

Deutscher Textilreinigungs-Verband
Ganzheitliche Betrachtung von Wäschereien
hinsichtlich Wäschelogistik, Maschinentechnik
und Aufbereitungsverfahren zur
prozessintegrierten Steigerung der
Energieeffizienz von Wäschereien (2. Phase)
Abschlussbericht

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Aktenzeichen: 28612/02)

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Projektlaufzeit: 26.09.2012 – 31.08.2015

Dipl. oec. troph. Michael Tokos



Dipl. Ing. Gottfried Hilburger



Bonn, 16.02.2016

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	28612AZ	Referat	23	Fördersumme	471.663 €
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	Projektphase(n)		
35 Monate	26.09.2012	31.08.2015	Phase II von II		
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger	Deutscher Textilreinigungs-Verband e.V. In der Raste 12 53129 Bonn			Tel	0228 / 91731-0
				Fax	0228 / 91731-20
				Projektleitung Marco Seifen	
		Bearbeiter H. G. Hloch, M. Tokos (wfk), M. Deichsel, G. Hilburger (TH Nürnberg)			
Kooperationspartner	wfk – Cleaning Technology Institute e.V. Campus Fichtenhain 11, 47807 Krefeld, 02151/8210-0 Technische Hochschule Nürnberg „Georg Simon Ohm“ Keßlerplatz 12, 90489 Nürnberg, 0911/5880-1346 bzw. -1650				
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Ziel des Projektes war die nachhaltige Steigerung der Energieeffizienz von Wäschereien durch Reduzierung des Energie- und Wasserverbrauchs um 20 - 50 % bei Gewährleistung der Wäschequalität, abhängig von Wäschereistruktur und derzeitigem Stand der Technik in den jeweiligen Wäschereien. Zur Umsetzung möglicher Energieeinsparungen in bestehenden Betrieben fehlten einerseits Modelluntersuchungen, die exemplarisch in Pilotbetrieben potenzielle und tatsächlich erreichte Einsparungen aufzeigen. Andererseits existierten keine einfach anwendbaren Berechnungstools, die das Aufzeigen von Wasser- und Energiebetrachtungen in Wäschereien ermöglichen und somit einen nachträglichen Einbau neuer Maschinen oder neuer Prozesstechnologien mit integrierten Wasser- und/oder Energieeinsparmaßnahmen in die vorhandene Maschinenteknik einer Wäscherei erlauben.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<p>Zunächst erfolgte eine Betriebsbegehung mit Erarbeitung eines Grobkonzepts zur Erfassung von Wäsche- strömen, Energie- und Massenströmen. Mittels IST-Analyse in Pilotbetrieben wurden Wäschelogistik, Wasser- und Wärmeenergieströme sowie Wasch-, Spül- und Finisheffekte ermittelt. Darauf basierend wurden prinzipiell mögliche Einsparungen aufgezeigt und ausgewählte Lösungsvorschläge vom Wäschereibetrieb umgesetzt. Die daraus resultierenden Einsparungen, einschließlich Wäschequalität wurden anschließend erfasst. Anhand aller Praxisergebnisse wurden ganzheitliche Lösungskonzepte zur Ressourceneinsparung in Wäschereien zusammengefasst und einfache Berechnungstools zur Ressourceneinsparung an einzelnen Maschinen und innerhalb der Gesamtwäscherei entwickelt. Parallel wurde ein „Öko- bench-Tool“ zur einfachen Abschätzung von Verbrauchswerten in Wäschereien entwickelt.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Die durchgeführten Maßnahmen in den Betrieben gliedern sich in Optimierung der Betriebsorganisation und der Betriebsabläufe, Optimierungsmaßnahmen an einzelnen Maschinen und in prozessübergreifende ganzheitliche Maßnahmen. Die ganzheitliche Betrachtung aller Betriebe - einschließlich der Berücksichtigung der Wasch-, Spül- und Finisheffekte - zeigte, dass die in den Betrieben eingesetzte Energie in Form der fossilen Energieträger Gas und Heizöl (ca. 85 – 90 %) sowie Strom (ca. 10 – 15 %) zugeführt wird.

Der in der Ist-Analyse festgestellte Wärmebedarf reichte von 1,64 kWh/kg bis 0,93 kWh/kg und konnte durch die durchgeführten Maßnahmen um 4,1 bis 35,5 % gesenkt werden. Der mittlere spezifische elektr. Stromverbrauch bei der Ist-Analyse lag bei 0,12 bis 0,29 kWh/kg und konnte durch die eingeleiteten Maßnahmen um 3,8 bis 10,7 % gesenkt werden. Der spez. Wasserverbrauch konnte von 5,0 bis 13,7 l/kg Textilien im günstigsten Fall um bis zu 24 % gesenkt werden. Dabei wurden keine Veränderungen hinsichtlich der eingesetzten Wasch- und Waschhilfsmittel vorgenommen.

Maximale Einsparungen (von bis zu 70 %) können, wie der Pilotbetrieb aus der Phase I des Projektes zeigt, nur erreicht werden, wenn möglichst viele und unterschiedliche ganzheitliche, prozessübergreifende Maßnahmen im Betrieb umgesetzt werden. Das Potenzial für diese Einsparungen ist in der Mehrzahl der Betriebe noch nicht ausgenutzt. Fast ausschließlich Großbetriebe mit ausreichender Ausstattung an Kapital und Fachpersonal – insbesondere Techniker und Ingenieure – sind derzeit in der Lage, nicht nur die Prozesse zu analysieren und zu optimieren, sondern auch Maschinen an ihre betriebsspezifischen Bedürfnisse anzupassen. Einen weiteren Hinderungsgrund für die Einführung kostenintensiver Maßnahmen, wie Kauf neuer Maschinenteknik, stellt die teilweise hohe finanzielle Belastung für die Betriebe dar.

Auf Basis der in den Betrieben erhaltenen Ergebnisse mit unterschiedlicher Wäschestruktur und demzufolge Maschinenpark und Wäschelogistik konnten zusammenfassend ganzheitliche Lösungskonzepte zur Ressourceneinsparung in Wäschereien entwickelt werden. Diese beinhalten die dazu erforderlichen Maßnahmen, Technologien und charakteristischen Verbrauchskennwerten zur Ressourceneinsparung.

Außerdem wurde mit LabView ein einfaches Berechnungstool zur Ressourceneinsparung an einzelnen Maschinen und innerhalb der Gesamtwäscherei erstellt. Des Weiteren konnte im Rahmen des Projektes ein Ökobench-Tool erstellt werden, das eine einfache Abschätzung von Verbrauchswerten in bestehenden Wäschereien im Vergleich zu allen Wäschereien oder für Spezielle Wäschereistrukturen ermöglicht. Dieses Tool ist unter www.brancheninitiative-energie.de verfügbar.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das erarbeitete Konzept zur Umsetzung von prozessübergreifenden Einsparmöglichkeiten, das zusätzlich erstellte Berechnungstool zur Ermittlung möglicher Einsparungen und das erstellte Ökobench-Tool auf der Homepage des DTV zur einfachen Abschätzung von Wasser- und Wärmeenergieströmen in bestehenden Wäschereien werden als Plattform zur Installation eines optimierten Energieeinsatzes in Wäschereien genutzt. Die Projektergebnisse wurden in zahlreichen Vorträgen vor Wäschereihinhabern und -mitarbeitern und in Fachzeitschriften der Wäschereibranche publiziert.

Fazit

Es kann festgestellt werden, dass in allen untersuchten Wäschereibetrieben erhebliche Energie- und Ressourceneinsparungen realisierbar waren, wobei die vorhandenen Prozesse ganzheitlich berücksichtigt werden mussten. Je ganzheitlicher die Umsetzung realisiert werden konnte, desto größer waren die Einsparungen. Die ganzheitliche Umsetzung muss dabei die Spezialisierung des Betriebes auf bestimmte Wäschearten, die organisatorische Optimierung der Betriebs- und Produktionsabläufe sowie die technischen Prozesse berücksichtigen. Wie sich zeigte, werden mögliche Einsparmaßnahmen auch von der Struktur eines jeden Wäschereibetriebes bestimmt. 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 hat sich bewährt. Gleiches gilt für die Erfassung der Wasch-, Spül- und Finishqualität. Die Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Partnern wfk und ieg sowie den Wäschereibetrieben, Herstellern von Maschinen und Waschmitteln erwies sich als sehr erfolgreich, da bei der Erfassung und Umsetzung möglicher Einsparmaßnahmen alle relevanten Bereiche vertreten waren.

Inhalt

1	Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	1
2	Stand der Technik.....	3
2.1	Generelle Situation	3
2.2	Derzeitige Energieeinsparmaßnahmen in Wäschereien	3
2.3	Auswirkungen von Optimierungsmaßnahmen auf Wasch- und Trocknungseffekte.....	5
2.4	Angewandte Messtechnik und Energiebilanzerstellung.....	6
3	Untersuchungen in den Wäschereien	8
3.1	Durchführungsbeschreibung.....	8
3.2	Durchführung der IST-Analyse	9
3.2.1	Allgemeine Beschreibung.....	9
3.2.2	Erfassung der Energie- und Stoffströme	12
3.2.2.1	Wäscheströme	12
3.2.2.2	Wassereinsatz.....	13
3.2.2.3	Wärmeerzeugung.....	14
3.2.2.4	Druckluft.....	16
3.2.2.5	Elektrische Energie	16
3.2.3	Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien ...	17
3.2.3.1	Charakterisierung Wasserqualitäten.....	17
3.2.3.2	Erfassung der Wascheffekte.....	17
3.2.3.3	Erfassung der Trocknungseffekte.....	19
3.2.3.4	Bestimmung der Textilrestfeuchte	19
3.2.3.5	Bestimmung der Textileffekte.....	19
4	Ergebnisse des Betriebs für Bewohnerwäsche.....	20
4.1	Allgemeine Daten der Wäscherei für Bewohnerwäsche.....	20
4.2	IST-Analyse Bewohnerwäsche	23
4.2.1	Energie- und Stoffströme.....	23
4.2.1.1	Wäscheströme	23
4.2.1.2	Wassereinsatz.....	25
4.2.1.3	Wärmeerzeugung.....	26
4.2.1.4	Elektrische Energie	36
4.2.2	Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien ...	39
4.2.2.1	Wasserqualitäten	39
4.2.2.2	Wascheffekte	40
4.2.3	Schmutzentfernung	45
4.2.4	Sekundärwascheffekte und Spülwirkung	48
4.2.5	Trocknungseffekte.....	49
4.2.5.1	Mangeln.....	49
4.2.5.2	Trocknen im Tumbler	50
4.2.5.3	Endtrocknen und Glätten im Tunnelfinisher.....	50
4.3	Optimierungsvorschläge Bewohnerwäsche.....	50
4.3.1	Dampferzeugung	50
4.3.2	Dampfnetz	51
4.3.3	Druckluftherzeugung und –verteilung.....	52
4.3.4	Organisatorische Maßnahmen (übergreifend über alle Prozesse).....	52

4.3.5	Sonstige Vorschläge zur Energiebedarfssenkung.....	52
4.4	Nachmessung Bewohnerwäsche	57
4.4.1	Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen	57
4.4.2	Ergebnisse der Nachmessung.....	58
4.4.2.1	Dampferzeugung	59
4.4.2.2	Drucklufterzeugung.....	61
4.5	Zusammenfassung Wäscherei für Bewohnerwäsche	62
5	Ergebnisse der Wäscherei für Berufsbekleidung.....	65
5.1	Allgemeine Daten der Wäscherei	65
5.2	IST-Analyse Berufsbekleidung	69
5.2.1	Energie- und Stoffströme.....	69
5.2.1.1	Wäscheströme	69
5.2.1.2	Wassereinsatz.....	71
5.2.1.3	Wärmeerzeugung.....	78
5.2.1.4	Elektrische Energie	88
5.2.2	Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien ...	93
5.2.2.1	Wasserqualitäten	93
5.2.2.2	Wascheffekte	94
5.2.3	Schmutzentfernung	98
5.2.4	Sekundärwascheffekte und Spülwirkung	100
5.2.5	Trocknungseffekte.....	104
5.2.5.1	Tunnelfinisher.....	104
5.2.5.2	Tumbler	105
5.3	Optimierungsvorschläge Berufsbekleidung.....	105
5.3.1	Dampferzeugung	105
5.3.2	Dampfverteilung	106
5.3.3	Drucklufterzeugung und –verteilung.....	106
5.3.4	Organisatorische Maßnahmen (übergreifend über alle Prozesse).....	107
5.4	Nachmessung Berufsbekleidung	109
5.4.1	Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen	109
5.4.2	Ergebnisse der Nachmessung.....	109
5.4.2.1	Druckluft.....	109
5.4.2.2	Waschschleudermaschine für Kleinteile.....	110
5.5	Zusammenfassung Wäscherei für Berufsbekleidung.....	111
6	Ergebnisse des Betriebs für Krankenhauswäsche	113
6.1	Allgemeine Daten der Wäscherei	113
6.2	IST-Analyse der Wäscherei für Krankenhauswäsche	119
6.2.1	Erfassen der Energie- und Stoffströme	119
6.2.1.1	Wäscheströme	119
6.2.1.2	Wassereinsatz.....	122
6.2.1.3	Wärmeerzeugung.....	123
6.2.1.4	Elektrische Energie	132
6.2.2	Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien .	136
6.2.2.1	Wasserqualitäten	136

6.2.2.2	Wascheffekte	138
6.2.3	Schmutzentfernung	142
6.2.4	Sekundärwascheffekte und Spülwirkung	144
6.2.5	Trocknungseffekte.....	147
6.2.5.1	Mangeln.....	147
6.2.5.2	Trocknen im Tumbler	148
6.2.5.3	Endtrocknen und Glätten im Tunnelfinisher.....	148
6.3	Optimierungsvorschläge Krankenhauswäsche.....	149
6.3.1	Dampferzeugung	149
6.3.2	Dampfverteilung	150
6.3.3	Druckluftherzeugung und -verteilung	150
6.4	Nachmessung Krankenhauswäsche.....	156
6.4.1	Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen	156
6.4.2	Ergebnisse der Nachmessung.....	156
6.4.2.1	Dampferzeugung	157
6.4.2.2	Druckluftuntersuchung	157
6.4.3	Abwärmennutzung im neuen Trockenraum.....	158
6.5	Zusammenfassung Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	159
7	Untersuchung Hotelwäsche.....	163
7.1	Allgemeine Daten.....	163
7.2	IST-Analyse Hotelwäsche	167
7.2.1	Energie- und Stoffströme.....	167
7.2.1.1	Wäscheströme	167
7.2.1.2	Wassereinsatz.....	167
7.2.1.3	Wärmeerzeugung.....	170
7.2.1.4	Elektrische Energie	179
7.2.1.5	Druckluft.....	181
7.2.2	Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien	182
7.2.2.1	Wasserqualitäten	182
7.2.2.2	Wascheffekte	184
7.2.3	Schmutzentfernung	189
7.2.4	Sekundärwascheffekte und Spülwirkung	192
7.2.5	Trocknungseffekte.....	193
7.2.5.1	Mangeln.....	193
7.2.5.2	Trocknen im Tumbler	194
7.3	Optimierungsvorschläge Hotelwäsche	194
7.3.1	Dampferzeugung	195
7.3.2	Dampfverteilung	196
7.3.3	Druckluftherzeugung und –verteilung.....	196
7.3.4	Organisatorische Maßnahmen.....	196
7.4	Nachmessung Hotelwäsche	199
7.5	Zusammenfassung Wäscherei für Hotelwäsche	200
8	Zusammenfassung der Verbrauchskennwerte.....	201
8.1	Elektrische Energie	201
8.2	Wasserverbrauch.....	203

8.3	Wärmeenergie.....	204
8.4	Pinchanalyse.....	206
9	Bewertung der Ergebnisse und Folgerungen für die Praxis	215
9.1	Bedeutung der Wäschereistruktur	215
9.2	Ganzheitliche Betrachtung von Wäschereien.....	218
9.2.1	Energiedatenmanagement	218
9.2.2	Effizienter Energieeinsatz	220
9.2.3	Abwärmennutzung.....	220
9.2.3.1	Prozessintegrierte Nutzung	220
9.2.3.2	Abwärmennutzung über Prozessgrenzen.....	221
9.2.3.3	Einsatz von Wärmepumpentechnologie	221
9.2.3.4	Einsatz von Solartechnologie.....	223
9.3	Folgerungen für die Praxis	227
9.3.1	Handlungsempfehlungen für Wäschereien	227
9.3.1.1	Datenmanagement.....	227
9.3.1.2	Wäschereientwicklungsplan.....	227
9.3.2	Handlungsempfehlungen für Hersteller	231
9.3.2.1	Energiedatenmanagement	231
9.3.2.2	Maßnahmen an Maschinen und Anlagen	231
9.3.2.3	Maßnahmen zur Optimierung der Betriebs- und Prozessabläufe	233
9.3.2.4	Ganzheitliche Lösungsansätze.....	233
9.3.3	Handlungsempfehlungen für Verbände / DTV	236
9.4	Analysetool zur schnellen Optimierungsrechnung.....	236
9.5	Oekobench - Online-Tool zum Vergleich von Wäschereien	241
9.5.1	Registrierung	241
9.5.2	Datenerfassung	241
9.5.3	Datenauswertung.....	243
9.6	Ausblick	249
10	Danksagung	252
11	Literaturverzeichnis.....	253
12	Tabellenverzeichnis.....	254
13	Abbildungsverzeichnis.....	257
14	Anhang	262

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 10 %, der Wasserkostenanteil bis zu 5 % betragen, wobei der Wasserverbrauch 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 3,0 bis 6 l/kg. Während Wasser im Wesentlichen für das Waschen und zu geringerem Anteil für die Dampfkesselspeisewasserbereitstellung (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 Auswirkungen 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 (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 würde die Umsetzung entsprechender Maßnahmen in den Wäschereibetrieben erleichtern.

In Phase I des Projekts wurde in einem bestehenden Betrieb Modelluntersuchungen (IST-Analyse, Erarbeitung von Einsparungsmöglichkeiten, Umsetzung der Maßnahmen in die Betriebe, Ermittlung des Einsparungspotenzials) durchgeführt, die exemplarisch im Pilotbetrieb erreichte Einsparungen aufzeigen. Da mögliche Einsparmaßnahmen von der Art der behan-

delten Wäsche bzw. der Struktur des Wäschereibetriebes bestimmt werden, wurde im Pilotbetrieb der Projektphase I die Bearbeitung von Schmutzfangmatten, Handtuchrollen und Feuchtwischbezügen untersucht.

In Phase II wurden weitere 4 Wäschereien untersucht, die sich bezüglich Wäshedurchsatz, Textilarten, Spezialisierung, aber auch Arbeitszeiten vom Pilotbetrieb in Phase I unterscheiden. Die unterschiedlichen Wäschearten waren:

- Bewohnerwäsche
- Krankenhaustextilien
- Hotelwäsche
- Berufsbekleidung

Im Gegensatz zur klaren Begrenzung auf drei Wäschearten in Phase I wurden in Phase II bei der Mehrheit der Wäschereien neben der jeweiligen Haupttextilart auch andere Wäschearten gewaschen.

Da sich Energieeinsparmaßnahmen negativ auf die Waschqualität und das Finish auswirken können, wurden zur Gewährleistung der Waschperformance Untersuchungen zur Erfassung der Primär- und Sekundärwascheffekte, der Finishqualität, sowie zur Einhaltung der Abwasserteinleitbedingungen vorgenommen. Darauf basierend sollten 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 Wäschereien 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 in der Regel zwischen 15 und 25 l/kg, für spezielle Anwendungen um 3,0 bis 6 l/kg. Während Wasser im Wesentlichen für das Waschen und zu geringerem Anteil für die Dampfkesselspeisewasserbereitstellung (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 (2).

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. 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 gasbefeuelten Kesseln, vereinzelt auch Holzpellet-Beheizung, erzeugt wird.

In der Mehrheit der Wäschereien wird nach wie vor keine Abwärme aus den Abluft produzierenden Prozessen zurückgewonnen. Wärmeverluste bei der Dampfverteilung in der Wäscherei, ungünstige Dampfkesselwirkungsgrade in Verbindung mit erheblich überdimensionierten Feuerungsleistungen, eine geringe Auslastung der Wäschereimaschinen und niedrige Wärmewirkungsgrade der Maschinen (z.B. Mangel oder Trockner um 30 %) führen zu hohen Primärenergieverbräuchen mit der Folge hoher Kosten und Emissionen.

Beim **Waschen** konzentrieren sich Einsparungsmaßnahmen einerseits auf eine Wasserverbrauchsreduktion und damit verbundene Energieeinsparungen sowie durch reduzierte Wassertemperatur (Niedrigtemperaturwaschverfahren) 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 (direkte Nutzung Klarwaschwasser aus dem Waschprozessen mit geringer Verschmutzung für Klarwäsche mit stärkerer Verschmutzung) wiederverwendet (Pressen- und Spülwasser für Vorwäsche und Klarwäsche) und/oder über Wärmetauscher zur Erwärmung des Frischwassers eingesetzt. Folge ist ein geringerer Wärmebedarf aufgrund des höheren Temperaturniveaus oder eine geringere zu erwärmende Wassermenge. Gleichzeitig bewirken höhere Spülbadtemperaturen bzw. Wassertemperaturen im Waschgut eine geringere Feuchte bei der mechanischen Entwässerung mit dem Vorteil geringeren Energiebedarfs für das nachfolgende Trocknen. Zur Nutzung des Wärmeinhalts von Abluft von Waschmaschine (Wrasen),

Finisher, 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“ wird die Zufuhr von Energie in die einzelnen Prozesse durch Optimierung verringert und durch Substitution der noch vorhandene Anteil des ursprünglichen Energiebedarfs durch andere, dampffreie Methoden ersetzt.

Durch Verzicht auf einen Dampfkessel in der „dampflosen Wäscherei“ werden der hohe Wartungs- und Prüfaufwand sowie der Platzbedarf für die Dampferzeugung und die dazugehörigen Nebenprozesse eingespart. Der verbleibende Dampfbedarf – zum Beispiel für Finishprozesse - wird lokal an der Maschine erzeugt, Verluste durch Dampfverteilung werden stark reduziert und Verluste aus der Kondensatsammlung und -rückführung entfallen.

Die Reduzierung von Wärme beim Waschen beruht auf folgenden Methoden:

- Absenkung Temperaturniveau durch Verwendung geeigneter Waschchemie
- Niedrige Flottenverhältnisse und erhöhte Mechanik
- Niedertemperaturbeheizung von Tanks (als Ersatz von Frischdampf)
- Wasserrückgewinnung
- Abwasserwärmerückgewinnung

Die restliche Wärme kann entweder durch Zufuhr von zentral erwärmtem Frischwasser, durch Wärmebereitstellung mittels Heizungswarmwasser (Zentralheizung) oder durch einen Waschanlagen eigenen, meist gasbeheizten Warmwasserkessel erfolgen. Bei kleineren Wäschereien mit kleineren und wenigen Waschmaschinen kann alternativ auch eine direkte Beheizung (eingebauter Erdgasbrenner) vorteilhaft sein.

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 eine verbesserte Luftführung im Trockner mit der Möglichkeit einer feuchtigkeitsabhängigen Wiederverwendung der Prozessluft auf. Zusätzliche Energiesparmaßnahmen bei Mangeln beziehen sich auf Maschienenisolierung, 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 den Druckluftbedarf angepasste Kompressoren zu nennen.

Die Trocknungs- und Finishprozesse lassen sich ebenfalls mit deutlich weniger oder sogar ohne Dampfeinsatz realisieren:

- Direkt mit Erdgas beheizte Wäschetrockner
- Direkt mit Erdgas beheizte Mangeln (in Kleinbetrieben, bis 1.200 mm Walzendurchmesser, 3.300 mm Walzenbreite)
- Indirekt mit Erdgas (Thermoöl) beheizte Mangeln
- Tunnelfinisher mit eigener Dampferzeugung (Erdgas bzw. Elektrisch)
- Dämpfpuppen und Sonderbehandlungen mit dezentraler Dampferzeugung (einzeln oder mit Gruppen-Kleindampferzeuger)

In einem 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 Waschscheudermaschinenwassers (diskontinuierlicher Wasserzulauf) eingesetzt wird (3). Ob dieses Konzept auf andere Wäschereien bzw. andere Wäschearten übertragbar ist, kann an dieser

Stelle nicht beantwortet werden, weil 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 üblicherweise aufgetretene Waschtorniveau-erhöhung und nur nach Mehrfachbehandlungen feststellbare Textilschädigung (siehe auch **Kapitel 2.3**) nicht überprüft. Schließlich fehlen Angaben über die veränderten Abwassereintrittstemperaturen.

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 Optimierungsmaßnahmen 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. Verringerter *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
- Erhöhte Vergrauung (Folge: erhöhter Waschmitteleinsatz zur Kompensation) aufgrund unzureichender Flottenströmung und intensiven Reibvorgängen zwischen Textilien und Trommelwand

Verringerter *Spülwasserverbrauch* bewirkt eine unzureichende Spülwirkung wobei eine verlängerte Spüldauer aufgrund verringerten Maschinendurchsatzes unwirtschaftlich ist. Die vor kurzem entwickelte „Spülschleudertechnik“ mit erzwungener Flottenströmung während der mechanischen Entwässerung mit etwas geringerem Wasserverbrauch ist sehr umstritten.

Die Verwendung verringerter *Waschtemperaturen* bewirkt:

- Unzureichende Wascheffekte und
- Verringerte Keimreduktion.

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

Auch den bei *energiesparenden Waschverfahren* (Temperaturen 40 bis 60 °C) zur Erzielung ausreichender Waschwirkung eingesetzten speziellen oxidativ wirkenden Bleich- und Desinfektionssystemen sowie Enzymen sind Grenzen gesetzt. Bleichmittel in 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 Qualität 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 und kritischen 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, zum Beispiel erreicht durch Wärmeaustausch von Abwasser auf Frischwasser, verursachen verstärkte Knitterbildung synthefaserhaltiger 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 Angewandte Messtechnik und 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 untersucht werden. Die dabei gewonnenen Ergebnisse lassen sich dann auf gleichartige bzw. ähnlich strukturierte Betriebe übertragen.

Eine mögliche Einführung energiesparender Technologien und Verfahren lässt sich mit Simulations- oder Berechnungsmodellen vor evtl. kostenintensiver Installation überprüfen. Hierzu

existieren bisher keine „wäschereispezifischen“ Software-Programme, da deren Entwicklung sehr aufwändig ist. Trotz vorhandener Software, zum Beispiel aus dem Facility-Management-Bereich, sind hier umfangreiche Anpassungsarbeiten erforderlich. Dies gilt beispielsweise für Software von SolidSim und Aspen Technology Inc., die hinsichtlich des Einsatzes in Wäschereien angepasst werden müssten. 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 unter anderem untersucht werden, in welchem Ausmaß in den Waschstraßen nicht mehr nutzbare Energie anderweitig eingesetzt werden kann. Eine mögliche Abwärmenutzung aus Abwasser stellt die Gebäudeheizung dar. 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.

3 Untersuchungen in den Wäschereien

3.1 Durchführungsbeschreibung

Aus den Erfahrungen der Messungen im Pilotbetrieb der Phase I wurde ein weitgehend standardisiertes Vorgehen für die Erfassung der 4 untersuchten Wäschereien in Phase II angewendet.

Dazu wurden in allen vier untersuchten Wäschereien folgende Arbeitsschritte zur Erarbeitung der ganzheitlichen Bewertung zur Energie- und Wassereinsparung durchgeführt:

- A.** Vorbereitungsarbeiten, Grobanalyse
- B.** IST-Analyse in Wäschereibetrieb mit Ermittlung von theoretischen Potenzialen zur Einsparung von Ressourcen
- C.** Erarbeitung technischer Energieeinsparungsmöglichkeiten
- D.** Transfer der Lösungsansätze in Wäscherei
- E.** Untersuchung realisierbares Einsparungspotenzial
- F.** Erarbeitung von Ansätzen für ganzheitliche Bewertung

Die Arbeitsschritte beinhalteten die nachfolgenden Tätigkeiten:

A. *Erstbegehung und Grobanalyse des Betriebs*

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 (Schmutz-Monitore, Prüfgewebe zur Bestimmung von Vergrauung, Textilschädigung), der Spülwirkung und der Textileigenschaften nach Mangel- und Trocknungsbehandlungen.

B. *IST-Analyse im Betrieb mit Ermittlung von theoretischen Potenzialen zur Einsparung von Ressourcen*

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. Für die eingesetzten Wasch-, Trocken- und Finishprozesse werden theoretische Einsparpotenziale ermittelt.

C. *Erarbeitung technischer Möglichkeiten zur Energieeinsparung*

Aufzeigen geeigneter Lösungsvorschläge zur Einsparung von Wasser und Energie anhand der ermittelten Daten, Diskussion der erarbeiteten Lösungsvorschläge mit dem Wäschereibetrieb, Festlegung geeigneter Lösungsansätze bei gleichbleibender oder verbesserter Waschperformance.

D. Transfer der Lösungsansätze in die Wäscherei

Vorstellung der ermittelten Energie-Einsparpotenziale in der Wäscherei und Vorstellung der möglichen Lösungen zur Prozessoptimierung und Nutzung vorhandener Abwärmepotenziale.

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 Einsparpotenzials

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 und Erarbeitung von Maßnahmen, Technologien und Kennwerte für die Einsparung von Ressourcen.

Bei der Erstbegehung erfolgte eine Aufnahme der wesentlichen Daten einer Wäscherei. Dabei wurden neben Digitalfotos des Betriebs, der Anlagen und deren Typenschilder aufgenommen und zusätzlich durch Befragung der Wäschereileitung Betriebsdaten erfasst, die für die messtechnische Erfassung und Bilanzierung nötig sind.

3.2 Durchführung der IST-Analyse**3.2.1 Allgemeine Beschreibung**

Die IST-Analyse erfolgte nach der Erstbegehung. Sie dient 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.

Die meisten Wäschereien verfügen nur über eine geringe Anzahl an Verbrauchszählern. In der Regel sind dies die Einspeisepunkte von Energie- und Medienversorgern sowie die von Herstellern eingebauten Zählwerke größerer Anlagen. Typisches Beispiel für Unterzähler sind die stets vorhandenen Wasseruhren für Frischwasser an Waschstraßen. Die Aufteilung Energie- und Medienströme des Gesamtbetriebs auf die Einzelprozesse erfolgen durch

- Die manuelle oder automatisierte Datenerfassung von vorhandenen Zählwerken,
- Messung von Strömungsgeschwindigkeiten mit messgeräteinterner Umrechnung auf Volumenströme oder thermische Leistungen (z.B. Clamp-on-Ultraschallmessung)

- Umrechnung von physikalischen Größen und erfassten Betriebszuständen in Energiemengen

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.

Die Messdauer wurde so gewählt, dass eine Aussage über mittlere Leistungen an einem durchschnittlichen Prozesstag möglich ist. Je nach Wichtigkeit einer Messgröße und der Verfügbarkeit von Sensoren wurde die Messdauer zwischen ca. 20 Minuten und mehreren Tagen differenziert. Einfache Sensoren, wie Thermoelemente, die zahlreich vorhanden sind, können zur Ermittlung der mittleren Postenanzahl in einem Trockner über Tage eingesetzt werden, während teure und mit mehr Personalaufwand einzusetzende Sensoren, z.B. für Strömungsgeschwindigkeitsmessungen (Clamp-On-Ultraschallsensoren) nur kurzzeitig eingesetzt werden können. Handmessgeräte wie Anemometer wurden für punktuelle Momentaufnahmen eingesetzt.

Zum Einsatz kamen Temperatur- und Feuchtesensoren, Flügelrad- und Hitzdrahtanemometer für Gase, Ultraschallmessgeräte für Strömungsgeschwindigkeiten von Flüssigkeiten, Infrarot- und Digitalkameras. Die meisten Daten wurden mit dem bereits in Phase I eingesetzten Eltek Datenloggersystem und den eingebundenen Funktransmittern erfasst und aufgezeichnet.

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

Tabelle 1: Eingesetzte Messgeräte

Hersteller	Typ	Messgröße/-verfahren	Messbereich	Genauigkeit
Fluke	Ti55	Wärmebildkamera / Infrarotmessung	- 20 °C bis +100 °C -20 °C bis +350 °C +250 °C bis 600 °C	± 2 °C oder ± 2 %
Flir	i7	Wärmebildkamera / Infrarotmessung	-20 °C bis +250 °C	Thermische Empfindlichkeit 0,10 °C, ± 2 °C oder ± 2 %
Ultraflux	UF 801-P	Clamp-on- Ultraschallmessgerät 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 %
Flexim	Fluxus 601F	Clamp-on-Ultraschallmessgerät Durchfluss Temperatur, Leistung	für Rohrdurchmesser 10 mm bis 400 mm abhängig vom eingesetzten Sensor PT100/PT1000 Sensor und der Leiterschaltung 2/4)	typische Messgenauigkeit laut Hersteller ± 0,5 %

Hersteller	Typ	Messgröße/-verfahren	Messbereich	Genauigkeit
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, in Verbindung mit Prandtl-Staurohr zur Ermittlung der Luftgeschwindigkeit	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	
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 ± 1 °C Rest t _{abw} = ± 1,5 °C oder 1,5 % der Anzeige (größerer Wert)
Fluke	1735	3-Phasen-Leistungsmessgerät Spannung, Strom, Schein-, Wirk- und Blindleistung	Abhängig von der Messschaltung und dem eingesetzten Messzubehör (siehe Datenblatt)	Abhängig von der Messschaltung und dem eingesetzten Messzubehör (siehe Datenblatt)
Gossen Metrawatt – Camille Bauer	Metra Hit 18s mit SI232 Speicher- und Übertragungskopf	Spannung, Strom, Widerstand, Kapazität	0 bis 1000 V, 0 bis 10 A, 0 bis 30 MΩ, 0 bis 10000 μF	vom gewählten Messbereich und der Abtastgeschwindigkeit abhängig (siehe Datenblatt).
Vaisala	HMP 233	Temperatur Feuchte	- 40 °C bis + 80 °C 0 % RH bis 100 % RH	- 60 °C bis 0 °C t _{abw} = ± (0,4 + 0,028*t) 0 °C bis 250 °C t _{abw} = ± (0,4+0,007*t) 0 bis 90 % relative Feuchte Abweichung = ± 2 % bei rel. F. 90 bis 100 % RH Abweichung = ± 3 %
TFA Dostmann	Profi-Thermo-Hygrometer mit Datenlogger / Klima Logger und zusätzliche Funksensoren	Lufttemperatur , Luftfeuchte	Temperatur: 0 bis + 60 °C, Funksensor: - 30 bis +70 °C Rel. Feuchte: 1 - 99 %, Funksensor 1 - 99 %	Temp.: ± 1 °C Relative Feuchte: ± 3 % bis ± 5 % v. MW (siehe Datenblatt)
Eltek Datenlogger	GenII	Funkdatenlogger und Empfänger RX250 Temperaturtransmitter GD 24 Hochtemperaturtransmitter GD24H Strom-Spannungstransmitter GS44	-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 % relative Feuchte

Hersteller	Typ	Messgröße/-verfahren	Messbereich	Genauigkeit
		Temperatur-Feuchtetransmitter GD13E Impulsmessung		
Fujitsu-Siemens / Loglink	Notebook + Webcam	Getaktete Digitalfotografie mit Software „camstream“ zur Aufnahme von Zählerwerten	Messbereich entsprechend der aufgenommenen Zähler	Messwerte entsprechend der aufgenommenen Zähler, Taktgenauigkeit: k. A.

Tabelle 2: Eingesetzte Sensoren

Hersteller	Typ	Messverfahren	Messbereich	Genauigkeit
B&B	Temperatur-Fühler K-Typ Tauchfühler Ø 3 mm	Temperatursensor	- 50 °C bis + 1150 °C	± 1,5 K zwischen - 40 °C und 375 °C ± 0,004 K×T zwischen 375 °C und 1000 °C Toleranzklasse 1 nach IEC 584
B&B	Thermoelement Typ K Ø 1,5 mm	Mantelthermoelement	- 100 °C bis + 1000 °C	± 1,5 K zwischen - 40 °C und 375 °C ± 0,004 K×T zwischen 375 °C und 1000 °C Toleranzklasse 1 nach IEC 584
Sensirion	SHT75 Kombisensor	Halbleitersensor: Temperatur: PT100-Widerstandsmessung Rel. Feuchte: kapazitives Messverfahren, Kommunikation über 2-Wire-Protokoll	0 - 100 % rel. Feuchte - 40 bis 125 °C, Nutzbarer Bereich bis 120 °C (Funktransmitter)	Genauigkeit Sensor: ± 0,3 °C ± 1,8 % rel. Feuchte Siehe Datenblatt
Schmidt	SS 20.260	Heißfilmsonde zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit	0,2 bis 40 m/s	± 5 % vom Messwert + 0,4 % v. Endwert; min. 0,02 m/s

3.2.2 Erfassung der Energie- und Stoffströme

Zur Ermittlung der Stoff- und Energieströme wurde versucht, ein standardisiertes Verfahren umzusetzen. Diese Verfahren sind in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

Die davon abweichenden Messverfahren aufgrund der individuellen Gegebenheiten, wie fehlende Zähler, Nutzung verschiedener Wasserqualitäten etc. werden in den einzelnen Kapiteln der Wäschearten (Wäschereien) behandelt.

3.2.2.1 Wäscheströme

Zur Erfassung der in den Teilprozessen behandelten Wäsche wurden verschiedene Verfahren angewendet:

- Mehrere Bildaufnahmen vom Bedientableau der Waschstraße, aus denen die Angabe des Postengewichts und des Waschprogramms je Posten hervorgeht und einen Zeitstempel des Aufnahmezeitpunkt des Bildes enthält
- Manuelle Wäschemengenerfassung an jeder Waschscheudermaschine mit Angaben zur Anzahl der gewaschenen Posten, auszufüllen durch die Mitarbeiter der Wäscherei
- Aufzeichnungen der Wäschereien, meistens Jahres- und Monatslisten
- Bei Tunnelfinishern manuelle Erfassung des Wäschedurchsatzes mit Stückzahlerfassung

Die Erfassung der Wäscheströme ist personalintensiv, wenn nicht auf automatisierte Verfahren zurückgegriffen werden kann. Bei den Mangeln und Tunnelfinishern werden, wenn überhaupt, regelmäßig nur Stückzahlen und ggfs. Textilklassen (klein, mittel, groß) erfasst, aus denen der Durchsatz berechnet werden kann.

3.2.2.2 Wassereinsatz

In den Wäschereien wurden die verschiedenen Wasserströme erfasst. Neben den vorhandenen Zählern für Trinkwasser des örtlichen Wasserversorgers verfügen die meisten Wäschereien über interne Zählleinrichtungen für die Waschstraßen. Nur in Einzelfällen sind weitere Zählleinrichtungen vorhanden, zum Beispiel für Waschschleudermaschinen oder für andere Wasserarten, zum Beispiel aufbereitetes Wasser, Brunnenwasser oder Regenwasser. Zur Erfassung der Wasserdurchsätze an Anlagen ohne wäschereiinterne Zählleinrichtung wurde über mehrere Stunden, meistens an mehreren Messtagen, mit einem Clamp-on-Ultraschallmessgerät der Volumenstrom gemessen. Zur Erfassung von Wärmemengen, wie das typisch an Waschstraßen mit Abwasserwärmetauschern der Fall ist, wurden zusätzlich die Wassertemperaturen vor und nach dem Wärmetauscher gemessen und aufgezeichnet. **Abbildung 1** zeigt eine Clamp-on-Ultraschallmessung mit gleichzeitiger Messung der Temperaturen des Frischwassers vor und nach einem Abwasserwärmetauschers an einer Waschstraße.



Abbildung 1: Wasserverbrauchsmessung an einer Waschstraße mit Abwasserwärmetauscher

In der Regel wurde der Gesamttrinkwasserverbrauch auf folgende Untermengen aufgeteilt und durch Messungen quantifiziert:

- Trinkwasser
 - Weichwasser
 - Waschstraße
 - Waschschleudermaschinen (Weichwasser)
 - Speisewasser Dampferzeugung
 - Waschschleudermaschinen (nicht enthärtetes Trinkwasser)
 - Sonstige Verbraucher

In den meisten Wäschereien verfügen Waschstraßen nur über einen Weichwasseranschluss, während die meisten Waschsleudermaschinen über 2 oder mehr Wasseranschlüsse verfügen. In der Regel wird dabei ein Anschluss für Weichwasser – also enthärtetes Trinkwasser – und ein Anschluss für normales Trinkwasser genutzt. So kann für eine bessere Spülwirkung mit hartem Trinkwasser und für eine bessere Waschwirkung mit Weichwasser gewaschen werden.

3.2.2.3 Wärmeerzeugung

Die Wärmeerzeugung kann unterschieden werden in:

- Gebäudeheizung
- Prozesswärmeerzeugung
 - Direkte Erdgasbeheizung in der wäschereitechnischen Anlage
 - Umwandlung von Erdgas in Dampf (zur indirekten Beheizung)

Die Ermittlung des Heizenergiebedarfs für die Gebäude erfolgte mit unterschiedlichen Methoden und war nur dort möglich, wo Heizanlagen vorhanden und in Betrieb waren. Aufgrund dieser sehr individuellen Situationen wird auf die Beschreibungen in den jeweiligen Kapiteln der Wäschereien verwiesen.

Die Zuordnung der Energiemengen auf die verschiedenen Prozesse bei Erdgas und Dampf variiert je nach Wäscherei. Die Wäschereien verfügen über mindestens einen Erdgas- oder Ölzähler. Die weitere Aufteilung der Verbräuche erfolgt bei Anlagen mit Gasversorgung durch die vorhandene Zählerstruktur:

- Einzelzähler am Gerät, z.B. Tunnelfinisher, erdgasbeheizter Trockner
- Gruppenverbrauchszähler für mehrere Geräte

Bei Erfassung der Energiemengen mit Gruppenverbrauchszählern erfolgte die weitere Aufteilung auf Basis der energetischen Bilanzierung der Einzelgeräte.

Da in keiner Wäscherei Zähler für den Dampfmengenverbrauch vorhanden waren, wurde analog zu den zählerlosen Gasverbrauchern der Bezug der Dampfmenge auf die Einzelanlagen durch energetische Bilanzierung der Anlagen ermittelt. Soweit Zähler vorhanden oder die Möglichkeit zur Volumenstrommessung gegeben war, wurde die nachgefüllte Speisewassermenge zur Kontrolle der Verbraucher mit Frischdampfeinsatz herangezogen.

Die Ermittlung der erzeugten Dampfmenge erfolgte bei allen Wäschereien über die Bilanzierung der Dampfkessel:

- Messung des Abgasverlustes über Abgasmessung
 - bei zweistufigen Brennern in den beiden Brennerstufen
 - bei modulierenden Brennern an mehreren Betriebspunkten
- Ermittlung der Oberflächenverluste über mittlere Oberflächentemperaturen an Teilflächen mittels Temperaturmessung an mehreren Punkten und durch zusätzliche Thermografie der Oberfläche. Zur Vermeidung von stark abweichenden Emissionsfaktoren wurden Oberflächen aus blankem Metall mit schwarzem Klebeband beklebt.
- Ermittlung der mittleren Brennerleistung:
 - Zweistufige Brenner:
 - Messung des Brennstoffdurchsatzes in beiden Brennerstufen
 - Ermittlung der Betriebsdauer in den beiden Stufen durch Spannungsmessung an den Gasventilen und Aufzeichnung mittels Datenlogger. Die Summe der Zeiten mit anliegender Spannung entspricht der Öffnungsdauer der Gasventile.

- Modulierender Brenner:
 - Messung des Brennstoffdurchsatzes über mehrere Tage
 - Ermittlung der mittleren Leistung über die Formel:

$$\dot{Q}_{F,mittel} = \frac{BA_{Brennstoff} * H_{Brennstoff}}{T_{Mess}}$$

mit

$BA_{Brennstoff}$: gemessener Brennstoffmenge
während T_{mess} [l bzw. m³]

$H_{Brennstoff}$: unterer Heizwert
des eingesetzten Brennstoffs [kWh/l bzw. kWh/m³]

T_{mess} : Dauer der Messung in Stunden

- Ermittlung des mittleren Abgasverlustes:
 - Eigene oder vorhandene Abgasmessungen:
 - Zweistufiger Brenner: je eine Messung in beiden Stufen
 - Modulierender Brenner: Messungen an mehreren Betriebspunkten
 - Berechnung des Abgasverlusts durch Abgasmessgerät oder durch Berechnung nach geänderte Siegertsche Formel nach BlmSchV:

$$q_A = (T_{Abgas} - T_{Verbrennungsluft}) * \left(\frac{A1}{CO_2} + B \right)$$

mit

q_A = Abgasverlust [%]

T_{Abgas} = Abgastemperatur [°C]

$T_{Verbrennungsluft}$ = Verbrennungslufttemperatur [°C]

CO_2 = Kohlendioxidgehalt im Abgas [Vol- %]

$A1$ = Brennstoffparameter nach Siegert (0,37 bei Erdgas)

B = Brennstoffparameter nach Siegert (0,009 bei Erdgas)

- Gewichtung des Abgasverlusts nach der Betriebszeit der Brennerstufen bei zweistufigen Brennern (siehe **Abbildung 2**)
- Gewichtung des Abgasverlusts über Mittelwertbildung von mehreren Betriebspunkten bei modulierenden Brennern

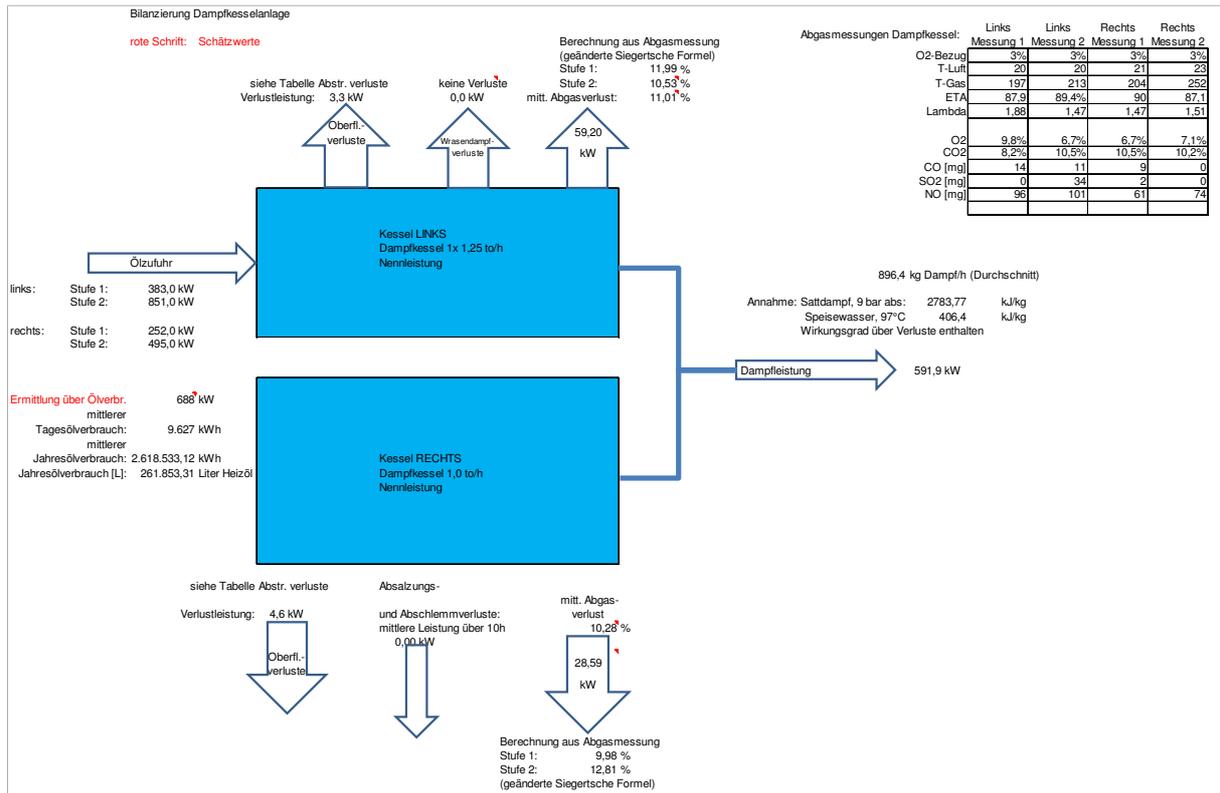


Abbildung 2: Beispielbilanzierung Dampfkessel

3.2.2.4 Druckluft

Die Ermittlung des Anlageverhaltens der Druckluftherzeugung wurde mit Hilfe von zwei Verfahren durchgeführt:

- Auswertung Druckluftmanager: Die meisten Druckluftanlagen verfügen über eine übergeordnete Steuerung, die neben der Zu- und Abschaltung der Kompressoren auch Daten über Netzdruck, Schaltzeiten und aus den Betriebsdaten abgeleitete Energieverbräuche ausweisen.
- Messung Netzdruck am letzten Verbraucher: Mittels Drucksensor wurde in den meisten Wäschereien der Druckverlauf über die Zeit gemessen. Aus der Abweichung zwischen Druck am Kompressor und Druck am letzten Verbraucher kann eine Aussage über den Druckverlust und letztlich die Qualität des Druckluftnetzes getroffen werden.

3.2.2.5 Elektrische Energie

Die elektrische Energie hat in den Wäschereien einen deutlich geringeren Stellenwert gegenüber der Wärme. Deshalb wurde eine Berechnung der Verbräuche über die Nennleistungen der größten Verbraucher und den abgeschätzten jährlichen Betriebsstunden durchgeführt. Die vereinfachte Struktur der Verbraucher in den Wäschereien sieht wie folgt aus:

- Waschstraße + Waschschleudermaschinen
- Mangel
- Trockner
- Druckluftherzeugung
- Beleuchtung
- Sonstige Verbraucher

Eine Plausibilitätsprüfung konnte mittels der vorhandenen Stromabrechnungen der Wäschereien durchgeführt werden.

3.2.3 Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien

3.2.3.1 Charakterisierung Wasserqualitäten

Zur Charakterisierung der verwendeten Wässer wurde in jedem Betrieb das zum Waschen eingesetzte Frischwasser untersucht. Die Prozesswässer der Waschstraßen und Waschmaschinen wurden ebenfalls wo eben möglich entnommen und analysiert.

Dabei 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 ebenfalls von den jeweiligen Abwassersenkten Proben entnommen und analysiert.

3.2.3.2 Erfassung der Wascheffekte

Zur Ermittlung der Schmutzentfernung wurden handelsübliche Schmutzgewebe eingesetzt (**Abbildung 3**). Diese bestehen aus einem Trägergewebe, auf dem 13 verschiedene Lämpchen mit unterschiedlichen Verschmutzungen fixiert sind.

<table border="1"> <tr> <td>10C Wollfett CO</td> <td>20C Wollfett PES/CO</td> <td>90LI Rotwein CO</td> </tr> <tr> <td>10D Hautfett CO</td> <td>20D Hautfett PES/CO</td> <td>10U Curry CO</td> </tr> <tr> <td>10M Motoröl CO</td> <td>90RM Ruß/Min.-Öl CO</td> <td>90PB Blut CO</td> </tr> <tr> <td>10N Vollei CO</td> <td>10R Stärke CO</td> <td>10PPM Pfl.-fett/Milch CO</td> </tr> <tr> <td></td> <td>90MF Milchkakao CO</td> <td>Nummer</td> </tr> </table>			10C Wollfett CO	20C Wollfett PES/CO	90LI Rotwein CO	10D Hautfett CO	20D Hautfett PES/CO	10U Curry CO	10M Motoröl CO	90RM Ruß/Min.-Öl CO	90PB Blut CO	10N Vollei CO	10R Stärke CO	10PPM Pfl.-fett/Milch CO		90MF Milchkakao CO	Nummer	Trägergewebe: PES/CO-Trägergewebe 21 A Trägergröße: 30 cm x 36 cm Läppchengröße: 5 cm x 5 cm <div style="border: 1px dashed black; padding: 20px; text-align: center; margin-top: 20px;"> Tüten- Aufkleber </div>	
10C Wollfett CO	20C Wollfett PES/CO	90LI Rotwein CO																	
10D Hautfett CO	20D Hautfett PES/CO	10U Curry CO																	
10M Motoröl CO	90RM Ruß/Min.-Öl CO	90PB Blut CO																	
10N Vollei CO	10R Stärke CO	10PPM Pfl.-fett/Milch CO																	
	90MF Milchkakao CO	Nummer																	
Code	Bezeichnung	Einsatz																	
10C	wfk-Schmutz/Wollfett auf CO	allgemeine Waschkraft																	
20C	wfk-Schmutz/Wollfett auf PES/CO	allgemeine Waschkraft																	
90LI	wfk-Rotwein auf CO, gealtert (IEC456)	Bleiche																	
10D	wfk-Schmutz/Hautfett auf CO	allgemeine Waschkraft																	
20D	wfk-Schmutz/Hautfett auf PES/CO	allgemeine Waschkraft																	
10U	wfk-Curry auf CO	Bleiche, Amylase																	
10M	wfk -Motoröl/Pigment auf CO	allgemeine Waschkraft																	
90RM	wfk -Ruß/Mineralöl auf CO (IEC456)	allgemeine Waschkraft																	
90PB	wfk -Blut auf CO, gealtert (IEC456)	Bleiche, Protease																	
10N	wfk -Vollei/Pigment auf CO	allgemeine Waschkraft, Protease																	
10R	wfk-Stärke/Pigment auf CO	allgemeine Waschkraft, Amylase																	
10PPM	wfk-Pigment/Pflanzenfett/Milch auf CO	Bleiche, Amylase, Protease																	
90MF	wfk -Kakao auf CO, gealtert (IEC456)	allgemeine Waschkraft, Protease																	

Abbildung 3: PCM S-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, sodass 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 50 Mal 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 und Waschmaschinen wurden zur *Charakterisierung der Wasch- und Spülflotte* über vorhandene Probeentnahmestellen nach vorherigem Ablass von 10 l Flotte (bei der Waschstraße) bzw. von etwa 3 l (Flotte bei Waschsleudermaschinen) Flottenproben aus jeder Kammer mit einem Volumen von 250 ml entnommen. An diesen wurde der pH-Wert, die Temperatur sowie die elektrische Leitfähigkeit, die Gesamthärte sowie der Abdampfrückstand messtechnisch bestimmt sowie das Wasser visuell bewertet. Zusätzlich wurden über einen in den Wäscheposten eingebrachten Datenlogger die Flottentemperaturverläufe während des Waschprozesses aufgezeichnet.

Da die Spülwirkung in den Betrieben größtenteils ebenfalls eine große Bedeutung für den Anwender hat, wurden außerdem, sofern möglich, die Flottenalkalitäten in den einzelnen Kammern der Waschstraßen sowie der Waschmaschinen als auch des aus der Wäsche entfernten Wassers bei der mechanischen Entwässerung nach dem Pressen bzw. Zentrifugieren bestimmt.

3.2.3.3 Erfassung der 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 sowie –feuchte im Tumbler gemessen.

3.2.3.4 Bestimmung der Textilrestfeuchte

Die Bestimmung der Textilrestfeuchte erfolgte gravimetrisch. Dazu wurden die Wäscheposten nach dem mechanischen Entwässern sowie 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.

3.2.3.5 Bestimmung der Textileffekte

Die Bestimmung der Textileffekte, insbesondere der erst nach Mehrfachbehandlungen auftretenden Textilschädigung wurde seitens der Wäscherei unter konstanten Trocknungsbedingungen (Füllverhältnis, Restfeuchte, gleiche Programmnummer) vorgenommen.

Hierbei wurde nach 25 und 50 Trocknungszyklen an Standard-Baumwollgewebe Festigkeitsverlust, Vergilbung und Weißgradänderungen sowie nach 5, 10, 25 und 50 Zyklen an PES/CO die Vergilbung bewertet. Bezüglich Festigkeitsverlust, Vergilbung und Weißgradänderungen wurden die oben angeführten Prüfmethode angewandt.

4 Ergebnisse des Betriebs für Bewohnerwäsche

4.1 Allgemeine Daten der Wäscherei für Bewohnerwäsche

Für die untersuchte Wäscherei gelten folgende Daten:

- Tageswaschleistung: ca. 6,5 t/d,
 - davon ca. 4,6 t/d durch Waschstraße
 - ca. 1,6 t/d durch die verbundenen Waschscheudermaschinen (Contrex-Anlage)
 - ca. 0,3 t/d durch Waschscheudermaschinen 6 bis 8 (WSM auf der unreinen Seite)
- Die tägliche Arbeitszeit wurde mit 15 Stunden, die Laufzeit der Versorgungsanlagen mit 15 Stunden angesetzt, die jährlichen Betriebstage wurden mit 262 Tagen festgelegt
- Wäschereifläche: ca. 1.300 m², Gebäudeplan siehe **Abbildung 4** aufgeteilt in einen reinen und einen unreinen Bereich
- Die Druckluftherzeugung war in einem Container außerhalb der Waschhalle untergebracht
- Das benötigte Weichwasser wurde durch zwei im Kesselhaus befindliche Enthärtungsanlagen, je eine für die Wäscherei und die Dampferzeugung, hergestellt.
- Die Waschmitteldosieranlage befand sich im unreinen Bereich neben der Waschstraße an der Außenwand, der Chemikalien-Lagerplatz zwischen Waschstraße und den Einzel-Waschscheudermaschinen
- Wäschefluss Waschstraße:
 - Waschstraße → Presse → Tumbler →
 - Danach Aufteilung:
 - Flachwäsche: Mangel
 - Formteile: Tunnelfinisher
 - Alle weiteren Wäschearten: Verbundtrockneranlage (4 x 60 kg Durchgangstrockner mit einer übergeordneten Verbundsteuerung) zur Volltrocknung
- Das Abwasser der Wäscherei wurde ohne weitere Aufbereitung in den Kanal eingeleitet (indirekte Einleitung).
- Die Wäscherei verfügt zusätzlich über eine Chemisch-Reinigungsmaschine des Typs Multimatic Phoenix C, die nicht Teil der Untersuchung war.

Im Rahmen der Erstbegehung wurden folgende Anlagen und Maschinen erfasst und entsprechend der Funktion aufgeteilt (siehe **Tabelle 3** bis **Tabelle 6**).

Tabelle 3: Waschtechnik der der Wäscherei für Bewohnerwäsche

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Kammeranzahl	Kammer-/Trommelvolumen [l]	Nennwaschleistung [kg/h]	Art der Wärmeversorgung	Nennpostenmasse [kg]	Anmerkungen
Waschstraße	WSR	Böwe Passat	Archimedia 2000	15	Kammer 1: 2.252 ab Kammer 2: 1.125	648	Dampf	36	Presse: 30 bar, 35 s, Taktzeit 200s
Waschscheudermaschine	WSM 1-4 + 5	Seibt & Kapp	CX 400 (Contrex) + FAS 40	k.A.	482	5x225	Dampf	40	
Waschscheudermaschine	WSM 6	Primus	FS07	k.A.	73	k.A.	Dampf	7	

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Kammeranzahl	Kammer-/Trommelvolumen [l]	Nennwaschleistung [kg/h]	Art der Wärmeversorgung	Nennpostenmasse [kg]	Anmerkungen
Waschschleudermaschine	WSM 7	Seibt & Kapp	FAS 40	k.A.	482	225	Dampf	40	
Waschschleudermaschine	WSM 8	Miele	Softtronic	k.A.	k.A.	k.A.	Elektrisch	5	Nicht untersucht

Tabelle 4: Trockner der Wäscherei für Bewohnerwäsche

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Kammer-/Trommelvolumen [Liter]	Nennleistung Feuerung / Heizung	Art der Wärmeversorgung	Nennposten- bei 25l/kg	Abluftvolumenstrom Trocknen / CoolDown [m³/h]	g- Faktor	Reversierung	Anmerkungen
Verbundtrockneranlage	Trockner 1	Kannegiesser	D60D-WU-TWR-K	1556	288kg/h	Dampf	60 kg	2300 / 7700	0,75	nein	Alle Trockner – einschließlich Saugzuggebläse - in der Abluft Trockner enthalten
	Trockner 2	Kannegiesser	D60D-WU-TWR-K	1556	288kg/h	Dampf	60 kg	2300 / 7700	0,75	nein	
	Trockner 3	Kannegiesser	D60D-WU-TWR-K	1556	288kg/h	Dampf	60 kg	2300 / 7700	0,75	nein	
	Trockner 4	Kannegiesser	D60D-WU-TWR-K	1556	288kg/h	Dampf	60 kg	2300 / 7700	0,75	nein	
Einzel-trockner	Trockner 5	Passat	KT146 D-WU-FRILU	500	k. A.	Dampf	20 kg	1000 / 3100	0,8	nein	
Tumbler d. WSR	Trockner 6	Passat	258-15D	1900	k. A.	Dampf	50 kg	k. A.	k. A.	nein	Dampfregister defekt

Tabelle 5: Sonderbehandlung und sonstige Wäschereitechnik der Wäscherei für Bewohnerwäsche

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Modul-/Walzenanzahl	Nennleistung Feuerung / Heizung	Art der Wärmeversorgung	Wäsche durchsatz	Abluftvolumenstrom [m³/h]	Anmerkungen
Chem. Reinigungsmaschine	CRM	Multimatic	Phoenix C	-	k.A.	Dampf	k.A.	-	Nicht untersucht
Mangel	Mangel 1	Kannegiesser	HPM 30-12-2	2	k.A.	Dampf	k.A.	1360	120 cm Walzendurchmesser, 300 cm Arbeitsbreite
Tunnelfinisher	Finisher 1	Kannegiesser	SMT-1-Dampf-Turbo-A-V/F-X	1	k.A.	Dampf	270 T/h	k.A.	1 Modul, 270 Teile pro Stunde
Kragen-/Manschetten-Presse	-	Kannegiesser	XKK-B DPF.	-	k.A.	Dampf	k.A.	-	Nicht untersucht
Bügeltisch	BT 1+2	k.A.	k.A.	-	k.A.	k.A.	-	k.A.	eine Abluftleitung für 2 Tische

Tabelle 6: Versorgungsanlagen der Wäscherei für Bewohnerwäsche

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Nenn - leistung	Brenn- stoff	Max. Druck [bar]	Anmerkungen
Dampferzeugung	Dampfkessel links	Loos Inter- national	UHD	1,25 t/h	-	10	
Dampferzeugung	Dampfkessel rechts	Phillip Loos, Offenbach	1,0 t	1,0 t/h	-	k.A.	Keine Typ-be- zeichnung
Dampferzeugung	Brenner DK links	Weishaupt	L5/1- Ausf. D	15 - 100 kg/h Öl	Heizöl EL.	k.A.	Mit Ölzähler
Dampferzeugung	Brenner DK rechts	Weishaupt	L7Z Ausf. D	34 - 165 kg/h Öl	Heizöl EL.	k.A.	Mit Ölzähler
Speisewasser-be- hälter		Eigenbau		-	-	k.A.	
Drucklufterzeugung	1-stufiger Kompressor	Compair	L11-10	11 kW _{el}	-	13	
Drucklufterzeugung	drehzahleregelter Kom- pressor	Compair	LV15 RS	15 kW _{el}	-	11	
Drucklufterzeugung	Drucklufttrockner 1	k .A.	Compact 45	k.A.	-	-	
Drucklufterzeugung	Drucklufttrockner 2	Compair	F11E	0,7 kW _{el}	-	-	
Drucklufterzeugung	Drucklufttrockner 3	Schneider	DK3000C	0,48 kW _{el}	-	-	
Beleuchtung	1 Metaldampfleuchte, sonst. Leuchtstoff-leuch- ten	k.A.	k.A.	11 kW _{el}	-	-	

Abbildung 4 zeigt den Gebäudeplan der untersuchten Wäscherei für Bewohnerwäsche.

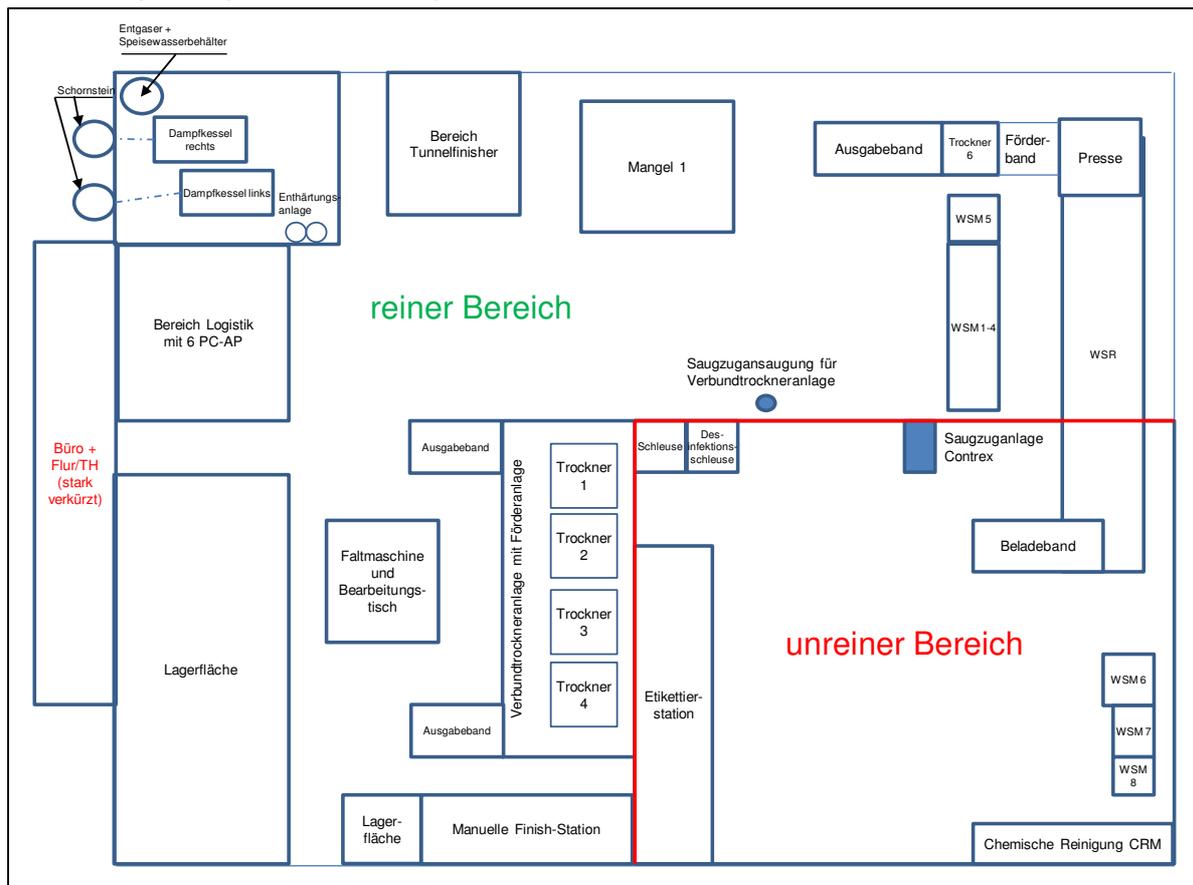


Abbildung 4: Gebäudeplan der Wäscherei für Bewohnerwäsche (nicht maßstabsgetreu)

4.2 IST-Analyse Bewohnerwäsche

4.2.1 Energie- und Stoffströme

4.2.1.1 Wäscheströme

Die Auslastung der Trockner bzw. die Anzahl der Posten der Trockner wurde über die charakteristischen Temperaturverläufe der Abluft (siehe **Abbildung 5**) und über Auswertung des Verbundsteuerungsdisplay ermittelt. Wegen fehlender Rückschlagklappen in der gemeinsamen Abluftleitung treten bei den Messungen der Ablufttemperaturen Messfehler auf, da von einem Wäschetrockner zu den anderen warme Luft zurückströmen und so die Temperaturverläufe beeinflussen kann. Aufgrund dessen ist eine korrekte Postenermittlung über die Abluftströme nur eingeschränkt möglich. Zur Minimierung des Messfehlers wurde über ca. 10,75 Stunden das Display im 10-Sekunden-Takt fotografiert und ausgewertet.

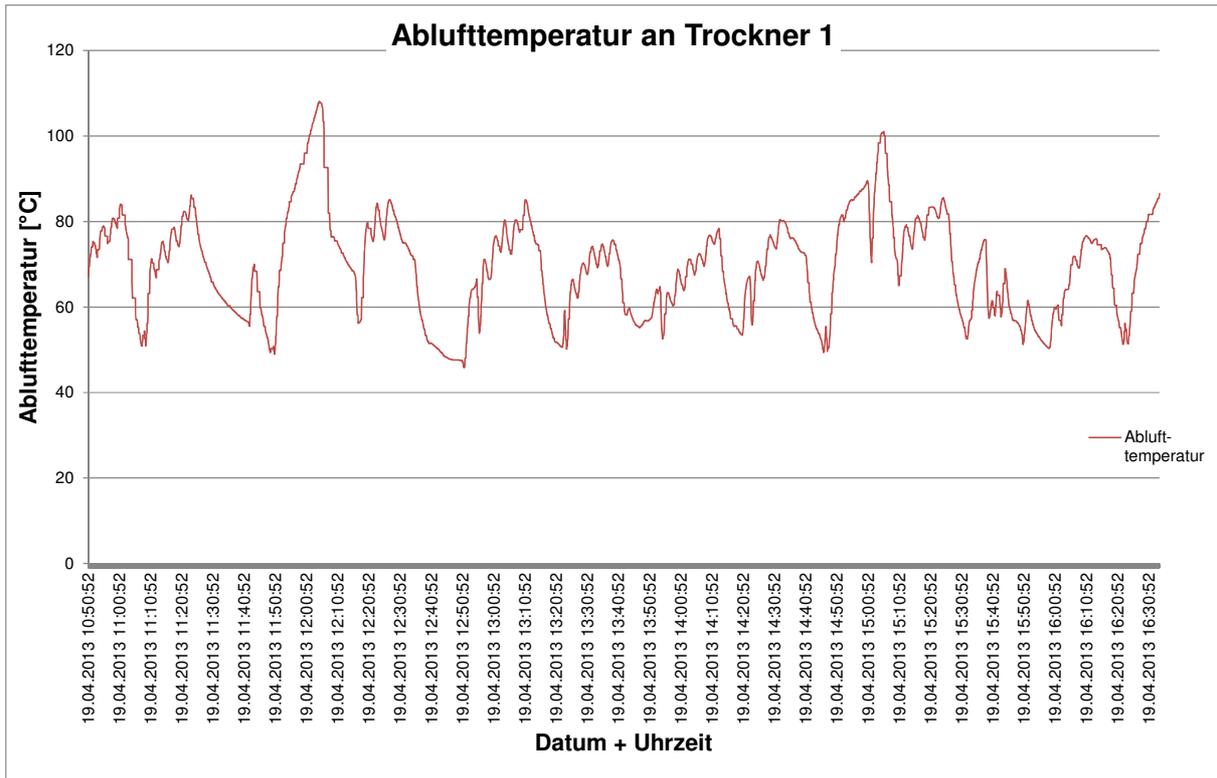


Abbildung 5: Ablufttemperatur am Beispiel von Trockner 1 der Verbundtrockneranlage, Wäscherei für Bewohnerwäsche

Wie man aus den Zeitanteilen für Knitterschutz und Beladebereitschaft in **Abbildung 6** errechnen kann, stand - statistisch gesehen – im Messzeitraum ein Trockner ungenutzt, weil durch fehlende Beladung bzw. Entladung kein Trockenprozess stattfand. Für die gemessene Zeit summierten sich über alle Trockner der Betriebszustand „Knitterschutz“ auf 8,75 Stunden pro Tag und der Betriebszustand „Betriebsbereitschaft“ auf 3,5 Stunden pro Tag.

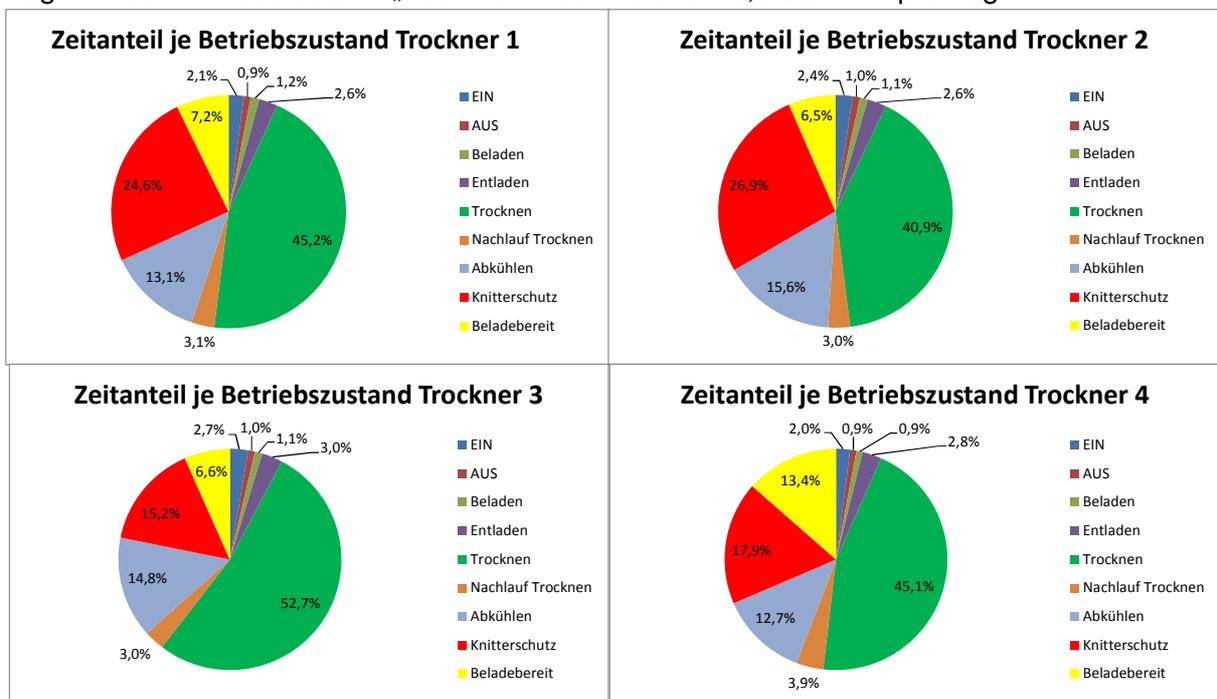


Abbildung 6: Verteilung der Betriebszustände der Trockner der Verbundtrockneranlage

Für die Aufstellung der Wäscheströme (**Abbildung 7**) wurde überwiegend auf Angaben der Wäscherei zurückgegriffen.

Daraus ergab sich folgende Wäschebilanz:

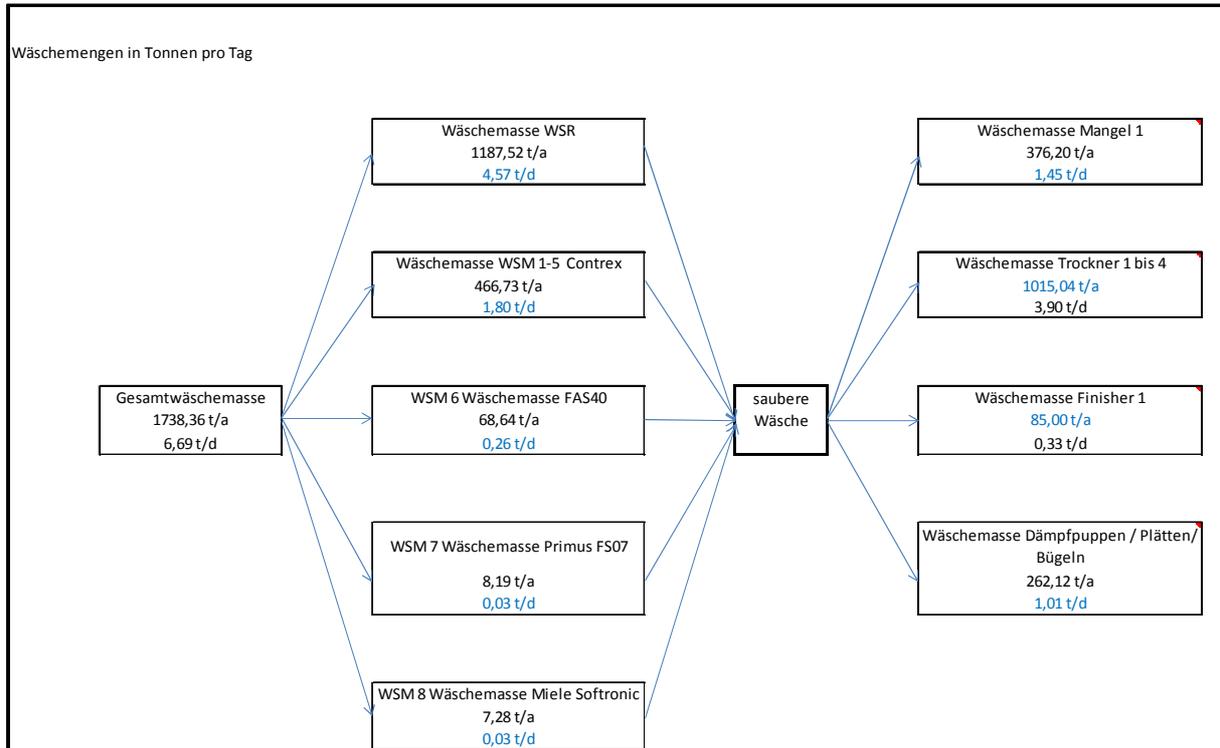


Abbildung 7: Wäschebilanz bei der IST-Analyse, Wäscherei für Bewohnerwäsche

4.2.1.2 Wassereinsatz

Folgende Messstellen waren vorhanden:

- Hauptwasserzähler - Trinkwasser des Wasserversorgers
 - Unterzähler Frischwasser (Weichwasser) Waschstraße WSR
 - Unterzähler WSM 1 bis 5
 - Unterzähler Kesselspeisewasser

Die Wasserverbräuche wurden abgelesen bzw. aus vorhandenen Daten der Wäscherei übernommen. Ergänzend wurden mittels Clamp-On-Ultraschallmessgerät folgende Daten erfasst:

- Weichwasserverbrauch der Waschstraße einschließlich der Erfassung der Abwärmeleistung des Abwasserwärmetauschers (AWT) inklusive der Temperaturen des Weichwassers vor und nach dem AWT zur Ermittlung der zugeführten Wärme auf der Weichwasserseite
- Durchfluss Sekundärwassertank Contrex-Anlage (Sekundärwasser bestand aus Spülwasser, ergänzt durch Weichwasser zur Weiterverwendung als Einspülwasser für den nächsten Posten)
- Gruppen-Wasserverbrauch Einzel-Waschschleudermaschinen WSM 6, 7 und 8; WSM 8 war im Messzeitraum nicht in Betrieb
- Volumenstrom Kühlwasser der CR-Maschine (aus Teich stammend, dient zur Rückkühlung der Destillation)

Abbildung 8 zeigt die Wasserbilanz der Wäscherei für Bewohnerwäsche. Es wird deutlich, dass die WSM 1 bis 5 bei deutlich geringerer Waschleistung (etwa 27 %) einen höheren Wasserbedarf aufweisen als die Waschstraße WSR. Neben Weichwasser wird in WSM 6 bis WSM 8 auch nicht enthärtetes Trinkwasser eingesetzt.

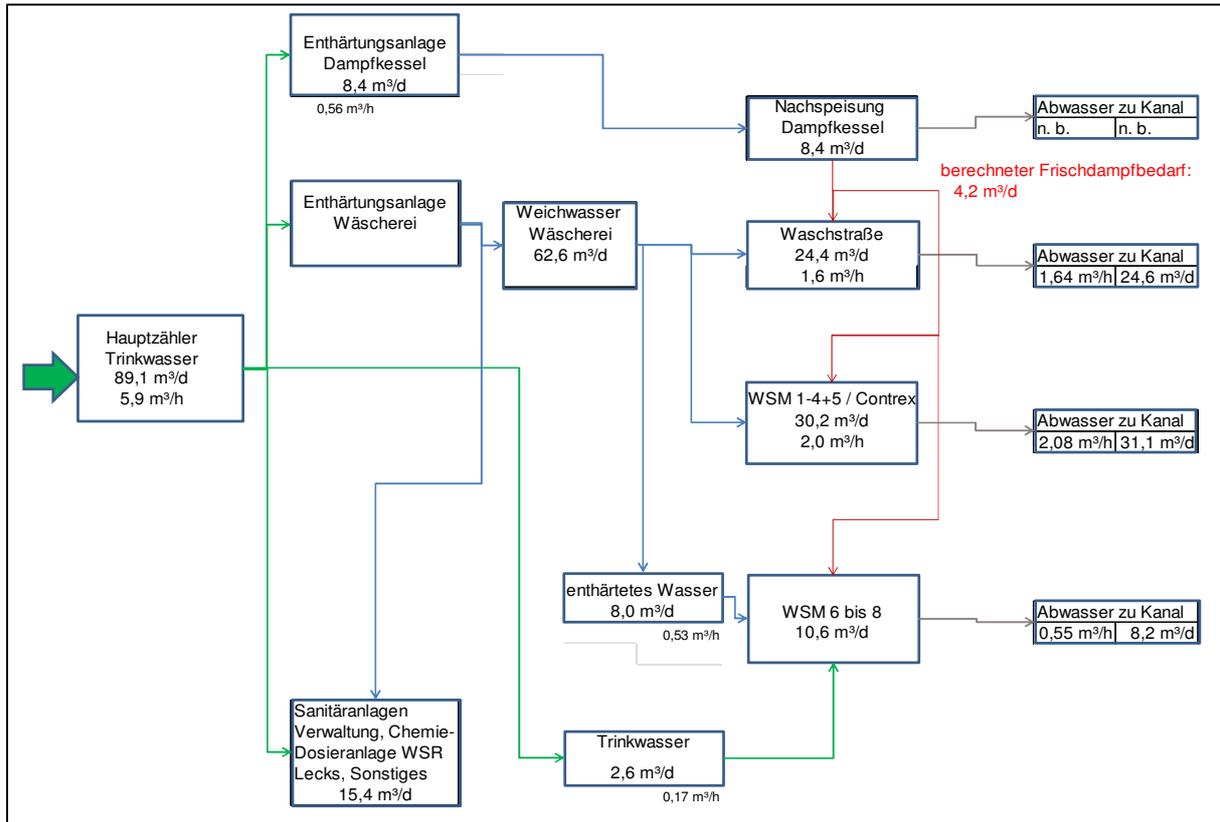


Abbildung 8: Wasserbilanz der Wäscherei für Bewohnerwäsche

4.2.1.3 Wärmeerzeugung

Die Wäscherei für die Bewohnerwäsche verfügte über eine Dampfkesselanlage als einziges Wärmeversorgungssystem, die den Prozesswärmebedarf aller Maschinen der Wäscherei deckt.

Der Dampf wurde in zwei ölbefeuerten Dampfkesseln mit zweistufigen Gebläsebrennern erzeugt. In der Ölleitung zu den Brennern befand sich jeweils ein Ölmenzähler, die mittels Webcam und Laptop aufgenommen und manuell ausgewertet wurden.

Zum Zeitpunkt der IST-Analyse verfügte keiner der beiden Dampfkessel über einen Abgaswärmetauscher.

Die Wärmeversorgung für die Raumheizung wurde ebenfalls durch die Dampfkesselanlage gedeckt: Die Beheizung der Büro- und Sozialräume wurde durch eine Umwälzung von Speisewasser durch die Heizkörper der Räume erreicht. Dieses System war während der Messungen nicht in Betrieb (siehe **Abbildung 9**).

