebes in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl zwischen 25 und 35 liegen (Tendenz fallend), werden bei Schmutzfangmatten steigende Werte mit dem Maximalwert von etwa 45 (ΔY -Wert) gemessen. Die Vergrauung bei Wischbezügen liegt nach 50 Behandlungen bei 30 Y-Werten.

In **Tabelle 8** sind die *Vergrauungswerte* (ΔY -Werte) für das mitgewaschene Mischgewebe (PES/CO 50/50) angeführt.

Tabelle 8: ΔY -Werte von PES/CO Prüfgewebe bei unterschiedlichen Wäschearten

Waschzyklenzahl	5	10	25	50
Schmutzfangmatten	52,25	52,15	50,61	46,56
Handtuchrollen	39,39	39,55	59,26	61,14
Wischbezüge	3,4	5,02	6,78	33,43

Die Alkalitätswerte der Flotte als Maß für die *Spülwirkung* sind in **Kapitel 4.1.4.3** in **Tabelle 9** und **10** angeführt. Danach liegen die gemessenen Werte im üblichen Bereich.

4.1.3 Trocknungseffekte

4.1.3.1 Mangeln

Die Trocknung der Handtuchrollen erfolgte durch Mangeln in einer dampfbeheizten Mangel (3 Roller) mit Walzendurchmessern von jeweils 1,30 m und einer Arbeitsbreite von 4,20 m bei einem Mangedruck von 3,5 bar. Die Muldentemperaturen betragen zum Zeitpunkt der Untersuchungen

- 174 °C (Mulde 1),
- 175 °C (Mulde 2) und
- 172 °C (Mulde 3).

Bei einer ermittelten Restfeuchtigkeit der Handtuchrollen von 44 % nach dem Pressen und Auflockern der Textilien und einer Restfeuchtigkeit von 2 % direkt nach dem Mangelprozess beträgt die verdampfte Wassermenge etwa 420 ml/kg Wäsche bzw. 22 l Wasser pro 50 kg Charge.

Die gemessenen Restfeuchtwerte der Wäscheteile von 2 % bei Mangelaustritt weisen darauf hin, dass durch die eingestellten Mangelprozessbedingungen keine signifikante Textilschädigung zu erwarten ist. Hauptursache von thermisch bedingten Textilschädigungen beim Mangeln sind nach Untersuchungen des wfk-Cleaning Technology Institutes Wäscheüber-trocknung, d.h. Restfeuchten unterhalb 2 %.

Das verdampfte Wasser wird in einem Luft-Wasser-Wärmetauscher aus der Abluft kondensiert und nach der Entfernung von Fetten/Wachsen aus der Mangelabluft in der Spülzone der Handtuchrollenwaschanlage wiederverwendet.

4.1.3.2 Trocknen im Tumbler

Schmutzfangmatten und Wischbezüge wurden in einem Trommeltrockner mit folgenden technischen Daten getrocknet:

- + Hersteller: Kannegiesser
- + Typ: PD 270 GWU
- + Beheizungsart: gasbeheizt
- + Luftdurchsatz: 22.000 m³/h
- + Trommelvolumen: 5.400 l
- + Beladungsmenge: 270 kg bei Füllverhältnis von 20 l/kg
- + g-Faktor: 0,8
- + Reversierung: ohne, nur Rechtslauf ohne Trommelstillstandzeiten

▪ Schmutzfangmatten

Die Restfeuchte der Matten betrug nach mechanischer Entwässerung in der Zentrifuge etwa 22 %. Innerhalb der Trocknungszeit von 20 min wurde diese Restfeuchtigkeit auf etwa 8 % reduziert.

Auch hier fand keine thermische Schädigung der Matten durch Übertrocknung statt. Nach Ausbreiten und Abkühlen der Matten zeigte sich ein optimales Glätteergebnis, was Schmutzfangmatten ein zusätzlich gutes Erscheinungsbild verleiht und außerdem ein Qualitätsmerkmal für die Kunden darstellt.

Zusätzlich wurde die Temperatur im Trommelinnenraum (entspricht etwa der Wäschepostentemperatur) mittels Datenlogger bestimmt. Die Temperatur am Heizregister des Trockners betrug 180 °C, die Postentemperatur während der Trocknung betrug zwischen 40 °C und 50 °C (**Abbildung 17**).

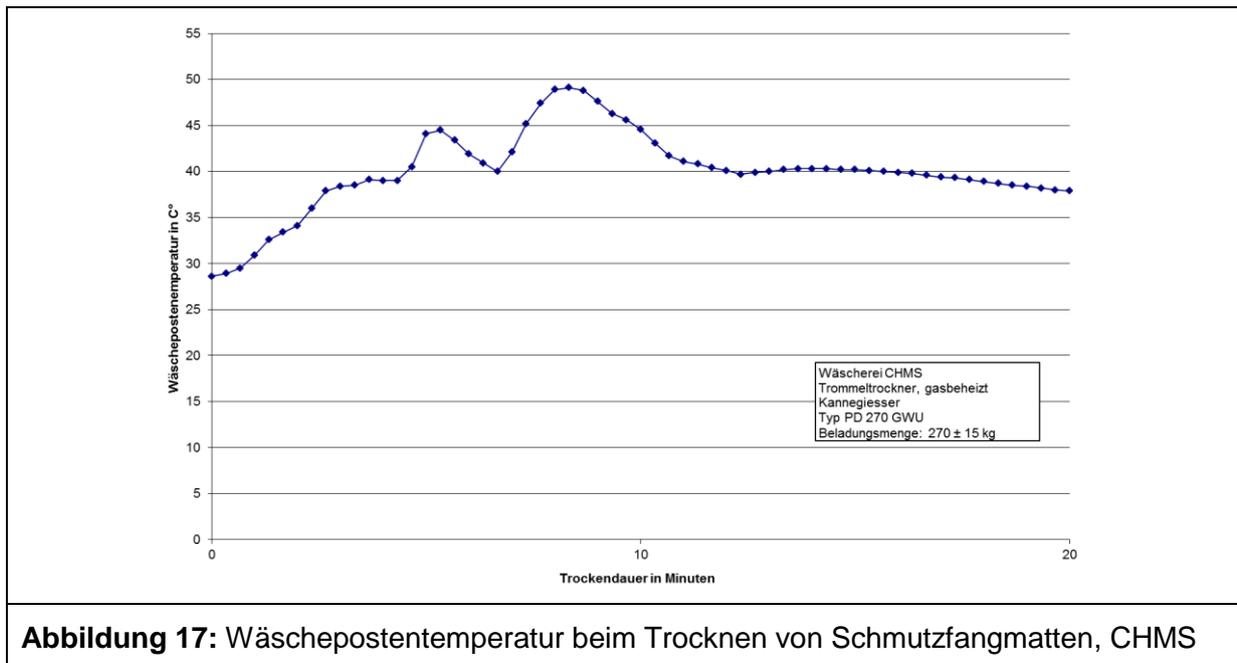


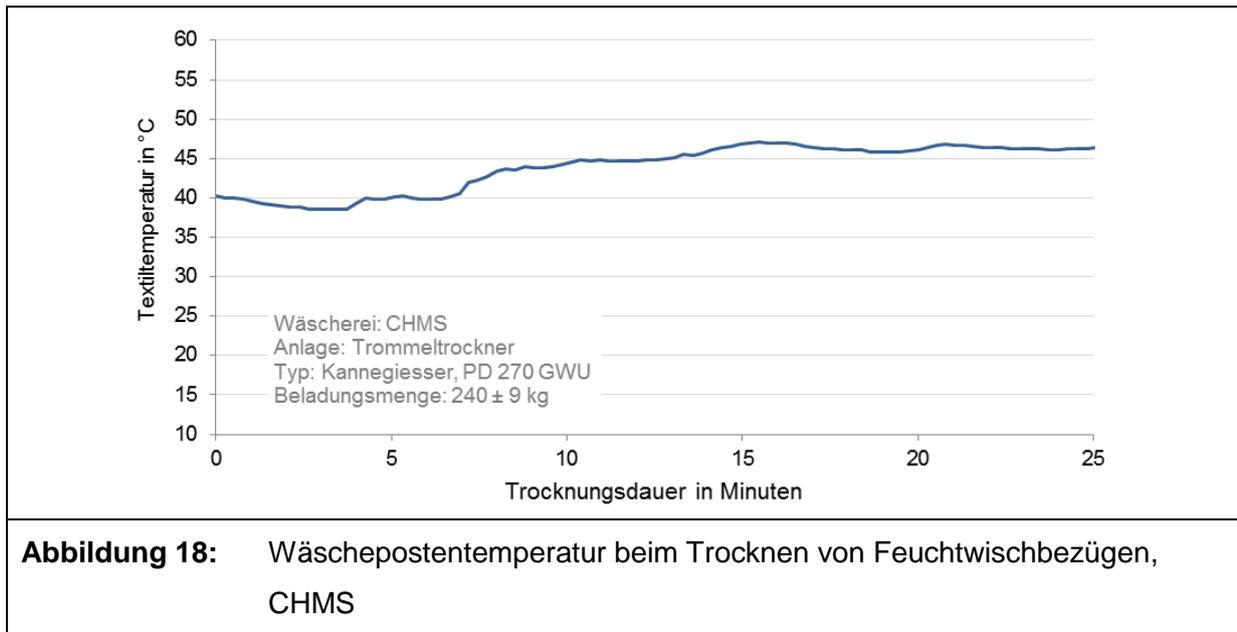
Abbildung 17: Wäschepostentemperatur beim Trocknen von Schmutzfangmatten, CHMS

▪ Wischbezüge

Die gravimetrische Bestimmung des Trockengewichtes der Wischbezüge betrug für einen Trocknungsprozess (3 Takte aus der Waschstraße) 240 ± 9 kg. Nach mechanischer Entwässerung betrug die in den Wischbezügen enthaltene Wassermenge etwa 25 %. Der Trockner reduzierte diese Restfeuchte auf etwa 6 %.

Auch hier konnte visuell keine Textilschädigung festgestellt werden.

Die analog den Schmutzfangmatten erfasste Wäschepostentemperatur während der Trocknung ist **Abbildung 18** dargestellt. Die Temperatur am Heizregister des Trockners betrug wie bei der Schmutzfangmattentrocknung 180 °C.



Die **Verdampfungsleistung** des Trockners wurde bestimmt zu:

- etwa 110 l/h bei Wischbezügen und
- etwa 117 l/h Schmutzfangmatten.

Die geringfügig höhere Verdampfungsleistung bei Schmutzfangmatten ist in der geringeren Wasseraufnahme der Matten mit Polyamid-Flor und Kautschukrücken im Vergleich zu den untersuchten Mikrofaserwischbezügen begründet.

4.1.4 Wasserqualität

4.1.4.1 Frischwasser

Das *Frischwasser* bei CHMS in Rödental wies bei der IST-Analyse eine Temperatur von 10 °C auf und hatte eine elektrische Leitfähigkeit von 263 µS/cm. Der pH-Wert betrug 7,8 was einen üblichen Wert darstellt. Die Wasserhärte betrug 6,3°d. Der Grenzwert für den pH-Wert von Trinkwasser liegt nach Trinkwasserverordnung zwischen 6,5 und 9,5 [6].

Das zum Waschen verwendete *Regenwasser* hatte zum Messzeitpunkt eine Temperatur von 11,8 °C und wies eine relativ hohe Leitfähigkeit von 1.620 µS/cm auf. Der ermittelte pH-Wert war 7,0. Die Wasserhärte betrug 0,8 °d. Zusätzlich wurde der Abdampfrückstand bestimmt, um auch im Wasser vorhandene Partikel, Schwebstoffe sowie gelöste anorganische Komponenten (Blei, Eisen etc.) erfassen zu können. Der Feststoffanteil nach Verdampfen des Regenwassers betrug 30 mg/l, was als niedrig einzustufen ist.

4.1.4.2 Abwasser

Die nach **Kapitel 3.2.4** durchgeführten wöchentlichen Wasseranalysen eines beauftragten Institutes des in die Kanalisation eingeleiteten Abwassers zeigten die in den **Abbildungen**

19 und 20 dargestellten Analysenergebnisse des eingeleiteten Abwassers in die öffentliche Kanalisation vor der Projektdurchführung.

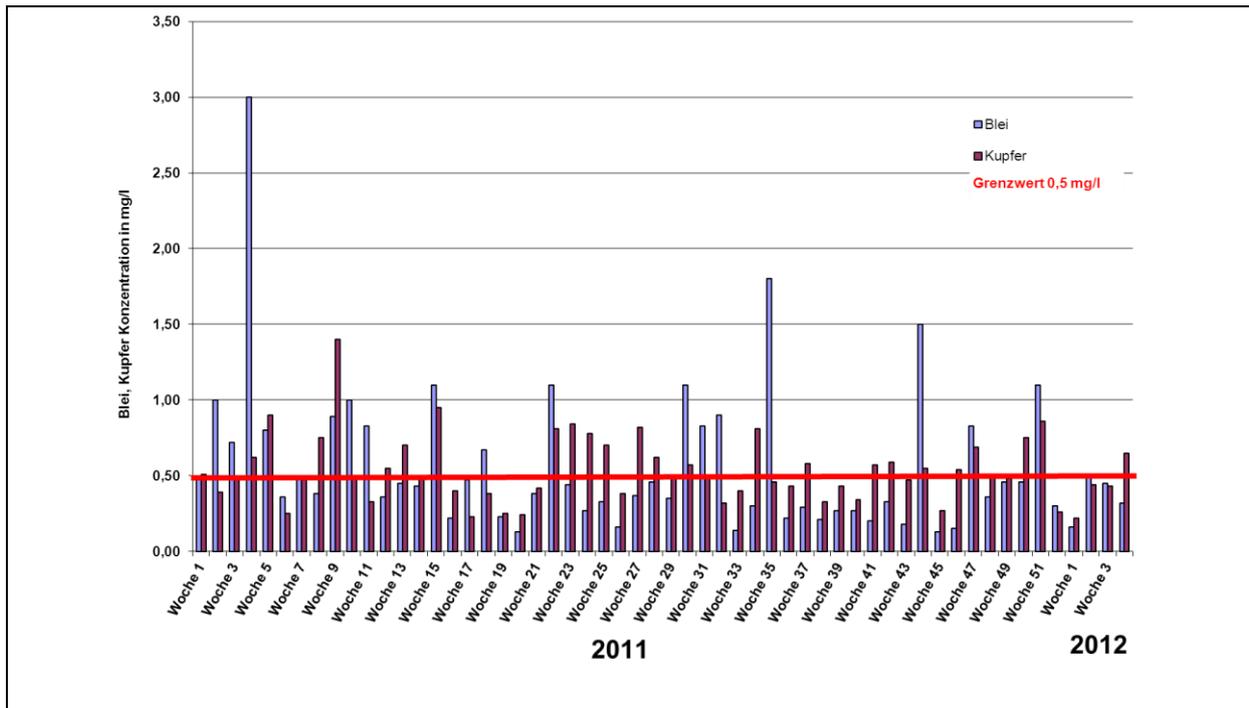


Abbildung 19: Blei- und Kupfergehalt im Abwasser bei CHMS vor Projektbeginn

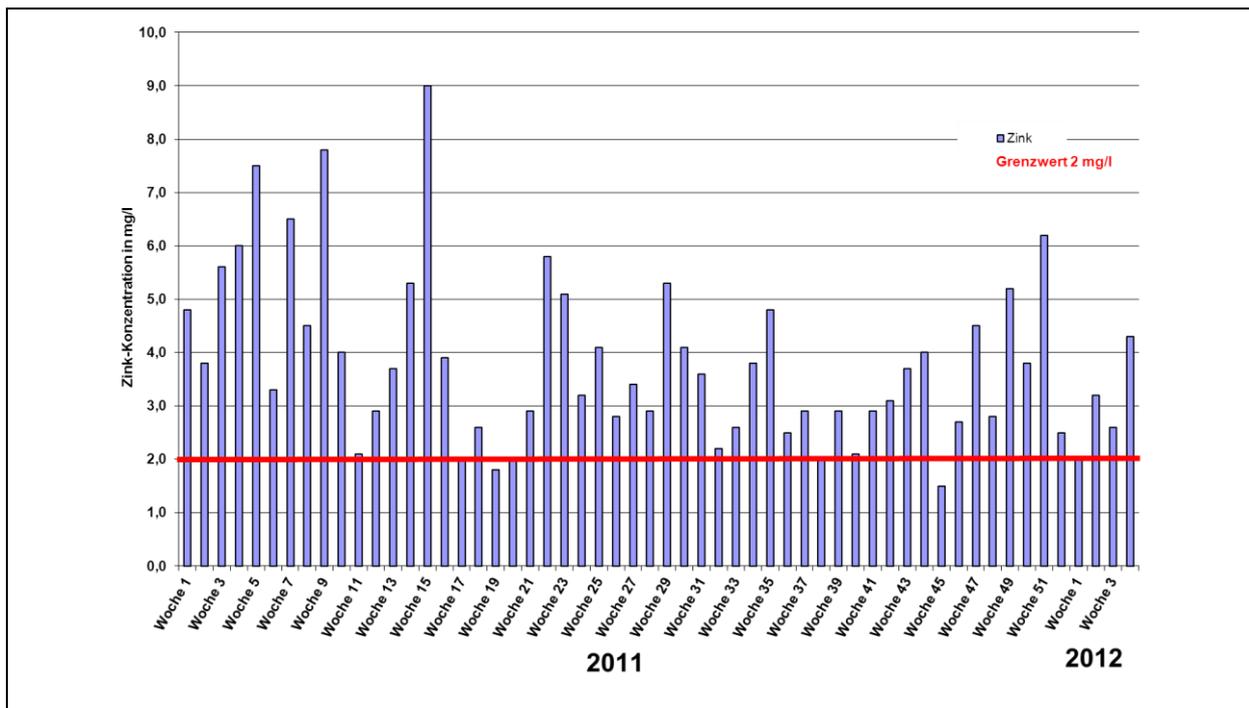


Abbildung 20: Zinkgehalt im Abwasser bei CHMS vor Projektbeginn

Weitere untersuchte Inhaltsstoffe wie Arsen, Cadmium, Chrom, Nickel und Quecksilber waren nicht vorhanden bzw. nachweisbar.

4.1.4.3 Wasserdaten innerhalb von Waschanlagen und Tanks

Zusätzlich wurde die Wasserqualität innerhalb der einzelnen Kammern der Waschanlagen, des verwendeten Frisch- und Regenwassers sowie in den Rückgewinnungstanks untersucht. Dabei wurde neben pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit (siehe oben) auch der Abdampfrückstand (alle im Wasser vorhandenen Komponenten wie Flusen, Sand, Metalle, usw.) mittels Analysenwaage ermittelt.

Tabelle 9 zeigt die Ergebnisse der allgemeinen Bewertung der Wässer und die ermittelten Messwerte des Frisch- und Regenwassers sowie des rückgewonnenen Wassers. Die **Tabellen 10 bis 12** geben die entsprechenden Werte des Wassers innerhalb der Waschanlagen wieder.

Tabelle 9: Abdampfrückstand und Charakterisierung des Frisch- und Regenwassers sowie des rückgewonnenen Wassers, CHMS			
Wasserart / Kammer	Abdampfrückstand in g/l	Flottenalkalität (Verbrauch HCl in ml) / pH-Wert	Beschreibung der Wasserprobe
Frishwasser vor Enthärtung	0,44		Farblose klare Flüssigkeit, geruchlos
Frishwasser nach Enthärtung	0,5		s.o.
Regenwasser	0,34	0,85 / 7,4	s.o.
Tank 1/Tank 2 (Mischabwasser aus Maschine A)	3,01	15,10 / 10,7	Leicht milchig-trübe Flüssigkeit mit geringem weißflockigem Feststoffanteil, schwach modriger, chlorhaltiger Geruch
Tank 3 (Mischwasser aus Maschine B)	4,09	26,39 / 7,8	Dunkelgraue, stark trübe Flüssigkeit mit geringem schwarzem Feststoffanteil, sehr starker modriger Geruch

Tabelle 10: Abdampfrückstand und Charakterisierung des Wassers in Maschine A
(Handtuchrollen), CHMS

Kammer	Abdampfrückstand in g/l	Flottenalkalität (Verbrauch HCl in ml) / pH- Wert	Beschreibung der Wasserprobe
Kammer 1	3,01	15,10 / 10,7	Leicht milchig-trübe Flüssigkeit mit geringem weiß-flockigem Feststoffanteil, schwach modriger, chlorhaltiger Geruch
Kammer 2	3,57	20,69 / 11,0	Milchig-trübe Flüssigkeit mit weiß-flockigem Feststoffanteil, schwach modriger Geruch
Kammer 3	3,63	20,38 / 10,3	s.o.
Kammer 4	3,71	20,08 / 8,7	s.o.
Kammer 5	3,74	19,71 / 6,9	s.o.
Kammer 6	3,75	19,56 / 7,1	s.o.
Kammer 7	3,42	18,10 / 7,7	s.o.
Kammer 8	2,64	13,23 / 7,7	s.o.
Kammer 9	2,03	10,11 / 7,7	Leicht milchig-trübe Flüssigkeit mit weiß-flockigem Feststoffanteil, schwach modriger Geruch
Kammer 10	1,46	6,97 / 7,5	s.o.
Kammer 11	1,14	6,62 / 7,2	s.o.
Kammer 12	1,26	7,03 / 6,9	s.o.
Pressenwasser	-	-	-

Tabelle 11: Abdampfrückstand und Charakterisierung des Wassers in Maschine B
(Schmutzfangmatten), CHMS

Kammer	Abdampfrückstand in g/l	Beschreibung der Wasserprobe
Kammer 1	4,09	Dunkelgraue, stark trübe Flüssigkeit mit geringem schwarzem Feststoffanteil, sehr starker modriger Geruch.
Kammer 2	3,17	Graue trübe Flüssigkeit mit dunkelgrauem Feststoffanteil, modriger Geruch.
Kammer 3	4,98	Dunkelgraue trübe Flüssigkeit mit dunkelgrauem Feststoffanteil, stark modriger Geruch.
Kammer 4	3,03	Graue trübe Flüssigkeit mit dunkelgrauem Feststoffanteil, modriger Geruch.
Kammer 5	3,95	Dunkelgraue trübe Flüssigkeit mit dunkelgrauem Feststoffanteil, stark modriger Geruch.
Kammer 6	3,48	s.o.

Tabelle 12: Abdampfrückstand und Charakterisierung des Wassers in Maschine B (Wischbezüge), CHMS		
Kammer	Abdampfrückstand in g/l	Beschreibung der Wasserprobe
Kammer 1	4,09	Dunkelgraue, stark trübe Flüssigkeit mit geringem schwarzem Feststoffanteil, sehr starker modriger Geruch.
Kammer 2	3,30	Grau-braune trübe Flüssigkeit mit grauem Feststoffanteil, stark modriger Geruch.
Kammer 3	3,43	s.o.
Kammer 4	2,92	s.o.
Kammer 5	2,85	Dunkelgrau-braune trübe Flüssigkeit mit schwarzem Feststoffanteil, stark modriger Geruch
Kammer 6	2,80	s.o.
eingeleitetes Abwasser	2,74	Dunkelgrau trübe Flüssigkeit mit wenig schwarzem Feststoffanteil, sehr stark modriger Geruch

4.2 Verbesserungsvorschläge und deren Realisierung

Bei der Durchführung einzelner Prozessschritte wird meist auf Erfahrungswerte an einzelnen Anlagen bzw. Maschinen zurückgegriffen. Der Lösungsansatz in diesem Forschungsprojekt bestand darin, das Zusammenspiel aller Anlagen und Komponenten und deren spezifische Anforderungen zu betrachten, um effektive Einsparungen zu realisieren und einen effizienten Energieeinsatz zu gewährleisten. So sollten Einsparpotenziale für Energie und Ressourcen nicht nur am einzelnen Gerät, sondern im Gesamtkontext gefunden werden. Der Schlüssel zur Verbrauchsreduktion liegt in der maximalen Optimierung der Wertschöpfungskette bzw. der Prozessabläufe.