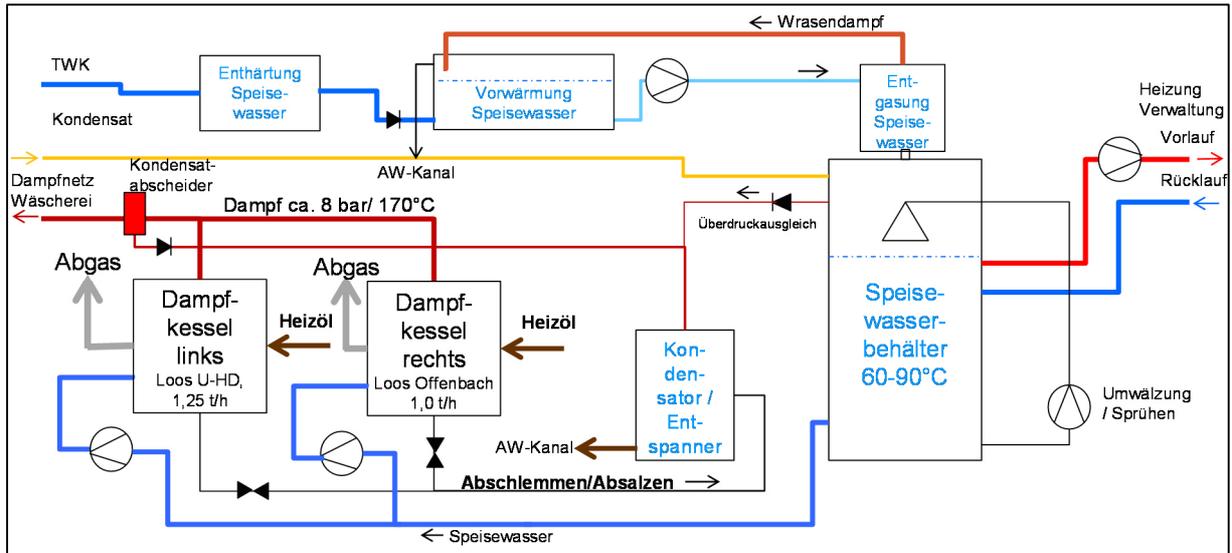


Abbildung 9: Schema Dampferzeugung / Kesselhaus der Wäscherei für Bewohnerwäsche

Außerhalb des Kesselhauses versorgten zwei Hauptstränge die Maschinen der Wäscherei. Auf einer Linie wurden die Trockner 1 bis 5 sowie Hemdenfinisher, Bügeltische und sonstige Finishanlagen versorgt. Über die zweite Linie waren Tunnelfinisher und Mangel sowie die gesamte Waschtechnik angebunden. Dabei ist der Dampfdruck für WSM 7 + 8 sowie die CR-Maschine und ein Raumluftheizregister auf ca. 5 bar abgesenkt (siehe **Abbildung 10**).

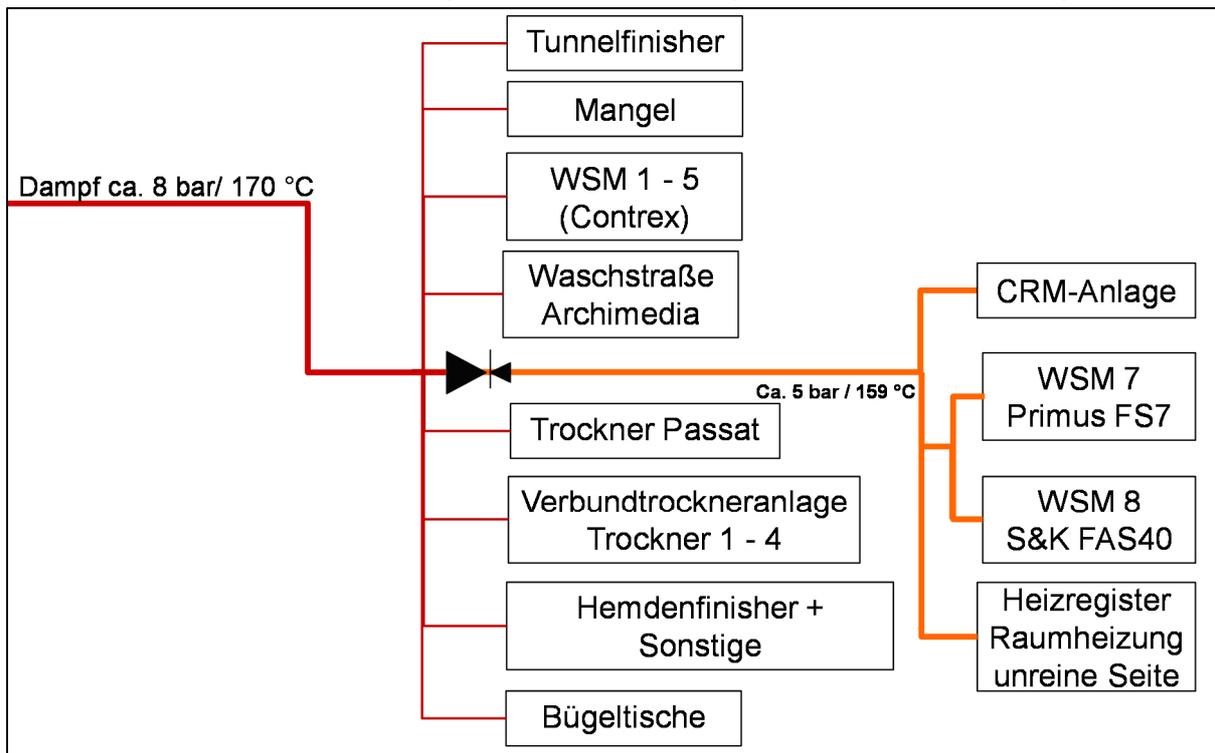


Abbildung 10: Schema Dampfverteilung in der Wäscherei für Bewohnerwäsche

Die mittlere Feuerungsleistung wurde wie folgt ermittelt:

1. Kombinierte Durchfluss- und Zeitmessung
 - a. Ermittlung der Feuerungsleistung der einzelnen Brennerstufen mittels Zeitmessung für den Verbrauch von 0,5 bzw. 1 Liter Heizöl

b. Erfassung der Betriebszeitanteile in den Brennerstufen (Spannungsmessung am Gasventil)

2. Aufzeichnung des jeweiligen Ölzählerstands mittels Webcam im 10-Sekunden-Takt

Die maximale Abweichung der beiden Verfahren zueinander betrug ca. 5 kW.

Die Feuerungsleistungen $\dot{Q}_{F,mittel}$ in den einzelnen Stufen (siehe auch **Kapitel 3.2.2.3**) wurden mit folgender Formel ermittelt:

$$\dot{Q}_{F,mittel} = \frac{BA_{Heizöl EL} * H_{Heizöl EL}}{T_{mess}}$$

Mit:

$BA_{Heizöl EL}$: gemessener Heizölverbrauch

$H_{Heizöl EL}$: unterer Heizwert von Heizöl EL (extraleicht), ~ 10 kWh/Liter

T_{mess} : Dauer der Messung in Stunden

Die mittlere Feuerungsleistung der gesamten Dampferzeugung wird aus dem Mittelwert gebildet.

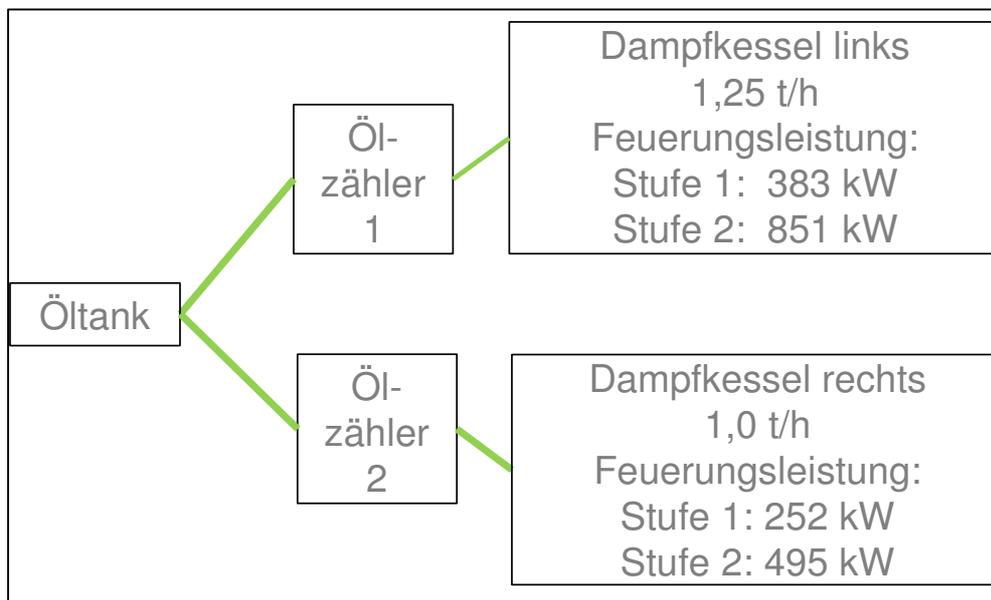


Abbildung 11: Berechnete Brennerleistungen in Abhängigkeit zur Brennerstufe der beiden Dampfkessel der Wäscherei für Bewohnerwäsche

Für die Dampfkesselanlage ergeben sich **für beide Dampfkessel** folgende Feuerungsleistungen:

Die minimale Feuerungsleistung der Dampferzeugungsanlage betrug 252 kW.

Die maximale Feuerungsleistung der Dampferzeugungsanlage betrug 1346 kW.

Die mittlere Feuerungsleistung bezogen auf Betrieb von mindestens einem Brenner betrug ca. 736 kW (siehe **Abbildung 12**).

Unter Berücksichtigung der Betriebsbereitschaftszeiten (beide Brenner ausgeschaltet) betrug die mittlere Feuerungsleistung ca. 714 kW.

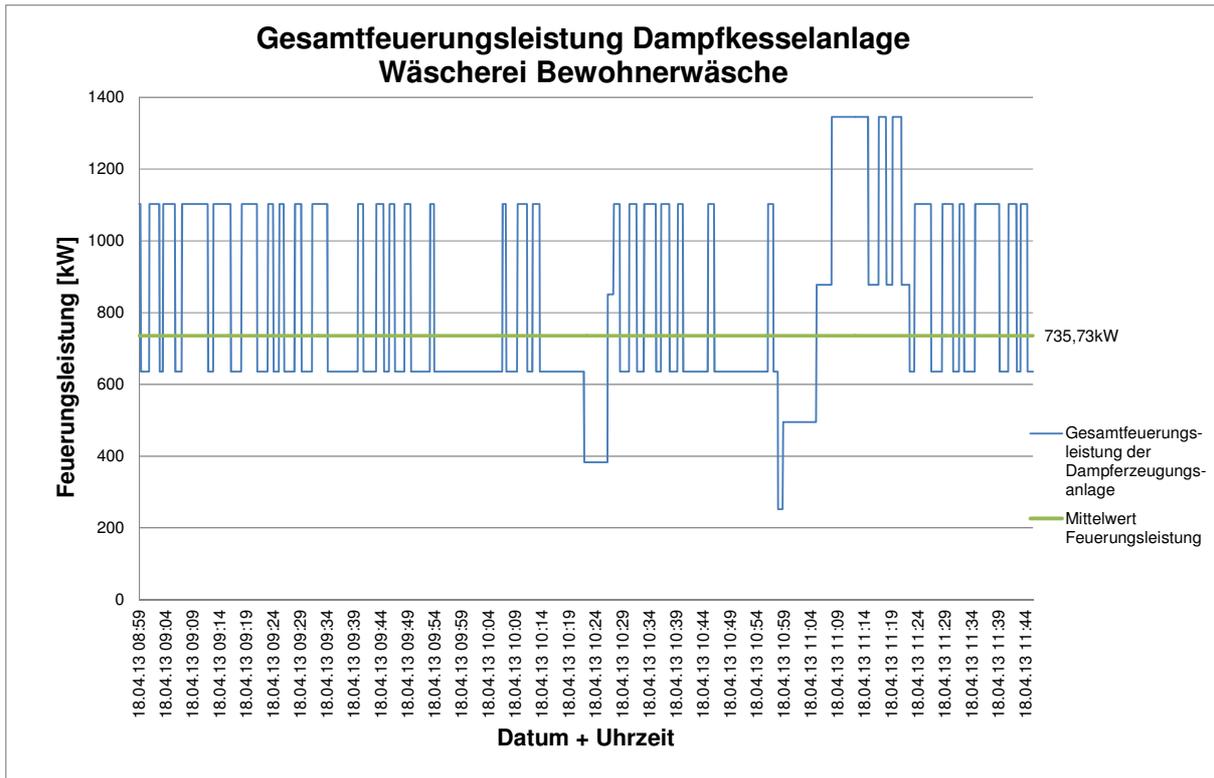


Abbildung 12: Leistungsverlauf der Gesamtfeuerungsleistung der Dampferzeugungsanlage der Wäscherei für Bewohnerwäsche

Der jährliche Heizölbedarf der Wäscherei wurde berechnet:

Tabelle 7: Berechnung jährlicher Heizölbedarf, Wäscherei für Bewohnerwäsche

Mittlere tägliche Betriebszeit [h/d]	Jahres-arbeitstage [d/a]	mittlere Feuerungs-l. [kW]	Jahresenergiebedarf Dampferzeugung [kWh]	Jahresenergiebedarf DK [Liter Öl]
14	262	714	2.617.118	261.712

Annahmen:

- Arbeitszeit: 7 bis 21 Uhr
- Arbeitstage: 250 Arbeitstage regulär + 12 Samstage pro Jahr

Auf Basis der vorhandenen Daten (siehe Dampfbilanz **Abbildung 14**) wurde ein durchschnittlicher Nutzungsgrad von ca. 86 % ermittelt. Ein Teil der Daten beruht auf Annahmen, weil unter anderem die Ermittlung der Abschlamm- und Absalzverluste nicht möglich war.

Gründe:

- Geschlossenes System zur Absalz- und Abschlammwasserentsorgung. Die Temperaturen erlaubten es nicht, den Volumenstrom mittels Clamp-On-Ultraschall zu messen. Eine Probenahme war nicht möglich.
- Den Dampfkesseln waren der Speisewasserbehälter und ein zusätzlicher Speisewasservorwärmbehälter vorgeschaltet, die jeweils über eine eigene Pumpe, eine eigene Steuerung und Überläufe in den Kanal verfügten.
- Die Nachspeisung der Kesselanlage arbeitete nach dem 2-Punkt-System mit Wasserstandselektroden. Eine Zuordnung der Speisewassermenge zur Frischdampfentnahme oder zum Absalzen / Abschlämmen war nicht möglich (siehe **Abbildung 13**).

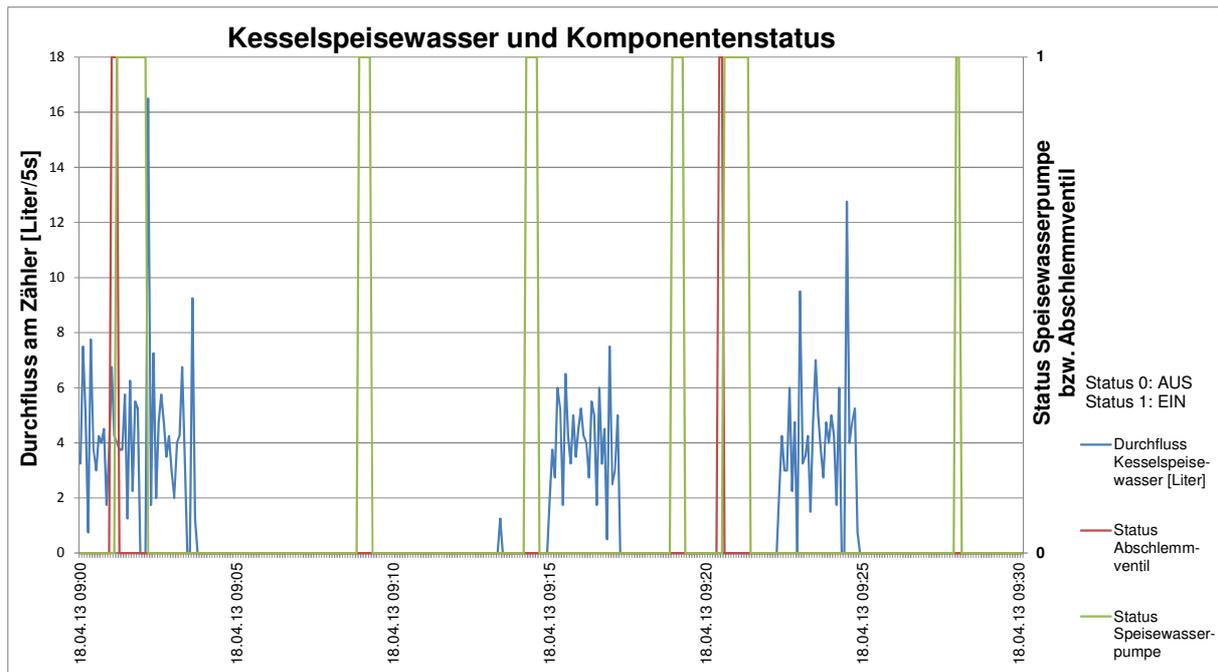


Abbildung 13: Diagramm Durchfluss Kesselspeisewasser, Wäscherei für Bewohnerwäsche

Um trotzdem eine Abschätzung der Verluste aus Abschlämmen und Absalzen vornehmen zu können wurde folgende Annahme getroffen:

Aufgrund des Fehlverhältnisses von Frischdampf (Speisewasser) und Wärmeleistung wurde iterativ ermittelt, wieviel Speisewasser (bzw. Frischdampf) verloren gehen muss, bis die Bilanz aufgeht. Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren mehrere Lecks, z.B. Dampfleitung in der Waschstraßenachse, undichte Zuleitung am Dampfkessel, bekannt, die jedoch nicht bewertet werden konnten

35 % Absalz- und Abschlammverluste wurden deshalb iterativ ermittelt, so dass gleichzeitig die Energiebilanz noch die (zu geringe) Verlustleistung von ca. 29 kW für das kondensatrückführende Dampfnetz ergab. Die Absalz- und Abschlammverluste enthalten auch alle Verluste, die durch Lecks vor der Dampferzeugung auftraten.

Erst mit dieser Annahme war die nachgespeiste Speisewassermenge gleich der errechneten Frischdampfmenge der Waschprozesse und aller möglichen Lecks der bereits großzügigen Zuschläge für Absalz- und Abschlammwasser.

Die zu geringe Verlustleistung für das kondensatrückführende Dampfnetz zeigt, dass hier Abweichungen vorliegen.

Mögliche Fehlerquellen:

- nicht messbarer Wrasendampf
- Bezugsniveau Dampf zu Kondensat bzw. Nutztemperaturniveau (z.B. Tank der Waschstraße) abweichend und daraus resultierend andere Massenströme
- Höhere Verluste: z.B. Überlauf Speisevorratsbehälter und Leckagen als nicht erfasste Abgänge, Undichtigkeit Abschlamm-/Absalzventile
- Undichtigkeiten an den Dampfkesseln
- Defekt Unterzähler Kesselspeisewasser
- Abweichende Betriebslaufzeiten vom angenommenen Mittelwert der Anlagen
- Erhöhter Speisewasserbedarf in den Frischdampfprozessen durch Kondensatausfall in Dampfleitungen und am Austritt des Dampfes

Neben den eigenen Messungen wurden die Zählerstandslisten der Wäscherei hinzugezogen. Diese konnten jedoch keine weiteren Erkenntnisse liefern, da nur volle Kubikmeter dokumentiert wurden. Bei einem täglichen Bedarf von $8,4 \text{ m}^3/\text{d}$ läge ohne Messfehler die mögliche Abweichung zwischen Zählerstands­differenz aus den Aufzeichnungen und tatsächlichem Verbrauch bereits bei ca. $\pm 6 \%$.

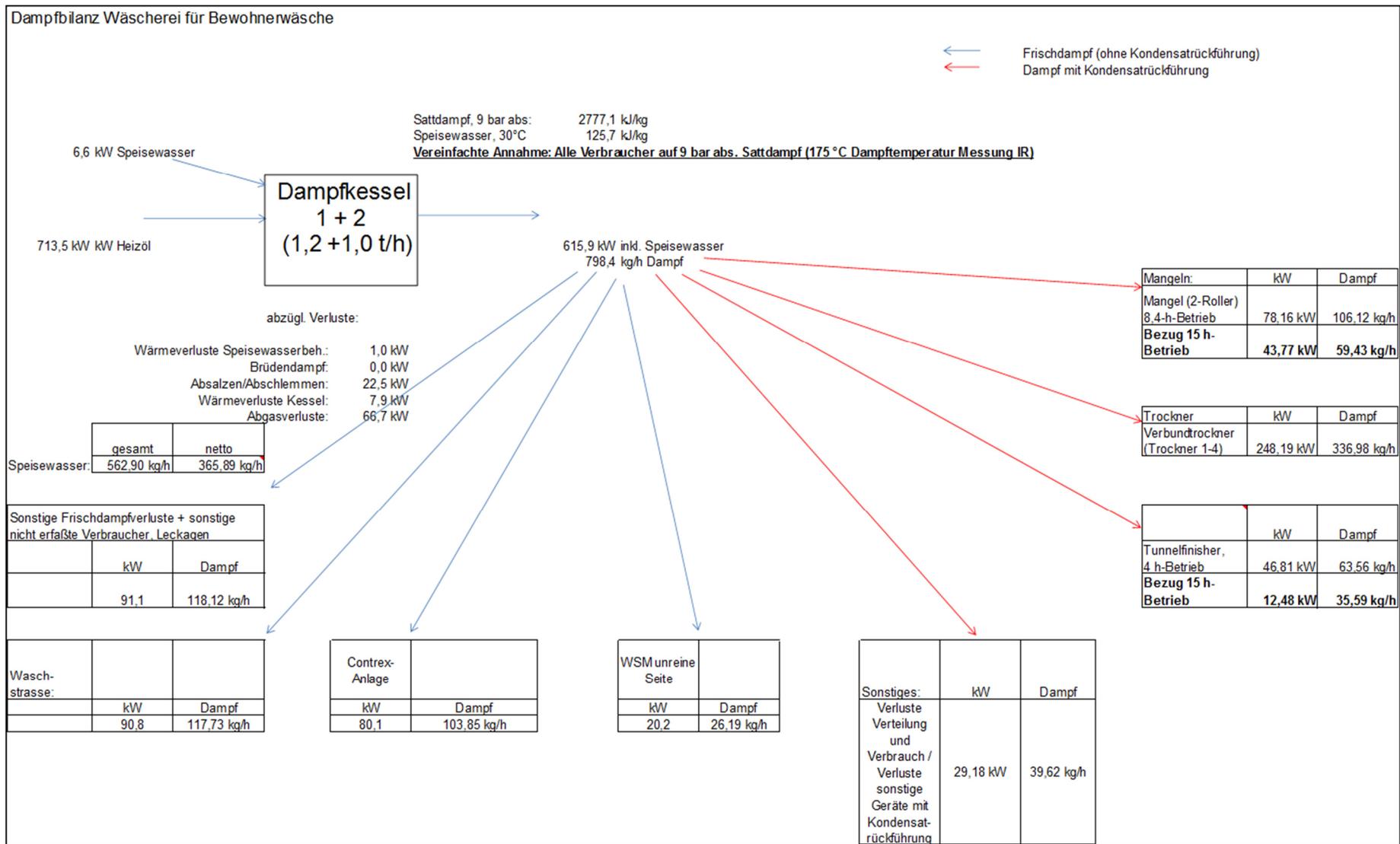


Abbildung 14: Dampfbilanz Wäscherei für Bewohnerwäsche im IST-Zustand

Die Werte der einzelnen Dampfprozesse, insbesondere die resultierenden Leistungen wurden über die einzelnen Anlagen bzw. bei den Waschsleudermaschinen und Trocknern als Sammelbilanz ermittelt (siehe **Abbildung 15** bis **Abbildung 17**). Sammelbilanzen wurden dort nötig, wo Massenströme nur über mehrere Anlagen gemessen werden konnten (Abluftdaten Verbundtrockneranlage, Wasserverbrauch WSM 6 bis 8). Bei fehlenden Daten wurde auf Herstellerangaben zurückgegriffen oder Annahmen getroffen. Diese Werte wurden in roter Schrift dargestellt.

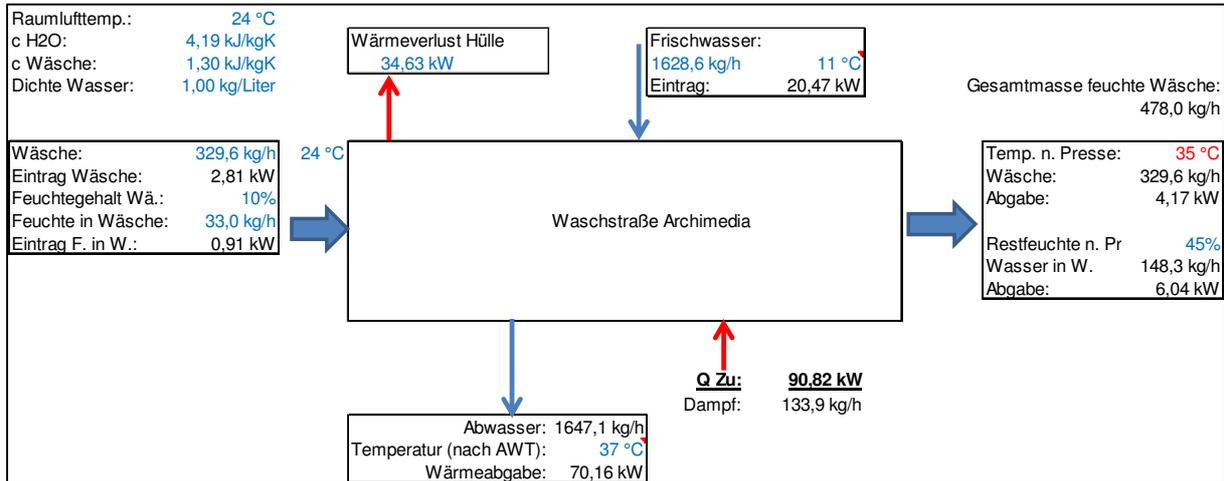


Abbildung 15: Bilanz Waschstraße, Wäscherei für Bewohnerwäsche

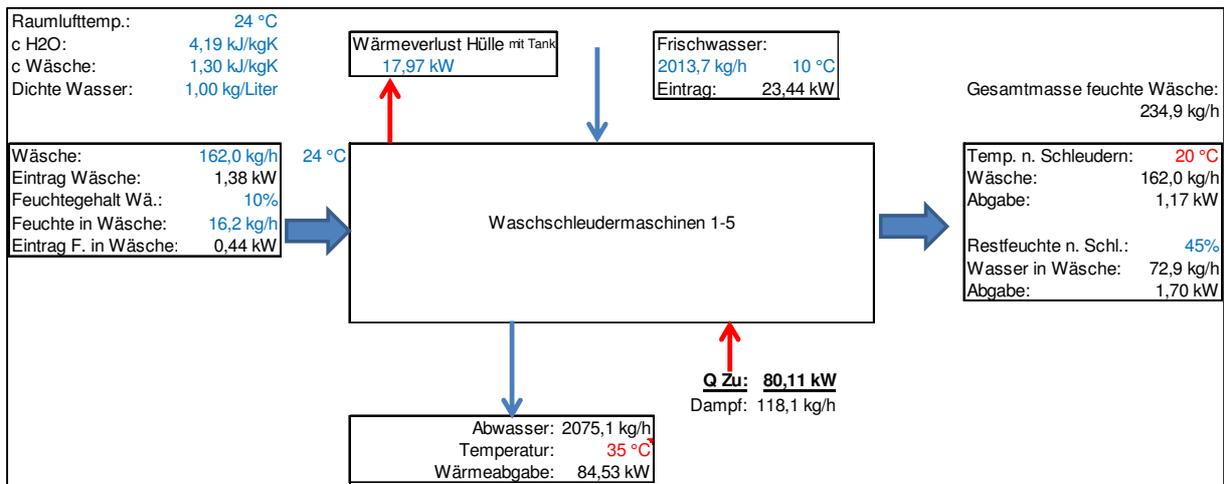


Abbildung 16: Bilanz Contrex-Anlage, Wäscherei für Bewohnerwäsche

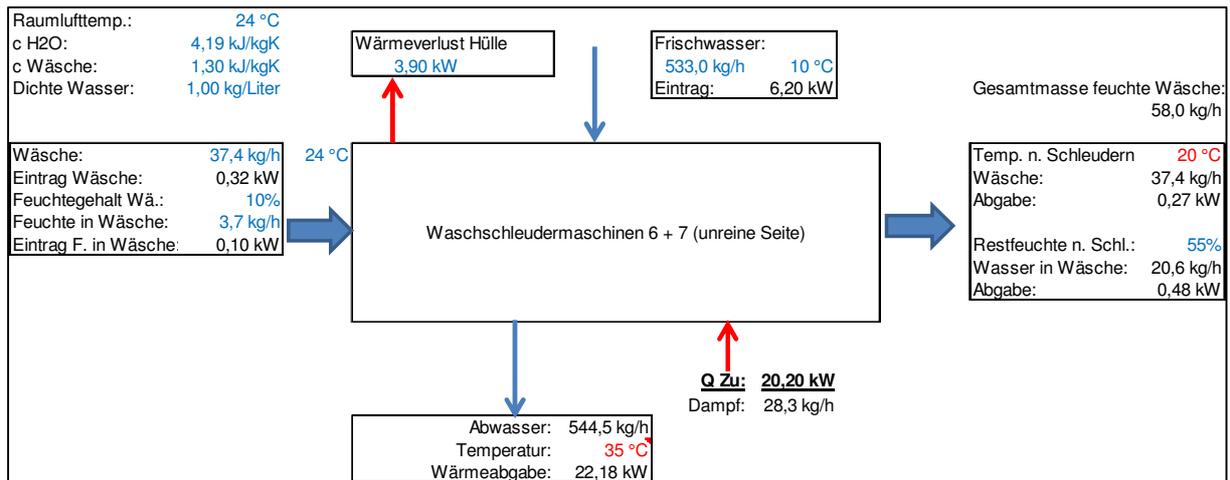


Abbildung 17: Sammelbilanz WSM 6 und 7 der Wäscherei für Bewohnerwäsche

Aus den ermittelten Leistungs- und Wasserverbrauchswerten und dem Wäschemassenstrom wurden für die jeweiligen Waschmaschinen die spez. Kennwerte ermittelt. **Tabelle 8** zeigt die Kennwerte der einzelnen Maschinen, die in der Wäscherei eingesetzt wurden.

Tabelle 8: Kennwerte Waschprozesse (Bezug 14h Waschzeit pro Tag, ohne Systemverluste Dampf)

Anlage	Wäschedurchsatz [kg/h]	Wärme [kW]	Wasserverbrauch [kg/h] inkl. Dampf	Stromverbrauch [kWh/a] (berechnet)	Verbrauchskennwert Wärme [kWh/kg Wäsche]	Verbrauchskennwert Wasser [kg/kg Wäsche]	Verbrauchskennwert Strom [kWh/kg Wäsche]
WSR	326	91	1.760	54.018	0,28	5,4	0,04
WSM 1-5	128	80	2.132	61.152	0,63	16,7	0,13
WSM 6 - 8	21	20	562	9.794	0,95	26,8	0,12
Gesamt	475	191	4.454	124.964	0,40	9,4	0,08

Bezug: Betriebsstunden: 3.640 h/a, Strombedarf gemäß Berechnung

Die in **Tabelle 8** aufgeführten Stromverbräuche wurden in **Tabelle 9** übernommen. Es handelt sich dabei um berechnete Werte anhand der Betriebszeiten und angenommener Gleichzeitigkeitsfaktoren der maschineninternen Verbraucher. Die Gleichzeitigkeitsfaktoren dienen der Korrektur der tatsächlichen Laufzeit von Energieverbrauchern gegenüber der Betriebszeit einer Verbrauchergruppe oder des Gesamtbetriebs. Die Laufzeit vermindert sich durch Störungen, Betriebsbereitschaftzeiten oder prozessbedingte Ruhezeiten (z.B. Presse der Waschstraße zwischen zwei Takten).

Für die Bilanzierung der Trocken- und Finishprozesse wurde wie folgt vorgegangen:

- Gruppenbilanzierung des Trockenprozesses über alle relevanten Trockner
- Annahme von Temperaturen, die nicht über längere Zeit gemessen werden konnten, wie zum Beispiel die Temperatur von Textilien. Hier wurde für die zügig weiter verarbeitete Wäsche eine Posttemperatur von 25 °C, für die länger liegenden Textilien des Tunnelfinishers 20 °C angenommen (siehe **Abbildung 18** und **Abbildung 20**).

- Für den Tunnelfinisher wurde in der Bilanzierung eine Betriebszeit von 4 h/d angesetzt, auf die der von der Wäscherei angegebene Durchsatz von 85 t/a bezogen wurde.

Abbildung 18 zeigt die Sammelbilanz der Trockner 1 bis 4.

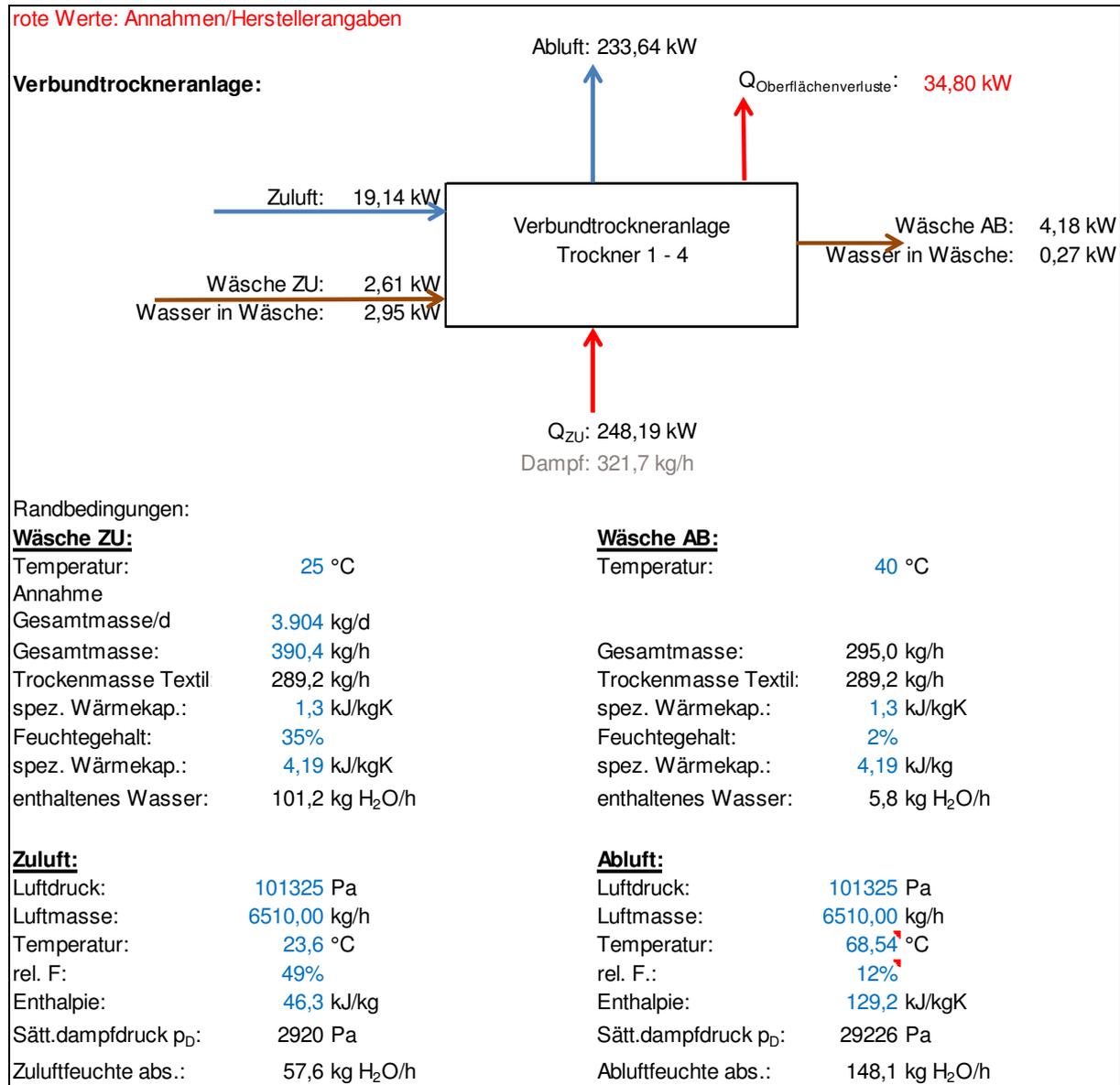


Abbildung 18: Sammelbilanz Verbundtrockneranlage Trockner 1 – 4, Wäscherei für Bewohnerwäsche

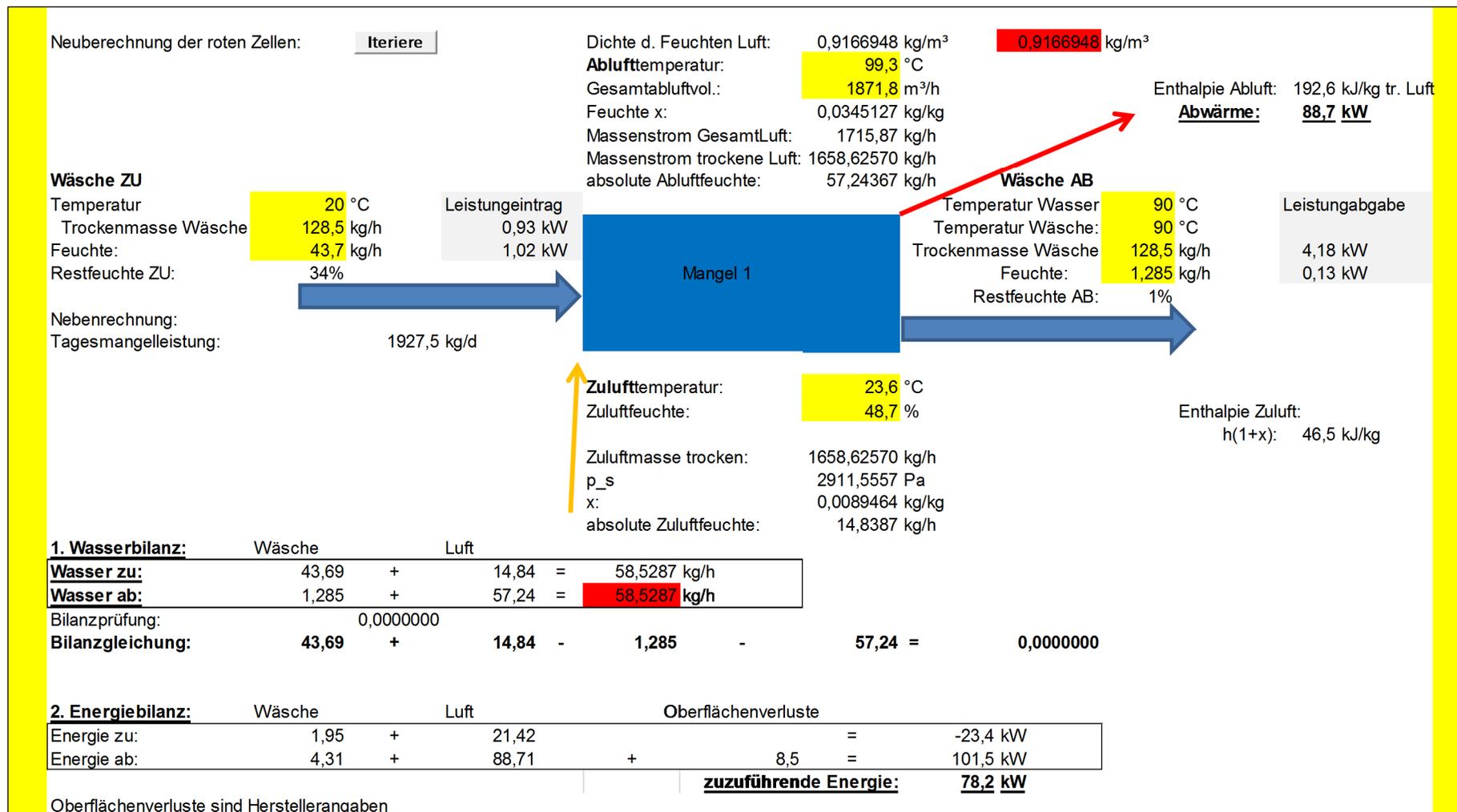


Abbildung 19: Bilanz Mangel 1, Wäscherei für Bewohnerwäsche

Bei der Bilanzierung des Tunnelfinishers ist zu berücksichtigen, dass die tägliche Betriebszeit lediglich 4 Stunden betrug. Durch Bezug des Tunnelfinishers als auch aller anderen Wäschereimaschinen auf 15 Stunden pro Tag sinkt die mittlere Leistung (siehe **Abbildung 20**).

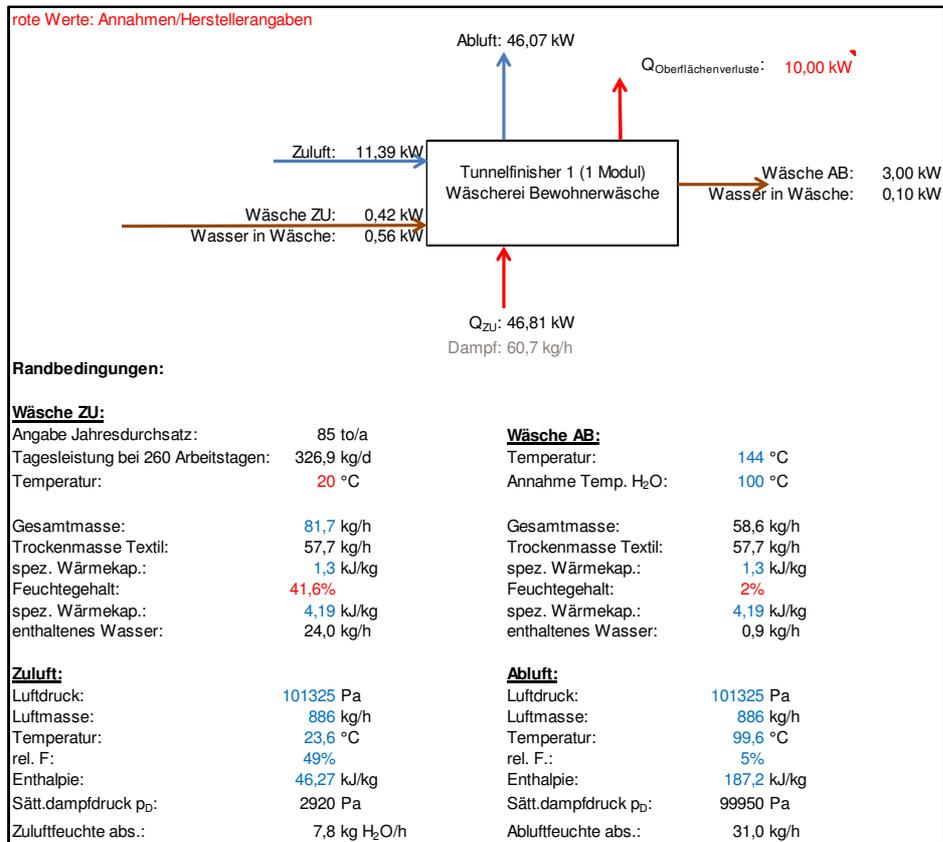


Abbildung 20: Bilanz Finisher 1, Wäscherei für Bewohnerwäsche

Dieser Bezug auf 15 Stunden pro Tag ist notwendig, um in der Gesamtbilanz bei der Berechnung der mittleren Gesamtleistung zum richtigen Ergebnis zu kommen. Die Summe der ermittelten mittleren Leistungen der Verbraucher sollte der mittleren Dampfleistung der Dampfkessel entsprechen.

4.2.1.4 Elektrische Energie

4.2.1.4.1 Berechnung elektrischer Energieverbrauch der Anlagen

Der Schwerpunkt der Messungen lag bei der Wärme- bzw. Dampferzeugung, so dass keine Detailmessungen hinsichtlich des elektrischen Energieverbrauchs vorgenommen wurden. Als in der Branche relevanter elektrischer Verbraucher wird die Druckluftherzeugung gesondert behandelt (siehe **Kapitel 4.2.1.4.2**). In **Tabelle 9** wurden die wesentlichen Verbraucher mit den Nennleistungen, die Betriebszeiten und über einen Gleichzeitigkeitsfaktor die Laufzeiten der Maschinen bzw. ihre Auslastung bezogen auf die Nennleistung korrigiert. So verfügen die Waschschleudermaschinen WSM 1 bis 5 über je einen Elektromotor für Waschdrehzahl und für Schleudern. Beide Motoren sind in einem Waschprogramm nur anteilig in Betrieb.

Tabelle 9: Berechnung Stromverbrauch für die Wäscherei für Bewohnerwäsche

Verbraucher	Betriebsstunden	Elektrische Nennleistung [kW]	Gleichzeitigkeitsfaktor	Strombedarf pro Jahr [kWh]	Anmerkungen
Waschstrasse 1	3.640	20,8	0,7	52.998	
Tumbler nach WSR	3.640	3	0,5	5.460	
WSM 1 bis 5	3.640	24	0,7	61.152	
Trockner 1	3.640	7,5	0,6	16.380	
Trockner 2	3.640	7,5	0,6	16.380	
Trockner 3	3.640	7,5	0,6	16.380	
Trockner 4	3.640	7,5	0,6	16.380	
Mangel mit Eingabe	3.640	32,1	0,5	58.422	
Tunnelfinisher	1.048	13,5	0,7	9.904	4 h/d
Drucklifterzeugung	3.640	26	0,7	66.248	
Beleuchtung	3.640	11	0,7	28.428	Annahme: Metalldampfleuchte 400 W, 14x58 W für Container, sonstige Leuchten wie aufgenommen
Sonstige Verbraucher	3.640	84,59	0,3	92.372	
GESAMT				440.504	

Der hohe Anteil der sonstigen Verbraucher war eine Schätzung der vorhandenen untergeordneten Verbraucher und umfasste jene Verbraucher, die üblicherweise nur kurze Zeit oder dauerhaft, aber mit geringer Leistung, in Betrieb sind. Zu den untergeordneten Verbrauchern zählen bei dieser Wäscherei elektrische Verbraucher, die nur kurzzeitig eine hohe Leistung oder dauerhaft eine geringe Leistung aufnehmen, zum Beispiel die Kesselspeisepumpen, Saugzuggebläse, WSM 6 bis 8, Drucklufttrockner, 7 PC-Arbeitsplätze. Die Verwaltung der Wäscherei befand sich in einem anderen Gebäude mit eigener Stromverbrauchserfassung, die hier nicht betrachtet wurde.

Als Vergleichswert zur Verbrauchsabschätzung stand die Jahresabrechnung der Wäscherei für das Jahr 2012 zur Verfügung. Der Gesamtbezug Wirkleistung – HT und NT – betrug dort 463.960 kWh pro Jahr.

4.2.1.4.2 Druckluft

Die Druckluftanlage der Wäscherei befand sich im Außenbereich der Wäscherei in einem Container und war über eine in der Erde verlegten Leitung mit dem Druckluftnetz der Wäscherei verbunden. Die Druckluft wurde mit zwei (einem drehzahlgeregelten und einem einstufigen) Kompressor mit einer elektrischen Gesamtnennleistung von 26 kW erzeugt.

Beide Kompressoren verfügten über keine Schnittstelle zur Datenübertragung, so dass zur Ermittlung der Leckagerate wie folgt vorgegangen wurde:

- Alleiniger Betrieb des einstufigen Kompressors, der drehzahlgeregelte Kompressor wurde während der Messdauer abgeschaltet
- Aufzeichnung des Displays des einstufigen Kompressors im 2-Sekunden-Takt
- Aufzeichnungsbeginn nach Betriebsende der Wäscherei über ca. 10 h

- Alle Verbraucher am Druckluftnetz blieben in Betriebsbereitschaft (offenes Druckluftnetz)
- Auswertung von Netzdruck, Kompressor­druck, Betriebsstatus und die Kompressor­temperatur
- Aus den Zeitanteilen von Lastlauf und Leerlauf und unter Annahme einer annähernd konstanten Liefermenge bei Lastlauf wurde die Liefermenge und damit die Leckluftmenge während der Betriebsbereitschaftszeit der Druckluftanlage ermittelt

Die Auswertung der Displayaufzeichnung zeigte, dass

- sich die Temperatur der Druckluft über Nacht um ca. 8 °C reduzierte (entsprechend der Außenluftabkühlung)
- der Kompressor den Netzdruck nicht konstant halten konnte, da die Druckverluste größer war, als die Leistung des Kompressors
- der Betriebsstatus war über den gesamten Betrachtungszeitraum ohne Unterbrechung im „Lastlauf“

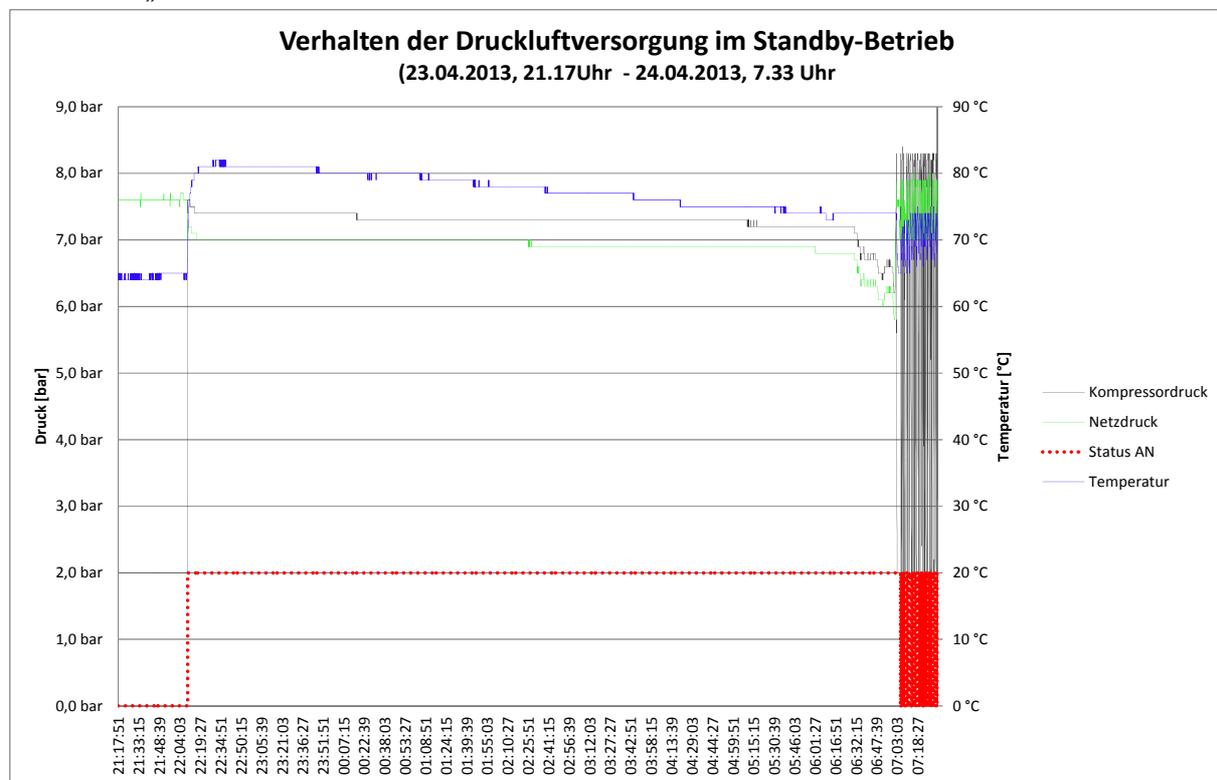


Abbildung 21: Druck- und Temperaturverlauf des einstufigen 11-kW-Kompressors, Wäscherei für Bewohnerwäsche

Da für den drehzahl­regel­ten Kompressor kein Datenblatt und keine Angaben zu Liefermen­gen vorlagen, wurde vereinfacht angenommen, dass die spezifische Kompressorleistung iden­tisch zum einstufigen Kompressor sei. Unter Annahme der Volllauslastung beider Kompresso­ren wurde folgende Energiebilanz aufgestellt:

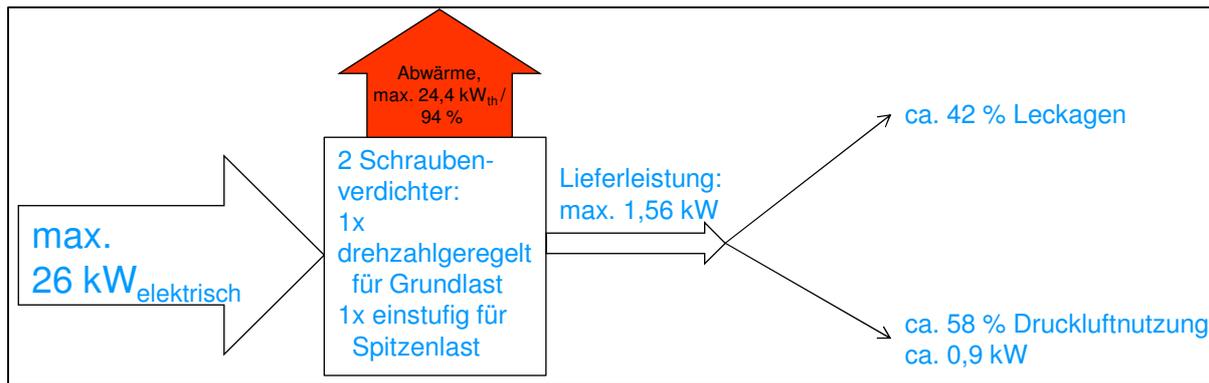


Abbildung 22: Energieflussdiagramm Druckluft für die Wäscherei für Bewohnerwäsche

Die Verluste durch Leckagen ergaben sich aus der Leistung des 11 kW-Kompressors an der gesamten installierten Leistung von 26 kW. Tatsächlich war der Verlustanteil noch höher, da der drehzahl geregelte Kompressor während der Betriebszeit nicht konstant mit Nennleistung betrieben wurde. Bei der Messung für die IST-Analyse wurde festgestellt, dass bei Zuschalten des drehzahl geregelten Kompressors der einstufige Kompressor ständig zwischen Last- und Leerlauf schaltete. Das deutet darauf hin, dass der drehzahl geregelte Kompressor die Grundlast und der einstufige Kompressor die Spitzenlast abdeckt (siehe **Abbildung 21**).

Die Abwärme der Kompressor wurde ungenutzt abgeführt.

Die größten Leckagen in der Wäscherei konnten durch akustische Ortung identifiziert werden:

- Undichte Abscheide- und Filter- Einheiten an den Druckluftverbrauchern
- Steuerblock Waschstraße (WSR)
- Steuerblock Trockner 6 der Waschstraße
- Steuerblöcke CR-Maschine
- Transportvorrichtung Tunnelfinisher
- Steuerblock Mangel sowie undichte Pneumatikzylinder an der Ausgabeseite (Steuerblock wurde noch während der Messwoche ausgetauscht)

4.2.2 Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien

4.2.2.1 Wasserqualitäten

• Frischwasser

Das *Frischwasser* wies bei der IST-Analyse eine Temperatur von 14 °C auf und hatte eine elektrische Leitfähigkeit von 572 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (pH-Wert 7,8). Die Wasserhärte betrug 12 °d (2,1 mmol/l). (4).

Das zum Waschen verwendete *Weichwasser* hatte zum Messzeitpunkt eine Temperatur von 15 °C und wies aufgrund der Enthärtung eine höhere Leitfähigkeit von 608 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf. Der ermittelte pH-Wert lag bei 8,0 und die Wasserhärte unter 5 °d (0,9 mmol/l). Da zum Waschen ausschließlich Trinkwasser verwendet wurde, kann davon ausgegangen werden, dass neben den untersuchten Parametern alle anderen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung eingehalten werden.

• Abwasser

Die nach **Kapitel 3.2.3.1** durchgeführte Abwasseranalyse zeigte am Übergabeschacht einen pH-Wert von 7,0 und eine Abwassertemperatur von 36 °C. Die Leitfähigkeit des Abwassers betrug 5.140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei einer Gesamthärte von unter 5 °d (0,9 mmol/l). Der Abdampfdruckstand ist mit 3,48 g/l als gering einzustufen. Der Eisengehalt lag bei 0,25 mg/l.

Weitere Inhaltsstoffe wie Arsen, Cadmium, Chrom, Nickel und Quecksilber wurden nicht bestimmt, da die Abwasserwerte seitens der Stadt Garbsen akzeptiert wurden.

- **Wasserdaten innerhalb von Waschstraße und Tanks**

Die Wasserqualitäten wurden innerhalb der relevanten Kammern der Waschstraße, vom verwendeten Frischwasser sowie vom Pressenwasser untersucht. Dabei wurden neben pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit (siehe oben) auch der Abdampfrückstand (alle im Wasser vorhandenen anorganischen Komponenten wie Flusen, Sand, Metalle usw.) ermittelt.

Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse der untersuchten Wässer der Waschstraße.

Tabelle 10: Analysenwerte der Wasserproben beim Waschen von Bewohnerwäsche

Parameter Probe	pH-Wert	Temperatur in °C	Leitfähigkeit in µS/cm	Gesamthärte in °d	Abdampf-rück-stand in g/l	Eisen in mg/l
K2	10	38	1.882	unter 5	2,1	-
K5	10	78	2.180	unter 5	2,62	-
K7	10	82	-	unter 5	2,28	-
K8	9,5	82	1.928	unter 5	2,29	-
K15	7	35	-	unter 5	1,52	-
Presse	6,5	31	956	unter 5	0,75	-
Abwasser	7,0	36	5.140	unter 5	3,48	0,15
Rückhalte-becken	8,0	42	1.127	unter 5	1,35	0,25
Weichwasser	7,5	15	608	unter 5	0,39	0,0
Trinkwasser	7,8	14	572	12	0,38	0,0
WSM 1 - 4 Klarwäsche	4,5	30	-	unter 5	0,81	-
WSM 1-4 1. Spülen	5,0	28	766	unter 5	0,76	-
WSM 1-4 Pressenwas-ser	6,0	18	-	unter 5	0,61	-

4.2.2.2 Wascheffekte

Zur Überprüfung der Wascheffekte wurden in der Waschstraße und in den unterschiedlichen Waschsleudermaschinen (**Tabelle 3**) Waschversuche entsprechend **Kapitel 3.2.1** durchgeführt.

Die Waschmaschinen 1 bis 4 wurden in **Tabelle 3** zusammengefasst dargestellt, da diese nicht nur identische Maschinenparameter aufwiesen, sondern auch identische Wäschearten behandelten und über eine gemeinsame Steuerung als Ringanlage betrieben wurden. Hierbei wurde die Flotte von der vierten Maschine in der dritten Maschine (z.B. Spülwasser für die Vorwäsche etc.), von der dritten in der zweiten etc. weiterverwendet (z.B. Spülwasser für die Vorwäsche etc.). Zusätzlich teilten sich diese 4 Waschsleudermaschinen zusammen mit WSM 5 einen gemeinsamen Flottentank. Maschine 6, 7 und 8 blieben bei den Untersuchungen der Wascheffekte unberücksichtigt, da darin im Vergleich zur gesamten Wäschemenge nur kleine Mengen behandelt wurden, die Maschinen nur für spezielle Wäschearten und teilweise für die Nachwäsche eingesetzt wurden.

4.2.2.2.1 Waschstraße

Die im Betrieb vorhandene Waschstraße zum Waschen der Altenheim- und Pflegeheimwäsche wurde über ein Transportband mit Wäsche beladen. Die Masse der taktweise zugeführten Wäscheposten wurde über eine automatische Beladungsmengenerfassung gemessen. **Abbildung 23** zeigt die Anlagenkonzeption der Waschstraße. Die Taktzeit der Anlage betrug 200 s (einschließlich Wäschetransport in die nächste Kammer).

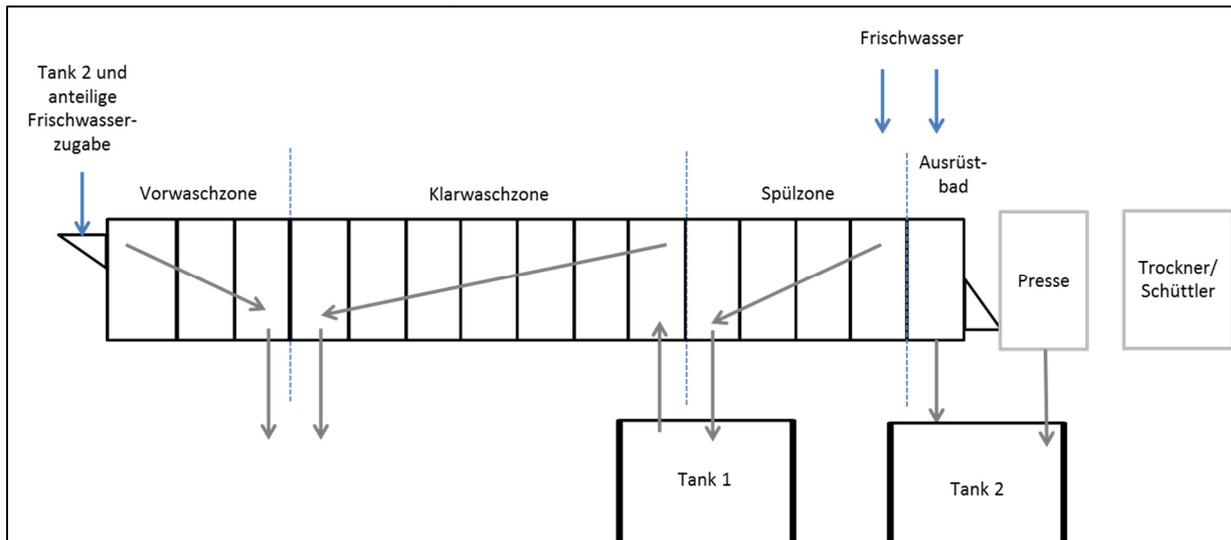


Abbildung 23: Anlagenkonzeption Waschstraße, Wäscherei für Bewohnerwäsche

Die Waschstraße war in folgende Bearbeitungszonen aufgeteilt:

- Vorwaschzone Kammer 1 - 3 (Mitstrom)
- Klarwaschzone Kammer 4 - 10 (Gegenstrom)
- Spülzone Kammer 11 - 14 (Gegenstrom)
- Ausrüstkammer: Kammer 15 (stehendes Bad)

Die Waschstraße wurde zum Zeitpunkt der Untersuchungen ausschließlich mit Direktampf beheizt (8,0 bar), wobei die Waschflotte nur in den Kammern 3 und 4 und in Tank 2 aufgeheizt wurde. Die Flottentemperaturen der beheizbaren Kammern betragen zum Zeitpunkt der Messungen für Programm 1 (Altenheim-Unterwäsche):

- Kammer 2: 38 °C
- Kammer 5: 78 °C
- Kammer 7: 82 °C
- Kammer 8: 82 °C
- Kammer 15: 35 °C
- Presse: 31 °C

Die Flottenführung im untersuchten Waschprogramm 1 (Altenheim-Unterwäsche) wies folgende Besonderheiten auf:

- Kammer 1: Einschwemmen mit Flottenverhältnis von 5,0 l/kg, davon 4,6 l/kg rückgewonnenes Wasser aus Pressentank
- Kammer 2 - 3: Flottenverhältnis wie K1 (Mitstrom), danach Ablass der Flotte und Umladen des Postens in Kammer 4
- Kammer 4 - 10: Gegenstromverfahren, 1,8 l/kg aus 1. Spülzone (Kammer 11), Flottenverhältnis 5,0 l/kg
- Kammer 11 - 14: Gegenstromverfahren mit 5,0 l/kg, davon 4,0 l/kg Frischwasser und 1,0 l/kg Pressenwasser

- Kammer 15: stehendes Bad, Neutralisation mit 5,0 l/kg, nach Zyklus Flottenablass und Umladen in Presse

Wasch- und Waschhilfsmittel (Hersteller: Fa. Christeyns) wurden in konstanter Menge pro Waschtakt in die Kammern dosiert, wobei diese Mengendosierung über die Laufzeit der Dosierpumpe eingestellt war:

- Kammer 1: Osmaflux profi (flüssiges Alleinwaschmittel) 6,0 ml/kg
- Kammer 1: Novan Sigma (alkalischer Waschkraftverstärker) 3,8 ml/kg
- Kammer 5: Osmaflux profi (flüssiges Alleinwaschmittel) 7,0 ml/kg
- Kammer 7: Wasserstoffperoxid (Bleichmittel) 4,0 ml/kg
- Kammer 15: Essigsäure (Absäuerungsmittel) 1,5 ml/kg

Tabelle 11 zeigt den Programmablauf des untersuchten Waschprogramms (Programm Nr. 1, Altenheimwäsche, 90 °C), wobei die Taktzeit 180 s plus 20 s Transportzeit des Postens zur nächsten Kammer betrug. Der g-Faktor der Trommel betrug 0,045 und der Schwenkwinkel 285°. Die Entwässerung erfolgte durch eine Presse bei einem Pressdruck von 30 bar für ca. 35 s.

Tabelle 11: Programmablauf in WSR 1 zum Waschen von Bewohnerwäsche

Kammer	Wasserart*	Niveau [l/kg]	Flotten-temperatur [°C]	Flottenablass	Wasch- und Waschhilfsmittel
1	4,6 l/kg aus Presentank und FW	5,0		in Kammer 2	6,0 ml/kg Alleinwaschmittel, 3,8 ml/kg alkalischer Waschkraftverstärker
2	-	wie K1	38	in Kammer 3	-
3	-	wie K1	65	in Kanal	-
4	-	wie K10	70	in Kanal	-
5	-	wie K10	78	in Kammer 4	7,0 ml/kg Alleinwaschmittel
6	-	wie K10	83	in Kammer 5	-
7	-	wie K10	82	in Kammer 6	4,0 ml/kg Wasserstoffperoxid
8	-	wie K10	82	in Kammer 7	-
9	-	wie K10	91	in Kammer 8	-
10	1,8 l/kg RW aus Tank 1 (K11) und 3,2 l/kg FW	5,0	90	in Kammer 9, Gegenstrom, kein Flottenablass	-
11	-	wie K14	75	über WT in Tank 1, dann in Kammer 10	-
12	-	wie K14	66	in Kammer 11	-
13	-	wie K14	50	in Kammer 12	-
14	FW und RW aus Presse	4,0 FW 1,0 RW	46	in Kammer 13	-
15	FW und RW aus Presse	5,0	35	In Tank 2	1,5 ml/kg Essigsäure
Presse	-	-	31	In Tank 2	-

* FW= Frischwasser, RW= Rückgewinnungswasser

4.2.2.2 Waschschleudermaschinen

In den Waschmaschinen 1 bis 4 (Verbundmaschinen, Firma Seibt & Kapp) wurde Oberbekleidung aus Alten- und Pflegeheimen gewaschen. Alle Waschmaschinen wurden direkt mit Frischdampf (9 bar_{abs}) beheizt. Die Beladung erfolgte mittels Saugzuggebläse von der unreinen Seite aus.

Das untersuchte Waschprogramm 1 (Bewohnerwäsche aus Alten- und Pflegeheimen) in den Maschinen 1 bis 4 wies folgende Besonderheiten auf:

Programmschritt 1: Klarwäsche

Füllverhältnis: 25 l/kg
 Wasserart: Weichwasser
 Flottentemperatur: 40 °C
 Flottenverhältnis: ca. 6 l/kg
 g-Faktor: 0,6 g; 10/1 Reversierung
 Waschmitteldosierung: 16 ml/kg Selox Micran (Alleinwaschmittel) und 24 ml/kg Peracid forte (Bleich- und Desinfektionsmittel)
 Dauer: 11 min, 1 min Ablass

Programmschritt 2: 1. Spülen

Wasserart: Weichwasser
 Flottentemperatur: kalt
 Flottenverhältnis: ca. 6 l/kg
 g-Faktor: 0,6 g
 Waschmitteldosierung: keine
 Dauer: 3 min, dann 1 min Ablass in Kanal

Programmschritt 3: 2. Spülen

Wasserart: Weichwasser
 Flottentemperatur: kalt
 Flottenverhältnis: ca. 6 l/kg
 g-Faktor: 0,6 g
 Waschmitteldosierung: keine
 Dauer: 3 min, dann 1 min Ablass in Kanal

Programmschritt 4: Endschleudern

g-Faktor: 300
 Dauer: 6 min

Waschmaschine 5 zum Waschen von Küchenwäsche

In Waschmaschine 5 wurde zum Zeitpunkt der Untersuchungen Küchenwäsche bearbeitet. Das untersuchte Waschprogramm 13 (Küchenwäsche 90 °C) wies folgende Besonderheiten auf:

Programmschritt 1: Klarwäsche

Füllverhältnis: 19 l/kg
 Wasserart: Weichwasser
 Flottentemperatur: 80 °C
 Flottenverhältnis: 5 l/kg
 g-Faktor: konnte nicht ermittelt werden
 Waschmitteldosierung: 8 ml/kg Osma Flux (Alleinwaschmittel), 13 ml/kg Alkalibooster, 10 ml/kg Zitronensäure
 Dauer: 10 min

Programmschritt 2: Klarwäsche 2

Flottentemperatur: 80 °C
 Flottenverhältnis: 6 l/kg
 Dauer: 14 min, dann 1 min Ablass

Programmschritt 3: Klarwäsche 3

Wasserart: Weichwasser
 Flottentemperatur: 80 °C
 Flottenverhältnis: 6 l/kg
 Dauer: 17 min, dann 1 min Ablass

Programmschritt 4: Spülen 1

Wasserart: Weichwasser
 Flottenverhältnis: 6 l/kg
 Dauer: 5 min, dann 1 min Ablass

Programmschritt 5: Spülen 2

Wasserart: Weichwasser
 Flottenverhältnis: 6 l/kg
 Dauer: 5 min, dann 1 min Ablass

Programmschritt 5: Spülen 3

Wasserart: Weichwasser
 Flottentemperatur: kalt
 Flottenverhältnis: 6 l/kg
 Dauer: 3 min, dann 1 min Ablass

Programmschritt 6: Endschleudern

Dauer: 10 min, dann Programmende

Waschmaschine 7 zum Waschen wollhaltiger Bewohnerwäsche

In Waschmaschine 7 wurde größtenteils wollhaltige Bewohnerwäsche (bunt) aus Altenheimen bearbeitet. Das untersuchte Waschprogramm 1 (Feinwäsche 30 °C) wies folgende Besonderheiten auf:

Programmschritt 1: Klarwäsche

Füllverhältnis: 22 l/kg
 Wasserart: Weichwasser
 Flottentemperatur: 40 °C
 Flottenverhältnis: 4 l/kg
 g-Faktor: 0,6 g
 Waschmitteldosierung: 28 ml/kg Selox Micran (Alleinwaschmittel), 22 ml/kg Personril (Bleich- und Desinfektionsmittel)
 Dauer: 12 min, dann 1 min Ablass

Programmschritt 2: 1. Spülen

Wasserart: Weichwasser
 Flottentemperatur: kalt
 Flottenverhältnis: 4 l/kg
 g-Faktor: 0,6 g
 Dauer: 4 min, dann 1 min Ablass

Programmschritt 3: 2. Spülen

Wasserart: Weichwasser
 Flottentemperatur: kalt

Flottenverhältnis: 4 l/kg
 g-Faktor: 0,6 g
 Dauer: 4 min, dann 1 min Ablass

Programmschritt 4: 3. Spülen

Wasserart: Weichwasser
 Flottentemperatur: kalt
 Flottenverhältnis: 6 l/kg
 g-Faktor: 0,6 g
 Dauer: 4 min, dann 1 min Ablass

Programmschritt 5: Ausrüsten

Wasserart: Weichwasser
 Flottentemperatur: kalt
 Flottenverhältnis: 4 l/kg
 g-Faktor: 0,6 g
 Dauer: 3 min, dann 1 min Ablass

Programmschritt 6: Endschleudern

g-Faktor: 300
 Dauer: 10 min

4.2.3 Schmutzentfernung

Untersuchungen zur Ermittlung der Schmutzentfernung erfolgten in der eingesetzten Waschanlage sowie den Waschscheudermaschinen Nr. 1 bis 4, 5 und 7. **Abbildung 24** bis **Abbildung 28** zeigen die erzielte Schmutzentfernung der Waschstraße sowie der eingesetzten Waschscheudermaschinen an Prüfgeweben mit unterschiedlichen Anschmutzungen.

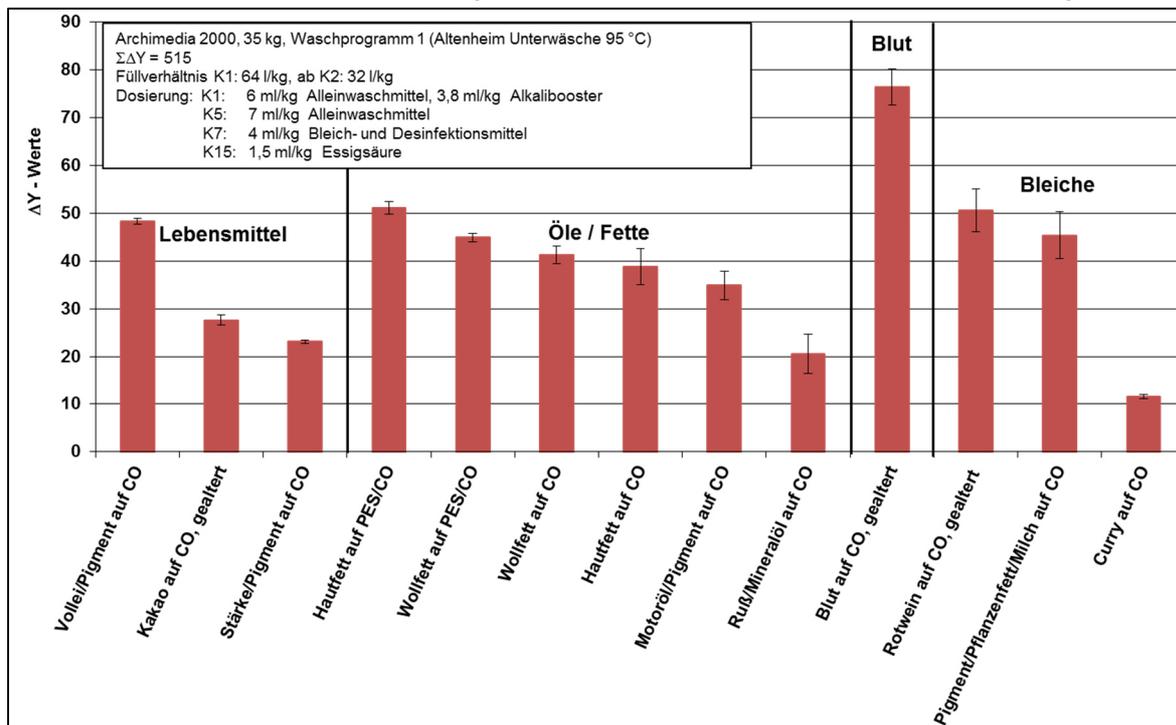


Abbildung 24: Schmutzentfernung (ΔY-Wert ± Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Waschstraße bei Altenheim-Unterwäsche, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen

Insbesondere Unterwäsche aus Alten- und Pflegeheimen, die meist stark mit Fäkalien verschmutzt ist, erfordert Waschbedingungen hoher Schmutzentfernung bei fett- und proteinhaltigen Verschmutzungen. Dies wird durch hohe Temperaturen in der Klarwaschzone begünstigt. Die angewandte chemothermische Desinfektion lässt das Erreichen ausreichend hoher Keimreduktion erwarten.

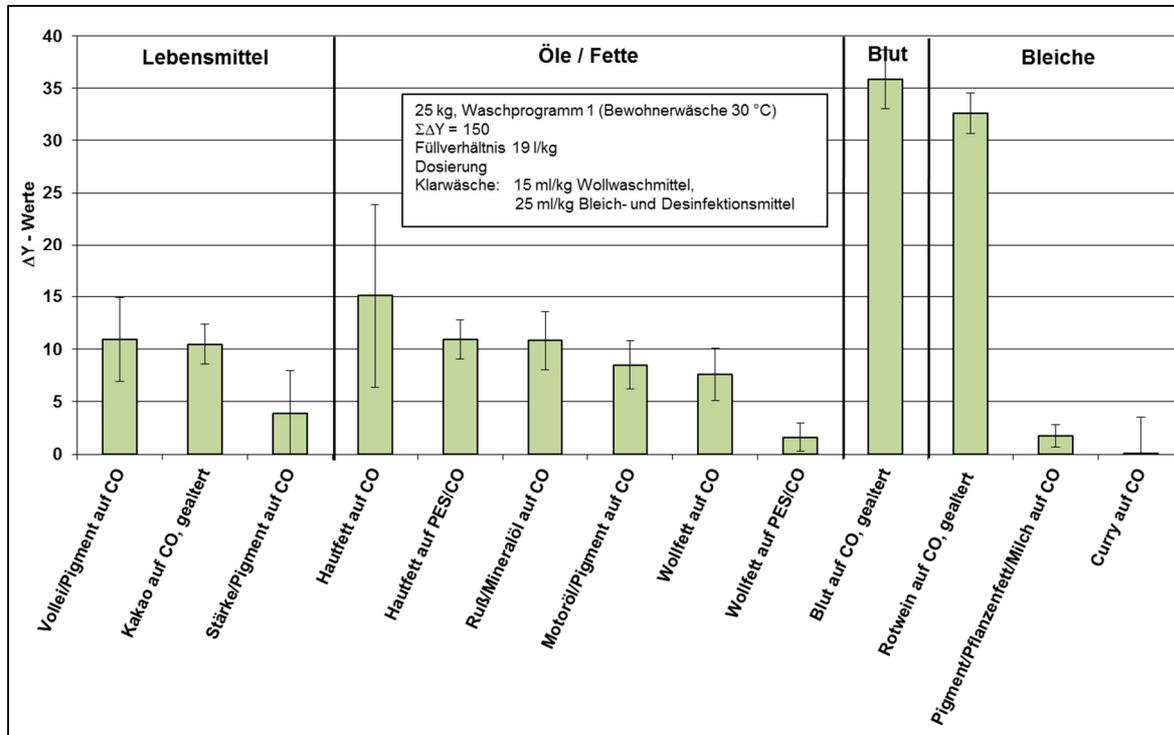


Abbildung 25: Schmutzentfernung unterschiedlicher Schmutzarten (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) in den Waschsleudermaschinen 1 bis 4 im Programm für Oberbekleidung aus Alten- und Pflegeheimen, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen

Abbildung 25 zeigt die erzielte Schmutzentfernung in den Waschsleudermaschinen 1 bis 4, in denen überwiegend bunte Oberbekleidung gewaschen wurde. Aufgrund der teilweise temperaturempfindlichen Textilien arbeitete dieses Waschprogramm mit einer Flottentemperatur von maximal 40 °C.

In Waschsleudermaschine 5 wurde zum Zeitpunkt der Untersuchungen Küchenwäsche gewaschen. **Abbildung 26** zeigt die erzielte Schmutzentfernung des entsprechenden Waschprogramms. Auffällig bei diesem Programm war die Dosierung von 10 ml/kg Zitronensäure in der Vorwäsche.

Im untersuchten Programm für Küchenwäsche wurden aufgrund der hohen Flottentemperatur von 90 °C und des Waschchemikalieneinsatzes erwartungsgemäß die insgesamt höchsten Werte der Schmutzentfernung gemessen.

Abbildung 27 zeigt die Schmutzentfernung (ΔY -Werte) in Waschsleudermaschine 7 im Programm für bunte, wollhaltige Alten-Pflegeheimwäsche. Aufgrund der geringen Programmunterschiede zwischen den Maschinen 1 bis 4 und 7 (**Kap. 4.2.2.2**) weist die Schmutzentfernung ($\Sigma \Delta Y$ -Werte) ähnliche Größenordnung auf. Während der Untersuchungen wurde in Maschine 7 ein größeres Füllverhältnis (geringere Beladungsmenge) festgestellt, das zudem - abhängig von der jeweils vorhandenen Wäschemenge - schwankte.

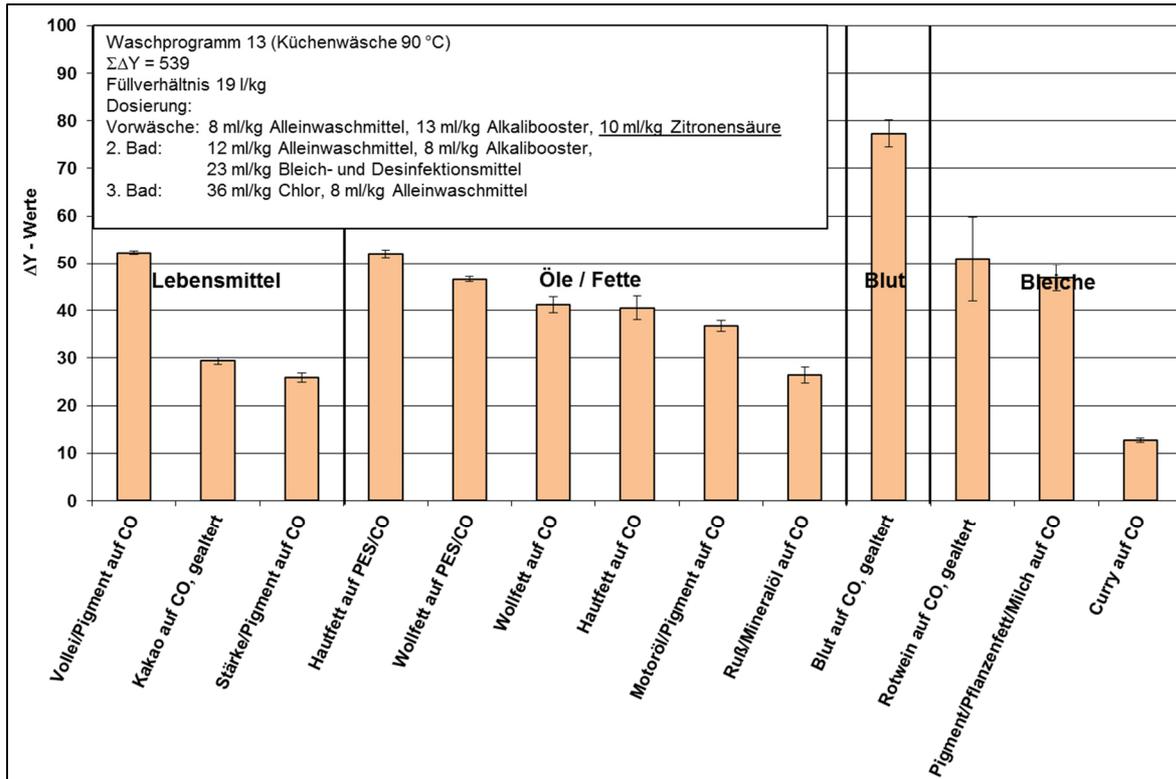


Abbildung 26: Schmutzentfernung unterschiedlicher Schmutzarten (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) in Waschschleudermaschine 5 im Programm Küchenwäsche, Mittelwerte aus 3 Versuchen

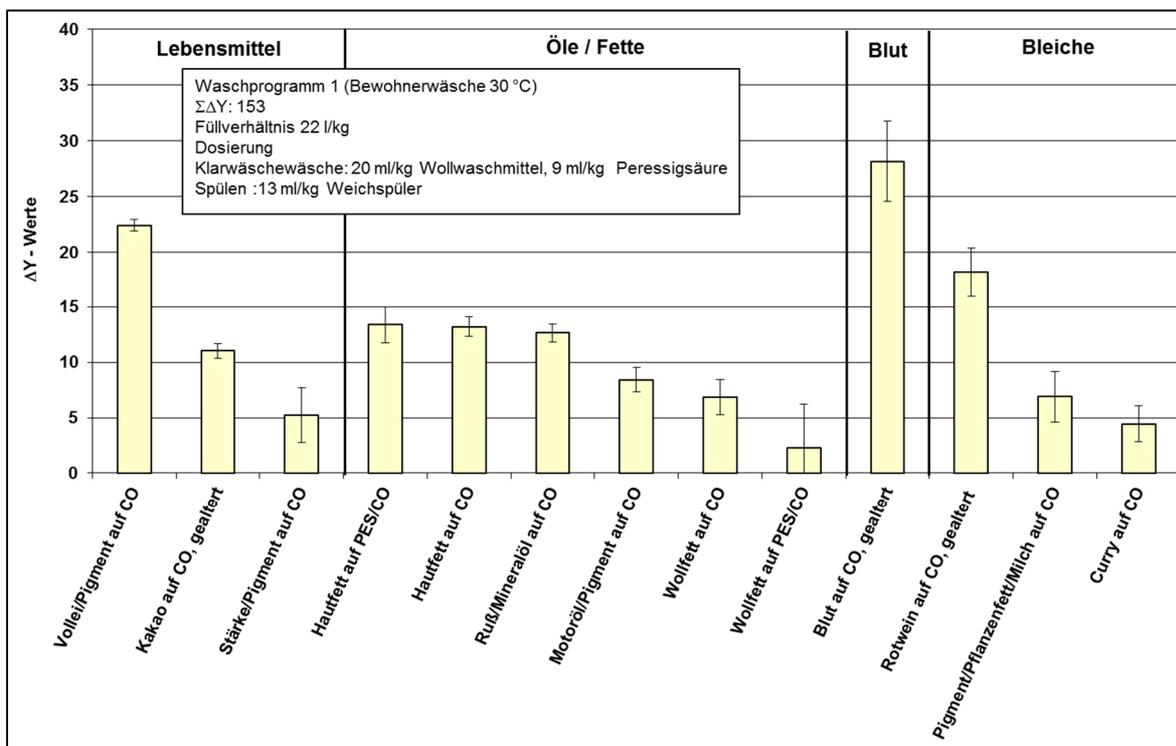


Abbildung 27: Schmutzentfernung unterschiedlicher Schmutzarten (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) in Waschschleudermaschine 7 im Programm für bunte, wollhaltige Alten-Pflegeheimwäsche, Mittelwerte aus 3 Versuchen

Abbildung 28 zeigt vergleichend die Schmutzentfernung an allen eingesetzten Monitoren ($\Sigma\Delta Y$ -Werte) der im Wäschereibetrieb untersuchten Waschmaschinen. Danach zeigten Maschine 5 und die Waschstraße für alle Anschmutzungen die höchste Schmutzentfernung. Aufgrund der unempfindlicheren Wäschearten (Altenheim-Unterwäsche bzw. Küchenwäsche) kann in beiden Maschinen die Flottentemperatur in der Klarwäsche erhöht, andere Waschchemikalien eingesetzt und mit intensiverer Waschmechanik gearbeitet werden.

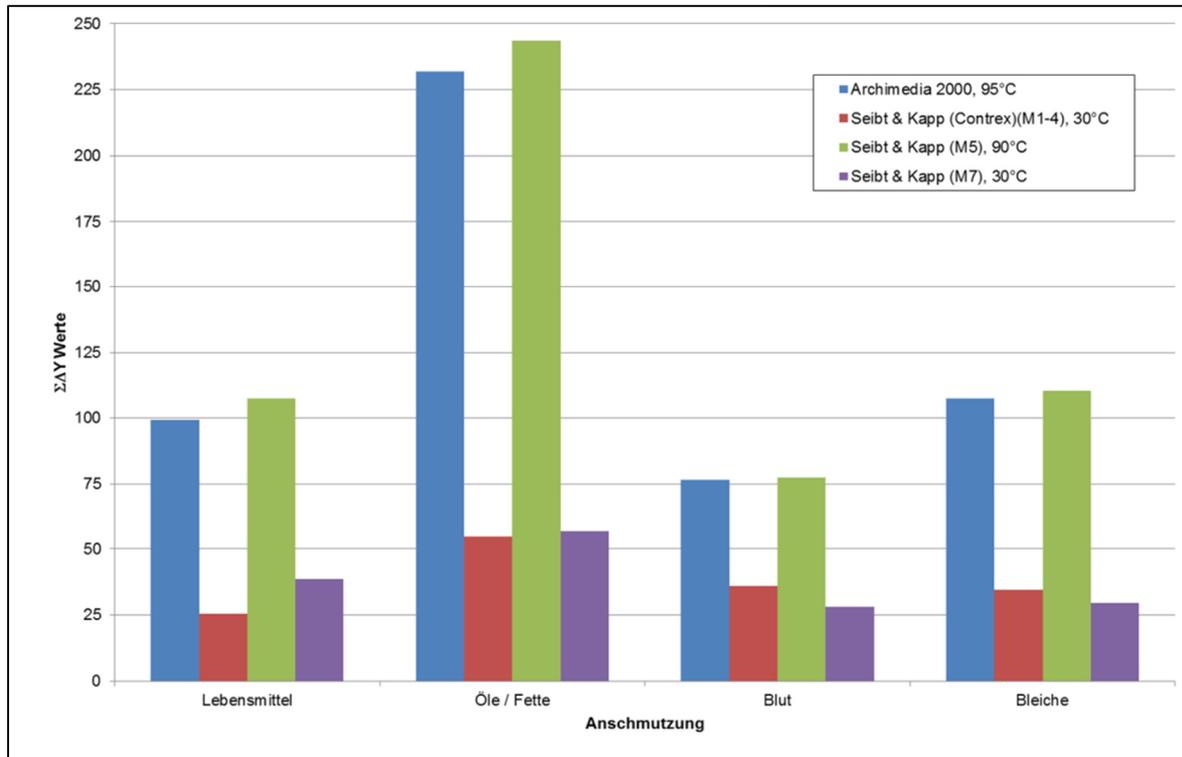


Abbildung 28: Schmutzentfernung (ΔY -Wert) aller eingesetzten Anschmutzungen für die untersuchten Maschinen, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen

4.2.4 Sekundärwascheffekte und Spülwirkung

An den in **Kapitel 3.2.3.2** beschriebenen sauberen Prüfgeweben wurden die Kenngrößen der *Sekundärwaschwirkung* beim Waschen von Altenheimwäsche in der Waschstraße bestimmt (**Tabelle 12**).

Tabelle 12: Textilschädigung an Baumwolle, IST-Analyse, Alten- und Pflegeheimwäsche

Messgrößen	Ausgangswerte	Nach 25 Waschzyklen	Nach 50 Waschzyklen	Anmerkungen, Grenzwerte*
Weißgrad WG-Wert	117	105,6	127,22	Zulässig: min. 170
Grundweißwert Y-Wert	91	81,64	71,47	Zulässig: min. 87
Farbtonabweichung FAZ	R 1 - 0,97	R 2 - 1,98	R 2 - 2,25	Zulässig: R 1,5 - G 2,49
Höchstzugkraftverlust in %	-	1	3	Zulässig: max. 30 %
Schädigungsfaktor (chemische Schädigung)	-	0,1	0,2	Zulässig: max. 1,0

Messgrößen	Ausgangswerte	Nach 25 Waschzyklen	Nach 50 Waschzyklen	Anmerkungen, Grenzwerte*
Glühasche (anorganische Gewebeeinkrustation)	0,6	0,1	0,1	Zulässig: max. 1,0 %
* Die angegebenen Grenzwerte beziehen sich auf die zulässigen Werte nach RAL-GZ 992 nach 50 Waschbehandlungen				

Danach liegen sowohl die die Textilschädigung charakterisierenden Werte des Höchstzugkraftverlustes und der chemischen Schädigung als auch die Glühaschewerte im zulässigen Bereich. Der den Weißendruck, einschließlich der optischen Aufhellung, charakterisierende WG-Wert ist niedriger als die Vorgaben der RAL-GZ 992. Gleiches gilt für den Grundweißwert (Maß für die Vergrauung an Baumwolle).

Abbildung 29 zeigt die ermittelten *Vergrauungswerte* an Baumwolle und PES/CO-Mischgewebe 65/35 in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl.

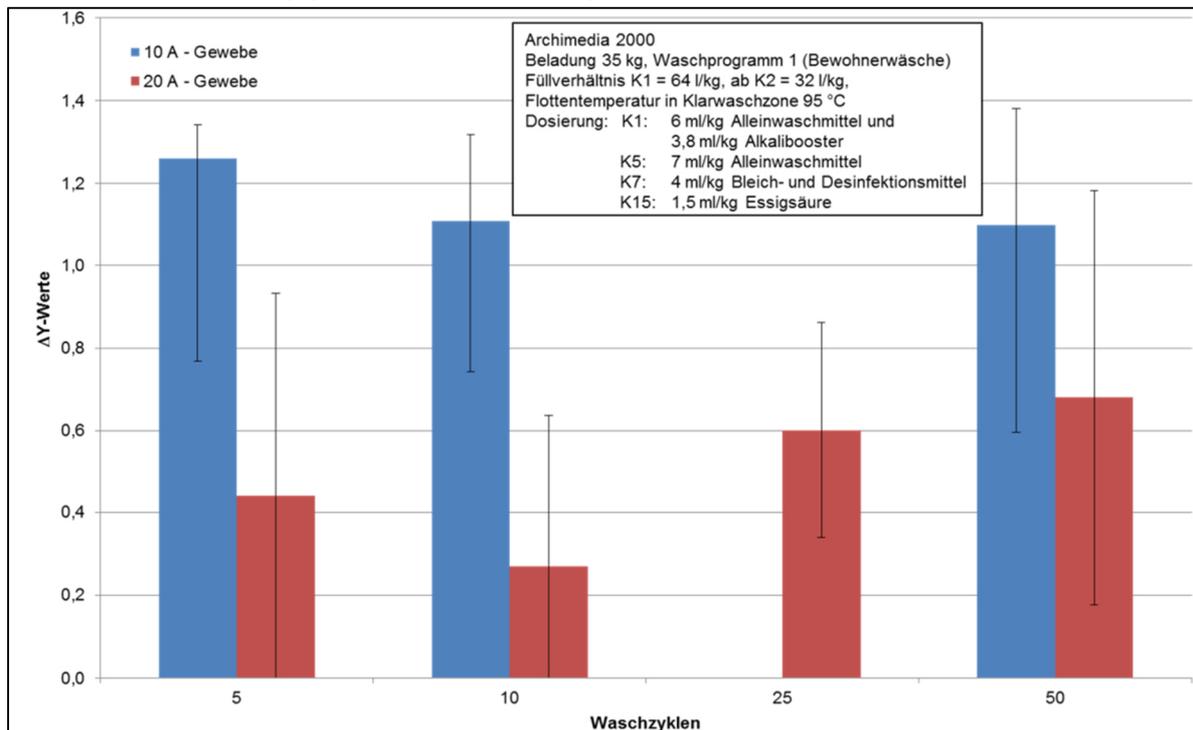


Abbildung 29: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Waschstraße im Programm für Alten- und Pflegeheimwäsche in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl

Die beim Waschen von Altenheim-Unterwäsche in der Waschstraße gemessenen Vergrauungswerte (ΔY -Wert) in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl liegen unter 2.

Bezüglich der *Spülwirkung* zeigten die Wasseranalysen der letzten Spülflotte Werte im üblichen Bereich.

4.2.5 Trocknungseffekte

4.2.5.1 Mangeln

Die Trocknung der Tischdecken erfolgte durch Mangeln in einer dampfbeheizten Mangel (2-Roller) mit einem Walzendurchmesser von 1,20 m bei einer Arbeitsbreite von 3,0 m. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen betrug der Mangelanpressdruck in etwa 3 bar (Mangelanzeige) und der anliegende Dampfdruck um 9,4 bar absolut. Die gemessenen Muldentemperaturen betragen 177 °C in Mulde 1 und 171 °C in Mulde 2.

Das in der Mangel verdampfte Wasser sowie die heiße Abluft wurden zum Zeitpunkt der Untersuchungen ungenutzt über das Dach abgeführt.

4.2.5.2 Trocknen im Tumbler

Der größte Teil der untersuchten Wäscheart wurde in der Verbundtrockneranlage (Trockner 1 bis 4) getrocknet. Die vier Trockner stehen auf einem Stahlgestell. Die Beladung erfolgt mehrstufig durch Einsatz von Saugzuggebläse, Vorratsbehälter und Transportwagen. Die technischen Daten der Trockner zeigt **Tabelle 4**.

Orientierende Untersuchungen zur Bestimmung der nach dem Trocknen vorliegenden Textilrestfeuchte zeigten, dass die Wäsche den gewünschten Trocknungsgrad innerhalb der eingestellten Trocknungsdauer erreichte.

4.2.5.3 Endtrocknen und Glätten im Tunnelfinisher

Die Endtrocknung der Formteile der behandelten Altenheim- und Pflegeheimwäsche bei gleichzeitigem Glätten erfolgte im Wesentlichen in einem dampfbeheizten Tunnelfinisher (1 Modul, 270 Teile/h, Verweilzeit 13,5 min). Im untersuchten Programm für Nachthemden betrug die Heißlufttemperatur im Finisher 155 °C und der Sprühdampfdruck 2,5 bar.

Die mit diesen Einstellungen erzielte Finishqualität wurde vom Wäschereibetreiber als zufriedenstellend eingestuft. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass mit Mischgewebeteilen eine deutlich glattere Oberfläche als mit Baumwollteilen erzielt wird.

4.3 Optimierungsvorschläge Bewohnerwäsche

Es wurden zahlreiche Einsparpotenziale entdeckt. Der Wäscherei wurden die zehn wirtschaftlichsten Maßnahmen nach der IST-Analyse vorgestellt, die sich überwiegend auf mehrere oder alle Prozesse auswirken. Typische Maßnahmen sind Verbesserungen bei der Dampferzeugung und –verteilung, der Druckluftherzeugung aber auch die prozessübergreifende Abwärmennutzung.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass manche Maßnahmen den Einspareffekt anderer Maßnahmen reduzieren können.

4.3.1 Dampferzeugung

Die Auswertung der Feuerungsleistungsmessungen ergab einen mittleren Leistungsbedarf von 736 kW während der Laufzeit der Brenner. Betrachtet man die gesamte Meßdauer, einschließlich der Betriebsbereitschaftszeiten, sinkt der mittlere Feuerungsleistungsbedarf auf 714 kW. Die installierte Feuerungsleistung lag mit 1.346 kW deutlich höher. Bereits der 1,25 t/h-Dampfkessel (DK links) verfügte mit dem zweistufigen Ölbrenner über eine Feuerungsleistung von über 800 kW, die für den gesamten Betrieb ausreicht. Durch den Einsatz eines Abgaswärmetauschers (Economisers) könnte eine zusätzliche Wirkungsgradverbesserung von bis zu 4 % erzielt werden. Folgende Verbesserungen für die Dampferzeugung wurden vorgeschlagen (siehe auch **Tabelle 13**):

- Umstellung des 1,25 t/h-Dampfkessels von Heizöl auf Erdgas und Umbau bzw. Einbau eines modulierenden Brenners für Erdgasbetrieb
- Austausch der Regelung im Rahmen des Einbaus eines modulierenden Brenners
- Nachrüstung eines Economisers zur Senkung der Abgastemperatur bzw. Erhöhung der Speisewassertemperatur im Speisewasserbehälter (mit Umwälzpumpe zur ständigen Abwärmennutzung des Economisers und Aufheizung des Speisewasserbehälters auf über 100 °C)
- 1,0 t/h-Kessel als Ausfallsicherung für Notfälle
- Verbesserung Peripherie:

- Auskopplung Raumheizung und Versorgung mit Abwärme von Mangel und Trocknern über einen Pufferspeicher
- Thermische Entgasung des Kesselspeisewassers mit Ableitung von abgekühltem Wrasendampf über Dach: Umbau Vorratsbehälter auf Stofftrennung zwischen Speisewasser und Wrasendampf aus dem Entgaser (vgl. **Abbildung 9** zu **Abbildung 30**).

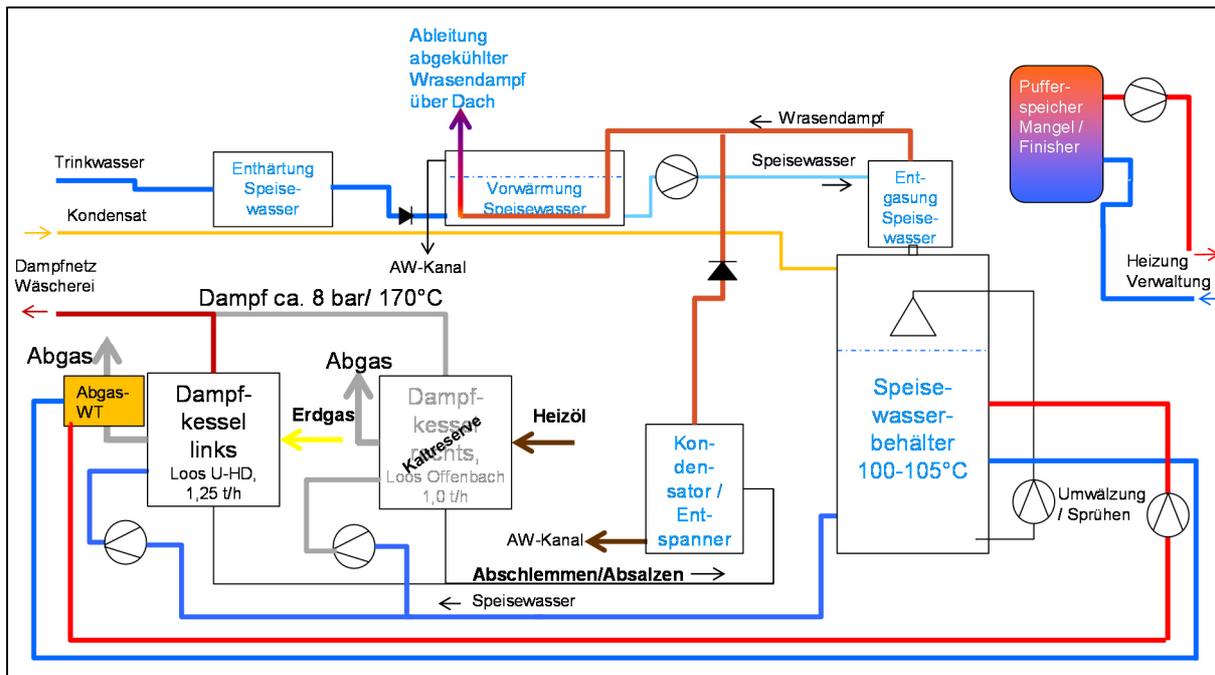


Abbildung 30: Vorgeschlagene Optimierungsmaßnahmen Dampferzeugung (schematische Darstellung), Wäscherei für Bewohnerwäsche

4.3.2 Dampfnetz

Ein Teil der im Dampf enthaltenen Energie erreicht die Maschinen nicht. Durch Leckagen und mangelhafte bzw. nicht vorhandene Dämmung der Rohrleitungen geht Dampf im Leitungsnetz verloren. Deshalb wurden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Abdichten bzw. Beseitigen von Dampfleckagen:
 - Austausch von defekten Ventilen
 - Austausch von Dichtungen bzw. Erneuerung von Leitungsverbindungen, insbesondere an und in der Waschstraße
 - Austausch von defekten Panzerschläuchen (z.B. Verbundtrockneranlage)
 - Schweißen bzw. Austausch von defekten Dampfleitungen (z.B. Dampfanschlussleitung WSM 1-5 (Contrex-Anlage))
- Dämmen der nicht oder mangelhaft isolierten Dampfleitungen
 - Anschlussleitungen der Verbundtrockneranlage
 - Anschlussleitungen der Waschstraße und von WSM 1 bis 5 (Contrex-Anlage)
 - Ausgleichsbogen der Dampfleitung über dem Ausgabeband der Waschstraße

Wegen der vielen, nicht messbaren Leckagen und unisolierten Leitungen wurde beispielhaft nur der einfach zu behobende Anschluss an den Trocknern der Verbundtrockneranlage aufgeführt und bewertet (siehe **Tabelle 13**).

4.3.3 Druckluftherzeugung und -verteilung

- Als wichtigste Maßnahme wurde die Senkung der Leckrate von rund 40 % auf eine maximal 10 % vorgeschlagen. Gefundene Druckluftlecks waren:
 - o Steuerblöcke (Mangel, Waschstraße, Tumbler, Chemische Reinigung)
 - o Pneumatikzylinder an der Ausgabeseite der Mangel
- Der Druckluftverlust durch die vorhandenen Lecks und der energetische Aufwand zur Druckkompensation können durch eine Nachrüstung der Teilnetzabschaltung (CR-Maschine, Bügelstationen, Hemdenfinisher) verringert werden.
- Mit einer verringerten Leckrate könnte die Versorgung durch einen einzelnen, drehzahlgeregelten Kompressor erfolgen. Durch die Senkung der installierten, elektrischen Kompressorleistung ist eine Einsparung beim Energieverbrauch in Höhe von $W_{el, min} = 4.000 \text{ h/a} * 11 \text{ k W} = 44.000 \text{ kWh}$; $P_{el, min} = 11 \text{ kW}$ möglich
Bei dieser Berechnung wurde die Leistung des einstufigen Kompressors, der während der Messung in Betrieb war, als einzusparende Leistung $P_{el, min}$ übernommen.
- Für die Nutzung der Abwärme des Kompressors wird ein Umzug des Kompressors in die Waschhalle oder in das Kesselhaus vorgeschlagen. Dort könnte die Wärme auch zur Warmwasserbereitung (WWB) oder für die Raumheizung eingesetzt werden (siehe **Abbildung 31**).

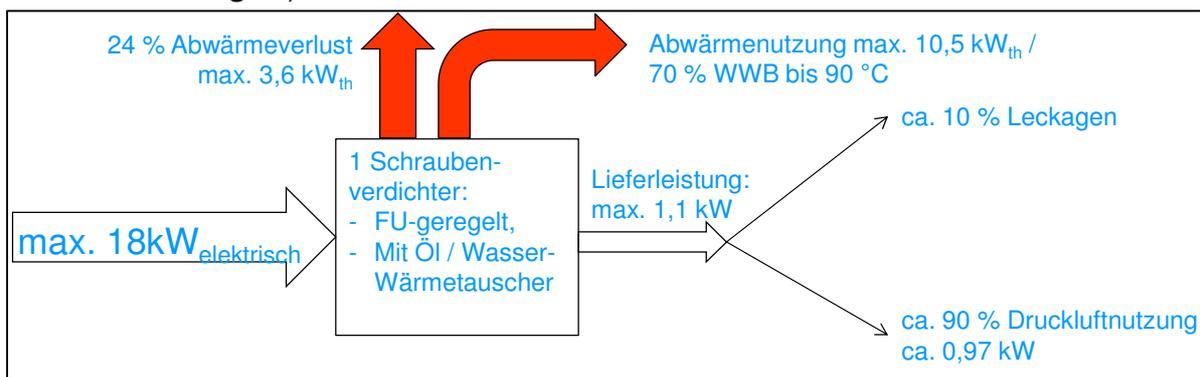


Abbildung 31: Energiefluss Druckluft im Anlagen-Zielzustand, Wäscherei für Bewohnerwäsche

4.3.4 Organisatorische Maßnahmen (übergreifend über alle Prozesse)

- Beschriftung aller Leitungen: Trinkwasser, Weichwasser, Teichwasser, Sekundärwasser, Dampf, Kondensat, Speisewasser.
- Mindestens monatliche Druckluftkontrolle mit Behebung der Lecks nach Betriebsende bzw. vor Betriebsbeginn
- Einführung Checkliste mit Unterschrift für Pflege-/Wartungs- und Reparaturarbeiten

4.3.5 Sonstige Vorschläge zur Energiebedarfssenkung

- Stromverbrauchssenkung:
 - o **Abschalten Tumblergebläse** und Trennen des nach außen führenden Abluftrohrs: Der Tumbler nach der Waschstraße diene lediglich zur Auflockerung des Presskuchens der Waschstraße. Wenn die Wäsche ohne Gebläse nicht aus der Trommel des Tumblers transportiert würde, reicht eine kurze Gebläselaufzeit um die Wäsche sicher aus der Trommel zu befördern. Die beim Entladen abgegebene Luft hatte in etwa Raumtemperatur, geringfügig erhöhte Luftfeuchte, enthält keine Abgase und kaum Flusen, sie könnte in die Halle abgegeben werden. Durch den Verzicht auf Abfuhr dieser Luft über Dach könnte Energie eingespart werden: Bei

einem Volumenstrom von 715 m³/h und einer gemessenen Ablufttemperatur von 25-30 °C bei einer relativen Feuchte von 63-45 % liegt das jährliche Einsparpotenzial (mittlere Außenlufttemperatur 10 °C) bei ca. 22 MWh_{thermisch}. Hinzu kommt eine Einsparung an elektrischer Energie in Höhe von 7.800 kWh (Annahme: Ventilator 3 kW, 10 h/Tag, 260 Tage/Jahr).

- **Optimierung Pumpen der Waschstraße:** Für Filter und Tank 2 (P1 und P4) könnte die Anlage auf eine Pumpe reduziert werden (siehe **Abbildung 32**). Die Umschaltung per Relais könnte kostengünstig durch wäschereieigene Techniker durchgeführt werden.
 - Fixierung der freihängend montierten, schwingenden Füllstandselektroden in den Waschstraßentanks auf korrektem Niveau zur Vermeidung des Taktens der Pumpen und Überlaufen der Tanks
- Wärmebedarfssenkung und Abwärmenutzung:
- **Umverlegen Saugzuggebläse:** kein Abführen von warmer Luft über Dach, sondern Nutzung als Warmluftzufuhr für die unreine Seite mit Kanal, Filter und ggfs. Rückschlagklappe. Alternativ könnte durch Umrüsten auf ein Hub-/Kippgerät zur automatischen Wagenentleerung nicht nur Wärme sondern auch Strom eingespart werden. Die Investitionen würden dann jedoch höher ausfallen.
 - **Abwärmenutzung von Mangel und Tunnelfinisher** zur Einbindung in einen Pufferspeicher zur Beheizung der Sozial- und Verwaltungsräume
 - **Nachrüsten Abwasserwärmepumpe mit Pufferspeicher:** Die im Abwasser enthaltene Energie wurde teilweise bereits durch einen vorhandenen Abwasserwärmetauscher in der Waschstraße genutzt. Das Abwasser von WSM 1 bis 5 (Contrex-Anlage) war durch das überwiegende Waschen von Oberbekleidung kühler, Abwasser aus dem Spülvorgang verließ nochmals deutlich kühler die Anlagen. Zur Nutzung der enthaltenen Energie gibt es mehrere Möglichkeiten. Zwei wesentliche Lösungen sind im Folgenden kurz ausgeführt:
 - Nutzung der Abwärme zur Vorwärmung des Weichwassers auf 30 °C mit dazwischen geschaltetem Pufferspeicher. Als Wärmequellen für den Pufferspeicher dient das Abwasser der Waschstraße nach dem Wärmetauscher sowie von WSM 1 bis 5. Die Wärmepumpe entzieht mittels Wärmetauscher dem Abwasser die Wärme, die sie dem Wasser in einem Pufferspeicher zuführt. Das Weichwasser in den Waschmaschinen wird über einen Plattenwärmetauscher vorgewärmt. Der grundsätzliche Aufbau ist in **Abbildung 33** dargestellt. Im Zuge dieser Maßnahme sollte geprüft werden, ob es wirtschaftlich möglich ist, den Wasserstrom in der Waschstraße zu modifizieren: Im IST-Zustand wurde das Kühlwasser mit dem Pressenwasser gemischt und zum Einspülen (K1) und als Ergänzung in K 10, 14 und 15 gepumpt. Das Kühlwasser ist deutlich wärmer als das auf 30 °C aufgewärmte Weichwasser und könnte bei Bedarf direkt in K 14 und K15- umgeleitet werden. Dazu sind lediglich eine zusätzliche Temperaturmessung sowie ein Umschaltventil nötig. Als Ergebnis wird nicht nur direkt im Waschprozess eine Energieeinsparung durch Wärmerückgewinnung erzielt, sondern auch eine Steigerung der Wäschetemperatur am Waschprozessende. Dies führt beim Pressen zu einer geringeren Restfeuchte und im Trockenprozess zu Energieeinsparungen ohne eine höhere Energiezufuhr im Waschprozess.

Einsatz von Hochtemperatur-Wärmepumpentechnik mit dem Ziel der Substitution von Dampf im Waschprozess der Waschstraße. Zum Zeitpunkt der IST-Analyse wurde Tank 2 (**Abbildung 32**) mit Dampf beheizt. Moderne Hochtemperaturwärmepumpen können mit einem COP von 4 Wärme bei bis zu 90°C bereitstellen.

Beispielrechnung nur mit Abwasser der Waschstraße:

Abwassertemperatur vorher:	37 °C	
Abwassertemperatur nach WP:	10 °C	
Durchfluss nach Bilanzierung (Abbildung 15)	1647,1 kg/h	
Nutzbare Abwärmeleistung:	ca. 52 kW	
Antriebsleistung:	ca. 13 kW	
Nutzbare Gesamtwärmeleistung	ca. 65 kW	
Arbeitspreis elektr. Energie:	15 Ct/kWh _{el}	
Wärmepreis ohne Betriebskosten:	2,5 Ct/kWh _{th}	
Eingesparte Energie am Dampfessel bei 3000 Betriebsstunden/a	ca. 275 MWh	Nutzungsgrad 86%
Einsparung Heizöl:	ca. 27.500 L, ca. 22.300 €/a	Preis Heizöl: 8,1Ct/kWh
Mehraufwand / Mehrkosten elektr. Energie:	47.320 kWh 7.100 €/a	
Einsparung ohne Betriebskosten	ca. 15.200 €/a	
Reduktion CO ₂ -Emission durch WP-Einsatz:	ca. 43,9 t CO ₂	spez. CO ₂ -Emission: Heizöl: 2,6 kg/L Strommix: 0,584 kg/kWh (2013)

Für eine vollständige Deckung des Wärmebedarfs reicht das Abwasser nicht. Nach der Bilanzierung (siehe Abbildung 83) benötigt die Waschstraße eine mittlere Wärmeleistung von ca. 81 kW. Damit die Wärmepumpenanlage diese Wärme liefern kann, würde zusätzliches Abwasser der Contrexanlage eingebunden werden müssen. Alternativ bietet sich die Senkung der Wärmeverluste über eine insgesamt niedrigere Prozesswassertemperatur an.

Der Dampfeinsatz könnte mit dieser Wärmepumpentechnik und Energie aus dem Abwasser substituiert werden. Zum Ausgleich der zeitlichen Unterschiede zwischen anfallender Abwärme und Wärmebedarf ist auch hier ein Pufferspeicher vorzusehen. Im Gegensatz zur vorangegangenen Lösung wird die Wärme nicht für alle Verbraucher eingesetzt, sondern nur in Tank 2 der Waschstraße abgegeben. Dazu empfiehlt sich, die Abwärme aus dem Abwasser per Wärmetauscher in einem Pufferspeicher einzubinden. Die Abwärme von ca. 25 bis 30 °C wird erst auf das benötigte hohe Temperaturniveau gebracht, wenn eine Anforderung der Waschstraßenregelung ansteht. So wird der Bedarf an elektrischem Strom für die Wärmepumpe auf ein Mindestmaß gesenkt und die Verluste des Pufferspeichers gering gehalten.

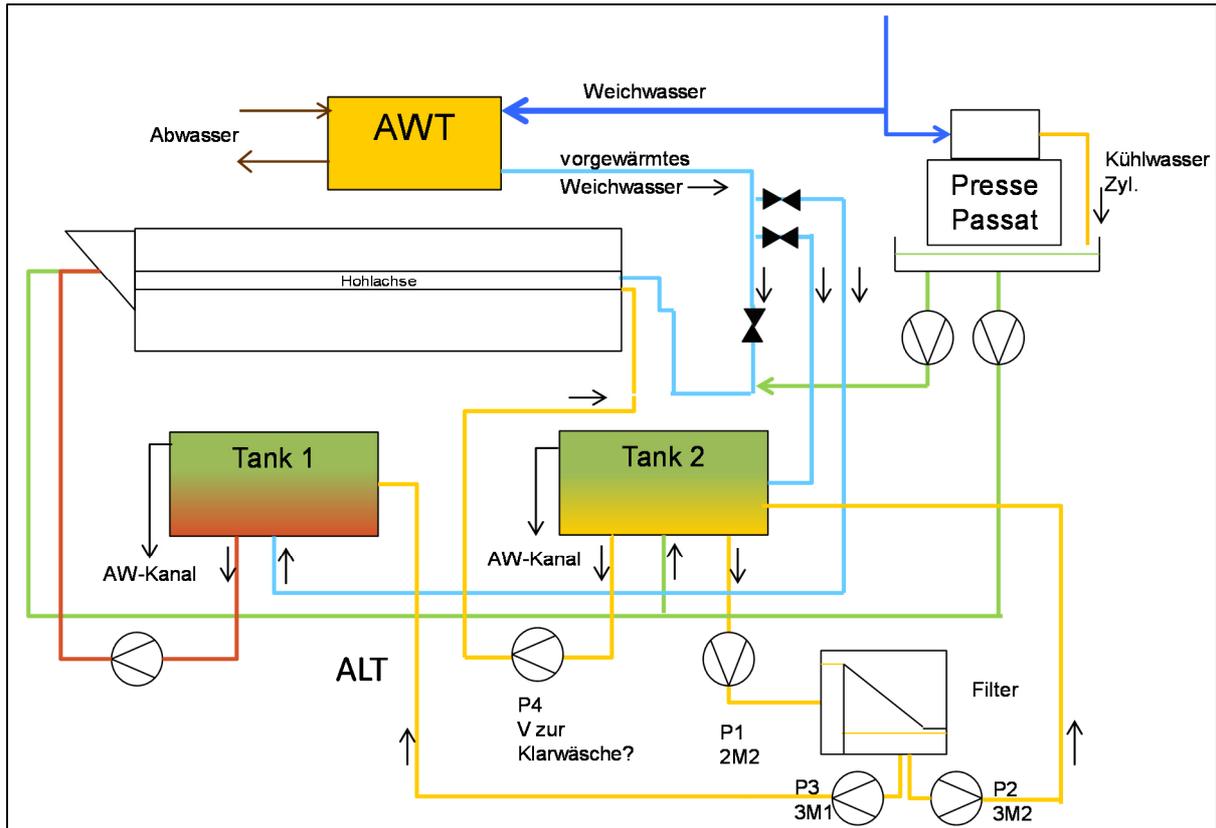


Abbildung 32: Wasserversorgung Waschstraße, Wäscherei für Bewohnerwäsche

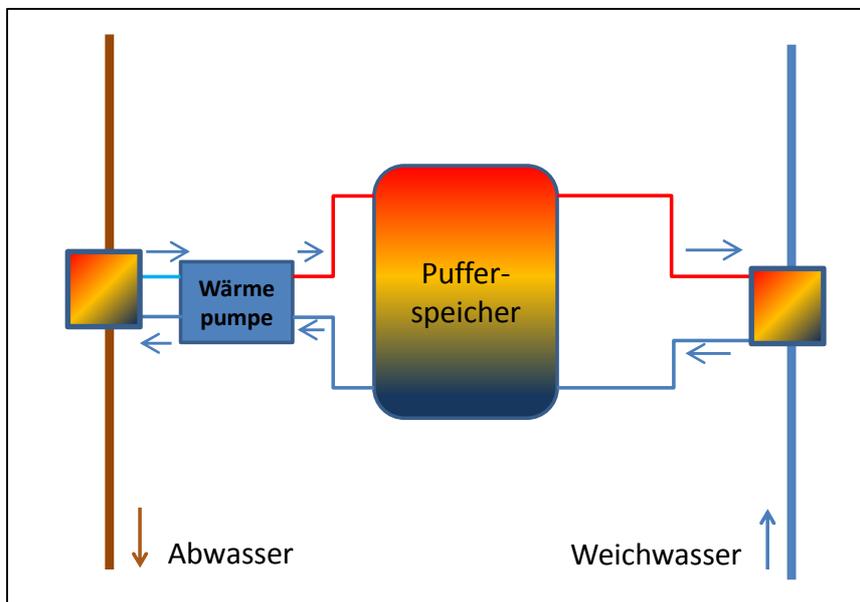


Abbildung 33: Prinzipskizze Abwasserwärmepumpe mit Pufferspeicher

Tabelle 13: Zusammenfassung Verbesserungen Wäscherei für Bewohnerwäsche

Nr.	Maßnahme	Investition (Schätzung)	Einsparung / Annahmen	Jährliche Einsparung in €	RoI (Jahre)
1	Linker Dampfkessel : Umstellung auf Erdgas + modulierender Brenner + neue Regelung Rechter Kessel nur noch als Ausfallsicherung	45.000 €	Preisunterschied Öl zu Erdgas: 8,1 ct/kWh zu 5,5 ct/kWh + 2 % Einsparung durch Brenner-Modulation	72.300 €	0,6
2	Nachrüstung mit Economiser mit Einbindung zur Speisewasserbehälterheizung	13.000 €	4 % des Ölverbrauchs umgerechnet auf den Gaspreis	5.870 €	2,2
3	Auskopplung Heizung und Versorgung über Abwärme Tunnelfinisher	20.500 €	Wärme für Verwaltung: beheizte Fläche 150 m ² , spez. Heizbedarf 70 W/m ² , Betriebsstunden 3.600 h/a Zuschlag Dampfkesselverluste 1,1 ohne Berücksichtigung Regelungsänderung aus Nr. 1	3.400 €	6,0
4	Nachrüstung eines zentralen Wärmetauschers inkl. Absaugventilator und Differenzdruckregelung + Filter	59.000 €	20 % Rückgewinnung aus Abluft, 15 Stunden pro Tag, 260 Tage pro Jahr	19.130 €	3,1
5	Dämmmaßnahmen und Leckbeseitigung Dampfnetz	4.000€	10 m Dampfleitung, Verluste: 500 W/m unisoliert, 50 W/m isoliert; Betrieb 15 h/Tag, 260 Tage/Jahr, Zuschlag Kesselverluste 1,1	1.564 €	2,56
6	Abwasserwärmepumpe zur Vorwärmung des Waschwassers mittels Pufferspeicher auf 30 °C	28.000€		7.587 €	3,69
7	Abschalten Gebläse des Tumbler Waschstraße, ggfs. Rohrdurchführung nach außen verschließen	500 €	Elektrische Leistung des Gebläse: 3 kW; Laufzeit: 10 Stunden/Tag, 260 Tage pro Jahr, Strompreis 0,15 €/kWh	1.170 €	0,4

Nr.	Maßnahme	Investition (Schätzung)	Einsparung / Annahmen	Jährliche Einsparung in €	Rol (Jahre)
8	Optimierung Waschstraße: Befestigung der Füllstands elektroden von Tank 1 auf korrektem Pegelstand zur Vermeidung Tanküberlauf, Reduzierung auf 1 Pumpe statt 2 Pumpen (siehe Abbildung 32), Pumpe P1+P4), Beseitigung Leckage Pumpen Pressenwasser + Zuleitungen, ggfs. Vergrößerung Tank und Nachrüstung Rückschlagklappen zur Vermeidung von Schaumrücklauf aus Abwasserleitung	1.000 €	Pauschale Annahme geringerer Leistungsbedarf: 7,7 kW; Leistungspreis Elektro: 77,75 €/kW pro Monat	600 €	1,7
9	Druckluftoptimierung: Nachrüsten mit Teilnetzabschaltung und Leckagebeseitigung;	7.000 €	Senkung elektrische Leistung: 8 kW, Betriebszeit 15 h/d, 260 d/a, Energiekosten: 77,75 €/kW Leistungspreis, 0,15 €/kWh Arbeitspreis	7.290 €	1,0
10	Umverlegen Saugzuggebläse: Abluftabfuhr nicht über Dach sondern – ggfs. mit Filter + großem Kanalquerschnitt – zur Vorwärmung der unreinen Seite (Alternative: Wäschewagenkippanlage zur Beladung der Trockner bei höheren Investitionen)	20.000 €	Winterliche Heizungseinsparung: 10.000 m ³ /h bei einer Betriebszeit von 3 h/d, 150 d/a (Heizperiode), 22 Kelvin mittlere Temperaturdifferenz nachströmende Luft zu Abluft; Kesselzuschlag: 1,1; rho:1,2 kg/m ³ ; c: 1,006 kJ/kgK	3.031 €	6,8
Annahme: Ölverbrauch: 266.760 Liter pro Jahr Gesamtölkosten bei 0,083 €/kWh, 10 kWh/Liter: 216.076 € pro Jahr Gesamterdgaskosten bei 0,055 €/kWh: 149.718 € pro Jahr					

4.4 Nachmessung Bewohnerwäsche

4.4.1 Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen

Von den zahlreichen Verbesserungen, die der Wäscherei vorgeschlagen wurden, wurden folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Dämmen des Speisewasserbehälters des Dampfkessels

- Nachrüsten eines Economisers am 1,25 t/h-Dampfkessel (Dampfkessel links). Es handelt sich bei dem Economiser um einen gebrauchten Abgaswärmetauscher des Herstellers Theodor Loos, Typ AWT, von 1993 mit einer Nennleistung von 82 kW bei $T_{\text{Abgas}} = 235 \text{ °C}$ und einem Abgasmassenstrom von $8,5 \text{ m}^3/\text{h}$
- Abdichten der Leckagen im Speisewassersystem

Des Weiteren wurden Maßnahmen umgesetzt, die nicht empfohlen wurden, zum Beispiel die Nachrüstung eines Dampfwärmetauschers zur Beheizung des Speisewassers im Vorwärmbehälter mit Dampf (siehe **Abbildung 34**). Dieser Behälter sollte nur zur Wärmerückgewinnung aus Wrasendampf dienen.

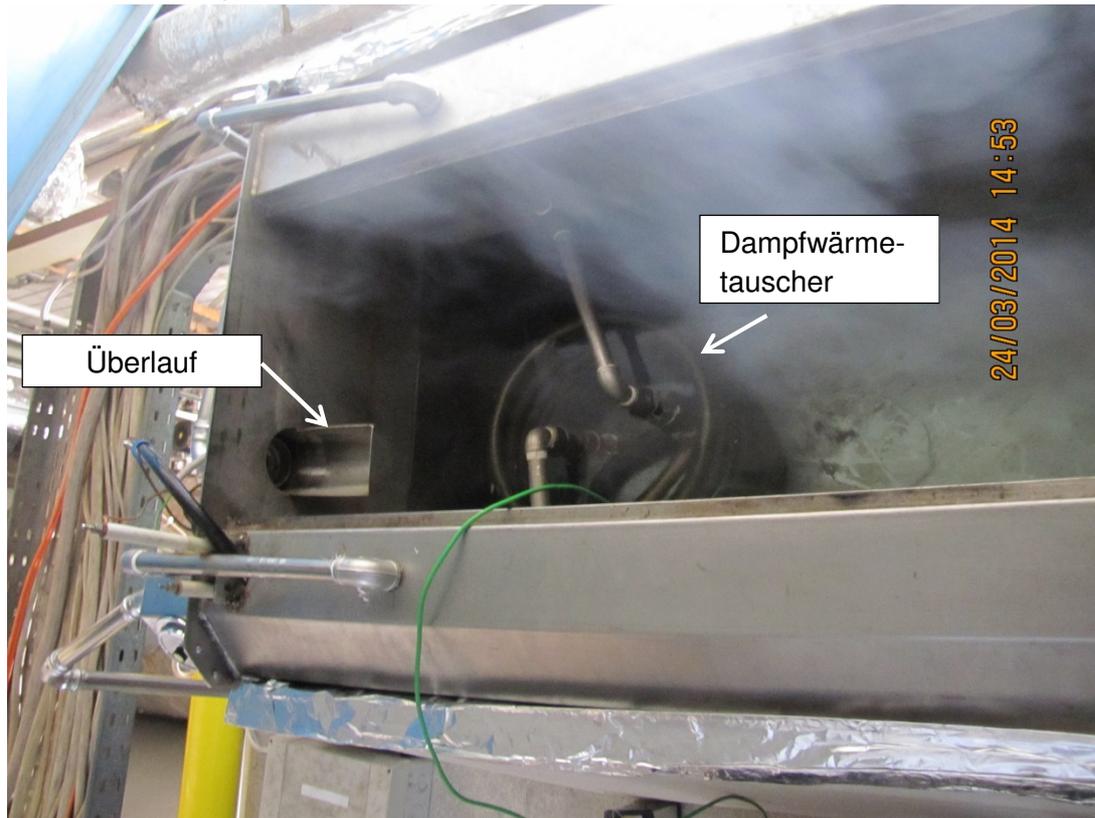


Abbildung 34: Speisewasservorratsbehälter mit Dampfheizung, Wäscherei für Bewohnerwäsche

4.4.2 Ergebnisse der Nachmessung

Die realisierten Energieeinsparmaßnahmen konzentrierten sich auf energetische Optimierungen des Dampfkessels und des Speisewasserbehälters, des Speisewasservorwärmbehälters sowie auf die Beseitigung von Druckluftleckagen. Diese Maßnahmen hatten keine Auswirkung auf die erzielten Wasch- und Trocknungseffekte. Gleiches gilt für die Auswirkungen auf die Abwasserdaten.

Im Rahmen der Nachmessung wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Leistungsmessung Economiser 1,25 t/h-Dampfkessel
- Gasverbrauchsmessung 1,25 t/h-Dampfkessel
- Laufzeitmessung der Brennerstufe 1 und 2 beider Dampfkessel (links und rechts) bzw. daraus resultierend: Leistungsmessung
- Laufzeitermittlung zur Leckageermittlung des Druckluftnetzes

4.4.2.1 Dampferzeugung

Nach dem Umbau des 1,25 t/h-Dampfkessels auf Gasbetrieb wurde die Brennerleistung erneut bestimmt:

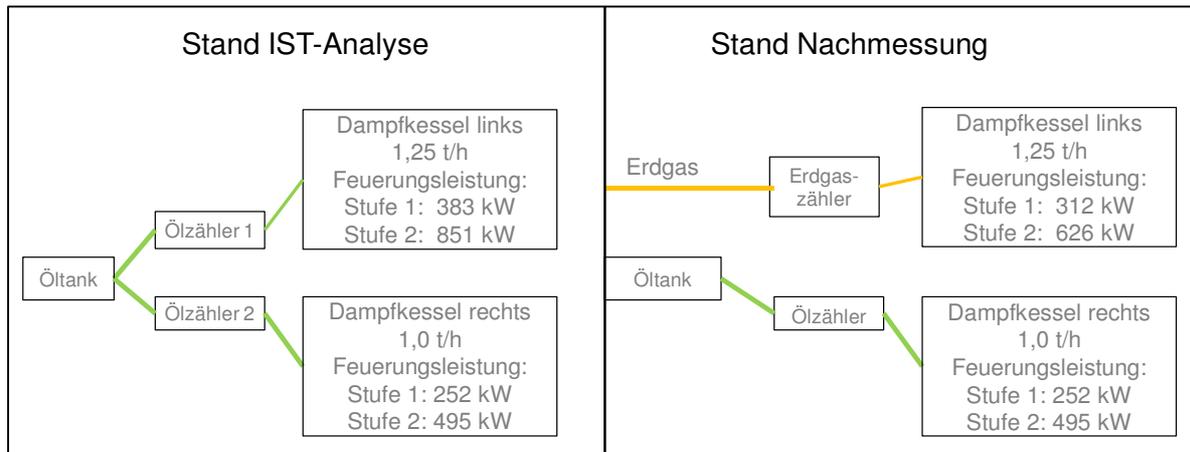


Abbildung 35: Feuerungsleistung Dampfkessel vor und nach Optimierung, Wäscherei für Bewohnerwäsche

Mit der Umstellung des Brenners am linken 1,25 t/h-Dampfkessel sank die Feuerungsleistung des Dampfkessels von ursprünglich 851 kW auf 626 kW. Der Kessel lief während der Messung annähernd zu 100 % auf Stufe 2.

Die Leistungsreduktion des besser isolierten 1,25 t/h-Dampfkessels führte zu einer höheren Brennerlaufzeit des älteren 1,0 t/h-Dampfkessels, wie **Tabelle 14** zeigt.

Tabelle 14: Laufzeitverteilung der Brennerstufen

	Nachmessung	IST-Analyse
Messdauer [min]:	94,77 min	800,5 min
Stufe 1 Kessel links (1,25 t/h)	1,2 %	61 %
Stufe 2 Kessel links (1,25 t/h)	99 %	30 %
Stufe 1 Kessel rechts (1,0 t/h)	77 %	71 %
Stufe 2 Kessel rechts (1,0 t/h)	23 %	8 %

Während der deutlich kürzeren Messdauer sind keine Betriebsbereitschaftszeiten bei der Nachmessung aufgetreten.

Die installierte Feuerungsleistung sank von 1.346 kW auf 1.121 kW (siehe Summe der Stufen 2 beider Brenner bzw. Kessel in **Abbildung 35**).

Die Senkung der Feuerungsleistung am linken 1,25 t/h-Dampfkessel verhinderte nicht nur die geplante Abschaltung des mangelhaft gedämmten rechten 1,0 t/h-Dampfkessels, sondern der Dampfkessel lieferte eine größere Dampfmenge als bei der IST-Analyse. Daraus resultiert ein höherer Bedarf an Heizöl, das im 1,0 t/h-Dampfkessel verfeuert wurde.

Die mittlere Feuerungsleistung stieg trotz der vorgenommenen Verbesserungen an: Im gleichen Tagesabschnitt (14:03 Uhr bis 15:37 Uhr) betrug die mittlere Feuerungsleistung 770 kW bei der IST-Analyse. Dem standen 931 kW bei der Nachmessung gegenüber.

Der Nutzungsgrad des linken 1,25 t/h-Dampfkessels wurde durch einen nachgerüsteten Abgaswärmetauscher verbessert. Die beibehaltene Zweipunktregelung der Speisewassernachfüllung führte dazu, dass die Nutzung des Economisers auf die Zeiten der Nachspeisung des linken 1,25 t/h-Dampfkessels beschränkt war. Die in der Spitze gemessenen 60 bis über 70 kW des Economisers relativierten sich zu einer mittleren Leistung über den Messzeitraum von ca. 13 kW.

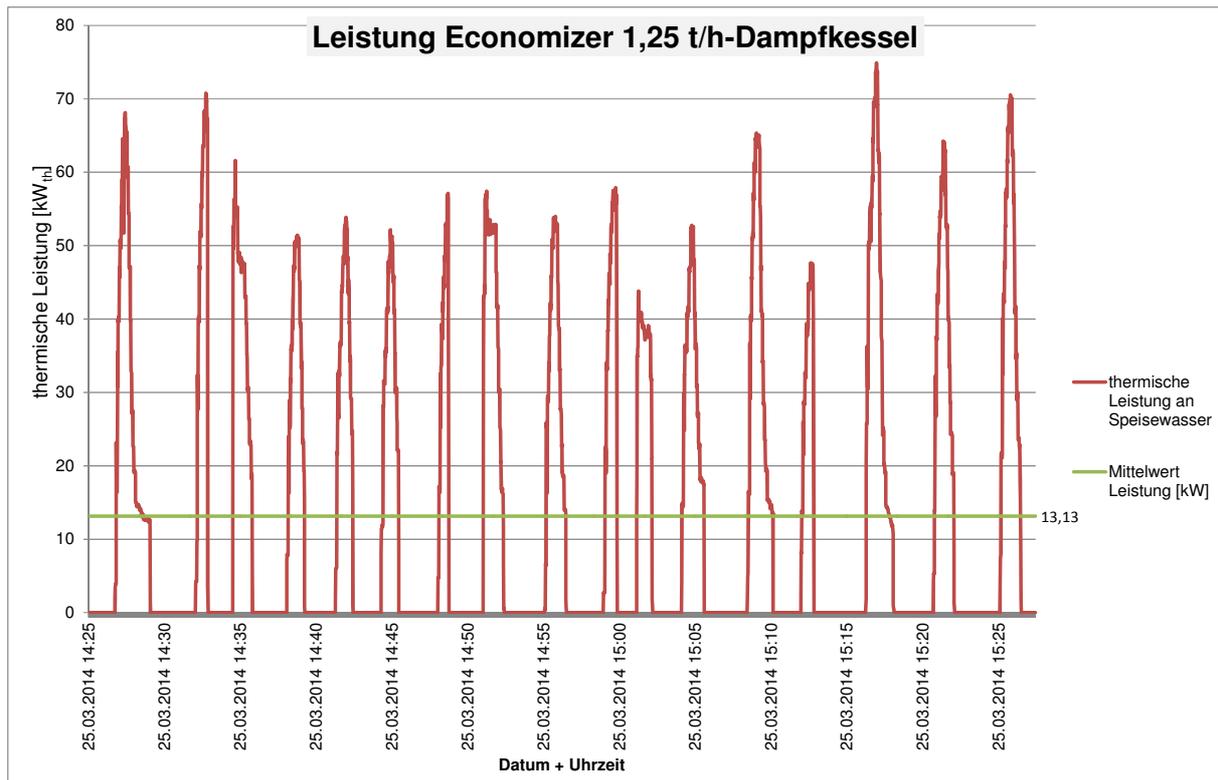


Abbildung 36: Leistungsverlauf Economizer am 1,25 t/h-Dampfkessel, Wäscherei für Bewohnerwäsche

Die Ursachen für den erhöhten Leistungsbedarf sind:

- Aufheizen des Speisewasserbehälters auf rund 100 °C bzw. aktives Beheizen des Vorratsbehälters für Speisewasser mit Frischdampf – dies war zum Zeitpunkt der IST-Analyse nicht der Fall, auch wenn der Wärmeverlust durch Dämmen der Behälterwand verringert wurde
- Durch die abgesenkte Brennerleistung des 1,25 t/h-Dampfkessels links erhöhte sich der Leistungsanteil des rechten 1,0 t/h-Dampfkessels mit niedrigerem Nutzungsgrad

4.4.2 Druckluftherzeugung

Die Erfassung der Leckrate über die Lastlaufzeiten des einstufigen Kompressors ergab die in **Tabelle 15** aufgeführten Daten.

Tabelle 15: Druckluft-Nachmessung, Wäscherei für Bewohnerwäsche

	Nachmessung		IST-Analyse	
Mittelwert Netzdruck	7,0 bar		7,7 bar	
Betrachtungszeitraum	60 min		60 min	
Lastlaufzeit	56,95 min	94,9 %	60 min	100 %
Leerlaufzeit	2,13 min	3,6 %	0 min	0 %
Nicht definierte Zeit	0,92 min	1,5 %	0 min	0 %
Nennleistung	11 kW		11 kW	
Verlustleistung	10,4 kW		11 kW	
Leckluftmenge	1,73 [m ³ /min]		1,82 [m ³ /min]	

Gegenüber der IST-Analyse (siehe auch **Kapitel 4.2.1.4 und Abbildung 37**) ist eine Verbesserung erkennbar: Der 11-kW-Kompressor war nach den umgesetzten Maßnahmen (Erneuerung eines Steuerblocks) in der Lage den Druck im Hystereseband konstant zu halten und in 4 % der Stand-By-Zeit in den Leerlauf zu schalten. Dieses Hystereseband hatte der 11-kW-Kompressor bei der IST-Analyse nicht erreicht.

Es ergibt sich die in **Tabelle 15** aufgeführte Verlustleistung von nunmehr 10,4 kW. Die Leckluftmenge wurde aus der Liefermenge des Kompressors bei 7,5 bar und der Lastlaufzeit – ca. 95 % bezogen auf die Nennliefermenge von 1,82 m³/min - errechnet.

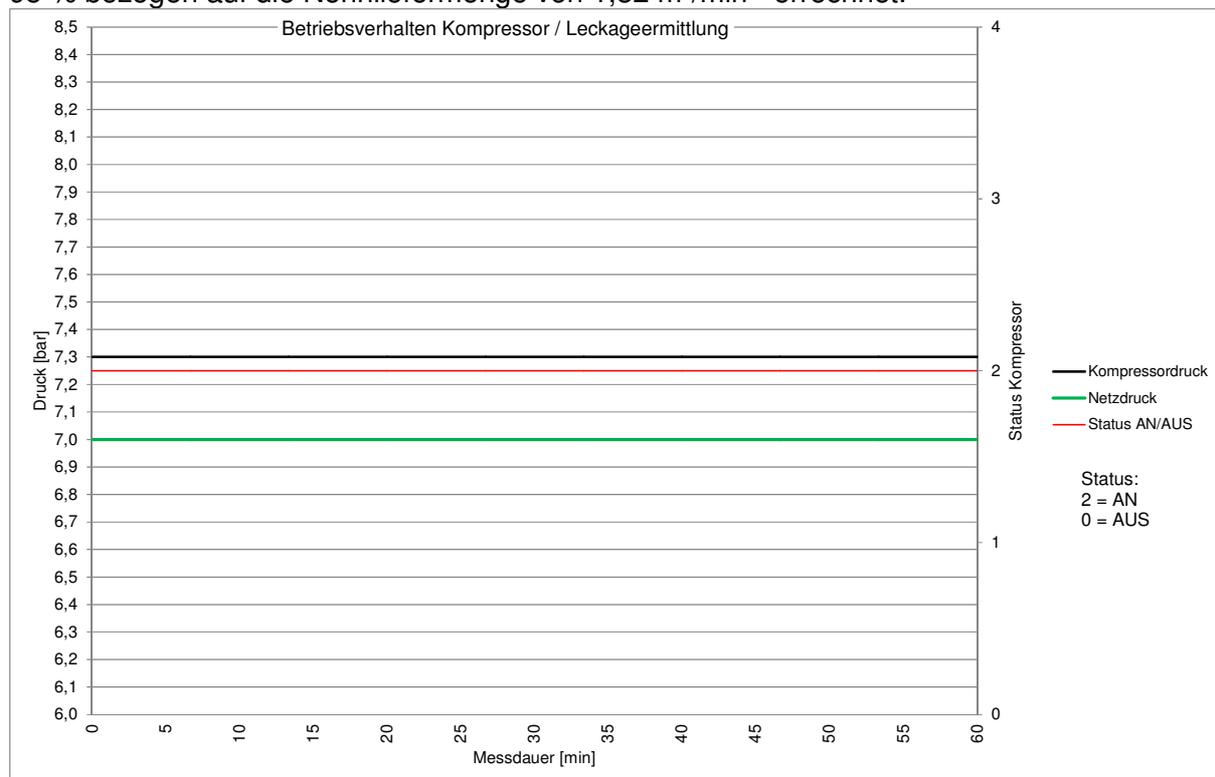


Abbildung 37: Verhalten Druckluftanlage der Wäscherei für Bewohnerwäsche bei der IST-Analyse

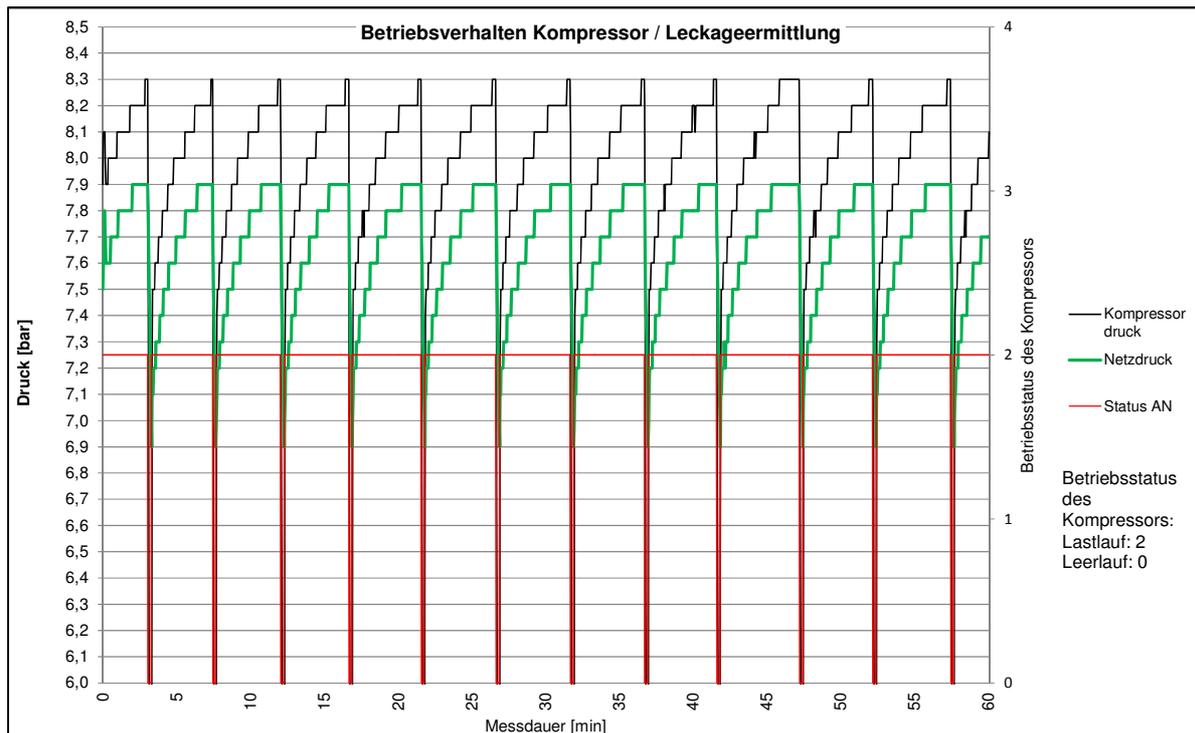


Abbildung 38: Verhalten Druckluftanlage der Wäscherei für Bewohnerwäsche bei der Nachmessung

4.5 Zusammenfassung Wäscherei für Bewohnerwäsche

Die Kennzahlen (siehe **Kapitel 8**) zeigen, dass die untersuchte Wäscherei für Bewohnerwäsche an der Spitze der spezifischen Verbräuche lag. Vergleicht man die Wäscherei Bewohnerwäsche mit den jeweils zweithöchsten Kennwerten, so beträgt der Unterschied beim spezifischen Wasserverbrauch ca. 36 Prozent und beim spezifischen Öl-/Gasverbrauch ca. 20 %. Zu erwarten gewesen wäre bei Bewohnerwäsche ein niedrigerer Verbrauch gegenüber anderen Wäschearten: Die höhere Empfindlichkeit der Oberbekleidung erfordert geringere Waschttemperaturen – diese sollten den Energiebedarf senken.

Gründe für die hohen spezifischen Kennwerte sind:

- Teilweise hohe Waschttemperaturen
- Veraltete Waschschleudermaschinen mit hohen Wasser- und hohen Energieverbräuchen
- Einsatz von Dampf aus ineffizienten, ölbefeuerten Dampfkesseln statt aus Erdgas
- Unterdurchschnittliche Abwärme- und Sekundärwassernutzung
- Trockner im Stand-By mit hohen Energieverlusten
- gegenseitige Beeinflussung der Trockner 1 bis 4 der Verbundtrockneranlage und des Saugzuggebläses durch ein zentrales Abluftrohr ohne Rückschlagklappe auf der Lüftungstechnischen Druckseite: Eine optimale Abfuhr der feuchten Abluft ist nicht zu jeder Zeit gewährleistet.
- Druckluft-, Wasser- und Dampfnetz mit zahlreichen Lecks während der Ist-Analyse, bei Druckluft war das Niveau der Verluste bei der Nachmessung immer noch deutlich zu hoch

Der nachgerüstete Abgaswärmetauscher wurde zwar günstig gebraucht gekauft, ist jedoch für den vorhandenen Kessel ungeeignet und wurde energetisch ungünstig in das Dampferzeug-

gungssystem eingebunden. Der Economiser erhöht durch seine Abmessungen den Abgasgedruck und begrenzte damit die Maximalleistung für den eingesetzten, nachgekauften Erdgasbrenner bei komplett geschlossener Klappe im Abgaswärmetauscher. Der Vorschlag, mit der Umstellung auf Erdgas von einem zweistufigen auf einen modulierenden Betrieb umzusteigen wurde nicht umgesetzt, hätte jedoch zusammen mit einer neuen Speisewasserregelung den Nutzungsgrad des Abgaswärmetauschers und der Gesamtanlage weit mehr erhöht, als es mit der umgesetzten Lösung der Fall ist. Mit einem aufeinander abgestimmten Paket aus Erdgasbrenner und passendem Abgaswärmetauscher könnte auch bei zweistufigem Betrieb aber mit kontinuierlicher Speisewasserbeheizung mit einem 800 kW-Brenner am 1,25 t/h-Dampfkessel der gesamte Betrieb mit Dampf versorgt werden. Der eingebaute Brenner ist bei passender Anlagenkonfiguration für bis zu 900 kW Feuerungsleistung ausgelegt. Neben den Einsparungen an Oberflächenverlusten und Abgasverlusten hätten die Abschlämm- und Absalzverluste reduziert werden können, weil das über Zeitschaltung angesteuerte Ventil des 1,0 t/h-Dampfkessels nur noch bei dessen Notbetrieb in Funktion sein würde. Es verbleibt auch nach der Nachmessung ein geschätztes noch zu nutzendes Energieeinsparpotenzial von etwa 50 %. Gerade kostengünstige Kleinmaßnahmen, wie die Verlagerung der Druckluftherzeugung in die Waschhalle zur Abwärmenutzung, die Dämmung von Dampf- und Kondensatleitungen, Teilnetzabschaltungen bei Dampf und Druckluft würden zur sofortigen Energie- und Energiekostensenkung führen. Nachdem der Umbau eines Dampfkessels auf Erdgasbetrieb nicht den gewünschten Effekt erreichte, bleiben drei Möglichkeiten, um dennoch den 1,0 t/h-Dampfkessel aus dem regulären Betrieb zu nehmen:

- Einsparung von Dampf durch Austausch von WSM 1 bis 5 durch wassersparende Waschtechnik in Verbindung mit einer verbesserten Entwässerung
- Reduzierung des Dampfbedarfs durch Abwärmenutzung, zum Beispiel durch Nachrüstung der Verbundtrockneranlage mit einem zentralen Abluftwärmetauscher zur Senkung des Energiebedarfs mit zusätzlicher Optimierung der Regelung des Dampfkessels
- Substitution von Dampf durch direkte Erdgasnutzung, zum Beispiel die Umrüstung der dampfbeheizten Trockner auf Erdgasbetrieb bzw. deren Austausch gegen erdgasbeheizte Trockner

Bei allen Varianten ergibt sich, unabhängig von der verbraucherseitigen Einsparung, eine zusätzliche Einsparung durch die entfallenden Verluste des 1,0 t/h-Dampfkessels.

Durch die direkte Erdgasnutzung im Trocknerbetrieb würde Dampf(leistung) in einer Größenordnung von 250 kW durch Erdgas ersetzt. Das Einsparpotenzial läge dabei etwa bei 10 % durch wegfallende Umwandlungsverluste. Bei Einbau von Abluftwärmetauschern zur Wärmerückgewinnung wird der Gesamtenergiebedarf weiter gesenkt. Unter Annahme von 30 % Wärmerückgewinnungsgrad aus der Abluft könnte mit einer Senkung des mittleren Leistungsbedarfs um ca. 77 kW gerechnet werden.

Für die Beibehaltung der eingestellten 626 kW Feuerungsleistung am 1,25 t/h-Dampfkessel, müsste durch weitere Maßnahmen (Optimierung der Economisernutzung, Reduktion der Absalz-/ Abschlämmwassermenge, Dämmen von Dampf- und Kondensatleitungen), eine zusätzliche Verbesserung erfolgen.

Es sollte an einem Entwicklungsplan für die Zukunft der Wäscherei gearbeitet werden. Vorrang bei Investitionen und Optimierungen sollten Prozesse haben, deren Anlagen schon zum Zeitpunkt der IST-Analyse am Ende ihrer wirtschaftlichen Nutzbarkeit standen. WSM 1 bis 5 (Contrex-Anlage) sind nicht mehr wettbewerbsfähig. Genaue Einstellbarkeit, Programmvollziehbarkeit und zukünftiger Datenaustausch für ein Energiedaten- und Lastmanagement wäre

mit der elektromechanischen Anlage nicht ohne erheblichen Aufwand erreichbar. Zusätzliche Effizienzverluste der genannten WSM ergeben sich aus der systembedingten Zwei-Personen-Bedienung für die Saugzug-Beladung auf der reinen und unreinen Seite. Auch WSM 6 – eine Waschschleudermaschine gleichen Typs – hat energetische Mängel, kann jedoch aufgrund der geringeren Nutzung weiterhin in Betrieb bleiben.

Als Ersatz für WSM 1-5 sollte idealerweise eine Waschstraße mit bis zu 6 Kammern angeschafft werden. Mit einer solchen Waschstraße wäre ein Frischwasserverbrauch von 3 - 5 L/kg Wäsche realistisch. Es würden dann die Saugzugbeladung und die insgesamt 10 Antriebsmotoren der WSM 1 - 5 (zwei für jede Maschine) entfallen, deren Strombedarf ca. 14 % des gesamten elektrischen Energieverbrauchs der Wäscherei ausmacht.

Auch bei den Trocknern ist eine Umrüstung von Saugzugbeladung auf eine Hubkippeinrichtung zu empfehlen. Während der Beladung mittels Saugzugbeladung ist ein Mitarbeiter gebunden, der bei Hubkipper lediglich einen Wäschewagen zuführt und vor dem nächsten Beladungsvorgang den leeren Wagen entnimmt.

5 Ergebnisse der Wäscherei für Berufsbekleidung

5.1 Allgemeine Daten der Wäscherei

Die untersuchte Wäscherei verfügte über folgende Daten:

- Mischbetrieb:
 - ca. 70 % Hotel- und Tischwäsche
 - ca. 15 % Berufsbekleidung
 - ca. 15 % Schmutzfangmatten
- Tageswaschleistung: ca. 20,5 t/d, davon
 - ca. 16,3 t/d in Waschstraße 1
 - ca. 3,8 t/d in Waschstraße 2
 - ca. 0,4 t/d in den Waschschleudermaschinen
- Die tägliche Arbeitszeit wurde mit 15 Stunden, die Laufzeit der Versorgungsanlagen mit 15 Stunden angesetzt, die jährlichen Arbeitstage wurden mit 260 Tagen festgelegt.
- Wäschereifläche: ca. 1.800 m², durch eine Trennwand aufgeteilt in einen reinen Bereich mit 310 m² und einen unreinen Bereich mit 1.490 m², siehe **Abbildung 39**.
- Die Druckluftherzeugung war aufgeteilt in ein eigenständiges Versorgungsnetz mit Kompressor für die biologische Wasseraufbereitung und eine zentrale Druckluftherzeugung für die Waschhalle auf einem Podest im unreinen Bereich der Waschhalle über dem Brunnenwassertank.
- Das benötigte Prozesswasser wurde zum größten Teil aus einem betriebseigenen Brunnen gewonnen. Das Wasser für den Waschprozess wurde nicht weiter aufbereitet.
- Ein Teil des Prozesswassers wurde aus aufbereitetem Abwasser aus einer biologischen Aufbereitungsanlage gewonnen und für Prozesse mit geringeren Anforderungen an die Wasserqualität, wie zum Beispiel Mattenwäsche, eingesetzt.
- Das Kesselspeisewasser wurde aus dem Brunnenwasser gewonnen und mit einer Enthärtungsanlage und chemischer Entgasung bzw. Gasbindung aufbereitet.
- Wäschefluss Waschstraße:
 - Waschstraße → Presse →
 - Danach Aufteilung:
 - Flachwäsche: Tumbler → Separator → Mangel
 - Berufsbekleidung + Formteile: Trockner (auf RF von ca. 25 %), dann Tunnelfinisher
 - Sonstige Textilien: Volltrocknung in Trockner 2 und 4 bis 8
- Das Abwasser der Wäscherei wurde nach Filterung und Aufbereitung durch die biologische Aufbereitungsanlage dem Kanal zugeführt (indirekte Einleitung).

Im Rahmen der Erstbegehung wurden folgende Anlagen und Maschinen erfasst und entsprechend der Funktion aufgeteilt:

Tabelle 16: Waschtechnik Wäscherei für Berufsbekleidung

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Kammer- / Trommelanzahl	Kammer- / Trommelvolumen [l]	Nennwaschleistung [kg/h]	Art der Wärmeversorgung	Nennpostenmasse [kg]	Anmerkungen
Waschstraße	WSR 1	Jensen	P 50/16	16	Kammer 1: 2.567, ab Kammer 2: 1.407	1.500	Dampf	50	Presse: 32 bar, 30 s, Taktzeit 120 s

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Kammer- / Trommelanzahl	Kammer- / Trommelvolumen [l]	Nennwaschleistung [kg/h]	Art der Wärmeversorgung	Nennpostenmasse [kg]	Anmerkungen
Waschstraße	WSR 2	Jensen	P 50/14	14	Kammer 1: 2.567, ab Kammer 2: 1.407	750	Dampf	50	Presse: 32 bar, 30 s, Taktzeit 240 s
Waschschleudermaschine	WSM 1	Lapauw	Combi 1602	1	1.607	k.A.	Dampf	150	
Waschschleudermaschine	WSM 2	Stahl	Atoll 350 D	1	350	k.A.	Dampf	35	

Tabelle 17: Trockner Wäscherei für Berufsbekleidung

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Kammer-/ Trommelvolumen [l]	Nennleistung Feuerung / Heizung	Art der Wärmeversorgung	Nennposten-bei CO-Beladung bei 25 l/kg	Abluftvolumenstrom Trocknen / Cool-Down [m³/h] – Herstellerangabe	g- Faktor	Reversierung	Anmerkungen
Verbundtrockneranlage	Trockner 1	Jensen	DT 60	1.478	450 kg/h	Dampf	58 kg	1.250-3.000 / 6.000-8000	0,8	30/3	Schüttlerbetrieb*
	Trockner 2	Jensen	DT 90	2.180	270 kW	Erdgas	87 kg	1.700-4.000 / 11.200	0,8	87/3	
	Trockner 3	Jensen	DT 60	1.478	450 kg/h	Dampf	58 kg	1.250-3.000 / 6.000-8000	0,8	30/3	Schüttlerbetrieb*
	Trockner 4	Jensen	DT 90	2.180	270 kW	Erdgas	87 kg	1.700-4.000 / 11.200	0,8	87/3	
	Trockner 5	Jensen	DT 60	1.478	200 kW	Erdgas	58 kg	1.250-3.000 / 6.000-8000	0,8	30/3	
	Trockner 6	Jensen	DT 60	1.478	200 kW	Erdgas	58 kg	1.250-3.000 / 6.000-8000	0,8	30/3	
	Trockner 7	Jensen	DT 60	1.478	200 kW	Erdgas	58 kg	1.250-3.000 / 6.000-8000	0,8	30/3	
	Trockner 8	Jensen	DT 60	1.478	200 kW	Erdgas	58 kg	1.250-3.000 / 6.000-8000	0,8	30/3	
Einzel-trockner	Trockner 9	Passat	246 D	1.250	k.A.	Dampf	50 kg	k.A.	k.A.	k.A.	Nicht untersucht
*Lockern des Presskuchens nach dem Wasch- und Entwässerungsprozess											

Tabelle 18: Anlagen Sonderbehandlung und sonstige Wäschereitechnik, Wäscherei für Berufsbekleidung

Anlagenart	Maschinen-bezeichnung	Hersteller	Typ	Anzahl Module / Rollen	Nenn-leistung Feuerung / Heizung	Art der Wärme-versorgung	Nennposten-masse	Abluft-volumenstrom [m³/h]	Anmerkungen
Tunnel-finisher		Jensen	Omega 90-1247-2G	2 Module	Erdgas	Erdgas	600 Teile/h	2.455	Getrennte Abluft Dampf- und Trockenzone
Mangel	Mangel 1	Kanne-giesser	HPM-12-35-3	3	k.A.	Dampf	k.A.	k.A.	120 cm Walzen-durchmesser, 350 cm Arbeits-breite
Mangel	Mangel 2	Jensen	ExPress	2	k.A.	Dampf	k.A.	k.A.	120 cm Walzen-durchmesser, 400 cm Arbeits-breite
Mangel	Mangel 3	Kanne-giesser	HLM 12-35-2	2	k.A.	Dampf	k.A.	k.A.	Außer Betrieb / nicht untersucht

Tabelle 19: Versorgungsanlagen, Wäscherei für Berufsbekleidung

Anlagenart	Maschinen-bezeichnung	Hersteller	Typ	Nenn -leistung	Brennstoff	Max. Druck [bar]	Anmerkungen
Dampferzeugung	Dampfkessel 1	Loos International	UL-S	5,0 t/h	-	13	
Dampferzeugung	Brenner Dampfkessel 1	Elco-Klöckner	EK 7.450 GL	76 - 325 kg/h Öl	Heizöl EL / Erdgas	-	Zweistoff-brenner mit Ölzähler
Dampferzeugung	Speisewasserbehälter	k.A.	k.A.	-	-	-	
Druckluft-erzeugung	1-stufiger Kompressor links Waschhalle	Compair	L22-10	22 kW _{el}	-	10	
Druckluft-erzeugung	1-stufiger Kompressor rechts Waschhalle	Compair	L22-10	22 kW _{el}	-	10	
Druckluft-erzeugung	1-stufiger Kompressor „Biologie“	Renner	RS 7,5 - 10	7,5 kW.	-	10	
Druckluft-erzeugung	Drucklufttrockner Waschhalle	OMI	TMZ 420	2,3 kW _{el}	-	-	R134A
Beleuchtung	LSL + LED-Leuchten	divers	divers	k.A.	-	-	nicht erfasst
Heizung Verwaltung / Sozialbereich	Viessmann NT-Kessel	Viessmann	Vitola biferral	-	-	-	
Heizung Verwaltung / Sozialbereich	Brenner an Viessmann NT-Kessel	Elco-Klöckner	Vectron	22 kW _{th}	Erdgas	-	

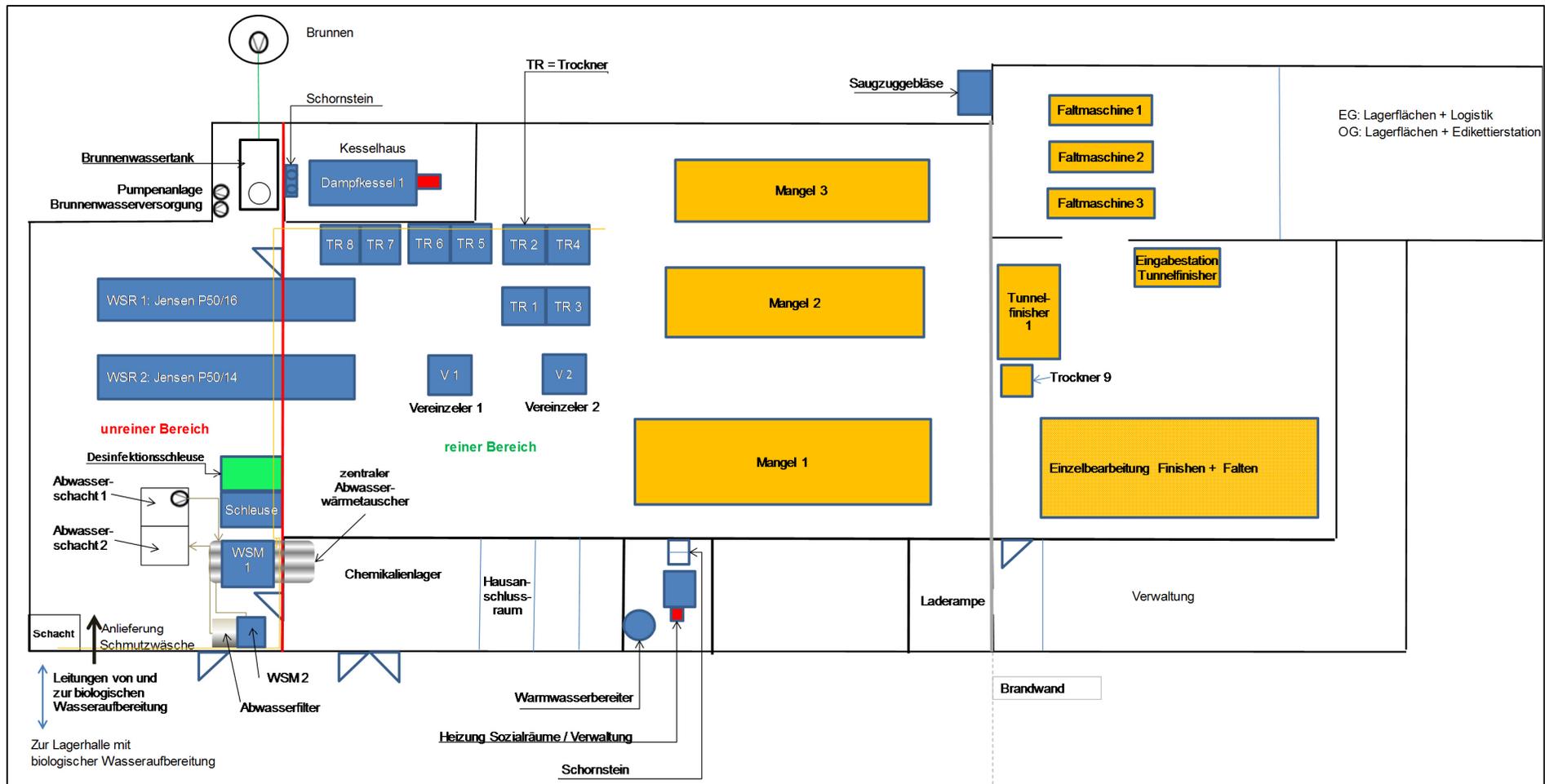


Abbildung 39: Gebäudeplan, Wäscherei für Berufsbekleidung (nicht maßstabsgetreu)

5.2 IST-Analyse Berufsbekleidung

5.2.1 Energie- und Stoffströme

5.2.1.1 Wäscheströme

Beim Wäschereibetrieb für Berufsbekleidung konnte auf mehrere Datenquellen für die Waschleistung der Waschstraßen zurückgegriffen werden. Folgende Werte wurden für die Erstanalyse ermittelt:

- Mittleres Postengewicht Waschstraße 1: 52,9 kg, 308 Posten/d
- Mittleres Postengewicht Waschstraße 2: 37,9 kg, 101 Posten/d
- Mittlerer Wäschedurchsatz WSM 1: 0,35 t/d
- Mittlerer Wäschedurchsatz WSM 2: 0,09 t/d

Neben Auswertungen von Bilderserien der Anlagenmonitore standen die Auswertung der Datenbank der Wäscherei und die Auswertung des Waschmittelherstellers zur Verfügung (siehe **Tabelle 20**).

Tabelle 20: Wäschedurchsatz der Waschstraßen, Wäscherei für Berufsbekleidung

Quelle	Waschmittelstatistik Oktober 2013 bei 23 Arbeitstagen in- klusive Nachwä- sche	Auswertung der Wä- schereidatenbank („Chefauswertung“) Mittelwert Messwoche Oktober 2013	Mittleres Postenge- wicht durch Dis- playauswertung mit Postenanzahl nach Wäschereidatenbank
Tägliche Wäsche- menge WSR 1	18,63 t/d	16,05 t/d	16,28 t/d
Tägliche Wäsche- menge WSR 2	4,76 t/d	3,77 t/d	3,84 t/d

Für die Bilanzierung der Waschstraßen wurden die Werte der rechten Spalte von **Tabelle 20** verwendet. Die Wäschemenge, die in den Waschschleudermaschinen 1 und 2 gewaschen wurde, wurde aus von der Wäscherei erstellten Aufzeichnungen übernommen. Dort waren mittlere Postengewichte von 100 kg für WSM 1 und 15 kg für WSM 2 angegeben. Eine Wiegung durch die Wäscherei findet nicht statt. Bei stichprobenartigen Untersuchungen waren die Postenmassen zum Teil deutlich geringer.

Die weniger detailliert aufgezeichneten Wäscheströme der Trockner und Mangeln wurden wie folgt ermittelt:

- Trockner: Ermittlung der Anzahl der Posten nach dem Mittelwert der Anzahl der Abluftspitzen sowie Postengewicht gemäß Waschstraßenposten der Waschstraße 1
- Mangeln: Ermittlung des Wäschedurchsatzes anhand der Feuchtebilanz der Mangeln (iterative Berechnungen aus Zuluft- und Abluftfeuchtemassenströme, der Restfeuchte der Wäsche vor und nach dem Mangeln) und des mittleren Durchsatzes nach Angaben der Wäscherei
- Tunnelfinisher: Der Durchsatz wurde von der Wäscherei mit 550 Teilen pro Stunde angegeben und nach Berücksichtigung der Leerlaufzeiten und Stillstandszeiten die tägliche Betriebszeit von 15 Stunden mit einem Abschlagsfaktor von 0,67 berücksichtigt.