Auf Basis der in **Kapitel 4.1** erhaltenen Daten über die in der Wäscherei vorliegenden Betriebsmittelströme wurden folgende Verbesserungsvorschläge vorgebracht, diskutiert und als Maßnahmen zur Betriebsmittelreduzierung in der Wäscherei ausgewählt.

4.2.1 Energieverbrauchsreduzierung bei der Dampferzeugung

Bei der Betrachtung des Dampferzeugers und der Analyse von Einsparpotentialen fallen drei Faktoren ins Gewicht: Einerseits die hohe Temperaturdifferenz zwischen der Frischwasser-einspeisung und dem erzeugten Dampf. Diese beträgt bis zu 142 Kelvin. Des Weiteren fällt die ungenutzte Energie im Abgas auf, wobei 82,6 kW durch den Kamin an die Umwelt abgegeben werden, und als Drittes die hohe Dampfleistung von 1.383 kW, die der Dampfkessel für die Wäscherei zur Verfügung stellen muss. Die folgenden Möglichkeiten können bei der Dampferzeugung zur Einsparung von Energie und Wasser genutzt werden.

Durch *Anhebung der Temperatur des dem Kessel zugeführten VE-Wassers* lässt sich der Gas- bzw. Energieverbrauch reduzieren. Um dabei jedoch Energie einzusparen, muss dieses Wasser bereits zur Verfügung stehen, also ein Abfallprodukt aus einem anderen Prozess sein. Pro Kelvin Temperaturerhöhung des zugeführten Wassers wird etwa eine Leistung von ca. 1 kW eingespart. In diesem Zusammenhang ist eine *vollständige Kondensatrückführung* aus der Mangel zu prüfen.

Eine weitere Möglichkeit stellt die *Nutzung des Wrasendampfes* (z.B. aus Trockner- oder Mangelabluft) aus der thermischen Entgasung dar. Mit Hilfe eines Wärmetauschers kann die in diesem Gas-/Dampfgemisch enthaltene Energie z.B. zur Vorerwärmung des Speisewassers genutzt werden.

Zur Reduzierung der Verluste durch die abgegebenen Abgase aus der Verbrennung können diese weiter abgekühlt und die daraus gewonnene Energie genutzt werden. Gelingt es, die Abgase bis zum Taupunkt auf ca. 57 °C abzukühlen, so steht eine weitere nutzbare Temperaturdifferenz im Abgas von 66 Kelvin zur Verfügung. Der Wirkungsgrad der Dampferzeugung verbessert sich um ca. 1 % pro 25 Kelvin Temperaturabsenkung im Abgas. Dazu kann ein *Economiser zur Vorerwärmung des Speisewassers* eingesetzt werden.

Ein weiteres mögliches Einsparpotenzial besteht darin, die latente und sensible Wärme des Abgases unter 57 °C durch die *Vorerwärmung der Verbrennungsluft* zu nutzen. Dazu müsste ein weiterer Abgas/Luft-Wärmetauscher eingesetzt werden, die jedoch meist nicht wirtschaftlich zu betreiben sind. Der dritte Faktor, der die Energieerzeugung für die Wäscherei bestimmt, wird in **Kapitel 4.2.2** näher beleuchtet.

4.2.2 Energieverbrauchsreduzierung beim Waschen von Handtuchrollen

Die durchgeführten Waschvorgänge sind vor allem dadurch energieintensiv, da große Mengen an warmem Wasser benötigt werden. An der Wassermenge ist kein wesentliches Einsparpotential zu verwirklichen, da die Menge für den Prozess bereits optimal abgestimmt ist. So liegen vor allem da Einsparmöglichkeiten, wo Wasser wieder verwendet oder ihm die vorhandene Wärmeenergie entzogen werden kann. Um nicht nur die nötige Leistung zur Erwärmung des Mediums zu sparen, sondern auch einem unnötigen Wasserverbrauch entgegen zu wirken, ist das Recycling der Abwässer zu präferieren.

Die Analyse des Prozesses der Anlage zum Waschen von Handtuchrollen zeigt, dass dem Prozess die Menge von 1,35 kg/s Frischwasser zugeführt wird, die ohne Wiederverwendung danach in den Waschwasserspeicher fließt. Sowohl die zugeführte Frischwassermenge als auch die durch Dampf erbrachte Heizleistung von bis zu 240 kW (HWSt 1) bzw. 404 kW (HWSt 2) kann hier verringert werden, indem das Wasser aus der Spülzone in der Maschine zum Vorwaschen wiederverwendet wird. Dadurch muss nur noch das Abwasser aus der Vorwäsche abgeleitet werden. Dementsprechend reduziert sich der nachgespeiste Wasseranteil. Geht man davon aus, dass in Folge dessen lediglich ein Drittel des Massenstromes nötig wäre, so verringert sich der Massenstrom um 0,9 kg/s. Dadurch ist eine theoretische Einsparung von ca. 138 kW Leistung bei der Erwärmung und ca. 0,45 kg/s bei der durchschnittlichen Frischwassernachspeisung möglich.

Eine weitere Energieverbrauchsreduzierung ist umsetzbar, indem man die benötigte Menge an Frischwasser vorerwärmt. Eine Energieeinsparung ist hierbei realisierbar, wenn die zur Temperaturerhöhung herangezogene Wärme an anderer Stelle als Abfallprodukt vorliegt. Kann eine solche Wärmequelle z.B. in anderen Prozessen der Firma CHMS gefunden werden, so errechnet sich für diesen Waschprozess pro Kelvin Temperaturerhöhung des Frischwassers eine durchschnittliche Reduktion der Heizleistung von ca. 3,6 kW.

Es ist außerdem möglich, Wasser mit ausreichender Qualität und vorzugsweise erhöhter Temperatur aus anderen Prozessen zu nutzen. Liegt solch geeignetes Abwasser vor, ist die direkte Einspeisung in die Waschstraße zu bevorzugen. Zum Beispiel könnte das anfallende Kondensat aus der Nutzung des Dampfes oder aus der Nutzung der feuchten Abluft nach der Mangel in den Waschprozess eingeleitet werden.

4.2.3 Energieverbrauchsreduzierung beim Trocknen

In der Firma CHMS sind zum Trocknen der Handtuchrollen dampfbeheizte Mangeln und zum Trocknen der Matten und Feuchtwischbezüge gasbeheizte Trockner im Einsatz. Aus beiden Systemen wird mit der feuchten Abluft (Brüde) nahezu die gesamte zugeführte Energie abgeführt.

Bezogen auf die Umgebungstemperatur werden durch die Abluft die folgenden Leistungen an die Umgebung abgeführt:

- dampfbeheizte Mangel 1 zur Trocknung der Handtuchrollen bei Volllast: ca. 206 kW
- dampfbeheizte Mangel 2 zur Trocknung der Handtuchrollen bei Volllast: ca. 361 kW
- gasbeheizter Trockner 1 für Matten und Feuchtwischbezüge bei Volllast: ca. 105 kW
- gasbeheizter Trockner 2 für Matten und Feuchtwischbezüge bei Volllast: ca. 50 kW

Um die Wärme aus der feuchten Abluft auf einem möglichst hohem Temperaturniveau zu gewinnen, muss mit einem geringen Luftdurchsatz in der dampfbeheizten Mangel bzw. dem gasbefeierten Trockner gearbeitet werden. Für beide Prozesse gelten verfahrensbedingte Grenzwerte für den Luftdurchsatz. Bei der dampfbeheizten Mangel unterstützt die Luft den Abtransport des Dampfes aus der zu trocknenden Ware über die Mangelbewicklung. Eine zu starke Reduktion des Luftdurchsatzes verschlechtert den Prozess und erhöht die Restfeuchte in der Ware. Im gasbefeierten Trockner dient die Luft zur Verbrennung des Gases und zur Aufnahme und dem Abtransport des anfallenden Wasserdampfes aus der Wäsche. Wird z.B. gesättigte Abluft von 70 °C auf 60 °C abgekühlt, so können 346 kJ/kg Luft und 126,6 g Kondensat auf einem mittleren Temperaturniveau von 65 °C gewonnen werden. Im gleichen Temperaturbereich kann zwischen 60°C und 70 °C im ungesättigten Bereich der feuchten Luft (relative Feuchte < 100%) nur ca. 12,7 kJ/kg Luft und kein Kondensat genutzt werden. Ziel sollte es daher bei allen Trocknungsprozessen sein, mit wenig Zuluft eine möglichst hohe relative Feuchte in der Abluft zu erzielen.

4.2.3.1 Dampfbeheizte Mangel

Zur Einsparung von Energie und Wasser kann die Abluft der Mangel unter Einsatz eines Brüdenwärmetauschers genutzt werden. Eine detaillierte Beschreibung der Funktion findet sich unter **Kapitel 4.1.3.1**. Dargestellt ist der verwendete Typ der dampfbeheizten Mangel mit drei Walzen in der **Abbildung 21**.

Die Mangel arbeitet mit einem Zuluftvolumenstrom aus der Halle 1 von 1825 m³/h. Durch die Aufnahme des Wasserdampfes aus der zu trocknenden Wäsche und die Temperaturerhöhung auf 100 °C steigt der Abluftvolumenstrom auf 2.880 m³/h mit einer absoluten Feuchte von 151 g/kg, einer relativen Feuchte von 19 % und einer Taupunkttemperatur von 59 °C. D.

h. die Brüde muss bei der Nutzung auf 59 ° C abgekühlt werden, um Kondensat zu bilden. Damit kann der überwiegende Teil der nutzbaren Wärme nur in Prozessen mit einer Temperatur unter 59 ° C genutzt werden, z. B. zur Gebäudeheizung oder zur Frischwasservorwärmung.

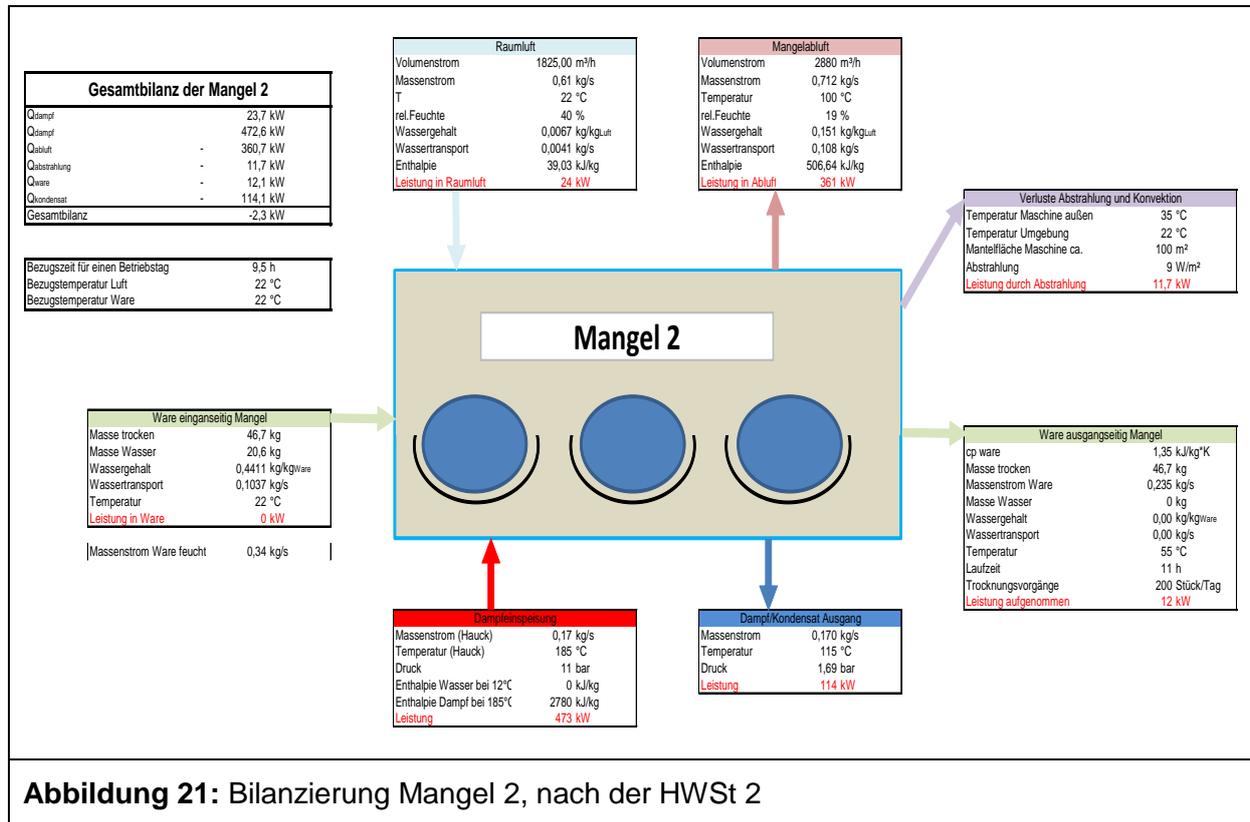


Abbildung 21: Bilanzierung Mangel 2, nach der HWSt 2

Um die vorhandene Energie aus der Abluft optimal zu nutzen, wäre auch eine direkte Aufheizung der Zuluft optimal. Es steht eine Gesamtenergie von ca. 361 kW zur Verfügung.

Da die Zuluft bisher aus der Halle bezogen wird, liegt noch ein Potential von etwa 20 kW in der Abluft, wenn die kühlere Außenluft genutzt wird. Diese Energie wird dann außerdem bei der Erwärmung der Halle nicht mehr benötigt, was eine weitere Energieeinsparung mit sich bringt.

Der Aufbau der Mangel erlaubt durch seine allseitige Luftansaugung keine gezielte Wärmeabgabe an die Zuluft. Daher ist es am sinnvollsten, die Energie aus der Abluft für die bereits oben genannten Prozesse zurückzugewinnen.

4.2.3.2. Gasbeheizter Trockner

Der wesentliche Energieverbrauch ist auf die relativ hohen Lufttemperaturen im Inneren der Trocknertrommel zurückzuführen. Diese Temperaturen sind jedoch nötig, um den Trocknungsprozess mit der geforderten Verdampfungsleistung zu gewährleisten. Eine Absenkung der Betriebstemperatur ist daher nicht möglich, da sich ansonsten der Trocknungsprozess enorm verlängern würde (siehe **Kapitel 4.3.5**).

Wie im von der DBU geförderten Projekt Az. 28543 (Mai 2011) „Modellhafte Demonstration einer energieeffizienten, kombinierten Rückgewinnung von Abwärme aus Waschscheudermaschinen und Trockneranlagen zum Aufheizen des Waschwassers in der Wäscherei“ soll die in der Abluft enthaltene Energie genutzt werden, um die Temperatur der angesaugten Frischluft zu erhöhen. Im Trockner ist dies teilweise durch einen fest eingestellten Umluftanteil bereits vom Hersteller realisiert. Ein Anteil von 60 % der gesamten Luft im Inneren des Trockners wird während des Trocknungsvorgangs nicht über Abluft an die Umwelt abgegeben, sondern im System belassen. Allerdings ist eine Erneuerung der Luft um 40 % des Gesamtvolumens notwendig, um die aus der Ware ausgetragene Feuchte und das bei der Verbrennung entstehende CO₂ abzuführen sowie die Zufuhr an Sauerstoff für den Brenner zu gewährleisten. Es fällt ein Abluft-Volumenstrom von 1,26 m³/s an. Dieser wird über das Dach des Gebäudes an die Umwelt abgegeben und steht somit dem Prozess nicht mehr zur Verfügung. Um den Energieverbrauch auf ein Mindestmaß zu reduzieren, muss die Energie in der Abluft genutzt werden. Hierzu soll ein Wärmerückgewinner (Luft/Luft-Wärmetauscher) eingesetzt werden. Die aus der Abluft gewonnene Energie kann zur Vorerwärmung der Zuluft verwendet werden.

Bei Einsatz eines Wärmerückgewinnungssystems mit einem theoretischen Wirkungsgrad von 100 %, könnte die Abluft mit der angesaugten Frischluft aus der Halle die Wärme vollständig austauschen. Dadurch könnte der Wärmerückgewinner eine Leistung von ca. 60 kW einsparen.

Weiterhin wäre es möglich, die verbleibende Temperaturdifferenz von 11 Kelvin für andere Vorwärmzwecke zu nutzen. Dadurch könnte eine zusätzliche Leistung von ca. 20 kW aus der Abluft genutzt werden.

4.2.4 Reduzierung des Stromverbrauchs

Einsparpotenziale beim Stromverbrauch können im Bereich der Beleuchtung, Pumpen und Antriebe gefunden werden.

Das Einsparpotenzial beim Stromverbrauch für die Druckluftherzeugung wird gesondert erfasst und wird in **Kapitel 4.2.5** diskutiert.

4.2.5 Reduzierung des Energieverbrauchs Druckluft

Eine Reduzierung des Betriebsdruckes sollte stets geprüft werden, wobei die störungsfreie Funktion aller druckluftbetriebenen Komponenten bzw. Stellorgane gewährleistet sein muss. Diese Maßnahme hat immer einen wesentlichen Einfluss auf den jährlichen Stromverbrauch. Als Faustformel gilt, dass eine Erniedrigung des Betriebsdrucks um 1 bar einen bis zu 7 % geringeren Energieverbrauch des Erzeugers zur Folge hat [7]. Gleichzeitig wird empfohlen, das momentan in Halle 1 vorhandenen Stickleitungsnetz zu optimieren bzw. in ein Ringlei-

tungsnetz umzubauen, wodurch die Wirtschaftlichkeit und die Betriebssicherheit des Rohrleitungsnetzes erhöht werden. Es wäre dann möglich, einzelne Abschnitte des Rohrleitungsnetzes abzusperrern, ohne dabei die Druckluftversorgung anderer Bereiche zu unterbrechen, wodurch die Druckluftversorgung der meisten Verbraucher, auch bei Wartungs-, Reparatur- und Erweiterungsarbeiten, immer gewährleistet wäre. Bei der Druckluftversorgung durch eine Ringleitung muss die Druckluft des Weiteren einen kürzeren Weg zurücklegen als bei Sticleitungen, was zusätzlich einen geringeren Druckabfall zur Folge hat. Das Entfernen unnötiger Reduzierungsventile, Schnellkupplungen und Drosseln wirkt sich ebenfalls auf den Stromverbrauch der Druckluftherzeugung aus.

Weiterhin stellte sich auch in der Firma CHMS der Austausch eines veralteten Kompressors, durch ein neueres Modell auf dem heutigen Stand der Technik, als wirtschaftlich heraus. Bei gleichbleibender Leistung wurde eine Reduzierung des Energieverbrauches deutlich. In einem nächsten Schritt sollte der zweite Kompressor ausgetauscht und bei der nächsten Umbaumaßnahme die Sticleitung durch eine Ringleitung ersetzt werden. Ggf. ist eine Aufstellung des zweiten Kompressors in der Halle 2 anzudenken. Dies würde den Umbau der Sticleitung erübrigen. Danach kann im Versuch der Systemdruck um bis zu ca. 0,5 bar reduziert werden.

Wie **Abbildung 22** zeigt, wurde aus den Aufzeichnungen des Druckes im Druckluftsystem ohne Verbraucher nachts und am Wochenende anhand der Verdichterlaufzeiten eine Leckrate von 9,5 % im betriebenen Netz ermittelt.

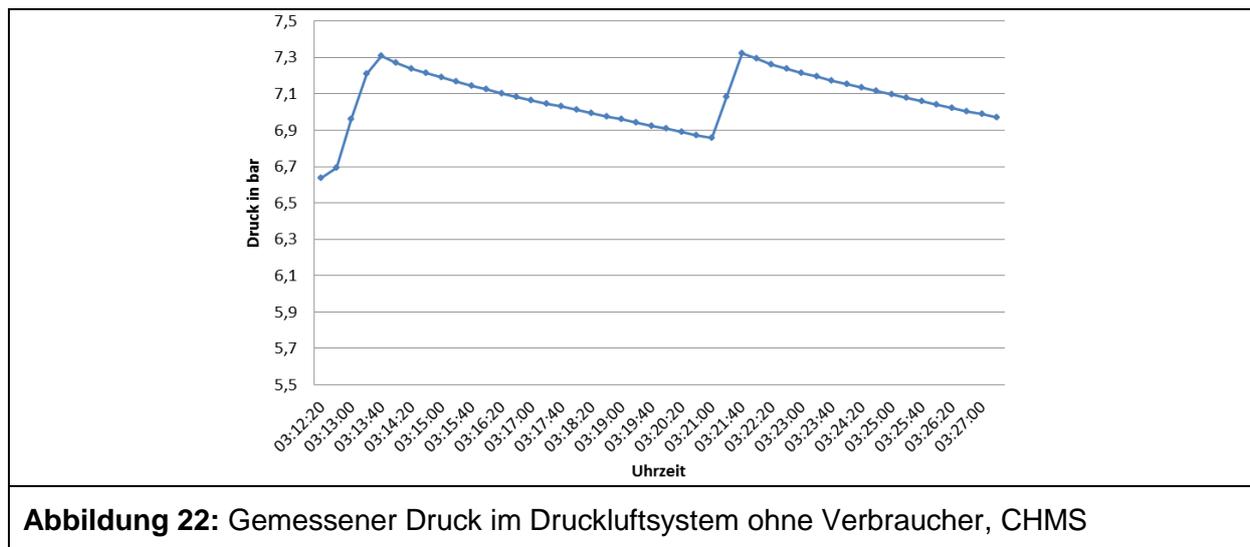


Abbildung 22: Gemessener Druck im Druckluftsystem ohne Verbraucher, CHMS

Eine Leckrate über 7 % ist als optimierungsfällig zu bewerten. Besonders auffällig sind im Betrieb die zahlreichen Übergänge zwischen unterschiedlichen Rohrwerkstoffen. Insbesondere die Schnellkupplungen für den Anschluss von Schläuchen sind oftmals mit Leckagen behaftet. Es sollte besonders bei vielen unterschiedlichen Abnehmern darauf geachtet werden, dass die Zuleitungen bei Nichtgebrauch geschlossen werden können. Bereits in der

Vergangenheit wurde bei der Firma CHMS nachts lediglich ein kleiner ausgewählter Teil des Netzes mit Druck beaufschlagt. Der Rest des Netzes wird abgesperrt und erst am Morgen wieder mit Druck versorgt, was die Verluste während dieses Zeitraums vermeidet. Wichtig ist es, darauf zu achten, keine sicherheitsrelevanten Aggregate, (bspw. Brandschutztechnik) vom Netz zu trennen.