Während die Wäscheströme in Waschmaschinen eindeutig zuordenbar waren, erwies sich das bei den Trocken- und Finishprozessen als schwierig. Ein Teil der Wäsche wird teilgetrocknet oder nur geschüttelt und dann einem weiteren Prozess (Mangel, Finisher) zugeführt. Ein Abbild des Wäschestroms muss dementsprechend in der Summe mehr als 100 % der gewaschenen Wäsche darstellen. Geeignete, automatisierte Verfahren zur Ermittlung des Textilmassenstroms durch Mangeln und Finisher waren nicht vorhanden, so dass hier anhand von bekannten Stückzahlen und angenommenen mittleren Gewichten auf den Durchsatz geschlossen wurde. Als Hilfe wurden drei Wäschegrößen bzw. Teilegewichte definiert und je Größe ein mittleres Trockengewicht angenommen. Für jede Mangel wurden die Anteile der bearbeiteten Gruppen definiert. Mangel 1 mit automatischer Zufuhr entsprechend mit einem hohen Anteil an Großteilen (Bettlaken, Bezüge, Tischdecken), Mangel 2 mit manueller Zufuhr überwiegend mit kleinen und mittleren Teilen (Handtücher, Kopfkissen, Servietten). Mangel 3 war zum Zeitpunkt der Untersuchungen nicht in Betrieb und wurde als Reserve unbeheizt und abgeschaltet vorgehalten.

Tabelle 21: Festlegung mittlere spezifische Wäschemasse, Wäscherei für Berufsbekleidung

Größe	Mittleres Trockengewicht des Wäschestücks [g]	Anteil Mangel 1 [%]	Anteil Mangel 2 [%]
Groß	500	80 %	0 %
Mittel	300	20 %	50 %
Klein	100	0 %	50 %
Mittleres Gewicht pro Wäschestück		460 g	200 g

Das Verhältnis von Maschinenlaufzeit zu Betriebszeit wurde aus den Abluftdaten der Mangeln errechnet.

Tabelle 22: Ermittlung Tagesmangelleistung, Wäscherei für Berufsbekleidung

Maschine	Wäschedurchsatz	Verhältnis Maschinenlaufzeit zu Betriebszeit (15 h)	Tagesmangelleistung
Mangel 1	14 Teile / min	0,95	5.506 kg/d
Mangel 2	20 Teile / min	0,86	3.096 kg/d

Trotz mehrerer Kalkulationen konnte mit einzelnen Messwerten kein zufriedenstellendes Ergebnis zur Bilanzierung der Mangeln erreicht werden, da mehrere Faktoren in den Berechnungen berücksichtigt werden mussten:

- Stückzahlerfassung der Wäscherei erfolgte in Stück pro Minute, nicht als Gesamtman-gelleistung pro Jahr
- Es gab keine Erkenntnisse über das mittlere Gewicht pro Wäschestück oder die Man-gelleistung pro Tag oder pro Jahr
- Die Ablufttemperatur lag zeitweise außerhalb des Messbereichs der Sensoren für re-lative Feuchte und führte zu höheren Messwertabweichungen. Infolge dessen war die gemessene Abluftfeuchte keine verlässliche Basis zur Ermittlung der mit der Abluft ab-geführten Feuchte.
- Während der Messungen gab es Zeiten mit schwankender Auslastung durch vorgela-gerte und maschinenbezogene Störungen

Abbildung 40 zeigt die ermittelten Wäscheströme der Wäscherei. Mangel 3 als Reservema-schine wurde nicht aufgeführt.

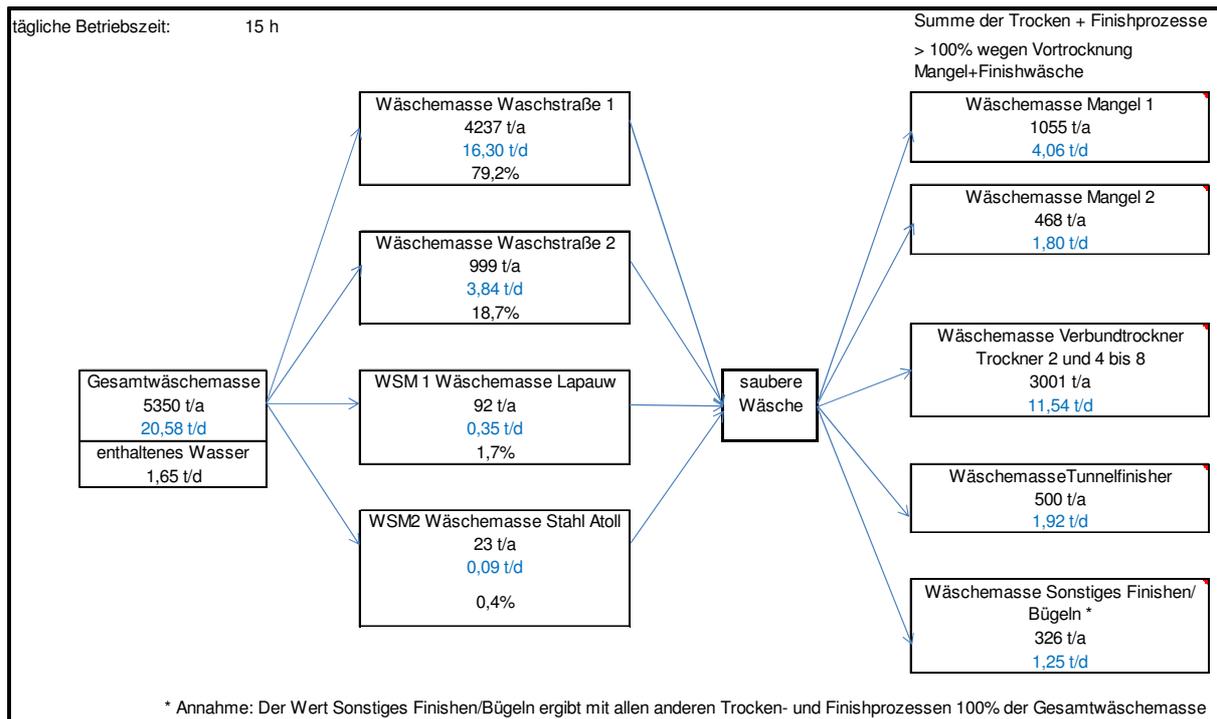


Abbildung 40: Wäschebilanz der Wäscherei für Berufsbekleidung

5.2.1.2 Wassereinsatz

Folgende Messstellen waren vorhanden:

- Hauptwasserzähler des Wasserversorgers (Trinkwasser)
(nur für die Versorgung des Sozial- und Verwaltungsbereichs)
- Hauptzähler Brunnenwasser
 - Unterzähler Waschmitteldosierung
 - Unterzähler Kesselspeisewasser
- Hauptzähler aufbereitetes Wasser (Listenwert mit der Bezeichnung „L2“)

Alle vorhandenen Messstellen wurden abgelesen bzw. vorhandene aus der Erfassung der Wäscherei übernommen. Ergänzend wurden mittels Clamp-On-Ultraschallmessgerät weitere Messungen durchgeführt:

- Durchfluss- und Temperaturmessung an der Primär- und Sekundärseite des zentralen Abwasserwärmetauschers zur Leistungsermittlung. Die im Abwasser enthaltene thermische Energie wurde dem Brunnenwasser zugeführt.
- Wasserverbrauch WSM 1 und 2
- Wasserverbrauch Waschstraße 1 und 2

Es konnten durch Messung der Waschschleudermaschinen ein mittlerer Wasserbedarf von 374 l/h für die WSM 1 bzw. ca. 520 l/Posten bzw. 120 l/h für WSM 2 ermittelt werden. Durch die stark variablen Betriebsparameter (Programmart, Postenmasse, etc.) schwankte bei WSM 1 der Wasserbedarf je Posten zwischen ca. 1.250 l/Posten und 2.270 l/Posten. Bei einer stichprobenartigen Untersuchung war WSM 1, die über eine Nennfüllmenge von 150 kg verfügte, mit 37 kg beladen. Für die Ermittlung der Wäschemengen wurden die Anzahl der Posten und ein von der Wäscherei angegebener Wert von 100 kg pro Posten verwendet.

Bei der Analyse des Wasserverbrauchs von WSM 2 wurde eine gegenüber WSM 1 deutlich gesteigerte Zahl an Nachfüllvorgänge gegenüber WSM 1 festgestellt. Die Ursache war das an WSM 2 stark undichte Ablaufventil, so dass aufgrund von Flottenverdünnungseffekten eine verringerte Waschwirkung, eine stark verlängerte Programmlaufzeit und ein extrem hoher

Wasserverbrauch zu beobachten waren (siehe **Kapitel 5.3** bzw. **Kapitel 5.4**). **Abbildung 41** und **Abbildung 42** zeigen zum Vergleich den Wasserverbrauch der defekten WSM 2 und den Wasserverbrauch der normal funktionierenden WSM 1.

Bei einer mittleren Waschleistung von 353 kg/d und ca. 5,6 m³/d Wasserbedarf erreichte WSM 1 einen spezifischen Wasserverbrauch von ca. 16 Liter/kg.

WSM 2 erreichte bei einer mittleren Waschleistung von 87 kg/d und einem errechneten Wasserverbrauch von 3 m³/d einen spezifischen Frischwasserbedarf von 35 Liter/kg Wäsche bei der IST-Analyse. Der tägliche Wasserbedarf wurde aus der durchschnittlichen Anzahl der täglich gewaschenen Posten und dem mittleren Verbrauch je Posten ermittelt.

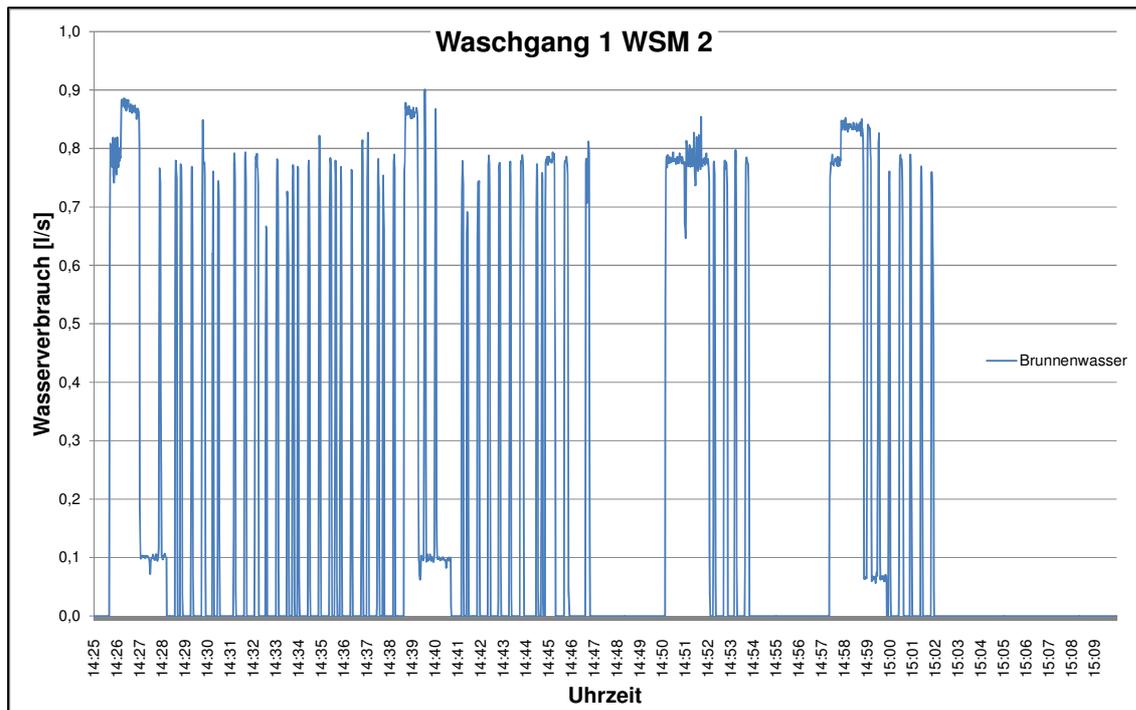


Abbildung 41: Wasserverbrauch WSM 2, Wäscherei für Berufsbekleidung

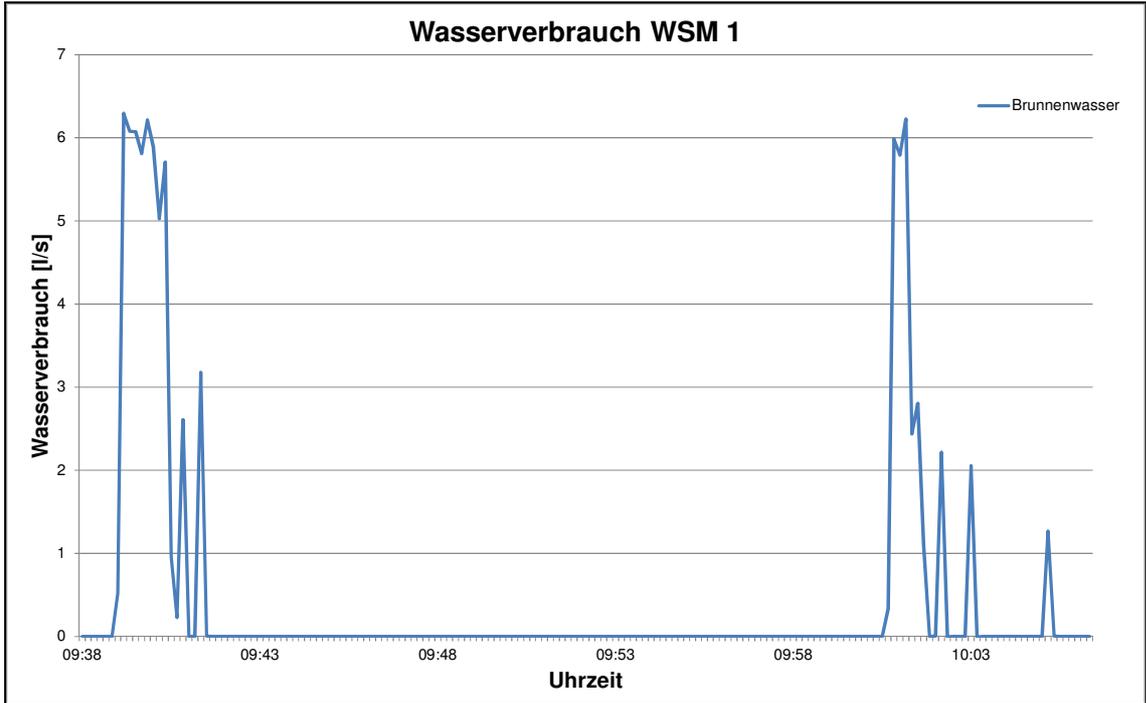


Abbildung 42: Wasserverbrauch WSM 1, Wäscherei für Berufsbekleidung

Die Ermittlung der Wasserströme in dieser Wäscherei blieb nicht durchgängig nachvollziehbar. Die bei den Untersuchungen vorgefundene Verrohrung ohne bzw. mit nicht nachvollziehbarer Leitungsbezeichnung führte bei den Waschstraßen zu Unklarheiten. Die Waschstraßen wurden über insgesamt 3 Wasserleitungen versorgt. Mindestens eine Wasserleitung je Waschstraße verfügte dabei über ein manuelles Umschaltventil (siehe **Abbildung 43**) für den wahlweisen Betrieb mit Brunnen- oder aufbereitetem Wasser, so dass eine Messung vor dem Ventil nötig war. Durch die fehlende Zugänglichkeit von 4 der insgesamt 6 Wasserzuleitungen im laufenden Betrieb und nicht einsehbarer Leitungsführung konnten die zugeführten Wassermengen nicht vollständig erfasst werden.

Die vorgeschalteten Ventile zum Umschalten zwischen Brunnenwasser und aufbereitetem Wasser bergen ein Problem: Trotz richtiger Installation der Messköpfe wurde neben einem positiven Volumenstrom für zugeführtes Brunnenwasser ein negativer Volumenstrom für aufbereitetes Wasser gemessen. Ein negativer Volumenstrom bedeutet eine in Bezug auf die montierten Messköpfe entgegengesetzte Strömungsrichtung des Wassers – von der Waschstraße weg. Es kann demnach nicht ausgeschlossen werden, dass am Umschaltventil durch Rückströmung von vorgewärmtem Brunnenwasser in das Leitungsnetz für aufbereitetes Wasser eine Verdünnung stattfindet. Trifft diese Annahme zu, ginge hochwertiges, vorgewärmtes Brunnenwasser für Waschprozesse mit geringen Anforderungen verloren und der tatsächliche Anteil der Sekundärwassernutzung sinkt. Theoretisch wäre bei Rückströmung und Überlauf des Speichertanks für aufbereitetes Wasser auch eine Entsorgung von vorgewärmtem Brunnenwasser über den Überlauf des Speichertanks in den Kanal möglich. Sowohl das Brunnenwasserversorgungssystem als auch die Versorgung mit aufbereitetem Wasser erfolgt mit Pumpen zu mehreren Verbrauchern. Durch die fehlende Trennung der beiden Netze – es wurde ausschließlich mittels Handventilen umgeschaltet – reichte bereits ein nicht ganz geschlossenes Ventil (siehe **Abbildung 43**) und unterschiedliche Teilnetzdrücke, um Mischungen verschiedener Wasserqualitäten zu erzeugen. Die Mischungsverhältnisse sind dabei unter anderem von den Druckverhältnissen abhängig. Es ist ebenso vorstellbar, dass bei großer Brunnenwasserabnahme (Leitungsdruck Brunnenwasser ist kleiner als Leitungsdruck aufbereitetes Wasser) aufbereitetes Wasser in das Brunnenwasser und letztlich in die Kammern der Waschstraßen strömen könnte, wo hohe Wasserqualitäten benötigt werden (Spülzone, Ausrüstkammer).



Abbildung 43: Teilgeöffneter Kugelhahn WSR 1, Wäscherei für Berufsbekleidung

Als Ergebnis für WSR 1 wurde ein Volumenstrom von 2,9 m³/h und bei WSR 2 von 1,7 m³/h ermittelt. Bei einer Waschleistung von ca. 1.087 kg/h von WSR 1 und ca. 256 kg/h von WSR 2 betrug der spezifische Wasserverbrauch 2,7 l/kg bzw. ca. 6,6 l/kg.

Der Herstellerwert für die Waschstraßen lag bei 5 - 7 l/kg mit maximaler Wasserrückgewinnung und bei 18 bzw. 19 l/kg ohne Wasserrückgewinnung. Der Hersteller gab seine Werte für eine Auslastung mit Nennpostenmasse von 50 kg/Posten an. Der ermittelte Wert von WSR 1 lag somit deutlich außerhalb eines plausiblen Bereichs.

Diese Verbrauchswerte für die Waschstraßen waren nur Teilvolumenströme für die Nachspeisung in den vorderen Kammern und Tanks. Die Brunnenwassermengen für die Spülzone und die Ausrüstkammer wurde wegen der Unzugänglichkeit der Leitungen nicht erfasst.

Die aus den manuell aufgezeichneten Brunnenwasserzählerständen (Hauptzähler Brunnenwasser) ermittelten Verbräuche der gesamten Wäscherei lagen im Messzeitraum bei ca. 7,4 m³/h.

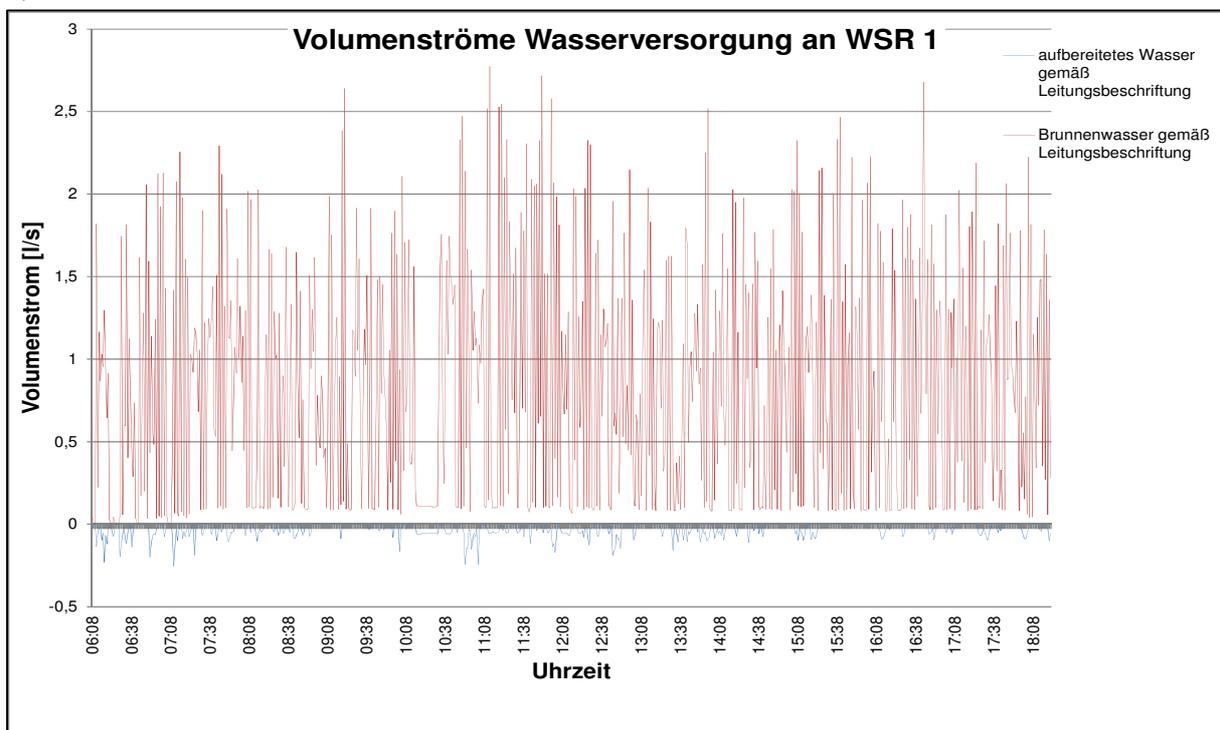


Abbildung 44: Wasservolumenströme WSR 1, Wäscherei für Berufsbekleidung

Selbst bei Betrachtung der wäschereieigenen Statistik ist kein zufriedenstellendes Ergebnis bezüglich einer Wasserverbrauchsreduktion erreichbar:

Bei einem stichprobenartigem Abgleich der Summe des Gesamtwasserangebots, bestehend aus Brunnenwasser und aufbereitetem Wasser gegenüber dem Wasserverbrauch der Waschstraßen 1 + 2 und dem Kesselspeisewasser ergab für April 2014 an 7 von 19 Arbeitstagen einen höheren Wert der Verbraucher als die Summe der Zählerwerte der Wasserquellen (siehe **Abbildung 45**). Die zu hohen Verbrauchswerte sind als rote Säulen dargestellt.

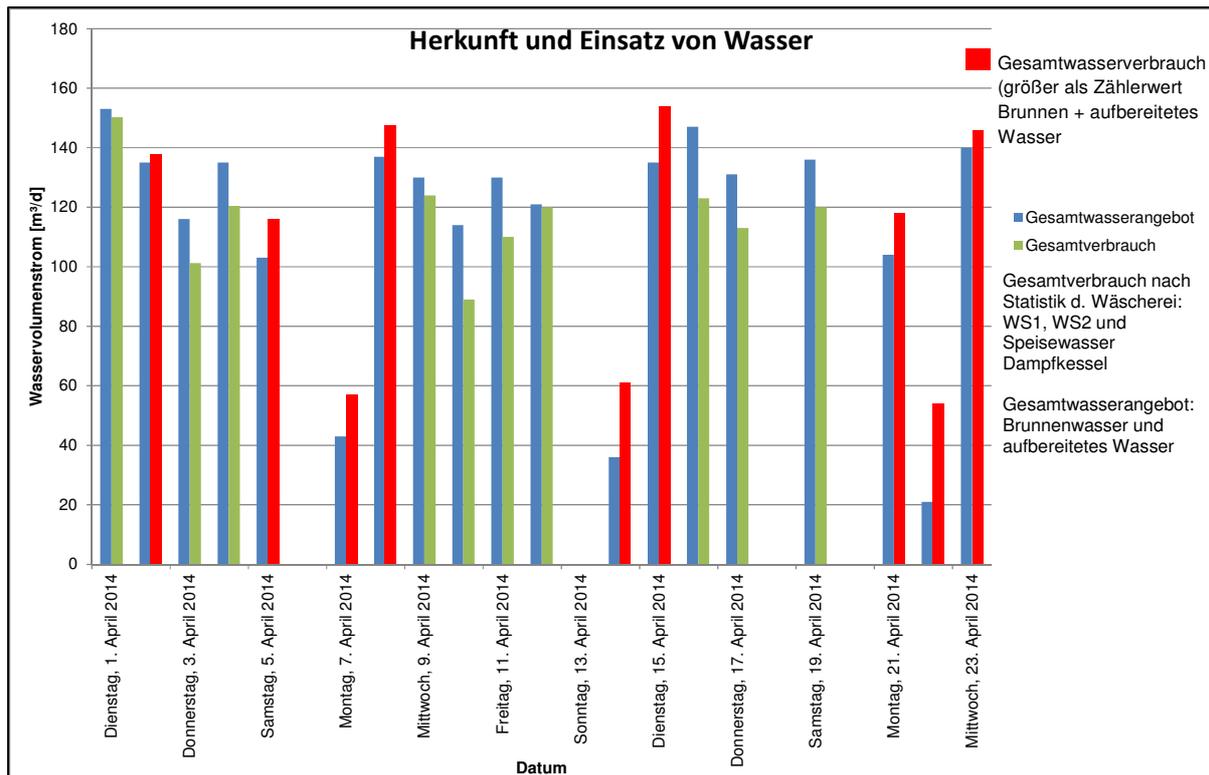


Abbildung 45: Aufstellung Zählerwerte Wasserverbraucher und Wasserlieferanten, Wäscherei für Berufsbekleidung

Dabei enthält die Gegenüberstellung keine Wasserverbräuche der Waschschleudermaschinen und keine Verluste durch vorhandene Lecks.

Bei der Bilanzierung mit Mittelwerten der wäschereieigenen handschriftlichen Aufzeichnungen des Wasserverbrauchs des Gesamtbetriebs wurde ein Wert von 3,3 l/kg Textilien ermittelt. Dieser Wert steht im Widerspruch zu dem in der Messwoche ermittelten Messwert von 5,4 l/kg_{Wäsche} (siehe **Abbildung 47**).

Insgesamt waren die Schwankungen im Betrieb der Wäscherei erheblich. Neben der schwankenden Nutzung des aufbereiteten Wassers in den Waschprozessen hing der Anteil des eingesetzten Brunnenwassers von den Anforderungen der Waschprogramme und der Bedienung der Ventile durch das Personal ab.

Abbildung 46 zeigt beispielhaft den Verlauf des täglichen Wasserbedarfs für den 1. bis 23. April 2014: Gerade die starken Schwankungen von Waschstraße 1 (P50/16) sind auffällig. Die in **Abbildung 47** dargestellte Wasserbilanz basiert deshalb auf den vorhandenen Werten der Erstaufnahme. Der große Anteil unter „Lecks + Sonstiges“ zusammengefasste Volumenstrom besteht überwiegend aus den nicht erfassbaren Volumenströmen der Waschstraßen. Der (vom April 2014 stammende) errechnete mittlere Wasserverbrauch für WSR 1 lag bei 74,2 m³/d, für WSR 2 betrug der Mittelwert 15,2 m³/d.

Um die Frischdampfmenngen des Dampfkessels für die Waschprozesse und den Tunnelfinisher ermitteln zu können, wurde der Zählerstand für das Kesselspeisewasser sowohl handschriftlich notiert als auch mehrmals fotografiert. Der errechnete Bedarf an Kesselspeisewasser von 16,8 m³/d bzw. 1,1 m³/h lag höher als der gesamte erzeugte Dampf. Bei der Nachmessung des Betriebs im Jahr 2014 wurde erneut der Kesselspeisewasserbedarf ermittelt. Bei dieser zweiten Untersuchung wurde ein plausibler Wasserverbrauch von 5,2 m³/d bzw. 0,3

m³/h errechnet. Die Ursachen für den erhöhten Speisewasserbedarf dürften in erhöhten Verlusten durch undichte Ventile und Lecks sowie erhöhte Absalz- und Abschlammwassermengen begründet sein.

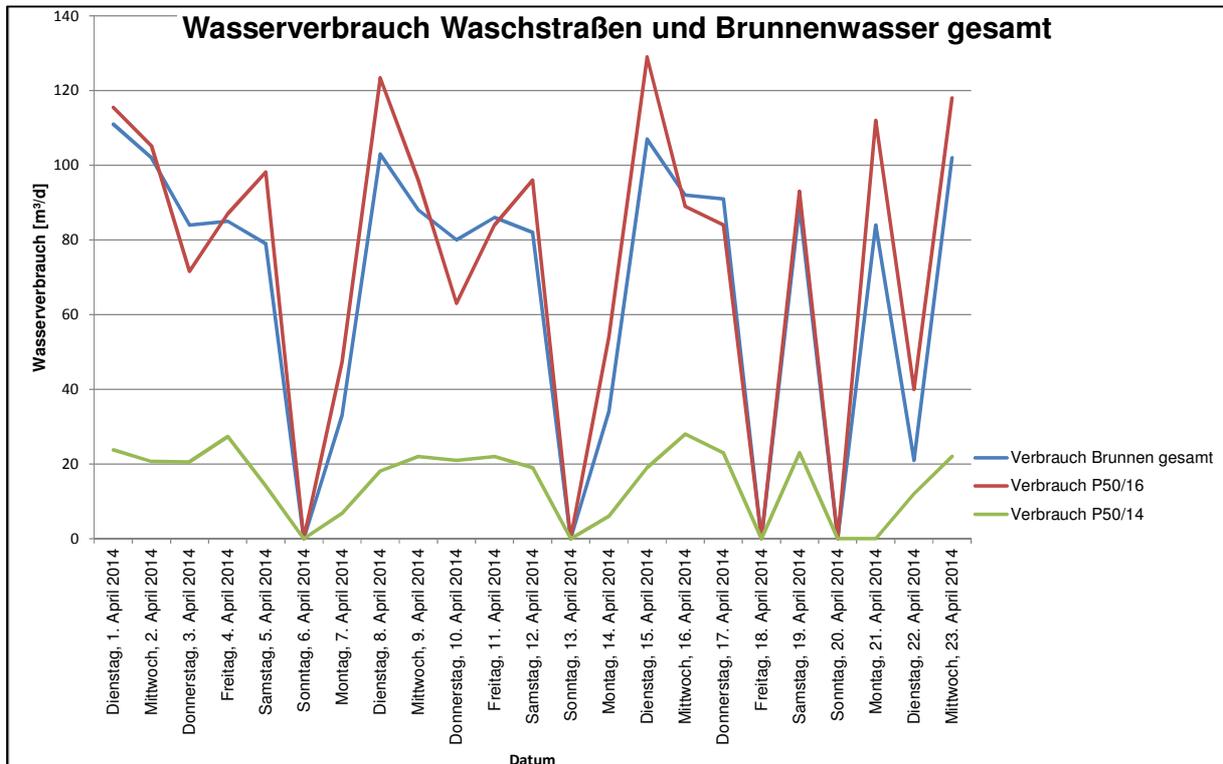


Abbildung 46: Tagesbedarf Wasser Waschstraßen und Brunnen, Wäscherei für Berufsbekleidung

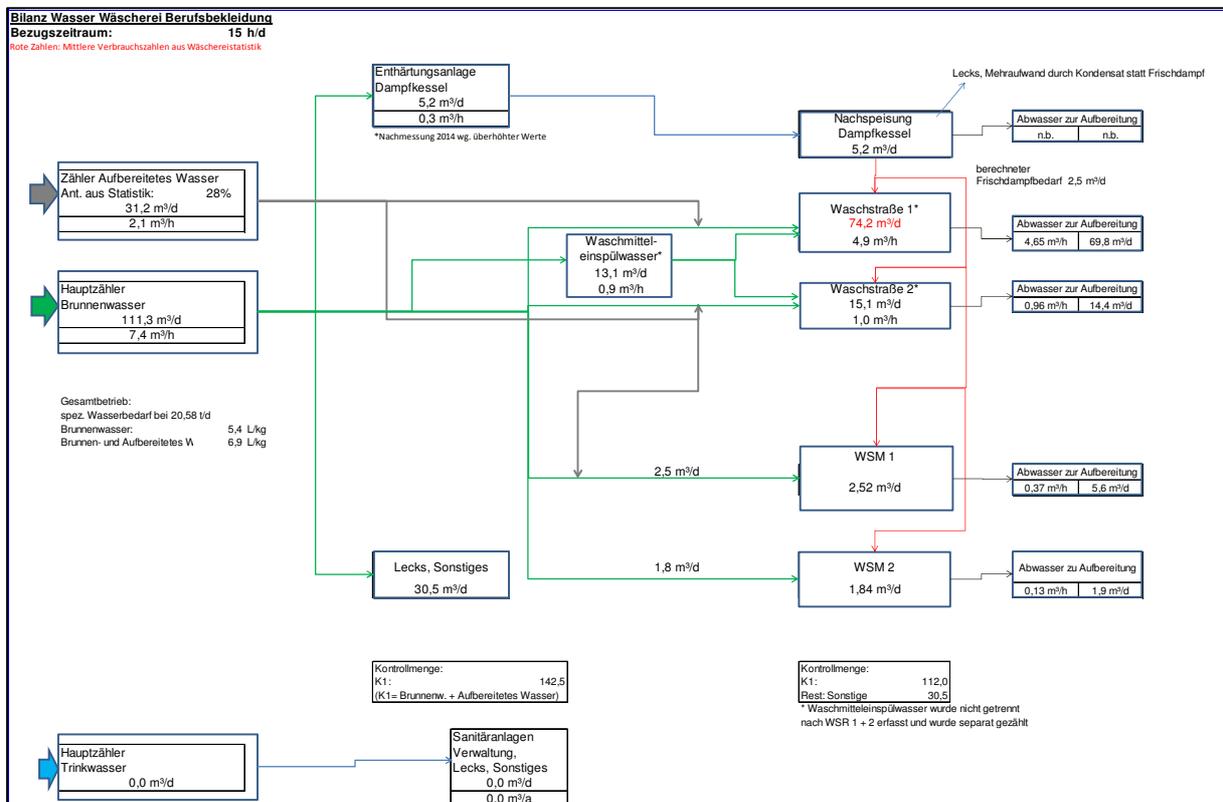


Abbildung 47: Wasserbilanz, Wäscherei für Berufsbekleidung

5.2.1.3 Wärmeerzeugung

Die Wärmeversorgung der Wäscherei besteht aus mehreren Teilsystemen:

A) Prozesswärme:

- **Dampfkessel** des Typs Loos UL-S, erdgasbefeuert (Dampfnetz siehe **Abbildung 49**)
 - Hochdruckdampf (ca. 10,5 bar_{abs})
 - Mangel 1 und 2
 - Sprühdampfversorgung Tunnelfinisher
 - Sonstige Finishprozesse
 - (Trockner DT 1 und 3, Dampfventil geschlossen)
 - Niederdruckdampf aus Kondensatsammelbehälter (ca. 6 bar_{abs})
 - Waschstraße 1 und 2
 - Waschscheudermaschine 1 und 2
- **Direkte Prozesswärmeerzeugung**
 - Trockner 2 und 4 bis 8 mit trockeninterner Erdgasfeuerung
- **Abwärme aus Druckluftherzeugung und aus Abwasser**
 - Vorwärmung Brunnenwasser

B) Heizwärme und Warmwasserversorgung Verwaltung/Sozialräume:

- Niedertemperatur-Heizkessel Typ Viessmann Vitola-biferral
 - Brennstoff Erdgas
 - Brennerleistung 22 kW

Dampferzeugung

Der Dampf wurde durch einen 5,0 t/h-Dampfkessel mit einem Zweistoffbrenner für Erdgas und Heizöl EL erzeugt. Die Gasversorgung verfügte über keinen Zähler, in der Ölleitung befand sich ein Ölmengezähler, der mittels Webcam und Laptop erfasst und manuell ausgewertet wurde. Der Dampf wurde auf der höheren Druckebene (ca. 10,5 bar absolut) für Mangeln, Tunnelfinisher sowie sonstige Finishprozesse eingesetzt. Das Kondensat aus diesen Maschinen wurde im Keller in einem Kondensatsammelbehälter aufgefangen. Das Kondensat wurde mit einer Pumpe dem Kessel nach dem Abgaswärmetauscher (Economiser) zugeführt. Der Dampf im Kondensatsammelbehälter wurde den Waschprozessen auf niedrigerem Druckniveau (ca. 6 bar absolut) direkt als Frischdampf zugeführt (siehe **Abbildung 48** und **Abbildung 49**).

Die Dampfverteilung bestand aus zwei 10,5-bar-Leitungen für die Versorgung der Mangeln und des Tunnelfinishers sowie einer 6-bar-Leitung vom Kondensatsammelbehälter zu den Waschscheudermaschinen und den Waschstraßen (siehe **Abbildung 48**). Zwei angeschlossene Trockner (Trockner 1 und Trockner 3) waren durch je einen Kugelhahn von der Dampfversorgung abgetrennt.

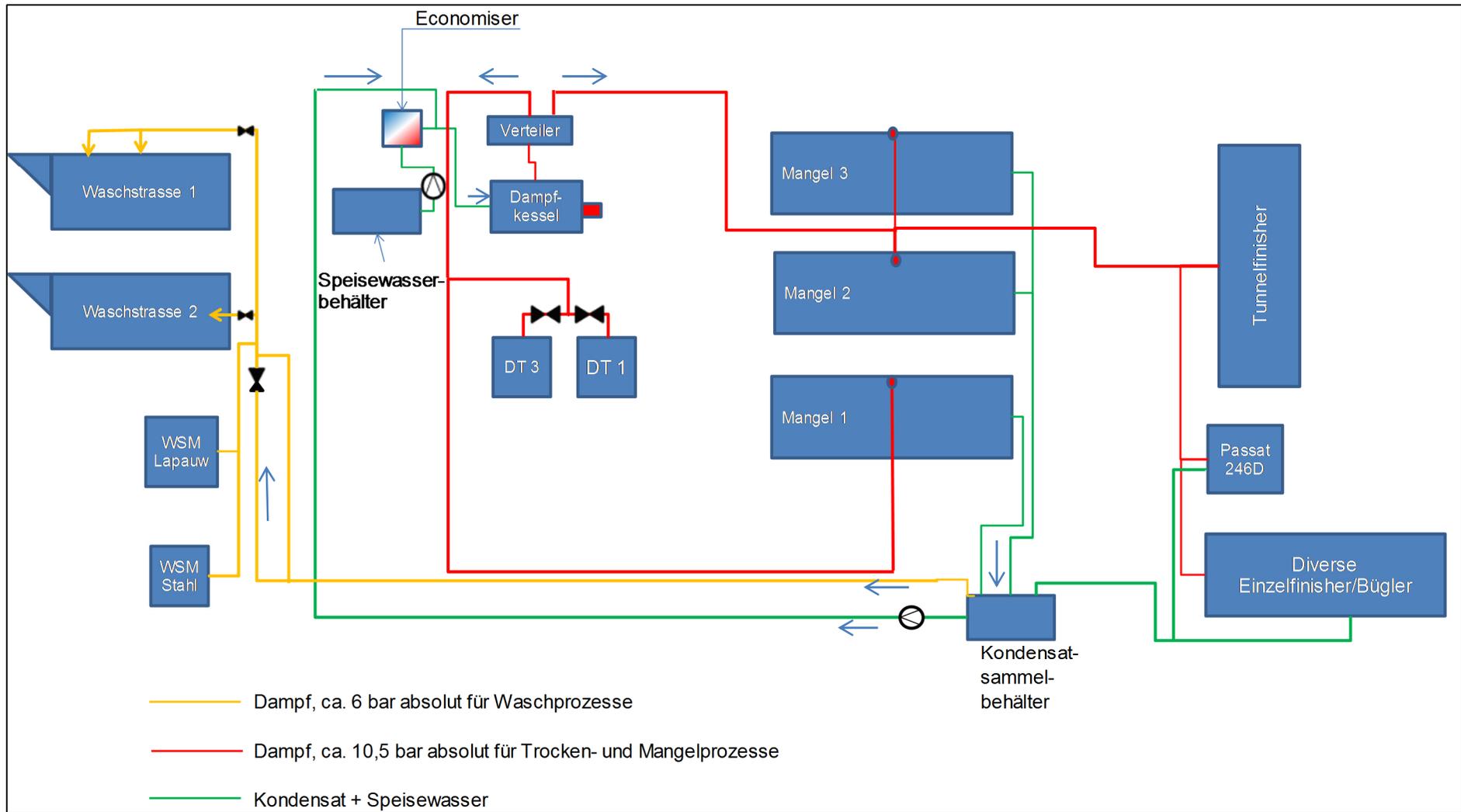


Abbildung 48: Schema des Dampfnetzes, Wäscherei für Berufsbekleidung

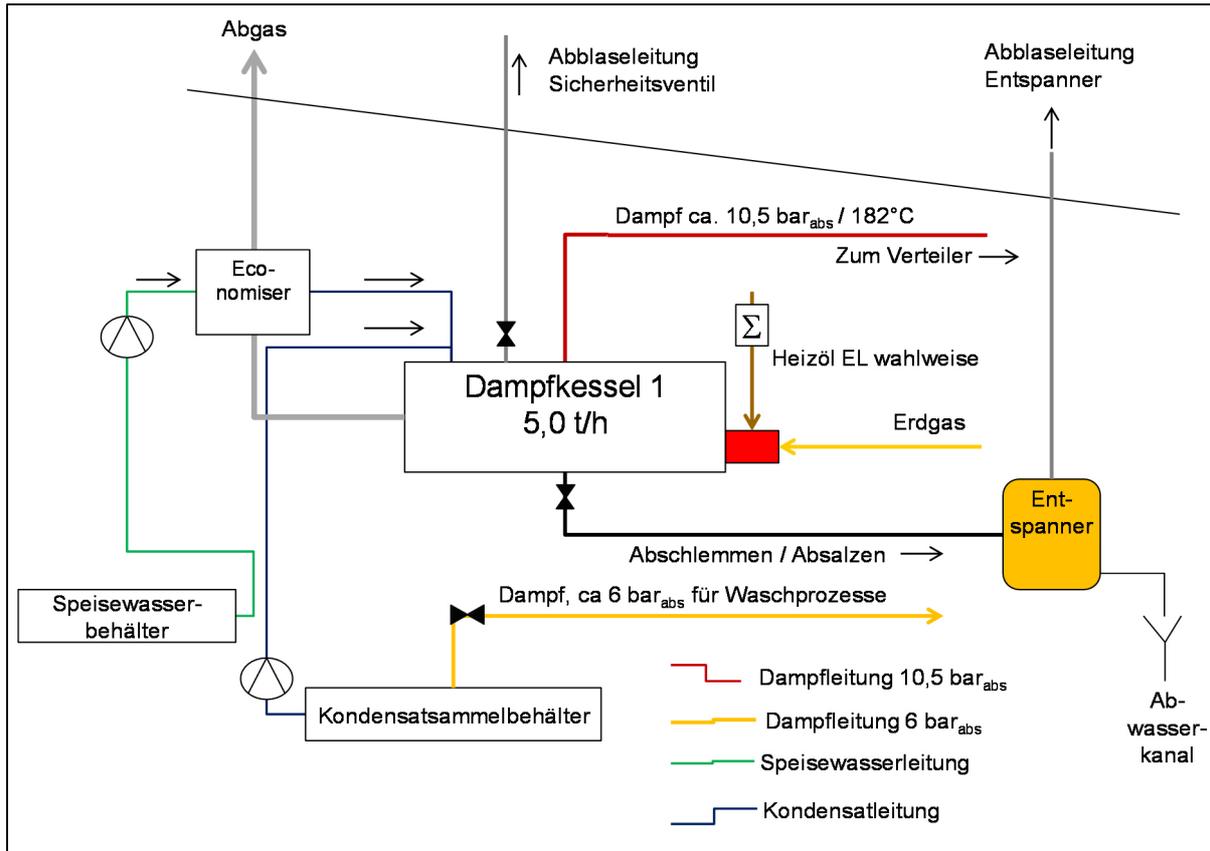


Abbildung 49: Dampferzeugung, Wäscherei für Berufsbekleidung

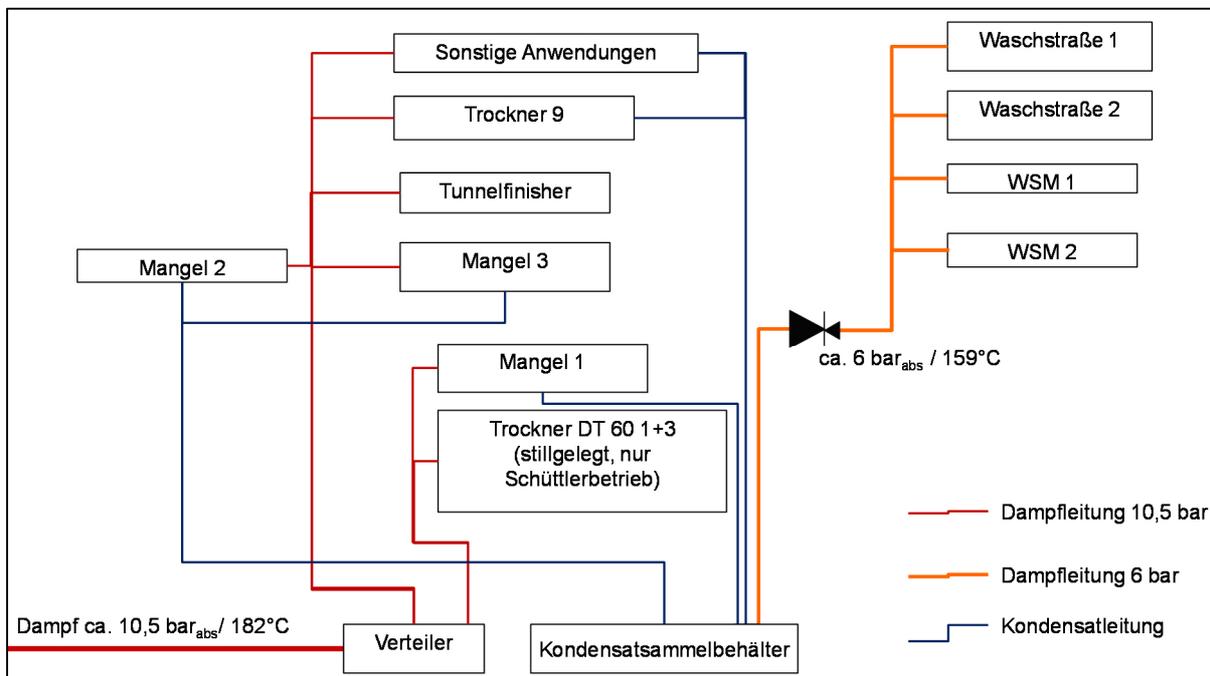


Abbildung 50: Dampfverteilung, Wäscherei für Berufsbekleidung

Die mittlere Feuerungsleistung wurde im Ölbetrieb ermittelt. Dazu wurden Bilder des Ölzählerstands mittels Webcam im 10-Sekunden-Takt aufgenommen und abgespeichert sowie handschriftlich Zählerstände notiert.

Die Feuerungsleistungen $\dot{Q}_{F,mittel}$ wurden mit folgender Formel ermittelt:

$$\dot{Q}_{F,mittel} = \frac{BA_{Heizöl\ EL} * H_{Heizöl\ EL}}{T_{mess}}$$

mit:

$BA_{Heizöl\ EL}$: gemessener Heizölverbrauch

$H_{Heizöl\ EL}$: Heizwert von Heizöl EL (extraleicht), ~ 10 kWh/Liter

T_{mess} : Dauer der Messung in Stunden

Die ermittelte, mittlere Feuerungsleistung des Brenners betrug bei der IST-Analyse 708 kW.

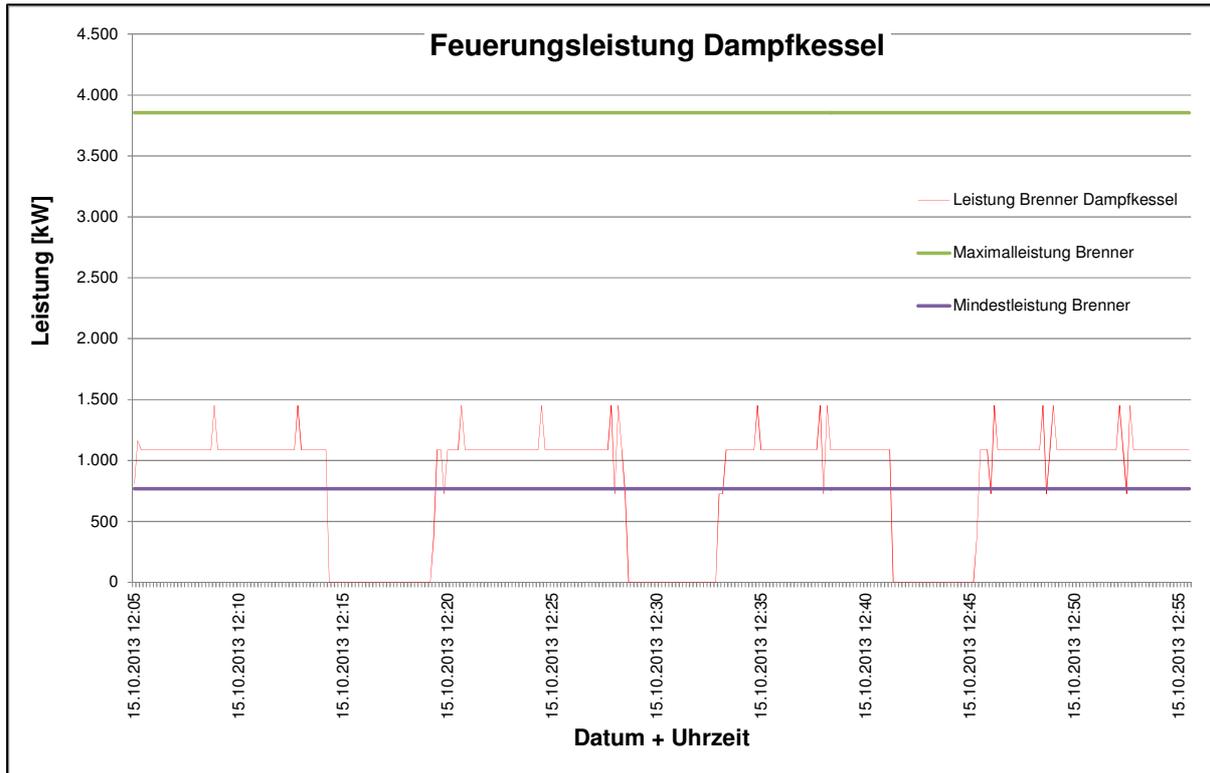


Abbildung 51: Feuerungsleistung Dampfkessel, Wäscherei für Berufsbekleidung

Bei einer jährlichen Betriebszeit des Kessels von 3.900 Stunden betrug der jährliche Erdgas- und Heizölverbrauch 2.761.200 kWh. Der überwiegende Betrieb erfolgte nach Wäschereiangaben mit Erdgas, der Heizölverbrauch pro Jahr betrug nur wenige hundert Liter (siehe auch **Tabelle 23**).

Tabelle 23: Berechnung jährlicher Energiebedarf, Wäscherei für Berufsbekleidung

Mittlere tägliche Betriebszeit [h/d]	Jahresarbeitsstage [d/a]	Mittlere Feuerungsleistung [kW]	Jahresenergiebedarf [kWh]
15	260	708	2.761.200

Annahmen:

- Arbeitszeit: 6-21 Uhr
- Arbeitstage: 250 Arbeitstage + 10 Samstage pro Jahr
- Jährliche Betriebsstundenzahl: 3.900 Stunden

Im Rahmen der Messungen wurden Thermografien angefertigt, die die Wäscherei motivieren sollen, ungenutzte Dauerverbraucher (Dämpfpuppen, Kragepresse, etc.) und dauerhafte Verluste durch nicht gedämmte Dampf- und Kondensatleitungen zu minimieren. **Abbildung 52** zeigt ein nicht isoliertes Teilstück der Dampfleitungen zu den ohne Dampf betriebenen Trocknern 1 und 3. Erst nach den Absperrhähnen sinkt die Temperatur der Zuleitung.

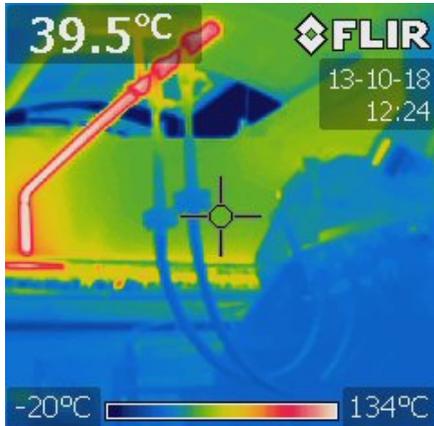


Abbildung 52: nicht isolierte Dampfleitung zu Trockner 1 und 3, Wäscherei für Berufsbekleidung

Abbildung 53 zeigt die Dampfbilanz der gesamten Wäscherei. Wie bei allen untersuchten Wäschereien erwies sich die Bilanzierung an vielen Stellen als schwierig, weil betriebsbedingte Schwankungen bei den Wasch- und Trockenprozessen zu schwankender Dampfabnahme als auch bei den Verbräuchen von Kesselspeisewasser führten. Beim Kesselspeisewasser trat ein erheblicher Mehrverbrauch von fast 17 m³/d auf. Für die Verdampfung dieser Wassermenge würde eine deutlich höhere Feuerungsleistung benötigt als sie gemessen wurde. Es wurde deshalb der bei der Nachmessung ermittelte Kesselspeisewasserbedarf für die Bilanzierung (Energiezufuhr durch Kesselspeisewasser) zugrunde gelegt. Die Ursache für den erhöhten Kesselspeisewasserbedarf war auf Undichtigkeiten von Abschlämm- und Absalzventil sowie erhöhte Kondensatabgabe in den Waschprozessen durch ungedämmte Leitungen zurückzuführen.

Die hohen, nicht Maschinen zugeordneten Verbräuche können damit erklärt werden, dass die Vielzahl der Kleinmaschinen (Plättische, Einzeltrockner) aber auch die Summe der Einzelverluste auf den Dampf- und Kondensatleitungen nicht erfasst und aufgeteilt wurden.

Wie **Abbildung 53** zeigt, sind sonstige Verluste sowohl rein thermisch (ca. 230 kW) als auch zusätzlich mit Frischdampfverlust (ca. 112 kW) sehr hoch. Dies liegt einerseits an der Vielzahl der nicht gedämmten Dampf- und Kondensatleitungen sowie nicht erfassten bzw. erfassbaren Dampfverbrauchern, wie einem Trockner und dem Tunnelfinisher. Zusätzlich ging Frischdampf auch an Dampfleckagen und am undichten Sicherheitsventil verloren. Auf Basis vorhandener Daten (Abgasmessung Kaminkehrer) und Annahmen zum Absalzen/Abschlämmen und ohne Berücksichtigung des Lecks am Sicherheitsventil wurde ein mittlerer Nutzungsgrad von 93,7 % ermittelt.

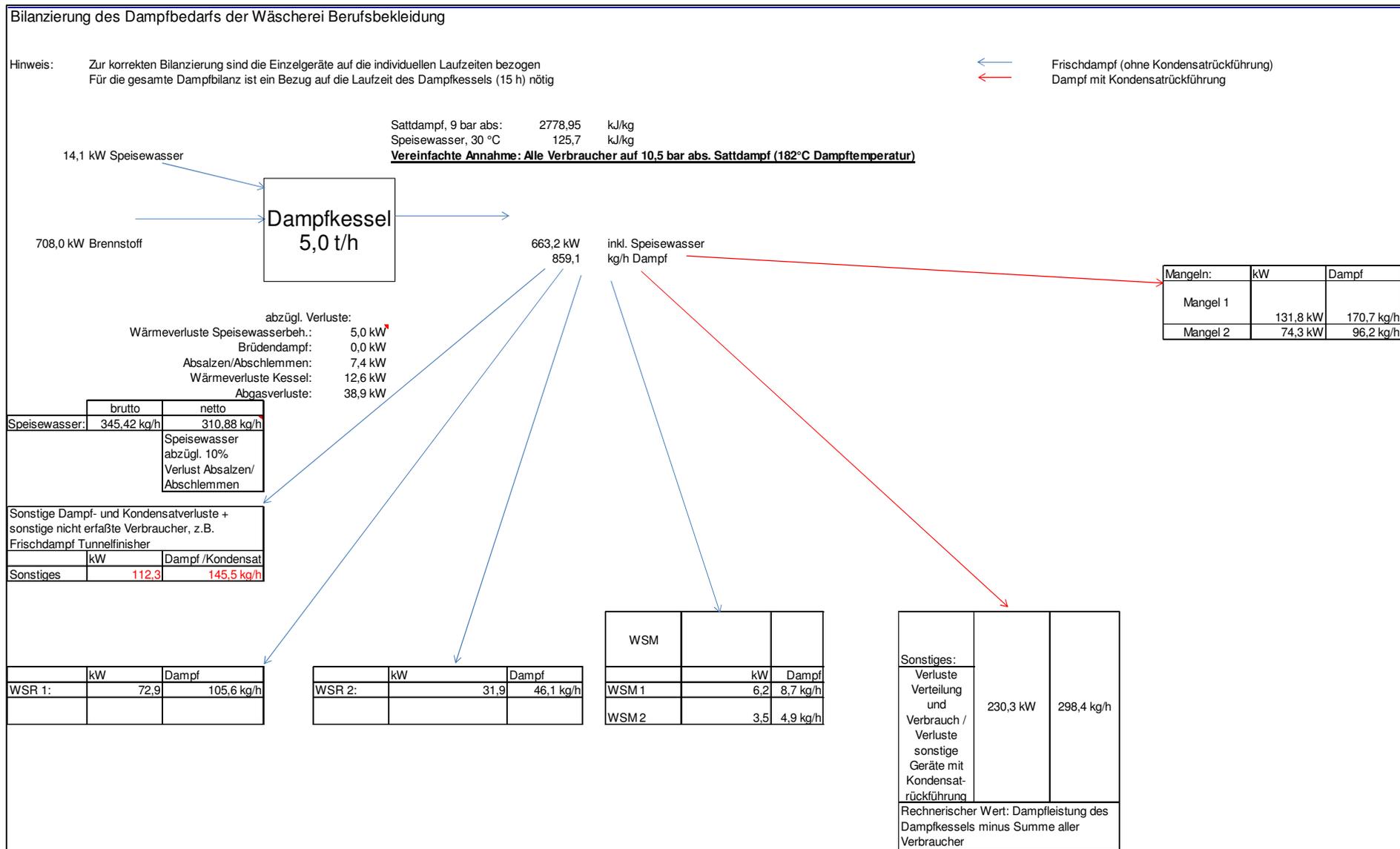


Abbildung 53: Dampf Bilanz der Wäscherei für Berufsbekleidung

Die Werte der dampfbeheizten Wäschereiprozesse wurden über die einzelnen Anlagen bzw. bei den Trocknern als Sammelbilanz ermittelt (siehe **Abbildung 54** bis **Abbildung 61**). Sammelbilanzen wurden erstellt, wenn durch Störungen oder stark schwankende Betriebszustände keine anlagenbezogenen, brauchbaren Werte ermittelt werden konnten.

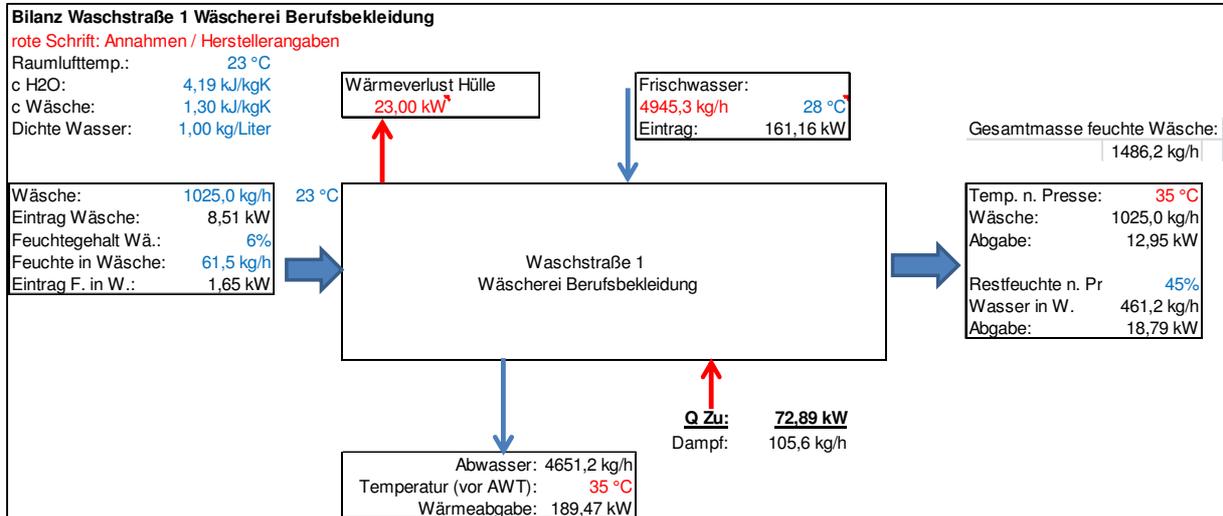


Abbildung 54: Energie- und Medienbilanz von WSR 1, Wäscherei für Berufsbekleidung

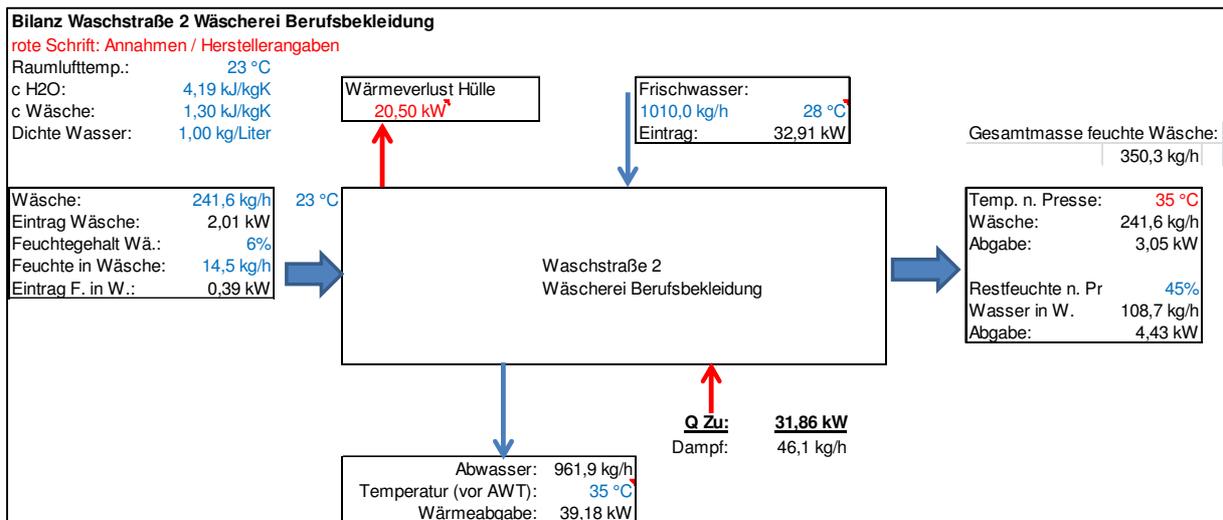


Abbildung 55: Energie- und Medienbilanz von WSR 2, Wäscherei für Berufsbekleidung

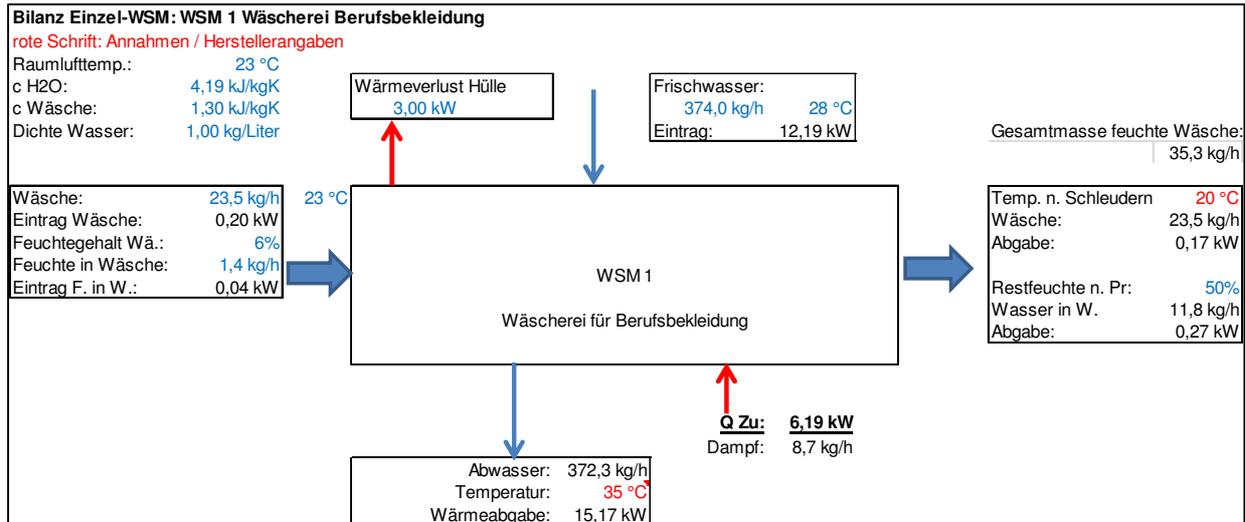


Abbildung 56: Energie- und Medienbilanz von WSM 1, Wäscherei für Berufsbekleidung

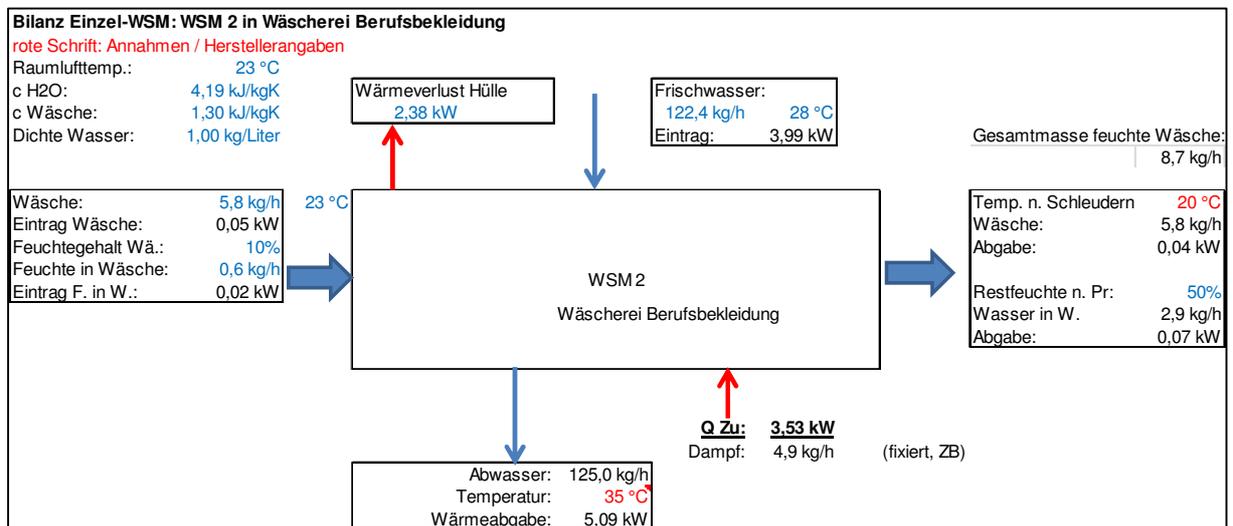


Abbildung 57: Energie- und Medienbilanz von WSM 2, Wäscherei für Berufsbekleidung

Die Bilanzierung des Tunnelfinishers wurde durch die bei neueren Tunnelfinishern unüblichen zwei Abluftvolumenströme erschwert. Sowohl aus der Dampfzone als auch aus der Trockenzone wird Abluft ohne Wiederverwendung oder Abwärmerückgewinnung über Dach abgeführt. Die Abluft aus der Dampf- und aus der Trockenzone wurden mittels Thermoelement und die Dampfzone zusätzlich mittels Kombisensor für Temperatur und relative Feuchte gemessen. Für die relative Feuchte der Abluft der Trockenzone wurde der Mittelwert von Raumluftfeuchte und Abluftfeuchte der Dampfzone angesetzt.

Zur Bilanzierung wurden die Massenströme addiert und die errechneten Mittelwerte von Enthalpien, Feuchtwerte und Temperaturen massengewichtet zu einem Volumenstrom addiert. Aus dem Verlauf der Ablufttemperatur der Trockenzone wurde eine Betriebszeit von ca. 9,6 Stunden pro Tag und bezogen auf 15 Stunden Betriebszeit Laufzeitverhältnis von ca. 67 % ermittelt.

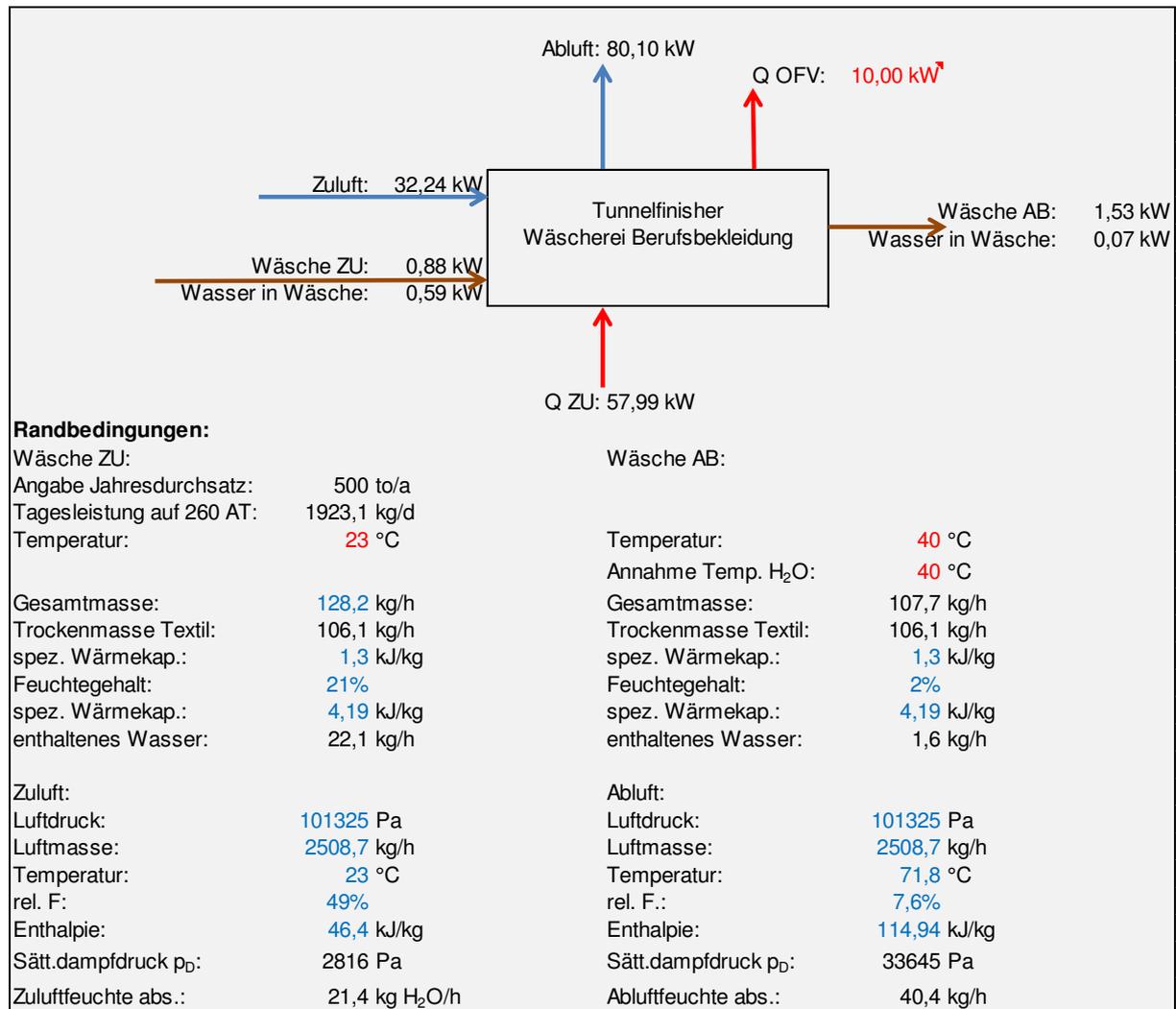


Abbildung 58: Energie-und Medienbilanz des Tunnelfinishers, Wäscherei für Berufsbekleidung

Für die Bilanzierung der Mangeln wurde eine Berechnung durchgeführt. Wie in **Kapitel 5.2.1.1** beschrieben, wurden mittlere Wäschestückmassen und das Verhältnis zwischen Maschinenlaufzeit und Betriebszeit definiert und mit dem spezifischen Wäschestückdurchsatz multipliziert. **Abbildung 59** und **Abbildung 60** zeigen die Bilanzen für Mangel 1 und Mangel 2.

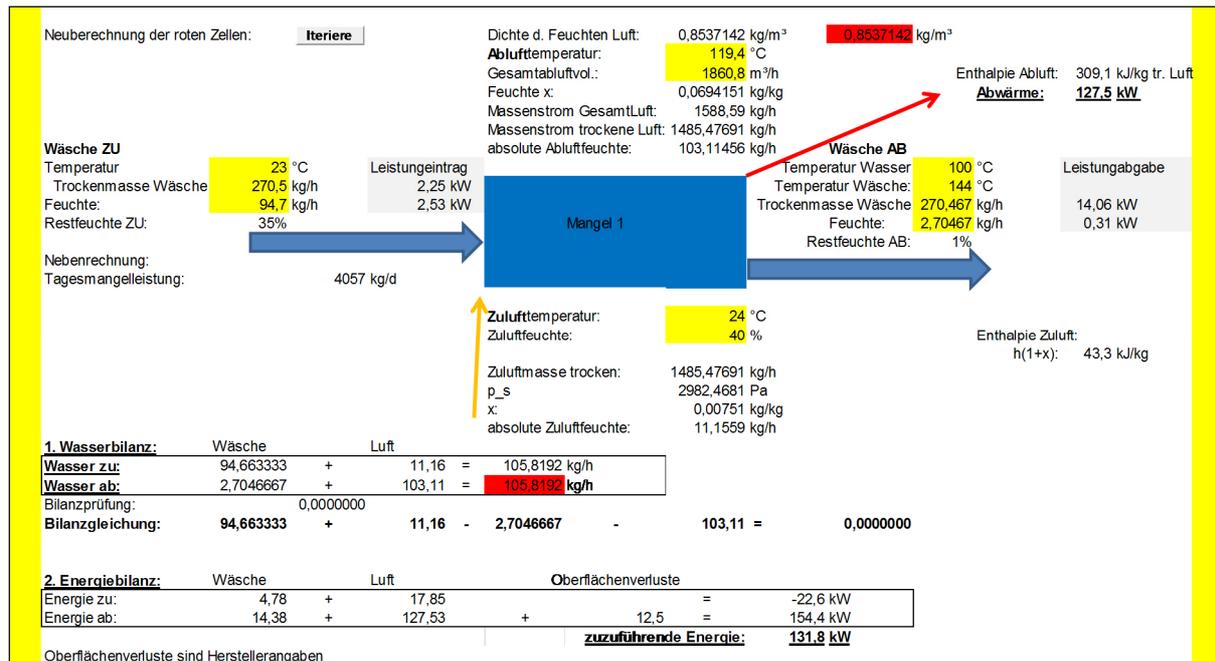


Abbildung 59: Bilanzierung Mangel 1, Wäscherei für Berufsbekleidung

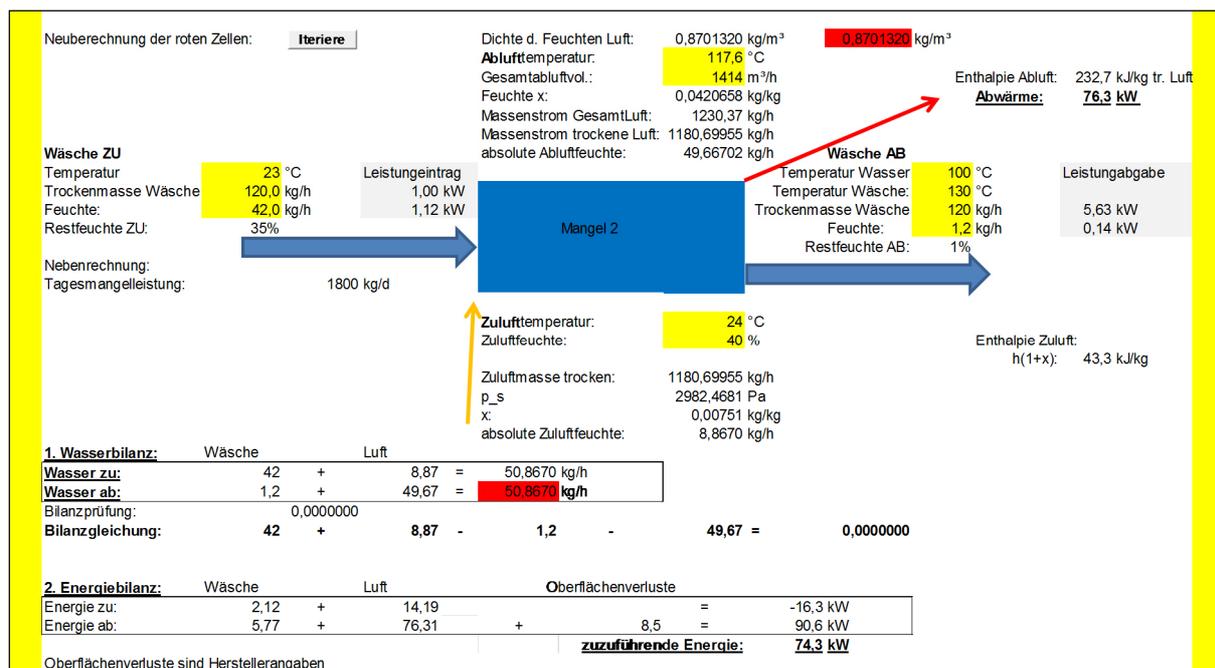


Abbildung 60: Bilanzierung Mangel 2, Wäscherei für Bewohnerwäsche

Für die Bilanzierung der Trockner wurde eine Sammelbilanz erstellt. Während der Messungen war ein Trockner zeitweise wegen Defekt außer Betrieb. Ausfallzeiten von WSR 1 hatten zur Folge, dass keine kontinuierliche Wäschezufuhr zu den Trocknern erfolgen konnte. Deshalb war die Maschinenauslastung zum Zeitpunkt der Messungen gering und wurde deshalb nicht berücksichtigt. Nach Prüfung der aufgezeichneten Daten wurden Messungen der Trockner 7 und 8 als Basis für eine Berechnung herangezogen.

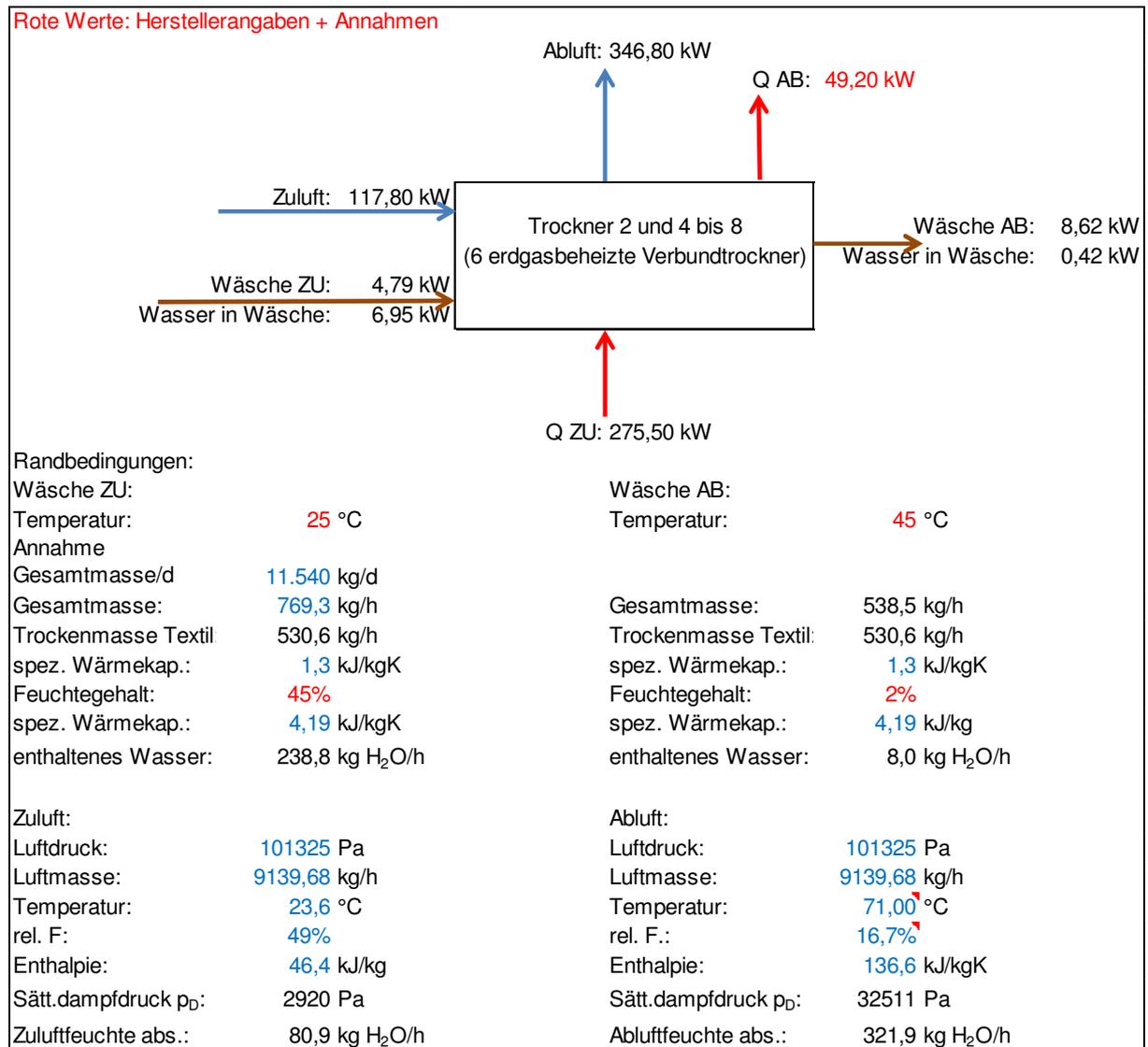


Abbildung 61: Sammelbilanz der erdgasbeheizten 60-kg-Trockner (Trockner 2 und 4 - 8), Wäscherei für Berufsbekleidung

5.2.1.4 Elektrische Energie

5.2.1.4.1 Berechnung elektrischer Energieverbrauch

Der Schwerpunkt der Messungen lag bei der Wärme- bzw. Dampferzeugung, so dass keine Detailmessungen hinsichtlich des elektrischen Energieverbrauchs vorgenommen wurden. In **Tabelle 24** wurden die wesentlichen Verbraucher mit den Nennleistungen, die Betriebszeiten und über einen Gleichzeitigkeitsfaktor die Laufzeiten der Maschinen bzw. ihre Auslastung bezogen auf die Nennleistung korrigiert. Mit wenigen Ausnahmen sind die Verbraucher in einem regelmäßigen Wechsel in Lastlauf oder Leerlauf, so dass in der Regel ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,5 bis 0,9 auftritt. Bei bekannten, größeren Abweichungen der Betriebszeit, wie zum Beispiel beim Tunnelfinisher wurde diese ebenfalls berücksichtigt.