Im Allgemeinen gilt:

Besonders zu vermeiden sind ungeeignete Wartungseinheiten, Kupplungen und zu lange Spiralschläuche. Oft können statt Spiralschläuchen normale, verstärkte Schläuche verwendet werden. Bei den Kupplungen reduzieren vor allem selbstentlüftende Schnellkupplungen aus Messing aufgrund der im Luftstrom liegenden Kugel den Druck (0,6 – 1,3 bar). Moderne Systeme können hier den Verlust auf ca. 0,2 bar absenken. Dieser Wert ist dabei nicht nur in Zusammenhang mit der oben beschriebenen Leistungsminderung am Verbraucher zu sehen, sondern spielt auch eine wichtige Rolle bei der Erzeugung, da bei Anschluss eines druckkritischen Verbrauchers oft der erzeugte Druck nach oben korrigiert wird, anstatt den Druckabfall in der Zuleitung zu überprüfen, was erhebliche Energiemehrkosten zur Folge hat. Die Firma Kaeser empfiehlt für das optimale Druckluftnetz einen Korrosions- und Oxidationsschutz, garantiert dichte Rohrverbindungen (geschweißt, gelötet oder geklebt) und eine Reduktion des Druckabfalls zwischen Kompressor und Verbraucher auf maximal 0,1 bar. Um diesen Druckverlust realisieren zu können müsste insbesondere die Druckluftleitung zur Halle 2 erweitert werden.

4.2.6 Weitere diskutierte Maßnahmen

Des Weiteren wurden die nachfolgenden Maßnahmen vorgeschlagen.

⇒ *Verringerung des Energiebedarfs beim Trocknen durch Heißlufttemperaturabsenkung für Wischbezüge und Schmutzfangmatten unter Variation von Heißluftstrom und Trocknungsdauer*

Da diese Untersuchungen bei laufendem Wäschereibetrieb zu hoher Produktionsverringering führen würden und ggf. Textilschäden auftreten könnten, wurden diese Versuche im Technikum des wfk in einem gewerblichen, dampfbeheizten Trommeltrockner unter identischen Trocknungsparametern wie bei CHMS vorgenommen. Die entsprechende Beladungsart (Wischbezüge und Schmutzfangmatten) wurden für die Untersuchungen von CHMS zur Verfügung gestellt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag in Trocknungsversuchen bei reduzierten Trocknungstemperaturen von 180 °C auf 130 °C. Bewertungskriterien waren auftretende negative Textileffekte und Trocknungsleistung.

⇒ *Verringerung der Energieverbräuche beim Waschen von Handtuchrollen, Schmutzfangmatten und Wischbezügen unter Berücksichtigung der Waschqualität*

Da diese Untersuchungen bei laufendem Wäschereibetrieb zu hoher Produktionsverringereung und ggf. unzulässig niedriger Waschwirkung mit zusätzlich notwendigen Nachwäschen führen könnten, wurden auch diese Versuchsreihen im Technikum des wfk in einer gewerblichen, dampfbeheizten Waschschleudermaschine (siehe **Kapitel 4.3.4**) unter vergleichbarer Waschprogrammeinstellung wie bei CHMS vorgenommen. Zur Energiebedarfsreduzierung sollten die Waschttemperaturen wie folgt gesenkt werden:

- + Handtuchrollen: 80 °C auf 40 °C
- + Wischbezüge: 60 °C auf 20 °C
- + Schmutzfangmatten: 40 °C auf 20 °C

Da die IST-Analyse bereits niedrige Textilschädigung zeigte und Temperaturabsenkungen diese eher reduzieren, wurde nur die Schmutzentfernung in Abhängigkeit von der Waschttemperature untersucht.

⇒ *Verringerung des Wasserverbrauchs durch Brauchwasserbehandlung mittels Elektrolyse und Filtration mit Bestimmung von Anlageneffektivität und Beeinflussung von Sekundärwascheffekten*

Bei CHMS wurde bereits eine, allerdings noch nicht in Betrieb genommene Brauchwasserbehandlung mittels Elektrolyse und Filtration installiert (**Kapitel 4.3.1.4**). Die daraus resultierende Reduktion des Frischwasserverbrauchs sowie deren Effekt auf die Waschwirkung konnte jedoch innerhalb der Projektlaufzeit nicht ermittelt werden, da sich diese Anlage noch in der Erprobungsphase befand.

4.3 Realisierte Einsparungspotenziale unter Berücksichtigung der Wasch- und Trocknungseffekte

Nach Realisierung der vorgeschlagenen Transfermaßnahmen „Optimierung Flottenführung bzw. -recycling“ sowie „Installation der Wärmetauscher an Trockner (Luft/Luft-Wärmetauscher) und Mangel (3-stufiger Brüdenwärmetauscher)“ wurden analog zur IST-Analyse die Verbrauchswerte bestimmt.

4.3.1 Realisierte Einsparungspotenziale ausgewählter Maßnahmen

Die im Folgenden aufgeführten Maßnahmen zur Energie- und Ressourceneinsparung wurden in der Firma CHMS umgesetzt und die veränderten Verbrauchswerte mit den gleichen Messverfahren ermittelt.

4.3.1.1 Energieverbrauch Dampferzeugung

Wie bereits unter **Kapitel 4.2.1** erläutert, kann auf drei Arten wesentlich auf den Energieverbrauch eingewirkt werden:

- Anhebung der Frischwassertemperatur
- Reduzierung des Dampfbedarfs
- Nutzung der hohen Abgastemperatur des Dampfkessels

Zum Aufheizen des Frischwassers bei der thermischen Entgasung wurde bisher lediglich Dampf aus dem Kessel verwendet. Um diesen Dampfverbrauch einzusparen bzw. zu reduzieren, wurden zwei Maßnahmen umgesetzt. Bei Betrachtung der Dampfabnehmer fällt vor allem der hohe Bedarf der zwei Mangeln auf. Dort wird der Dampf zum Erhitzen der jeweils drei Mulden im Inneren der Geräte genutzt. Nach diesem Vorgang fließen in Mangel 1 0,11 kg/s und in Mangel 2 0,174 kg/s Kondensat mit einer Leistung von 74 bzw. 114 kW ab. Durch die Rückführung des entstandenen Kondensates in den Kreislauf der Dampferzeugung kann dieses Energiepotenzial genutzt werden. Das mit hoher Temperatur zurückgeführte Kondensat reduziert gleichzeitig die nachgespeiste VE-Wassermenge, da es bereits die nötige Qualität zur Nutzung als Kesselspeisewasser aufweist.

Eine weitere Einsparmöglichkeit stellt die Nutzung des Wrasendampfes aus der thermischen Entgasung dar. Mit Hilfe eines Wärmetauschers wird diesem Wärme entzogen und an das nachgespeiste VE-Wasser in der Einspeiseleitung zur thermischen Entgasung abgegeben (siehe **Abbildung 23**).

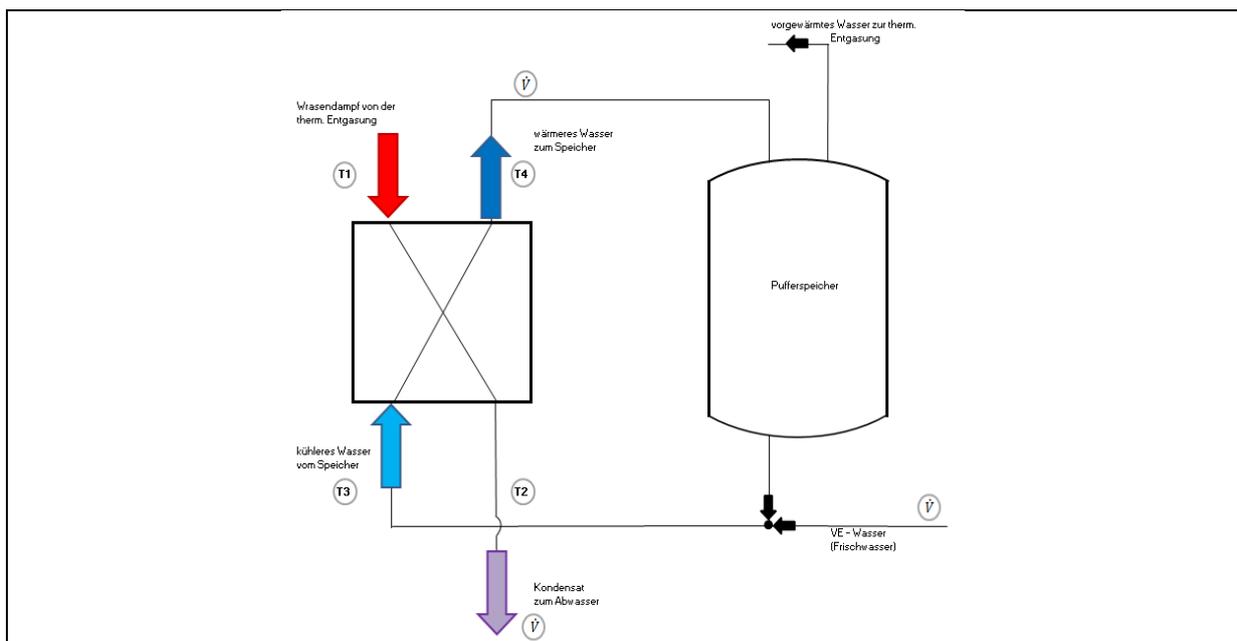


Abbildung 23: Wrasendampfnutzung

- ⇒ Die Messung ergab, dass mit Hilfe dieser Technik eine Leistung von ca. 7 kW eingespart werden konnte.

Weitere Energie zur Erhöhung der Speisewassertemperatur wird mit einem Wärmetauscher aus dem Abgas des Kessels gewonnen (siehe **Abbildung 24**).

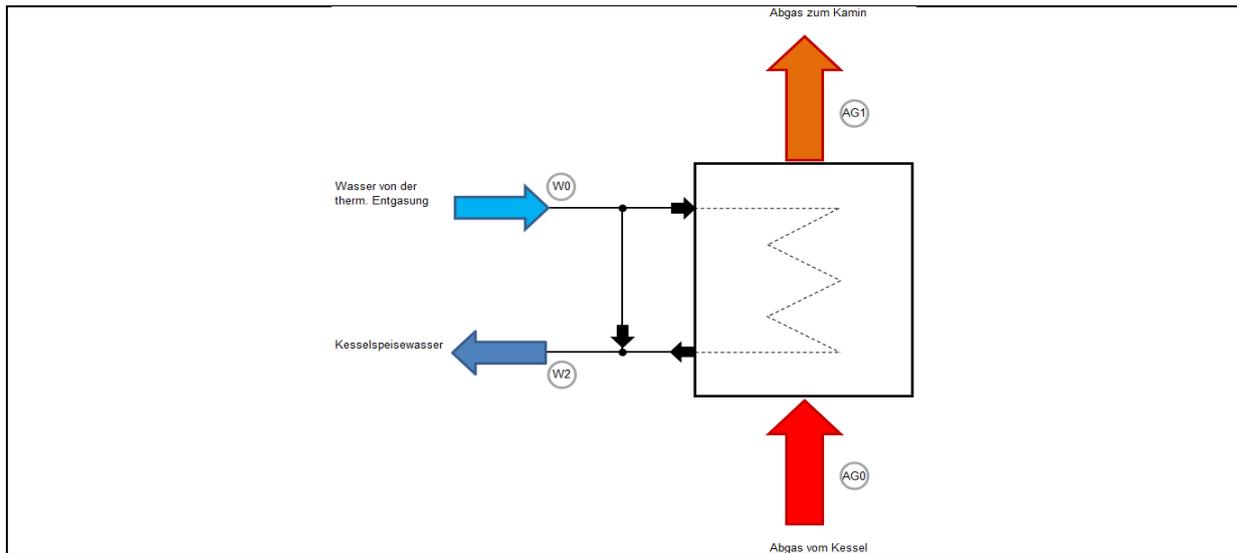


Abbildung 24: Economizer

Das Abgas kühlt dabei auf 123 °C ab. Damit kann eine Anhebung der Temperatur des Kesselspeisewassers auf bis zu 130 °C erzielt und der Gesamtwirkungsgrades des Dampferzeugers mit Economizer um bis zu 2,7 % verbessert werden. Die Maßnahme kann die Heizleistung um ca. 32 kW reduzieren. Das würde einer eingesparten Menge an Erdgas von ca. 3,5 m³/h entsprechen. Da die mit Dampf beheizten Prozesse im Betrieb CHMS sehr diskontinuierlich ablaufen und die erzeugte Dampfmenge bereits sehr gering für die vorhandene Kesselgröße ist, werden die realisierbaren Einsparungen niedriger ausfallen.

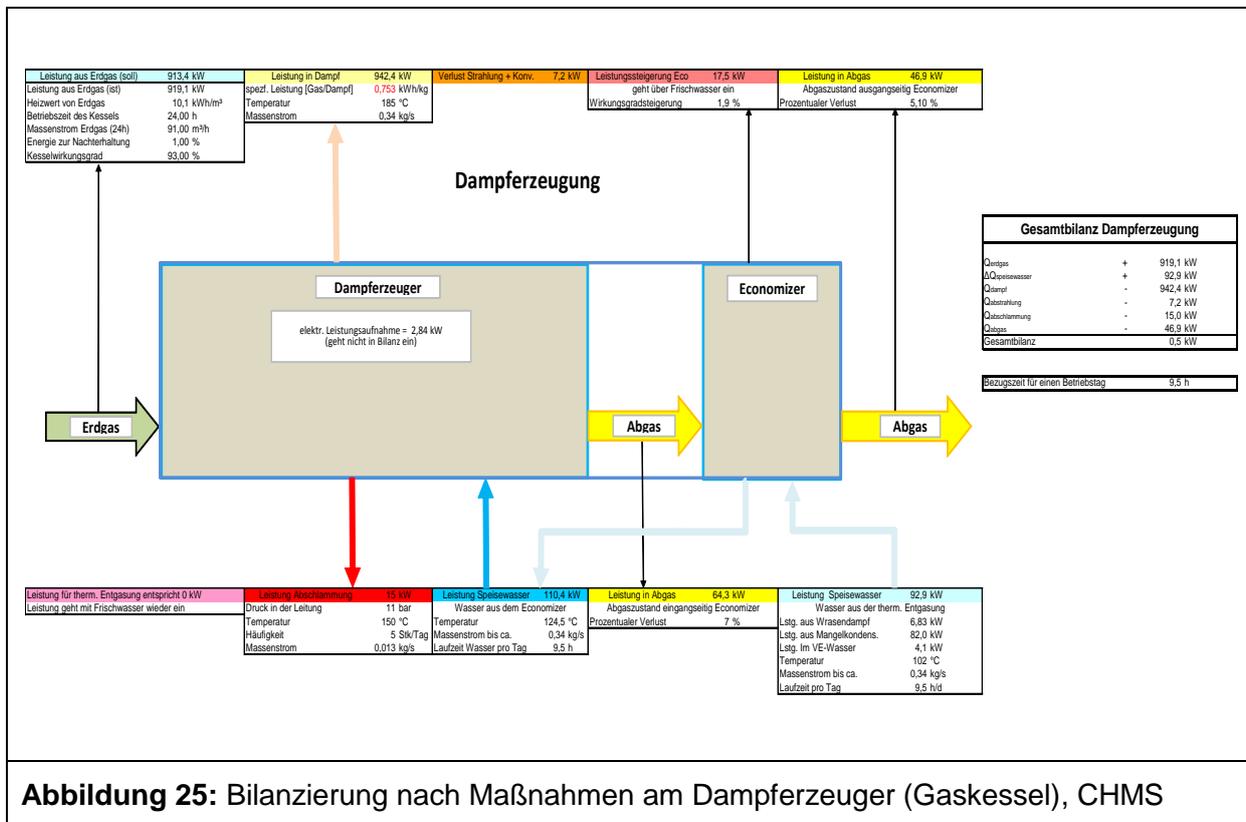
Um weitere Energieeinsparungen am Dampferzeuger zu erzielen, wird der Dampfverbrauch der verschiedenen Prozesse gedrosselt. Die entsprechenden Maßnahmen finden sich unter dem **Kapitel 4.3.1.2 Energieverbrauch beim Waschen**. Es wird durch die prozessübergreifende Nutzung der Abwärme eine Absenkung der benötigten Dampfleistung um ca. 460 kW erreicht. Dies entspricht einer Reduktion des durchschnittlichen erzeugten Dampfstromes von 0,53 kg/s auf 0,343 kg/s. Wegen der geringeren Auslastung verschlechtert sich allerdings der Betriebszustand des Systems zur Dampferzeugung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass z.B. die Verluste aus Strahlung und Konvektion an der Oberfläche des Dampferzeugers und der Wärmetauscher konstant geblieben sowie die Abschlamm- und Absalzverluste sich kaum verändert haben. Dadurch steigt der spezifische Energieaufwand an Gas für das kg erzeugten Dampf um ca. 2 %. Der spezifische Energieaufwand an Erdgas zur Dampferzeugung betrug bei der IST-Analyse 0,73 kWh Erdgas/kg Dampf. Nach der Durchführung der Verbesserungsmaßnahmen verschlechterte sich der spezifische Energieaufwand an Erdgas zur Dampferzeugung auf 0,75 kWh Erdgas/kg Dampf. Durch die Einspar-

maßnahmen läuft der Kessel häufig nur noch 30 % der Nennleistung und kommt vor allem im Sommer in den Taktbetrieb.

⇒ Abhilfe könnte nur ein kleinerer Dampferzeuger schaffen.

Insgesamt konnte durch die beschriebenen Eingriffe in das System Dampferzeuger zusammen mit der realisierten Einsparung an Dampf ein neuer Bedarf an Erdgas von 91 m³/h erreicht werden (siehe **Abbildung 25**).

⇒ Damit werden maximal bis zu ca. 36 m³/h des Energieträgers Erdgas weniger verbrannt.



4.3.1.2 Energieverbrauch Waschen

Bei den beiden Handtuchwaschstraßen und der Mattenwaschstraße gelingt es durch effektive Nutzung der Wassermassenströme, die den Systemen zugeführte Energie möglichst lange in den Waschvorgängen zu halten. Außerdem gelingt es durch Verknüpfung der Waschprozesse, erwärmtes Wasser intensiver zu nutzen.

Weitere Maßnahmen, insbesondere zur Vorerwärmung von Frischwasserströmen durch Restwärme aus anderen Prozessen, so wie die Nutzung von Kondensatströmen zur Ergänzung der Wasserzufuhr, dämmen den Energieverbrauch beim Waschen weiter ein. Nachdem anlagenspezifisch die Einzelmaßnahmen ausgeschöpft sind, kommt dann den prozessübergreifenden Maßnahmen eine entscheidende Bedeutung zu.

▪ **Handtuchwaschstraße**

Durch weitergehende Nutzung des zugeführten Frischwassers aus dem Waschprozessschritt „Spülen“ im vorhergehenden „Waschen“ und der Nutzung des Presswassers zum Spülen sowie der Nutzung des Wassers aus der Klarwaschzone und der Spülzone bei der Vorwäsche wird eine Einsparung von 1 kg/s erzielt.

⇒ Das führt gleichzeitig zu einer Reduktion der Heizleistung von ca. 50 kW, die in Form von Dampf weniger eingebracht werden muss.

Durch die Nutzung der Mangelabluft mit Hilfe eines Brüdenwärmetauschers wird weitere Energie eingespart. Dieser Vorgang wird in **Kapitel 4.3.3.3** beschrieben. Es werden für die Frischwasservorerwärmung der Handtuchrollenwaschstraße durchschnittlich

⇒ bei der HWSt 1 ca. 55 kW und

⇒ bei der HWSt 2 ca. 63 kW gewonnen.

Die Eintrittstemperatur des Wassers erhöht sich damit auf 55 bis 60 ° C. Es werden auch höhere Temperaturen beobachtet, was auf den diskontinuierlichen Betrieb der Anlagen zurückzuführen ist und zu großen Schwankungsbreiten bei den übertragenen Leistungen führt.

⇒ Für die Waschflottenvorerwärmung werden aus der Maßnahme weitere ca. 36 kW gewonnen.

Das bei der Abkühlung der Mangelabluft (Brüde) gewonnene Kondensat von 0,035 kg/s aus dem Brüdenwärmetauscher 1 und 0,08 bis 0,09 kg/s aus dem Brüdenwärmetauscher 2 wird zur Reduktion des Frischwasserbedarfs dem Waschprozess der HWSt 1 und 2 zugeführt.

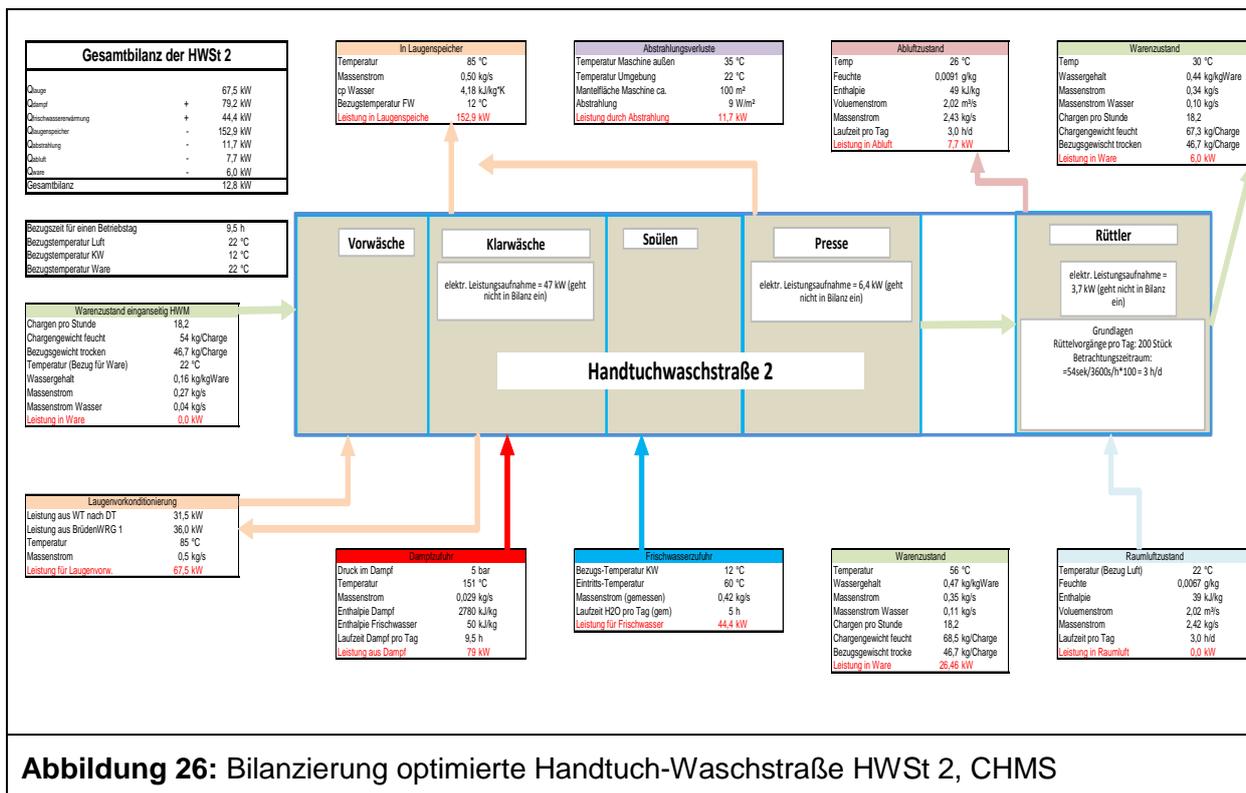


Abbildung 26: Bilanzierung optimierte Handtuch-Waschstraße HWSt 2, CHMS

⇒ Insgesamt werden so durchschnittlich bis zu 1,14 kg/s Wasser und eine durchschnittliche Leistung von bis zu 210 kW an HWSt 1 und bis zu 360 kW an der HWSt 2 eingespart (siehe **Abbildung 26**).