Tabelle 24: Berechnung des elektrischen Verbrauchs, Wäscherei für Berufsbekleidung

Verbraucher	Betriebsstunden	Elektrische Nennleistung [kW]	Gleichzeitigkeitsfaktor	Strombedarf pro Jahr [kWh]	Anmerkungen
Diverse Pumpen (Brunnen, Aufbereitung, zentraler Wärmetauscher, Druckerhöhung, Kühlung Druckluft)	3.900	15	0,7	40.950	Annahme der elektr. Leistung
Waschstraße 1	3.900	21,9	0,7	59.787	
Waschstraße 2	3.900	18,4	0,7	50.232	
WSM 1	3.900	5	0,5	5.200	8 h/d Betrieb, Leistung geschätzt
WSM 2	3.900	3,5	0,5	3.640	8 h/d Betrieb
Saugzuggebläse	3.900	15	0,4	23.400	
Trockner 1-8	3.900	71,2	0,7	194.376	
Trockner 9	3.900	4,75	0,5	9.263	
Mangel 1 mit Eingabe	3.900	53,2	0,7	145.236	
Mangel 2 mit Eingabe	3.900	43,6	0,7	119.028	
Tunnelfinisher 1	2.600	18,5	0,7	33.670	10 h/d Betrieb
Druckluftezugung (Kompressoren + Drucklufttrockner)	3.900	47,8	0,7	130.494	Waschhalle
Druckluftezugung Lager / Wasseraufbereitung	8.700	7,5	0,95	61.988	Wasseraufbereitung
Sonstige Verbraucher	3.900	50	0,3	58.500	Leistung nach Auflistung bekannter Verbraucher, siehe auch Kapitel 9.2.1
GESAMT				894.813	

Der hohe Anteil der sonstigen Verbraucher war eine Schätzung der vorhandenen untergeordneten Geräte. Dies umfasst die Beleuchtung und Maschinen, die üblicherweise nur kurze Zeit oder dauerhaft, aber mit geringer Leistung in Betrieb sind. Die Ursache für die Abweichung zwischen Berechnung und Vergleichswert sind die nur mit erheblichem Aufwand ermittelbaren Betriebszeiten unzugänglicher Verbraucher, zum Beispiel zahlreiche Pumpen der Wasseraufbereitung und Wärmerückgewinnung/Abwärmenutzung.

Als Vergleichswert zur Verbrauchsabschätzung standen die Monatsverbräuche 2013 der Wäscherei zur Verfügung. Der Gesamtbezug Wirkleistung – HT und NT – betrug für die 10 Monate 718.921 kWh, hochgerechnet für ein Jahr entspricht das einem Verbrauch von **862.705 kWh** pro Jahr.

Bei der Berechnung des Verbrauchs auf Basis der Daten einer Woche (Zeitraum der IST-Analyse) würde das Ergebnis wie folgt aussehen:

Tabelle 25: Berechnung des Jahresstrombedarfs auf Basis von Wochendaten, Wäscherei für Berufsbekleidung

Wochentag / Datum	Strombedarf [kWh]
-------------------	-------------------

Montag, 14.10.2013	3.750
Dienstag, 15.10.2013	3.867
Mittwoch, 16.10.2013	2.773
Donnerstag, 17.10.2013	3.187
Freitag, 18.10.2013	3.288
Tagesmittelwert	3.373 kWh
Strombedarf pro Jahr bei 260 Arbeitstagen:	<u>876.980 kWh</u>

Die Berechnung auf Basis der Tagesdaten der Messwoche liegt in der Nähe der Berechnungen auf 10-Monatsbasis trotz der in der Messwoche aufgetretenen längeren Störung und der starken Verbrauchsschwankungen (siehe **Abbildung 62**).

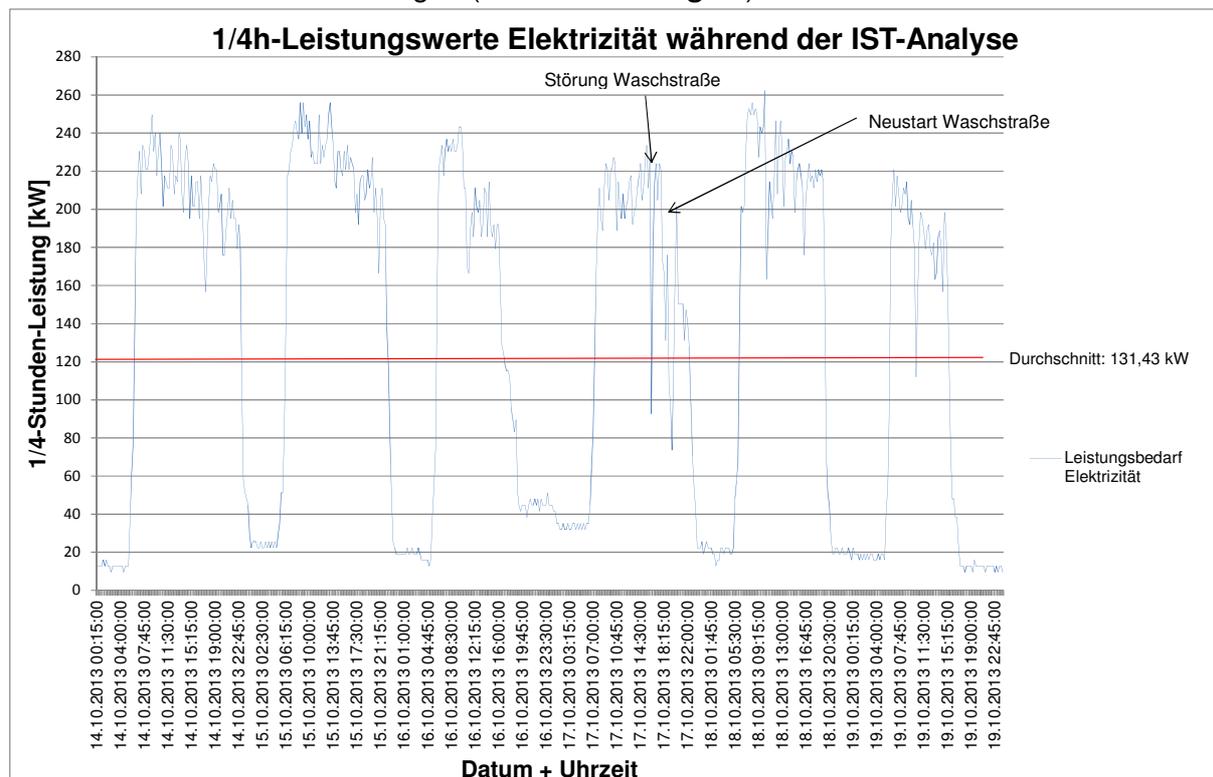


Abbildung 62: Viertelstunden-Leistungswerte elektrische Energie, Wäscherei für Berufsbekleidung

5.2.1.4.2 Druckluft

Die Druckluftherzeugung war aufgeteilt in zwei eigenständige Druckluftnetze:

- eine Druckluftversorgung für die biologische Wasseraufbereitung in einem separaten Gebäude auf der gegenüberliegenden Straßenseite
- und eine zentrale Druckluftherzeugung für die Waschhalle auf einem Podest im unreinen Bereich der Waschhalle über dem Brunnenwassertank.

Die Druckluftversorgung für die biologische Wasseraufbereitung besteht aus einem luftgekühlten Kompressor, dessen Wärme in den Aufstellraum abgegeben wurde. Dieser Kompressor wurde rund um die Uhr betrieben und stellt die Frischluftversorgung für die biologische Abwasseraufbereitung sicher. Die Abwärme dieses Kompressors wurde in den Aufstellraum abgegeben. Ein aufgestellter Tischventilator deutet darauf hin, dass der Kompressor zumindest in den Sommermonaten Schwierigkeiten bei der Abgabe der entstehenden Abwärme hat. **Eine genauere Untersuchung dieses Verdichters wurden nicht durchgeführt.**

Die Druckluftversorgung in der Waschhalle wurde mittels zweier einstufiger Kompressoren mit je 22 kW elektrischer Nennleistung abgedeckt. Die Abwärme wurde über Öl-Wasser-Wärmetauscher an das Brunnenwasser in einem Tank abgegeben. Die Kompressoren verfügten über keine Schnittstelle zum Auslesen der Daten.

Zur Ermittlung der Leckrate wurde wie in **Kapitel 3.2.2.4** beschrieben, vorgegangen. Nach Auswertung der Bilder konnte folgendes festgestellt werden:

Tabelle 26: Betriebsstatus zur Ermittlung der Leckrate außerhalb der Betriebszeit, Wäscherei für Berufsbekleidung

Betriebsstatus	Bilder [Stk.]	Zeit [s]	Zeit [min]
Lastlauf	308	616	10,27
Leerlauf	620	1240	20,67
Gesamt	928	1856	30,93

Tabelle 27: Ermittlung Verluste außerhalb der Betriebszeit, Wäscherei für Berufsbekleidung

Liefermenge nach Datenblatt	3,46 m ³ /min bei 7,5 bar
	3,04 m ³ /min bei 10 bar
Mittlerer Druck während Messung	8,3 bar
Rechnerische Liefermenge (interpoliert)	3,33 m ³ /min bei 8,3 bar
Liefermenge durch Verluste	34,2 m ³ in 10,27 min
Verlustluftmenge pro Stunde bzw. pro min.	66,3 m ³ /h bzw. 1,11 m ³ /min

Abbildung 63 zeigt das Druckluftanlagenverhalten bei Betriebsstillstand.

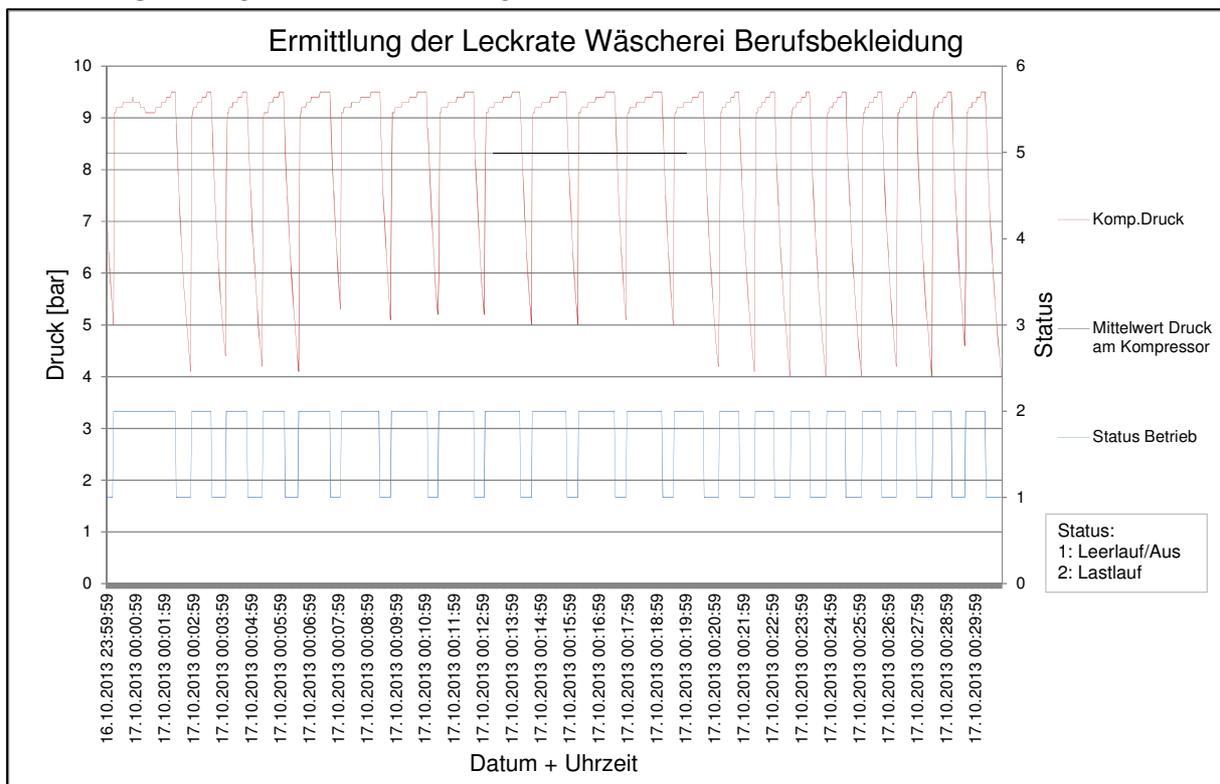


Abbildung 63: Druck und Betriebsstatus eines Kompressors der Wäscherei für Berufsbekleidung

Bezogen auf die maximale Leistung der beiden Kompressoren betrug die Leckrate 16 % bezogen auf die maximale Liefermenge (siehe **Abbildung 64**). Bei einer stichpunktartigen Prüfung wurde eine mittlere Liefermenge von 5,03 m³/min ermittelt. Das entspricht einer Auslastung von 70,6 %.

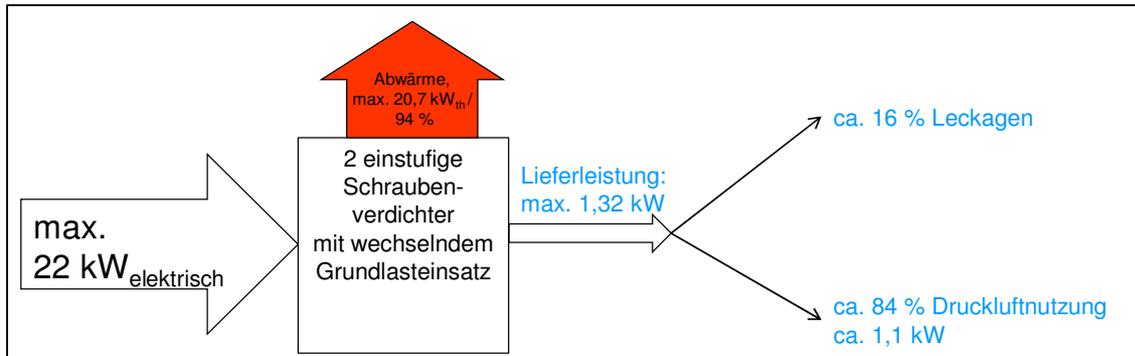


Abbildung 64: Energiefluss Druckluftherzeugung der Wäscherei für Berufsbekleidung

Zusätzlich wurde das Druckluftnetz untersucht. Während der Arbeitszeit der Wäscherei wurde am Kompressor ein mittlerer Druck von 8,0 bar ermittelt. An einer ungünstigen Stelle bei einer Faltmaschine, wurde ein mittlerer Druck von 3,4 bar und ein maximaler Druck von ca. 5 bar gemessen. Für diese Messung wurde ein Drucksensor an einem Druckluftanschluss mit einem Adapter montiert und ein analoges 4 bis 20 mA-Signal aufgezeichnet. Der Druckverlust, die Differenz zwischen Kompressordruck und Druck am letzten Verbraucher, war nicht nur auf ein unterdimensioniertes Druckluftnetz ohne ausgebildete Ringstruktur zurückzuführen, sondern auch auf einen Druckminderer hinter dem Druckluftspeicher. So wurde einerseits die Lieferleistung der Kompressoren gemindert, weil diese gegen einen hohen Druck arbeiteten, andererseits war die ausreichende Versorgung der Maschinen durch eine zu starke Druckabsenkung im Netz gefährdet. Eine zusätzliche Speicherwirkung des Rohrleitungsnetzes wurde mit diesem Anlagenaufbau und dieser Betriebsweise nicht genutzt.

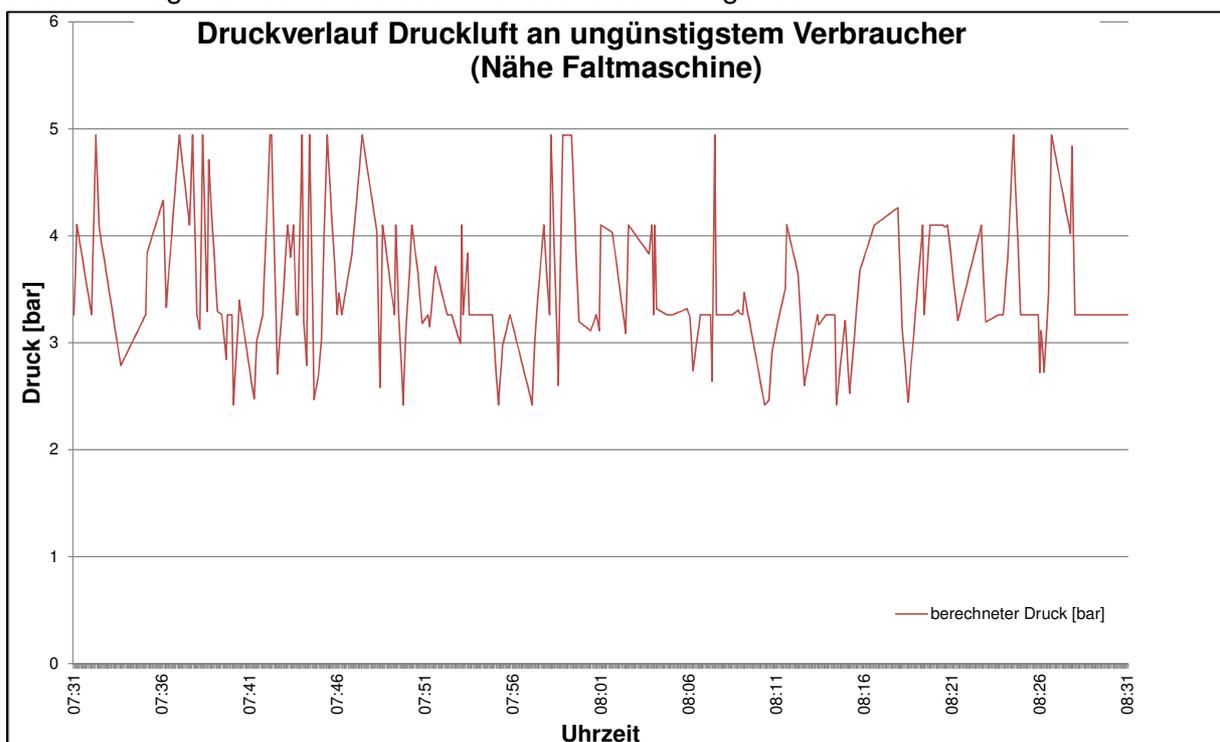


Abbildung 65: Druckverlauf an pneumatisch ungünstigem Verbraucher, Wäscherei für Berufsbekleidung

Die Messung der wasserseitigen Abwärmemengen konnte aufgrund der baulichen Situation und den im Kühlsystem verwendeten Schläuchen nicht durchgeführt werden. Näherungsweise kann die nutzbare Abwärme mit ca. 70 % der elektrischen Arbeit angesetzt werden.

5.2.2 Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien

5.2.2.1 Wasserqualitäten

▪ Frisch- und Prozesswasser

Das *Frischwasser* im Wäschereibetrieb für Berufskleidung wies bei der IST-Analyse eine Temperatur von 14 °C auf und hatte eine elektrische Leitfähigkeit von 215 µS/cm. Der pH-Wert betrug 7,3 und die Wasserhärte 5,6 °d (1,0 mmol/l). (4).

Das zum Waschen verwendete *Brunnenwasser* (3,4 °d bzw. 0,61 mmol/l) hatte zum Messzeitpunkt eine Temperatur von 12 °C, einen pH-Wert von 7,1 und wies eine Leitfähigkeit von 148 µS/cm auf. Da zum Waschen sowohl frisches Brunnenwasser als auch durch eine im Betrieb vorhandene biologische Abwasseraufbereitung zurückgewonnenes Prozesswasser verwendet wird, kann davon ausgegangen werden, dass neben den untersuchten Parametern alle anderen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung eingehalten werden.

Das *aufbereitete Abwasser*, das erneut für Waschprozesse verwendet wird, hat einen pH-Wert von 7,4 und eine Temperatur von 31 °C. Die Leitfähigkeit des Wassers betrug 1.326 µS/cm bei unveränderter Gesamthärte von 3,4 °d. Der Abdampfdruckstand ist mit 1,01 g/l als gering einzustufen. Der Eisengehalt im aufbereiteten Wasser lag zum Zeitpunkt der Untersuchungen im akzeptablen Bereich.

▪ Abwasser

Das *gesamte Abwasser aus den Waschprozessen* wird zunächst vom Übergabeschacht zur biologischen Abwasseraufbereitungsanlage geleitet und dort entsprechend behandelt. Anschließend wird ein Anteil von ca. 28 % in einen Speichertank zurückgeführt, woraus die Waschstraßen und -maschinen ihr Prozesswasser beziehen. Der restliche Anteil des Abwassers wird der öffentlichen Kanalisation zugeführt.

Die nach **Kapitel 3.2.3.1** durchgeführten Abwasseranalysen zeigten am *Übergabeschacht zur Aufbereitung* einen pH-Wert von 9,7 und eine Temperatur von 32 °C. Die Leitfähigkeit des Abwassers betrug 1.224 µS/cm bei einer Gesamthärte von 3,4 °d. Der Abdampfdruckstand ist mit 1,58 g/l gering einzustufen. Der Eisengehalt liegt mit 0,25 mg/l **oberhalb** des zulässigen Einleitungsbereichs in die öffentliche Kanalisation. Deshalb wurde das gesamte Abwasser durch die biologische Aufbereitungsanlage entweder zum Einsatz als Prozesswasser für das Waschen oder für die Einleitung in das öffentliche Kanalnetz entsprechend aufbereitet. Weitere Inhaltsstoffe wie Arsen, Cadmium, Chrom, Nickel und Quecksilber wurden nicht untersucht, da Analysen der Abwasserbehörde diese Messwerte bereits ermittelt und als unkritisch eingestuft haben.

Das *wiederverwendete Prozesswasser* zeigte nach der biologischen Aufbereitung eine Temperatur von 30 °C. Die Leitfähigkeit betrug 1.322 µS/cm und die Gesamthärte 3,8 °d (0,68 mmol/l).

Das nicht weiter verwendete und *in den öffentlichen Kanal eingeleitete Abwasser* zeigte einen pH-Wert von 7,5 und eine Temperatur von 30 °C. Die Leitfähigkeit des Abwassers betrug 1.322 µS/cm und die Gesamthärte 3,8 °d (0,68 mmol/l).

▪ Wasserparameter innerhalb von Waschstraße und Tanks

Die Wasserqualitäten wurden innerhalb der einzelnen Kammern der Waschanlage, des verwendeten Frisch- und Regenwassers sowie in den Rückgewinnungstanks untersucht. Dabei

wurde neben pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit auch der Abdampfdruckstand (alle im Wasser vorhandenen Komponenten wie Flusen, Sand, Metalle, usw.) mittels einer Präzisionsanalytischenwaage ermittelt.

Die Untersuchungsergebnisse des Frischwassers, des rückgewonnenen Wassers sowie des Wassers innerhalb der Waschstraßenkammern und Waschprogrammsschritte zeigten keine Auffälligkeiten und entsprechen den Werten, wie Sie vom Waschmittellieferanten vorgesehen und eingestellt wurden.

5.2.2.2 Wascheffekte

▪ Waschstraßen

Beide im Betrieb vorhandenen Waschstraßen wurden über durch Sackbeladung mit Wäsche beladen. Die Masse der taktweise zugeführten Wäscheposten wurde über eine automatische Beladungsmengenerfassung erfasst. **Abbildung 66** zeigt die Anlagenkonzeption der Waschstraße. Die Taktzeit der Anlage betrug 240 s (einschließlich Wäschetransport in die nächste Kammer).

Die Waschstraße WSR 2 ist in folgende Bearbeitungszonen aufgeteilt:

- Vorwaschzone Kammer 1 - 4 (Badwechsel)
- Klarwaschzone Kammer 5 - 9 (Badwechsel)
- Spülzone Kammer 10 - 13 (geteilter Gegenstrom)
- Ausrüstkammer Kammer 14 (Badwechsel)

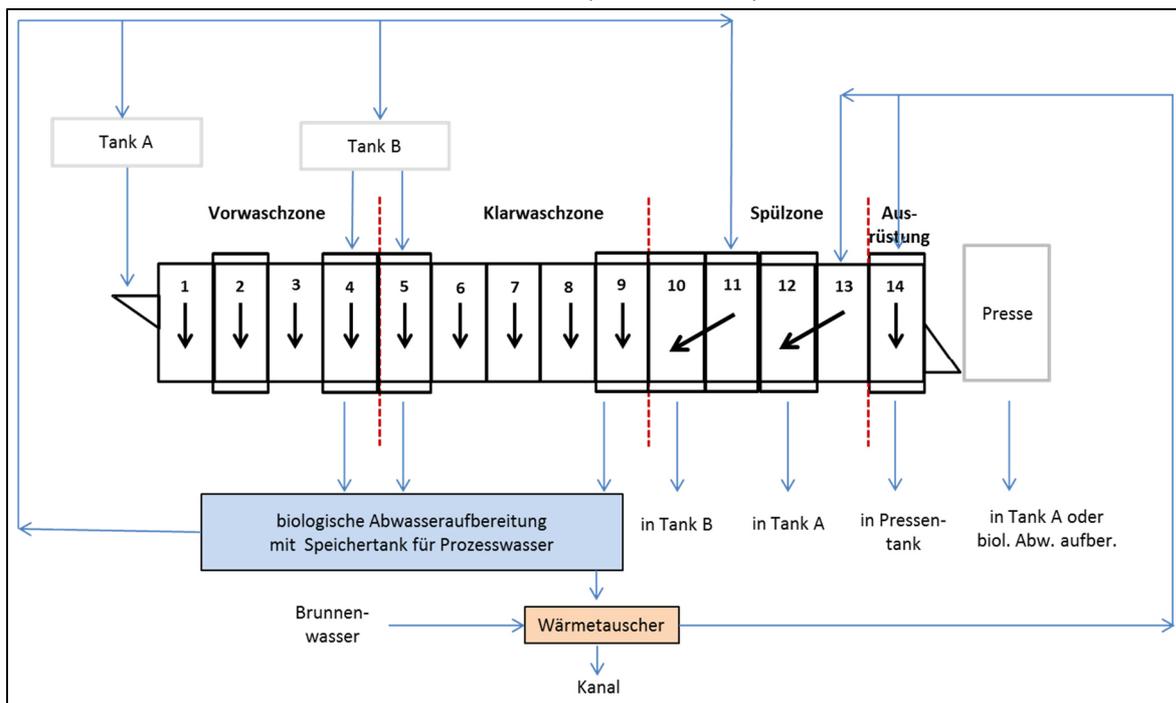


Abbildung 66: Anlagenkonzeption Waschstraße WSR 2, Wäscherei für Berufsbekleidung

Die Waschstraße wird mit Entspannungsampf (etwa 6 bar_{abs}) aus dem Kondensatsammelbehälter betrieben, wobei die Waschflotte nur in den Kammern 2, 4 und 5 aufgeheizt wird.

Die untersuchten Waschprogramme unterschieden sich in der Flottentemperatur in Kammer 5 bis 9. Sie betrug in Programm 39 (BKL Baumwolle, weiß) 75 °C sowie in den Programmen 41 (BKL Mischgewebe, farbig) und 43 (BKL, ohne Bleichmitteldosierung) 68 °C.

Die Flottenführung (**Abbildung 66**) in den untersuchten Waschprogrammen 39 (BKL Baumwolle, weiß), 41 (BKL Mischgewebe, farbig) und 43 (BKL, ohne Bleichmitteldosierung) war bei allen Waschprogrammen identisch und wies folgende Besonderheiten auf:

- Kammer 1: Einschwemmen mit Flottenverhältnis von 5 l/kg mit rückgewonnenem Wasser aus Tank A
- Kammer 4: Vollständiger Badwechsel bei BKL blau, Ablass in Abwasseraufbereitung, dann Auffüllen auf 5 l/kg mit Wasser aus Tank B
- Kammer 5: Flottenablass in biologische Abwasseraufbereitung, Auffüllen mit Wasser aus Tank B
- Kammer 9: Vollständiger Flottenablass in Abwasseraufbereitung
- Kammer 10: Flottenablass in Tank B, Wasserzufuhr aus Kammer 11
- Kammer 11: Prozesswasser aus biologischer Aufbereitung (3,0 l/kg), Gegenstrom zu Kammer 10
- Kammer 12: Flottenablass in Tank A
- Kammer 13: Brunnenwasserzufuhr (3,0 l/kg), Gegenstrom zu Kammer 12
- Kammer 14: Brunnenwasserzufuhr (3,0 l/kg) und Säuredosierung, bei Taktende Badablass auf 2,0 l/kg und Umladen in Presse

Wasch- und Waschhilfsmittel (Hersteller: Fa. Burnus Hychem GmbH) wurden in konstanter Menge pro Waschtakt in die Kammern dosiert, wobei diese Mengendosierung über die Laufzeit der Dosierpumpe eingestellt war.

In Waschprogramm 39 (BKL Baumwolle, weiß) wurden folgende Mengen dosiert:

Kammer 1:	Liquisan A (flüssiges Waschmittelkonzentrat)	6,0 g/kg
Kammer 1:	Liquisan B (flüssiges Alkalikonzentrat)	9,0 g/kg
Kammer 1:	Trixon liquid (chlorhaltiges Bleich-/Desinfektionsmittel)	20,0 g/kg
Kammer 5:	Liquisan A (flüssiges Waschmittelkonzentrat)	1,0 g/kg
Kammer 5:	Penta aktiv (Bleich- und Desinfektionsmittel)	10,0 g/kg
Kammer 14:	Citrosan (Absäuerungsmittel)	3,5 g/kg

In Waschprogramm 41 (BKL Mischgewebe, farbig) wurde dosiert:

Kammer 1:	Liquisan A (flüssiges Waschmittelkonzentrat)	5,0 g/kg
Kammer 1:	Liquisan B (flüssiges Alkalikonzentrat)	10,0 g/kg
Kammer 1:	Pentadol ultra (Fettlöser)	1,0 g/kg
Kammer 5:	Liquisan A (flüssiges Waschmittelkonzentrat)	3,0 g/kg
Kammer 5:	Liquisan B (flüssiges Alkalikonzentrat)	1,8 g/kg
Kammer 14:	Citrosan (Absäuerungsmittel)	2,2 g/kg

In Waschprogramm 43 (BKL, farbig, ohne Bleichmitteldosierung) wurde dosiert:

Kammer 1:	Liquisan A (flüssiges Waschmittelkonzentrat)	4,0 g/kg
Kammer 1:	Liquisan B (flüssiges Alkalikonzentrat)	6,5 g/kg
Kammer 5:	Liquisan A (flüssiges Waschmittelkonzentrat)	1,0 g/kg
Kammer 5:	Penta aktiv (Bleich- und Desinfektionsmittel)	10,0 g/kg
Kammer 14:	Citrosan (Absäuerungsmittel)	3,0 g/kg

Vor den Untersuchungen wurde die Dosierung der Waschmittelmengen zusammen mit dem Waschmittelhersteller überprüft.

In den untersuchten Waschprogrammen von WSR 2 betragen die Taktzeiten in Programm 39 (weiße BKL aus Baumwolle) und 43 (weiße BKL aus PES/CO, ohne Bleichmitteldosierung)

240 s sowie in Programm 41 (farbige BKL aus PES/CO-Mischgewebe) 180 s. Bei gleichzeitiger Behandlung von farbigem BKL-Mischgewebe mit den anderen Wäschearten wird die Taktzeit bei farbigem BKL-Mischgewebe auf 240 s verlängert.

Der g-Faktor der Trommel betrug 0,045 und der Schwenkwinkel 290°. Die Entwässerung erfolgte durch eine Entwässerungspresse in Programm 39 (weiße BKL aus Baumwolle) über 30 s mit 32 bar (am Presspolster), in Programm 41 (farbige BKL aus PES/CO-Mischgewebe) über 60 s mit 22 bar und in Programm 43 (weiße BKL aus PES/CO, chlorfrei) über 30 s mit 19 bar. Die Waschverfahren von WSR 1 wurden nicht untersucht. In dieser WSR wurde fast ausschließlich Frotteeware gewaschen.

▪ **Waschmaschine für Nachwäsche (weiße und farbige Berufsbekleidung)**

In WSM 1 (siehe **Tabelle 16**) wurde Berufsbekleidung gewaschen, die in der Waschstraße keine ausreichende Fleckenentfernung erzielte (Nachwäsche). Die Waschscheudermaschine 1 wurde mit Entspannungsdampf beheizt (etwa 6,0 bar_{abs}). Das untersuchte Waschprogramm 42 (Nachwäsche BKL, weiß) wies folgende Besonderheiten auf:

Programmschritt 1: Vorwäsche 1

Füllverhältnis:	44 l/kg
Wasserart:	Brunnenwasser
Flottentemperatur:	27 °C
Flottenverhältnis:	konnte nicht ermittelt werden
g-Faktor:	0,53 g; Reversierung: 15/3
Waschmitteldosierung:	manuell (nicht reproduzierbar): 0 g/kg Fettlöser, SOLL: 3 g/kg direkt auf Wäsche und 27 g/kg Vorwaschmittel für stark verschmutzte BKL, SOLL: 15 g/kg
Dauer:	20 min, dann Ablass über Wärmetauscher in Kanal mit Zwischenschleudern (138 g, 1 min)

Programmschritt 2: Vorwäsche 2

Wasserart:	Brunnenwasser
Flottentemperatur:	29 °C
Flottenverhältnis:	konnte nicht ermittelt werden
Waschmitteldosierung:	32 g/kg Trixon (Desinfektionsmittel auf Chlorbasis); SOLL: 10 g/kg
Dauer:	15 min, dann Ablass über Wärmetauscher in Kanal mit Zwischenschleudern (138 g, 1 min)

Programmschritt 3: Klarwäsche

Wasserart:	Brunnenwasser
Flottentemperatur:	31 °C
Flottenverhältnis:	konnte nicht ermittelt werden
Waschmitteldosierung:	24 g/kg Vollwaschmittel; SOLL: 15 g/kg und 29 g/kg Bleichmittel (H ₂ O ₂); SOLL: 3 g/kg
Dauer:	11 min, dann Ablass über Wärmetauscher in Kanal mit Zwischenschleudern (138 g, 1 min)

Programmschritt 4: 1. Spülen

Wasserart:	Brunnenwasser
Flottenverhältnis:	konnte nicht ermittelt werden
Dauer:	3 min, dann Ablass über Wärmetauscher in Abwasseraufbereitung mit Zwischenschleudern (138 g, 1 min)

Programmschritt 5: 2. Spülen

Wasserart: Brunnenwasser
 Flottenverhältnis: konnte nicht ermittelt werden
 Dauer: 3 min, dann Ablass über Wärmetauscher in Abwasseraufbereitung mit Zwischenschleudern (138 g, 1 min)

Programmschritt 6: 3. Spülen

Wasserart: Brunnenwasser
 Flottenverhältnis: konnte nicht ermittelt werden
 Dosierung: 31 g/kg Absäuerungsmittel (Ammoniumsulfat); SOLL: keine Dosierung
 Dauer: 3 min, dann Ablass über Wärmetauscher in Abwasseraufbereitung

Programmschritt 7: Endschleudern

Dauer: 273 g über 8 min, Ablass über Wärmetauscher in Abwasseraufbereitung

▪ **Waschmaschine zum Waschen von Warnschutz-Kleidung**

In der mit Entspannungsdampf beheizten (etwa 6,0 bar_{abs}) WSM 2 (**Tabelle 16**) wurde Warnschutz-Berufsbekleidung geringer Menge gewaschen. Waschprogramm 14 (Feinwäsche) wies folgende Besonderheiten auf:

Programmschritt 1: Vorwäsche

Füllverhältnis: 25 l/kg
 Wasserart: Brunnenwasser
 Flottentemperatur: 30 °C
 Flottenverhältnis: konnte nicht ermittelt werden
 g-Faktor: 0,9 g, Reversierung 10/3
 Waschmitteldosierung: 14 g/kg Alleinwaschmittelkonzentrat für stark verschmutzte BKL, direkt auf Wäsche
 Dauer: 4,5 min, dann 1 min Ablass in Wasseraufbereitung

Programmschritt 2: Klarwäsche

Wasserart: Brunnenwasser
 Flottentemperatur: 40 °C
 Flottenverhältnis: konnte nicht bestimmt werden
 g-Faktor: 0,9 g, Reversierung 10/3
 Waschmitteldosierung: keine (Anmerkung: bewusst ohne Waschmittel, da Einspülvorrichtung defekt, dafür erhöhte Dosierung von Waschmittel in Vorwäsche)
 Dauer: 6,5 min, kein Ablass
 Flottenverhältnis: Erhöhung
 Dauer: 2,5 min, dann 1 min Ablass in Kanal, dann 1 min Zwischenschleudern bei 36 g

Programmschritt 4: 1. Spülen

Wasserart: Brunnenwasser
 Flottenverhältnis: konnte nicht bestimmt werden
 Dauer: 2,5 min, dann 1 min Ablass in Kanal, dann 1 min Zwischenschleudern bei 36 g

Programmschritt 5: 2. Spülen

Wasserart: Brunnenwasser
 Flottenverhältnis: konnte nicht bestimmt werden
 Dauer: 4 min, dann 1 min Ablass in Kanal

Programmschritt 6: Endschleudern

Dauer: 75,5 g über 10 min, Ablass in Kanal

5.2.3 Schmutzentfernung

Die Untersuchungen zur Ermittlung der Schmutzentfernung erfolgten in der eingesetzten Waschanlage sowie in den zwei Waschschleudermaschinen. **Abbildung 67** bis **Abbildung 69** zeigen die erzielte Schmutzentfernung unter Variation der Flottentemperatur an Prüfgeweben mit unterschiedlichen Anschmutzungen.

- **Waschstraßen**

Abbildung 67 zeigt die erzielte Schmutzentfernung beim Waschprogramm für stark verschmutzte weiße Berufsbekleidung (Programm 39).

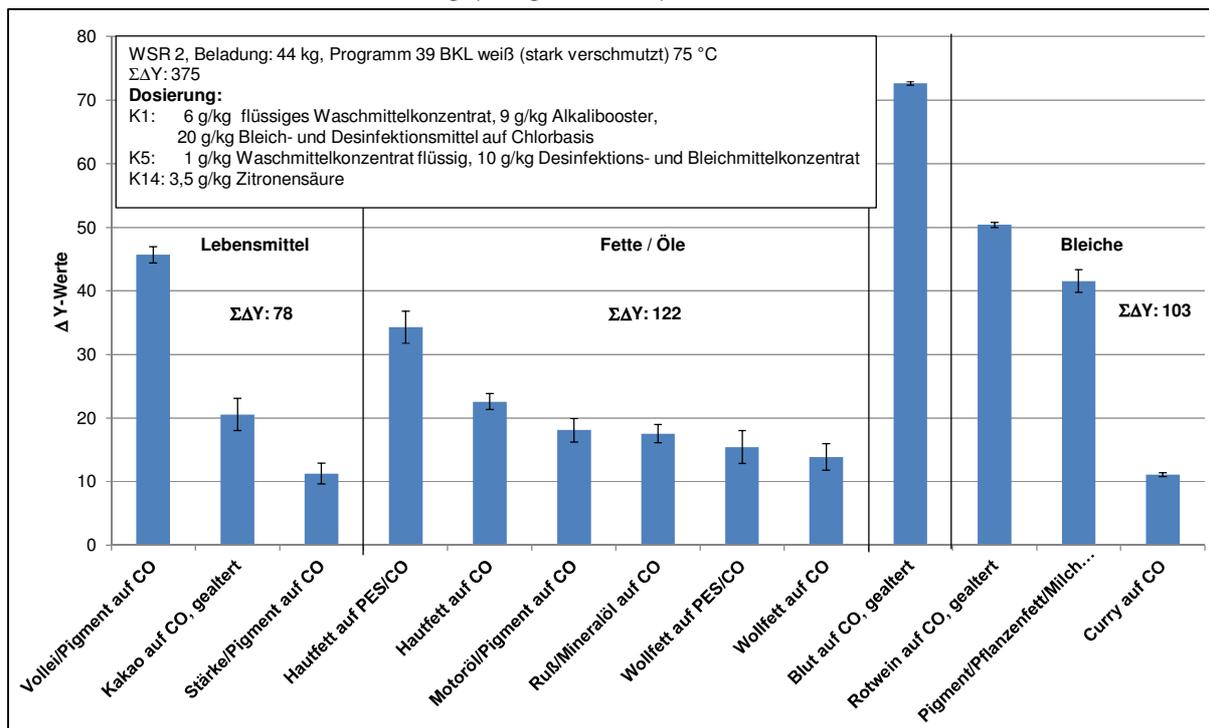


Abbildung 67: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschstraße WSR 2 bei stark verschmutzter Berufsbekleidung (weiß)

In **Abbildung 68** wird die erzielte Schmutzentfernung im Programm für blaue Berufsbekleidung (Programm 41) dargestellt. Aufgrund der farbigen Textilien wurde in diesem Programm die Flottentemperatur in der Klarwäsche auf 68 °C reduziert.

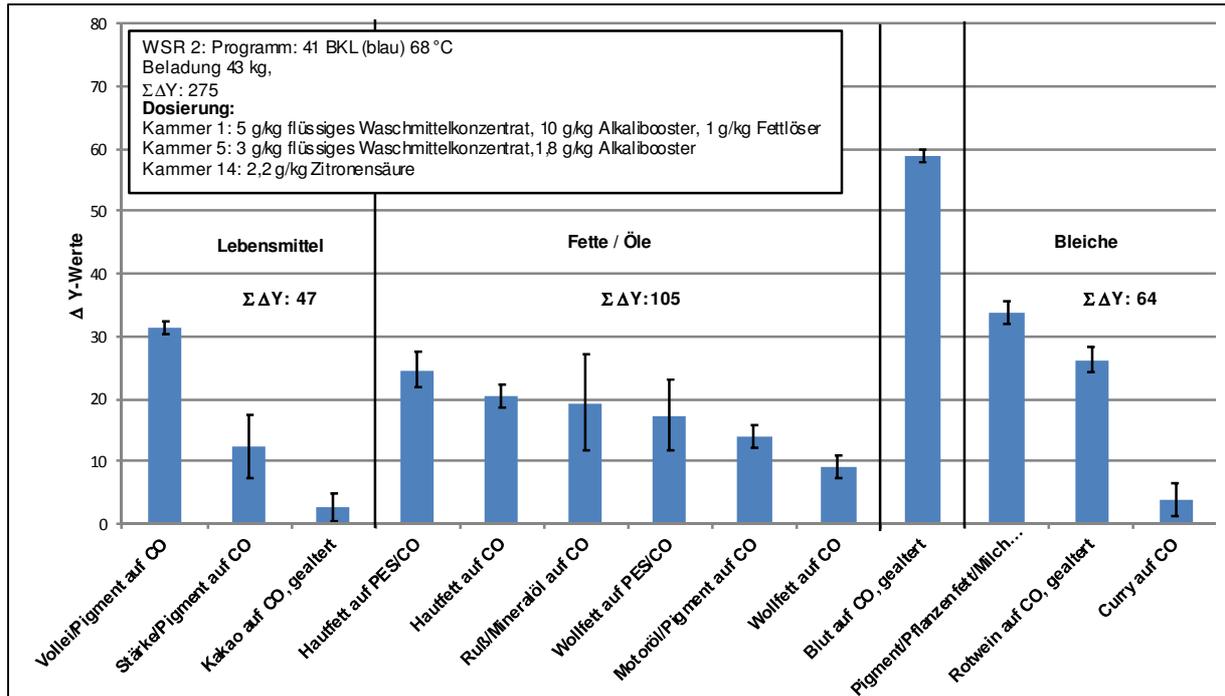


Abbildung 68: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschstraße WSR 2 bei blauer Berufsbekleidung, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen

Beim Vergleich von **Abbildung 68** und **Abbildung 69** wird deutlich, dass das eingestellte Waschprogramm für farbige Berufsbekleidung deutlich geringere Schmutzentfernung (geringere $\Sigma \Delta Y$ -Werte) aufweist als das Waschprogramm für weiße Berufsbekleidung. Besonders bleichbare Verschmutzungen werden deutlich schlechter entfernt, was auf fehlende Bleichmittelzugabe zurückzuführen ist. Neben der geringfügig niedrigeren Flottentemperatur ist beim Waschen der blauen Berufsbekleidung die Waschmitteldosierung geändert.

Weißer, normal verschmutzte Berufsbekleidung wurde außerdem ohne chlorhaltiges Bleichmittel (Programm 43) bearbeitet. **Abbildung 69** zeigt dazu die erzielte Schmutzentfernung. Wie erwartet, liegt die erzielte Schmutzentfernung unterhalb derjenigen von stark verschmutzter Berufsbekleidung (**Abbildung 67**), jedoch oberhalb der farbigen Berufsbekleidung (**Abbildung 68**).

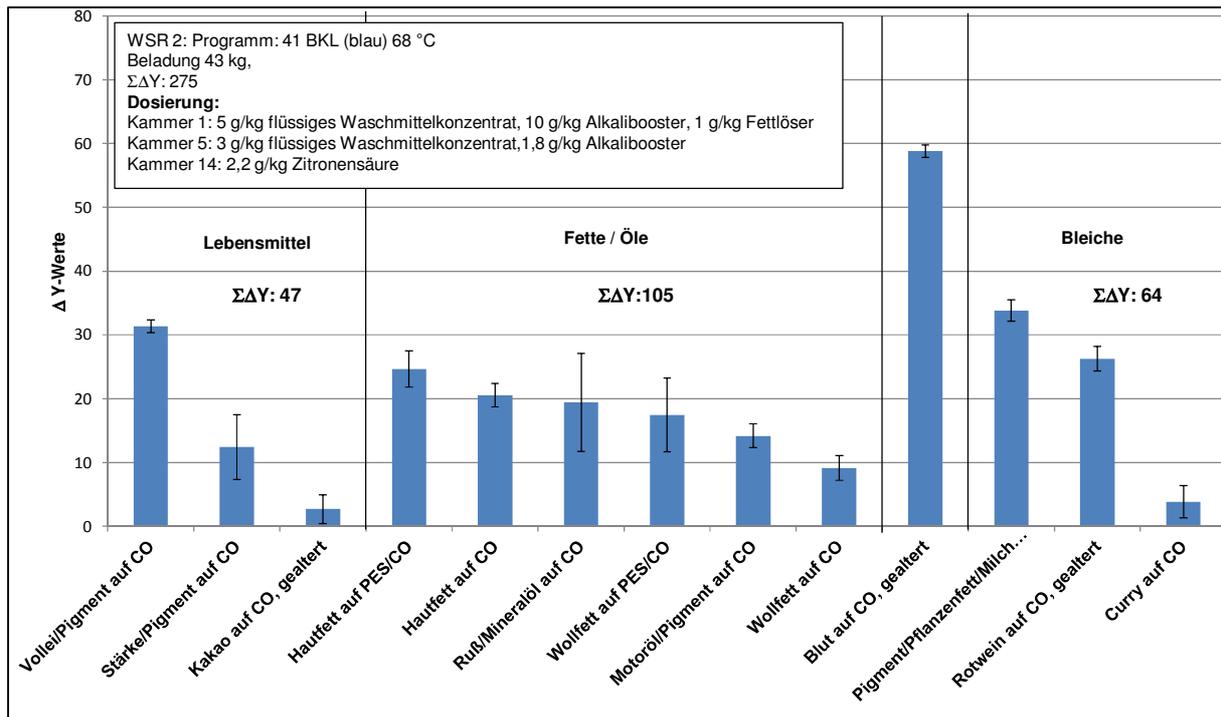


Abbildung 69: Schmutzentfernung (ΔY-Wert ± Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Waschstraße bei normal verschmutzter weißer Berufsbekleidung (ohne Chlordosierung), Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen

5.2.4 Sekundärwascheffekte und Spülwirkung

An den in **Kapitel 3.2.3.2** beschriebenen sauberen Prüfgeweben wurden die Kenngrößen der *Sekundärwaschwirkung* exemplarisch beim Waschen von stark verschmutzter Berufsbekleidung weiß (Programm 39) in der Waschstraße bestimmt (**Tabelle 28**). In diesem Programm wird aufgrund der eingesetzten Art und Menge an Wasch- und Waschhilfsmitteln die höchste Textilschädigung erwartet.

Tabelle 28: Sekundärwascheffekte an Baumwolle, IST-Analyse, stark verschm. Berufsbekleidung weiß

Messgrößen	Ausgangswerte	Nach 25 Waschzyklen	Grenzwerte nach 50 Waschbehandlungen *
Weißgrad WG-Wert	117	181,2	Zulässig: min. 170
Grundweißwert Y-Wert	91	92,0	Zulässig: min. 87
Farbtonabweichung FAZ	R1 - 0,97	R1 - 1,19	Zulässig: R 1,5 - G 2,49
Höchstzugkraftverlust in %	-	18	Zulässig: max. 30 %
Schädigungsfaktor (chemische Schädigung)	-	0,7	Zulässig: max. 1,0
Glühasche (anorganische Gewe- beinkrustation)	0,6	0,7	Zulässig: max. 1,0 %

* Die angegebenen Grenzwerte beziehen sich auf die zulässigen Werte nach RAL-GZ 992 nach 50 Waschbehandlungen

Es wird deutlich, dass insbesondere aufgrund des Einsatzes chlorhaltiger Wasch- und Bleichmittel sowohl die chemische Schädigung als auch der Höchstzugkraftverlust bereits nach 25

Wäschen erhöhte Werte aufweisen. Des Weiteren wurden während der Untersuchungen prozessbedingte Stillstandzeiten der Waschstraße und fehlerhafter Umgang mit den Prüfgeweben durch das Bedienpersonal festgestellt. Es ist somit zu erwarten, dass die Grenzwerte nach 50 Waschbehandlungen überschritten würden.

Die Werte für den Weißendruck, einschließlich der optischen Aufhellung und für den Grundweißwert (Maß für die Vergrauung an Baumwolle) sind noch akzeptabel. Die Farbtonabweichung dürfte nach 50 Wäschen den Grenzwert überschreiten. Gleiches gilt für den Glühaschewert.

Abbildung 70 zeigt die ermittelten *Vergrauungswerte* an Baumwolle und PES/CO-Mischgewebe 65/35 in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl.

Die beim Waschen der weißen Berufskleidung mit starker Verschmutzung in der Waschstraße WSR 2 gemessenen Vergrauungswerte (ΔY -Wert) in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl liegen unter 3, was als niedrig einzustufen ist.

Bezüglich der *Spülwirkung* zeigten die Wasseranalysen der letzten Spülflotte Werte im üblichen Bereich.

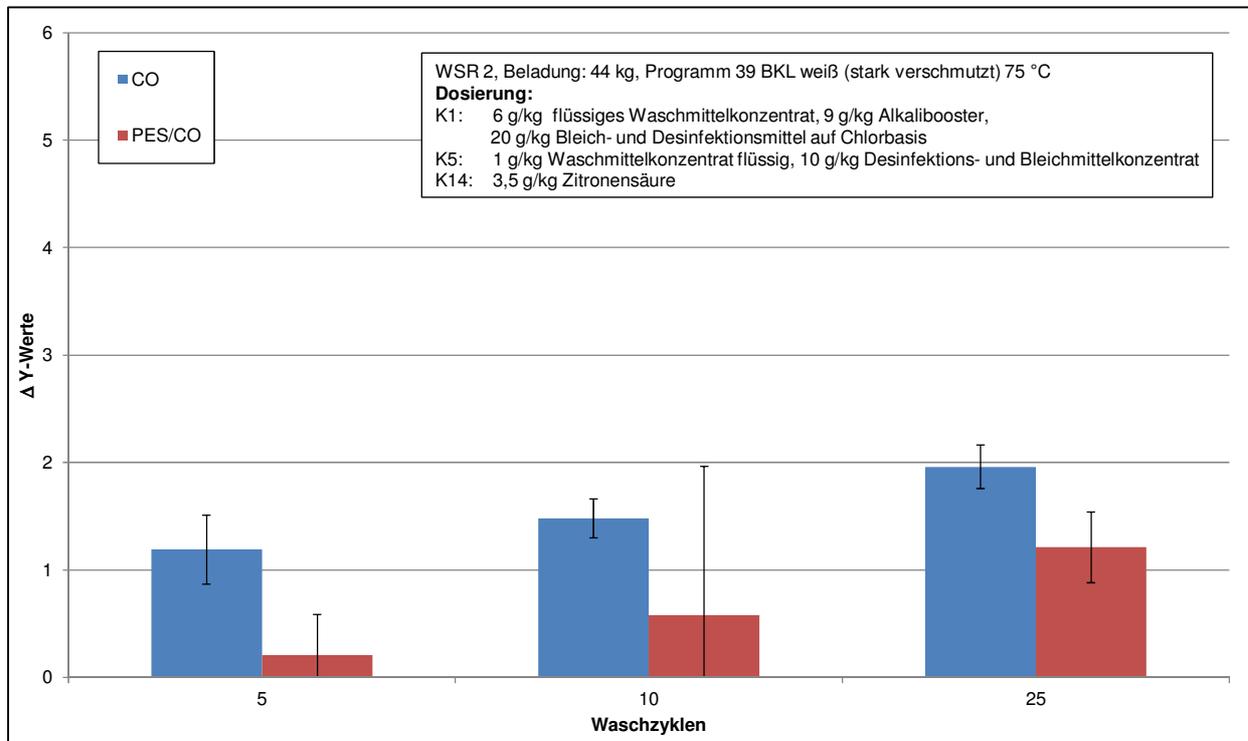


Abbildung 70: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Waschstraße WSR 2 für stark verschmutzte weiße Berufskleidung in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl

▪ Waschschleudermaschinen

Abbildung 71 zeigt die erzielte Schmutzentfernung (ΔY -Werte) in WSM 1 beim Nachwaschprogramm für weiße Berufsbekleidung, an der im ersten Waschprozess in WSR1 keine ausreichende Schmutzentfernung erzielt werden konnte.

Obwohl WSM 1 ein älteres Modell ohne optimale Einstellung der Prozessparameter darstellt und die Flottentemperatur bei 30 °C eingestellt war, wurden aufgrund der deutlichen Unterbeladung, der hohen Dosierungen an Wasch- und Waschhilfsmitteln sowie wegen des zum Zeitpunkt der Untersuchungen defekten Ablaufventils von WSM 2, die insgesamt höchsten Werte der Schmutzentfernung gemessen.

Da der Anteil zu waschender Warnschutzberufsbekleidung im untersuchten Betrieb sehr gering war, wurde hierzu nur eine Waschmaschine mit geringer Beladungskapazität (WSM 2, Trommelvolumen 350 l) eingesetzt. **Abbildung 72** zeigt die erzielte Schmutzentfernung (ΔY -Werte) beim eingesetzten Waschprogramm (14, Feinwäsche 40 °C).

Danach wurde eine im Vergleich zu allen anderen Waschverfahren deutlich verminderte Schmutzentfernung festgestellt. Ursache für die stark verringerte Schmutzentfernung war insbesondere eine permanente Verdünnung der Flotte auf Grund eines undichten Ablaufventils und des daraus resultierenden permanenten Nachtankens mit Frischwasser (siehe unten).

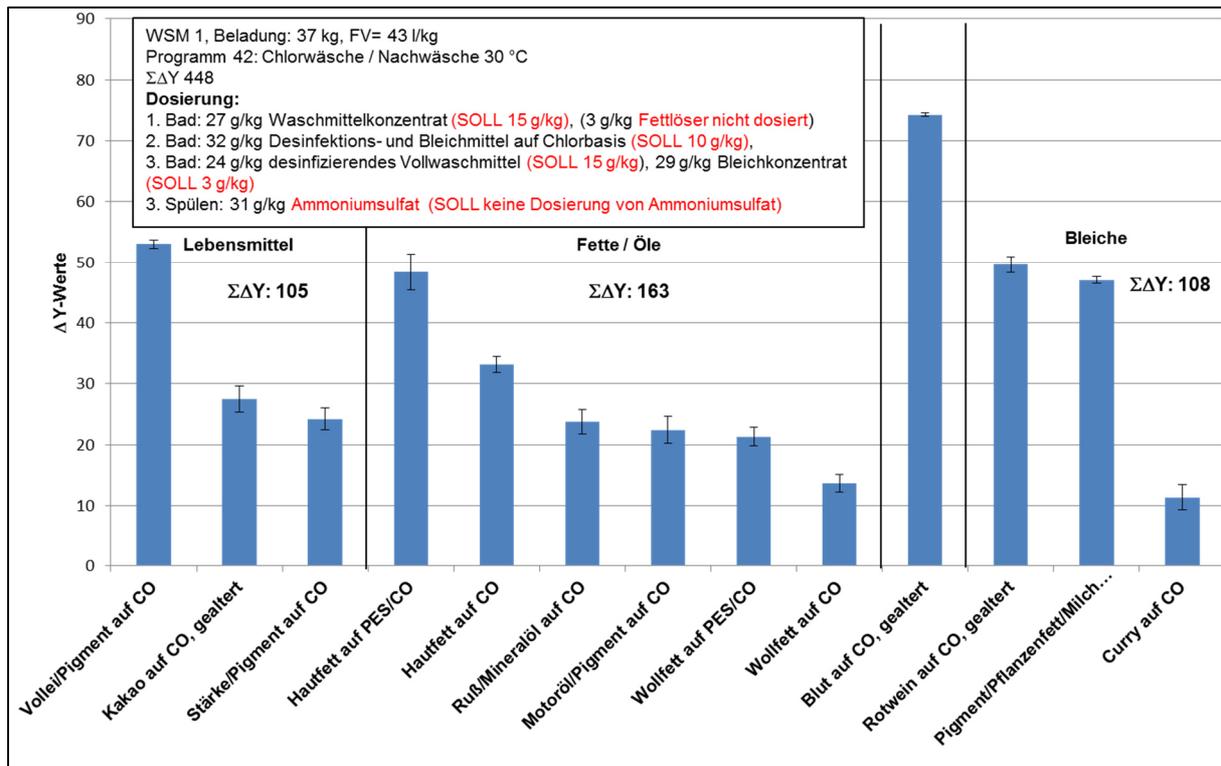


Abbildung 71: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in WSM 1 für das Nachwaschprogramm Berufsbekleidung, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen

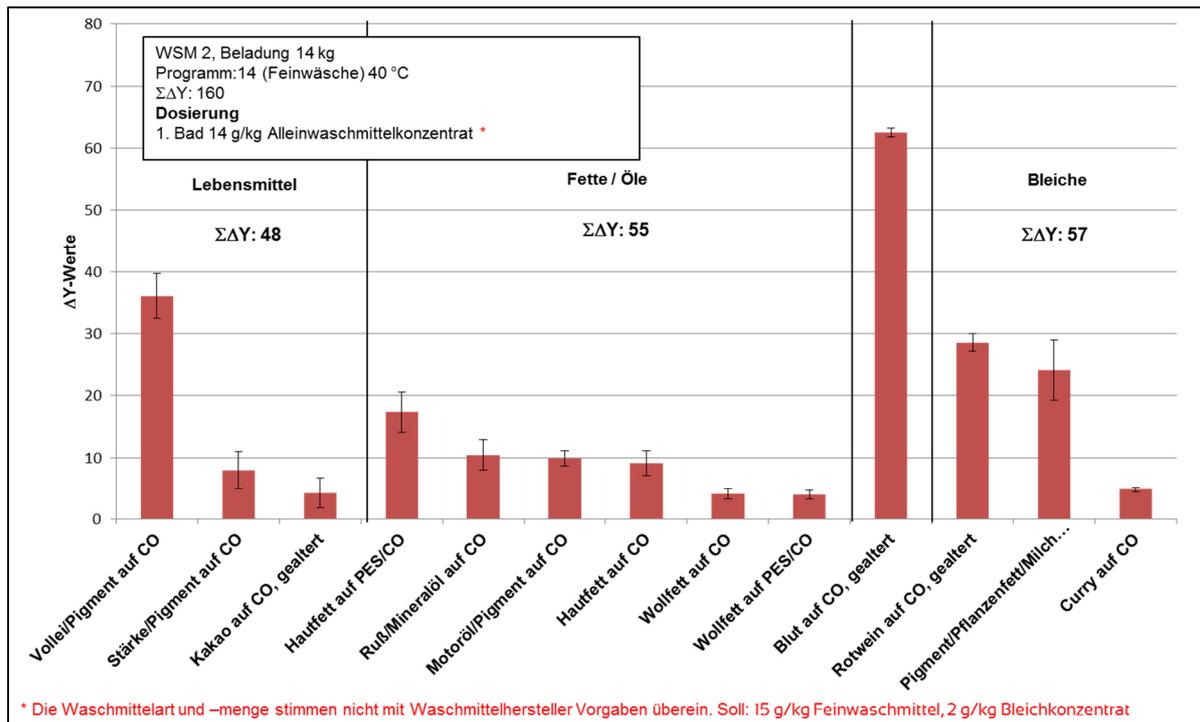


Abbildung 72: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in WSM 2 im Programm für Warnschutz-Berufsbekleidung, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen

Während der Untersuchungen wurde festgestellt, dass ein deutlich zu hoher Wasserverbrauch (38 l/kg) vorliegt, der offensichtlich durch ein defektes Ablaufventil verursacht wird. **Abbildung 73** verdeutlicht den aufgezeichneten Frischwasserverbrauch von WSM 2 im untersuchten Waschprogramm 14. Anhand des kurzen jedoch sehr häufigen „Nachtankens“ von Frischwasser zum Einhalten des vorgegebenen Flottenstandes in der Maschine wird deutlich, dass Waschflotte kontinuierlich verloren gehen muss. Das permanente Nachfüllen bewirkt gleichzeitig eine Flottenverdünnung direkt zu Beginn des Waschprozesses. Folge ist reduzierte Schmutzentfernung.

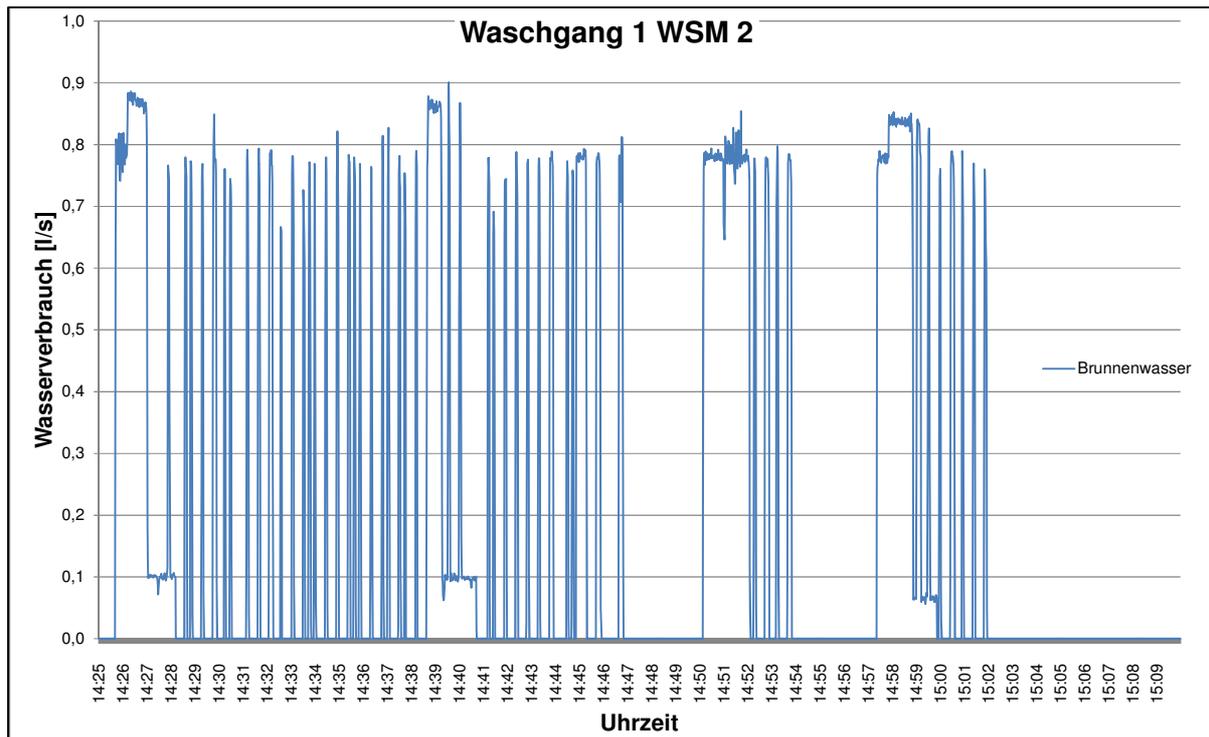


Abbildung 73: Wasserverbrauch von WSM 2 während des Waschprogramms 14, Wäscherei für Berufsbe-
kleidung

5.2.5 Trocknungseffekte

5.2.5.1 Tunnelfinisher

Im eingesetzten Tunnelfinisher wurde im untersuchten Zeitraum fast ausschließlich Berufsbe-
kleidung (OP-Textilien) aus PES/CO 50 % geglättet und getrocknet. Die technischen Daten
des im Betrieb vorhandenen Finishers zeigt **Tabelle 18**.

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen betrug die Heißlufttemperatur 155 °C und der Sprüh-
dampfdruck 2,5 bar. Die Finishgeschwindigkeit war auf 270 Teile pro Stunde eingestellt. Die
Dauer des Finishvorgangs (vom Einlauf in den Finisher bis zum Austreten der Teile aus dem
Finisher) betrug 13,3 min.

Das verdampfte Wasser aus den Textilien und die heiße Abluft wurden zum Zeitpunkt der
Untersuchungen ungenutzt über das Dach abgeführt.

- **Verdampfungsleistung**

Zur Ermittlung der Verdampfungsleistung des Finishers und zur Erfassung einer Übertrock-
nung der Textilien wurde exemplarisch an 10 Teilen vor und nach dem Finishvorgang die
Masse jedes einzelnen Teils und das Gewicht im „knochentrockenen“ Zustand ermittelt.
Danach wurden die Restfeuchtwerte der Textilien nach der Entwässerung zu 20,8 % und
nach dem Finishvorgang zu 1,5 % (bezogen auf das knochentrockene Gewicht) bestimmt.
Die gemessenen Restfeuchtwerte der Wäscheteile von 1,5 % bei Austritt aus dem Finisher
weisen darauf hin, dass die Textilien auf Grund der eingestellten Prozessbedingungen über-
trocknet werden und deshalb eine erhöhte Textilschädigung zu erwarten ist.

- **Glättergebnis**

Zur Bewertung des Glättergebnis wurden Prüfgewebe aus PES/CO (65/35) und CO im Finis-
her behandelt. Das nach dem Finishvorgang entstandene Knitterbild wurde in Anlehnung an
DIN EN ISO 15487 unter Zuhilfenahme des Monsanto- Standards bewertet.

Danach zeigten die Mischgewebeteilen ein optimales Glättergebnis (Note 5), bei Baumwollteilen (100 %) war das Knitterbild mittelmäßig (Note 3).

5.2.5.2 Tumbler

Zum Lösen der einzelnen Presskuchen sowie zum Antrocknen aller Textilien werden acht Trockner eingesetzt. Alle Textilien, die nicht gefinisht oder gemangelt werden (hauptsächlich Handtücher), werden ebenfalls durch die vorhandenen acht Trockner vollgetrocknet. Die technischen Daten zu diesen Trocknern zeigt **Tabelle 17**: Trockner Wäscherei für Berufsbekleidung.

• Verdampfungsleistung

Die Anfangsfeuchte der für die Bestimmung der Verdampfungsleistung eingesetzten Frottier-Textilien von 58 % (bezogen auf „knochentrocken“) wurde im gasbeheizten Tumbler 5 innerhalb von 18 min auf eine Restfeuchte von 5,3 % getrocknet. Das entspricht einer Verdampfungsleistung von etwa 58 kg Wasser/h.

Die Bewertung der Textilien nach dem Trockner zeigte keine visuell erkennbare Schädigung der Textiloberfläche. Nach Angaben des Wäschereibesitzers führt die geringe Über Trocknung unter den in der Wäscherei vorliegenden Randbedingungen zu keiner Wäscheschädigung bzw. Verkürzung der Textillebensdauer.

5.3 Optimierungsvorschläge Berufsbekleidung

Der untersuchte Wäschereibetrieb für Berufsbekleidung hat bereits eine überdurchschnittliche Energie- und Medieneffizienz, wie aus den Kennwerten in **Kapitel 8** zu erkennen ist. Dennoch konnten Verbesserungsvorschläge aufgezeigt werden, die im Folgenden beschrieben sind. Wie auch bei allen anderen Wäschereien, ist auch in diesem Fall zu berücksichtigen, dass einzelne Maßnahmen den Einspareffekt anderer Maßnahmen reduzieren können.

5.3.1 Dampferzeugung

Die Auswertung der Feuerungsleistungsmessungen ergab einen mittleren Leistungsbedarf von 708 kW während der Messdauer. Die installierte Feuerungsleistung lag mit 3.854 kW deutlich höher. Insgesamt waren Kessel und Brenner deutlich überdimensioniert. Die untere Modulationsgrenze von 768 kW führte in der Praxis zu unnötig vielen Start-Stop-Zyklen. Die Anlagenverluste durch mangelhafte Dämmung und die großen, wärmeabgebenden Flächen im Aufstellraum führten zu einer mittleren Lufttemperatur von ca. 34 °C. Folgende Verbesserungen wurden vorgeschlagen:

- Reduzierung der maximalen Feuerungsleistung und - bei Austausch des Brenners - Senkung der unteren Modulationsgrenze
- Dämmen der Frontplatte des Dampfkessels
- Dämmen von Dampf- und Kondensatleitungen sowie Armaturen
- Nachrüsten von Kondensatabscheidern (WSM/WSR – Hauptleitung)
- Nachrüstung von Absperrventilen an der Dampfverteilung für WSM 1+2
- Speisewasservorwärmung durch Abschlämm- und Absalzwassermengen mittels kombiniertem Entspanner mit Wärmerückgewinnung
- Thermische Entkopplung der Träger für die zweite Ebene (Zugang zu Speisewasserbehälter und Verteiler, siehe **Abbildung 74**, gekennzeichnet durch einen roten Kreis) vom Dampfkessel



Abbildung 74: Zweite Ebene im Kesselhaus, Wäscherei für Berufsbekleidung

5.3.2 Dampfverteilung

Die Verteilung des Dampfes und Rückführung des Kondensats verursachte Verluste, die mit folgenden Maßnahmen vermieden werden könnten:

- Dämmung von Dampfleitungen
 - o Dampfleitung zu Trockner 1 und Trockner 3
 - o Dampfleitung zu Waschstraßen und Waschsleudermaschinen
 - o Dampfleitungen innerhalb der Waschstraßen
 - o Sonstige flexible Versorgungsleitungen zu Finishern
- Dämmung von Kondensatleitungen, insbesondere im Bereich des Tunnelfinishers (Verbrennungsgefahr)
- Nachrüstung bzw. Umbau von Absperrventilen:
 - o Abgang Waschsleudermaschinen wegen geringerer zeitlicher Nutzung
 - o Absperrventile der Trockner 1 und 3 an den Abzweig versetzen
- Lecks schließen: Hauptleitung reine Seite
- Rückführung des Kondensats über den Economiser statt direkte Rückführung in die Kesselspeisewasserleitung nach dem Economiser

5.3.3 Druckluftherzeugung und -verteilung

- Als wichtigste Maßnahme wurden die Zusammenfassung der beiden Druckluftnetze und der Einbau eines drehzahlgeregelten Kompressors mit Abwärmenutzung vorgeschlagen. So kann mit geringerem Aufwand durch Maschinenverlagerung und gleichzeitigem Ersatz die bislang ungenutzte Abwärme des 7,5-kW-Kompressors der Lagerhalle den Waschprozessen zugeführt werden.
- Zum Zeitpunkt der IST-Analyse war der Druckluftspeicher im Kesselhaus aufgestellt. Die hohen Raumlufttemperaturen wirken einer guten Speicherwirkung und zusätzlichem Kondensatausfall entgegen. Die durch den Kompressionsprozess erhitzte Luft sollte im Druckluftspeicher abkühlen können. Es wurde empfohlen, den Druckluftspeicher an einen kühleren Ort, möglichst nahe zu den größten Verbrauchern zu versetzen

- Die Senkung der Leckrate von 16 % auf maximal 10 % sollte ebenfalls angegangen werden. Gefundene Druckluftlecks waren:
 - o Druckluftschläuche an Faltmaschine der Mangel 3 und Dosierpumpe Chemie
 - o Magnetventile an Trockner 4, 7 + 8
 - o Druckminderer an Mangel 1 und Trockner 7
 - o Mehrere interne, nicht näher lokalisierbare Lecks an Einzel-Finishmaschinen
 - o Steuerblöcke von WSR 1+2 und Mangel 3
- Insgesamt sind die zahlreichen Leitungen nur schwer unterscheidbar. Die Druckluftleitungen – insbesondere die Anbindungen der Mangeln wurden jedoch mit zu geringen Rohrdimensionen ausgeführt. Die Druckmessung an einer Faltmaschine zeigte die hohen Druckschwankungen und den deutlich geringeren Maximaldruck gegenüber dem Druck am Druckluftspeicher. Es wurde empfohlen, die Hauptleitungen zu einem Ring auszubauen und die Druckluftversorgung der Mangeln durch größere Rohrdurchmesser zu verbessern. Der maximale Druckverlust vom Kompressor bis zum letzten Verbraucher sollte 0,1 bar nicht überschreiten.
- Absenkung des Druckniveaus auf unter 7 bar wurde als Ziel definiert. Ein Test der maximal möglichen Druckabsenkung für einen sicheren Betrieb ist dazu notwendig. Ein erster wichtiger Schritt wäre der Rückbau eines vorhandenen Druckluftreglers, der das Netz in zwei Bereiche teilte. Der mittlere Druck von Kompressor bis einschließlich Druckluftspeicher betrug ca. 8 bar und schwankte zwischen 4 und 9,5 bar. Das Druckluftnetz nach dem Regler wurde bereits mit ca. 7 bar betrieben.

5.3.4 Organisatorische Maßnahmen (übergreifend über alle Prozesse)

Zur Optimierung der Energieeffizienz werden des Weiteren folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Leitungen (Dampf, Wasser verschiedener Qualitäten) farblich oder durch Materialart kennzeichnen
- Umschaltventile an Waschstraßen - automatisiert durch Programmwahlschalter an der Waschstraße - für einen sicheren Anlagenbetrieb
- Der Betrieb verfügte über relativ eng begrenzte Ausbauflächen weshalb Versorgungsanlagen nahe an dem aktuellen Bedarf ohne große Sicherheitszuschläge ausgelegt werden könnten. Planungsgrundlagen in Form von Verbraucherlisten erstellen:
 - o Aufstellung von Druckluftverbrauchern mit Mindest- und Maximaldruck und Volumenstrom
 - o Aufstellung Wärmeverbraucher mit Mindest- und Maximaldruck sowie Dampfthroughsatz
 - o Aufstellung Wasserverbraucher mit Mindest- und Maximaldruck und Nennwasserbedarf
 - o Erdgasverbraucher mit Mindest- und Maximaldruck sowie Nennleistung
 - o Elektrische Verbraucher mit Spannungs- und Nennleistungsangabe
- Nutzung von Zeitprogrammen für die Heizung der Verwaltung
- Stilllegen unnötiger Stromverbraucher
 - o Externes Gebläse für Zuluft an den Kompressoren: Direkte Außenluftansaugung der Kompressoren
 - o Gebläse zur Absaugung von Raumluft bei den Kompressoren als Zuluft für den Brenner des Dampfkessels: Die Lufttemperatur im Kesselhaus ist höher als bei den Kompressoren, daher ergibt sich noch kein energetischer Vorteil. Erst nach Verlustminimierung und dadurch sinkender Temperatur im Kesselhaus ist ein

energetischer Vorteil realisierbar. Dabei ist der Aufwand für den Lufttransport zu minimieren, indem eingebaute Gebläse von Kompressoren genutzt werden. Die meisten Maschinen verfügen über keine eingebauten Zähler zur Erfassung von Wasser- oder Dampfverbräuchen. Im Hinblick auf den unentdeckten Wasserverlust an WSM 2 bietet sich der Einbau von je einem Wasserzähler an WSM 1 und WSM 2 an, um die Verbräuche der Maschinen kontrollieren zu können.

Tabelle 29 zeigt die wichtigsten Einsparmaßnahmen und die grob geschätzten Kosten, getroffenen Annahmen und Einsparungen sowie den statisch berechneten Return on Invest.

Tabelle 29: Zusammenfassung für Verbesserungsmaßnahmen, Wäscherei für Berufsbekleidung

Nr.	Maßnahme	Investition (Schätzung)	Einsparung / Annahme	Jährliche Einsparung in €	Rol (Jahre)
1	Umbau Druckluftversorgung: Speicher versetzen, drehzahl geregelter Kompressor, Ringleitung + Stilllegen Hilfsventiltoren	20.000 €	10 ct/kWh, Wegfall Kompressor Lager + Einsparung durch Drucksenkung vereinfacht: $7,5 \text{ kW} * 4.000 \text{ h/a} = 30.000 \text{ kWh/a}$	3.000 €	6,7
2	Dämmen Dampf- und Kondensatleitungen, Kondensatabscheider nachrüsten	15.000 €	7 ct/kWh, 27 m nicht isoliertes Rohr, 4.000h/a, entfallende Umwandlungsverluste $1,1: 0,5 \text{ kW/m} * 4.000\text{h/a} * 30 \text{ m}^* = 59.400 \text{ kWh/a}$	4.158 €	3,6
3	Nachrüstung Absperrventile für WSM 1+2 am Dampfverteiler	7.000 €	7 ct/kWh, Wärmeverlust bei 50% d. Betriebszeit, 20 m ungedämmtes Rohr, 20% Zuschlag (weniger Speisewasserverlust / schnellere Wassererwärmung, entfallende Umwandlungsverluste): $0,5 \text{ kW/m} * 2.000 \text{ h/a} * 1,2 = 24.000 \text{ kWh/a}$	1.680 €	4,2
4	Dämmung Frontplatte bzw. Wendeplatte Dampfkessel	500 €	7 Ct/kWh, $1,6 \text{ m}^2$, $0,5 \text{ kW/m}^2$, $2.500\text{h/a} = 2.000 \text{ kWh/a}$,	140 €	3,6
5	Nachrüstung Pufferspeicher für Heizung Verwaltung / Vorwärmung Warmwasser Verw. + Sozialräume	7.000 € (je nach Variante)	k. A.	k. A.	k. A.
6	Nachrüstung Luft/Luft-Wärmetauscher für Jensen DT 60	Ca. 5.000 je Trockner	Mittlerer Erdgasbedarf pro Trockner und Jahr 1365 kWh bei 30 Posten/d, 260d/a, 362.700 kWh/a Bedarf, 30%Einsparung →108.810 kWh/a	7.617 €	5

5.4 Nachmessung Berufsbekleidung

5.4.1 Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen

Folgende Maßnahmen wurden umgesetzt:

- Umbau Druckluft auf ein zentrales Netz:
 - Einsatz eines drehzahlgeregelten neuen Kompressors, der ebenfalls seine Abwärme an das Brunnenwasser abgibt
 - Standortverlagerung des Druckluftspeichers:
 - vorher: Kesselhaus
 - nachher: Neben Brunnenwassertank
 - Druckluftmanager für optimierte Kompressorsteuerung
- WSM 2: Austausch des defekten Ablassventils der Maschine
- Umbau des Wasserrohrnetzes (zum Zeitpunkt der Nachmessung noch nicht abgeschlossen)
- Dämmmaßnahmen an Rohrleitungen (zum Zeitpunkt der Nachmessung noch nicht abgeschlossen)

5.4.2 Ergebnisse der Nachmessung

Die Nachmessungen gestalteten sich schwierig, weil Rohrleitungsumbauten und Dämmmaßnahmen noch nicht abgeschlossen waren. Auch die stark schwankenden Waschleistungen des Betriebs erschweren eine vergleichende Messung zwischen IST-Analyse und Nachmessung.

5.4.2.1 Druckluft

Obwohl die Änderungen an der Druckluft mit Hilfe des Druckluftmanagers hätten ausgewertet werden konnten, war dies wegen technischer Störung nicht möglich. Deshalb wurden einzelne Bilder des Displays aufgenommen und ausgewertet.

Tabelle 30: Vergleich Druckluftdaten IST-Analyse zu Nachmessung, Wäscherei für Berufsbekleidung

	IST-Analyse	Nachmessung
Mittlerer Druck	8,03 bar	8,4 bar
Leckmenge:	1,1 m ³ /min	1,9 m ³ /min*
Installierte Leistung:	44 kW + 7,5 kW (Kompressor Wasseraufbereitung)	66 kW
Maximale Abwärmeleistung (70 % der elektrischen Leistung)	ca. 31 kW	ca. 46 kW
*inklusive Liefermenge für Wasseraufbereitung (Dauerbetrieb Belüftung Reaktoren)		

Der mittlere Druck war gegenüber der IST-Analyse gestiegen. Hier wurde die Wäscherei darauf hingewiesen, dass der beim Umbau des Druckluftspeichers wiederverwendete Druckluftregler unnötig ist. Dieser ist die Ursache dafür, dass die Kompressoren gegen einen deutlich erhöhten Druck arbeiten müssen. Dies führt zu erhöhter Wärmeerzeugung und geringeren Liefermengen und letztlich zu mehr Strombedarf. Gleichzeitig scheint die Leckluftmenge gesunken zu sein. Bei der Nachmessung ist in der Leckmenge die für die Wasseraufbereitung enthaltene Druckluftmenge enthalten. Da der zuvor eingesetzte 7,5-kW-Kompressor eine Liefermenge von ca. 1,1 m³/min bei 7,5 bar erreicht, wird davon ausgegangen, dass im Mittel ca. 1 m³/min tatsächlich für die Wasseraufbereitung und Druckluftventile verwendet wurde. Die Differenz des ermittelten Wertes der Nachmessung (1,9 m³/min) und dem Mehraufwand für

die Wasseraufbereitung (1 m³/min) würde eine neue Leckluftmenge von nur 0,9 m³/min bedeuten. Umgerechnet auf die Leistung des Kompressors entspricht die Leckluftmenge einer elektrischen Leistung von ca. 6 kW.

Die reduzierte Leckluftmenge lässt sich mit den durchgeführten Verbesserungen an den Rohren und den Maschinen erklären. Es wurden an der Waschmitteleinspülung und am Tunnelfinisher sowie an den Trocknern und an mehreren Maschinen-Druckreglern Leckagen beseitigt.

5.4.2.2 Waschschleudermaschine für Kleinteile

Wie bereits in **Kapitel 5.2.1.2** und **Kapitel 5.2.4** beschrieben, wurde eine unzureichende Waschwirkung und ein stark erhöhter Wasserverbrauch bei WSM 2 ermittelt. Nach Untersuchung der Waschschleudermaschine durch Techniker der Wäscherei konnte ein im Betrieb undichtetes Ablassventil als Ursache ermittelt werden.

Bereits die Durchflussmessung zeigte die beeindruckende Wasserverbrauchsverbesserung (siehe **Abbildung 75**).