Auch hier muss nochmals darauf aufmerksam gemacht werden, dass die gemessenen Leistungen und Volumenströmungen sehr starken Schwankungen unterliegen und die gemittelten berechneten Werte ebenfalls eine breite Schwankungsbreite aufweisen.

Durch den Tagesgesamtverbrauch belegt, können jedoch die reduzierten Dampfverbräuche für die beiden Handtuchrollenwaschstraßen untermauert werden. Der Dampfverbrauch an der HWSt 1 reduzierte sich durch die Einzelmaßnahmen und die Nutzung der prozessübergreifenden Abwärme aus der Brüde in der HWSt 1 von ca. 0,088 kg/s auf 0,02 kg/s und in der HWSt 2 von 0,148 kg/s auf 0,029 kg/s.

Bezogen auf den Massenstrom „Textilien“ von 0,27 kg Textilien/s

⇒ reduzieren sich der spezifische Energieverbrauch an Dampf von ca. 0,412 auf 0,081 kWh Dampf/kg Textil (Einsparung ca. 80 %) in der HWST 2.

⇒ In der HWSt 1 fällt die spezifische Einsparung mit 77 % in der gleichen Größenordnung aus.

Das Ergebnis des Waschprozesses bleibt davon unberührt und ist von gleich hoher Qualität (siehe **Kapitel 4.3.4**).

Die Verluste aus Abstrahlung und Konvektion in der Umgebung der Handtuchrollenwaschstraße sind erhöht. Dies ist in der Bilanz nicht ausgewiesen, aber auf die zusätzlichen Rohrleitungen zurückzuführen und ein Nebeneffekt der realisierten Einsparmaßnahmen.

▪ **Mattenwaschstraße**

Für den Waschprozess der Matten und Feuchtwischbezüge wurde bereits in der Vergangenheit das warme Abwasser aus der Handtuchwaschstraße eingesetzt. Dadurch konnte keine weitere Maßnahme zur Reduktion des Frischwasserverbrauchs und des Dampfverbrauchs zum Heizen gefunden werden. Eine Reduktion der Waschwassertemperatur ist in der Firma CHMS nicht notwendig, da aus den anderen Wasch- und Trocknungsprozessen mehr Abwärme und Abwasser zur Verfügung steht als im Betrieb benötigt wird.

Eine Absenkung der Temperatur des Waschprozesses von 40 auf 30 °C würde zu einer berechneten Einsparung von 33 % führen. Jedoch würde die Waschwirkung leicht verschlechtert.

Für eine Absenkung der Waschtemperatur von 60 auf 50 °C bei den Feuchtwischbezügen errechnet sich eine Energieeinsparung von ca. 25 %. Diese ist auf die kleinere Leistung zum Aufheizen und die geringeren Verluste aus Abstrahlung und Konvektion zurückzuführen.

4.3.1.3 Reduzierung des Energieverbrauchs beim Trocknen

Auf Basis der erhaltenen Ergebnisse wurde geklärt, in welcher Weise und welchem Umfang einerseits der Energieverbrauch bei Gewährleistung ausreichender Trocknungskapazität ohne negative Textilveränderungen reduziert werden kann (siehe **Kap. 4.1.3.2**). Des Weiteren wurde überprüft, ob und in welchem Umfang der Wärmeinhalt der feuchten und heißen Abluft aus den Trocknungsprozessen für andere Prozesse innerhalb der Wäscherei genutzt werden kann. Da die Energie zum Teil auf einem sehr hohen Temperaturniveau vorliegt, kann diese genutzt werden für

- die Nachheizung der Waschlotten in den Waschprozessen,
- die Vorerwärmung des Frischwassers für die Waschprozesse,
- die Gebäudeheizung und
- die Prozessluftvorerwärmung.

Wichtig ist, dass die Nutzung immer auf dem höchstmöglichen Temperaturniveau stattfinden soll. Bei tieferem Temperaturniveau stellte sich heraus, dass die Energie am effizientesten im Trocknungsprozess selbst zur Vorerwärmung der Zuluft genutzt werden kann.

- **Dampfbeheizte Mangel**

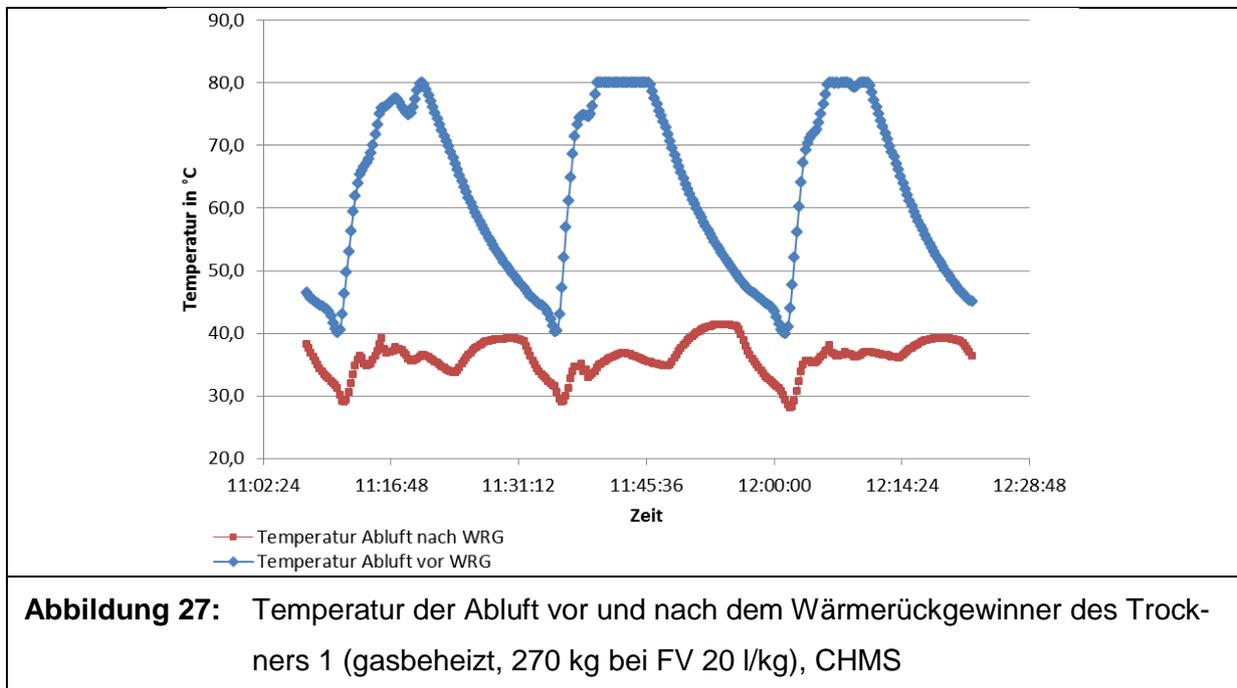
Zur Nutzung der in der Abluft aus den dampfbeheizten Mangeln enthaltenen Energie werden Rohrbündel-Brüdenwärmetauscher eingesetzt. Auf die Nutzung der dabei aus der Abluft gewonnenen Energie und dem Kondensat wurde zum Teil bereits in **Kapitel 4.3.1.2** eingegangen. Die Abluft aus den dampfbeheizten Mangeln 1 und 2 hat eine Temperatur von ca. 100 °C und hat einen Wassergehalt von 150 bis 186 g/kg.

- ⇒ Aus der Abluft der Mangel 1 mit einem Volumenstrom von ca. 1330 m³/h können bei vollständiger Abkühlung im Brüdenwärmetauscher auf 22 °C bis zu 181 kW gewonnen werden,
- ⇒ aus der Abluft der Mangel 2 von ca. 2880 m³/h sind dies ca. 312 kW.

Wichtig ist, dass die Trocknung mit möglichst geringem Luftstrom durchgeführt wird, um den Taupunkt in der Abluft möglichst hoch zu halten. Diese Wärme kann nicht der Mangel selbst zugeführt werden, sondern muss in anderen Prozessen mit niedrigerer Temperatur verwendet werden. Durch die diskontinuierlich ablaufenden Prozesse und Stoffströme und das Fehlen geeigneter Wärmesenken kann nur ein Teil der Wärme genutzt werden. So liegt die Ausnutzung im Sommer, wenn die Gebäudeheizung nicht in Betrieb ist, bei weniger als 50 % des Wärmeinhaltes. Das anfallende Kondensat wird dem Waschprozess der Handtuchmaten zugeführt.

▪ Gasbeheizter Trockner

Um den Energieverbrauch am gasbeheizten Trockner 1 zu reduzieren, wird zwischen der Frischluftansaugung aus der Wäscherei und der Abluft des Trockners ein Plattenwärmetauscher eingebaut. Ziel ist es hierbei, möglichst viel der in der Abluft als Wärme enthaltene Energie der Frischluft zuzuführen. Durch diesen internen Wärmetausch wird die Temperatur der angesaugten Frischluft erhöht und somit weniger Gas benötigt, um die gewünschte Prozesslufttemperatur im Trockner zu erreichen.



Die übertragene Wärme wird zyklisch der Abluft in der Wärmerückgewinnung entzogen, wie dies beispielhaft in der **Abbildung 27** anhand der aufgezeichneten Verläufe für drei Trocknungszyklen für die Ablufttemperatur vor und nach der Wärmerückgewinnung zu erkennen ist.

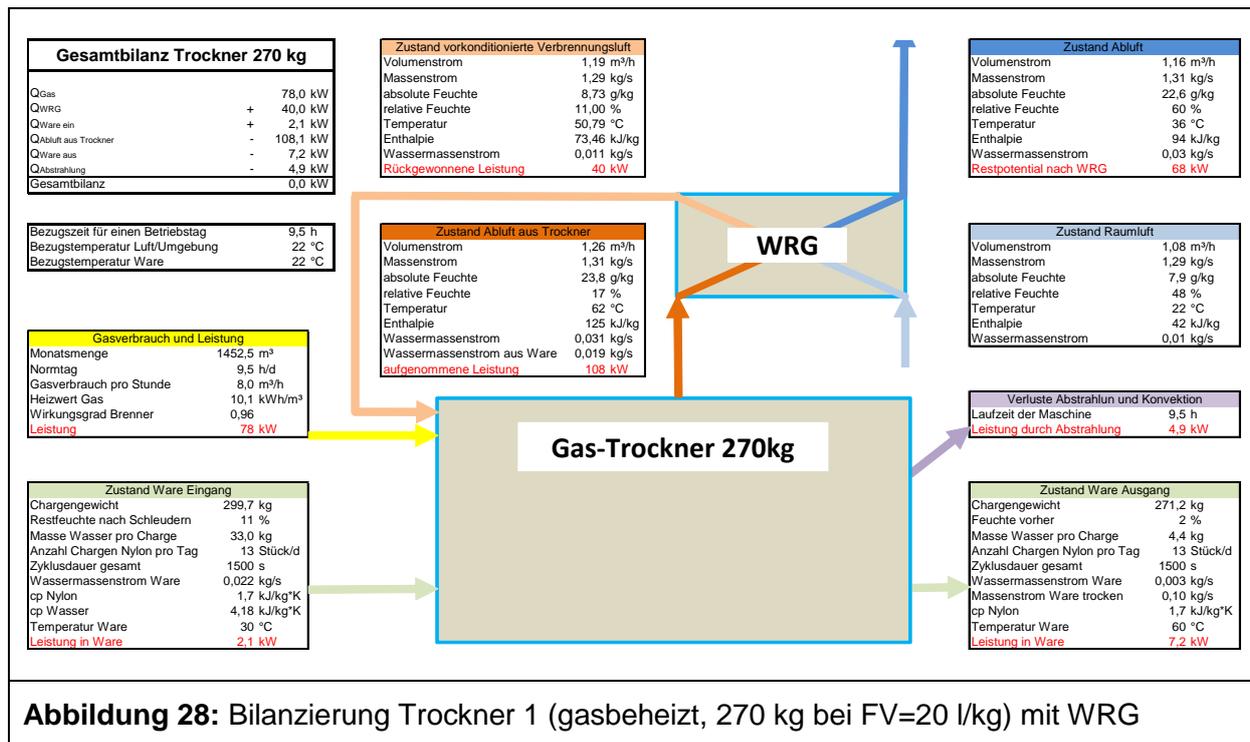
⇒ Wie **Abbildung 28** zeigt, konnte durch den Einsatz des Plattenwärmetauschers eine Einsparung von bis zu ca. 40 kW Heizleistung realisiert werden.

Durch den taktenden Betrieb fällt die Einsparung im Durchschnitt wesentlich geringer aus. Die Temperatur der angesaugten Frischluft aus der Halle (23 °C) kann durch die Maßnahme auf ca. 50 °C angehoben werden. Es errechnet sich für den Aufheizprozess im Trockner eine um 27 Kelvin geringere Temperaturdifferenz.

⇒ Durch den Einbau der Wärmerückgewinnung reduziert sich der durchschnittliche Energieaufwand an Erdgas für den Trocknungsprozess von ca. 0,328 auf 0,217 kWh Erdgas/kg Textilien (Einsparung ca. 33 %).

Das Ergebnis des Trocknungsprozesses bleibt davon unberührt und ist von gleich hoher Qualität (siehe auch **Kapitel 4.3.5**). Nach dem Wärmetauscher hat die Luft eine Temperatur von ca. 36 °C. Für diese Temperatur stehen derzeit keine weiteren Wärmesenken zur Verfü-

gung. Eine Steigerung der übertragenen Wärmeleistung und damit eine höhere Effizienz kann erreicht werden, indem anstatt Hallenluft Außenluft angesaugt wird.



4.3.1.4 Wasserverbrauchsreduzierung durch Elektrolyse- und Filtrationsbehandlung

▪ Anlagenbeschreibung

Aufbau und Funktion der Anlage zur Elektrolyse- und Filtrationsbehandlung, bestehend aus einer Kombination von Elektrolyse, Flotation und unterschiedlichen Filtertechniken zur Behandlung des Abwassers ist in **Abbildung 29** dargestellt.

Die Anlage wurde vom Hersteller so konzipiert, dass die Qualität des Filtrats als Waschwasser für Schmutzfängmatten und Handtuchrollen eingesetzt werden kann. Das Abwasser aus der Wäscherei (links im Bild) wird zunächst über einen Vorfilter (Beutelfilter, Feinheit 50 bzw. 25 µm) vom Grobschmutz befreit wird (in Abbildung nicht dargestellt). Danach gelangt das Abwasser mittels Pumpe in Dekanter 1, wo kleinste Schmutzpartikel sedimentieren. Unter Zugabe eines Flockungsmittels (zum Zeitpunkt der Untersuchungen: Novofloc 48, Hersteller C.H. Erbslöh) werden hier außerdem Schwebstoffe ausgeflockt, die die nachgeschaltete Elektrolyse entlasten. Die am Boden abgesetzten Partikel und ausgeflockte Substanzen werden aus dem Tank abgepumpt, wobei das Gemisch aus Wasser und abgesetzter Stoffe über eine Kammerfilterpresse entwässert wird. Das Wasser aus der Filterpresse wird anschließend wieder in Dekanter 1 geleitet, während die abgetrennten Feststoffe mit hohem biologischem Anteil entsorgt werden. Das Wasser aus dem Überlauf des ersten Dekanters

wird zu einer Elektrolyseeinheit gepumpt, wo restliche im Wasser gelöste Komponenten ausflocken und anschließend in einem zweiten Dekanter nochmals sedimentieren können.

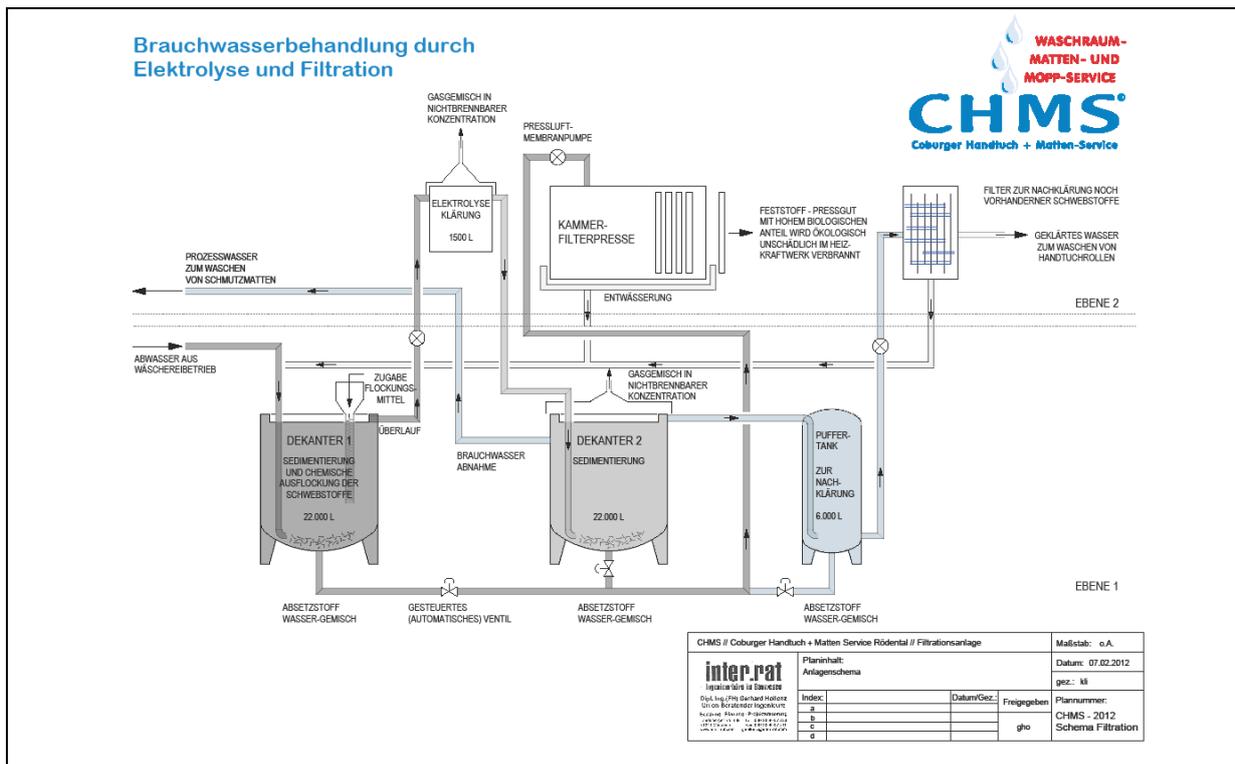


Abbildung 29: Anlagenschema der Abwasseraufbereitungsanlage ohne Flotationsvorrichtung in Dekanter 1 und 2, CHMS

Bei der Elektrolyseklärung wird nach Herstellerangaben ein geringer Anteil des Wassers in atomaren Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt. Der atomare Sauerstoff oxidiert die oxidierbaren Substanzen im zu reinigenden Wasser, der entstehende Wasserstoff wirkt als Reduktionsmittel. Vorher gelöste Wasserinhaltsstoffe treten in Wechselwirkung miteinander und bilden wiederum wasserunlösliche Flocken [8]. Wie in Dekanter 1, sedimentieren auch in Dekanter 2 größere, noch im Abwasser vorhandene Partikel. Außerdem setzen sich in Dekanter 2 die bei der Elektrolyse entstandenen Flocken und werden anschließend ebenfalls über Pumpe zur Kammerfilterpresse geleitet und entwässert. Die Qualität des Wassers ist im oberen Bereich des zweiten Dekantierbeckens bereits ausreichend hoch, um es als Prozesswasser zum Waschen von Schmutzfangmatten einzusetzen. Bei der weiteren Aufbereitung wird das Wasser zunächst über den Überlauf des zweiten Dekantiertanks in einen kleineren Puffertank gepumpt und anschließend durch den Beutelfilter gepresst.

- **Wasserverbräuche**

Das durch die Elektrolyse und Filtrationsbehandlung mögliche Einsparpotenzial für die Firma CHMS konnte innerhalb der Projektlaufzeit nicht ermittelt werden, da die Anlage auf Grund von Verzögerungen bei den Installationsarbeiten nicht in Betrieb genommen werden konnte.

- **Speicherung von Energie (Wärme)**

Die großen gespeicherten Wassermengen der Wasseraufbereitung durch Elektrolyse bieten auch die Möglichkeit, Wärme zu puffern und somit Phasenversetzungen von abzuführender und zuzuführender Wärme zu überbrücken. Diese Möglichkeit kann erst nach der Inbetriebnahme geprüft werden.

- **Kosten der Wasseraufbereitung**

Da die Anlage zur Elektrolyse und Filtrationsbehandlung während der Projektlaufzeit nicht in Betrieb gegangen ist, konnten die spezifischen Kosten der Anlage, der elektrische Stromverbrauch und die Kosten für die eingesetzten Betriebsmittel nicht erfasst werden.

In der geplanten Projektphase 2 können nach der Inbetriebnahme der Anlage bis zum Ende des Forschungsvorhabens die spezifischen Kosten für Betrieb, Wartungs- und Reparaturkosten, bezogen auf 1 m³ Abwasser, ermittelt bzw. abgeschätzt werden.

4.3.2 Einsparungspotenziale bei Behandlung einzelner Wäschearten

Durch die ganzheitliche Betrachtung der Prozesse in der Firma CHMS und die Verknüpfung der unterschiedlichen Prozesse zur Dampferzeugung, zum Waschen und zum Trocknen miteinander können für die einzelnen Prozesse die im Folgenden angegebenen Einsparungen an Wasser und Energie angegeben werden.

4.3.2.1 Handtuchrollen

Bezogen auf den Massenstrom „Textilien“ von 0,27 kg Textilien/s bzw. 975 kg/h in der HWSt 2 (0,162 kg Textilien/s bzw. 58,3 kg/h in HWSt 1) reduziert sich der *spezifische Energieverbrauch für das Waschen* an Dampf

⇒ von ca. 0,413 auf 0,081 kWh Dampf/kg Textil.

Das entspricht einer Einsparung ca. 77 bis 80 % bei der Bearbeitung der Handtuchrollen in der HWSt 2. In der HWSt 1 fällt die spezifische Einsparung mit 77 % in der gleichen Größenordnung aus. Im Trocknungsprozess in der dampfbeheizten Mangel konnten keine weiteren Einsparungen realisiert werden.

Der *Energieverbrauch für den Gesamtprozess Waschen und Trocknen* reduzierte sich an den beiden Anlagen im Mittel

⇒ von 0,911 kWh auf 0,585 kWh Dampf/kg/ Textil,

was einer Einsparung von ca. 35 % entspricht. Das Ergebnis des Waschprozesses bleibt davon unberührt und ist von gleich hoher Qualität (siehe auch **Kapitel 4.3.4**).

Die zusätzlichen Einsparungen an Dampf bzw. Wärme werden durch die Nutzung der Abwärme aus der Mangelabluft im Brüdenwärmetauscher erzielt.

Die Einsparung an Wasser resultiert aus der Verwendung des Spülwassers zur Vorwäsche, des Presswassers zum Spülen und der Nutzung des Kondensats der Mangelabluft aus dem Brüdenwärmetauscher.

Für den Mangelprozess selbst konnten keine Einsparungen realisiert werden. Die aus der Mangelabluft im Brüdenwärmetauscher gewonnene Wärme und das Kondensat werden in anderen Prozessen genutzt. Insgesamt stellt dies eine Wärmeleistung von ca. 181 bis 312 kW bei einem Temperaturniveau von 100 °C bis 22 °C dar.

4.3.2.2 Schmutzfangmatten und Feuchtwischbezüge

Momentan wird für den Waschprozess der Schmutzfangmatten und Feuchtwischbezüge kein Frischwasser eingesetzt. Diese Einsparmaßnahme war bereits bei der IST-Analyse realisiert und wird durch die Koppelung des Matten- und Feuchtwischbezug-Waschprozesses mit dem Handtuchwaschprozess gewährleistet. Das Abwasser aus dem Handtuchrollen-Waschprozess wird mit einer Temperatur von 60 bis 70 °C aus der Klar- und Vorwaschzone dieses Prozesses abgeführt und über die Medienbrücke in die Halle 1 gefördert. Dadurch reduziert sich die Beheizung mit Dampf auf ca. 0,025 kWh Dampf/kg Textilien.

Eine Absenkung der Temperatur des *Waschprozesses für Matten* von 40 auf 30 °C würde zu einer berechneten Einsparung von ca. 33 % führen. Jedoch würde die Waschwirkung verschlechtert (siehe **Kapitel 4.3.4.1**). Ein weiteres Argument gegen die Temperaturabsenkung ist die Ausnutzung des Wärmeinhaltes des Abwassers des Handtuchrollen-Waschprozesses für weitere Prozesse, die bei einer Temperaturabsenkung verringert werden würde.

Bei den *Feuchtwischbezügen* würde die Absenkung der Waschtemperatur von 60 °C auf 50 °C zu einer Einsparung von etwa 25 % führen. Die Waschwirkung würde allerdings durch die Temperaturreduzierung geringfügig reduziert (siehe **Kapitel 4.3.4.1**), sodass zur Vermeidung von Wäschequalitätsreklamationen auf die Temperaturreduzierung verzichtet wurde. Analog zum Mattenwaschprozess würde zusätzlich der Wärmeinhalt des Abwassers reduziert, was verminderte Nutzung für andere Prozesse einschränken würde.

Durch den Einbau der Wärmerückgewinnung reduziert sich der durchschnittliche Energieaufwand an Erdgas für den *Trocknungsprozess der Matten und Feuchtwischbezüge*

⇒ von ca. 0,328 auf 0,217 kWh Erdgas/kg Textilien (Einsparung ca. 33 %).

Die Betriebszustände können durch eine bessere Regelung der Klappensteuerung und ggf. eine Speicherung der Wärme, um Phasenverschiebungen auszugleichen, sowie eine Ansaugung von Außenluft noch optimiert werden.

Das Trocknungsergebnis des Gesamtprozesses bleibt davon jedoch unberührt und ist von gleich hoher Qualität (siehe auch **Kapitel 4.3.5**).

Der *Energieverbrauch des Gesamtprozesses für Matten und Feuchtwischbezüge* reduzierte sich von

⇒ 0,353 kWh Erdgas/kg Textil auf 0,243 kWh Erdgas/kg Textil (Einsparung ca. 31 %).

4.3.3 Einsparungspotenziale Gesamtwäscherei

Nach Umbau und Implementierung der realisierten Technologien wurden nochmals vergleichende Untersuchungen durchgeführt, um Effekte von verringertem Rohstoffeinsatz bei besserer oder mindestens gleichbleibender Waschwirkung und mindestens unveränderten sekundären Wascheffekten zu ermitteln. Damit sich die realisierten Systeme auf die veränderten Bedingungen einstellen konnten, wurde vor den eigentlichen Untersuchungen ein Probetrieb von zwei Wochen durchgeführt. Für die Firma CHMS können für die Hallen 1 und 2 die folgenden Ergebnisse für den Wasser- und Energieverbrauch dargestellt werden. Durch die ganzheitliche prozessübergreifende Vernetzung der Anlagen wird in dem Betrieb CHMS eine maximale Einsparung an Energie und Ressourcen erzielt. Da die Prozesse diskontinuierlich ablaufen stellen die Wasser- und Energieflüsse nur gemittelte Werte dar.

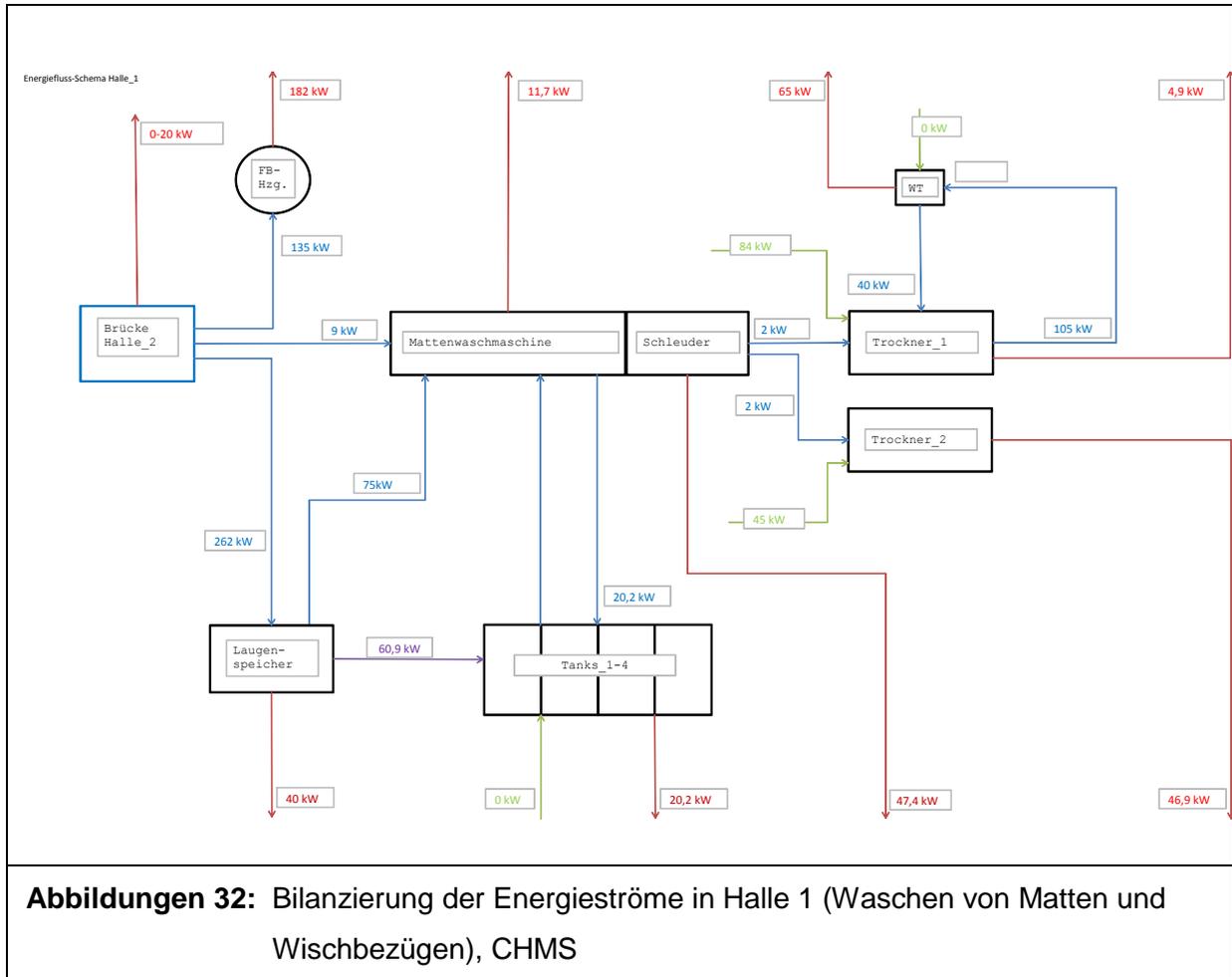
4.3.3.1 Wasser

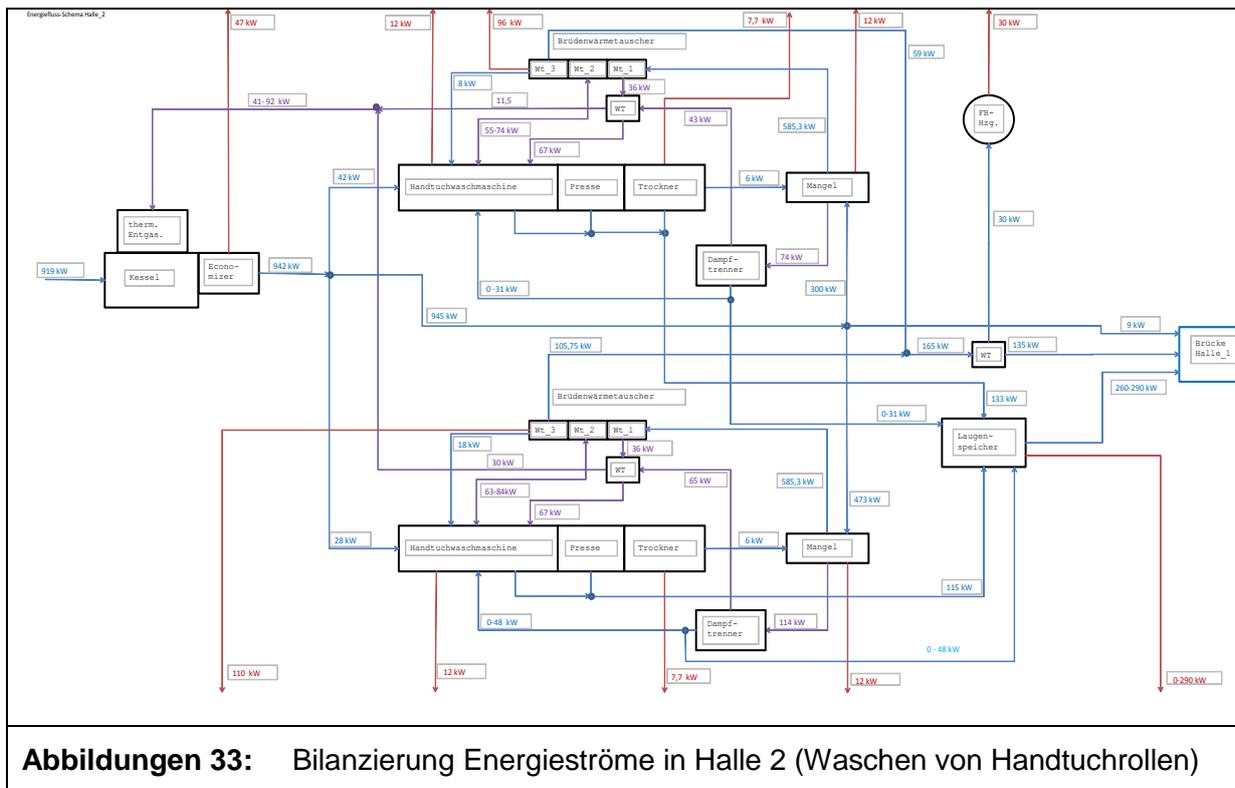
Die **Abbildungen 30** und **31** zeigen den Betriebsmittelstrom Wasser in den Hallen 1 und 2 in der Firma CHMS. Das Wasser, das als Trinkwasser und Regenwasser in den Betrieb eingespeist wird, wird entsprechend der Temperatur und der Wasserqualität mehrfach in den unterschiedlichen Prozessen verwendet, bis es stark belastet ins öffentliche Abwassernetz abgeführt wird.

Der spezifische Frischwasserverbrauch aus Stadtwasser und Regenwasser betrug im Monat Mai bezogen auf eine Tonne Textilien 1,74 m³/t. Davon waren 77 m³ Regenwasser. Das Regenwasser wird vorrangig verbraucht und ist von der Niederschlagsmenge abhängig. Der monatliche Regenwasserverbrauch schwankt von ca. 10 bis 100 m³.

4.3.3.2 Wärmeenergie

Abbildungen 32 und 33 zeigen den Energiefluss in Form von Wärme in Halle 1 und 2 der Firma CHMS soweit er an die Dampf und Wasserströme gekoppelt ist. Auch in diesen Abbildungen stellen die angegebenen Werte wegen der diskontinuierlichen Prozessabläufe gerundete Angaben dar.





Abbildungen 33: Bilanzierung Energieströme in Halle 2 (Waschen von Handtuchrollen)

Durch die energetische Optimierung der Prozesse durch Einzelmaßnahmen und prozessübergreifende Maßnahmen betrug der spezifische Wärmeverbrauch in m^3 Erdgas bezogen auf eine Tonne Textilien im Mai 2012 ca. $50,1 \text{ m}^3/\text{t}$.

4.3.3.3 Dampf

Die in der Firma CHMS realisierten Einsparungen an Dampf von im Mittel $0,187 \text{ kg/s}$ durch die Reduktion der Dampfproduktion von $0,530 \text{ kg/s}$ auf $0,343 \text{ kg/s}$ resultieren aus dem Einsatz von zwei Brudenwärmetauschern in der Abluft der Mangeln 1 und 2. Die in den Brudenwärmetauschern rückgewonnene Abwärme wird zur Beheizung der Waschstraßen für Handtuchrollen HWSt 1 und 2 eingesetzt, wodurch sich deren Dampfverbrauch um 77 bis 80 % reduziert.

Wie bereits in **Kapitel 4.3.1.2** erwähnt, kann durch einen Brudenwärmetauscher Energie aus der Mangelabluft zurückgewonnen werden. Es wurde ein entsprechender Wärmetauscher konzipiert, der bei beiden Mangeln jeweils in der Abluftleitung installiert wurde. Beide Brudenwärmetauscher sind baugleich. Mittels Gegenstromprinzip wird über drei Stufen der heißen Luft (ca. $100 \text{ }^\circ\text{C}$, ca. 17 bis 19% rel. Feuchte) Wärme entzogen und diese Energie unterschiedlichen Wassermassenströmen für die Waschprozesse bzw. der Gebäudeheizung zugeführt.

Abbildung 34 zeigt eine Skizze zur Verdeutlichung der Funktion des Brudenwärmetauschers.

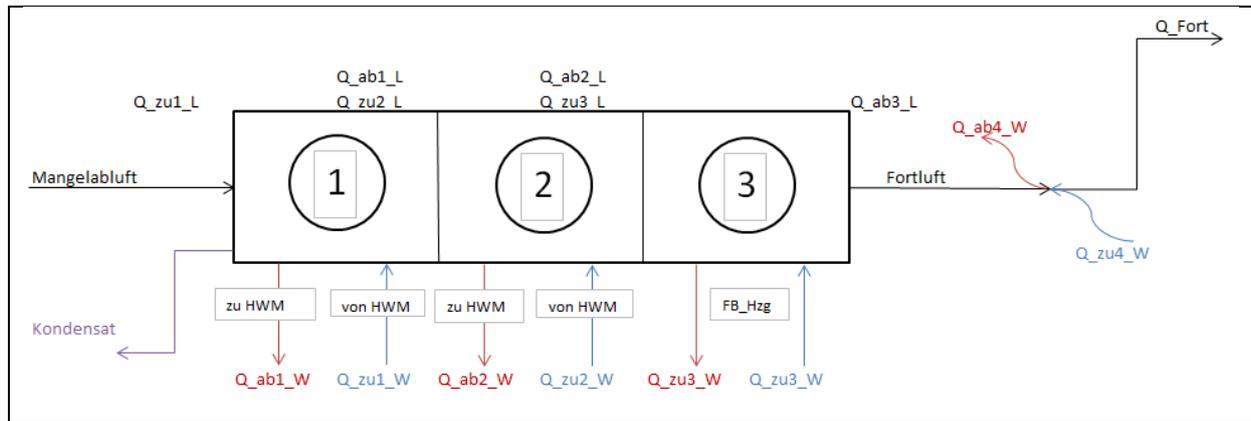


Abbildung 34: Funktionsskizze Brüdenwärmetauscher

Die Abluft aus den dampfbeheizten Mangeln 1 und 2 hat eine Temperatur von ca. 100 °C und einen Wassergehalt von 150 bis 186 g/kg. Aus der Abluft der Mangel 1 mit einem Volumenstrom von ca. 1.330 m³/h können bei vollständiger Abkühlung im Brüdenwärmetauscher auf 22 °C bis zu 181 kW gewonnen werden. Aus der Abluft der Mangel 2 von ca. 2.880 m³/h sind dies ca. 312 kW. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass möglichst wenig Luft zum Trocknen verwendet wird, um den Taupunkt in der Abluft möglichst hoch zu halten. Dadurch kann die Kondensationswärme bei möglichst hohen Temperaturen im Wärmetauscher entzogen werden.

Abbildung 38 zeigt den Brüdenwärmetauscher 2 in einem gemittelten aus den Messungen abgeleiteten Betriebszustand. In Stufe 1 wird die Mangelabluft oder auch Brüde um ca. 32 K auf ca. 68 °C abgekühlt. Dadurch wird die Laugen(flotten)vormischung auf ca. 74,8 K erwärmt. Das entspricht in diesem Betriebsfall ca. 25 kW, die aus der Brüde abgeführt und der Handtuchrollenwaschstraße zugeführt werden. Die Stufe 1 des Brüdenwärmetauschers zeigt wegen des konstanten Flottenmassenstroms eine gleichmäßige Auslastung (siehe **Abbildung 35**).

Nach Stufe 2 hat die Luft im Vollastbetrieb in dem gemessenen Betriebszustand noch eine Temperatur von ca. 55,7 °C. Die Energie wird dem Frischwasser zugeführt, das überwiegend der Speisung der Handtuchrollenwaschstraße dient. In Stufe 2 des Brüdenwärmetauschers können im Betrieb maximal bis zu 179 kW Heizleistung auf einem Temperaturniveau von ca. 65 bis 41 °C genutzt werden. Wie **Abbildung 36** zu entnehmen ist, ist die Stufe 2 nur sehr ungleichmäßig ausgelastet, weshalb ein großer Teil der Energie in der Brüde nur unzureichend genutzt wird. Dies ist auf die getaktete Frischwassernachspeisung in der Handtuchrollenwaschstraße zurückzuführen. Die Auslastung der Stufe 2 des Brüdenwärmetauschers kann durch eine Zwischenspeicherung noch optimiert werden.

Für die Fußbodenheizung des Gebäudes werden der Abluft in der Stufe 3 nochmals bis zu maximal 106 kW entzogen. Die Temperatur sinkt dadurch im Vollastfall auf bis zu ca. 31 °C ab. Die **Abbildung 37** zeigt anhand der Eintritts- und Austrittstemperaturen, dass auch nach

Stufe 3 des Brüdenwärmetauschers keine gleichmäßige Auslastung vorliegt. Dadurch geht ein erhebliches Einsparpotenzial von bis zu 100 kW ungenutzt an die Umgebung verloren. Im Sommerbetrieb, wenn keine Heizung für das Gebäude benötigt wird, kann die 3. Stufe des Brüdenwärmetauschers nicht genutzt werden.

Das in Stufe 2 und Stufe 3 anfallende Kondensat von ca. 0,08 kg/s wird ebenfalls in der Handtuchrollenwaschstraße genutzt.

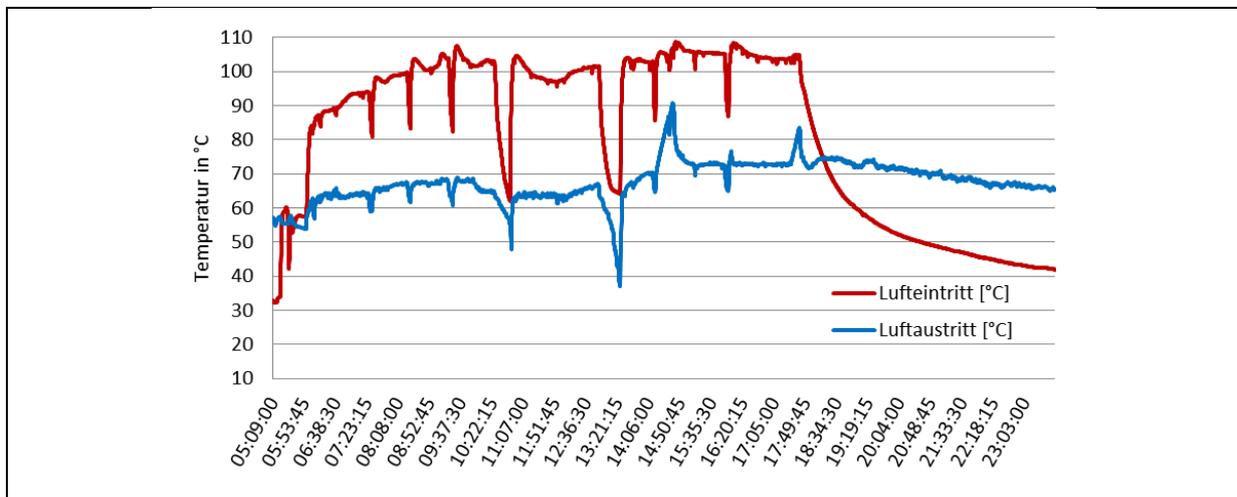


Abbildung 35: Eintritts- und Austrittstemperaturen der Abluft an Stufe 1 des Brüdenwärmetauschers, CHMS

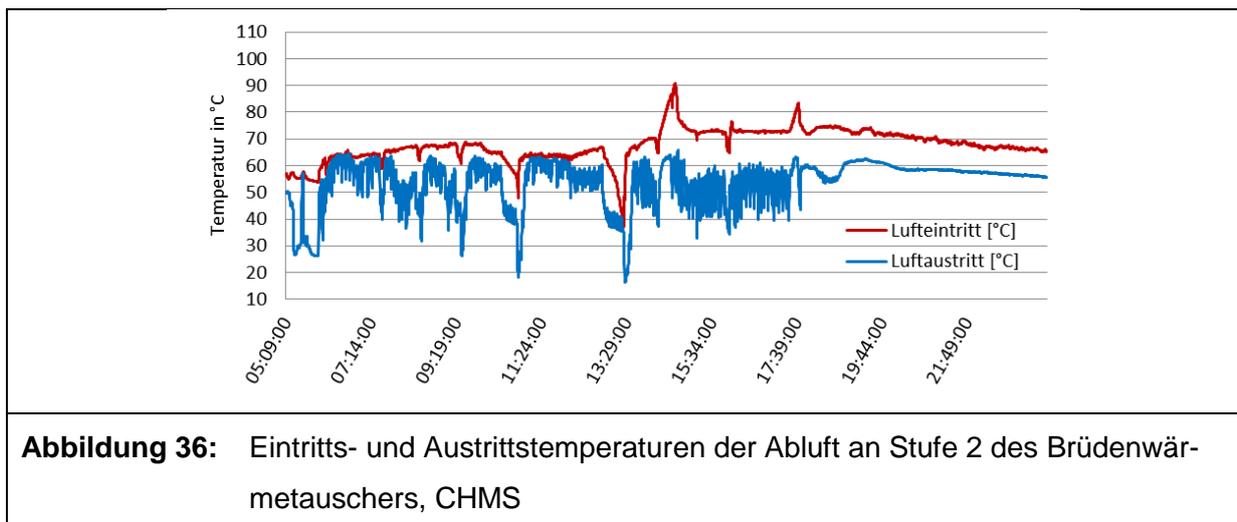


Abbildung 36: Eintritts- und Austrittstemperaturen der Abluft an Stufe 2 des Brüdenwärmetauschers, CHMS

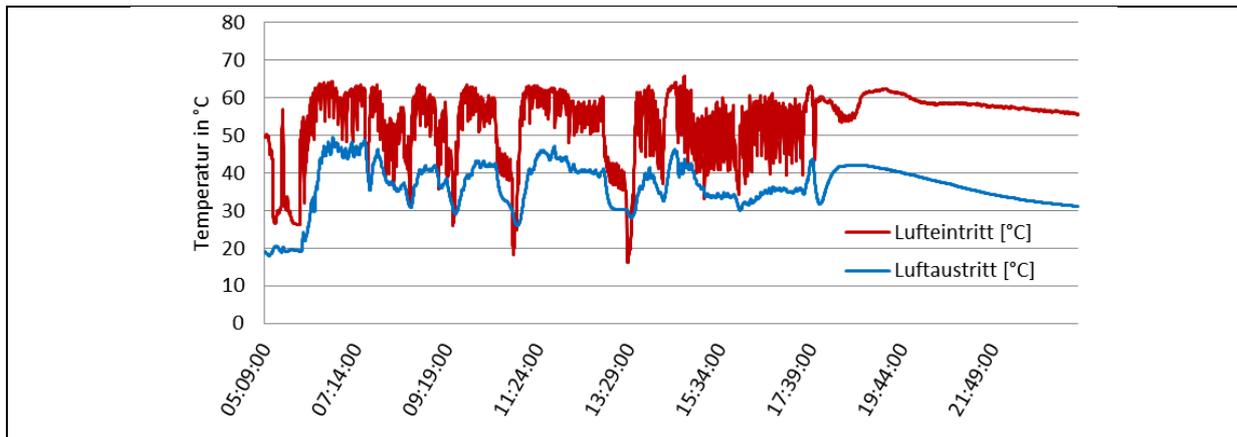


Abbildung 37: Eintritts und Austrittstemperaturen der Abluft an Stufe 3 des Brüdenwärmetauschers

Der Vorgang am Brüdenwärmetauscher ist in der **Abbildung 38** für gemittelte Leistungen dargestellt. Durch den Einsatz des Brüdenwärmetauschers kann die Abluft des Mangelprozesses um ca. 69 K abgekühlt und entfeuchtet werden. Die dabei gewonnene Energie spart insbesondere Dampf ein, der ansonsten zur Erhitzung des Frischwassers und der Flotte benötigt würde. Es werden so an den beiden Handtuchwaschstraßen zusammen ca. 0,187 kg/s Dampf eingespart, was einer spezifischen Reduktion der Energie aus Dampf von 0,325 kWh Dampf/kg Handtuchrollen entspricht.