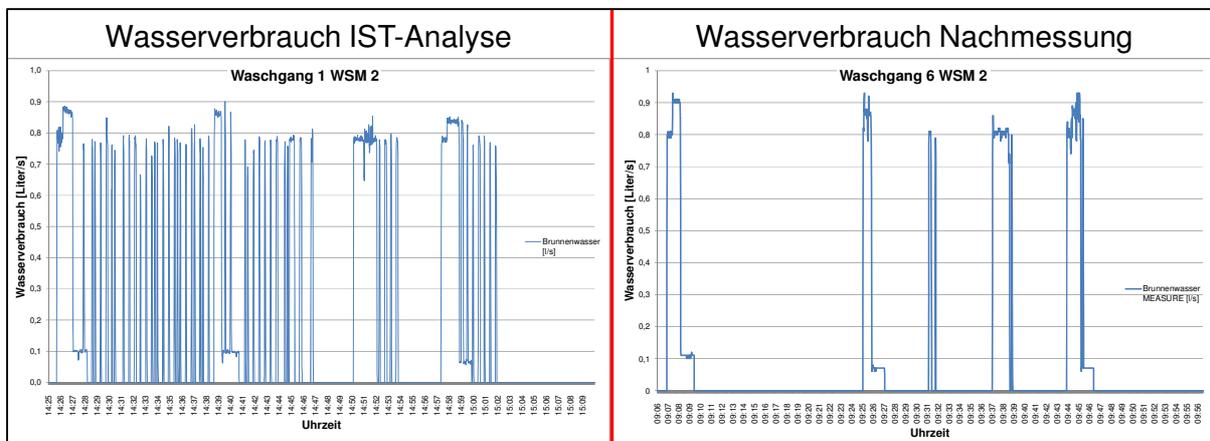


Abbildung 75: Wasserverbrauch WSM 2 IST-Analyse und Nachmessung, Wäscherei für Berufsbekleidung

Abbildung 76 zeigt die verbesserten Primärwascheffekte, die durch die Reparatur des Ablaufventils resultieren. Verglichen zu **Abbildung 76** konnte die Waschwirkung um knapp 50 % verbessert werden.

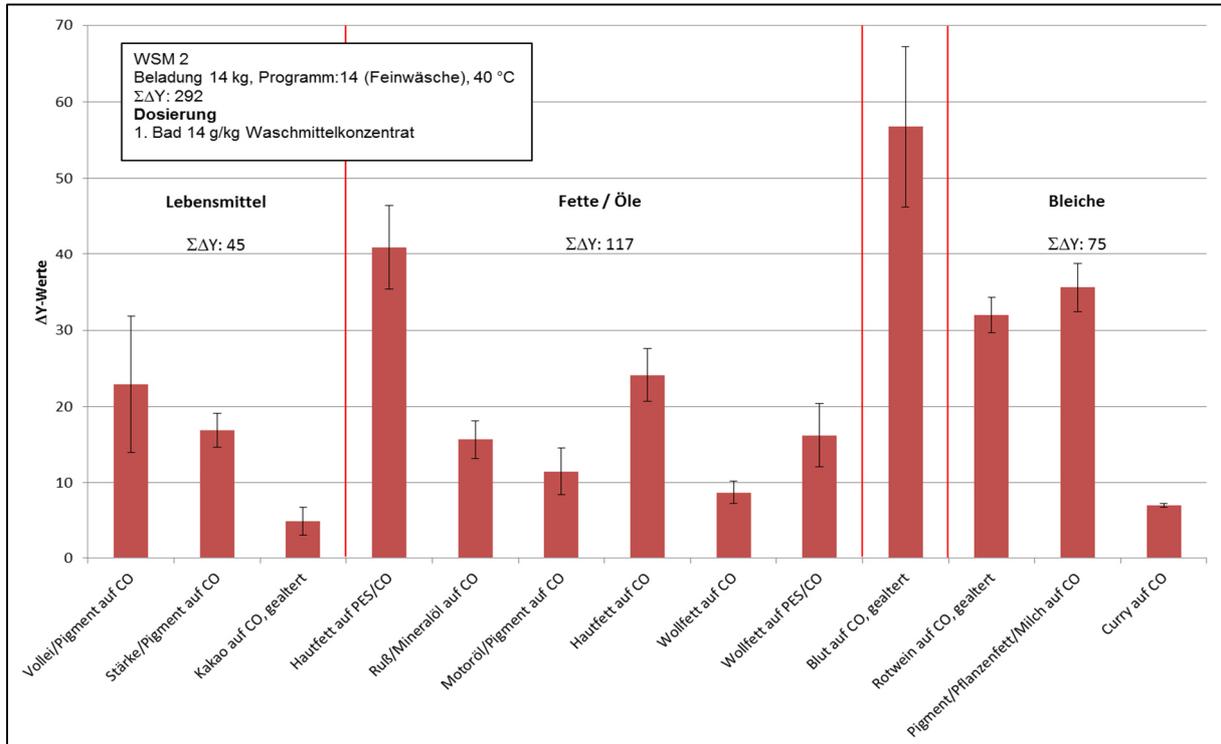


Abbildung 76: Schmutzentfernung (ΔY-Wert ± Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in WSM 2 im Programm für Berufsbekleidung, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen

Auch der Wasser- und Energieverbrauch konnte deutlich gesenkt werden, wie **Tabelle 31** zeigt.

Tabelle 31: Vergleich WSM 2 IST-Werte zu Nachmessung und Einsparung, Wäscherei für Berufsbekleidung

	IST-Analyse	Nachmessung
Mittlerer Wasserverbrauch:	520 Liter	251 Liter
Aufheizung von 50% Wasser	260 Liter	126 Liter
Energieaufwand pro Posten (mit 15 kg Wäsche, 28 auf 50 °C)	6,8 kWh	3,3 kWh
Täglicher Bedarf (5,8 Posten pro Tag)	3,02 m³/d Wasser	1,46 m³/d
Täglicher Energiebedarf (5,8 Posten pro Tag)	39 kWh	19 kWh
Jährliche Wassereinsparung:		ca. 406 m³/a
Jährliche Dampfeinsparung:		ca. 5.200 kWh

5.5 Zusammenfassung Wäscherei für Berufsbekleidung

Die spezifischen Verbrauchswerte (**Kapitel 8**) zeigen, dass die untersuchte Wäscherei für Berufsbekleidung die niedrigsten spezifischen Verbrauchswerte erreichte. Die Ursachen dafür sind u.a.:

- Nutzung eines zentralen Abwasserwärmetauschers für alle Waschprozesse
- Rückgewinnung von Abwärme aus der Druckluftherzeugung
- Speicherung der zurückgewonnenen Abwärme in einem großzügig dimensionierten, drucklosen Brunnenwasserspeicher
- Wiederverwendung von aufbereitetem Wasser in den Waschprozessen
- Hoher Automatisierungsgrad und hohe Maschinenauslastung für die Bearbeitung bestimmter Wäschearten, vor allem Frotteeware
- Automatische Erfassung bestimmter Maschinenkennwerte und Medienverbräuche

Der Betrieb ist auch hinsichtlich seiner Flächeneffizienz herausragend. Kein anderer untersuchter Betrieb wäscht mehr Wäsche pro Quadratmeter Waschhallenfläche. Daraus ergibt sich zugleich ein geringerer Bedarf an Heizwärme – in diesem Betrieb ist keine Heizung installiert – und auch weniger Bedarf an elektrischer Energie für Beleuchtung.

Im Vergleich zum Pilotbetrieb aus Phase I dieses Projekts könnte dennoch mit konsequenter Weiterentwicklung an mehreren Stellen Energie effizienter eingesetzt werden.

- Tunnelfinisher: Der Finisher mit getrennter Luftführung für Dämpf- und für Trockenzone sollte langfristig durch ein Modell mit optimierter interner Luftführung – im Gegenstrom zur Textilführung - ersetzt werden. Neben der effektiven Volumenstromreduzierung erhöht sich der Feuchtegehalt der Abluft und birgt damit die Chance zur Abwärmerückgewinnung mit Kondensatausfall.
- Energienutzung aus der Mangelabluft: Während baulich die Nutzung von Abwärme aus den Trocknern nur mit erheblichem baulichen Aufwand möglich ist, besteht über den Mangeln ausreichend Platz um Wärmetauscher zu installieren. Es bietet sich an, die gewonnene Energie bei höheren Temperaturen – ca. 60 - 70 °C – als eigene Energiequelle zu nutzen. Typische Energieabnehmer könnten die Heizung und Warmwasserbereitung der Verwaltung und eine direkte Warmwasserversorgung von Waschscheudermaschinen sein. WSM 2 verfügt bereits über mehr als einen Wasseranschluss und benötigt lediglich eine Umprogrammierung von Wasseranschlüssen mit verschiedenen Temperaturniveaus.
- Die Umschaltung von Brunnenwasser auf aufbereitetes Wasser erfolgte auch nach der Nachmessung mittels manuell bedienter Umschaltventile. Dies birgt die Gefahr, dass Mitarbeiter aus Nachlässigkeit diese Bedienung vergessen oder durch Fehlbedienung nicht vollständig schließen. Folgen können Mindernutzung aber auch sinkende Wasserqualität bei hohen Anforderungen sein (Vermischung). Um dies zu vermeiden, wäre eine Automatisierung zielführend. Bei den Waschscheudermaschinen könnte ein eigener Wasseranschluss und die Hinterlegung der Wasserqualitäten in den Waschprogrammen dieses Problem beseitigen. Moderne Waschscheudermaschinen verfügen bereits über bis zu 6 Wasseranschlüsse. Bei den Waschstraßen bedürfte es analog der Verknüpfung der Ventilstellung mit den Waschprogrammen. Hier ist der (finanzielle) Aufwand größer, weil die Umschaltventile als externe Datenpunkte angesteuert werden müssten.
- Der bislang eingesetzte Dampfkessel ist für den Standort zu groß. Bei Annahme, dass das Baurecht keine nennenswerten Erweiterungen mehr zulässt, ist der langfristige Dampfbedarf eher rückläufig. Die laufenden Optimierungs- und Dämmmaßnahmen führen zu weiter sinkendem Dampfbedarf. Tatsächlich würde rein rechnerisch ein Dampfkessel mit 1,6 bis 2 t/h Dampfleistung ausreichen. Durch die geringere Kesseloberfläche und eine niedrigere untere Modulationsgrenze wären Einsparungen möglich, ohne die Leistungsfähigkeit des Betriebs zu beschränken. Lediglich die Ausbaufähigkeit für weitere Dampfverbraucher wäre begrenzt.

6 Ergebnisse des Betriebs für Krankenhauswäsche

6.1 Allgemeine Daten der Wäscherei

Die untersuchte Wäscherei verfügt über folgende Daten:

- Mischbetrieb:
 - ca. 60 % Flachwäsche
 - ca. 30 % Volltrockenwäsche (Handtücher, Einlagen, Steppdecken)
 - ca. 10 % Kittel / Berufsbekleidung (70 °C- Desinfektionswäsche)
- Tageswaschleistung: ca. 45 t/d, davon
 - ca. 17 t/d auf Waschstraße 1
 - ca. 18,7 t/d auf Waschstraße 2
 - ca. 6,3 t/d auf Waschstraße 3
 - ca. 1 t/d auf den Waschschleudermaschinen
 - Waschstraße 4 befand sich zum Zeitpunkt der Untersuchungen nicht in Betrieb und wurde deshalb nicht untersucht.
- Die tägliche Arbeitszeit wurde mit 17 Stunden, die Laufzeit der Versorgungsanlagen mit 17 Stunden angesetzt, die jährlichen Arbeitstage wurden mit 260 Tagen festgelegt.
- Wäschereifläche: ca. 9.000 m², aufgeteilt in einen durch eine Trennwand reinen Bereich mit ca. 6.500 m² und einen unreinen Bereich mit ca. 2.500 m² (siehe **Abbildung 77**).
- Ein in die Trennwand integrierter und nur von der reinen Seite begehbarer Trockenraum (direkt neben der Personenschleuse) wurde mit Kühlluft der Kompressoren versorgt.
- Die Druckluftherzeugung befand sich auf dem Dach der Personenschleuse und des Trockenraums im Luftraum der unreinen Seite.
- Das benötigte Prozesswasser wird aus Trinkwasser gewonnen. Das Wasser für den Waschprozess wird mit einer Enthärtungsanlage aufbereitet.
- Das Kesselspeisewasser wird aus enthärtetem Trinkwasser gewonnen und mittels Umkehrosmose und chemothermischer Entgasung aufbereitet
- Die Waschmitteldosieranlage befand sich zwischen WSR 2 und WSR 3
- Wäschefluss Waschstraße:
 - Unsortierte Beladung der Hängesäcke zur Zuteilung in die Waschstraßen bzw. den Speicher
 - Waschstraße → Presse bzw. Zentrifuge → Schüttler
 - Danach manuelle Sortierung Krankenhauswäsche:

▪ Flachwäsche:	Trockner auf ca. 25 % RF → Mangel
▪ Kittel / Berufsbekleidung:	Trockner (auf ca. 25 % RF) → Tunnelfinisher
▪ Bewohnerwäsche:	Volltrocknung in Trockner 11 bis 17
▪ Sonstige Textilien:	Volltrocknung in Trockner 1 bis 10
▪ Empfindliche Textilien:	Volltrocknung im Trockenraum
- Die im Abwasser enthaltene Energie von WSR 1 und 2 wurde mittels Abwasserwärmetauscher dem Frischwasser der Waschstraßen 1 und 2 zugeführt. Ansonsten wurde das Abwasser ohne weitere Aufbereitung dem Kanal zugeführt (indirekte Einleitung).

Im Rahmen der Erstbegehung wurden folgende Anlagen und Maschinen erfasst und entsprechend der Funktion aufgeteilt:

Tabelle 32: Waschtechnik der Wäscherei für Krankenhauswäsche

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Kammer- / Trommelanzahl	Kammer- / Trommelvolumen [l]	Nennwaschleistung [kg/h]	Art der Wärmeversorgung	Nennpostenmasse [kg]	Anmerkungen
Waschstraße	WSR 1	Jensen	P 50-20	20	Kammer 1:3000, ab Kammer 2: 1.650	2.000	Dampf	50	Presse: 37 bar, 60 s, Taktzeit 90 s
Waschstraße	WSR 2	Jensen	P 50-20	20	Kammer 1:3000, ab Kammer 2: 1.650	2.000	Dampf	50	Presse: 37 bar, 60 s, Taktzeit 90 s
Waschstraße	WSR 3	Jensen	P 36-11	11	Kammer 1: 2016, ab Kammer 2: 1.200	785	Dampf	36	Zentrifuge: g-Faktor 300, 165 s, Taktzeit 165 s
Waschstraße	WSR 4	Kannegiesser	Power Trans	9	k.A.	k.A.	Dampf	k.A.	Zentrifuge: g-Faktor 300, 165 s, Taktzeit s
Waschschleudermaschine	WSM 1	Lavatec	LX 325	1	1.130	k.A.	Dampf	113	Hygieneausführung
Waschschleudermaschine	WSM 2	Stahl	k.A.	1		k.A.	Dampf	k.A.	Hygieneausführung
Waschschleudermaschine	WSM 3	Lavamac	LMA 330	1	332		Dampf	33	g-Faktor 335
Waschschleudermaschine	WSM 4	Seibt & Kapp	Variofex 25	1	250		Dampf	25	
Waschschleudermaschine	WSM 6	Seibt & Kapp	FAS 14	1	164	22	Dampf	16	
Waschschleudermaschine	WSM 7	Electrolux	Wascator	1	120		Dampf	12	
Waschschleudermaschine	WSM 8	Electrolux	Wascator	1	170		Dampf	17	

Tabelle 33: Trockner der Wäscherei für Krankenhauswäsche

Anlagenart	Maschinen-bezeichnung	Hersteller	Typ	Kammer-/Trommelvolumen [l]	Nennleistung Feuerung / Heizung	Art der Wärmeversorgung	Nennbelastung bei 25 l/kg	Abluftvolumenstrom Trocknen / Cool-Down [m³/h] – Herstellerangabe	g- Faktor	Reversierung	Anmerkungen
Verbundtrockneranlage 1	Trockner 1	Senking	DT 90	2180	270 kW	Erdgas	90 kg	3.400-4.000 / 8.000	0,8	nein	
	Trockner 2	Senking	DT 90	2180	270 kW	Erdgas	90 kg	3.400-4.000 / 8.000	0,8	nein	
	Trockner 3	Senking	DT 90	2180	270 kW	Erdgas	90 kg	3.400-4.000 / 8.000	0,8	nein	
	Trockner 4	Senking	DT 90	2180	270 kW	Erdgas	90 kg	3.400-4.000 / 8.000	0,8	nein	
	Trockner 5	Senking	DT 90	2180	270 kW	Erdgas	90 kg	3.400-4.000 / 8.000	0,8	nein	
	Trockner 6	Senking	DT 90	2180	270 kW	Erdgas	90 kg	3.400-4.000 / 8.000	0,8	nein	
Verbundtrockneranlage 2	Trockner 7	Senking	DT 90	2180	270 kW	Erdgas	90 kg	3.400-4.000 / 8.000	0,8	nein	
	Trockner 8	Senking	DT 90	2180	270 kW	Erdgas	90 kg	3.400-4.000 / 8.000	0,8	nein	
	Trockner 9	Senking	DT 90	2180	270 kW	Erdgas	90 kg	3.400-4.000 / 8.000	0,8	nein	
	Trockner 10	Senking	DT 90	2180	270 kW	Erdgas	90 kg	3.400-4.000 / 8.000	0,8	nein	
Altenheimwäschetrockner	Trockner 11	Lavatec	FL 613G	700	95 kW	Erdgas	28 kg	2.000-3.000 / 3.900/	0,85	nein	
	Trockner 12	Lavatec	FL 623G	1.000	138 kW	Erdgas	40 kg	2.500-3.500 / 4.000	0,85	nein	
	Trockner 13	Lavatec	FL 623G	1.000	138 kW	Erdgas	40 kg	2.500-3.500 / 4.000	0,85	nein	
	Trockner 14	Lavatec	FL 633GU	1.400	170 kW	Erdgas	56 kg	2.500-3.800 / 5.000	0,85	nein	
	Trockner 15	Lavatec	FL 633GU	1.400	170 kW	Erdgas	56 kg	2.500-3.800 / 5.000	0,85	nein	
	Trockner 16	Lavatec	FL 623G	1.000	138 kW	Erdgas	40 kg	2.500-3.500 / 4.000	0,85	nein	
	Trockner 17	Lavatec	FL 613G	700	95 kW	Erdgas	28 kg	2.000-3.000 / 3.900/	0,85	nein	
	Trockner 18	Miele	T 5248	480	36 kW	Dampf	19 kg	k.A.	0,85	nein	
	Trockner 19	Lavatec	FL 612 D	500	k.A.	Dampf	20 kg	k.A.	0,85	nein	

Anlagenart	Maschinen-bezeichnung	Hersteller	Typ	Kammer-/Trommelvolumen [l]	Nennleistung Feuerung / Heizung	Art der Wärmeversorgung	Nennbelastung bei 25 l/kg	Abluftvolumenstrom Trocknen / Cool-Down [m³/h] – Herstellerangabe	g- Faktor	Reversierung	Anmerkungen
	Trockner 20	Lavatec	FL 613 D	k. A.	k. A.	Erdgas	35 kg	k. A.	0,85	nein	
	Trockner 21	Lavatec	FL 623G	1.000	125 kW	Erdgas	40 kg	2.500-3.500 / 4.000	0,85	nein	
	Trockner 22	Lavatec	FL 633 D	k. A.	175 kW	Dampf	56 kg	k. A.	0,85	nein	
	Trockner 23	Passat	TM 75 D	k. A.	60 kW	Dampf	75 kg	k. A.	0,85	nein	
	Trockner 24	Lavatec	FL 613G	700	86 kW	Erdgas	28 kg	2.000-3.000 / 3.900	0,85	nein	
	Trockner 25	Lavatec	FL 643 GU	1.790	200 kW	Erdgas	72 kg	2.000-3.800 / 7.600	0,85	nein	
	Trockner 26	Jensen	DT 60	1.478	200 kW	Erdgas	59 kg	1.250-3.000 / 6.000-8000	0,85	nein	Nur als Schüttler in Betrieb
	Trockner 27	Jensen	DT 60	1.478	200 kW	Erdgas	59 kg	1.250-3.000 / 6.000-8000	0,85	nein	Nur als Schüttler in Betrieb
	Trockner 28	Jensen	DT 60	1.478	200 kW	Erdgas	59 kg	1.250-3.000 / 6.000-8000	0,85	nein	Nur als Schüttler in Betrieb
	Trockner 29	Jensen	DT 60	1.478	200 kW	Erdgas	59 kg	1.250-3.000 / 6.000-8000	0,85	nein	Nur als Schüttler in Betrieb
	Trockner 30	Lavatec	FL 633 GU	1.400	170 kW	Erdgas	56 kg	2.500-3.800 / 5.000	0,85	nein	Für interne Klein-mengen

Tabelle 34: Anlagen zur Sonderbehandlung und sonstige Wäschereitechnik, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Anlagenart	Maschinen-bezeichnung	Hersteller	Typ	Anzahl Module / Rollen	Nennleistung / Feuerung / Heizung	Art der Wärme-versorgung	Nennposten-masse	Abluft-volumenstrom [m³/h]	Anmerkungen
Tunnel-finisher	Tunnel-finisher 1	Kanne-giesser	XMT-4-Gas-Turbo	4	k. A.	Erdgas	k. A.	1.400 – 2.300.	Heißluft-temperatur der Module 1 bis 4: 160 / 170 / 150 / Cooldown
Mangel	Mangel 1	Kanne-giesser	HLM-12-30-2	2	k. A.	Dampf	k. A.	k. A.	120 cm Walzen-durchmesser, 300 cm Arbeits-breite, 4,6 bar Walzen-anpress-druck
Mangel	Mangel 2	Kanne-giesser	HLM-12-30-2	2	k. A.	Dampf	k. A.	k. A.	120 cm Walzen-durchmesser, 300 cm Arbeits-breite, Walzen-anpressdruck nicht ablesbar
Mangel	Mangel 3	Kanne-giesser	HLM 12-35-3	3	k. A.	Dampf	k. A.	k. A.	120 cm Walzen-durchmesser, 350 cm Arbeits-breite, 4,4 bar Walzenanpress-druck

Tabelle 35: Versorgungsanlagen der Wäscherei für Krankenhauswäsche

Anlagenart	Maschinen-bezeichnung	Hersteller	Typ	Nenn-leistung	Brennstoff	Max. Druck [bar]	Anmerkungen
Dampferzeugung	Dampfkessel 1	Loos International	UL-S	5,0 t/h		13	
Dampferzeugung	Brenner Dampfkessel 1	Weishaupt	G70/1-B	700-7.000 kW	Erdgas		Ausführung ZM-LN (modulierend)
Druckluft-erzeugung	1-stufiger Kompressor	Kaeser	ASD 37	kW _{el}			
Druckluft-erzeugung	1-stufiger Kompressor	Kaeser	BS 61	kW _{el}			
Druckluft-erzeugung	Drucklufttrockner 1	Kaeser	TE 91				
Beleuchtung	LSL + Metaldampf-Leuchten	divers	divers	k.A.			nicht erfasst
Heizung	Luftherhitzer Waschhalle OG unreine Seite	Remko	VRS 210	200 kW	Erdgas		nicht erfasst
Heizung	Luftherhitzer Waschhalle reine Seite 1	Remko	VRS 210	200 kW	Erdgas		nicht erfasst
Heizung	Luftherhitzer Waschhalle reine Seite 2	Remko	VRS 210	200 kW	Erdgas		nicht erfasst

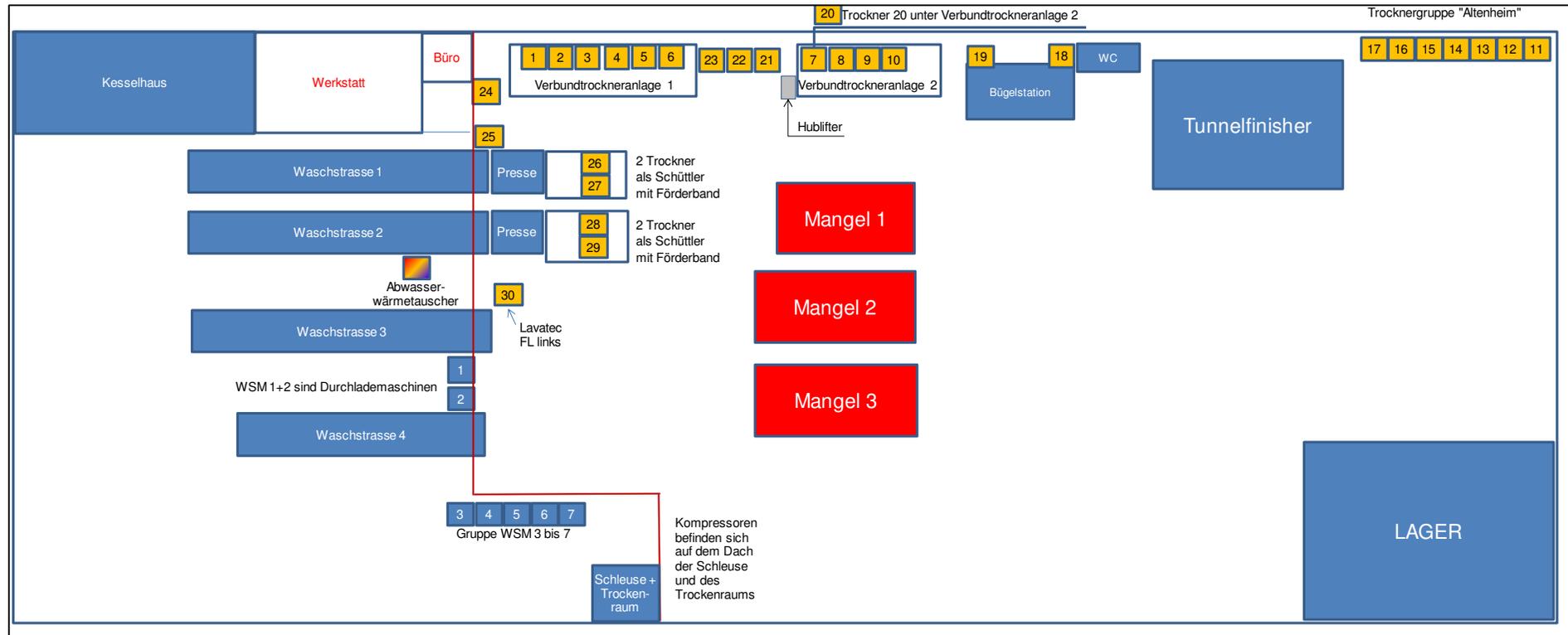


Abbildung 77: Grundriss der Wäscherei für Krankenhauswäsche (nicht maßstabsgetreu)

6.2 IST-Analyse der Wäscherei für Krankenhauswäsche

6.2.1 Erfassen der Energie- und Stoffströme

6.2.1.1 Wäscheströme

Für die Auswertung wurde die Datenerfassung der Wäscherei eingesetzt (siehe **Tabelle 36**). Die mittlere Auslastung beruhte auf dem Quotienten von mittlerer Waschleistung und dem Produkt aus Anzahl der Posten pro Tag und der vom Hersteller angegebenen Postengröße der Waschstraßen. Diese betrug für:

- WSR 1 und 2: 50 kg,
- WSR 3: 36 kg

Für die Waschschleudermaschinen wurde bei einer mittleren, täglichen Waschleistung von 1 t/d (Wäschereiangabe) mit den Nennbeladungen der WSM nach Herstellerangaben gerechnet. Hier waren keine tatsächlichen Wiegedaten vorhanden.

Tabelle 36: Wäschedurchsatz der WSR und aller WSM, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Quelle	Anzahl der Posten pro Tag	Mittleres Wäschege- wicht während der IST- Analyse (26.08. bis 29.08.2013)	Auslastung der Waschstraße bezogen auf die Postengröße
Tägliche Wäschemenge WSR 1	392	16,97 t/d	87,0 %
Tägliche Wäschemenge WSR 2	442	18,70 t/d	83,5 %
Tägliche Wäschemenge WSR 3	246	6,29 t/d	72,2 %
Tägliche Wäschemenge der WSM 1 bis 7	37	ca. 1 t/d	
Tägliche Wäschemenge Gesamtbetrieb	1.117	42,96 t/d	
Berechnung Jahres-wä- schemenge 2013		11.169,6 t/a	

Die weniger detailliert aufgezeichneten Wäscheströme der Trockner, Mangeln und Finisher wurden wie folgt ermittelt:

- **Trockner (Verbundtrockneranlage, Trockner 1 bis 10)**
Ermittlung der Anzahl der Posten nach dem Mittelwert der Anzahl der Abluftspitzen sowie Postengewicht per Annahme eines mittleren Postengewichts von 80 kg.
- **Trocknergruppe „Altenheim“ (Trockner 11 bis 17) und sonstige Trockenprozesse**
Im Rahmen einer Optimierungsrechnung für die Trockner 11 bis 17 wurde eine qualifizierte Abschätzung des Wäschedurchsatzes durchgeführt. Die Anzahl der Wäscheposten wurde über die am Verlauf der Ablufttemperatur erkennbaren Zyklen ermittelt, die mittlere Befüllung der Trockner mit ca. 1/3 der Nennbeladung bei einem Füllverhältnis von 1:30 (schonende Trocknung von Oberbekleidung). Wie **Tabelle 37** zu entnehmen ist, wurde danach in der Trocknergruppe eine tägliche Wäschemenge von 2,63 t/d getrocknet. Nach Informationen der Betriebsleitung der Wäscherei ist die in der Gruppe „Altenheim“ getrocknete Wäschemenge geringer. Als Kompensation der

zu groß angesetzten Wäschemenge wurde der Bezug der angenommenen Wäschemenge auf alle sonstigen Trockner erweitert, die zu keiner anderen Gruppen gehören (Trockner 18, 19, 21-25 und 30) und nur relativ geringe Wäschemengen aus Nachwäsche oder sonstigen Nacharbeiten trocknen.

Tabelle 37: Ermittlung der Wäschemenge von Trockner 11 bis Trockner 17, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Trockner	Nennbeladung	1/3-Wert der Nennbeladung	Wäschemasse bei 30 Posten/d
Trockner 11	23 kg	7,67 kg	230 kg
Trockner 12	46 kg	15,33 kg	460 kg
Trockner 13	46 kg	15,33 kg	460 kg
Trockner 14	46 kg	15,33 kg	460 kg
Trockner 15	46 kg	15,33 kg	460 kg
Trockner 16	33 kg	11,00 kg	330 kg
Trockner 17	23 kg	7,67 kg	230 kg
Gesamt	263 kg	87,67 kg	2.630 kg

Die Wäscheströme in Waschmaschinen waren eindeutig zuordenbar, bei den Trocken- und Finishprozessen erwies sich dies jedoch als schwierig. Ein Teil der Wäsche wird teilgetrocknet oder nur geschüttelt und dann einem weiteren Prozess (Mangel, Finisher) zugeführt. Die Summe des Wäschestroms der Trocken- und Finishprozesse muss dementsprechend mehr als 100 % der gewaschenen Wäsche darstellen. Geeignete, automatisierte Verfahren zur Ermittlung des Textilmassenstroms durch Mangeln und Finisher waren nicht vorhanden, so dass die oben aufgeführten Verfahren zur Ermittlung des Wäschemassendurchsatzes zum Einsatz kamen. Die Wäsche wurde bei den Waschstraßen am exaktesten erfasst, enthält jedoch einen mehr oder weniger hohen Wasseranteil. Für die Wäscherei für Krankenhauswäsche wurde der Anteil mit 5 % angesetzt. Dies entspricht einem täglichen Eintrag von rund 2 t Wasser (siehe **Abbildung 78**). Die Summe der täglich gewaschenen Wäsche einschließlich des enthaltenen Wassers – die an den Waschstraßen gemessene Masse - beträgt ca. 43 t/d.

Aufgrund der an mehreren Stellen getroffenen Annahmen weichen die Werte der Bilanzierung vom tatsächlichen Verbrauch ab:

- Stückzahlerfassung der Wäscherei erfolgte in Stück pro Minute, nicht als Gesamtfinishleistung pro Jahr für den Tunnelfinisher
- Das mittlere Gewicht pro Wäschestück oder die Mangelleistung pro Tag oder pro Jahr konnte nur geschätzt werden, da eine exakte Bestimmung nicht möglich war.
- Die Ablufttemperatur lag zeitweise außerhalb des Messbereichs der Sensoren für relative Feuchte und führte zu höheren Messwertabweichungen. Infolge dessen war die gemessene Abluftfeuchte keine verlässliche Basis zur Ermittlung der mit der Abluft abgeführten Feuchte.
- Während der Messungen gab es Zeiten mit schwankender Auslastung durch vorgelagerte und maschinenbezogene Störungen

- **Mangeln:**

Tabelle 38: Ermittlung des Wäschemassendurchsatzes der Mangeln, Wäscherei für Krankenhauswäsche

	Mangel 1	Mangel 2	Mangel 3
Arbeitsbreite	3 m	3 m	3,5 m
Mittlere Mangelgeschwindigkeit	30 m/min	35 m/min	40 m/min
Mangelbelegungsgrad	0,25	0,25	0,4
Mittleres Flächengewicht	0,25 kg/m ²	0,25 kg/m ²	0,25 kg/m ²
Gleichzeitigkeitsfaktor	0,7	0,7	0,7
Tägliche Betriebszeit	17 h/d	17 h/d	17 h/d
Flächendurchsatz Textil	16.065 m ² /d	18.742 m ² /d	39.984 m ² /d
Massedurchsatz Textil	4,02 t/d	4,69 t/d	10,0 t/d
Gesamtmasse Textil	18,7 t/d		

Ermittlung des Wäshedurchsatzes mittels Treffen von Annahmen und Prüfung durch die Feuchtebilanz der Energie- und Stoffbilanz der Mangeln (siehe Annahmen in **Tabelle 38**).

- **Tunnelfinisher**

Der Durchsatz wurde von der Wäscherei mit 2.400 Teilen pro Stunde angegeben. Die restliche Parameter wurden angenommen und in der Energie- und Stoffbilanz auf Plausibilität geprüft. Das mittlere Gewicht der Wäschestücke wurde mit 250 Gramm und die tägliche Betriebszeit mit 17 Stunden angenommen. Zur Berücksichtigung der Leerlaufzeiten und Stillstandszeiten wurde ein Verhältnis von täglicher Laufzeit zur Betriebszeit mit 0,9 eingerechnet.

Tabelle 39: Ermittlung des Wäschemassendurchsatzes des Tunnelfinishers, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Durchschnittliches Wäschegewicht je Teil	0,25 kg/Teil
Wäshedurchsatz	2.400 Teile/h
Betriebszeit	17 h/d
Verhältnis Laufzeit zu Betriebszeit	0,9
Tagesdurchsatz an Teilen	36.720 Teile/d
Wäschemassendurchsatz pro Tag	9,18 t/d
Jährlicher Wäschemassendurchsatz	2.369 t/a

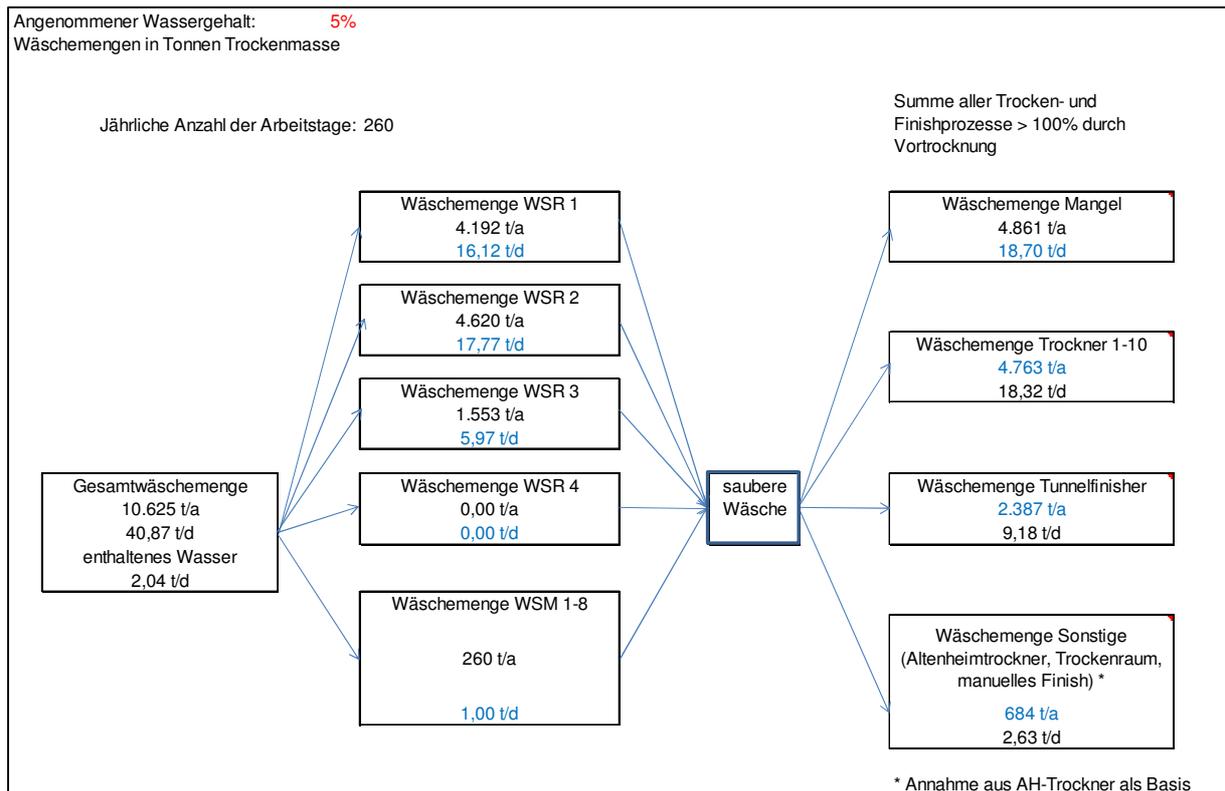


Abbildung 78: Wäschebilanz bei der IST-Analyse, Wäscherei für Krankenhauswäsche

6.2.1.2 Wassereinsatz

Folgende Messstellen waren vorhanden:

- Hauptwasserzähler – Trinkwasser des Wasserversorgers
 - Unterzähler Weichwasser
 - Unterzähler Weichwasser WSR 1
 - Unterzähler Weichwasser WSR 2
 - Unterzähler Weichwasser WSR 3
 - Unterzähler Weichwasser Dosierung (Waschmittel)
 - Unterzähler Weichwasser Osmose Zulauf
 - Unterzähler Speisewasser Dampfkessel (Permeat)

Die Wasserverbräuche wurden abgelesen bzw. aus den vorhandenen Daten der Wäscherei übernommen. Ergänzend wurden mittels manueller Aufzeichnung oder durch Clamp-On-Ultraschallmessgerät folgende Daten erfasst:

- Trinkwasser von 5 Waschmaschinen – der Wasserverbrauch von WSM 1 + 2 konnte wegen der baulichen Situation nicht erfasst werden (Schlauchanbindung)
- Weichwasser von 5 WSM
- Trinkwasserverbrauch gesamt (Kontrollmessung Ultraschallmessgerät)
- Kesselspeisewasser (manuelle Auswertung von Bildern)

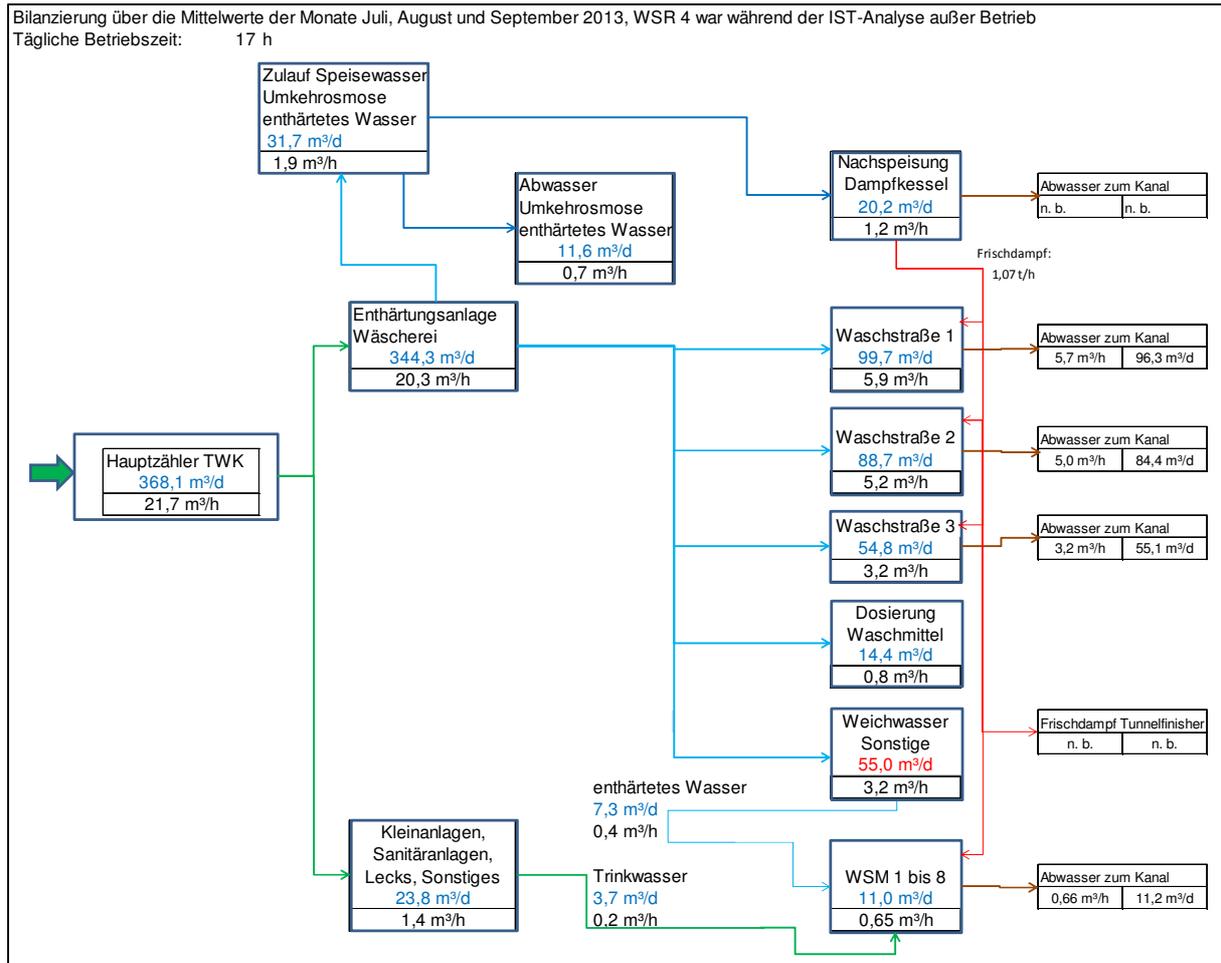


Abbildung 79: Wasserbilanz der Wäscherei für Krankenhauswäsche

6.2.1.3 Wärmeerzeugung

Die Wäscherei für Krankenhauswäsche verfügte über mehrere, sich ergänzende Wärmequellen.

Größte einzelne Wärmequelle war die Dampfkesselanlage mit einem 5-t/h-Dampfkessel. Die Feuerung bestand aus einem modulierenden Erdgasbrenner, der einen Nennleistungsbereich von 700 kW bis 7.000 kW abdeckte und auf ca. 5.500 kW Spitzenleistung abgeriegelt war. In der Erdgas-Zuleitung verfügte die Anlage über einen Zähler, so dass die Verbräuche und die Erdgasleistungen in Abhängigkeit der Zeit ermittelt werden konnten. Der Dampfkessel verfügte über einen Economiser. Das Kesselspeisewasser wurde durch eine Enthärtungs- und eine Umkehrosmoseanlage aufbereitet und in einem Vorratstank zum Ausgleich der Bedarfsschwankungen zwischengespeichert und nach Bedarf dem Speisewasserbehälter zugeführt. Bei Bedarf wurde das Kesselspeisewasser aus dem Speisewasserbehälter durch den Economiser gepumpt, dabei erhitzt und dem Dampfkessel zugeführt. Durch die integrale Bauweise des Economisers und die Dämmung der Rohrleitungen war eine Messung der Temperaturen am Economiser nicht möglich. Im Rahmen der Untersuchungen wurde die Dampftemperatur am Kessel aufgezeichnet. Wie in **Abbildung 80** zu sehen ist, verhält sich die Dampftemperatur bei geringer Dampfabnahme analog zu den Start-Stopp-Zyklen des Brenners (siehe folgende Auswertungen in diesem Kapitel). Die ermittelte mittlere Dampftemperatur am Dampfkessel betrug 185,4 °C. Unter Annahme von gerade gesättigtem Dampf betrug der Dampfdruck ca. 11,3 bar_{abs}.

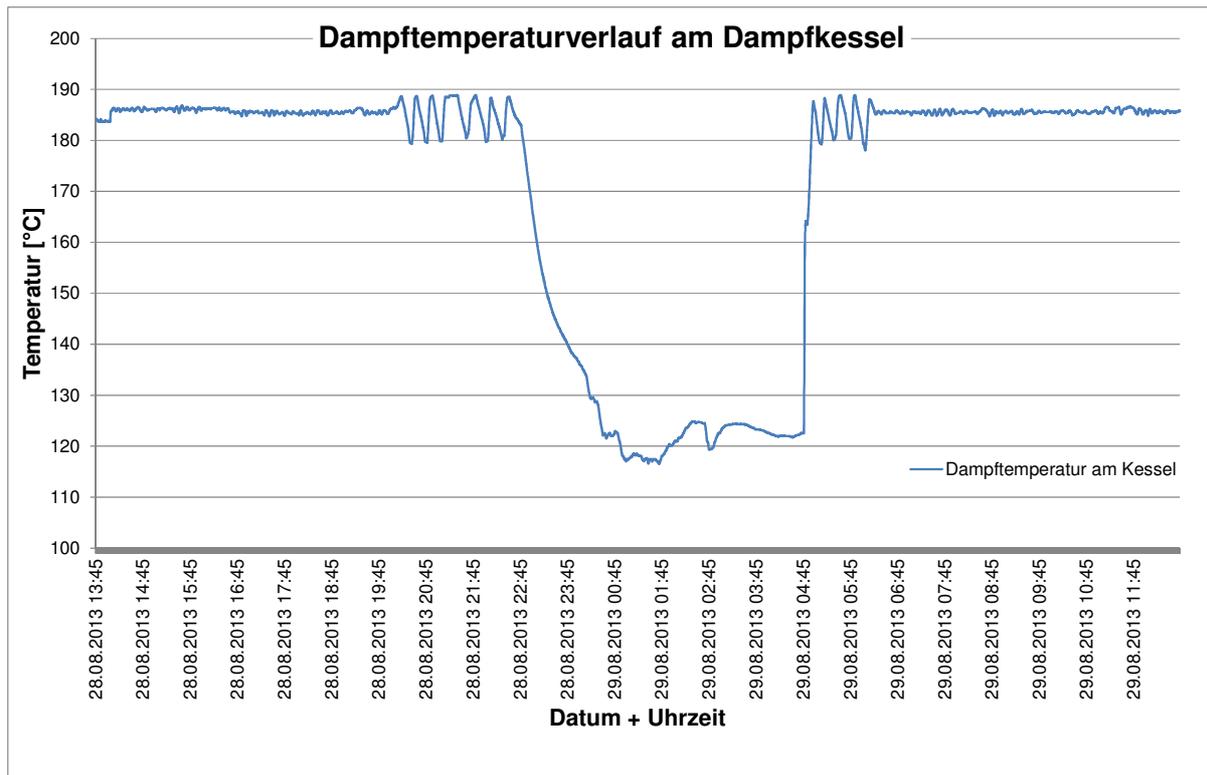


Abbildung 80: Temperaturverlauf des Dampfes am Dampfkessel, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Die Dampfkesselanlage versorgte über das 11-bar-Netz die drei Mangeln sowie 4 Trockner. Das Kondensat dieser Verbraucher wurde in einem Kondensatsammelbehälter zusammengeführt und in einen unter ca. 4 bar_{abs} Druck stehenden Nachverdampfer gepumpt. Dort fand die Trennung zwischen Kondensat und 4-bar-Dampf statt. Dieser Entspannungsdampf wurde den Waschprozessen (WSR 1 bis 4 und WSM 1 bis 7) zugeführt. Das im Nachverdampfer entstandene Kondensat wurde dem Dampfkessel direkt zurückgeführt. Bei zu geringer Dampfmenge für die 4-bar-Verbraucher wird die Versorgung durch eine Verbindung zwischen 11-bar- und 4-bar-Dampfnetz mit einem Druckminderer sichergestellt.

Zum Zeitpunkt der IST-Analyse wurde der Tunnelfinisher mit Frischdampf über das 11-bar-Netz versorgt und der anstehende Druck für den Sprühdampf mittels Druckregler auf etwa 5 bar eingestellt.

Das Dampfschema ist in Anlage A6-1 abgebildet.

Die Wärmeversorgung für die Raumheizung bestand aus mehreren Teilsystemen:

Heizung 1: Luftherhitzer Waschhalle OG unreine Seite	200 kW
Heizung 2: Luftherhitzer Waschhalle reine Seite	200 kW
Heizung 3: Luftherhitzer Waschhalle reine Seite	200 kW

Sonstige Heizungen:

- Brennwerttherme für Heizung und Warmwasser im Verwaltungstrakt und für den Luftherhitzer im Bereich Logistik
- Brennwerttherme für die Versorgung der Hausmeisterwohnung

Die Raumluftheizungen verfügten über keinen eigenen Erdgaszähler. Während der Untersuchungen war die Heizung mit Ausnahme der Warmwasserbereitung in der Verwaltung und in der Wohnung des Hausmeisters nicht in Betrieb. Durch das Fehlen von Erdgaszählern war eine Zuordnung der auf die Raumheizung entfallenden Beträge nur durch Berechnung mög-

lich. Der mittlere spezifische Energiebedarf pro kg Wäsche liegt in den Sommermonaten niedriger (1,19 kWh/kg) als in den Wintermonaten (1,30 kWh/kg). Daraus lässt sich ein Heizenergiebedarf ableiten, der bei rund 290 MWh liegt. Allerdings lässt diese Betrachtung keine Unterscheidung von tatsächlicher Energiezufuhr in den Heizungen und erhöhten Oberflächenverlusten der Wäschereimaschinen und der Dampf-, Kondensat- und Wasserleitungen zu. Größter Schwachpunkt der Betrachtung ist eine fehlende Berücksichtigung der in den drei Wintermonaten geringeren Auslastung der Maschinen (siehe **Tabelle 40**).

Tabelle 40: spezifischer Energiebedarf bezogen auf die gesamte Wäschemenge, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Monat	Energiebedarf	Wäschemenge	spez. Energiebedarf	Gradtagszahl	Mittelwert spez. Erdgasbedarf pro kg Wäsche	Energiebedarf aus Waschbetrieb bei mittlerem spez. EB	result. Energiebedarf für Heizzwecke
Januar	1.179.011 kWh	913.626 kg	1,29 kWh/kg	530	ohne Heizung:	1.086.884 kWh	92.127 kWh
Februar	1.175.020 kWh	910.702 kg	1,29 kWh/kg	638	(Mai, Juni, Juli,	1.083.406 kWh	91.614 kWh
März	1.205.744 kWh	964.363 kg	1,25 kWh/kg	285	August,	0 kWh	0 kWh
April	1.123.307 kWh	910.951 kg	1,23 kWh/kg	270	September)	0 kWh	0 kWh
Mai	1.164.872 kWh	942.105 kg	1,24 kWh/kg	33		0 kWh	0 kWh
Juni	1.098.134 kWh	906.150 kg	1,21 kWh/kg	0		0 kWh	0 kWh
Juli	1.118.739 kWh	969.866 kg	1,15 kWh/kg	0	1,19 kWh/kg	0 kWh	0 kWh
August	1.119.931 kWh	960.111 kg	1,17 kWh/kg	0		0 kWh	0 kWh
September	1.004.555 kWh	959.933 kg	1,05 kWh/kg	10		0 kWh	0 kWh
Oktober	1.210.597 kWh	1.015.543 kg	1,19 kWh/kg	250		0 kWh	0 kWh
November	1.128.683 kWh	927.820 kg	1,22 kWh/kg	438		0 kWh	0 kWh
Dezember	1.013.050 kWh	762.097 kg	1,33 kWh/kg	521		906.619 kWh	106.431 kWh
GESAMT	13.541.643 kWh	11.143.267 kg	1,22 kWh/kg	2975		3.076.909 kWh	290.172 kWh

Der Dampfkessel wird mit einem modulierendem Erdgasbrenner befeuert. Der Verlauf der Brennerleistung wurde mittels teilautomatisierter Zählerstandserfassung (webcam-Aufnahmen zur manuellen Auslesung) aufgezeichnet, so dass das Anlagenverhalten über einen Tag dargestellt werden kann. Die Erfassung der mittleren Brennerleistung erfolgte nach folgender Formel:

$$\dot{Q}_{F,mittel} = \frac{BA_{Erdgas} * H_{Erdgas}}{T_{mess}}$$

mit:

BA_{Erdgas} : gemessener Erdgasverbrauch

H_{Erdgas} : Heizwert des Erdgases, hier bereits mit der Zustandszahl Z (berechneter Wert: 1,016903006) multipliziert

T_{mess} : Dauer der Messung in Stunden (Betrachtung von Start bis Stop, ca. 5 Uhr bis 22.30 Uhr)

Während der mehrtägigen Aufzeichnung der Daten wurde eine mittlere Brennerleistung unter Einschluss der Betriebsbereitschaftszeiten von ca. 1.753 kW ermittelt. Die kleinste Feuerungsleistung (untere Modulationsgrenze) wurde mit ca. 1.160 kW und eine maximale Feuerungsleistung (obere Modulationsgrenze) von ca. 5.400 kW ermittelt. Bei der Auswertung der Daten fiel ein charakteristisches Regelverhalten des Brenners auf, der sich im aufgezeichneten Verlauf des Gasverbrauchs wiederfand. Wie **Abbildung 81** zeigt, wurde die obere Modulationsgrenze nur in der Aufheizphase am frühen Morgen erreicht. Tagsüber bei voller Belastung der Mangeln und Betrieb aller Verbraucher überschreitet die Feuerungsleistung die 3-MW-Grenze nur in Ausnahmefällen. Zwischen 4:50 Uhr und 6 Uhr lag der mittlere Bedarf bei ca. 1,6 MW, der Brenner pendelte jedoch zwischen 0 und 5,4 MW mit ca. 4 bis 5 Start-Stop-Zyklen.

Tabelle 41 zeigt den jährlichen Erdgasbedarf der Wäscherei für den Dampfkessel.

Tabelle 41: Berechnung des jährlichen Erdgasverbrauchs des Dampfkessels, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Mittlere tägliche Arbeitszeit [h/d]	Jahresarbeitsstage [d/a]	Mittlere Feuerungsleistung [kW]	Jahresenergiebedarf Dampferzeugung [kWh/a]
17	260	1.753	7.748.260

Bei einem jährlichen Erdgasverbrauch von 13.541.643 kWh (Jahresverbrauch 2012) betrug der Anteil des Dampfkessels ca. 57 %.

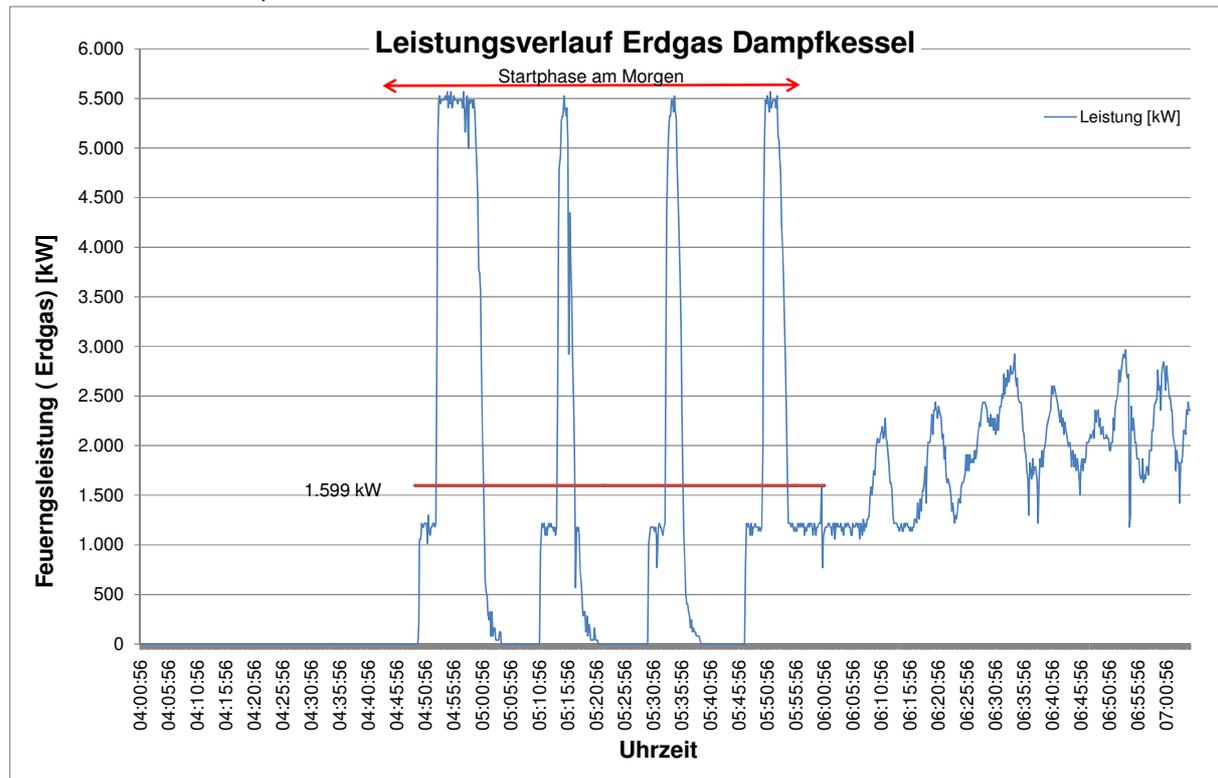


Abbildung 81: Leistungsverlauf Erdgas am Dampfkessel, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Zur Ermittlung des Kesselspeisewasserverbrauchs wurde der vorhandene Wasserzähler abgelesen. **Tabelle 42** zeigt die ermittelten Messwerte.

Tabelle 42: Zählerstände Kesselspeisewasserverbrauch der Wäscherei für Krankenhauswäsche

	Datum + Uhrzeit	Zählerstand in m ³	Verbrauch Kesselspeisewasser
Erste Aufnahme	20.08.2013 09:01:25	1.589,440	
Letzte Aufnahme	20.08.2013 17:28:00	1.597,996	8,56 m ³

Aus der Messzeit von 8 Stunden, 26 Minuten und 35 Sekunden sowie dem in **Tabelle 42** aufgeführten Verbrauch von 8,56 m³ wurde ein Verbrauch von 1,01 m³/h und ein täglicher Speisewasserbedarf von 17,2 m³/d berechnet. Durch die Messung außerhalb der Startphase und des Betriebsende wich dieser Messwert von dem wäschereieigenen Mittelwert von 20,2 m³/d ab.

Die geschlossene Bauweise der Dampfkesselanlage, insbesondere der Abwasserleitung, verhinderte die Messung jener Wassermengen, die für Absalzen und Abschlämmen aufgewendet wurden, um genauere Zuordnungen der Wassermengen vornehmen zu können.

Abbildung 82 zeigt die Dampfbilanz der Wäscherei.

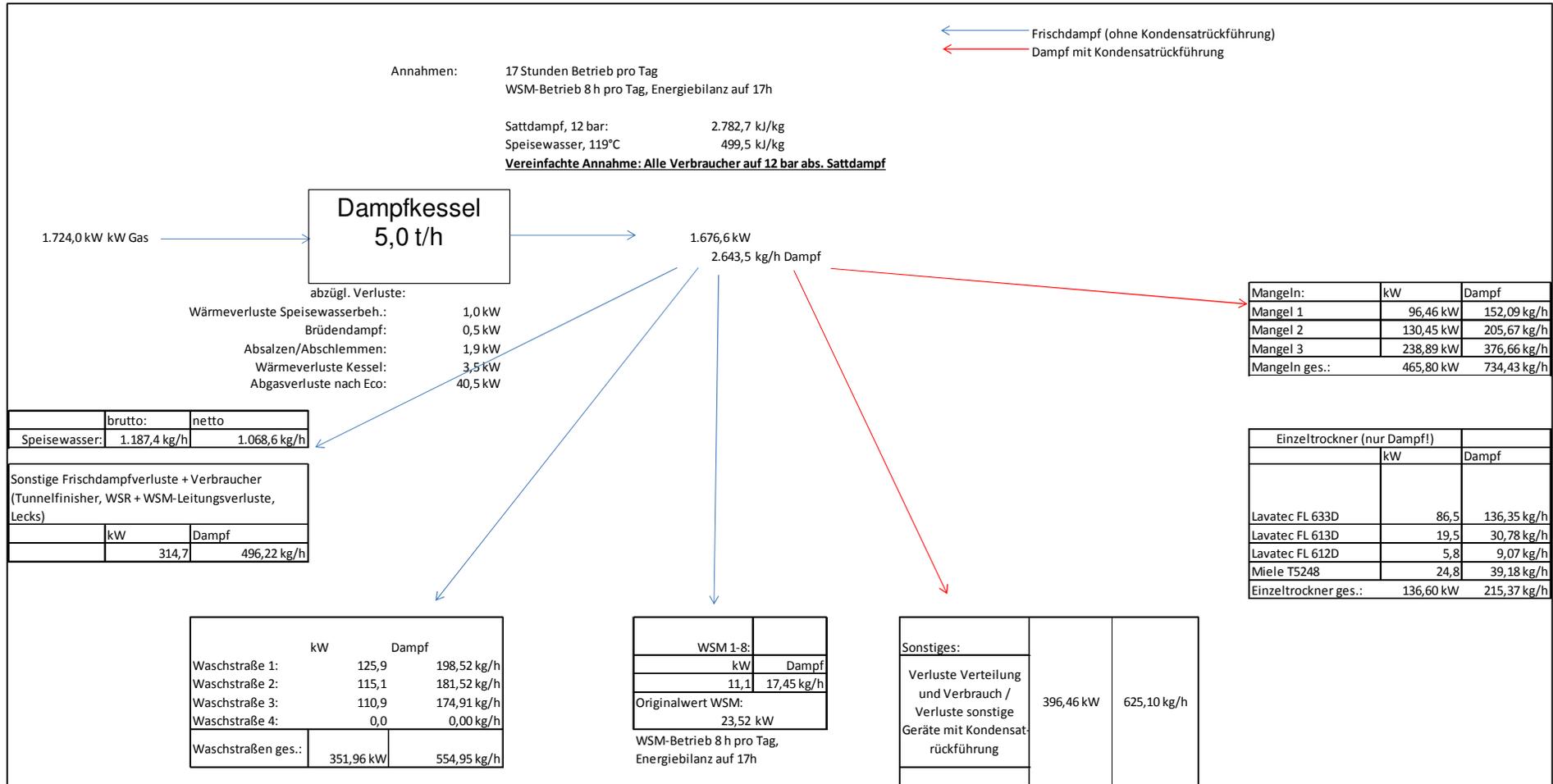


Abbildung 82: Dampfbilanz der Wäscherei für Krankenhauswäsche

Die Dampfverbrauchswerte wurden über einzelne Anlagen bzw. über Anlagengruppen ermittelt (siehe **Abbildung 83** bis **Abbildung 86**). Aufgrund des großen Anlagenbestandes und des daraus resultierenden Datenvolumens wurden Sammelbilanzen für folgende Anlagengruppen erstellt:

- WSM 1 bis 8
- Verbundtrockneranlage 1 (Trockner 1 bis 6)
- Verbundtrockneranlage 2 (Trockner 7 bis 10)
- Trocknergruppe „Altenheim“ (Trockner 11 bis 17)
- Mangel 1, 2 und 3

Zur Bilanzierung der untersuchten Waschstraßen 1,2 und 3 wurden die mittleren Wäschemengen herangezogen und die Textilfeuchte vor dem Waschen mit 5 % und die Restfeuchte nach dem Pressen mit 45 % definiert. Für Waschstraße 1 und 2 wurde der Abwasserwärmetauscher in die Bilanzierung eingebunden und die Frischwasser- und Abwassertemperaturen vor bzw. nach dem Wärmetauscher angesetzt.

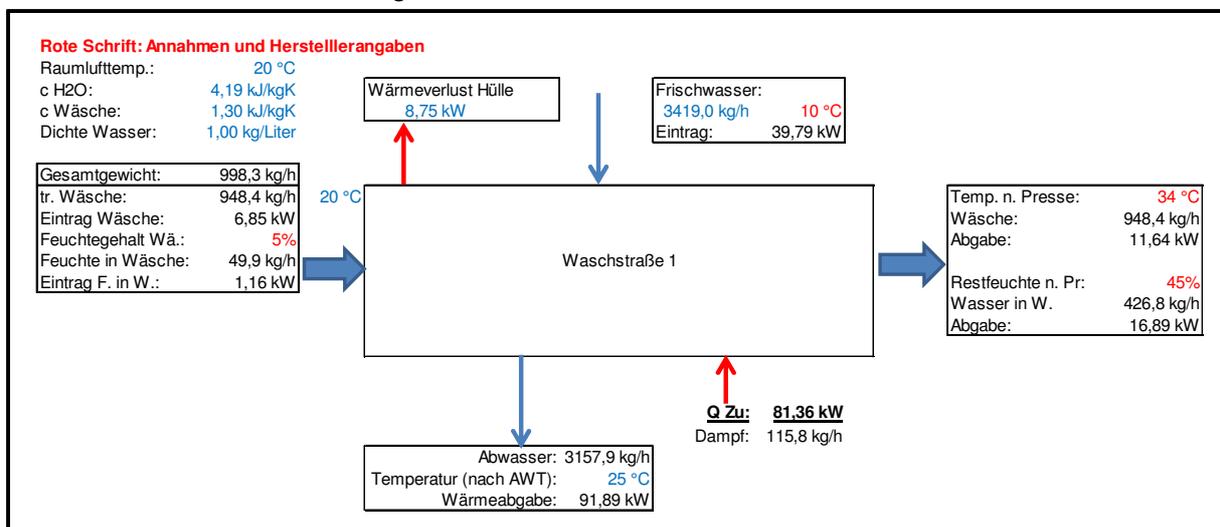


Abbildung 83: Bilanz Waschstraße 1 der Wäscherei für Krankenhauswäsche

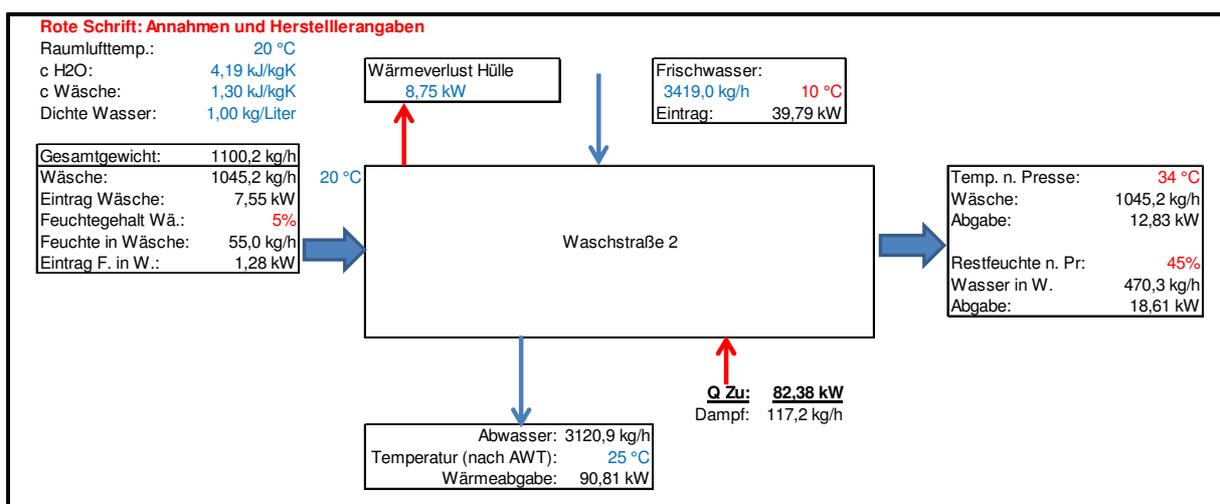


Abbildung 84: Bilanz Waschstraße 2 der Wäscherei für Krankenhauswäsche

Bei der Bilanzierung von Waschstraße 3 wurde kein Wärmetauscher berücksichtigt, da das Abwasser von WSR 3 dem Abwasserwärmetauscher von WSR 1+2 zugeführt und nur in WSR 1+2 genutzt wird.

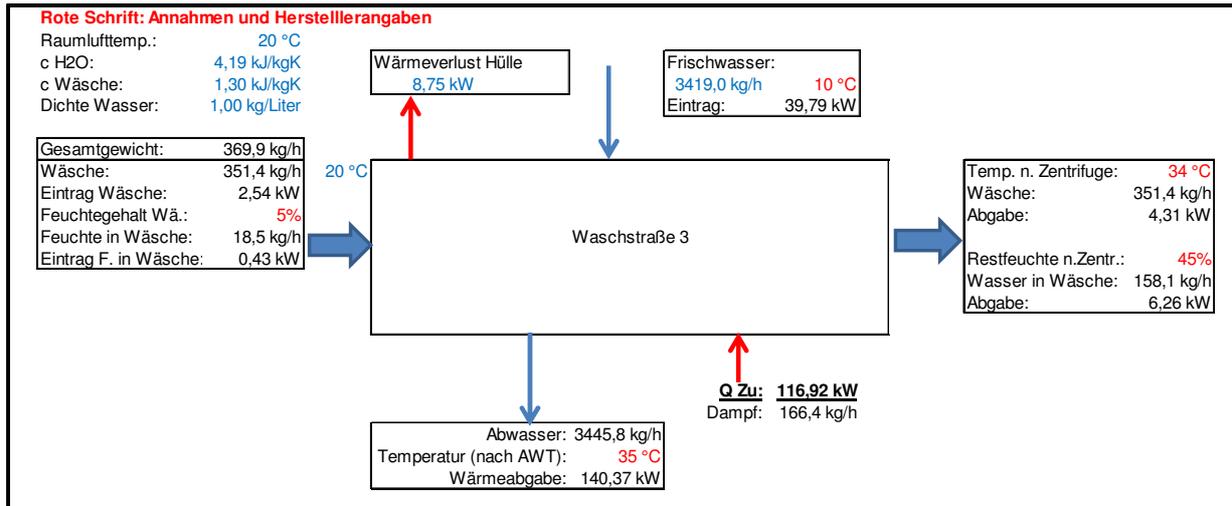


Abbildung 85: Bilanz Waschstraße 3 der Wäscherei für Krankenhauswäsche

Wie bereits oben erwähnt, wurde für die Waschschleudermaschinen eine Sammelbilanz erstellt. WSM 1 bis 8 wurden nur eine Schicht pro Tag genutzt, weshalb die Wäschemenge für alle WSM nach den Daten der Wäscherei im Betrachtungszeitraum im Mittel 1,055 t/d betrug. Nachdem eine genauere Untersuchung – mit Ausnahme des Wasserverbrauchs - nicht durchgeführt wurde, wurden qualifizierte Annahmen für die Temperatur der Wäsche nach dem Waschprozess und alle anderen, in roter Schrift dargestellten Größen getroffen. Die Frischwassermenge wurde durch Messung für 6 Waschschleudermaschinen -WSM 3 bis 8- ermittelt. Die Anbindung von WSM 1 und 2 konnte nicht für Messungen verwendet werden. Zur Abbildung eines annähernd plausiblen Verbrauchs wurde der gemessene Wasserverbrauch mit dem Korrekturfaktor 8/6 erhöht. Der Faktor ergibt sich aus den insgesamt 8 WSM im Verhältnis zu den 6 WSM, die in der Verbrauchsmessung erfasst wurden.

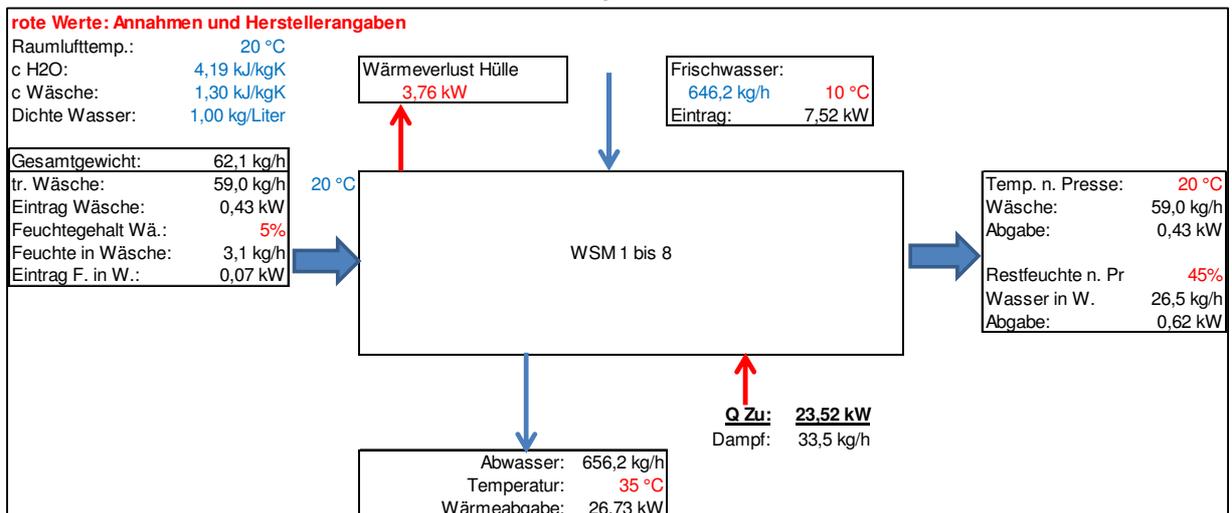


Abbildung 86: Sammelbilanz für WSM 1 bis 8, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Für eine mögliche Wärmerückgewinnung boten sich ebenfalls die drei Mangeln an. Sie befanden sich in relativ geringer Entfernung zu den Waschstraßen, so dass der Aufwand für Rohrleitungen bei den Investitionen nicht zu groß würde. **Abbildung 87**, **Abbildung 88** und **Abbildung 89** zeigen die Bilanzen der Mangeln. Das vorhandene Abwärmepotenzial der Mangeln ist in der Abluft enthalten und im Leistungswert „Abwärme“ ausgewiesen.

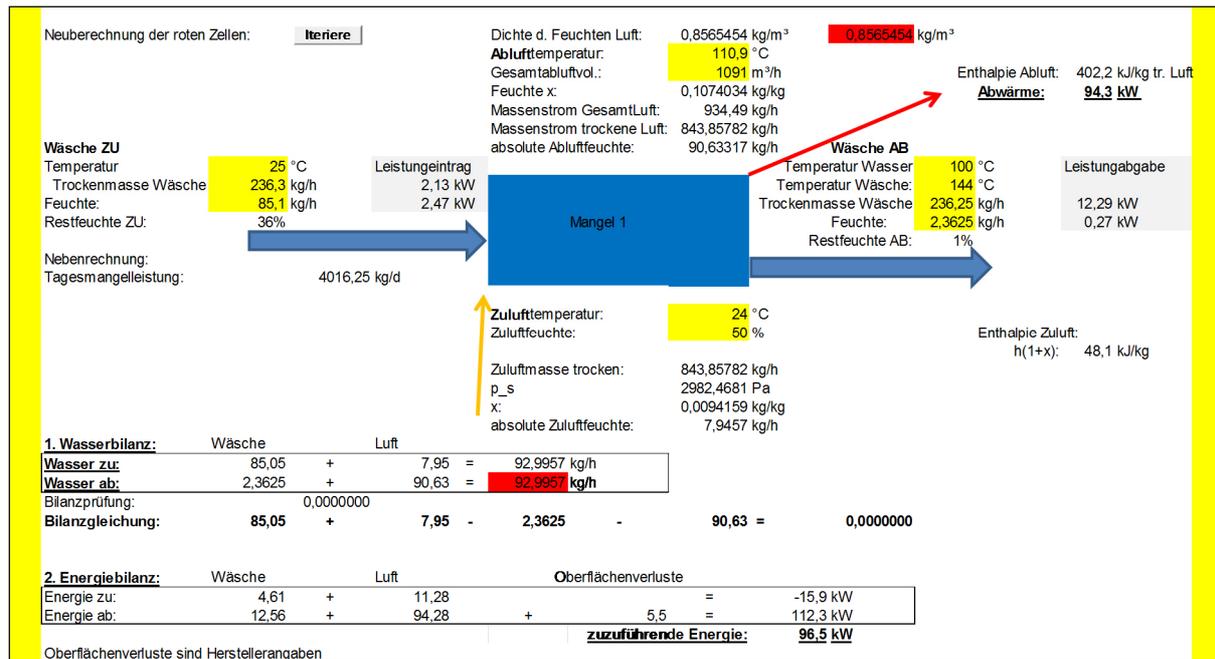


Abbildung 87: Stoff- und Energiebilanz von Mangel 1, Wäscherei für Krankenhauswäsche

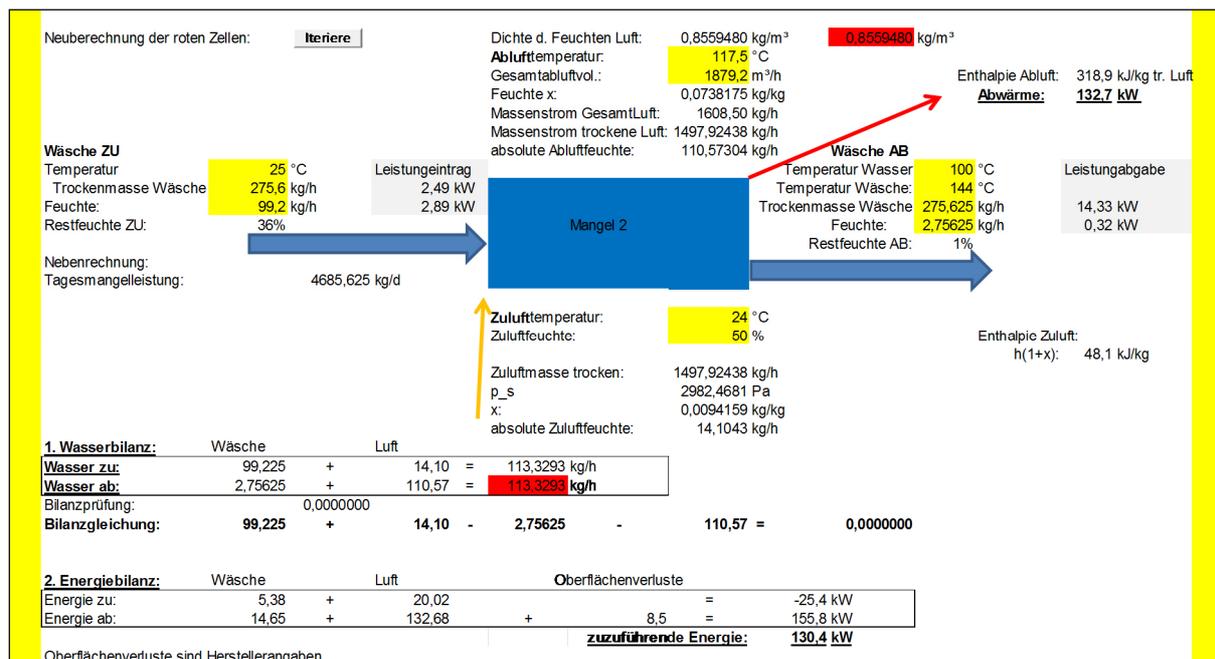


Abbildung 88: Stoff- und Energiebilanz von Mangel 2, Wäscherei für Krankenhauswäsche

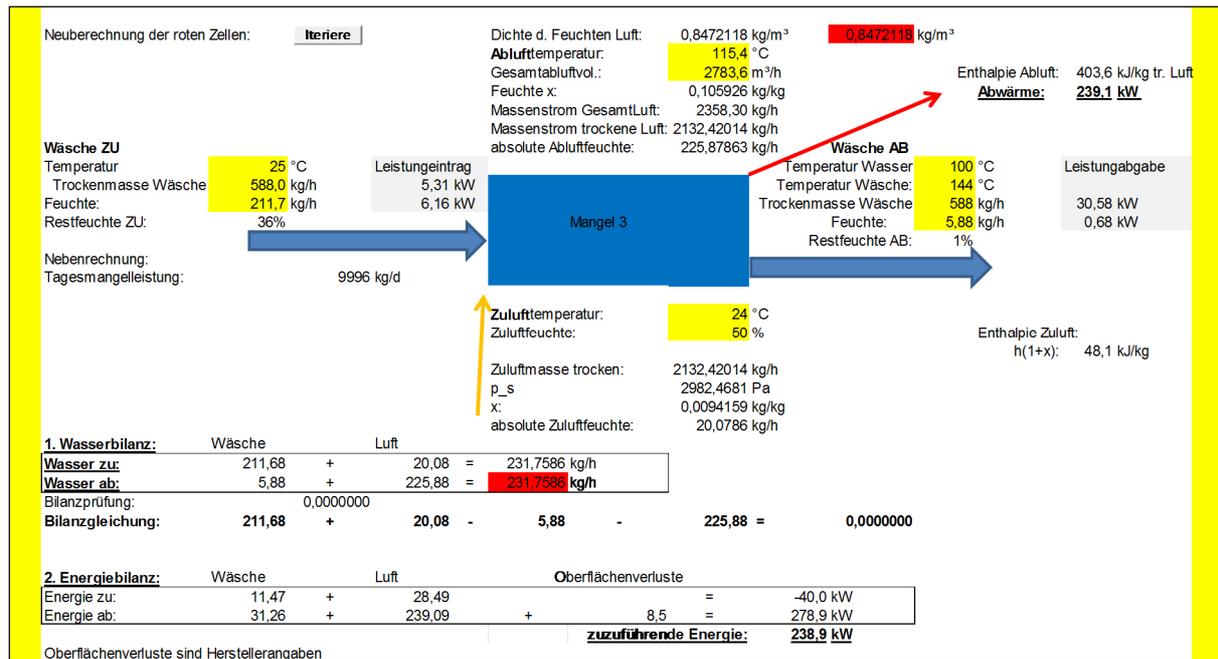


Abbildung 89: Stoff- und Energiebilanz von Mangel 3, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Tunnelfinisher

Während der IST-Analyse wurde der Tunnelfinisher mit einem Durchsatz von ca. 2.400 Teilen pro Stunde betrieben. Zur Entfernung von Knittern wurde beim Einlauf der Teile kontinuierlich Dampf aufgesprüht. Der eingestellte Sprühdampfdruck war so hoch eingestellt, dass der Sprühdampf am Tunneleingang ausströmte. Bei der Berechnung der in der Abluft enthaltenen Energie wurde eine mittlere Abwärmeleistung von ca. 553 kW gemessen. Bei einer mittleren Leistung von ca. 170 kW vor dem Brenner (Erdgas) verbleibt, bei Vernachlässigung von Energie in der Zuluft und in der Wäsche sowie Feuchtezu- und abfuhr mit Wäsche, eine Dampfleistung von 383 kW. Die Fehlerrate bei der Abluftmessung wird als hoch angesehen, weil die mittlere Feuchte der Abluft ca. 96 % betrug und Sensoren ständigem Tauausfall ausgesetzt waren.

Trockner

Die mit Erdgas beheizten Trockner wurden ebenfalls untersucht. Bis auf Trockner 7 bis 10 war keiner dieser Trockner mit einem Abluftwärmetauscher ausgerüstet. Am Beispiel von Trockner 10 wurde der Nutzen des Abluftwärmetauschers untersucht. Dieser Kreuzstromwärmetauscher befand sich über dem Trockner und wärmte mit der Abluft die angesaugte Frischluft vor. Mit Hilfe der Messdaten wurden zwei Bilanzen für den Trockner erstellt, eine fiktive Bilanz unter Ausschluss des Wärmetauschers - Ablufttemperatur gleich Eintrittstemperatur in den Wärmetauscher - und eine Bilanz mit der Ablufttemperatur nach dem Wärmetauscher. Zur Berechnung der Feuchte wurde nur die Raumluftfeuchte sowie die ermittelten Feuchtwerte des Wäschepostens verwendet. Der Luftmassenstrom wurde für beide Betrachtungen mit dem gleichen Wert angenommen.

Da eine automatisierte Verbrauchsdatenerfassung zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht möglich war, wurde die Kalkulation mit Absolutwerten und nicht mit ermittelten Leistungs- und Stoffströmen durchgeführt (siehe **Abbildung 90** und **Abbildung 91**).

Tabelle 43: Berechnung des elektrischen Energiebedarfs, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Verbraucher	Betriebsstunden [h]	Nennleistung [kW]	Gleichzeitigkeitsfaktor	Elektr. Energiebedarf [kWh/a]	Anmerkungen
WSR 1	4.250	21,9	0,7	65.153	
WSR 2	4.250	21,9	0,7	65.153	
WSR 3	4.250	16,7	0,7	49.683	
WSM 1 – 8	2.000	62	0,5	62.000	Nur 8 Stunden Betrieb pro Tag, Leistung Annahme
4x Schüttler DT 60 (Trockner 26 – 29)	4.250	24	0,6	61.200	
Saugzuggebläse	4.250	15	0,3	19.125	
Trockner 1 – 10	4.250	118	0,7	351.050	
Trockner 11 – 17	4.250	30,1	0,6	76.755	
Trockner 20-25 + 30	4.250	39,2	0,6	99.960	
Mangel 1 – 3	4.250	76,8	0,7	228.480	
Tunnelfinisher 1	4.250	37,5	0,7	111.563	
Brenner Dampfkessel	4.250	15,99	0,7	47.570	
Druckluft-erzeugung	4.250	33,5	0,9	128.138	Leistung nach Komp.messung + Drucklufttrockner
Beleuchtung Halle	4.250	33	0,3	42.075	Leistung nach Leuchtenerfassung + Abschätzung Metalldampfleuchten
Weitere Verbraucher	4.250	81,4	0,3	103.785	Leistung nach Auflistung bekannter Verbraucher mit 10 % Zuschlag (siehe auch Kapitel 9.2.1)
Gesamt:				1.511.688	

Mit wenigen Ausnahmen sind die Verbraucher in einem kontinuierlichen Wechsel zwischen Lastlauf oder Leerlauf bzw. Stillstand, so dass ein der Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,5 bis 0,9 ermittelt wurde. Bei bekannten, größeren Abweichungen der Betriebszeit, wie zum Beispiel bei den Waschschleudermaschinen, wurde diese ebenfalls berücksichtigt. Die Beleuchtung wurde mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,3 berücksichtigt, weil auf größeren Flächen die Beleuchtung nur bedarfsabhängig manuell betrieben wird. Unter „Sonstiges“ sind Trockner 18 und 19 und der Verwaltungstrakt mit Sozialräumen und Hausmeisterwohnung enthalten. Für den nicht untersuchten Verwaltungstrakt und die Hausmeisterwohnung wurden pauschal eine durchschnittliche elektrischen Leistung von 30 kW angenommen.

Die jährlichen Betriebsstunden von 4.250 h ergeben sich aus 17 Stunden tägliche Betriebszeit an 250 Arbeitstagen im Jahr.

Als Vergleichswert zu dem in **Tabelle 43** ermittelten Wert stand ein jährlicher Strombedarf von 1.514.976 kWh aus dem Jahr 2012 gegenüber.

6.2.1.4.2 Druckluft

Die Kompressoren der Wäscherei befanden sich auf dem Dach der Personenschleuse und des Trockenraums auf der unreinen Seite der Waschhalle. Der Drucklufttrockner war im Obergeschoss der Waschhalle auf der unreinen Seite aufgestellt. Die Druckluft wurde mit zwei einstufigen Kompressoren mit einer Gesamtnennleistung von 56 kW erzeugt.

Die Kompressoren verfügten über eine Netzwerkanbindung und konnten mit dem vom Hersteller der Kompressoren programmierten „Air-Master“ – einem Managementtool - ausgewertet werden.

Dieses Tool errechnet aus den Daten der Kompressoren (Temperatur, Druck, Drehzahl) und den hinterlegten kompressorspezifischen Kennfeldern die Luftmengen und Energieverbräuche.

Folgende Werte konnten aus dem Tool für den untersuchten Zeitraum ermittelt werden:

Tabelle 44: Leckratenermittlung des Druckluftnetzes, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Betrachtungszeitraum	Bei laufender Produktion: 18:00 - 20:30 Uhr	Ohne Produktion, nachts: 00:00 – 3:30 Uhr
Mittlere Liefermenge	4,34 m ³ /min	0,68 m ³ /min
Mittlerer Leistungsbedarf	ca. 32 kW	9,24 kW
Leckrate	16 % (bezogen auf die Liefermenge)	
Mittlerer Netzdruck	7,2 bar	

Das Betriebsverhalten der Druckluftanlage war charakterisiert durch eine relativ geringe Schwankungsbreite des Druckes und durch häufige Schaltzyklen des einstufigen Kompressors, der nachts in Betrieb war (siehe **Abbildung 92**). Der zur Abbildung des Lastzustandes des einstufigen Kompressors genutzte Ausgabewert „System FAD“ steht für „free air delivery“ und stellt eine standardisierte Liefermenge von Kompressoren unter Berücksichtigung von Druck und Temperatur dar.

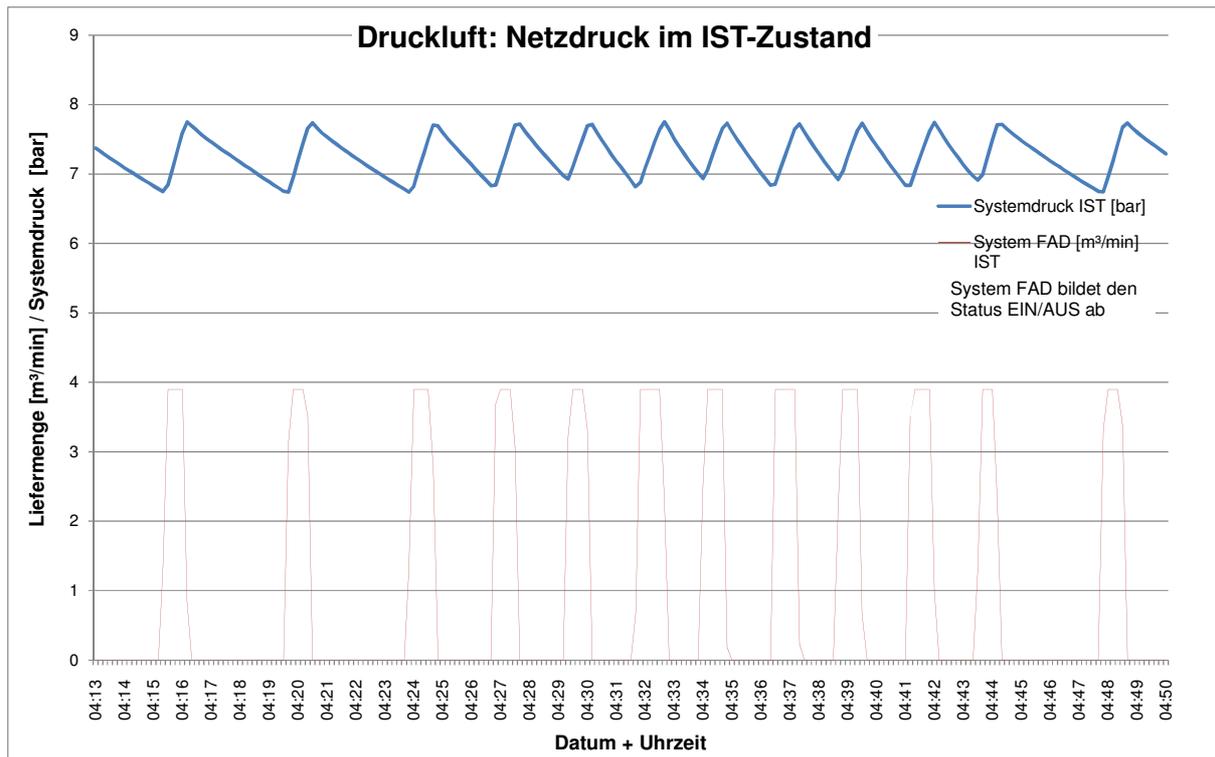


Abbildung 92: Netzdruck der Druckluft im IST-Zustand, Wäscherei für Krankenhauswäsche

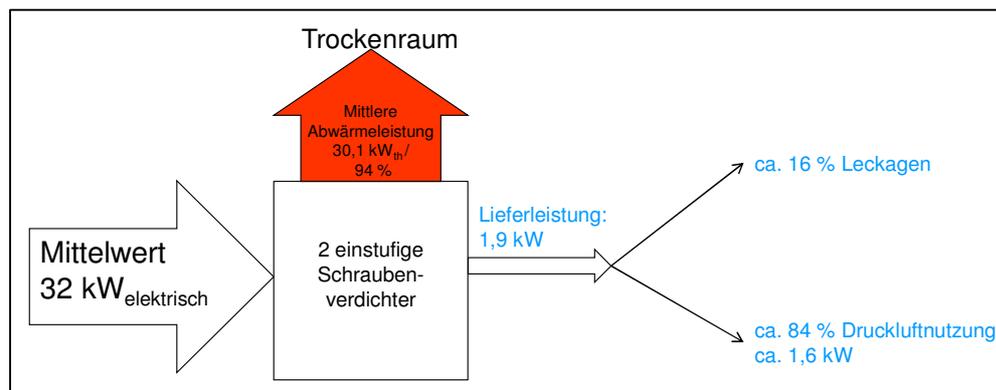


Abbildung 93: Energieflussdiagramm Druckluft für Wäscherei für Krankenhauswäsche

Wie **Abbildung 93** zeigt, erreicht die Druckluftanlage eine Leckrate von 16 %. Dieser Wert wurde anhand der errechneten Volumenstromwerte ermittelt. Betrachtet man die vom „Air-Manager“ zur Verfügung gestellten Energieverbräuche – die offensichtlich durch die Start-Stop-Zyklen und die Lastwechsel beeinflusst werden – so beträgt der nächtliche Leistungsbedarf (9,24 kW), also ca. 29 % des Leistungsbedarfs am Tag (ca. 32 kW).

Das Druckluftnetz verfügt über eine Ringleitung zu den Waschstraßen und zu den Mangeln sowie über eine sehr lange Stichleitung, die von den Mangeln ausgehend zum Tunnelfinisher führt und am Hallenrand verlaufend an den Laderampen vor dem Wäschelager endet. Da die Druckluftleitung zu den Mangeln auf der anderen Seite des Wäschelagers vorbeiführt, wäre zum Schließen dieser langen Stichleitung nur eine Strecke von ca. 25 m zu überbrücken.

Im Rahmen der IST-Analyse wurde auch untersucht, ob das vorhandene Druckluftnetz ausreichend dimensioniert ist. Dazu wurde der Druck im Netz am ungünstigsten Verbraucher (Druckluftanschluss bei den Laderampen der Auslieferung) mit einem Drucksensor gemessen. Wie in **Abbildung 94** zu sehen ist, war der Druckverlauf ähnlich zum Verlauf am Kompressor, woraus sich eine ausreichende Dimensionierung ergibt.

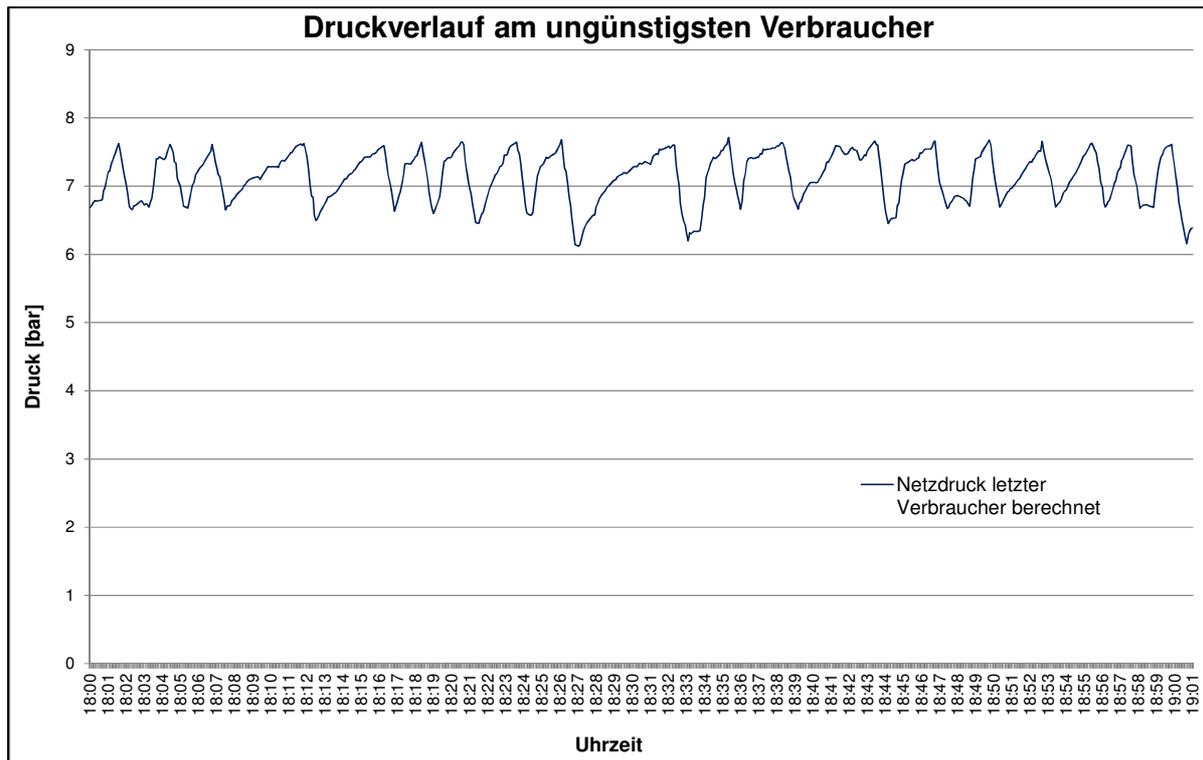


Abbildung 94: Druckverlauf am ungünstigsten Druckluftverbraucher, Wäscherei für Krankenhauswäsche

6.2.2 Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien

6.2.2.1 Wasserqualitäten

• Frischwasser

Das Frischwasser im Wäschereibetrieb für Krankenhauswäsche wies bei der IST-Analyse eine Temperatur von 17 °C auf und hatte eine elektrische Leitfähigkeit von 1.512 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Der pH-Wert betrug 7,51 was einen akzeptablen Wert darstellt. Die Wasserhärte betrug 22,3 °d (3,97 mmol/l). Der Grenzwert für den pH-Wert von Trinkwasser liegt nach Trinkwasserverordnung zwischen 6,5 und 9,5 [6].

Waschen wird entweder mit nicht enthärtetem Trinkwasser (z.B. in WSM 1, **Kapitel 6.2.2.2.2**) oder mit enthärtetem Wasser durchgeführt. Das verwendete *Weichwasser* hatte zum Messzeitpunkt eine Temperatur von 16 °C und wies durch den Enthärtungsvorgang eine leicht reduzierte Leitfähigkeit von 1.471 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf. Der ermittelte pH-Wert war 7,9. Die Wasserhärte betrug 0,3 °d (0,05 mmol/l). Da zum Waschen ausschließlich Trinkwasser bzw. enthärtetes Trinkwasser verwendet wird, kann davon ausgegangen werden, dass neben den untersuchten Parametern alle anderen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung eingehalten werden.

• Abwasser

Die nach **Kapitel 3.2.3.1** durchgeführte Abwasseranalyse zeigte am Übergabeschacht einen pH-Wert von 8,79 und eine Abwassertemperatur von 35 °C. Der Abdampfdruckstand ist mit 29,44 g/l als gering einzustufen. Der Eisengehalt liegt mit 0,15 mg/l ebenfalls im akzeptablen Bereich. Weitere Inhaltsstoffe wie Arsen, Cadmium, Chrom, Nickel und Quecksilber wurden nicht untersucht, jedoch kann bei Betrachtung der vorliegenden Analysenwerte davon ausgegangen werden, dass die Einleitung auch ohne Abwasseraufbereitungsanlage oder andere Maßnahmen problemlos möglich ist.

• Wasserparameter innerhalb von Waschstraße und Tanks

Die Wasserqualitäten wurden innerhalb der einzelnen Kammern der drei Waschstraßen, vom verwendeten Frisch- und Regenwasser 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 einer Präzisionsanalysenwaage ermittelt.

Tabelle 45 und **Tabelle 46** zeigen die Untersuchungsergebnisse des Frischwassers sowie des Wassers innerhalb der Waschstraßenkammern, der Waschmaschine und der jeweiligen Waschprogrammschritte.

Die Untersuchungsergebnisse des Frischwassers, des rückgewonnenen Wassers sowie des Wassers innerhalb der Waschstraßenkammern und Waschprogrammschritte zeigten keine Auffälligkeiten und entsprechen den Werten, wie sie vom Waschmittellieferanten vorgesehen und eingestellt wurden.

Tabelle 45: Analysewerte untersuchter Wasserproben der Waschstraßen, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Parameter Probe	pH-Wert	Temperatur in °C	Leitfähigkeit in µS/cm	Gesamt- härte in °d	Abdampf- rückstand in g/l	Eisen in mg/l
Waschstraße 1						
K1	11,18	49	3,46	1,5	3,11	0,1
K2	11,34	48	3,59	1,4	3,2	0,1
K6	10,89	58	3,02	1,2	2,95	0,1
K7	10,64	75	2,91	1,7	2,73	0,1
K8	9,64	72	2,76	1,2	2,44	0,1
K9	9,94	69	2,59	2	2,63	0,1
K15	9,62	60	2,52	0,4	3,12	0,1
K16	8,62	47	1,86	0,4	1,35	0,1
K19	6,62	40	2,02	0,7	1,24	0,1
Waschstraße 2						
K1	11,05	50	3,63	2,0	3,35	0,1
K2	11,04	50	3,74	1,7	3,07	0,1
K6	9,95	60	2,56	1,2	-	0,1
K7	10,41	72	3,01	1,8	3,12	0,1
K8	10,33	74	3,07	1,6	2,89	0,1
K9	10,24	71	3,11	2,0	3,09	0,1
K15	9,75	56	2,62	0,7	1,72	0,1
K19	6,7	45	2,21	1,1	1,76	0,1
Waschstraße 3						
K1	9,87	47	1,99	0,9	1,78	0,1
K3	9,48	74	1,76	0,6	1,47	0,05
K4	7,94	76	1,85	0,5	1,75	0
K5	8,11	75	1,75	0,6	1,68	0
K9	8,19	53	1,81	0,8	1,71	0,1
K10	8,39	45	1,74	0,4	1,37	0,05
K11	7,27	41	1,91	0,6	1,29	0

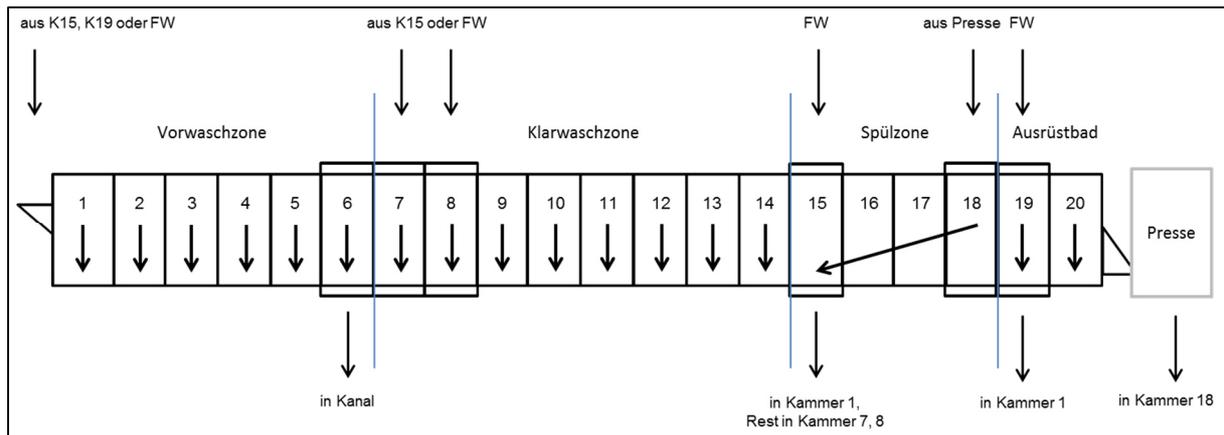


Abbildung 95: Anlagenkonzeption der Waschstraßen WSR 1 und 2, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Alle Waschstraßen werden ausschließlich mit Direktdampf beheizt (4 bar_{abs}), wobei die Waschflotte nur in den Kammern 6, 7 und 8 aufgeheizt wurde. Die Flottentemperaturen der beheizbaren Kammern betragen zum Zeitpunkt der Messungen:

- Kammer 6: 60 °C (Soll) 58 °C (Ist)
- Kammer 7: 70 °C (Soll) 75 °C (Ist)
- Kammer 8: 70 °C (Soll) 72 °C (Ist)

Die Flottenführung im untersuchten Waschprogramm 1 (Flachwäsche, Krankenhaus) wies folgende Besonderheiten auf (**Abbildung 95**):

- Kammer 1: Einschwemmen der Wäsche mit Flottenverhältnis von 5 l/kg mit rückgewonnenem Wasser aus Kammer 15 und 19, ggf. ergänzt durch Frischwasser
- Kammer 6: Flottenablass zum Taktende in Kanal
- Kammer 7 - 14: Zufuhr rückgewonnener Spülflotte aus Kammer 15, ggf. ergänzt durch Frischwasser, Flottenverhältnis 4 l/kg, bei Taktende in Kammer 14 Umladen des Postens mit gesamter Flotte in Kammer 15
- Kammer 15 - 18: zu Taktbeginn Flottenablass in Kammer 1, Rest in Kammer 7 und 8; Auffüllen mit Gegenstrom, ergänzt durch Frischwasser; Flottenverhältnis von etwa 5 l/kg (aus Presse)
- Kammer 19: zu Taktbeginn Frischwasserzugabe, stehendes Bad, Flottenverhältnis 5 l/kg, Flottenablass zu Taktende in Kammer 1 auf Flottenverhältnis von 3 l/kg
- Kammer 20: stehendes Bad, bei Taktende Umladen in Presse

Wasch- und Waschhilfsmittel (Hersteller: Fa. Ecolab GmbH) wurden in konstanter Menge pro Waschtakt in die Kammern dosiert, wobei diese Mengendosierung über die Laufzeit der Dosierpumpe eingestellt war:

Kammer 1:	Triplex Emulsion (Alleinwaschmittel)	6,4 g/kg
	Turbo Break (Alkalibooster)	2,6 g/kg
Kammer 7:	Triplex Emulsion (Alleinwaschmittel)	2,6 g/kg
	Turbo Break (Alkalibooster)	1,3 g/kg
	Ozonit performance (Bleich- und Desinf.-mittel)	4,0 g/kg
	Oxybrite perfect (Sauerstoffbleichmittel)	2,2 g/kg
	Seifenkonzentrat	1,0 g/kg
Kammer 19:	Finale spezial (Zitronensäure)	3,4 g/kg

Vor den Untersuchungen wurde die Dosierung der Waschmittelmengen zusammen mit dem Waschmittelhersteller überprüft.

Im untersuchten Waschprogramm beider Waschstraßen (Programm Nr. 1) betrug die Taktzeit 75 s plus 15 s Transportzeit des Postens zur nächsten Kammer.

Der g-Faktor der Trommel betrug 0,045 und der Schwenkwinkel 290°. Die Entwässerung erfolgte durch eine Entwässerungspresse mit einem Pressdruck von 37 bar über ca. 60 s.

WSR 3

Abbildung 96 zeigt die Anlagenkonzeption für Waschstraße 3. Die einzelnen Bearbeitungszonen sind wie folgt eingeteilt:

- Vorwaschzone Kammer 1 - 3 (stehendes Bad)
- Klarwaschzone Kammer 4 - 9 (stehendes Bad)
- Spülzone Kammer 10 - 11 (stehendes Bad)

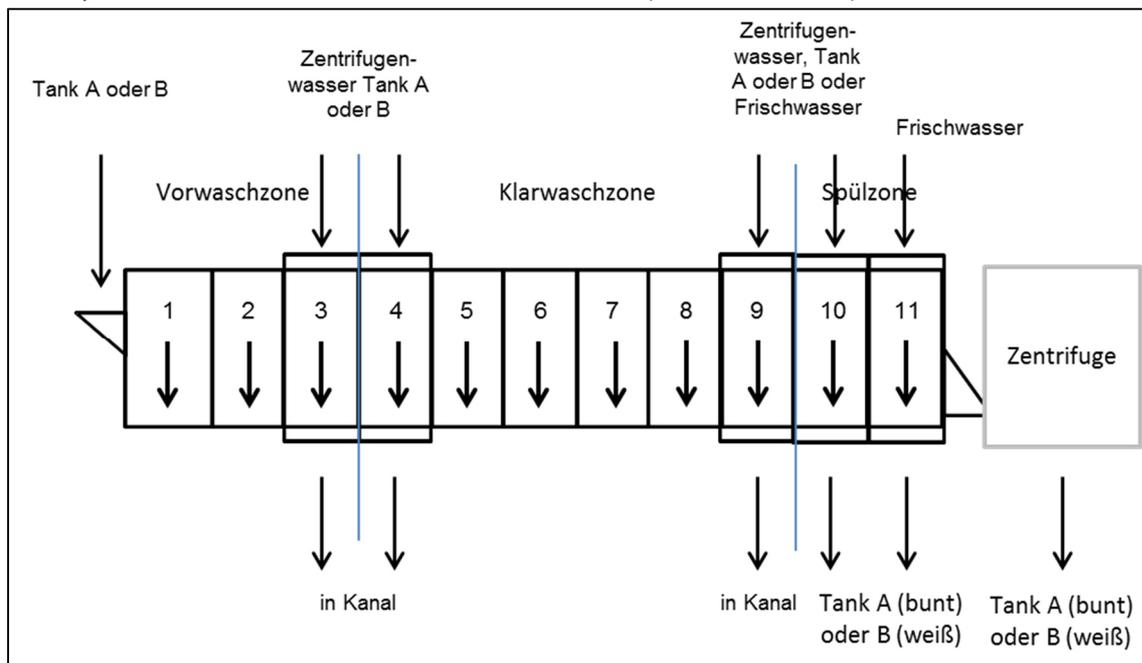


Abbildung 96: Anlagenkonzeption von Waschstraße WSR 3, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Auch Waschstraße 3 wurde ausschließlich mit Direktdampf beheizt (ca. 4 bar_{abs}), wobei die Waschflotte nur in den Kammern 3 und 4 aufgeheizt wurde. Die Flottentemperaturen der beheizbaren Kammern betragen zum Zeitpunkt der Messungen:

- Kammer 3: 75 °C (Soll) 74 °C (Ist)
- Kammer 4: 75 °C (Soll) 76 °C (Ist)

Die Flottenführung (**Abbildung 96**) im untersuchten Waschprogramm 1 (Krankenhaus Flachwäsche) wies folgende Besonderheiten auf:

- Kammer 1: Einschwemmen der Wäsche mit Flottenverhältnis von 4 l/kg mit rückgewonnenem Wasser aus Tank A oder B
- Kammer 3: stehendes Bad mit 4 l/kg, ggf. Zugabe von Wasser aus Zentrifuge (Tank A oder B), zu Taktende Flottenablass in Kanal
- Kammer 4: zu Taktbeginn Flottenablass in Kanal und Zugabe von Wasser aus Zentrifuge (Tank A oder B), Flottenverhältnis von 4 l/kg
- Kammer 9: zu Taktbeginn Flottenablass in Kanal, Zugabe von Wasser aus Zentrifuge (Tank A oder B), Flottenverhältnis 5 l/kg
- Kammer 10: zu Taktbeginn Flottenablass in Tank A oder B, dann Flottenverhältnis von etwa 5 l/kg mit Wasser aus Tank A oder B

Kammer 11: zu Taktbeginn Flottenablass in Tank A oder B, dann Flottenverhältnis von etwa 5 l/kg aus Frischwasser, zu Taktende Flottenablass auf etwa 2 l/kg in Tank A oder B, Umladen in Zentrifuge

Wasch- und Waschhilfsmittel (Hersteller: Fa. Ecolab GmbH) wurden in konstanter Menge pro Waschtakt in die Kammern dosiert, wobei diese Mengendosierung über die Laufzeit der Dosierpumpe eingestellt war:

Kammer 1:	Triplex Emulsion (Alleinwaschmittel)	6,4 g/kg
	Turbo Break (Alkalibooster)	2,7 g/kg
Kammer 4:	Triplex Emulsion (Alleinwaschmittel)	3,9 g/kg
	Ozonit performance (Bleich- und Desinf.mittel)	4,6 g/kg
Kammer 11:	Elpa Soft (Weichspüler)	1,0 g/kg
	Finale spezial (Zitronensäure)	3,8 g/kg

Vor den Untersuchungen wurde die Dosierung der Waschmittelmengen zusammen mit dem Waschmittelhersteller überprüft.

Im untersuchten Waschprogramm der Waschstraße WSR 3 (Programm Nr. 1) betrug die Taktzeit 150 s plus 15 s Transportzeit des Postens zur nächsten Kammer. Der g-Faktor betrug 0,045 und der Schwenkwinkel 290°. Die Entwässerung erfolgte durch eine Zentrifuge mit 300 g über 90 s.

6.2.2.2 Waschschleudermaschinen

Wie bereits erwähnt, wurde nur verfahrenstechnisch nur WSM 1 (Lavatec LX325) mit Waschprogramm 12 (Kopfkissen Krankenhaus) näher untersucht. Die mantelbeschickte Waschmaschine (1130 l Trommelvolumen, D-Teilung) wurde mit Direktampf beheizt (ca. 4 bar_{abs}). Das untersuchte Waschprogramm 12 wies folgende Besonderheiten auf:

Programmschritt 1: Klarwäsche

Füllverhältnis:	60 l/kg
g-Faktor:	0,54 g
Wasserart:	Hartwasser (22,3 °d; 3,97 mmol/l)
Flottenverhältnis:	11 l/kg
Flottentemperatur:	kalt
Waschmitteldosierung:	manuelle Dosierung von: 50 g/kg Alleinwaschmittel und 62 g/kg Intensivbleichmittel auf Chlorbasis
Dauer:	5 min, anschließend
Flottentemperatur:	72 °C
Dauer:	10 min, dann Cool-down durch Frischwasser bis 45 °C (Erhöhung Flottenverhältnis auf 17,2 l/kg), dann Ablass in Kanal mit Zwischenschleudern (54 g, 1 min)

Programmschritt 2: 1. Spülen

Wasserart:	Hartwasser
Flottentemperatur:	kalt
Flottenverhältnis:	12,5 l/kg
Dauer:	2,5 min, dann Ablass in Kanal

Programmschritt 3: 2. Spülen

Wasserart:	Hartwasser
Flottentemperatur:	kalt
Flottenverhältnis:	12,5 l/kg
Dauer:	2,5 min, dann Ablass in Kanal

Programmschritt 4: Endschleudern

Dauer: 182 g über 2,7 min, Ablass in Kanal

6.2.3 Schmutzentfernung

Die **Abbildung 97** bis **Abbildung 99** zeigen die während des Untersuchungszeitpunktes erzielte Schmutzentfernung in den Waschstraßen.

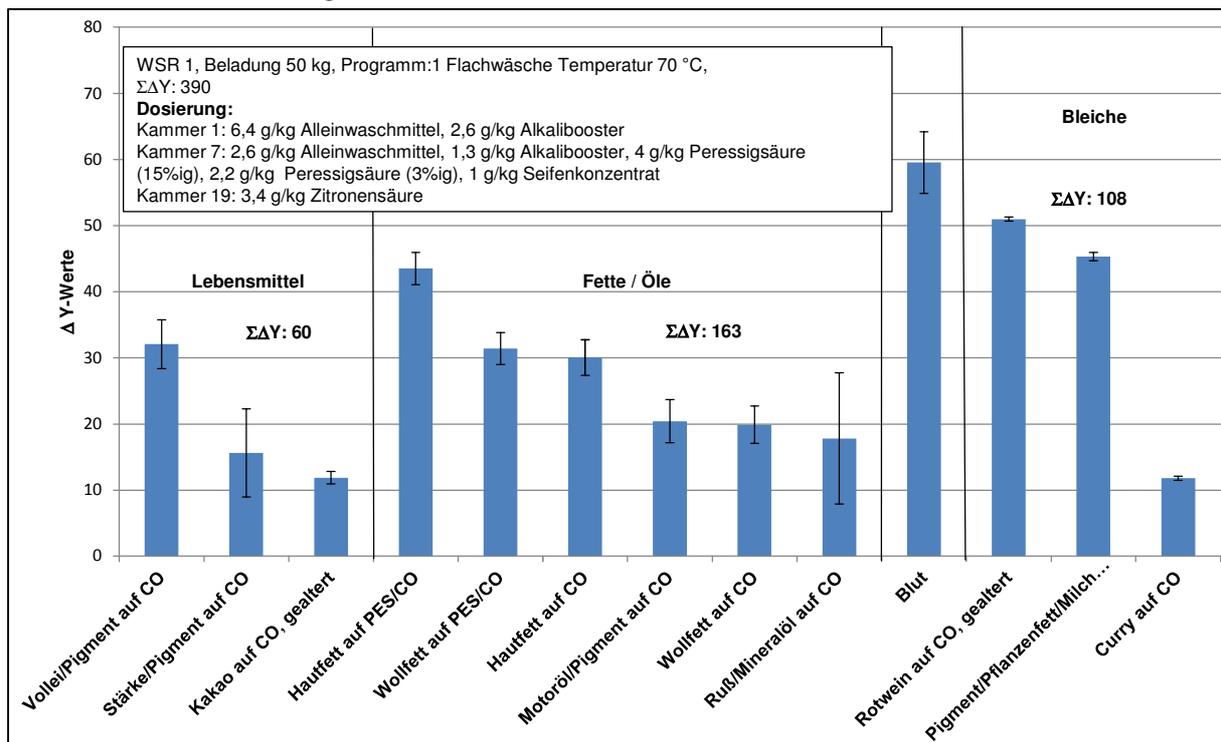


Abbildung 97: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschstraße WSR 1, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Krankenhauswäsche

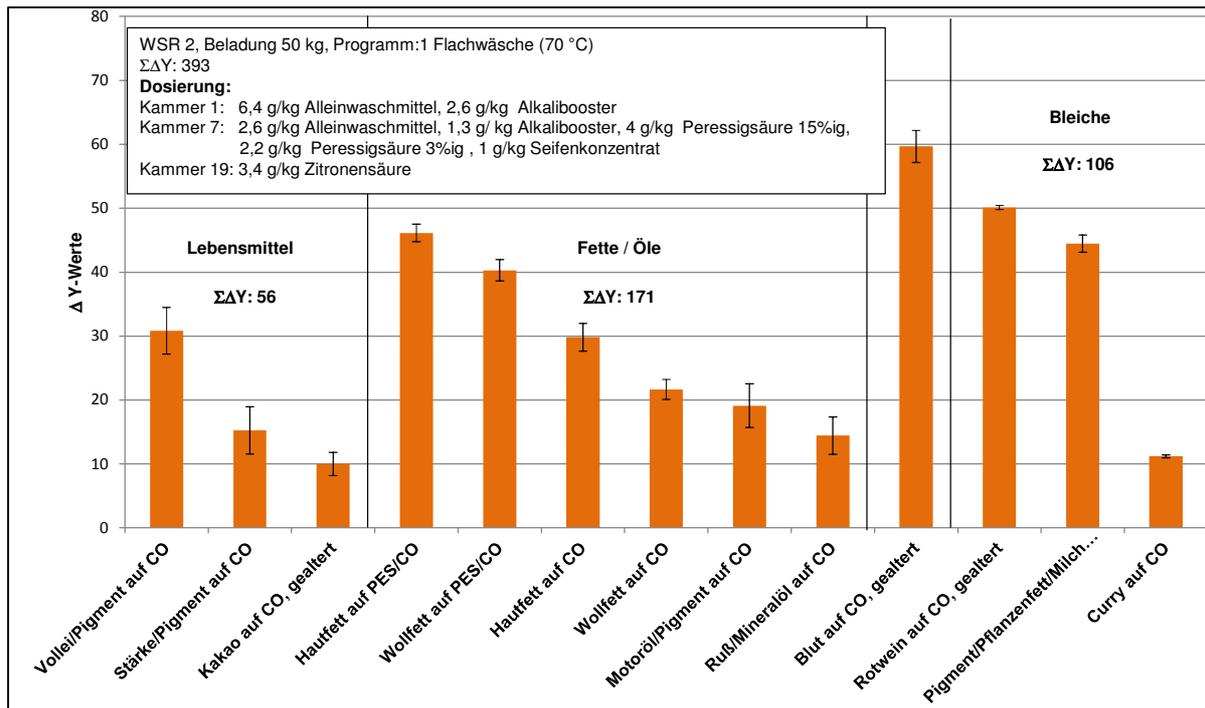


Abbildung 98: Schmutzentfernung (ΔY-Wert ± Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschstraße WSR 2, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Die Ergebnisse der Schmutzentfernung an den eingesetzten Anschmutzarten liegen erwartungsgemäß in den beiden identischen Waschstraßen mit gleicher Waschmitteldosierung in gleicher Größenordnung (**Abbildung 97** und **Abbildung 98**).

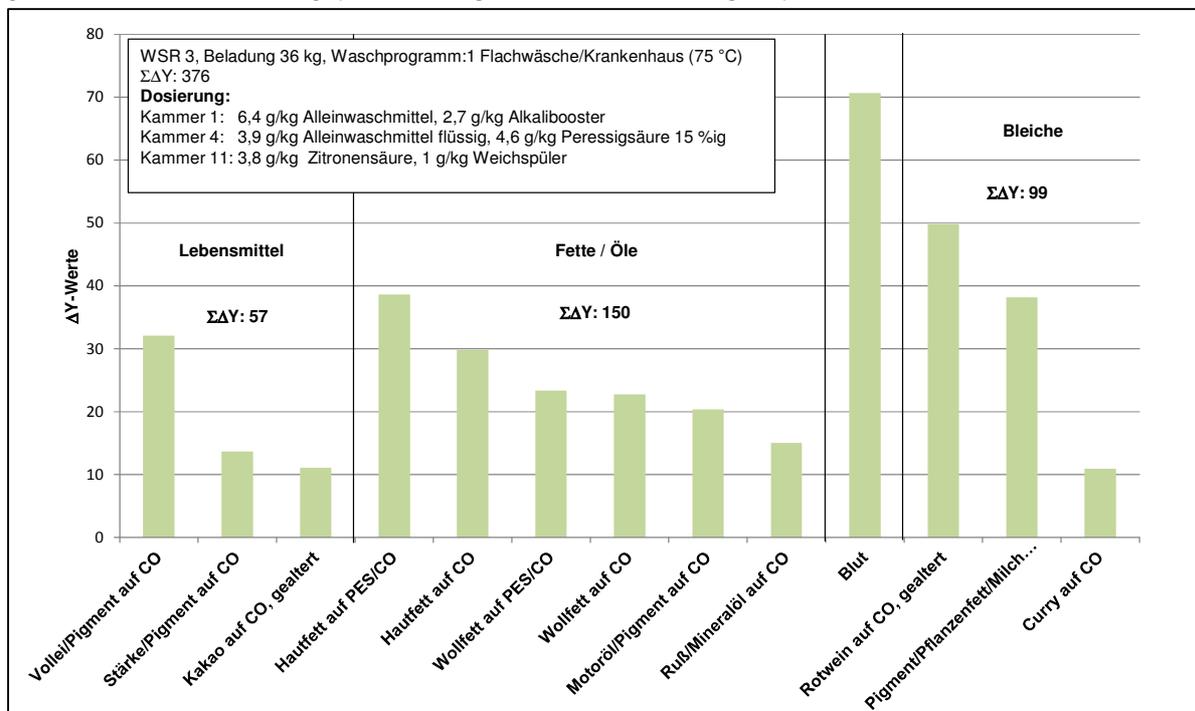


Abbildung 99: Schmutzentfernung (ΔY-Wert ± Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschstraße WSR 3, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Die in Waschstraße WSR 3 behandelten Schmutzmonitore (**Abbildung 99**) zeigten im Vergleich zu den in WSR 1 und 2 behandelten Schmutztestgeweben für bleichbare und Lebensmittelverschmutzungen etwa gleich hohe Schmutzentfernung, an fett-/öhlhaltigen Verschmutzungen etwas geringere Schmutzentfernung.

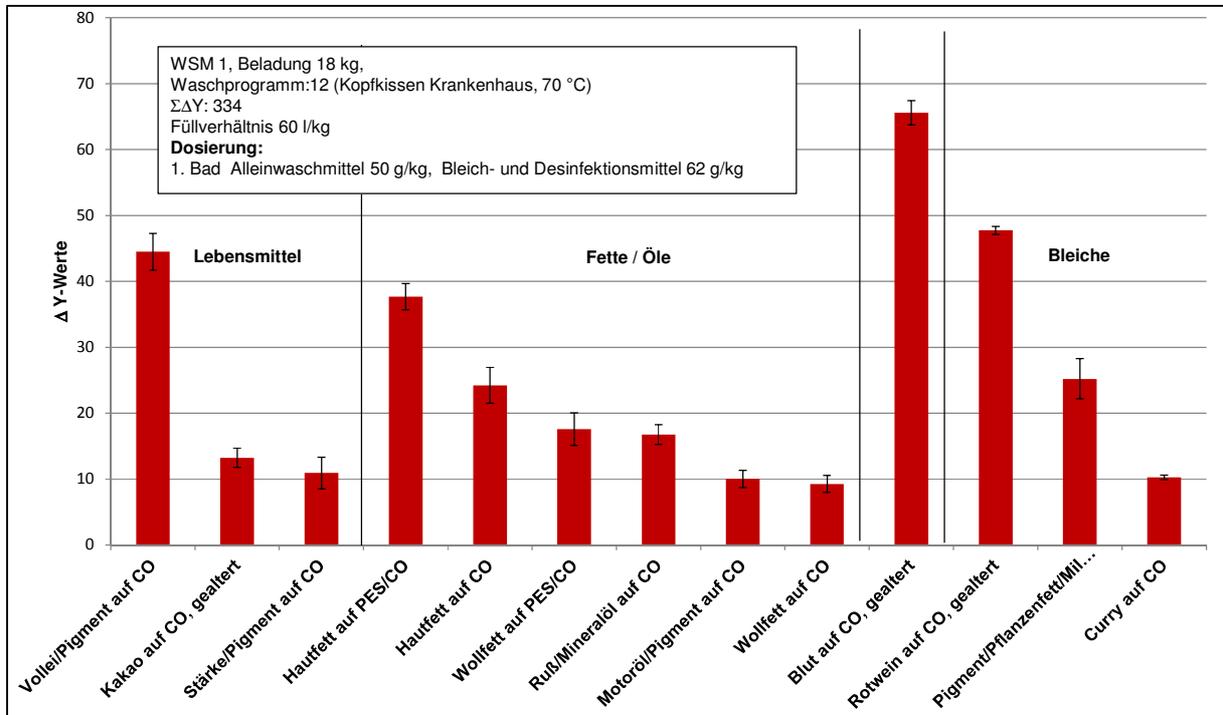


Abbildung 100: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschmaschine WSM 1 Kopfkissen, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Abbildung 100 zeigt die erzielte Schmutzentfernung in Waschsleudermaschine WSM1 im untersuchten Waschprogramm für Kopfkissen aus Krankenhäusern. In Waschmaschine WSM 1 wurde im Untersuchungszeitraum im Vergleich zu den Waschstraßen niedrigere Schmutzentfernung erzielt. Dies gilt insbesondere für fett- und öhlhaltige als auch bleichbare Verschmutzungen.

6.2.4 Sekundärwascheffekte und Spülwirkung

An den in **Kapitel 3.2.3.1** beschriebenen sauberen Prüfgeweben wurden die Kenngrößen der *Sekundärwaschwirkung* für das Waschen der Krankenhaus-Flachwäsche in den Waschstraßen bestimmt (**Tabelle 47**). Die angegebenen Werte gelten für alle drei Waschstraßen.

Tabelle 47: Sekundärwascheffekte an Baumwolle, IST-Analyse, Flachwäsche, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Messgrößen	Ausgangswerte	Nach 50 Waschzyklen	Nach 50 Wasch- und Mangelzyklen	Grenzwerte nach 50 Waschbehandlungen*
Weißgrad WG-Wert	117	204	202	Zulässig: min. 170
Grundweißwert Y-Wert	91	90,0	87,5	Zulässig: min. 87
Farbtonabweichung FAZ	R1 - 0,97	R1 - 0,04	R1 - 0,12	Zulässig: R 1,5 - G 2,49

Höchstzugkraftverlust in %	-	11	16	Zulässig: max. 30 %
Schädigungsfaktor (chemische Schädigung)	-	0,6	0,7	Zulässig: max. 1,0
Glühasche (anorganische Gewe- beinkrustation)	0,6	0,6	0,7	Zulässig: max. 1,0 %
* Die angegebenen Grenzwerte beziehen sich auf die zulässigen Werte nach RAL-GZ 992 nach 50 Waschbehandlungen				

Aufgrund nahezu identischen Waschprogrammparametern und Chemikaliendosierungen wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Waschstraßen gemessen.

Die Werte der unterschiedlichen Sekundärwascheffekte liegen alle im zulässigen Bereich. Dies gilt auch für die Prüfgewebe, die nach jedem Waschgang unter den Bedingungen der Wäscherei gemangelt wurden. Die Mangelbehandlung bewirkt hier eine leichte Erhöhung des Festigkeitsverlustes und der chemischen Schädigung.

Abbildung 101, **Abbildung 102** und **Abbildung 103** zeigen die ermittelten *Vergrauungswerte* an Baumwolle und PES/CO-Mischgewebe 65/35 in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl in den Waschstraßen.

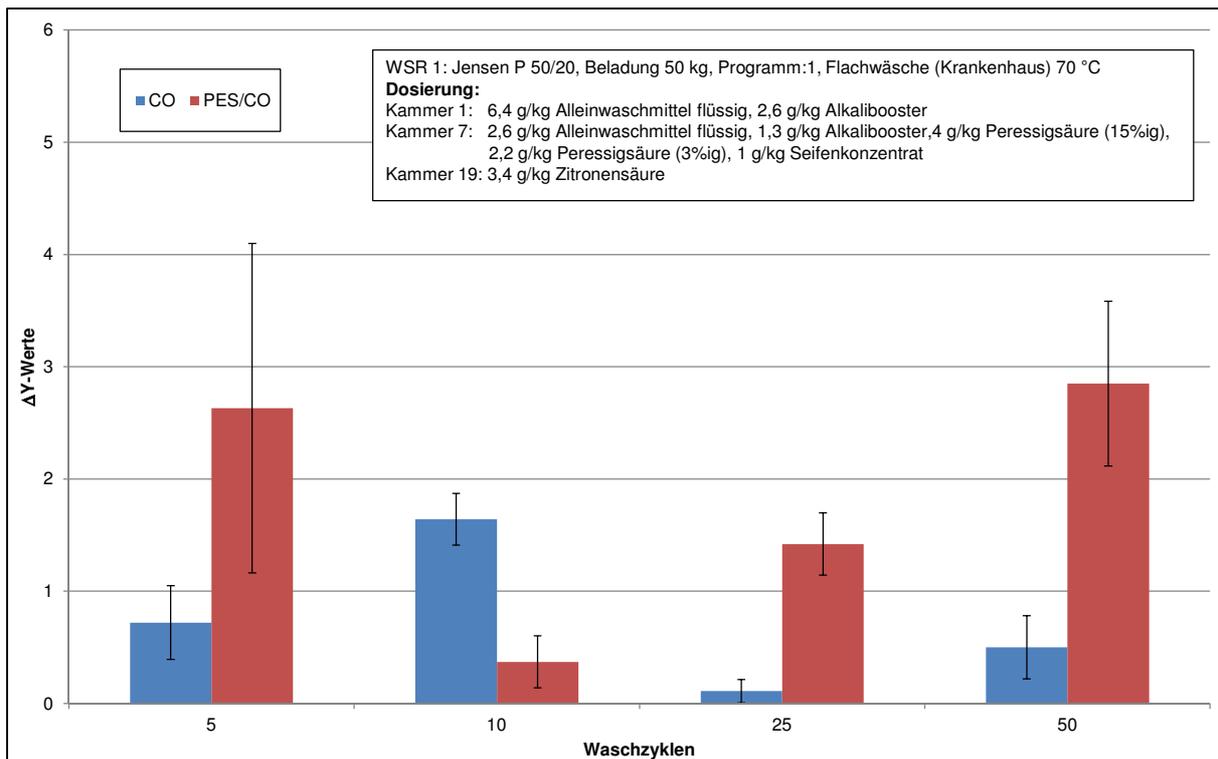


Abbildung 101: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Waschstraße WSR 1 für Flachwäsche in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl, Wäscherei für Krankenhauswäsche

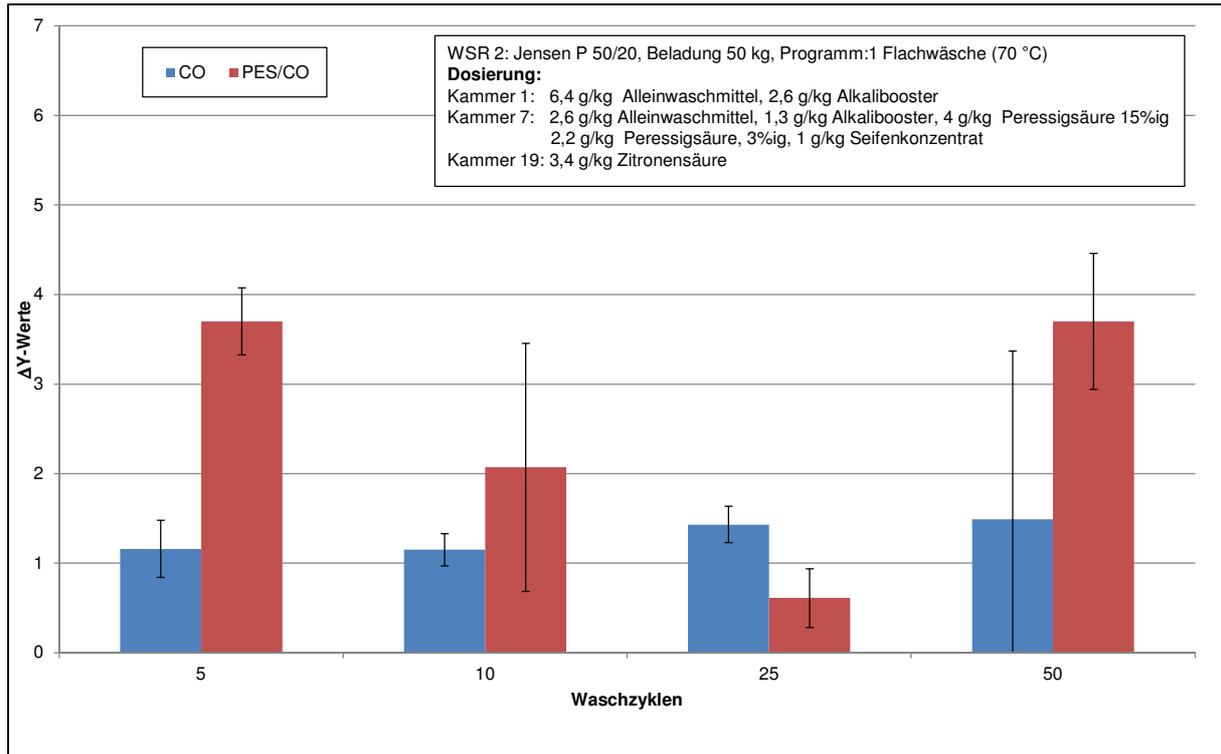


Abbildung 102: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Waschstraße WSR 2 für Flachwäsche in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl, Wäscherei für Krankenhauswäsche

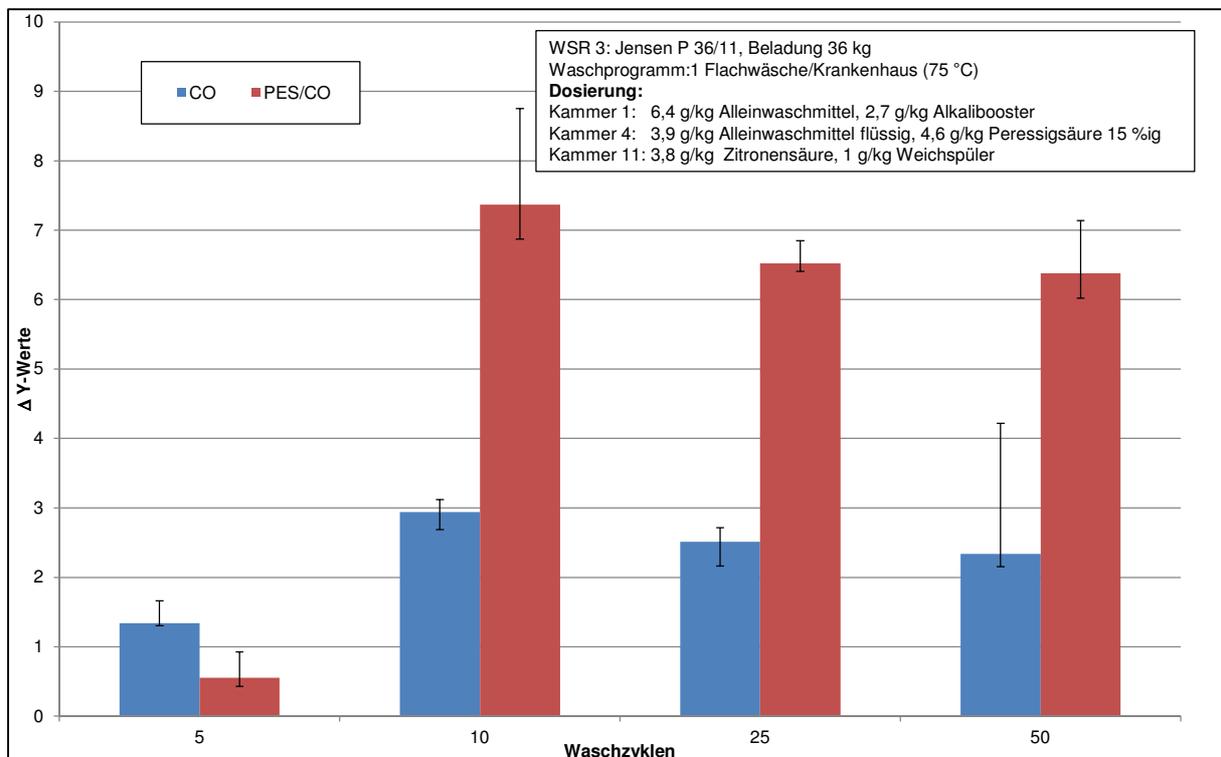


Abbildung 103: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Waschstraße WSR 3 für Flachwäsche in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Danach liegen die Vergrauungswerte bei den Waschstraßen 1 und 2 (beide 20 Kammern) zwischen 0 und 4 (ΔY -Wert), bei Waschstraße 3 etwas höher und zwar zwischen 1 und 8 (ΔY -Wert).

Bezüglich der *Spülwirkung* zeigten die Wasseranalysen der letzten Spülflotte Werte im üblichen Bereich.

6.2.5 Trocknungseffekte

6.2.5.1 Mangeln

Mit den drei dampfbeheizten Mangeln wird überwiegend Krankenhaus-Flachwäsche aus PES/CO 35/65 getrocknet und geglättet.

Die technischen Daten der Mangeln zeigt

Tabelle 34, Seite 117.

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen betragen die Muldentemperaturen während des Mangels der Krankenhauswäsche mit einer Mangelgeschwindigkeit von 14 m/min bei beiden Zweirollern 189 °C in Mulde 1 und 187 °C in Mulde 2. Die Muldentemperaturen des Dreirollers lagen bei 192 °C in Mulde 1 bzw. 189 °C in Mulde 2 und 3 (Mangelgeschwindigkeit 16 m/min).

Der Mangelbelegungsgrad (Auslastung in Transportrichtung und Arbeitsbreite) lag bei den Mangeln 1 und 2 bei 70 %, bei Mangel 3 um 50 %. In Mangel 1 und 2 wurden zum Zeitpunkt der Untersuchungen schwerpunktmäßig große Teile (Bettbezüge) gemangelt. Mangel 3 bearbeitete Kleinteile (Kopfkissenbezüge). Das verdampfte Wasser aus den Textilien und die heiße Abluft wurden zum Zeitpunkt der Untersuchungen ungenutzt über das Dach abgeführt.

- **Verdampfungsleistung**

Bei einer ermittelten Restfeuchtigkeit der PES/CO 35/65-Flachwäsche von etwa 39 % nach dem Pressen und Auflockern der Textilien und einer Restfeuchtigkeit von etwa 0,7 % (bezogen auf „knochentrockenes“ Gewicht) direkt nach dem Mangelprozess (Mangelgeschwindigkeit 14 m/min bzw. 16 m/min) beträgt die verdampfte Wassermenge etwa 0,320 kg Wasser/kg Wäsche bzw. 16 kg Wasser pro 50 kg Charge. Dies entspricht für Mangel 1 und 2 etwa 125,5 kg verdampftes Wasser pro Stunde, für Mangel 3 etwa 109,4 kg verdampftes Wasser pro Stunde. Daraus ergibt sich eine **Trocknungsleistung** von 328 kg Wäsche (PES/CO 35/65) pro Stunde für Mangel 1 und 2 sowie 286 kg Wäsche (PES/CO 35/65) für Mangel 3.

Die gemessenen Restfeuchtwerte der Wäscheteile von 0,7 % bei Mangelaustritt weisen darauf hin, dass die eingestellten Mangelprozessbedingungen Textilschädigung erwarten lassen (siehe auch **Tabelle 47**, Festigkeitsverlust und chemische Schädigung nach Wasch- und Mangelbehandlung im Vergleich zu alleiniger Waschbehandlung).

Bestimmungen der Walzen-Bewicklungsdicke zeigten gleichmäßige Dicken (11 bis 13 mm) und ausreichend hohe und gleichmäßige Luftdurchlässigkeit [$> 0,2 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{cm}^2)$]. Die Bestimmung eines homogenen Walzen-Anpressdrucks (rechts-mitte-links) sowie der Bewicklungs-Elastizität zeigte keine unzulässig hohen Abweichungen.

6.2.5.2 Trocknen im Tumbler

Bewohnerwäsche und Handtücher, die nicht gemangelt werden, werden mit insgesamt 26 unterschiedlichen Trocknern vollgetrocknet. Mangelwäsche wird – um eine schnellere Mangelgeschwindigkeit nutzen zu können – vorgetrocknet. **Tabelle 33** auf **Seite 115** zeigt die technischen Daten dieser Trockner. Die aufgeführten Trockner 25 bis 29 werden nur als Schüttler nach den Pressen der WSR eingesetzt.

6.2.5.3 Endtrocknen und Glätten im Tunnelfinisher

Im eingesetzten Tunnelfinisher wurde im untersuchten Zeitraum fast ausschließlich Berufsbeleidung (OP-Textilien) aus PES/CO 50/50 geglättet und getrocknet. Die technischen Daten des Tunnelfinishers zeigt

Tabelle 34 auf **Seite 117**.

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen betragen die Heißlufttemperaturen je nach Modul zwischen 150 und 170 °C und der Sprühdampfdruck ca. 4 bar_{abs}. Der Tunnelfinisher verfügte über keine Einrichtung zur zeitlichen bzw. teileabhängigen Dampfreduzierung. Die Finishgeschwindigkeit war auf 2.400 Teile pro Stunde eingestellt. Die Dauer des Finishvorgangs vom Einlauf in den Finisher bis zum Austreten aus dem Finisher betrug 4 min.

Das verdampfte Wasser aus den Textilien und die heiße Abluft wurden zum Zeitpunkt der Untersuchungen ungenutzt ins Freie abgeführt.

- **Verdampfungsleistung**

Zur Ermittlung der Verdampfungsleistung des Finishers und zur Erfassung des Vorliegens einer Über Trocknung wurde exemplarisch an 10 Teilen vor und nach dem Finishvorgang die Masse jedes einzelnen Teils und das Gewicht im „knochentrockenen“ Zustand ermittelt.

Danach wurden die Restfeuchtwerte der Textilien nach der Entwässerung zu 43,3 % und nach dem Finishvorgang zu 4,5 % (bezogen auf das knochentrockene Gewicht) bestimmt.

Die gemessenen Restfeuchtwerte der Wäscheteile von 4,5 % bei Austritt aus dem Finisher weisen darauf hin, dass auf Grund der eingestellten Prozessbedingungen die Textilien nicht über trocknet werden und deshalb eine erhöhte Textilschädigung nicht zu erwarten ist.

- **Glätteergebnis**

Zur Bewertung des Glätteergebnis wurden Prüfgewebe aus PES/CO 65/35 und CO im Finisher behandelt. Das nach dem Finishvorgang entstandene Knitterbild wurde in Anlehnung an DIN EN ISO 15487 unter Zuhilfenahme des Monsanto- Standards bewertet.

Danach zeigten die bewerteten Mischgewebeteile ein optimales Glätteergebnis (Note 5).

6.3 Optimierungsvorschläge Krankenhauswäsche

Die auf Basis der IST-Analyse vorgeschlagenen Verbesserungen zur Umsetzung in der Wäscherei für Krankenhauswäsche sind zusammenfassend in **Tabelle 48** aufgelistet. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass manche Maßnahmen den Effekt anderer Maßnahmen reduzieren können.

6.3.1 Dampferzeugung

Die Auswertung der Erdgasverbrauchsmessungen und der Dampf temperatur ergab einen mittleren Leistungsbedarf von 1.763 kW während der Laufzeit des Brenners. Betrachtet man die gesamte Messdauer, einschließlich der Betriebsbereitschaftszeiten, sinkt der mittlere Feuerungsleistungsbedarf auf 1.753 kW. Die installierte Feuerungsleistung lag mit ca. 5.400 kW deutlich darüber. Folgende Verbesserungsmöglichkeiten wurden vorgeschlagen und auf sicherheitsrelevante Mängeln hingewiesen:

- Optimierung Brennerregelung
 - Reduzierung der maximalen Brennerleistung auf 2.500 kW
 - Alternative: Nachrüstung einer Lambdasonde in Verbindung mit einem drehzahlgeregelten Brennergebläse zur Einhaltung eines geringen Luftüberschusses, Umrüstung der Brennersteuerung auf 0-10V-Signal zur Leistungsvorgabe bzw. Leistungsbegrenzung in den üblichen Teillastzeiten (Erste und letzte Betriebsstunde) bzw. Vorgabe einer maximalen Leistungssteigerungsrate
- Auf das undichte Sicherheitsventil wurde hingewiesen: Bei den ermittelten Temperaturen wurde der Verlust auf ca. 250 W/m und 3 m Leitungslänge bei 3.750 h/a auf 2,8 MWh/a geschätzt bei korrekter Betriebszeit von 4.250 h/a erhöht sich der Verlust auf 3,2 MWh/a.

6.3.2 Dampfverteilung

Durch Leckagen und mangelhafte bzw. nicht vorhandene Dämmung der Rohrleitungen geht Dampf im Leitungsnetz verloren. Deshalb wurden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Abdichten bzw. Beseitigen von Dampfleckagen:
 - o Austausch von defekten Ventilen
 - o Austausch von Dichtungen bzw. Erneuerung von Stahlflexleitungen an Finishmaschinen bei der Gruppe „Bügelstation“, Dampftrocknern und Waschschleudermaschinen und eines Flansches am Kondensatsammelbehälter (im Schacht auf der unreinen Seite)
- Dämmen der nicht oder mangelhaft isolierten Dampfleitungen
 - o Anschlussleitungen der Dampftrockner
 - o Anschlussleitungen der Waschschleudermaschinen WSM 3 bis 8
 - o Kondensatsammelbehälter einschließlich der abgehenden 4-bar-Leitung

6.3.3 Druckluftherzeugung und -verteilung

- Als wichtigste Maßnahme wurde die Senkung der Leckrate von rund 16 % auf ca. 10 % vorgeschlagen. Gefundene Druckluftlecks waren:
 - o Undichte Ventile und Zylinder an WSR 1, 2 und 3, Dampftrocknern,
 - o Steuerblöcke und Druckluftzylinder an den Trocknern, Hemdenkabinett
 - o Diverse Kleinleckagen, z.B. Fenstersteuerung, Rumpfkabinett, Etikettier gerät
- Senkung des Drucks zur Erhöhung der Liefermenge der Kompressoren durch iterative Prüfung des minimal möglichen, störungsfreien Netzdrucks. Der mittlere Druck von 7,2 bar wurde durch die einstufigen Kompressoren zwischen 6,2 und 7,8 bar gehalten. Eine Absenkung bei gleichem Anlagenaufbau auf ein Hystereseband von 6,2 bis 7,1 bar ist ohne Probleme möglich
- Eine deutliche Effizienzsteigerung kann erst dann erreicht werden, wenn der größere einstufige Kompressor mit 37 kW durch einen neuen Kompressor ersetzt wird. Unter Berücksichtigung der ermittelten Liefermenge bei 10 % Leckrate von zusammen ca. 241 m³/h bzw. 4,03 m³/min würde ein 18,5-kW-Kompressor mit variabler Drehzahl und der bereits vorhandene 22 kW-Kompressor (einstufig) ausreichen: Die Liefermengen von 3,32 m³/min und 3,9 m³/min addieren sich zu einer Gesamtliefermenge von 7,22 m³/min bei einem relativen Druck von 7,5 bar. Bei Absenkung des Druckes auf 7 bar erhöht sich die Liefermenge und sinkt die Leckrate, so dass davon auszugehen ist, dass der 18,5-kW-Kompressor zu den meisten Betriebszeiten für die alleinige Versorgung der Wäscherei ausreicht. Unterstützend können weitere Maßnahmen zur Optimierung des Druckluftnetzes den Bedarf an Druckluft weiter senken.

Abbildung 104 zeigt den Energiefluss für die Druckluftherzeugung nach Senkung der Leckagen und Optimierung des Druckniveaus

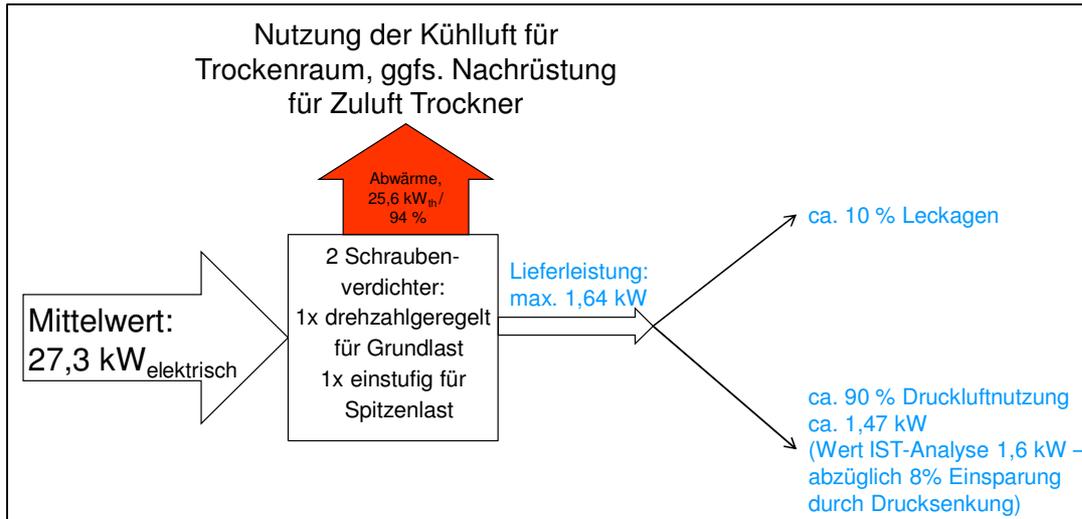


Abbildung 104: Energieflussdiagramm für Druckluft nach Optimierung, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Im Rahmen der IST-Analyse wurde auch geprüft, ob der Ringschluss für die Druckluft nötig ist. Nach den in **Kapitel 6.2.1.4** dargestellten Erkenntnissen ist für eine Optimierung bzw. Drucksenkung des Druckluftnetzes bei gleichzeitiger Erhöhung der Betriebssicherheit durch redundante Leitungsführung und erhöhtes Speichervolumen im Leitungsnetz der in **Abbildung 105** mit gestrichelter roter Linie dargestellte Ringschluss anzustreben. Das bestehende Druckluftnetz ist als schwarze Linie dargestellt.

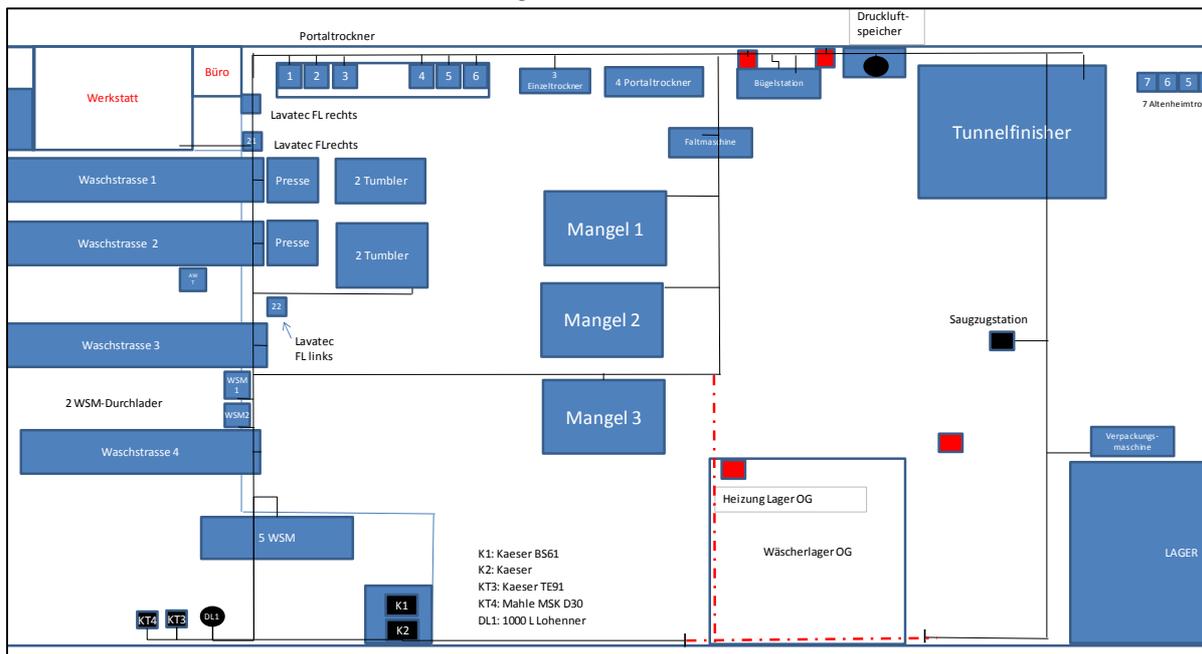


Abbildung 105: Druckluftnetz mit Erweiterung, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Neben den eigentlichen Verbesserungsmaßnahmen sind die erforderlichen Investitionskosten, die jährlichen Einsparungen und der Kapitalrücklauf in Jahren (RoI) abgeschätzt worden (Basis: 250 Arbeitstage/Jahr, Betrieb der Dampfanlage 17 h/d).

Die Maßnahmen wurden überschlägig mit folgenden Randbedingungen berechnet:

- Der Austausch der Beleuchtung beschränkt sich auf die veralteten T8-Leuchten im Bereich Logistik und Lager sowie an den Laderampen.

- Die Optimierung der Regelung des Dampfkessels umfasst die Lambda-Regelung in Verbindung mit einer Drehzahlregelung des Brennergebläses sowie die Reduzierung der maximalen Brennerleistung. Als Alternative zur Reduzierung der Maximalleistung ist auch eine langsamere Leistungssteigerung denkbar, um die Schwingungen am Morgen und am Abend zu dämpfen und damit die Start-Stop-Zyklen zu senken. Für die Optimierung der Regelung wird überschlägig mit einer Einsparung von 1 % gerechnet. Dieser Wert wurde wegen dem unbekanntem Status der Regelung auf 0,8 % gesenkt.

Tabelle 48: Zusammenfassung Optimierungsmaßnahmen in der Wäscherei für Krankenhauswäsche

Nr.	Maßnahme	Investition (Schätzung)	Einsparung / Annahme	Jährliche Einsparung in €	Rol (Jahre)
1	Beleuchtung: Austausch von 139 Stück T8-LSL mit 58W Leuchtmittel plus 13 Watt Vorschaltgerät gegen 30-Watt-LED_	14.000 €	139 LSL*(58 + 13 W) - 30 W * 3.000 h/a ca. 17.100 kWh	1.710 €	ca. 8,2
2	Regelungsoptimierung Brenner Dampfkessel: Nachrüstung Lambdasonde und Drehzahlregelung Brennergebläse sowie Senkung der maximalen Brennerleistung auf ca. 2.500 kW	15.000 €	ca. 60.000 kWh Aufgrund der bereits vorhandenen Spartechnik wurde eine Einsparung von ca. 0,8 % des Jahresbrennstoffbedarfs angesetzt: 0,8 % * 7.748.260 kWh/a = 61.986 kWh 7 Ct/kWh	4.200 €	ca. 3,6
3	Nachrüstung von Kondensatabscheidern und Kondensatleitungen an Leitungsenden (dampfbeheizte Trockner und Waschschleudermaschinen) Beschädigung der Dampfventile möglich zusätzlich schnellere Aufheizung und geringerer Speisewasserbedarf,	ca. 2.500 €	Keine Berechnung möglich, da Einsparung im Wesentlichen auf längere Dichtigkeit des Dampfventils und geringere Frischdampfmenge beruht Behelfsweise wurde davon ausgegangen, dass diese Verbesserungen zu einer schnelleren Aufheizung führt und eine WSM und ein Trockner eingespart und Strom gespart werden kann. Laufzeit zu 50% in einer Schicht 5 kW * 2000 h * 0,5 = 5.000 kWh 10 ct/kWh	500 €	ca. 5
4	Verschließen von stillgelegten Abluftrohren, soweit nicht für Ansaugen von Frischluft benötigt	5.000 €	ca. 10 % der auf ca. 300.000 kWh geschätzten Raumheizwärme: 30.000 kWh, 7 ct./kWh	2.100 €	ca. 2,4

Nr.	Maßnahme	Investition (Schätzung)	Einsparung / Annahme	Jährliche Einsparung in €	Rol (Jahre)
5	Dämmen von Dampfleitungen - Anschlussleitung Dampftrockner - Kondensatsammler / 4-bar-Abgang - Anschlussleitung Frischdampf WSM 3-8 - Interne Dampfleitung in den WSR 1 bis 3	3.000 €	ca. 30.000 kWh 7 ct/kWh Annahme: 0,5 kW/m, 15 m, 4250 h/a = 31.875 kWh	2.100 €	ca. 1,4
6	Dämmen der Oberseite der Trockner 1 bis 10 Warme, schwarze Oberflächen (70 – 95 °C), hohe Strahlungs- und Konvektionsverluste jeweils ~6 kW je Trockner Maßnahme: Dämmen Folge: Senkung des Wärmeverlust auf ca. 2 kW je Trockner Einsparung je Trockner: ca. 2 kW	15.000 €	Wärmeverlustreduktion je Trockner ca. 4 kW * 10 Trockner * 4250h/a * (1-0,4) = 102.000 kWh 7 ct/kWh, Abschlag für Trockner 7 bis 10 wg. Abluftwärmetauscher v. 40 %	7.140 €	ca. 2,1
7	<u>Kompressor:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Absenkung Druck, • Leckminderung • Schließen der Ringleitung • Austausch BS61 gegen FU-geregelten Kompressor • Nutzung der Abwärme für Trocknerprozesse oder Wasservorwärmung Waschprozesse 	20.000 € (ohne Arbeitszeit)	ca. 53.000 kWh Differenzrechnung neuer Kompressor 18,5 kW zu mittlerer Leistung bisher 32 kW, 4250h: 13,5 kW*4.250 h = 57.375 kWh 10 ct/kWh <u>Ohne Berücksichtigung von Elektr. Energie für Kältetrockner und Wärmeeinsparung, Senkung des maximalen Leistungsbedarfs</u>	5.700 €	ca. 3,5
8	Nachrüstung raumluftunabhängiger Trocknerbetrieb: Luft-Abgas-System zur Frischluftansaugung aus dem Freien bei gleichzeitiger Vorwärmung der Frischluft von 10 auf 25°C durch die im Hüllrohr strömende Abluft	1.000 – 5.000 €, je nach Variante und Trockner	ca. 25.000 kWh je Trockner, Mittlere Außenlufttemperatur 10 °C mit ca. 60 % rel. Feuchte, Erwärmung auf 30 °C und 1.000m³/h ; 7 ct/kWh	1.750 €	ca. 0,6 - 2,9

Nr.	Maßnahme	Investition (Schätzung)	Einsparung / Annahme	Jährliche Einsparung in €	Rol (Jahre)
9	Nachrüstung Wärmetauscher für Trockner 1 bis 10 (DT 90)	5.000 € je Trockner	ca. 21.000 kWh Annahme: 7 kW*4.250h*0,7 Aufheizung Frischluft aus Halle von 25 auf 50 °C, 1000 m³/h, 4.250 h/a, Laufzeit 70% der Betriebszeit 7 Ct/kWh	1.500 € / Trockner	ca. 3,3
10	Einbau von elektrischen Dampfventile und Druckluftventile zur Teilabschaltung von Netzteilen des Dampf- und des Druckluftventils (Geringere Betriebszeiten WSM1-8 und Maschinen für manuelles Finish und Trocknergruppe „Altenheim“)	2.500 €	ca. 10.000 kWh Berechnung Anhand der Verluste außerhalb der Nutzungszeit: 0,5 kW/m * 2.500h * 8 m 7 ct/kWh	700 €	ca. 3,6

Aufgrund der Größe der Wäscherei und der zahlreichen Einsparmöglichkeiten wurden dem Betrieb zwei weitere Ansätze zur Optimierung des Energieeinsatzes vorgeschlagen:

- Abwärmenutzung aus den Trocknern 11 - 17 (Gruppe „Altenheim“) zur Beheizung eines neuen Trocknerraumes einschließlich Austausch der Trockner gegen mehrere kleinere Wäschetrockner mit feuchteabhängiger Prozessdauer (siehe **Abbildung 106** und **Abbildung 107**). Für einen sicheren Betrieb wäre es erforderlich, mit einem zusätzlichen Saugventilator (Abluftventilator 2) für Unterdruck zu sorgen bzw. die in die Abluftkammer einströmende Luft abzuführen.

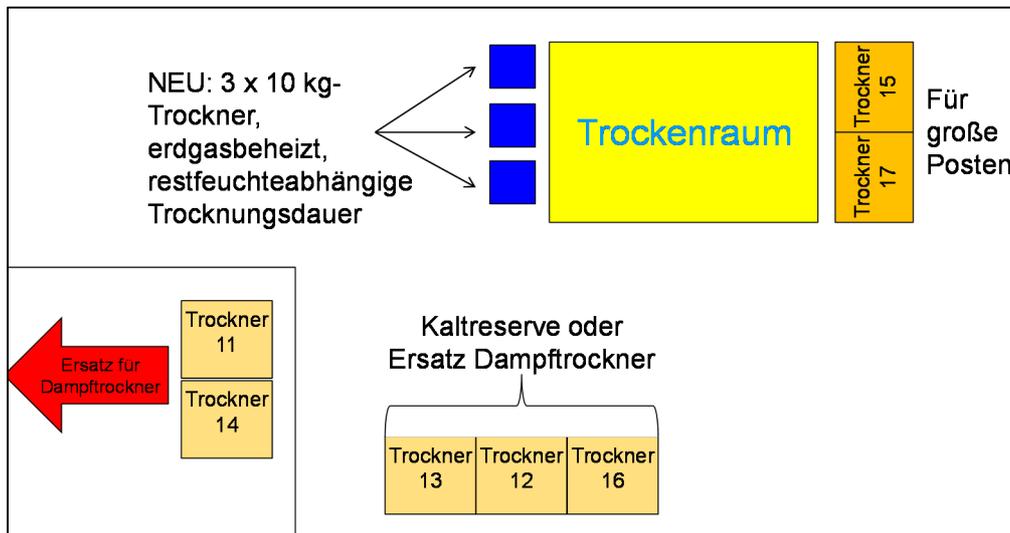


Abbildung 106: Neues Trocknerkonzept für Trockner-Gruppe "Altenheim", Wäscherei für Krankenhauswäsche

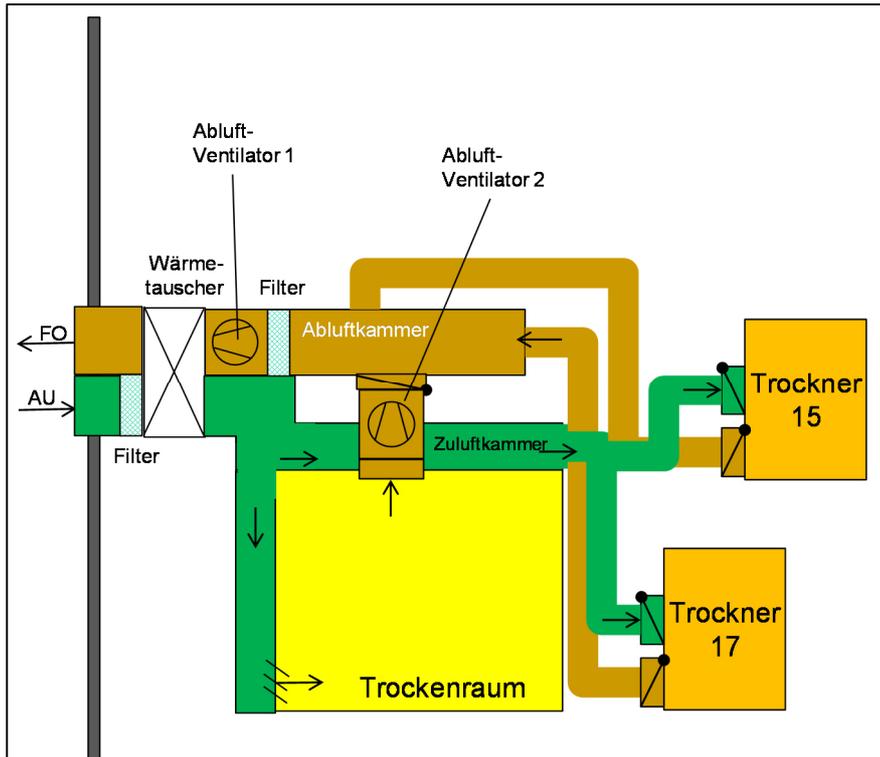


Abbildung 107: Luftführung des Trockenraumes, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Abbildung 108 zeigt die Nutzung der bisher ungenutzt an die Umgebung abgegebenen Mangelabluft. Am Beispiel von Mangel 2 soll das Potenzial der Mangelabluft dargestellt werden. In der Abluft von Mangel 2 mit einer mittleren Ablufttemperatur von ca. 117 °C und einer Feuchte von 110 kg/h beinhaltet ein Energiepotenzial von ca. 2.256 kWh täglich oder eine mittlere Leistung von ca. 133 kW. Unter Berücksichtigung der Temperaturanforderungen könnten ca. 1.341 kWh täglich oder eine mittlere Leistung von ca. 78 kW bei 35 °C genutzt werden, um 68,9 m³/d vorgewärmtes Waschwasser zu erzeugen. Bei einem Bedarf von ca. 501 MWh pro Jahr könnten mit Abwärme ca. 65 % Heizenergie (324 MWh) zur Erwärmung des Frischwassers gedeckt werden. Des Weiteren könnte durch die Abkühlung aus der Abluft auch Kondensat zurückgewonnen werden, das bis zu 0,9 m³ Frischwasser pro Tag ersetzen könnte. Bei weiterer Abkühlung kann diese Wassermenge noch verdoppelt werden.