Im weiteren Verlauf wird die nicht isolierte Abluftleitung durch die Halle geführt, wodurch ca. 3 K zur Beheizung an die Hallenluft abgegeben werden. Dies entspricht einer Heizleistung von ca. 16 kW für den Raum, die auch von der Raumtemperatur abhängig ist.

Mit ca. 37°C und 100 % rel. Feuchte wird die Abluft an die Umgebung abgegeben. Diese Energie könnte zusätzlich noch genutzt werden, wenn entsprechende Prozesse mit niedrigem Temperaturniveau vorliegen würden. Die Abkühlung auf das Hallentemperaturniveau von 22 °C beinhaltet nochmals eine nutzbare Leistung von ca. 51 kW. Der Betrieb der Brüdenwärmetauscher ist im Betrieb von starken Schwankungen gekennzeichnet. Dies ist auf den getakteten diskontinuierlichen Betrieb der Prozesse zurückzuführen. Eine vollständige Nutzung der in der Brüde enthaltenen Energie ist wegen fehlender Wärmesenken nicht möglich.

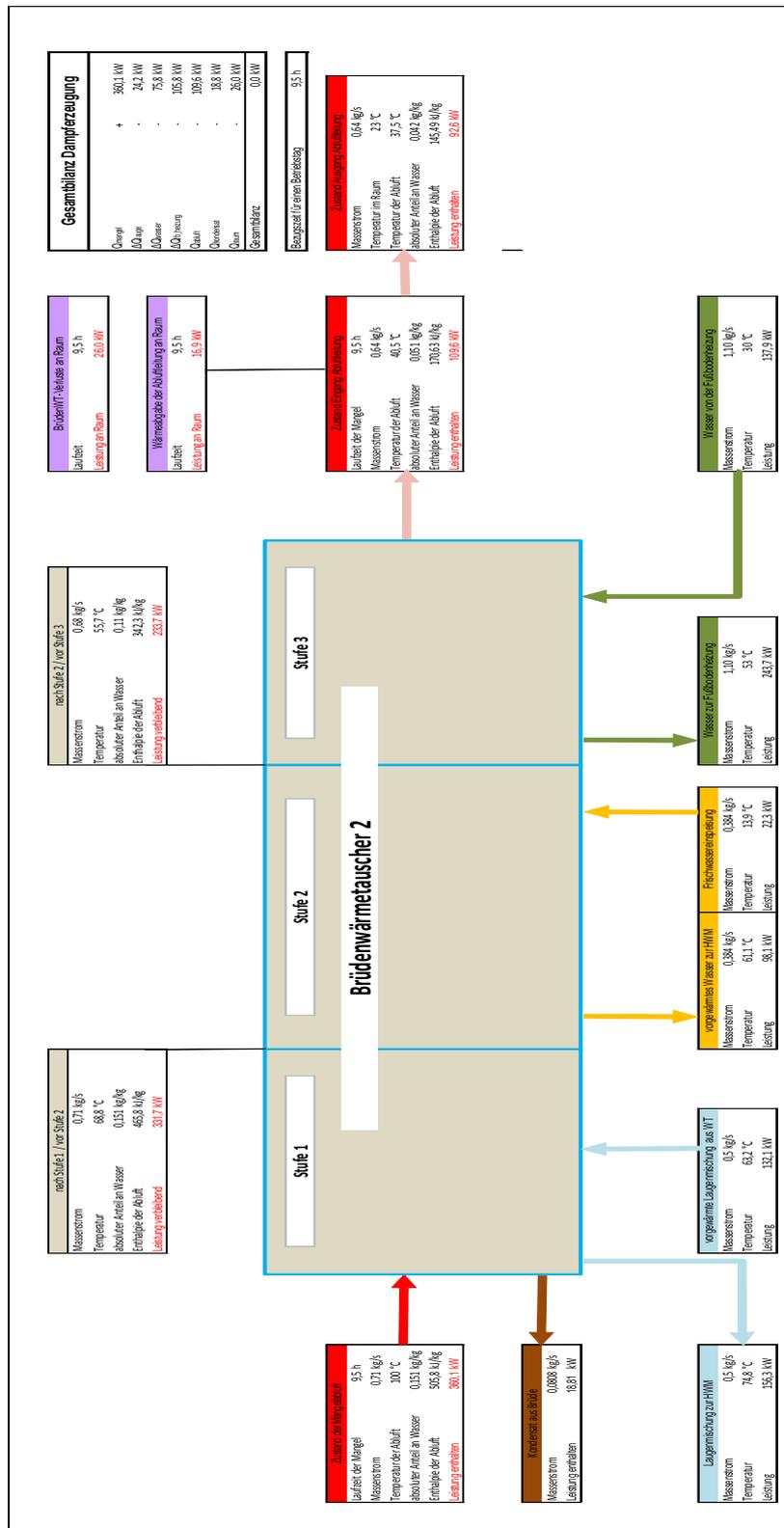


Abbildung 38: Bilanzierung des Brüdenwärmetauschers 2, CHMS

4.3.3.4 Druckluft

Im Bereich der Druckluft wurden im Betrieb CHMS keine Optimierungsmaßnahmen durchgeführt. Dennoch werden nachfolgend mögliche Einsparpotentiale durch Optimierung des Druckluftsystems aufgeführt.

- In regelmäßigen Zeitintervallen sollte ein Teil der Maschinenteknik ersetzt werden, da das Einsparpotential im vorliegenden Fall etwa 4.700 kWh/a beträgt.
- Schadhafte Druckluftleitungen sollten repariert/ausgetauscht werden, um Leckluftströme und damit Energieverluste zu vermeiden.

In Abhängigkeit von der Lochgröße können Leckagen zu nennenswerten Kosten führen. **Abbildung 39** zeigt die Verluste in Abhängigkeit vom Lochdurchmesser. Diese Tatsache macht somit die Leck-Suche ebenfalls zu einem bedeutsamen Einsparpotential.

Lochdurchmesser entsprechende Größe	Luftverbrauch bei 6 bar (ü) m ³ /min	Verlust	
		kW	€*)
● 1 mm	0,065	0,47	412.-
● 2 mm	0,257	1,85	1.620.-
● 4 mm	1,03	7,42	6.500.-
● 6 mm	2,31	16,66	14.594.-

Tabelle 5-1: Leckverluste

* Strompreis: 0,10 €/kWh
Betriebszeit: 8.760 Bh/Jahr

Abbildung 39: Leckluft- und Energieverluste in Druckluftleitungen (Angaben Firma Kaeser)

Weiteres Einsparpotenzial beinhaltet die Abwärmenutzung bei der Druckluftherzeugung. Da in der Firma CHMS ein Überangebot an Niedertemperaturabwärme vorhanden ist, bleibt dieses Potenzial bislang ungenutzt.

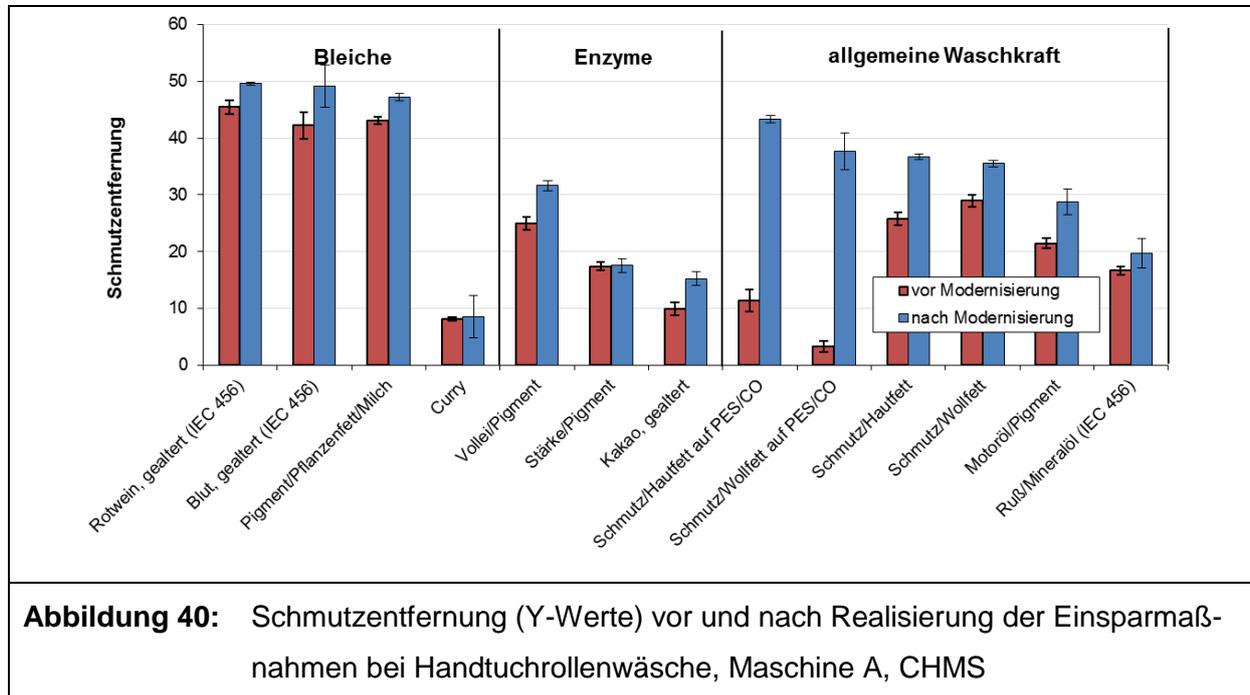
4.3.4 Wascheffekte

Nach Realisierung der vorgeschlagenen Transfermaßnahmen, Optimierung der Flottenführung bzw. -recycling sowie Installation der Wärmetauscher an Trockner (Luft/Luft-Wärmetauscher) und Mangel (3-stufiger Brüdenwärmetauscher) wurden analog zur IST-Analyse die Primär- und Sekundärwascheffekte bestimmt.

4.3.4.1 Schmutzentfernung

⇒ **Ergebnisse während laufender Produktion in der Wäscherei**

Abbildung 40 zeigt die ermittelte Schmutzentfernung (Y-Werte) bei der Behandlung von Handtuchrollen vor und nach den Transfermaßnahmen in der Wäscherei CHMS.



Danach zeigt die Schmutzentfernung im Vergleich zum Waschprozess vor der Transfermaßnahme mindestens gleiches Reinigungsniveau, wobei insbesondere die auf allgemeine Waschkraft reagierenden Anschmutzungen deutlich besser entfernt werden. Ursache ist einerseits der zwischenzeitlich optimierte Waschchemikalieneinsatz und die geänderte Flottenführung. Außerdem wird das Abwasser aus der ersten Spülkammer (Gegenstrom mit sehr hoher Waschmittelkonzentration) zu einem großen Anteil als Einschwemmwasser in Kammer 1 verwendet, was die Schmutzentfernung begünstigt.

Abbildung 41 zeigt die Schmutzentfernung (Y-Werte) beim Waschen von Schmutzfangmatten.

Nach den Ergebnissen in **Abbildung 41** treten insgesamt bewertet bei den bleichbaren und den enzymatisch entfernbaren Verschmutzungen keine signifikante Änderungen der Schmutzentfernung durch die durchgeführten Transfermaßnahmen auf. Die Verfleckungen, die auf die allgemeine Waschkraft reagieren, liegen nach Realisierung der Transfermaßnahmen bei insgesamt niedrigen Reinigungsniveau geringfügig niedriger als vorher. Dies ist in der stark schwankenden Verschmutzungsintensität bzw. Schmutzfracht der Matten unter den hier vorliegenden Praxisbedingungen begründet, was bei gleichbleibender Waschmitteldosierung zu derartigen Schwankungen der Schmutzentfernung führen kann. Die etwas ver-

ringerte Schmutzentfernung ist auf den farbigen Matten visuell mit unbewaffnetem Auge nicht erkennbar, so dass der Anwender die Waschqualität akzeptiert.

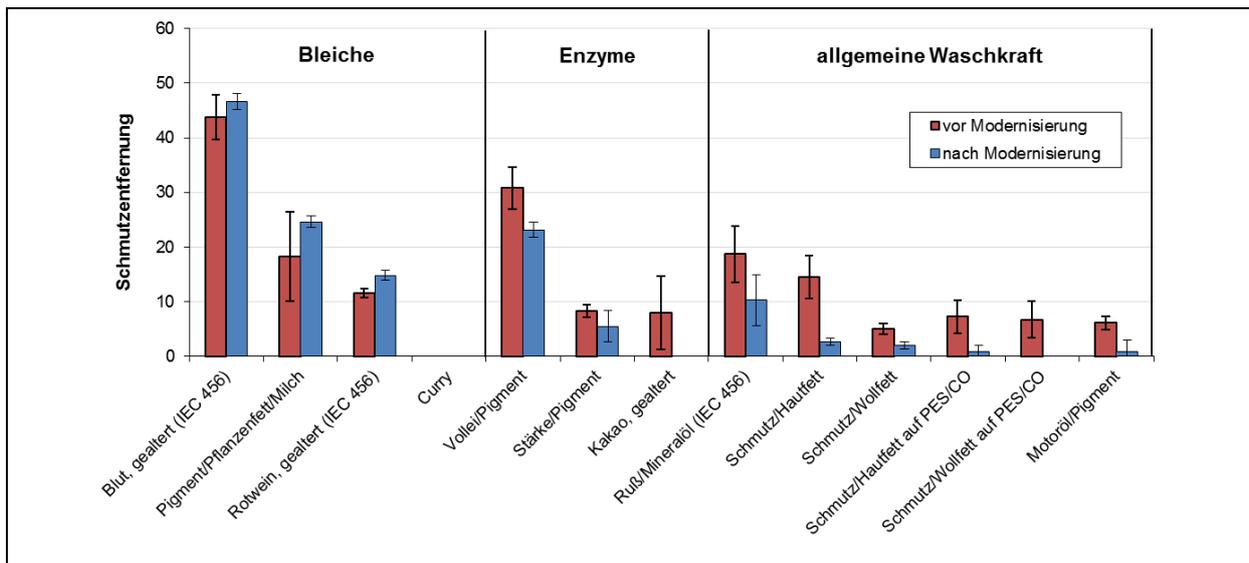


Abbildung 41: Schmutzentfernung (Y-Werte) vor und nach Realisierung der Einsparmaßnahmen bei Schmutzfangmatten, Maschine B, CHMS

Abbildung 42 zeigt die Schmutzentfernung beim Waschen von Wischbezügen vor und nach Realisierung der Transfermaßnahmen bei CHMS. Danach wird nach Realisierung der Transfermaßnahmen etwa gleiches Niveau der Schmutzentfernung erreicht.

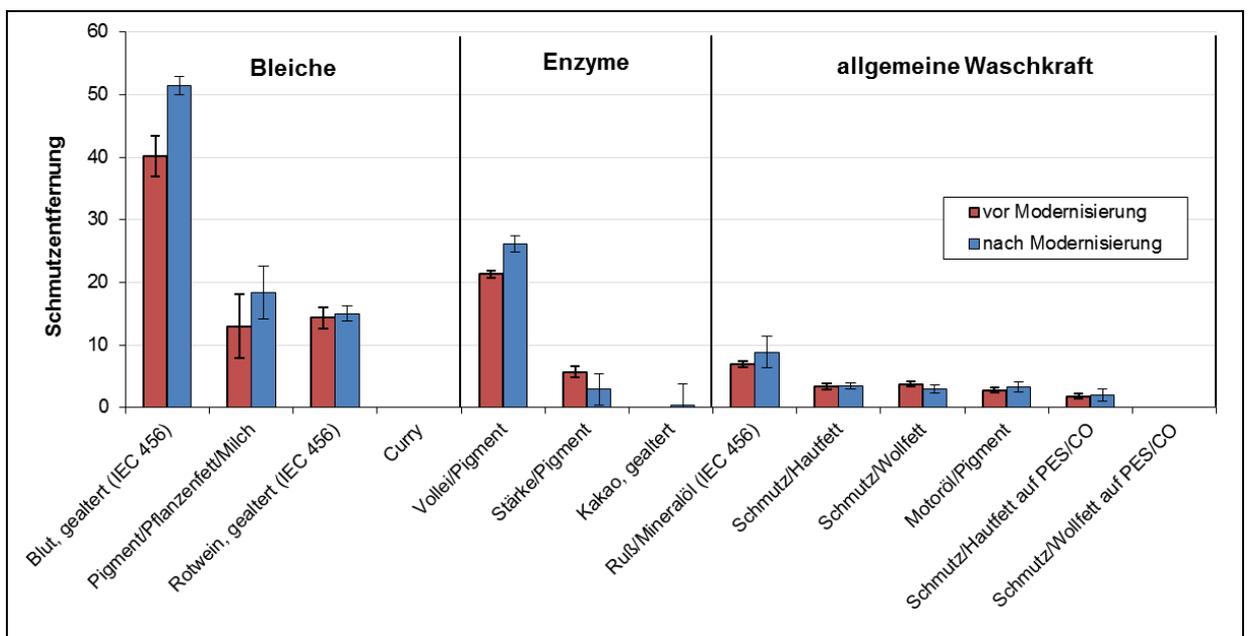


Abbildung 42: Schmutzentfernung (Y-Werte) vor und nach Realisierung der Einsparmaßnahmen bei Wischbezügen, Maschine B, CHMS

⇒ **Ergebnisse im wfk-Technikum**

Wie in **Kapitel 3.2.3.1** angeführt, wurden Untersuchungen zur Absenkung der Flottentemperatur im wfk-Technikum unter Waschbedingungen (Programmablauf, Waschmitteleinsatz) wie bei CHMS durchgeführt. Die **Abbildungen 43 bis 45** zeigen die erzielten Ergebnisse der Schmutzentfernung.

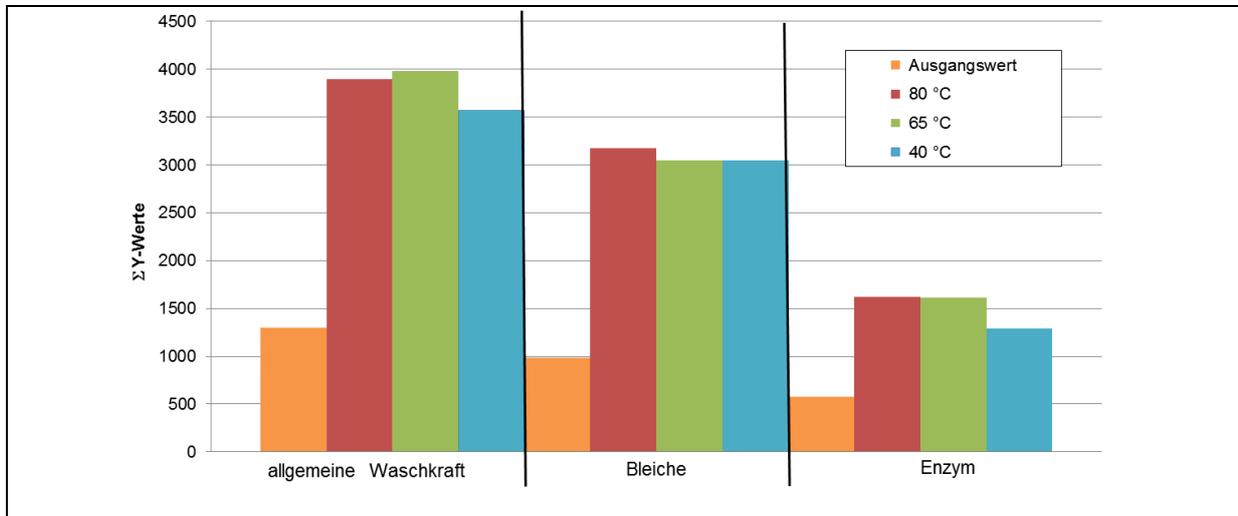


Abbildung 43: Schmutzentfernung (ΣY -Werte aller Anschmutzungen) bei Variation der Flottentemperatur beim Waschen von Handtuchrollen

Nach den Ergebnissen der **Abbildung 43** kann beim Waschen von Handtuchrollen die Waschtemperatur ohne Beeinträchtigung der Schmutzentfernung auf 65 °C reduziert werden. Eine Reduktion auf 40 °C führt jedoch zu leicht verringerter Schmutzentfernung insbesondere bei auf die allgemeine Waschkraft reagierenden Verschmutzungen und bei den Enzymverfleckungen.

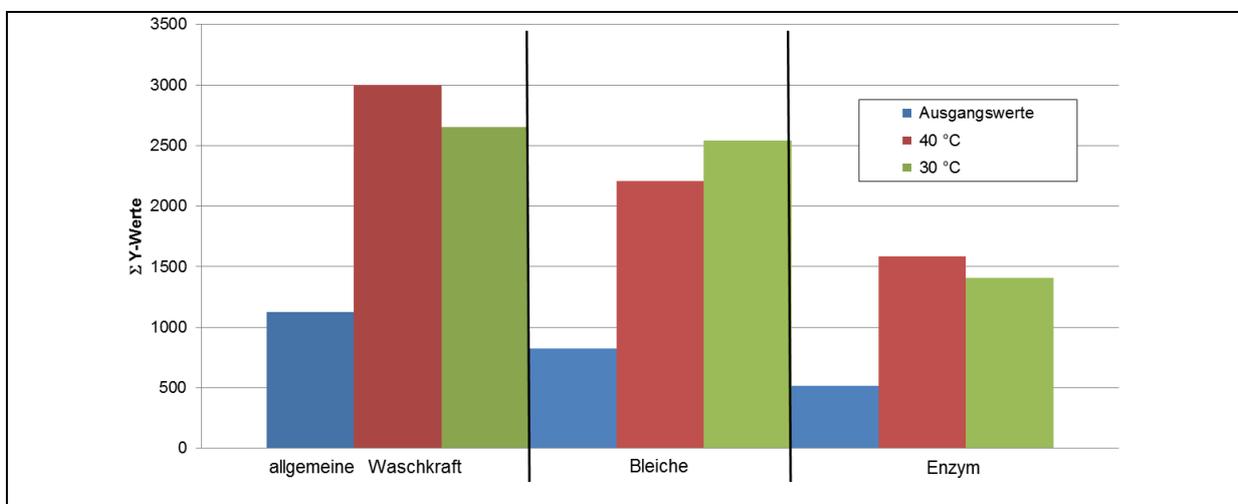
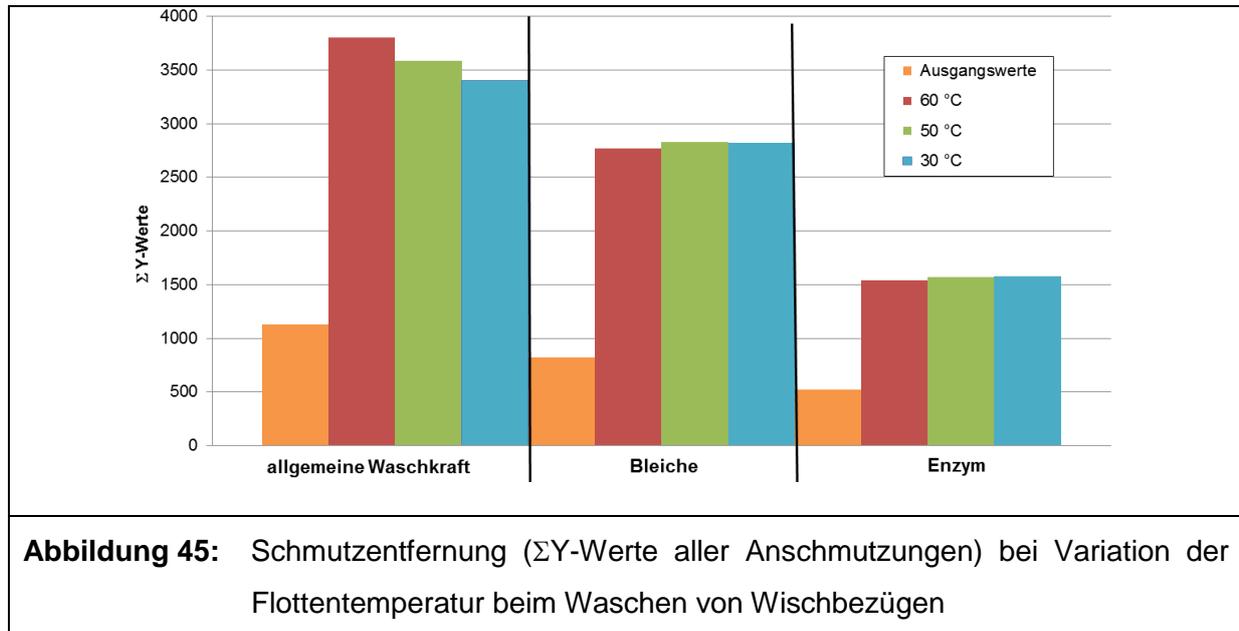


Abbildung 44: Schmutzentfernung (ΣY -Werte aller Anschmutzungen) bei Variation der Flottentemperatur beim Waschen von Schmutzfangmatten

Die erzielte Fleckentfernung bei Schmutzfangmatten (**Abbildung 44**) zeigt, dass eine Reduktion von 40 °C auf 30 °C für bleichbare und auf Enzyme reagierende Anschmutzungen zwar prinzipiell möglich ist, jedoch aufgrund der geringeren Entfernung auf allgemeine Waschkraft reagierende Verschmutzungen nicht realisiert werden sollte.



Bei der Schmutzentfernung bei Wischbezügen (**Abbildung 45**) führt die Temperaturreduzierung von 60 auf 50 bzw. 30 °C zu keiner signifikanten Abnahme der Summe der Y-Werte aller eingesetzten Verschmutzungen. Bei der allgemeinen Waschkraft werden jedoch bereits bei Temperaturabsenkung auf 50 °C geringere Y-Werte gemessen.

Wie bereits in **Kapitel 4.3.3.2** angeführt, zeigt die zusätzliche ganzheitliche energetische Betrachtung der Wäscherei und die Verknüpfung vieler unterschiedlicher Prozesse miteinander, dass eine Absenkung der Flottentemperaturen nicht sinnvoll ist. Grund dafür ist, dass die gespeicherte thermische Energie in den Abwässern für andere Prozesse wiederverwendet wird. Durch die Abwärme aus den Brüdenwärmetauschern und die Verwendung der Waschflotte aus dem Handtuchrollenwaschprozess für die Matten und Feuchtwischbezüge steht Abwärme ausreichend zur Verfügung, die derzeit nicht anders genutzt werden kann..

4.3.4.2 Sekundärwascheffekte

Die Überprüfung der Sekundärwascheffekte nach Realisierung der Transfermaßnahmen im Betrieb CHMS zeigten keine signifikanten Abweichungen zu den Untersuchungen vor der Modernisierung. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Abwasseraufbereitungsanlage in den Untersuchungen nicht berücksichtigt werden konnte.

4.3.4.3 Spülwirkung

Die Ergebnisse der Flottenalkalitäten und des pH-Wertes liegen in der gleichen Größenordnung wie vor Realisierung der Einsparmaßnahmen (siehe **Kapitel 4.1.4.3**).

4.3.5 Trocknungseffekte

Für die Untersuchungen zum Einfluss einer Temperaturabsenkung von 170 auf 100 °C im Trommeltrockner wurde im wfk-Institut ein dampfbeheizter Tumbler (Miele PT 7331) mit einem Trommelvolumen von 260 l (Beladungsmenge 13 kg, Füllverhältnis 20 l/kg) mit Baumwollbeladung (Flachwäsche einlagig) eingesetzt. Entsprechend **Kapitel 3.2.3.2** wurde zur Bewertung evtl. auftretender Textilschädigung bei gleichzeitig verlängerter Trocknungsdauer (170 °C: 20 min, 100 °C: 35 min) Standardbaumwollgewebe (Festigkeitsverlust) und Mikrofaservischbezüge (Versteifung bzw. Grifftest, Anschmelzen von Faserenden) eingesetzt. Der Wäscheposten wurde vor jedem Trocknungsprozess auf eine Restfeuchte von 55 ± 3 % entwässert. Nach dem Trocknen betrug die Restfeuchte jeweils 5 ± 3 % (bezogen auf konditionierte Masse).

Abbildung 46 zeigt zur Verdeutlichung des Trocknungsprozesses exemplarisch die ermittelte Ablufffeuchte bei Heizregister- bzw. Heißlufttemperaturen von 170 und 100 °C.

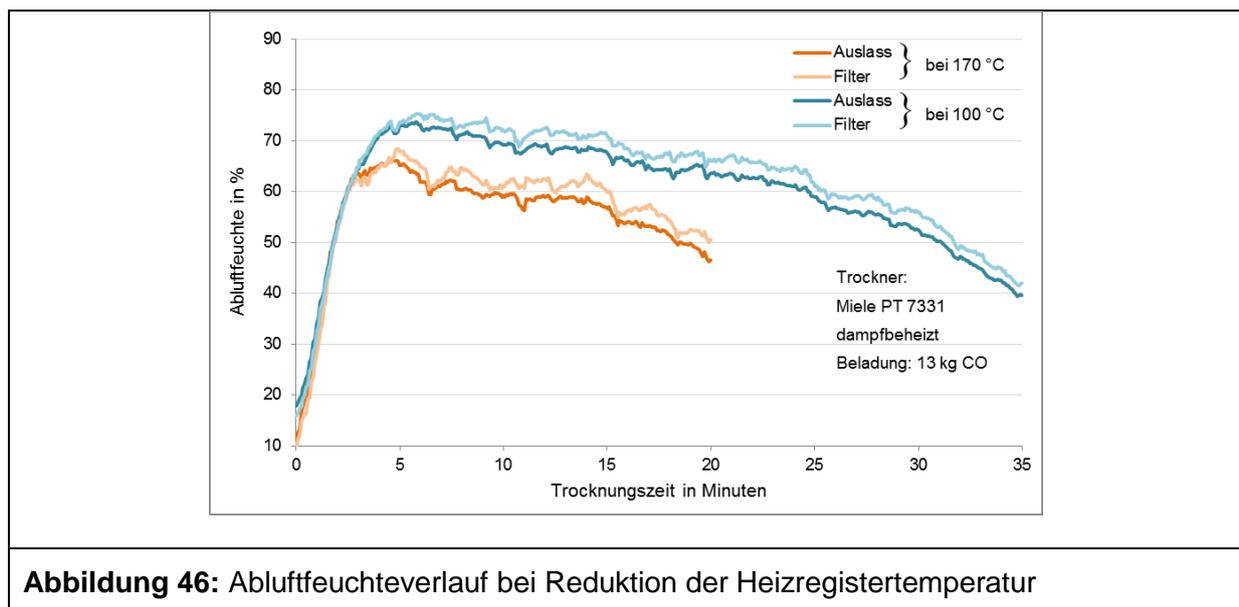


Abbildung 46: Ablufffeuchteverlauf bei Reduktion der Heizregistertemperatur

Erwartungsgemäß verlängert sich der Trocknungsprozess von 20 min bei 170 °C auf 35 min bei 100 °C. Während die Ablufffeuchte beim Aufheizen für beide Temperaturen gleich ist, stellt sich bei verringerter Heißlufttemperatur aufgrund der geringeren Wärmezufuhr bei 100 °C eine um etwa 10 bis 15 % verringerte Ablufffeuchte während der eigentlichen Trocknung ein.

Nach 5, 15 und 25 Behandlungszyklen konnte für beide Heißlufttemperaturen festgestellt werden:

- ⇒ Der *Festigkeitsverlust* des Standardbaumwollgewebes wird durch erhöhte Zyklenzahl nicht signifikant beeinflusst. Er liegt bei niedrigen Werten um 1 %.
- ⇒ Die verringerte Trocknungstemperatur bzw. verlängerte Trocknungsdauer hat keinen erhöhten Festigkeitsverlust zur Folge.
- ⇒ Der Y-Wert als Maß für die *Helligkeit* bzw. den *Weißgrad* der behandelten Textilien wird durch die erhöhte Zyklenzahl nicht signifikant beeinflusst. Er beträgt etwa 1 bis 2 Y-Werte.
- ⇒ Die verringerte Trocknungstemperatur bzw. verlängerte Trocknungsdauer hat keinen mit bloßem Auge sichtbaren Einfluss auf den Y-Wert (Änderung: 2 ± 2).
- ⇒ *Vergilbung* konnte unabhängig von Zyklenzahl und Trocknungstemperatur bzw. -dauer visuell nicht festgestellt werden.

Die Bewertung evtl. auftretender *Textilversteifung* aufgrund geschmolzener Faserenden mittels Grifftest ergab keine sensorisch feststellbaren Unterschiede bei hoher Trocknungstemperatur von 170 °C im Vergleich zu 100 °C. Dies konnte auch durch visuelle Beobachtung mittels Mikroskop bestätigt werden (**Tabelle 13**).

Bezüglich *Verdampfungsleistung* und *Energiebedarf* für die Trocknung von Baumwollteilen (Füllverhältnis 20 l/kg) ergaben sich unter den angewandten Untersuchungsbedingungen für beide Trocknungstemperaturen (Trocknung von 55 % auf 5 ± 3 %) folgende Werte:

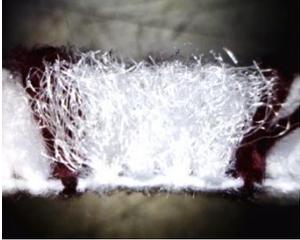
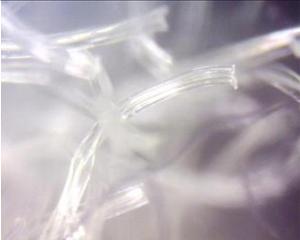
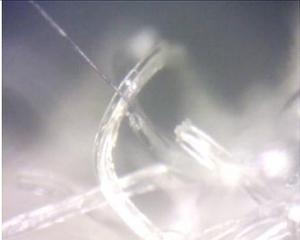
⇒ Verdampfungsleistung

+ 100 °C	12,2 kg Wasser/h bzw.	23,1 kg Baumwolle/h
+ 170 °C	21,3 kg Wasser/h bzw.	40,5 kg Baumwolle/h

⇒ Energiebedarf

+ 100 °C	0,77 kWh/kg verdampftes Wasser bzw. 0,40 kWh/kg Baumwolltextilien
+ 170 °C	0,93 kWh/kg verdampftes Wasser bzw. 0,49 kWh/kg Baumwolltextilien

Aufgrund der deutlichen Verlängerung des Trocknungsprozesses und zur Aufrechterhaltung des Wäschedurchsatzes wird davon abgeraten die Trocknungstemperatur zu reduzieren.

Tabelle 13: Oberflächenstruktur und Faserveränderung von Mikrofaserwischbezügen bei unterschiedlichen Vergrößerungsfaktoren			
Vergrößerungsfaktor	Ausgang	25 x getrocknet bei 100 °C	25 x getrocknet bei 170 °C
60			
500			

4.3.6 Abwasserdaten

Die Aufbereitungsanlage zur Bearbeitung von Wäschereiabwässern konnte innerhalb der Projektlaufzeit von der beauftragten Firma nicht fertiggestellt und in Betrieb genommen werden, so dass Untersuchungen nicht möglich waren.

Die in den vorigen Kapiteln beschriebenen Energieeinsparmaßnahmen haben keinen Einfluss auf die Abwasserqualität, so dass deren erneute Bestimmung nicht erforderlich war.

4.4 Ansätze Rechnermodell

Um Prozessoptimierungen durchführen zu können, kann auf verschiedene Computerprogramme zurückgegriffen werden. Hierfür könnte zum Beispiel eines der folgenden Programme zum Einsatz kommen:

- Matlab/Simulink [12]
- Modelica [13]
- Engineering Equation Solver (EES) [14]
- Allg. Programmiersprachen (C, VisualBasic, Python, Fortran)
- Spez. Software (z.B. Aspen Plus [15])

Abhängig vom Einsatzzweck und den Vorkenntnissen der späteren Anwender sind die Programme teilweise sehr komplex, sodass grundlegende Programmierkenntnisse von Vorteil sind. Generelle Kenntnisse über die berechneten Prozesse sind obligatorisch.

Bei den Programmpaketen Matlab/Simulink sowie Aspen Plus muss berücksichtigt werden, dass eventuell hohe Lizenzkosten anfallen. Bei der Programmierung mit einer klassischen Programmiersprache wie C, Fortran usw. ist zu beachten, dass keine Bibliotheken für Stoffdatenberechnungen zur Verfügung stehen, sodass diese Bibliotheken entweder eigenständig implementiert oder extern zugekauft werden müssen.

Ein erstes lauffähiges Programm zur Berechnung des Energieverbrauchs des Gastrockners wurde mit dem Programm EES (Engineering Equation Solver) realisiert. Dabei hat EES den Vorteil, dass es sehr leicht zu erlernen ist. Hierbei handelt es sich um einen Gleichungslöser. Dabei wird das Programm mithilfe mathematischer und logischer Beschreibung formuliert und als prozeduraler Programmcode realisiert. Anschließend kann aufbauend auf das lauffähige Programm eine grafische Oberfläche realisiert werden, so dass der Anwender die Möglichkeit besitzt, einfach und übersichtlich Eingabe- und Ausgabevariablen zu betrachten.

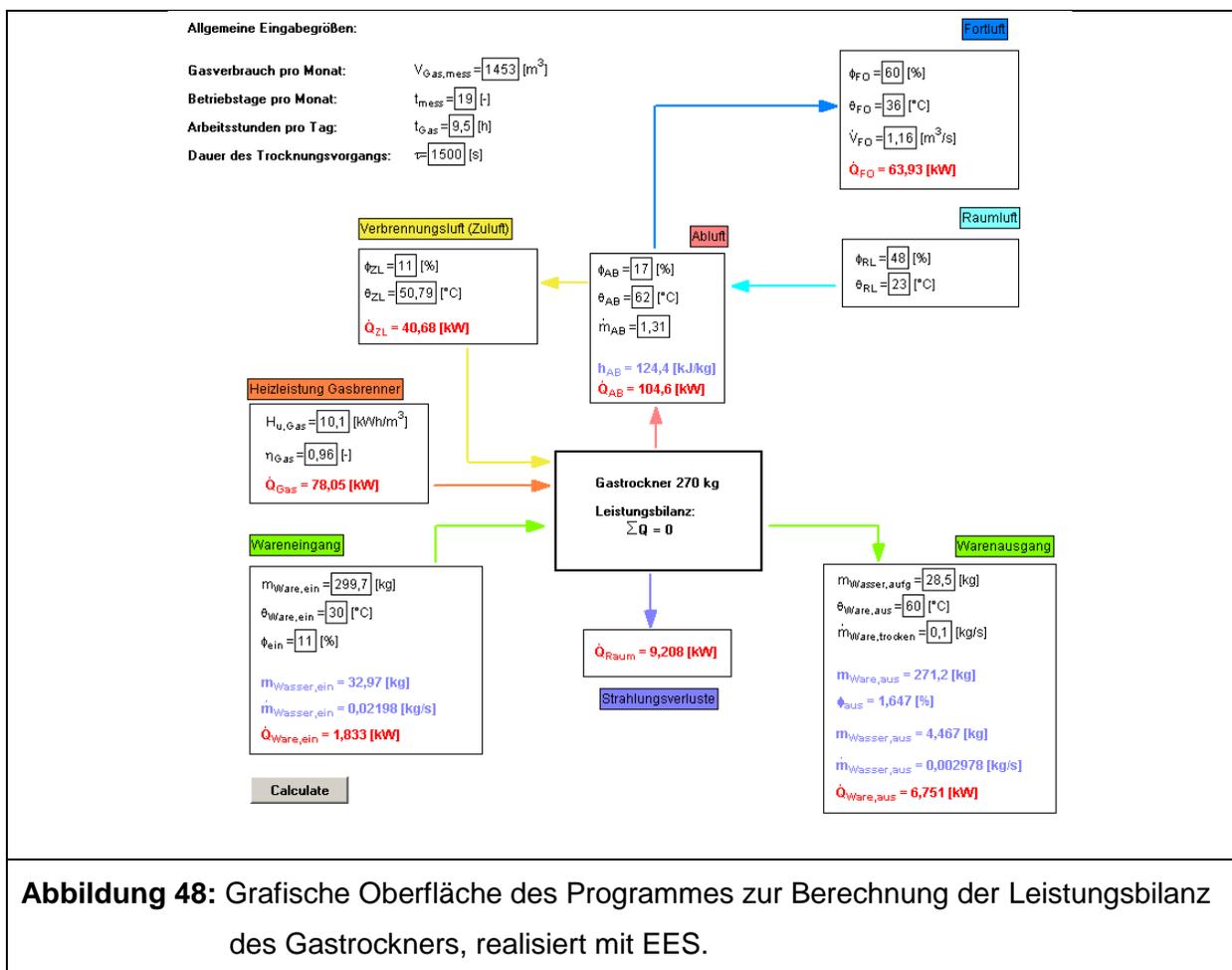


Abbildung 48: Grafische Oberfläche des Programmes zur Berechnung der Leistungsbilanz des Gastrockners, realisiert mit EES.

Abbildung 48 zeigt die grafische Oberfläche des Programmes zur Berechnung der Energiebilanz des Gastrockners mit EES. Hierbei können die verschiedenen Eingabeparameter wie Temperatur, Luftfeuchte oder das zu trocknende Chargengewicht eingegeben werden. Anschließend werden die Leistungsbilanz sowie die jeweiligen Energieverbräuche berechnet und sofort grafisch dargestellt. Bei der Endversion dieses Programmes muss der spätere Anwender somit nichts mehr programmieren. Es werden entsprechende Eingabegrößen definiert und eingegeben, mit denen schließlich die Ausgabegrößen berechnet werden. Mit EES können weiterhin ausführbare *.EXE Dateien für Windows bereitgestellt werden, sodass der Endanwender nicht über das Programmpaket EES verfügen muss. Die kompilierte Version als *.EXE ist voll lauffähig.

Ausgehend von dem Programm zur Berechnung der Energiebilanz in **Abbildung 48** wurde ein weiteres Programm mit EES zur Berechnung des Gasverbrauches und der spezifischen Wärmekosten des Trocknungsvorganges realisiert. Die Benutzeroberfläche kann **Abbildung 49** entnommen werden.

The screenshot shows a software interface with the following sections:

- Spezifische Groessen:** Gasverbrauch/Charge: 22,5 [m³]; Trocknungsdauer: 21 [min]; Trocknungstemperatur: 112,5 [°C]; Trocknerleistung: 505,4 [kW]; Energieverbrauch: 194,6 [kWh].
- Betriebskosten:** Chargen pro Tag: 15 [t]; Gaspreis: 0,05 [Euro/kWh]; Strompreis: 0,18 [Euro/kWh]; Wärmekosten/Charge: 9,728 [Euro]; Wärmekosten/Tag: 145,9 [Euro].
- Waermeuebertrager:** Rueckgewinnungsfaktor: 0,8 [-]; Energieeinsparung: 91,25 [kWh]; Einsparung Kosten/Charge: 4,563 [Euro]; Einsparung Kosten/Tag: 68,44 [Euro].
- Wareneingang:** Warengewicht: 270 [kg]; Floranteil: 77,2 [kg]; Feuchteanteil: 0,55 [-].

The schematic diagram shows a 'Gastrockner' (clothes dryer) and a 'WUT' (heat exchanger). Air flows from the dryer to the WUT (Abluft) and from the WUT back to the dryer (Zuluft). Outdoor air (Aussenluft) enters the WUT, and exhaust air (Fortluft) leaves. Parameters for air flow are given as temperature ($\theta_{L,AB}$, $\theta_{L,ZL}$, $\theta_{L,AL}$) and humidity ratio ($\phi_{L,AB}$, $\phi_{L,ZL}$, $\phi_{L,AL}$).

Abbildung 49: Benutzeroberfläche zur Berechnung des Gasverbrauches des Gastrockners
Zusätzliche Option: Berechnung mit nachgeschaltetem Wärmeübertrager

Bei diesem Beispielprogramm werden der spezifische Gasverbrauch je Charge, die Trocknungsdauer sowie die Trocknungstemperatur, als auch das zu trocknende Gewicht der Wäsche und der Feuchteanteil der Wäsche als Eingabeparameter vorgegeben. Hieraus wird dann der benötigte Gasverbrauch berechnet. Weitere benötigte Eingabeparameter sind:

- Zuluft- und Ablufttemperatur
- Relative Feuchte von Zuluft und Abluft
- Trocknungsvorgänge pro Tag
- Gaspreis je m³ Gas
- Rückgewinnungsfaktor des Wärmeüberträgers

Zusätzlich wurde die Möglichkeit zur Berechnung eines Wärmeüberträgers realisiert. Hiermit können Einsparpotentiale beim Gasverbrauch berechnet und aufgezeigt werden. Abschließend kann weiterhin die eingesparte Energiemenge sowie die eingesparten Kosten durch den Wärmeüberträger berechnet werden. In **Abbildung 50** sind beispielsweise die Wärmekosten pro Tag, sowie die Einsparkosten pro Tag in Abhängigkeit vom Rückgewinnungsanteil aufgetragen. Mit steigendem Rückgewinnungsfaktor sinken die täglichen Kosten, die Ersparnis steigt mit besserer Effizienz des Wärmeüberträgers.

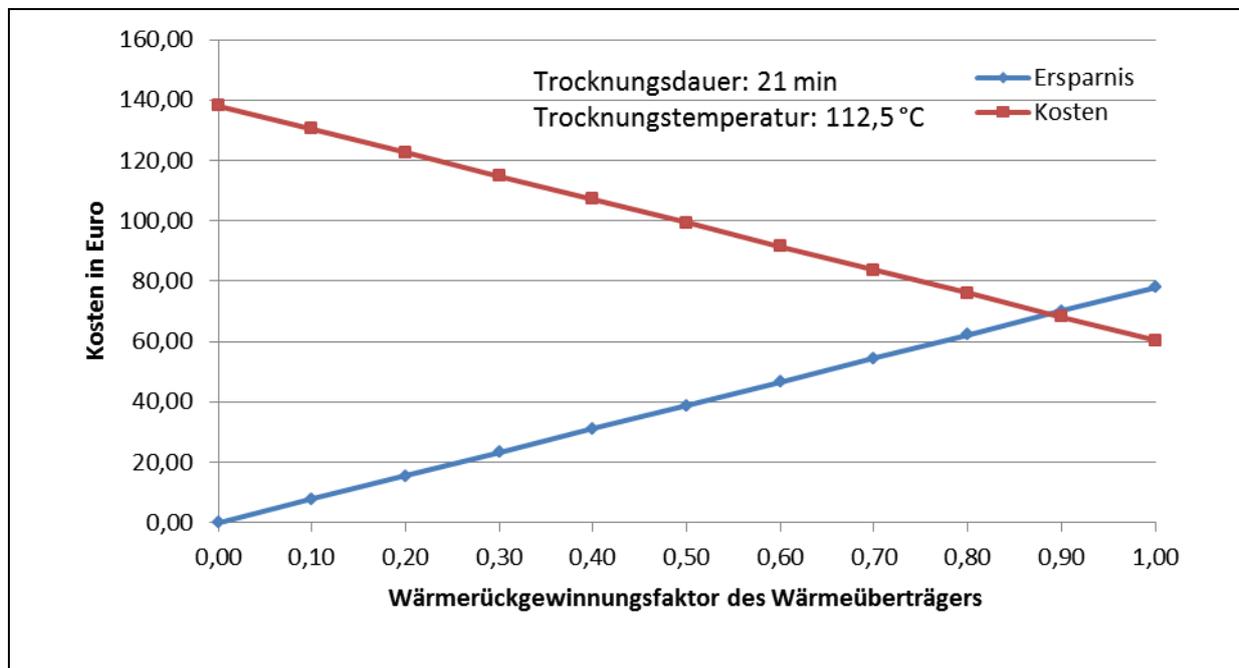


Abbildung 50: Kosten und Kostenersparnis in Abhängigkeit des Wärmerückgewinnungsfaktors für Trocknungsprozess mit Gastrockner
(15 Trocknungsvorgänge/d, Abgastemperatur von 75 °C)

5 Zusammenfassende Diskussion und Folgerungen für die Praxis

In der folgenden Übersicht werden zusammenfassend die Maßnahmen und deren Ergebnisse dargestellt. Bei der Firma CHMS waren bereits viele mögliche Maßnahmen zum Zeitpunkt der IST-Stand-Erfassung realisiert. Die dargestellten Maßnahmen werden gegliedert in Einzelmaßnahmen an einer Anlage, die zu einer Energie- und Ressourceneinsparung an der betreffenden Anlage führen und in prozessübergreifende Maßnahmen. Die hier erstmalig in einem Forschungsprojekt aufgezeigte Methode der ganzheitlichen Betrachtung der Wäscherei soll aufzeigen, dass durch die ganzheitliche Betrachtung des Betriebes eine prozessübergreifende Maßnahme an einer Anlage nur im Zusammenwirken mit einer zweiten Anlage zu einer Einsparung an Ressourcen und Energie führen kann. Eine Einzelmaßnahme stellt in diesem Zusammenhang der Einbau des Wärmerückgewinners in den Abluftstrang des gasbefeuchten Trockners dar, der die Zuluft zum Trockner vorwärmt und somit die Energieeffizienz des Trockners verbessert. Eine prozessübergreifende Maßnahme stellt der Einbau des Brüdenwärmetauschers in den Abluftstrang der Mangel dar, der durch die Wärmezufuhr an die Handtuchrollenwaschstraßen deren Dampfverbrauch reduziert.

5.1 Zusammenfassung der Einzelergebnisse

Wie im vorigen **Kapitel 4.3** aufgezeigt, führen einerseits separat betrachtete Energieeinsparmaßnahmen an Einzelmaschinen und Prozessen zu prozessbezogenem Einsparpotential. Bei Berücksichtigung von Wascheffekten, dem eigentlichen Ziel der Wäscheaufbereitung, konnte beispielhaft an der Waschtemperaturabsenkung demonstriert werden, dass mögliche Einsparungen aufgrund unzureichender Reinigungswirkung bei zu hoher Einsparung zu ungenügenden Wascheffekten führt, was erneute Waschbehandlung und/oder zum Aussortieren der Wäscheteile führen kann. Beides erhöht die Umweltbelastung im Vergleich zum ursprünglich angewandten Temperaturniveau. Des Weiteren konnte aufgezeigt werden, dass die Anwendung der niedrigen Waschtemperaturen aufgrund des verringerten Wärmeinhalts im Abwasser den Einsatz von Wärmetauschern zu dessen Rückgewinnung begrenzt bzw. aufgrund fehlender Wärmesenken der Wärmeinhalt des Abwassers nur noch sehr eingeschränkt innerhalb des Wäschereibetriebes nutzbar ist.

Da die vorgenommenen „Energie“-Einsparungen keine Auswirkung auf den elektrischen Energiebedarf haben, beziehen sich alle angeführten Energieeinsparmaßnahmen auf die in der Wäscherei eingesetzte Wärmeenergie.

5.1.1 Aufbereitung Handtuchrollen

Die Untersuchungen zur Aufbereitung von Handtuchrollen (Waschen und Mangeln) zeigten ein mittleres Energieeinsparpotential von ca. 0,229 kWh Gas/kg Textil an beiden Anlagen. Der spezifische Verbrauch sank im Mittel von 0,761 auf 0,462 kWh Erdgas/kg Textil. Das ist

eine Energieeinsparung von ca. 39 %. Durch Temperaturreduktion in der Klarwäsche könnte zwar bei gleichbleibender Schmutzentfernung eine Energieeinsparung erzielt werden, jedoch ist aufgrund der ganzheitlichen Betrachtung und prozessübergreifenden Prozessströme diese Reduktion nicht sinnvoll. Eine Reduktion an dieser Stelle erfordert höhere Energiezufuhr an anderer Stelle.

5.1.2 Aufbereitung Wischbezüge

Die Aufbereitung der Wischbezüge (Waschen und Trocknen) wurde zusammen mit den Schmutzfangmatten bilanziert, da die Wäschearten ständig an der Maschine wechselten. Es wurde für beide Textilien zusammen durch den Einsatz eines Wärmerückgewinners beim Trocknen ein Einsparpotential von 31 % oder 0,11 kWh Erdgas/kg Textil realisiert. Der spezifische Verbrauch sank von 0,353 auf 0,243 kWh Erdgas/kg Textil.

Bei der Aufbereitung von Wischbezügen könnte durch eine Reduktion der Flottentemperatur von 60 auf 50 °C eine theoretische Einsparung von ca. 25 %, bezogen auf den Waschprozess, erzielt werden. Da der Waschprozess fast ausschließlich mit Abwärme gespeist wird, ist im untersuchten Pilotbetrieb keine Energieeinsparung realisierbar. Außerdem würde die Waschqualität sinken. Wegen der Verknüpfungen der unterschiedlichen Prozesse miteinander ist auch in diesem Fall eine Reduktion der Flottentemperatur nicht sinnvoll, da ausreichend Abfallwärme vorhanden ist.

5.1.3 Aufbereitung Schmutzfangmatten

Das Einsparpotenzial für die Aufbereitung der Schmutzfangmatten (Waschen und Trocknen) beträgt analog Kap. 5.1.2 ebenfalls ca. 33 %. Durch eine Reduktion der Flottentemperatur von 40 auf 30°C könnte eine theoretische Energieeinsparung von 33 % für den Waschprozess erzielt werden, was allerdings auch verschlechterte Waschwirkung zur Folge hätte. Da der Waschprozess fast ausschließlich mit Abwärme gespeist wird, ist außerdem im untersuchten Pilotbetrieb keine Energieeinsparung realisierbar. Durch eine Absenkung der Trocknungstemperatur könnte energiesparender aufbereitet werden. Da sich jedoch die Trocknungsdauer enorm verlängern würde und somit der Prozessablauf gestört werden würde, wird dringend von diesen Maßnahmen abgeraten. Des Weiteren wäre auch wegen der bereits erwähnten Prozessverknüpfungen eine Reduktion der Temperaturen nicht sinnvoll.

5.1.4 Gesamtwäscherei

In der Wäscherei als Ganzes betrachtet wurden durch die nachfolgend aufgelisteten Maßnahmen, bezogen auf eine Tonne Textilien, Ressourcen in Höhe von ca. 25,9 m³ Erdgas/t Textil oder 261,6 kWh/t Textil (33 %) eingespart. Der spezifische Gasverbrauch beträgt damit ca. 52 m³ Erdgas/t Textil. Die Maßnahmen umfassen:

- Einbau von Brüdenwärmetauschern in den Abluftstrang der Mangeln,
- Einbau eines Wärmerückgewinners in der Abluft des Trockners,
- Einbau eines Economisers und
- Einbau eines Wärmerückgewinners für Wrasendampf

Weitere Maßnahmen wurden bereits im Vorfeld durchgeführt und führten zu erheblichen Einsparungen im Bereich der elektrischen Energie. Dies sind:

- Austausch der Leuchtstoffröhren durch LED-Leuchten, Einsparung 44.000 kWh/a
- Austausch eines Druckluftverdichters, Einsparung 4.700 kWh/a

5.2 Ganzheitliche Betrachtung Wäscherei

Wie bereits unter **Kapitel 5.1** beschrieben, macht die Integration vieler in der Praxis üblicher Methoden und Systeme zur Energieeinsparung bei ganzheitlicher Betrachtung einer Wäscherei keinen Sinn. Im Gegenteil dazu führt die Wiederverwendung von Abwässern, der Einsatz von unterschiedlichen Wärmetauschern zur Rückgewinnung von Energie als auch die Verknüpfung von einzelnen Prozessen in spezifische Lösungen zur Rohstoffreduktion überflüssig. Hauptziel bei der Erstellung einer Wäscherei sollte sein, alle Prozesse so miteinander zu verknüpfen, dass ganzheitlich betrachtet mit möglichst geringen Aufwendungen möglichst viel Wäsche ausreichend hoher Qualität produziert werden kann.

5.2.1 Auswirkung Waschtemperaturabsenkung

Die Absenkung der Waschtemperaturen in der Handtuchrollenwaschstraße hätte zur Folge, dass sich die Waschtemperaturen in der Wischbezugs- und Mattenwaschstraße ebenfalls reduzieren würden. Daraus würde eine höhere Vergrauung der Wischbezüge als auch eine reduzierte Schmutzentfernung resultieren. Des Weiteren würde der Wirkungsgrad des Brüdenwärmetauschers sinken. Energie würde nicht eingespart, sondern nur von einer Anlage auf eine Andere verlegt werden.

5.2.2 Auswirkung Trocknungstemperaturabsenkung

Die Reduktion der Trocknungstemperatur zeigt, dass sich die Trocknung eines Wäscheposts drastisch verlängern würde. Dies würde zu einem geringeren Wäschedurchsatz führen. Außerdem könnte der für diese Anwendung konzipierte Luft-Luft-Wärmetauscher nicht mehr so effektiv arbeiten, da eine geringere Temperaturdifferenz zwischen heißer Ab- und kühler Zuluft auch eine geringe Effektivität zur Folge hat.

5.2.3 Auswirkung Abwasseraufbereitung

Wäschereien die oberhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte kontaminiertes Abwasser produzieren und in das öffentliche Kanalnetz einleiten wollen, müssen Maßnahmen ergreifen, um diese Grenzwerte einzuhalten. Die in der Wäscherei eingebaute Abwasseraufbereitungsanlage war während des Untersuchungszeitraumes noch nicht voll funktionsfähig bzw. in die Wasserkreisläufe integriert. Demzufolge wurde die Abwasserqualität nicht beeinflusst.

5.2.4 Gesamtbewertung

Beim untersuchten Pilotbetrieb Coburger Handtuch und Matten Service CHMS handelt es sich um einen Betrieb, der bereits in der Vergangenheit vorbildlich Ansätze zur Energieeinsparung umgesetzt hat. Die ganzheitliche Betrachtung aller Prozesse im Betrieb sowie deren Verknüpfung führte zu Ressourcen- und Energieeinsparungen, die als Orientierungswerte für andere Wäschereibetriebe mit ähnlichem Maschinenpark, Logistik und insbesondere gleichen Textilien (Wäschereistruktur) angewandt werden können. Ein Wasserverbrauch von ca. 2,1 m³/t Textil, ein Wärmeenergieverbrauch von ca. 52 m³ Erdgas/t Textil und ein elektrischer Energiebedarf von ca. 86 kWh Strom/t Textil sind Zielgrößen für andere Betriebe.

Für die weiteren geplanten Untersuchungen hat sich die prinzipielle Vorgehensweise der im Rahmen der IST-Analyse vorgenommenen Erfassung von Wasser- und Energieströmen zunächst einzelner Maschinen und daran anschließend deren Gesamtbetrachtung innerhalb des Wäschereibetriebes bewährt. Gleiches gilt für die Erfassung der Wasch-, Spül- und Finishqualität, die beispielsweise aufzeigte, dass stark belastetes wiederverwendetes Wasser und niedrige Waschttemperaturen zu verschlechterter Waschqualität führen. Die Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Partnern wfk und ieg sowie dem Wäschereibetrieb und den Herstellern von Maschinen und Waschmitteln erwies sich als sehr erfolgreich, da bei der Erfassung und Umsetzung möglicher Einsparmaßnahmen alle relevanten Bereiche vertreten waren. Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen konnten bei Einhaltung der Wasch- und Finishqualität hohe Einsparungen erzielt werden. Das erprobte Rechenprogramm EES erwies sich als geeignet und kann für die weitere Entwicklung als Berechnungstool verwendet werden.

5.3 Folgerungen für die Praxis

Wie in den vorherigen Kapiteln gezeigt werden konnte, bestehen selbst in einem bereits zahlreiche Einsparmaßnahmen einsetzenden Wäschereibetrieb noch weitere Einsparungsmöglichkeiten, wenn eine ganzheitliche Betrachtung des Betriebes vorgenommen wird.

Die im Pilotbetrieb behandelte Wäsche (Matten, Handtuchrollen, Feuchtwischbezüge) und der zur Aufbereitung eingesetzte Maschinenpark sowie die Energieerzeugung und Wasser-

versorgung (Frisch- und Regenwasser, wiederverwendetes und aufbereitetes Wasser) sind allerdings nicht repräsentativ für alle Wäschearten, die in Wäschereien aufbereitet werden. Bezüglich des Maschinenparks sind bei der Firma CHMS beispielsweise drei Anlagen bzw. "Produktionsstraßen" im Einsatz (zwei Waschstraßen eines Herstellers und damit Maschinenkonstruktion für Handtuchrollen mit dampfbetriebenen Mangeln in unterschiedlichen Größen, eine Waschstraße eines anderen Herstellers für Fußmatten und Feuchtwischbezüge mit gasbefeuertem Trockner). Da mögliche Einsparmaßnahmen von der Struktur (Maschinenpark, behandelte Wäschearten, Logistik) des Wäschereibetriebes bestimmt werden, sind zur Abdeckung des gesamten Wäscheartenspektrums weitere analoge Untersuchungen (einschließlich Wasch-, Trocknungs- und Mangel-/Finisheffekten) in Wäschereien mit den anderen typischen Wäschearten Berufskleidung, Hotel und Gastronomie, Krankenhauswäsche sowie Alten- und Pflegeheim notwendig.

5.4 Anregungen für die Weiterführung des Projektes

Im untersuchten Pilotbetrieb wurden in Bezug auf die zukünftige Abwicklung des Projektes die folgenden Erfahrungen gesammelt:

Bei der Durchführung der Ist-Standerfassung wurde festgestellt, dass in Wäschereibetrieben, bei denen die Anlagen häufig sehr große Ausdehnung haben, die Verkabelungen der Messstellen zum Datenlogger den Arbeitsablauf stören oder nicht durchführbar sind. Daher wurde für die weiteren Projektphasen ein Datenloggersystem „Eltek GenII“ beschafft, das die Messwerte mittels drahtloser Fernübertragung über ca. 300 Meter senden und empfangen kann. Dieser Datenlogger wurde bereits in der Abschlussphase des Projektes erfolgreich eingesetzt.

Des Weiteren zeigte sich bei der Erfassung des IST-Zustandes der vorhandenen Maschinen bzw. Anlagen, dass die vorhandenen Potenziale bzw. Optimierungsmaßnahmen zur Ressourcen- und Energieeinsparung gut feststellbar sind. Die Potenziale bzw. Optimierungsmaßnahmen werden differenziert als Einzelmaßnahmen an einer Maschine erfasst, die einerseits zu Energie- und Ressourceneinsparung an der betreffenden Wäschereimaschine führen und andererseits in prozessübergreifende Maßnahmen, die nur realisiert werden können, wenn die unterschiedlichen Wäschebearbeitungsprozesse miteinander verknüpft werden.

Wichtige Kriterien, die für die Ressourcen- und Energieeinsparung zu erfassen sind, sind insbesondere die Temperaturniveaus für den Energieeinsatz und die notwendige Wassergüte. Beide haben zudem Einfluss auf die Wasch- und Finishqualität. Bei den anschließenden Untersuchungen zur möglichen Anwendung von Wärmeenergie und Brauchwasser ist zu beachten, dass die größte Schwierigkeit darin besteht, für eine mögliche Wärmequelle die passende Wärmesenke zu identifizieren bzw. für ein verunreinigtes Abwasser eine geeignete

Verwendung zu finden. Des Weiteren ist eine Klärung möglicher negativer Auswirkungen der Wasserinhaltsstoffe auf Wasch- und Spüleffekte sowie die Mangelqualität notwendig.

Beim Einsatz von Abwässern in einem anderen Waschprozess sind entsprechende Untersuchungen der Waschqualität unabdingbar. Dies gilt ebenfalls, wenn aus Gründen der Energieeinsparung das Temperaturniveau im Prozess abgesenkt werden soll. Für umfangreiche Einsparungsmaßnahmen muss den Betrieben ausreichend Zeit zu deren Realisierung gegeben werden.

Die Untersuchungen am Trockner zeigen, dass es möglich ist, die Prozesse im Rechenprogramm EES mit einfachen Algorithmen abzubilden und für die Optimierungsmaßnahmen, die Einsparpotenziale zu berechnen. Damit können die gewonnenen Erfahrungen auch auf andere Betriebe und andere Maschinengrößen analog übertragen werden. Hierdurch besteht die Möglichkeit zur Wirtschaftlichkeitsbewertung der vorgeschlagenen Maßnahmen.

6 Danksagung

Für die Förderung des Forschungsvorhabens DBU 28612 danken wir der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). Ferner danken wir den Firmen Christeyns GmbH aus Offenburg (Waschmittellieferant) sowie Lavatec Laundry Technology GmbH aus Heilbronn (Waschstraßenhersteller) für die Bereitstellung von Versuchsmaterialien sowie für die Begleitung der Arbeiten mit Beratung und Hilfe beim Transfer.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Deutscher Textilreinigungs-Verband e.V.
Der DTV-Branchenbericht – Zahlen, Daten , Fakten,
DTV Jahrbuch, Bonn, 2011
- [2] F. Everts
Training Manager TCD EMEA, New low temperature washing processes for laundries
May, 13th 2009
- [3] SN-Fachpresse Hamburg
Larosé Niederlassung in Nonnweiler – Neues Energieeinsparkonzept in Nonnweiler macht Rekordwerte
möglich
WRP-Reportage, Beiheft, Januar 2010
- [4] C. Börs; W. Buschmeier
„Modellhafte Demonstration einer energieeffizienten, kombinierten Rückgewinnung von Abwärme aus
Waschschleudermaschinen und Trockneranlagen zum Aufheizen des Waschwassers in der Wäscherei“
Demonstrationsprojekt, Aktenzeichen 28543, Bad Iburg, 31. Mai 2011
- [5] RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.
RAL 992
Beuth-Verlag GmbH, Berlin, 2006
- [6] Bundesministerium für Gesundheit, Bundesministerium für Verbraucherschutz et. al.
Trinkwasserverordnung (TrinkwV)
Neuaufgabe von November 2011
- [7] C. Schnepf, G. Amberg
Professionelles Waschen – Eine Informationsschrift für den Wäschereipraktiker
Henkel Hygiene GmbH, Düsseldorf, 1994
- [8] O.Haas
Die Funktionsweise der Aqua Vivendi Wasseraufbereitung
Auszug aus Internetauftritt, http://www.aqua-vivendi.com/topics_de/loesung.html
Aqua Vivendi Ltd., 20.März 2012
- [12] MathWorks
MATLAB®
URL: <http://www.mathworks.de/products/matlab/>
- [13] Modelica Association et al.
Modelica®, Version 3.3
URL: <http://www.modelica.org>
- [14] F-Chart Software
EES – Engineering Equation Solver
URL: <http://fchart.com/ees/>
- [15] Aspentech
Aspen Plus®
URL: <http://www.aspentech.com/products/aspens-plus.aspx>