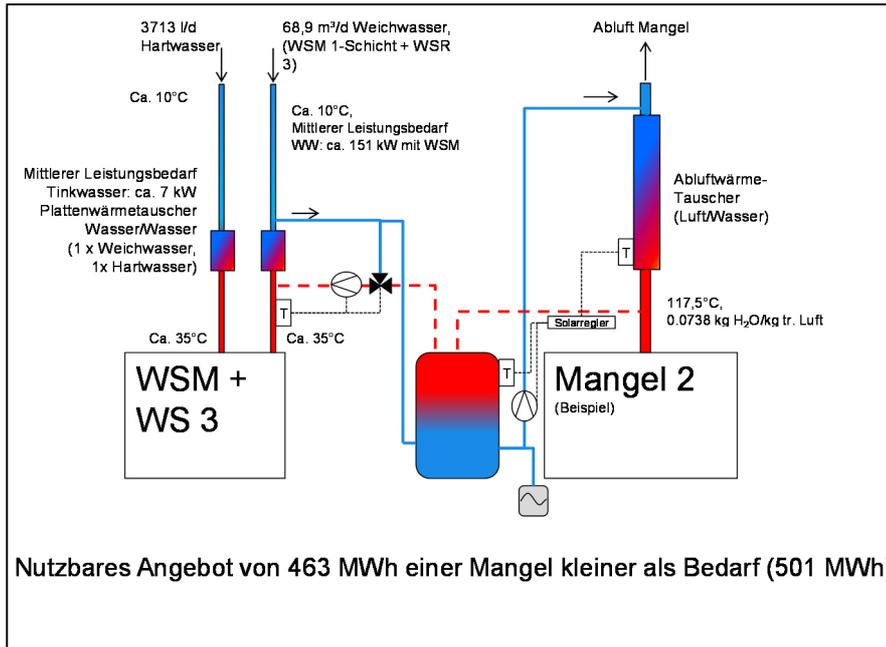


Abbildung 108: Beispielhaftes Schema zur Abwärmenutzung aus der Abluft einer Mangel, Wäscherei für Krankenhauswäsche

6.4 Nachmessung Krankenhauswäsche

6.4.1 Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen

Von den vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen wurden folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Reduzierung der Feuerungsleistung des Brenners am Dampfkessel auf 3.000 kW
- Optimierung der Druckluftversorgung
 - Ansaugung der Kühlluft für die Kompressoren von außen
 - Schließen des Druckluftnetzes zur Ringleitung in ausreichender Dimension
 - Nachrüstung eines drehzahlgeregelten Kompressors
 - Senkung des mittleren Drucks im Druckluftnetzes
 - Beseitigung von Leckagen
- Bau eines neuen Trockenraums: Nach Angebotseinholung wurde der geplante Trockenraum wesentlich vereinfacht mit überwiegend im Betrieb vorhandenen Komponenten (Luft/Luft-Wärmetauscher) und unter Einbindung nur eines Trockners in Eigenregie realisiert. Die geringfügig befeuchtete Abluft aus dem Trockenraum entweicht unkontrolliert über die Fugen des Trockenraumes in die Halle.

6.4.2 Ergebnisse der Nachmessung

Der Schwerpunkt der Maßnahmen lag bei der Optimierung der Druckluft und der Brennoptimierung des Dampfkessels. Diese Maßnahmen hatten keine Auswirkungen auf die erzielten Wasch- und Trocknungseffekte. Gleiches gilt für die Auswirkungen auf die Abwasserdaten.

Im Rahmen der Nachmessung wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Erdgasverbrauchsmessung am Dampfkessel
- Auswertung Druckluftverhalten mittels Kaeser Air-Manager
- Leistungsmessung Abwärmenutzung Trockenraum

6.4.2.1 Dampferzeugung

Nach Anpassung der Brenneinstellung und der maximal eingestellten Feuerungsleistung konnte bei der Nachmessung eine maximale Feuerungsleistung von ca. 3.000 kW ermittelt werden. Die auf einen Tag hochgerechneten Start-Stop-Zyklen sanken von ca. 8 auf 4 (siehe auch **Abbildung 109**).

Die eingesparte Energie pro Jahr wird auf ca. 5 kWh * 4 Zyklen * 250 Arbeitstage = 5.000 kWh geschätzt.

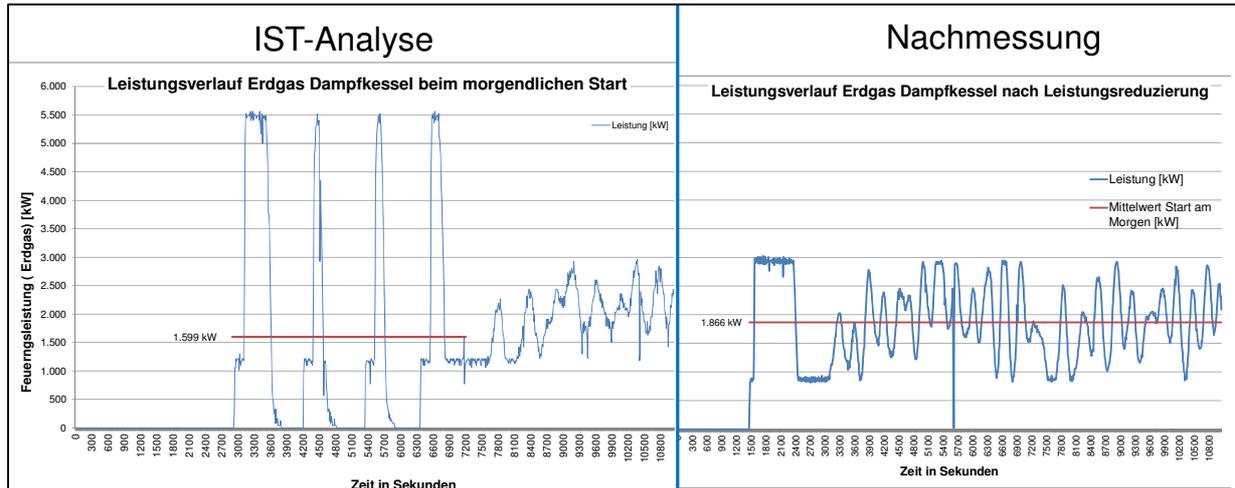


Abbildung 109: Leistungsverlauf Dampfkessel vor und nach Optimierung, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Der Mittelwert der Feuerungsleistung innerhalb der betrachteten Betriebszeit betrug 1.641 kW. Vergleicht man die ersten Startstunden, so kann man in **Abbildung 109** erkennen, dass die Start-Stop-Zyklen abgenommen, die mittlere Leistung jedoch von 1.572 kW auf 1.866 kW zugenommen hat. Diese Zunahme beruht auf weitreichenden Änderungen im Betrieb:

- Erhöhtes Wäscheaufkommen
 - Inbetriebnahme der 4. Waschstraße
 - Inbetriebnahme eines zusätzlichen Tunnelfinishers
- Abweichende Temperatur und relative Feuchte der Außenluft

Die IST-Analyse fand im Sommer (August 2013) statt, die Nachmessung im Frühling (März/April 2014). Die höheren Verluste des Dampfnetzes und der Verbraucher muss der Dampfkessel ausgleichen.

Durch die gegenläufigen Entwicklungen – Einsparungen durch Optimierung einerseits, Erhöhung Wäschemenge und Maschinen andererseits – konnten im kurzen Messzeitraum Verbesserungen nur marginal oder gar nicht festgestellt werden. Erst durch Betrachtung eines längeren Zeitraums konnte eine nennenswerte Veränderungen erkannt werden (siehe **Kapitel 9.6**).

6.4.2.2 Druckluftuntersuchung

Die Auswertung des „Air-Manager“ ergab folgende Entwicklung der Werte:

Tabelle 49: Druckluftnachmessung, Wäscherei für Krankenhauswäsche

	IST-Analyse	Nachmessung
Gemessener mittlerer Druck im Netz	ca. 7,2 bar	ca. 6,5 bar
Mittlere Liefermenge [m ³ /min]	4,34 m ³ /min	5,32 m ³ /min
Leckluftmenge [m ³ /min]	0,68 m ³ /min	1,05 m ³ /min
Leckrate [%]	ca. 16 %	ca. 20 %

Wie in **Tabelle 49** zu sehen ist, sank der mittlere Druck deutlich ab. Dies zeigt **Abbildung 110**. Der Druck überschreitet die 7 bar-Grenze nicht mehr. Durch die Erweiterung des Betriebs stieg, wie erwartet, die Liefermenge. Durch Ergänzungen am Druckluftnetz, insbesondere die neue Anschlussleitung des neuen Tunnelfinishers, mutmaßlich auch durch fehlende Zeit des technischen Personals zur Leckbeseitigung stieg die Leckluftmenge auf über 1 m³/min an und betrug zum Zeitpunkt der Nachmessung ca. 20 % der mittleren Liefermenge. Trotz der erhöhten Leckrate um 4 % bleibt eine Energieeinsparung: Pro 1 bar Drucksenkung kann mit einer Einsparung von ca. 8 % gerechnet werden. Bei der hier erreichten Druckabsenkung von 0,7 bar kann von einer Stromersparung von 5,6 % ausgegangen werden. Die verbleibende Energieeinsparung bei der Druckluftherzeugung betrug ca. 1,6 %.

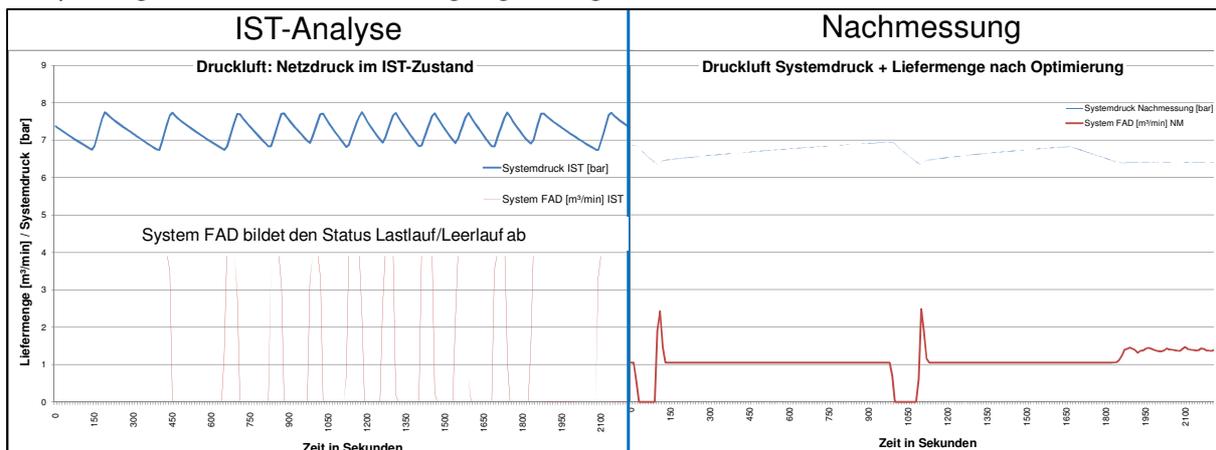


Abbildung 110: Vergleich Druckverlauf und Liefermenge IST-Analyse und Nachmessung, Wäscherei für Krankenhauswäsche

6.4.3 Abwärmenutzung im neuen Trockenraum

Eigentlich stellt der neuen Trockenraum keine neuen und effektive Abwärmenutzung dar, sondern nur eine Verlagerung von der Nutzung der Abwärme der Kompressoren zur Nutzung der Abwärme eines Trockners der Gruppe „Altenheim“. Dennoch wurde eine Messung der Wirksamkeit des neuen Trockenraumes durchgeführt. Dazu wurde die Raumluft vor dem Wärmetauscher, die Zulufttemperatur in den Trockenraum (nach dem Wärmetauscher) sowie der Volumenstrom gemessen.

Wie in **Abbildung 111** zu sehen ist, verhält sich die Zulufttemperatur in den Trockenraum genauso wie die Abluft des Trockners es erwarten lässt. Je nach Beladung des Trockners erwärmt sich die Abluft mehr oder weniger schnell. Je länger die Betriebspausen zwischen zwei Posten ist, desto stärker kühlt der Trockner aus und es dauert länger, bis gleich hohe Ablufttemperaturen wieder erreicht werden. Der Zuluftventilator für den Trockenraum wird durch den Wäschetrockner gestartet und gestoppt und wird unabhängig vom Bedarf des Trockenraumes betrieben.

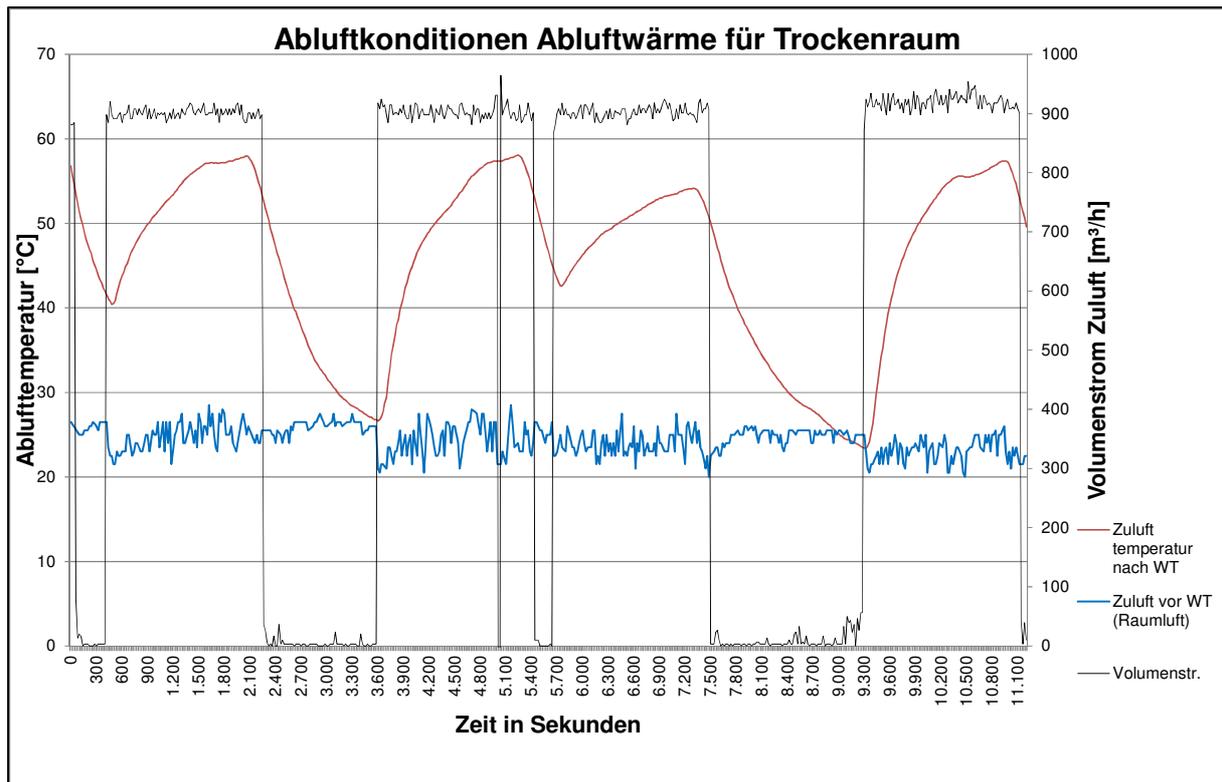


Abbildung 111: Temperatur- und Volumenstrom Zuluft Trockenraum, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Der Durchsatz des Trockenraumes konnte nicht erfasst werden, weil die Entnahme der Wäsche nach Logistikgesichtspunkten erfolgt und nicht nach dem Trocknungsgrad. Auch die Abluft kann nicht gemessen werden: Sie strömt an den undichten Stellen (Tür, alle Fugen an Wand- und Deckenelementen) aus. Die ermittelten Daten für den Trockenraum sind in **Tabelle 50** aufgelistet:

Tabelle 50: Leistungsermittlung Abwärmenutzung Trockenraum neu, Wäscherei für Krankenhauswäsche

	Temperatur / Feuchte	Volumenstrom nach Wärmetauscher	Leistungseintrag
Raumluft vor Luft/Luft-Wärmetauscher	24,8 °C / 38,6 % rel. F.		ca. 5 kW
Zuluft Trockenraum nach Luft/Luft-Wärmetauscher	52,5 °C / 8,7 % rel. F.	598 m³/h	

6.5 Zusammenfassung Wäscherei für Krankenhauswäsche

Die Wäscherei für Krankenhauswäsche war der Betrieb der in Phase I und Phase II untersuchten fünf Wäschereien mit der größten täglichen Wäschemenge, der größten Waschhallen, die größte täglich gewaschene Wäschemenge als auch die größte Anzahl der Maschinen. Allein durch Skalierungseffekte wäre deshalb zu erwarten gewesen, dass dieser Betrieb die niedrigsten spezifischen Wasser- und Energieverbrauchswerte erreicht.

Die Gründe für das Nichterreichen niedriger spezifischer Kennwerte sind:

- **Wasser:**
 - Keine Nutzung von Regenwasser im Waschprozess
 - Keine Nutzung von Kondensaten im Waschprozess
 - Keine Nutzung von aufbereitetem Wasser aus WSM 1 bis 8

- Hoher Bedarf an Frischdampf am Tunnelfinisher (ungeregelter Frischdampf)
- Erhöhter Bedarf an Speisewasser durch Frischdampfbedarf
 - Ungeregelter Frischdampfeinsatz am (alten) Tunnelfinisher
 - Nicht isolierte Dampfleitung an WSM 3 bis 8 ohne Kondensatabscheider bzw. Teilnetzabschaltung bei Nichtbenutzung
 - Hohe Abwassermenge durch Enthärtung mit nachgeschalteter Umkehrosmoseanlage

Allein durch die großen Dachflächen von ca. 9.000 m² würde bei einem jährlichen Niederschlag von 630 mm/m² eine maximale Regenwassermenge von 5.670 m³/a zur Verfügung stehen. Davon sind in der Praxis ca. 30 bis 50 % tatsächlich nutzbar, allein 5 – 20 % sind je nach Dacheindeckung und durch Schmutzabscheidung nicht nutzbar. Gemessen an den fast 90.000 m³/a Wasserbedarf würde ein Anteil von ca. 2.500 m³/a weniger als 3 % ausmachen. Durch geschickten Einsatz des weichen Regenwassers – zum Beispiel beim Kesselspeisewasser – würde die Vermeidung von Abwasser aus der Umkehrosmose einen deutlichen, zusätzlichen Effekt bewirken. Der Abwasseranteil der Umkehrosmoseanlage steigt mit dem Durchfluss von hartem Trinkwasser und dem Bedarf an aufbereitetem Wasser (hier Speisewasser des Dampfkessels) und ist damit direkt abhängig vom Frischdampfbedarf. Durch Substitution mit bereits von Natur aus weichen Regenwassers sinkt der Abwasserverlust der Umkehrosmoseanlage.

Weiterhin ließe sich der Frischdampfbedarf dadurch senken, dass die nicht isolierten Dampfleitungen der WSM 3 bis 8 nicht nur gedämmt, sondern auch am Ende durch einen Kondensatabscheider entwässert würden. Der Frischdampfbedarf der Waschstraßen könnte durch geänderte Beheizung, insbesondere der Tanks erreicht werden. Auch hier werden Tanks mit Dampf auf relativ niedrigem Temperaturniveau beheizt. Durch den geringen Bedarf an Wärme und die mangelhafte bzw. nicht vorhandene Dämmung der Frischdampfleitungen fällt Kondensat aus und die Heizwirkung sinkt. Insgesamt wird dadurch für wenig Heizenergie viel aufbereitetes Speisewasser eingesetzt.

Auch die Frischdampfeinstellung am Tunnelfinisher sollte soweit eingedrosselt werden, dass ein Ausströmen von Sprühdampf aus dem Tunnelfinisher nicht mehr auftritt – ein Zuviel an Dampf führt zu keiner Verbesserung des Finishergebnisses. Der neu angeschaffte Tunnelfinisher ist in dieser Hinsicht bereits ab Werk optimiert und sprüht Dampf im Takt der vorbeilauenden Wäscheteile ein.

- **Wärme bzw. Erdgas:**

- Zu groß dimensionierte Feuerungsleistung des Dampfkessels
- Zu viele bzw. zu nicht an die Postengröße angepasste Wäschetrockner
- Veraltete Dampftrockner mit Stand-By-Verlusten
- Zu wenig Abwärmenutzung

Trotz der Optimierung und der altersbedingt guten Dämmung ist der Dampfkessel gemessen am Bedarf der Wäscherei zu groß, die maximale Feuerungsleistung passend, die minimale Feuerungsleistung als zu groß zu bewerten. Gerade im Hinblick auf weitere Optimierungsmaßnahmen wird der Dampfbedarf und der Leistungsbedarf weiter sinken. Einer der Kernpunkte der Verbesserungen ist die Prüfung und Änderung des deutlich zu großen Trocknerbestands. Summiert man die Nennbeladung aller Wäschetrockner ohne die als Tumbler genutzten Geräte, so erhält man eine Nenntrocknerbeladung aller Trockner von 1.589 kg. Bei 20 Posten je Trockner könnte die Wäscherei ca. 32 t Wäsche trocknen.

Bei einem Vergleich der Trocknungsdauer im Frottee/Baumwollprogramm konnte eine etwa doppelt so lange Trocknungsdauer der Trockner 1 bis 6 gegenüber neueren Trocknern der gleichen Baureihe mit 60 % der Nennladekapazität festgestellt werden (siehe **Abbildung 112**).

Im Trocknungsprozess der älteren 90-kg-Trockner wurde gemäß der Darstellung auf dem Display mehrmals zwischen Trocknen und einer „Diffusionszeit“ genannten Phase umgeschaltet. Bei zu schneller Abkühlung erkannte die Regelung offensichtlich eine zu große Restfeuchte und schaltete zurück in den Trocknungsvorgang. Es ist hier zu prüfen, ob durch ein Update der Regelung und eine Anpassung der Parameter (Brennerregelung, maximale Zu- und Ablufttemperaturen, Klappenstellung, etc.) eine massive Zeit- und Energieeinsparung erreicht werden kann.

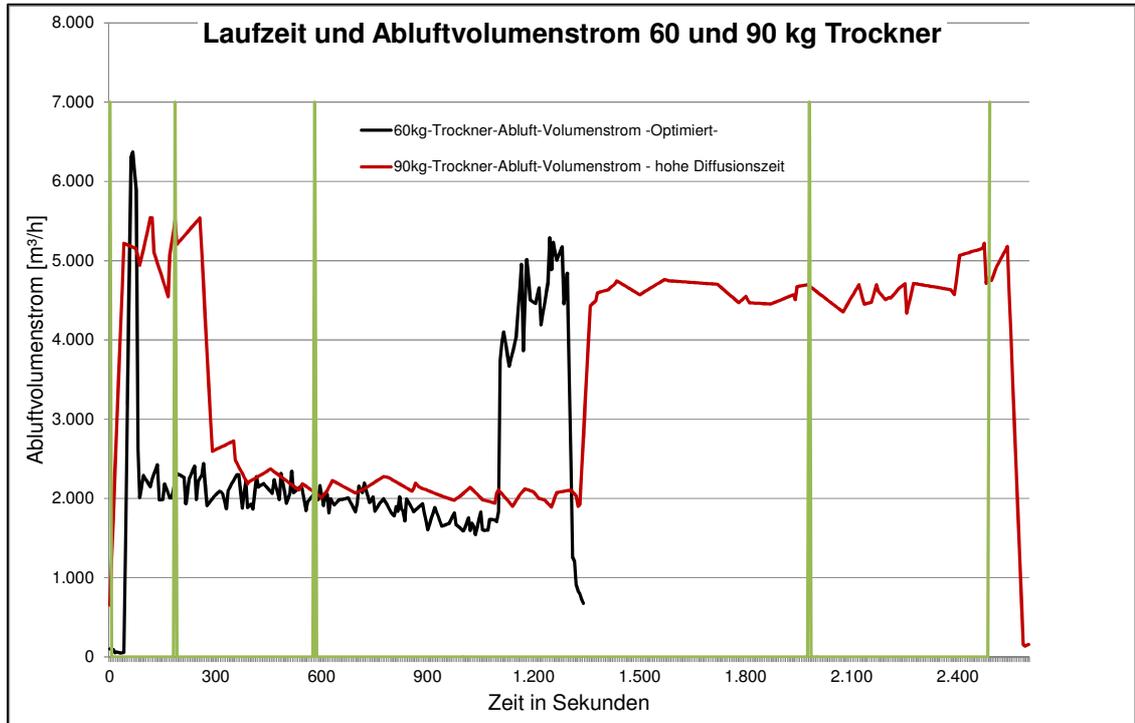


Abbildung 112: Vergleich Trocknungsprozess 60 kg- und 90 kg-Trockner, Wäscherei für Krankenhauswäsche

Wie zuvor ausgeführt, wurden in den Trocknern der Gruppe „Altenheim“ selbst eine 30 %ige Beladung nicht erreicht. Andererseits werden noch 4 dampfbeheizte Trockner mit Zeit-/Temperaturregelung betrieben. Alle Trockner haben eine sehr große Beladekapazität. Gerade dort, wo nur wenige Posten getrocknet werden (Bügelstation), ist die Vermeidung von Stand-By-Verlusten von Geräten ein sehr wichtiger Faktor. Die Nutzung von Wäschetrocknern aus dem Bestand ist hier die wirtschaftlichste Lösung. Die Gruppe „Altenheim“ mit variablen Postengrößen sollte nicht nur Trockner mit einer Nennbeladung von 28 bis 56 kg umfassen, sondern zugunsten der vielen Kleinstposten Trockner mit 10 bis 16 kg. Die Abwärmenutzung aus der Abluft sollte noch weiter ausgebaut werden und bei der Anschaffung neuer Trockner berücksichtigt werden. Nicht jeder Wäschetrockner ist für Abwärmenutzung geeignet. Bislang wird die Abwärme nur bei Trockner 7 bis 10 und bei einem Trockner der Altenheimgruppe genutzt.

- **Elektrische Energie**

- Große Hallenflächen
- Hohe Anzahl Trockner
- Ältere Leuchtstofflampen

Die elektrische Energie ist insgesamt auf vergleichbarem Level mit anderen Wäschereien, jedoch bei der Größe des Betriebs optimierbar. Die gegenüber anderen Betrieben längere Betriebszeit führt in Verbindung mit der Anzahl der Maschinen zu einem höheren Energieaufwand. Außerdem sollten die Trocknungsprozesse mit weniger bzw. kleineren Maschinen durchgeführt werden. Neben der Einsparung von Erdgas kann auch eine Stromeinsparung durch kleinere Motoren an Gebläse und Trommelantrieb erreicht werden. Erste Schritte hat

der Betrieb bereits umgesetzt und einen drehzahlvariablen Kompressor angeschafft sowie eine Saugzuganlage an Trockner 1 bis 6 (Verbundtrockneranlage 1) durch eine Hubkippvorrichtung ersetzt.

7 Untersuchung Hotelwäsche

7.1 Allgemeine Daten

Für die untersuchte Wäscherei galten folgende Daten:

- Tageswaschleistung: im Mittel ca. 6,6 t/d, in der Messwoche der Ist-Analyse 7,26 t/d
 - davon ca. 5,44 t/d durch die Waschstraße
 - ca. 1,11 t/d durch die Pharmagg Favorit-Waschschleudermaschinen (WSM 1-3)
 - ca. 0,72 t/d durch WSM 4 bis 8
- Reiner Mischbetrieb mit größtem Anteil Flachwäsche aus dem Hotelbereich
- Die tägliche Betriebszeit wurde mit 8,4 h/d angesetzt, Finisher (2 - 3 h/d) und Dämpfpuppen (1 - 2 h/d) entsprechend des Bedarfs niedriger, die Laufzeit der Versorgungsanlagen mit 8,4 h/d angesetzt und die jährlichen Betriebstage mit 250 Tagen festgelegt.
- Wäschereifläche: ca. 1.440 m², Anordnung siehe **Abbildung 113**, durch eine Trennwand aufgeteilt in einen reinen (ca. 900 m²), einen unreinen Bereich (ca. 400 m²) sowie das Kesselhaus (ca. 100 m²)
- Die Druckluftherzeugung war im reinen Bereich in der nordöstlichen Ecke der Halle untergebracht (Lagerfläche Leasing, siehe **Abbildung 113**)
- Das benötigte Weichwasser wurde durch zwei im Kesselhaus befindliche Enthärtungsanlagen, je eine für die Wäscherei und die Dampferzeugung, hergestellt.
- Die Waschmittellagerung und die dazugehörige Dosiertechnik befand sich im unreinen Bereich hinter WSM 4 bis WSM 8, direkt an der Kopfseite der WSR. (siehe **Abbildung 113**).
- Wäscheffluss Waschstraße:
 - Waschstraße → Presse → Tumbler (unbeheizter 60-kg-Trockner) →
 - Danach Aufteilung:
 - Flachwäsche: Mangel
 - Formteile: Taktfinisher / Dämpfpuppe
 - Alle weiteren Wäschearten: Trockner zur Volltrocknung
 - Trockner: Wäsche aus der Waschstraße und aus WSM 1 bis 3 wurde in zwei 60 kg-Trocknern (mit Verbundsteuerung im Takt der Waschstraße getrocknet. Der Rest wurde auf einen erdgasbeheizten 32 kg Trockner sowie 5 dampf-beheizte Trockner von 7 bis 20 kg Nennbeladung verteilt.
- Das Abwasser der Wäscherei wurde ohne Aufbereitung in den Kanal eingeleitet (indirekte Einleitung).

Tabelle 51: Waschtechnik Wäscherei für Hotelwäsche

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Kammeranzahl	Kammer-/Trommelvolumen [Liter]	Nennwaschleistung [kg/h]	Art der Wärmeversorgung	Nennpostenmasse [kg]	Sonstige
Waschstraße	WSR	Jensen	Universal P50-11	11	Kammer 1: 2.567 ab Kammer 2: 1.407		Dampf	50	Presse: 28bar, 120s, Taktzeit 180s
Waschschleudermaschine	WSM1	Pharmagg	Favorit	2	800 / D-Typ		Dampf	80	Hygieneausführung

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Kammeranzahl	Kammer-/Trommelvolumen [Liter]	Nennwaschleistung [kg/h]	Art der Wärmeversorgung	Nennpostenmasse [kg]	Sonstige
Waschschleudermaschine	WSM2	Pharmagg	Favorit	2	800 / D-Typ		Dampf	80	Hygieneausführung
Waschschleudermaschine	WSM3	Pharmagg	Favorit	1			Dampf	60	Hygieneausführung
Waschschleudermaschine	WSM4	IPSO	CW 8	1			Elektro	8	Manuelle Waschmitteldosierung
Waschschleudermaschine	WSM5	IPSO	HC 100	1	100		Dampf	10	
Waschschleudermaschine	WSM6	IPSO	HF 234	1	234		Dampf	23	
Waschschleudermaschine	WSM7	IPSO	HC 165	1	165		Dampf	16	HC 165 Links
Waschschleudermaschine	WSM8	IPSO	HC 165	1	165		Dampf	16	HC 165 Rechts

Tabelle 52: Trockner der Wäscherei für Hotelwäsche

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Kammer-/Trommelvolumen [l]	Nennleistung Feuerung / Heizung	Art der Wärmeversorgung	Nennposten bei CO-Beladung bei 25 l/kg	Abluftvolumenstrom Trocknen / CoolDown [m³/h]	g-Faktor	Reversierung	Anmerkungen
Verbundtrockneranlage	Trockner 1	Jensen	DT 60	1478	200 kW	Erdgas	59 kg	1.200-3.000/6.000	0,8	nein	Fast ausschließlich im Schüttlerbetrieb
	Trockner 2	Jensen	DT 60	1478	200 kW	Erdgas	59 kg	1.200-3.000/6.000	0,8	nein	
	Trockner 3	Jensen	DT 60	1478	200 kW	Erdgas	59 kg	1.200-3.000/6.000	0,8	nein	Mit Saugzugvorrichtung
Einzel-trockner	Trockner 4	Miele	PT 8807 G	800	36 kW	Erdgas	32 kg	1.080	0,8	87/2	
Einzel-trockner	Trockner 5	Passat	132	130	k. A.	Dampf	7 kg		0,75	nein	Sammelabluftleitung Trockner 5 bis 8
Einzel-trockner	Trockner 6	Passat	144	400	66 kW _{th}	Dampf	20 kg	k. A.	0,75.	nein	Sammelabluftleitung Trockner 5 bis 8

Anlagenart	Maschinen-bezeichnung	Hersteller	Typ	Kammer-/Trommelvolumen [l]	Nennleistung Feuerung / Heizung	Art der Wärme-versorgung	Nennposten-bei CO-Beladung bei 25 l/kg	Abluftvolumenstrom Trocknen / CoolDown [m³/h]	g- Faktor	Reversierung	Anmerkungen
Einzel-trockner	Trockner 7	Passat	143 D-WU	320	k. A.	Dampf	16 kg		0,75	nein	Sammel-abluft-leitung Trockner 5 bis 8
Einzel-trockner	Trockner 8	Passat	142	280	k. A.	Dampf	14 kg		0,75	nein	Sammel-abluft-leitung Trockner 5 bis 8
Einzel-trockner	Trockner 9	Lavatec	FL 602 D	320	42 kW _{th}	Dampf	16 kg		0,7	33/1	

Tabelle 53: Anlagen zur Sonderbehandlung, sonstige Wäschereitechnik, Wäscherei für Hotelwäsche

Anlagenart	Maschinen-bezeichnung	Hersteller	Typ	Anzahl Module / Rollen	Nenn-leistung Feuerung / Heizung	Art der Wärme-versorgung	Nennposten-masse	Abluft-volumenstrom [m³/h]	Anmerkungen
Takt-finisher		KD	FinCab 150		k.A.	Dampf		k. A.	
Mangel	Mangel 1 (Mangel Nord)	Kanne-giesser	HPM-12-30-2	1	14,1 kg/min Dampf	Dampf	k.A.	k.A.	120 cm Walzen-durchmesser, 300 cm Arbeits-breite
Mangel	Mangel 2 (Mangel Süd)	Kanne-giesser	HPM-12-33-1	1	6,6 kg/min Dampf	Dampf	k.A.	k.A.	120 cm Walzen-durchmesser, 330 cm Arbeits-breite

Tabelle 54: Versorgungsanlagen der Wäscherei für Hotelwäsche

Anlagenart	Maschinen-bezeichnung	Hersteller	Typ	Nenn-leistung	Brennstoff	Max. Druck [bar]	Anmerkungen
Dampferzeugung	Dampfkessel 1	Loos International	UHD	1,6 t/h	-	13	
Dampferzeugung	Brenner Dampfkessel 1	Weishaupt	EK 7.450 GL	1.700 kW	Erdgas	-	2-stufiger Brenner
Dampferzeugung	Speisewasserbehälter	k.A.	k.A.	-	-	-	
Druckluft-erzeugung	1-stufiger Kompressor links Waschhalle	Compair	L22-10	22 kW _{el}	-	10	
Druckluft-erzeugung	1-stufiger Kompressor rechts Waschhalle	Compair	L22-10	22 kW _{el}	-	10	

Anlagenart	Maschinenbezeichnung	Hersteller	Typ	Nennleistung	Brennstoff	Max. Druck [bar]	Anmerkungen
Druckluft-erzeugung	1-stufiger Kompressor „Biologie“	Renner	RS 7,5 - 10	7,5 kW.	-	10	
Druckluft-erzeugung	Drucklufttrockner Waschhalle	OMI	TMZ 420	2,3 kW _{el}	-	-	R134A
Beleuchtung	LSL + LED-Leuchten	divers	divers	k.A.	-	-	nicht erfasst
Heizung Verwaltung / Sozialbereich	Viessmann NT-Kessel	Viessmann	Paromat Triplex	-	-	-	
Heizung Verwaltung / Sozialbereich	Brenner an Viessmann NT-Kessel	Weishaupt	WG30N/1-A	225 kW _{th}	Erdgas	-	Ausf. Z

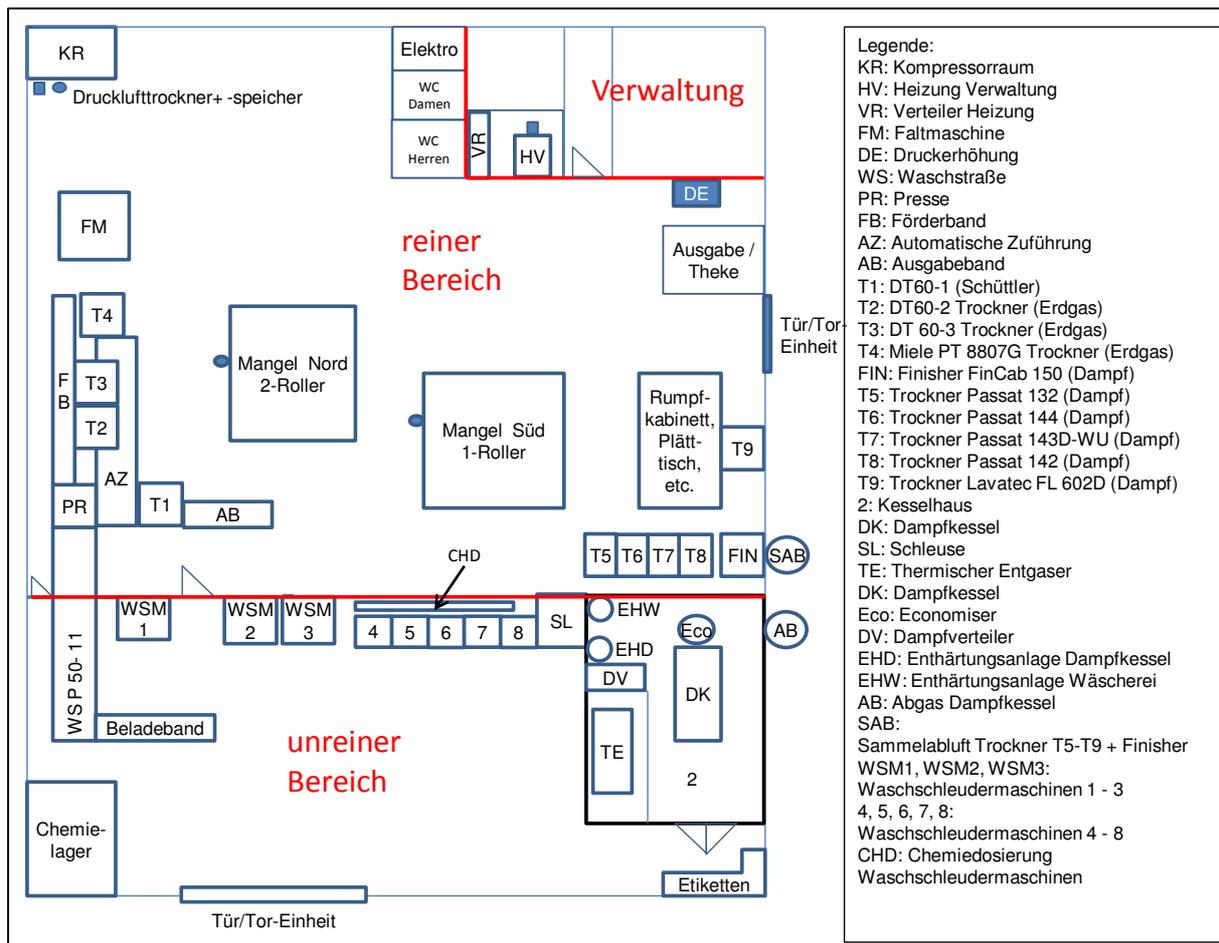


Abbildung 113: Grundriss, nicht maßstäblich, Wäscherei für Hotelwäsche

7.2 IST-Analyse Hotelwäsche

7.2.1 Energie- und Stoffströme

7.2.1.1 Wäscheströme

Aus Aufnahmen des WSR-Monitors, Wäschereiaufzeichnungen und Annahmen wurde die Wäschebilanz erstellt. Wie **Abbildung 114** zu entnehmen ist, wird mit ca. 5,4 t/d ein Anteil von ca. 76 % der Gesamtwäsche gewaschen.

WSM 1 bis 3 erreichen eine tägliche Waschleistung von 0,3 bis 0,4 t/d. WSM 4 bis 8 werden für Kleinposten und Nachwäschen bearbeitet. Hier sind die Mengen deutlich geringer und die eingesetzte spezifische Energie ist deutlich höher.

Die Ermittlung der Wäschemengen durch Trockner- und Finishmaschinen basiert auf Schätzungen und iterativen Berechnungen.

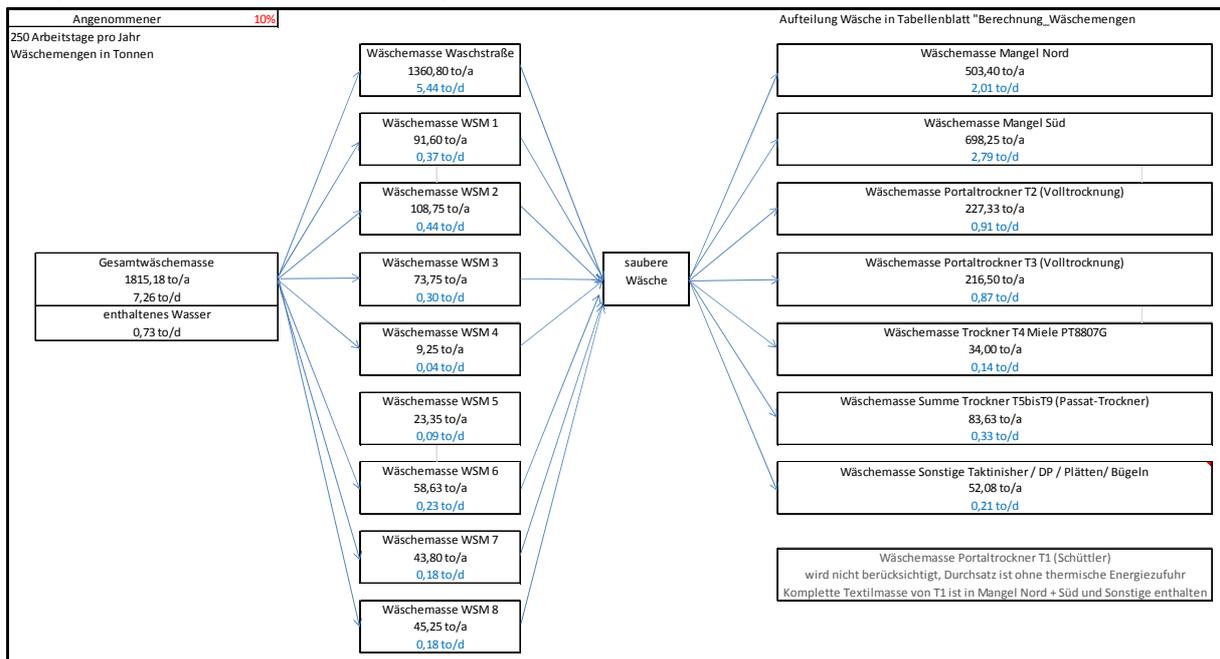


Abbildung 114: Wäschebilanz der Wäscherei für Hotelwäsche

7.2.1.2 Wassereinsatz

Folgende Messstellen waren vorhanden:

- Hauptwasserzähler – Trinkwasser des Wasserversorgers
 - Unterzähler Waschstraße WSR
 - Unterzähler Kesselspeisewasser

Die Wasserverbräuche wurden abgelesen bzw. aus vorhandenen Daten der Wäscherei übernommen. Ergänzend wurden mittels Clamp-On-Ultraschallmessgerät die Trinkwassermenge am Hauptwasserzähler erfasst.

Tabelle 55: Trinkwasserverbrauch am Hauptwasserzähler, Wäscherei für Hotelwäsche

Datum	Uhrzeit	Zählerstand Wasseruhr	Verbrauch manuell	Betriebsstunden (5-15 Uhr)	Verbrauch pro h	Tagesbedarf (8,4h)
14.01.2013	6.50 Uhr	*51.807 m ³				
14.01.2013	15.17 Uhr	51.862 m ³	55 m ³	8,45	6,51 m ³ /h	54,67 m ³
15.01.2013	7.30 Uhr	51.878 m ³	16 m ³	2,5	6,4 m ³ /h	
15.01.2013	15.35 Uhr	51.924 m ³	46 m ³	8,08	5,69 m ³ /h	58,6 m ³

Tabelle 56: Trinkwasserverbrauch nach Ultraschallmessung, Wäscherei für Hotelwäsche

Datum	Start Messung	Ende Messung	Verbrauch nach Ultraschall	Verbrauch pro h	Tagesbedarf (8,4h)
14.01.2013	6:45 Uhr	15.20 Uhr	60.832 Liter	7.087,2 Liter	59.532 Liter
14.01.2013	15:43 Uhr	23:59 Uhr	110,3 Liter		
15.01.2013	0:00 Uhr	15:30 Uhr	66.907,3 Liter	6.690,7 Liter	56.202 Liter

- Für die weiteren Betrachtungen wurde der Trinkwasserbedarf als Mittelwert der zwei Messungen herangezogen: 57.867 l/d
- Die Druckerhöhungsanlage für das gesamte Trinkwasser in der Liegenschaft befindet sich unmittelbar hinter dem Hauptwasserzähler. Die einfach aufgebaute Anlage lief immer dann an, wenn der Druck den eingestellten Mindestdruck von 3 bar unterschritt und schaltete ab, wenn ein Druck von 6 bar erreicht wurde. Es konnte deshalb davon ausgegangen werden, dass die Druckschwankungen einen Einfluss auf den eingebauten Wasserzähler hatten.
- Im Rahmen einer Messung wurde die auffällig häufig taktende Druckerhöhungsanlage untersucht und deren Schaltverhalten aufgezeichnet. Wie in **Abbildung 115** erkennbar ist, zeigt die Pumpe der Druckerhöhungsanlage (Anlage um schwankende Netzwasserdrücke auszugleichen) im dargestellten Zeitraum von 1,5 Stunden viele Start-Stopp-Zyklen.

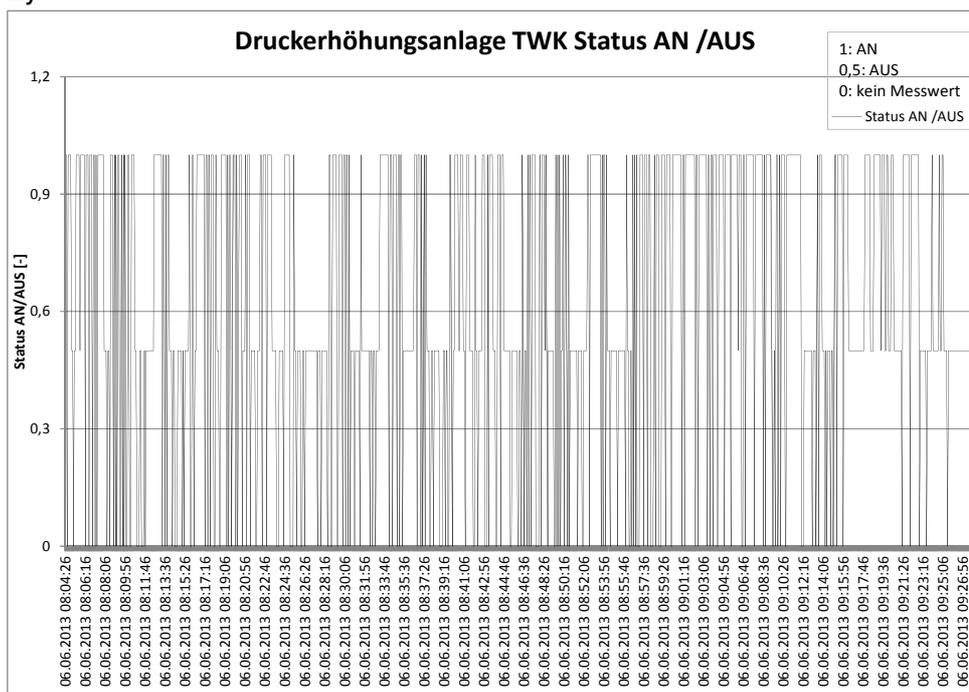


Abbildung 115: Ausschnitt aus der Erfassung des Betriebsstatus der Druckerhöhung, Wäscherei für Hotelwäsche

- Verbrauch Trinkwasser und enthärtetes Wasser von WSM 1 bis 8
Zur Ermittlung des Wasserverbrauchs der Waschschleudermaschinen wurde der Volumenstrom mittels Clamp-On-Ultraschallmessgerät über insgesamt ca. 6,25 Stunden gemessen (siehe **Tabelle 57**). Der mittlere Gesamtverbrauch pro Stunde aller WSM betrug ca. 2,86 m³/h.

Tabelle 57: Ermittlung des mittleren Wasserverbrauchs von WSM 1 bis 8, Wäscherei für Hotelwäsche

Messung	Messdauer [hh:mm]	Wasserverbrauch Trinkwasser [l]	Wasserverbrauch enthärtetes Wasser [l]
Messung 1	03:28	4.845	4.808,4

Messung 2	02:49	4.311	4.056,1
Mittlerer Verbrauch pro Stunde		1.453	1.407

- Kesselspeisewasser und Kühlwasser für den Entspanner

Die meisten Dampfkesselanlagen verfügen über einen Entspanner. Dieser Behälter aus Stahl verbindet die Absalz- und Abschlammleitung mit dem Abwasserkanal und verfügt über eine senkrecht nach oben laufende Stahlleitung übers Dach hinaus. Durch seine ausreichend dimensionierte Größe und die Verbindung nach außen sowie eine ausreichend druckbeständige Bauweise sorgt der Entspanner dafür, dass das unter Druck stehende, aus dem Kessel kommende Wasser (hier ca. 170°C) entspannt wird. Bei der Entspannung auf Umgebungsdruck entsteht Dampf, der über die Stahlleitung entweichen kann und ca. 100 °C warmes Abwasser, das dem Kanal zugeführt würde. In der Wäscherei für Hotelwäsche verfügte der Entspanner über eine Kühlwasserzufuhr. Das Kühlwasser für den Entspanner diente zur Absenkung der Abwassertemperatur, um die maximal zulässige Temperatur des Abwassers einzuhalten und Schäden an Abwasserrohren zu verhindern.

Der Dampfkessel wurde mit Speisewasser aus einer separaten, vom Waschwasser unabhängigen Enthärtungsanlage versorgt. In der Versorgungsleitung nach der Enthärtungsanlage war ein Wassermengenzähler eingebaut. Durch diese Anordnung wurde mit dem Zähler das Kesselspeisewasser und das Kühlwasser für den Entspanner aufgezeichnet. Zur Auftrennung in die beiden Einsatzzwecke wurde zusätzlich zur Erfassung des gesamten enthärteten Wassers auch der Volumenstrom des Kühlwassers mittels Clamp-On-Ultraschallmessgerät aufgezeichnet.

Die Auswertung des Wasserzählers ergab einen Wasserdurchsatz von ca. 3,2 m³/d, davon entfielen ca. 0,3 m³/d auf das Kühlwasser des Entspanners. Die zugeführte Speisewassermenge betrug ca. 2,9 m³/d.

Aus den ermittelten Daten wurde eine Wasserbilanz für die Wäscherei für Hotelwäsche erstellt (siehe **Abbildung 116**).

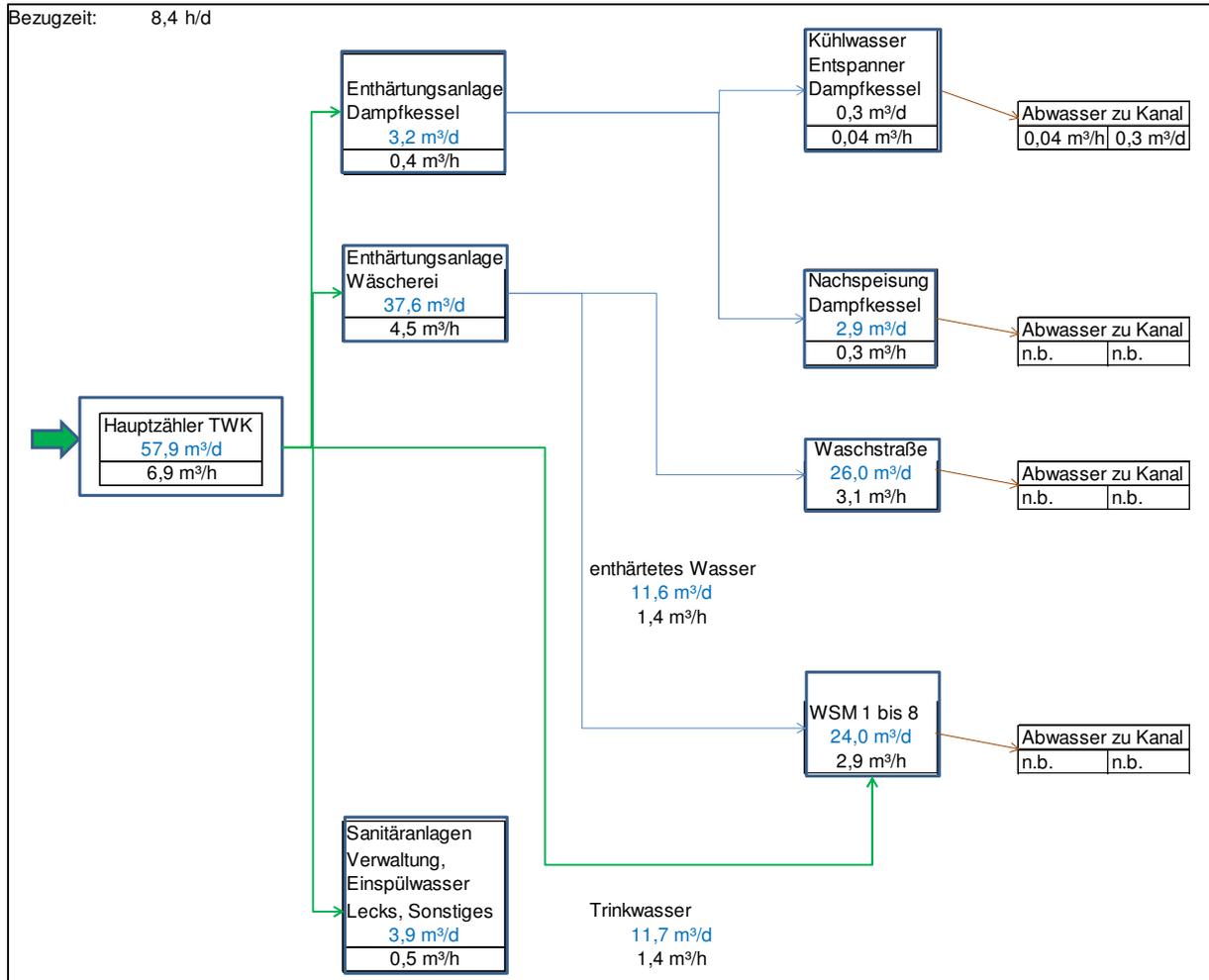


Abbildung 116: Wasserbilanz der Wäscherei für Hotelwäsche

Wie in **Abbildung 116** zu sehen ist, entfällt der Großteil des Wassers auf die Waschprozesse (ca. 70 %), jedoch benötigten die Waschsleudermaschinen von diesem Waschwasser 58 %, obwohl auf die Waschsleudermaschinen lediglich 24 % der Wäschemenge entfiel.

7.2.1.3 Wärmeerzeugung

Die Wäscherei für Hotelwäsche verfügte über mehrere, sich ergänzende Wärmequellen:

- Dampfkesselanlage mit 1,6 t/h-Dampfkessel zur Versorgung von Mangeln + Trockner 5 bis 9 und Kleinverbraucher (Dämpfpuppen, Plättische etc.) sowie Frischdampf für Waschprozesse
- Direkt erdgasbeheizte Wäschetrockner (Trockner 1 bis 4)
- Niedertemperatur-Erdgasheizung mit 225 kW Nennleistung zur Raumheizung und Warmwasserbereitung im Verwaltungstrakt

Größte einzelne Wärmequelle war die Dampfkesselanlage mit einem 1,6-t/h-Dampfkessel. Die Feuerung bestand aus einem zweistufigen Erdgasbrenner, der einen Nennleistungsbereich von 300 kW bis 1.700 kW abdeckte und auf ca. 1.002 kW Spitzenleistung in Stufe 2 eingestellt war. Der Dampfkessel verfügte über einen Economiser mit einer Nennleistung von 176 kW. Das Kesselspeisewasser wurde durch eine Enthärtungsanlage aufbereitet und nach Bedarf dem Speisewasserbehälter zugeführt. Die Dampfkesselanlage wurde mit einer chemo-thermischen Entgasung betrieben und neben der Dosierung von gasbindenden Mitteln wurde das frisch zugeführte Speisewasser durch Verrieselung im Dom des Speisewasserbehälters stark erhitzt. Dabei entweichen die im Wasser gebundenen Gase aber auch ein Teil des Wassers als

Wrasendampf über Dach. Bei Bedarf wurde das Kesselspeisewasser aus dem Speisewasserbehälter durch den Economiser gepumpt, dabei erhitzt und dem Dampfkessel zugeführt. Im Rahmen der Untersuchungen wurde die Dampftemperatur am Kessel ermittelt und betrug am Dampfkessel ca. 185 °C. Unter Annahme von gerade gesättigtem Dampf lag der mittlere Dampfdruck bei ca. 11,2 bar_{abs}, was ebenfalls der Dampfdruckanzeige am Kessel entsprach. Die Dampfkesselanlage versorgte über ein 11-bar-Netz zwei Mangeln sowie einen Batchfinisher. Für Verbraucher mit geringem Energiebedarf gab es ein zweites Netz mit 5,5 bar_{abs}. Das Kondensat aller Verbraucher – mit Ausnahme der Waschprozesse - wurde zurück in den Speisewasserbehälter geführt. Für beide Dampfnetze gab es jeweils eigene, voneinander unabhängige Kondensatsammelleitungen. Die in **Abbildung 117** angegebenen abweichenden Drücke nach dem Dampfverteiler entsprechen der vor Ort vorgefundenen Bezeichnung am Verteiler, die Werte in Klammern sind die rechnerisch ermittelten Drücke.

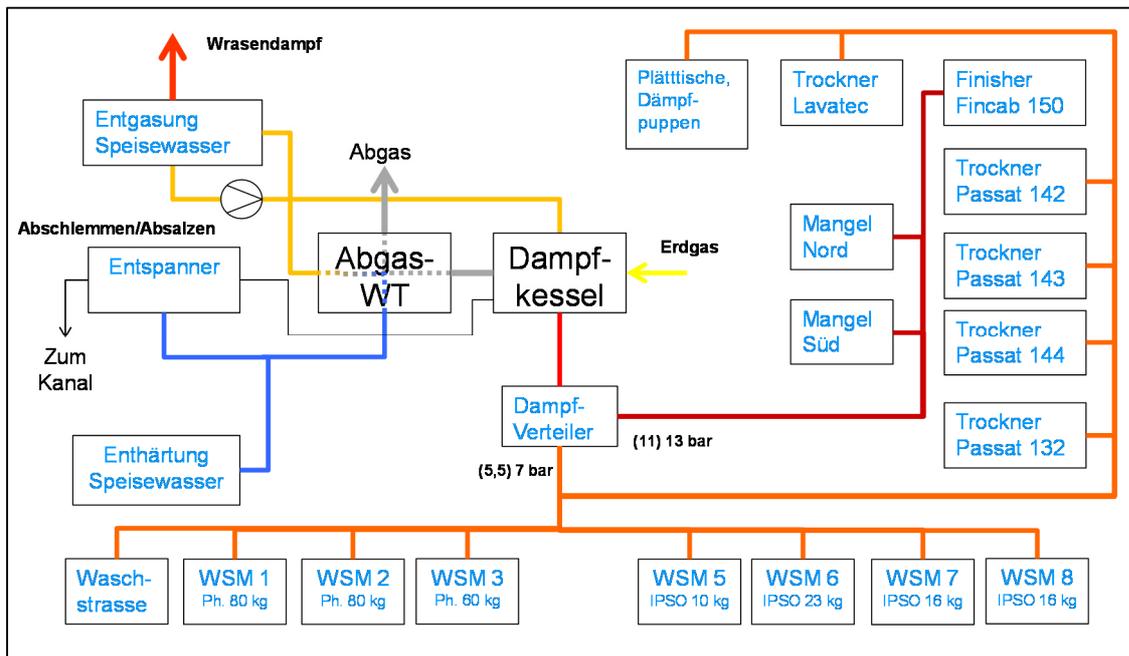


Abbildung 117: Dampfschema Wäscherei für Hotelwäsche

Die Wärmeversorgung für die Raumheizung bestand aus einem Niedrigtemperaturheizkessel Brennwärthe für Heizung und Warmwasser im Verwaltungstrakt sowie drei Lufterhitzern an der Decke. Nach Auskunft der Wäscherei wurden diese im Allgemeinen nur zur Absicherung gegen Frost bei Betriebspausen genutzt. Betrachtungen des Erdgasverbrauchs bestätigten dies.

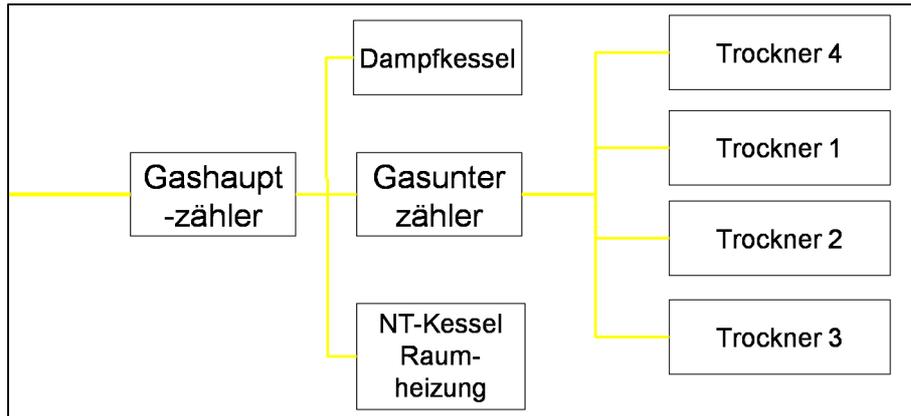


Abbildung 118: Aufbau des Erdgasnetzes, Wäscherei für Hotelwäsche

Wie in **Abbildung 118** zu erkennen ist, verfügte die Raumluftheizung und der Dampfkessel über keinen eigenen Erdgaszähler. Zur Ermittlung der Leistungen wurden deshalb parallel die Abgastemperatur der Verwaltungsheizung, der Gasunterzähler und der Gashauptzähler erfasst. Zur Ermittlung der Leistung des Dampfkessels wurde zusätzlich die Betriebsstufe des Brenners aufgezeichnet, um so eine Aussage zur Leistung je Brennerstufe treffen zu können. Aus dem Temperaturverlauf des Abgases wurde eine mittlere Brennerbetriebszeit von 168 s ermittelt. Die mittlere Brennerzeit berechnet sich aus den Spülzeiten und Laufzeit von Groß- zu Kleinlast von 8 s.

$$P_{\text{Brenner,mittel}} = \left[\frac{(300-60)\text{kW}}{2} * 2 * 8 \text{ s} + 60 * 152 \text{ s} \right] : 168 \text{ s} = 65,7 \text{ kW}$$

Für den Messzeitraum von ca. 8 h betrug die Brennerlaufzeit der Niedrigtemperatur-Heizung 28,5 min. Der auf die Raumheizung und Warmwasserbereitung entfallende Energieanteil von ca. 31 kWh wird in Bezug auf die Gesamtbetriebsbetrachtung nicht betrachtet. Erst im Zuge einer Anlagensanierung sollte die Rentabilität einer Abwärmenutzung kalkuliert werden.

Für die Ermittlung des Gasverbrauchs des Dampfkessels ist eine Differenzrechnung nötig:

Gasleistung DK = Gesamtgasleistung – Gasleistung Trockner – Gasleistung Heizkessel
mit

Gasleistung DK:	Gasleistung Dampfkessel
Gesamtgasleistung:	Verbrauch je Zeiteinheit (10 bzw. 30 s) am Hauptzähler
Gasleistung Trockner:	Verbrauch je Zeiteinheit (10 bzw. 30 s) am Unterzähler Trockner
Gasleistung Heizkessel:	Verbrauch je Zeiteinheit (10 bzw. 30 s), ermittelt aus den Betriebszeiten, in denen keine Verbraucher gelaufen sind

Der erdgasseitig erfasste Energiedurchsatz am Unterzähler Trockner betrug im Mittel zum Zeitpunkt der IST-Analyse 1.633 kWh pro Tag. Die mittlere Leistung betrug

- 194,4 kW bezogen auf den 8,4 h – Arbeitstag
- 163,3 kW bezogen auf den für Versorgungsanlagen relevanten 10-h - Tag

Die auf den Dampfkessel fallende Erdgasleistung konnte über die Zeitanteile der Brennerstufen und berechneten Erdgasleistungen der Brennerstufen ermittelt werden. Wie in **Tabelle 58** zu sehen ist, wird der Dampfkessel nur 35 % am Tag in Stufe 2 betrieben. Ca. 95 % der Zeit läuft der Kessel auf einer der beiden Stufen, zu 5 % befindet er sich in Betriebsbereitschaft.

Tabelle 58: Leistungsanteile der beiden Brennerstufen des Dampfkessels, Wäscherei für Hotelwäsche

		Zeitanteil	Mittlere Leistungsanteile
Stufe 1	486,8 kW	60,35 %	293,8 kW
Stufe 2	1.002,4 kW	34,76 %	348,4 kW
Mittelwert Erdgasleistung Dampfkessel		95,11 %	642,3 kW

Der jährliche Erdgasbedarf der Wäscherei für den Dampfkessel wurde berechnet.

Tabelle 59: Berechnung des jährlichen Erdgasverbrauchs des Dampfkessels, Wäscherei für Hotelwäsche

Mittlere tägliche Arbeitszeit [h/d]	Jahresarbeitsstage [d/a]	Mittlere Feuerungsleistung [kW]	Jahresenergiebedarf Dampferzeugung [kWh/a]
10	250	642	1.605.000

Bei einem jährlichen Erdgasverbrauch von 2.176.318 kWh (Jahresverbrauch 2011) betrug der Anteil des Dampfkessels ca. 74 %. Die in **Abbildung 119** dargestellte Dampfbilanz über den gesamten Wäschereibetrieb stellt somit einen Großteil des Energieflusses dar.

Aufgrund der Struktur der Zähler mit diversen Unterverbrauchern und der zum Untersuchungszeitpunkt fehlenden Möglichkeit alle Verluste, insbesondere für Absalzen und Abschlämmen, genau zu erfassen, lässt sich eine Ungenauigkeit beim Bilanzieren nicht vermeiden. Berücksichtigt man ca. 10 % der Speisewassermenge für Absalzen und Abschlämmen, resultiert eine Frischdampfmenge von 2,61 m³/d, was einem Volumenstrom von 310,7 l/h entspricht. Die Summe aller Verbraucher wurde jedoch mit ca. 339 kg/h Frischdampf berechnet. Ein Teil davon ist durch den unvermeidlichen Frischdampfverlust in Folge von Leitungswärmeverlusten erklärbar. Der mittlere Nutzungsgrad der Dampferzeugung (ohne Verteilung) wurde mit ca. 92,7 % ermittelt.

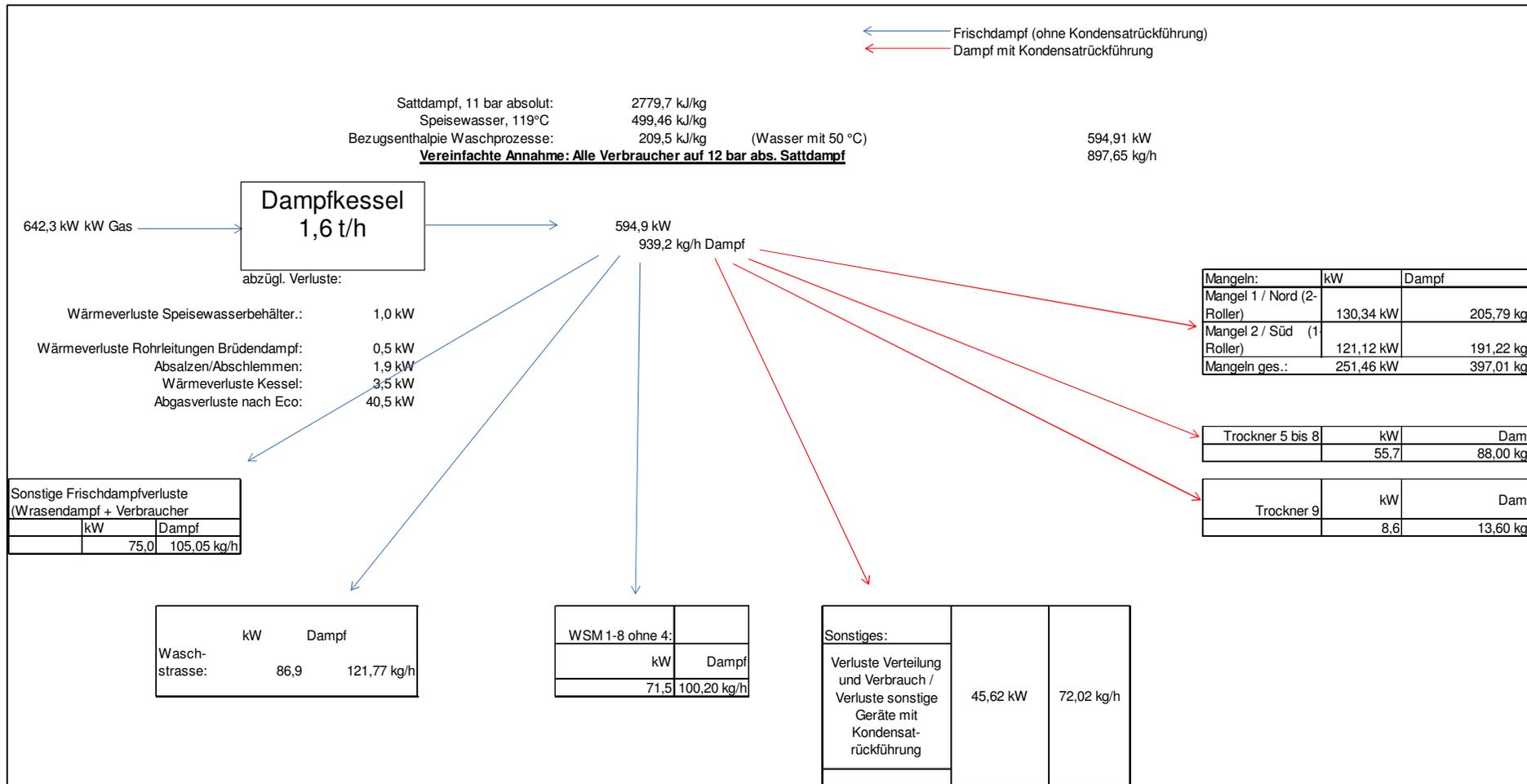


Abbildung 119: Dampfbilanz Wäscherei für Hotelwäsche

Die Werte der Dampfprozesse in den Einzelprozessen bzw. den zusammengefassten Prozessen gleicher Art wurden über die einzelnen Anlagen bzw. über die Anlagengruppen ermittelt (siehe **Abbildung 120** bis **Abbildung 126**). Aufgrund des großen Anlagenbestandes wurden Sammelbilanzen erstellt für:

- WSM 1 bis 8

Zur Vereinfachung wurde die Wäschemenge von WSM 4 und die dort rechnerisch benötigte Energiemenge den dampfbeheizten Waschscheudermaschinen zugeschlagen. Die geringe Wäschemenge von 37 kg/d und der darauf entfallende Energieanteil verfälschen das Ergebnis nur in geringem Umfang.

Für die Bilanzierung in den Waschprozessen wurde standardisiert eine Feuchte vor dem Waschen von 5 % und eine mittleren Restfeuchte von 36% nach WSR bzw. 50% nach WSM nach dem Pressen bzw. Schleudern zugrunde gelegt. Für die Waschstraße 1 wurde der interne Abwasserwärmetauscher in die Bilanzierung eingebunden und die Frischwasser- und Abwassertemperaturen vor bzw. nach dem Wärmetauscher angesetzt (siehe **Abbildung 120** und **Abbildung 121**).

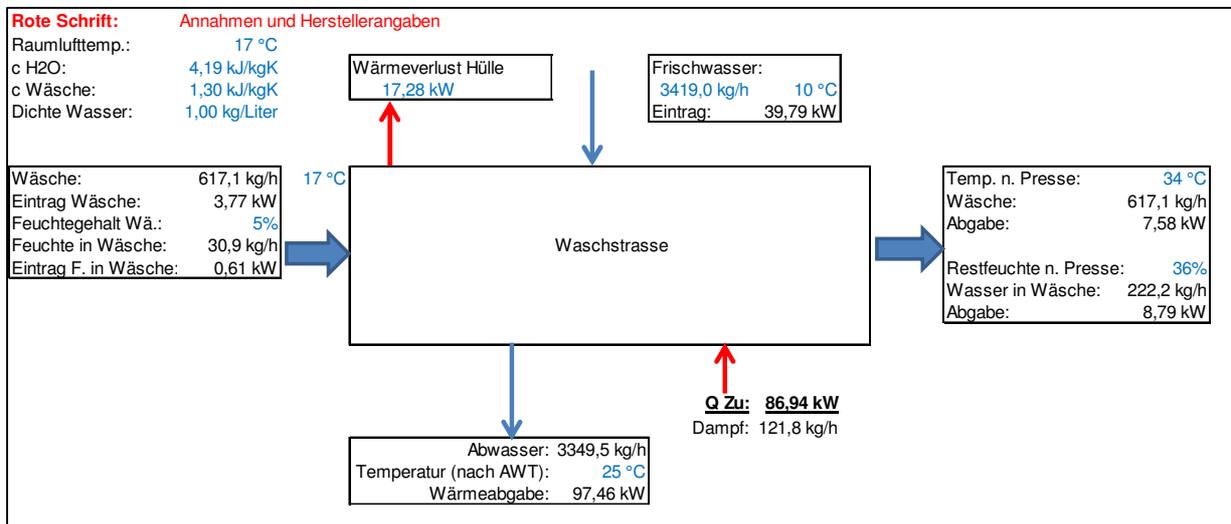


Abbildung 120: Bilanz Waschstraße, Wäscherei für Hotelwäsche

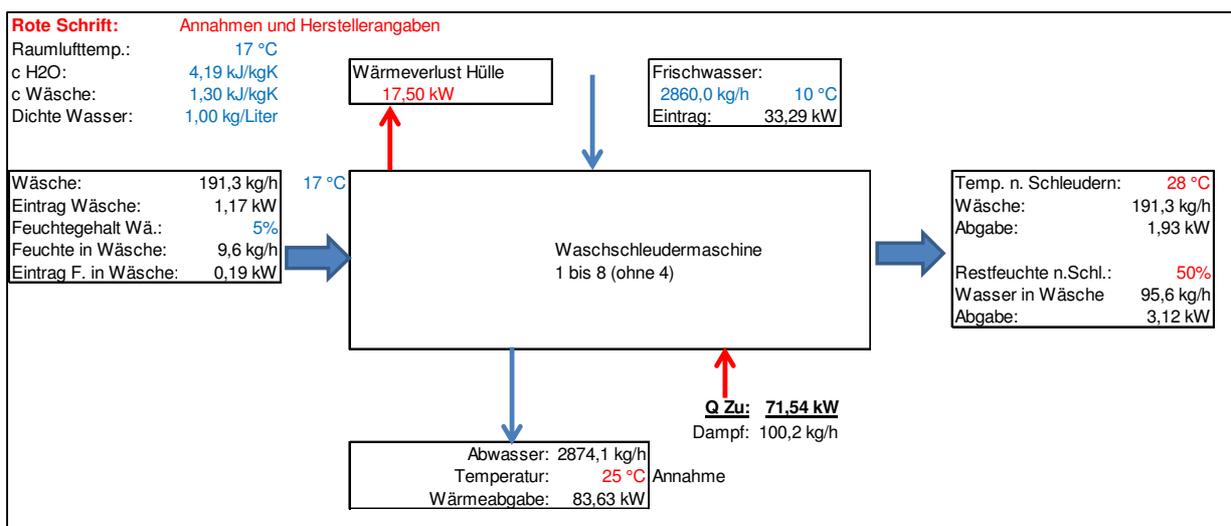


Abbildung 121: Sammelbilanz WSM 1 bis 8 ohne 4, Wäscherei für Hotelwäsche

Aufgrund der starken Betriebsschwankungen bezüglich Mangelauslastung und Ablufttemperaturen – wurde die Bilanzierung der Mangeln auf Basis der hochgerechneten Wäschemasse und der Eingangs- und Ausgangsfeuchte erstellt. Die mit der Luft eingetragene Feuchte wurde

über die gemessene relative Feuchte errechnet. Da die Abluft nur als Dampf – Luft-Gemisch gemessen wurde und die Sensoren in diesem Temperaturbereich ungenaue Werte lieferten, wurde die Masse der abgeführten Feuchte und der trockenen Luft iterativ ermittelt (siehe **Abbildung 122** und **Abbildung 123**). Für die Mangeln wurde mit einer mittleren Restfeuchte der zugeführten Wäsche von 25 % gerechnet. Es kann angenommen werden, dass ein Teil der Feuchte - die Differenz zu den Waschprozessen - beim Auflockern und während der Liegezeit der Wäsche bis zum Mangelprozess verdunstet.

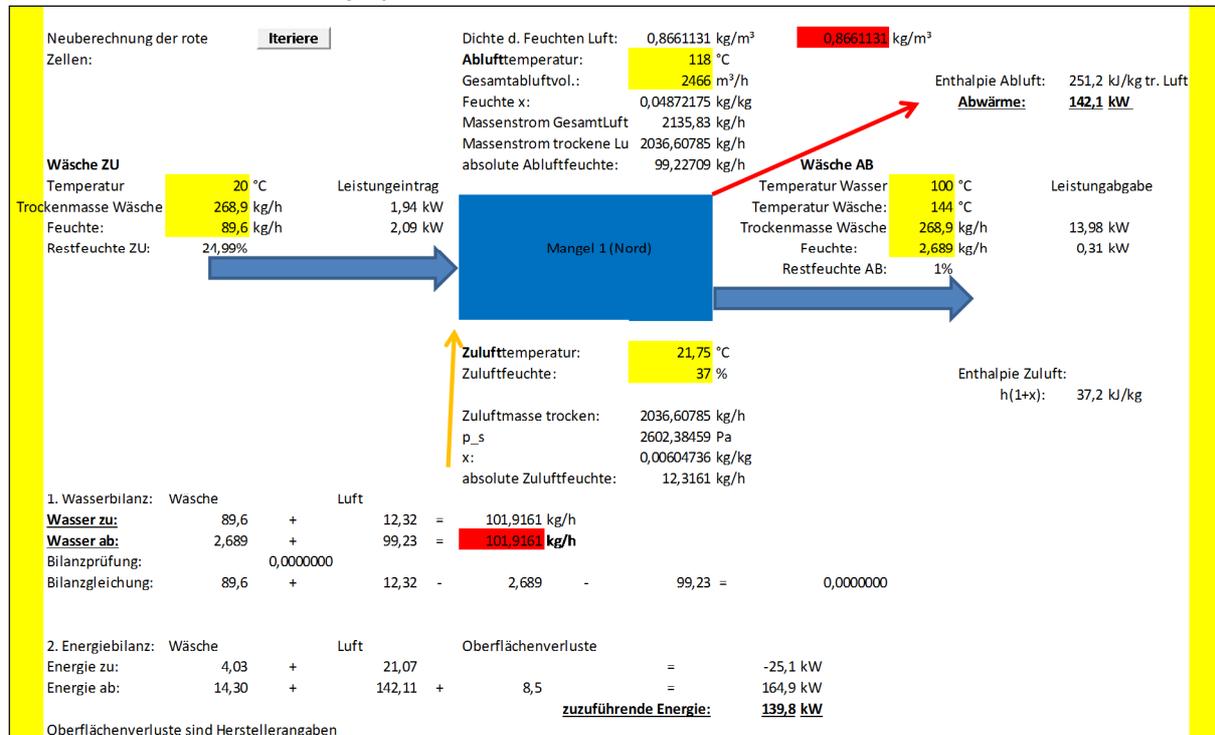


Abbildung 122: Wasser- und Energiebilanz Mangel 1, Wäscherei für Hotelwäsche

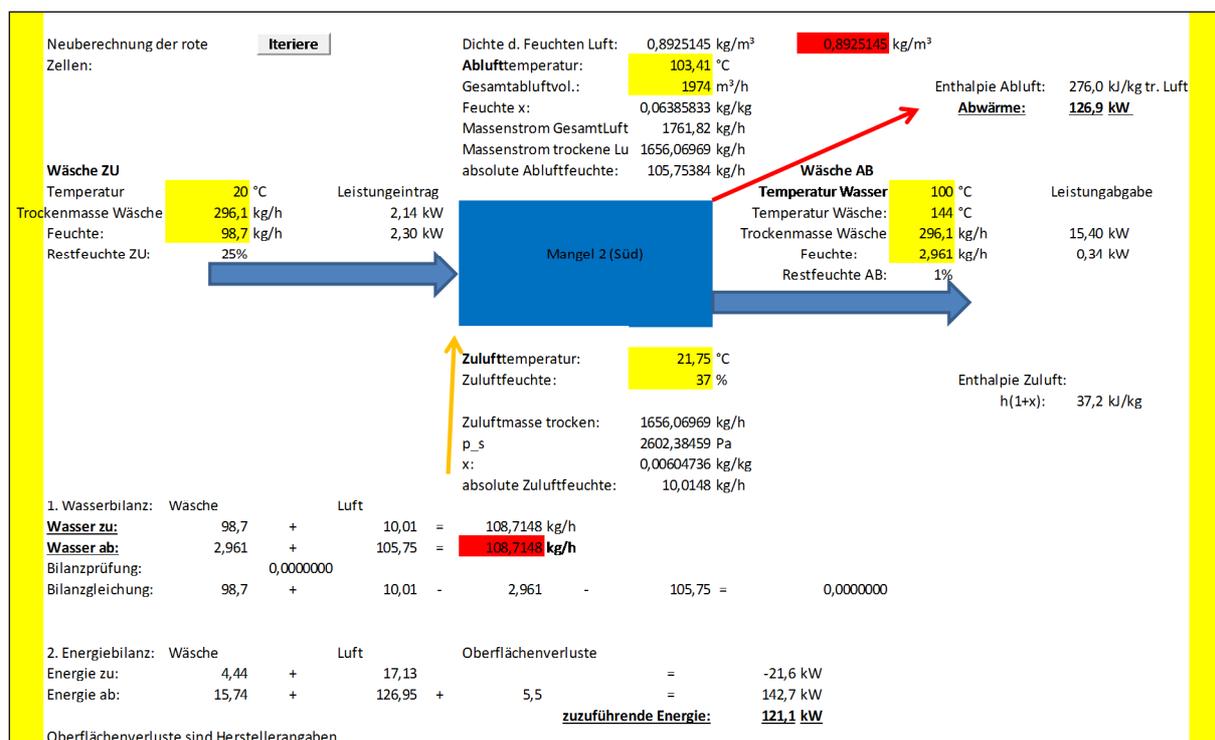


Abbildung 123: Wasser- und Energiebilanz Mangel 2, Wäscherei für Hotelwäsche

Die Bilanzierung der dampfbeheizten Trockner wurde durch die Angewohnheit von Mitarbeitern erschwert, Wäschestücke im laufenden Trocknungsprozess nachzulegen. Deshalb wurde, wie in **Abbildung 124** zu sehen ist, die Annahme getroffen, die Trockner zu einem fiktiven Trockner mit einer Belademenge von 50 % und 10 Posten pro Tag zusammen zu fassen.

Zusätzlich verfügten alle Trockner und der Batchfinisher über eine gemeinsame Abluftleitung ohne Abgleich oder Rückschlagklappe. Über offen stehende Beladetüren wurde dadurch Abluft eines Trockners in den nächsten im Stillstand befindlichen Trockner eingebracht und ggfs. in die Waschhalle abgeführt.

Zur Korrektur des während der Messung kurzzeitig betriebenen Batchfinishers, der ebenfalls seine Abluft in die Sammelablufteitung abführt, wurde die mittlere, relative Feuchte der Abluft um 1,5% korrigiert.

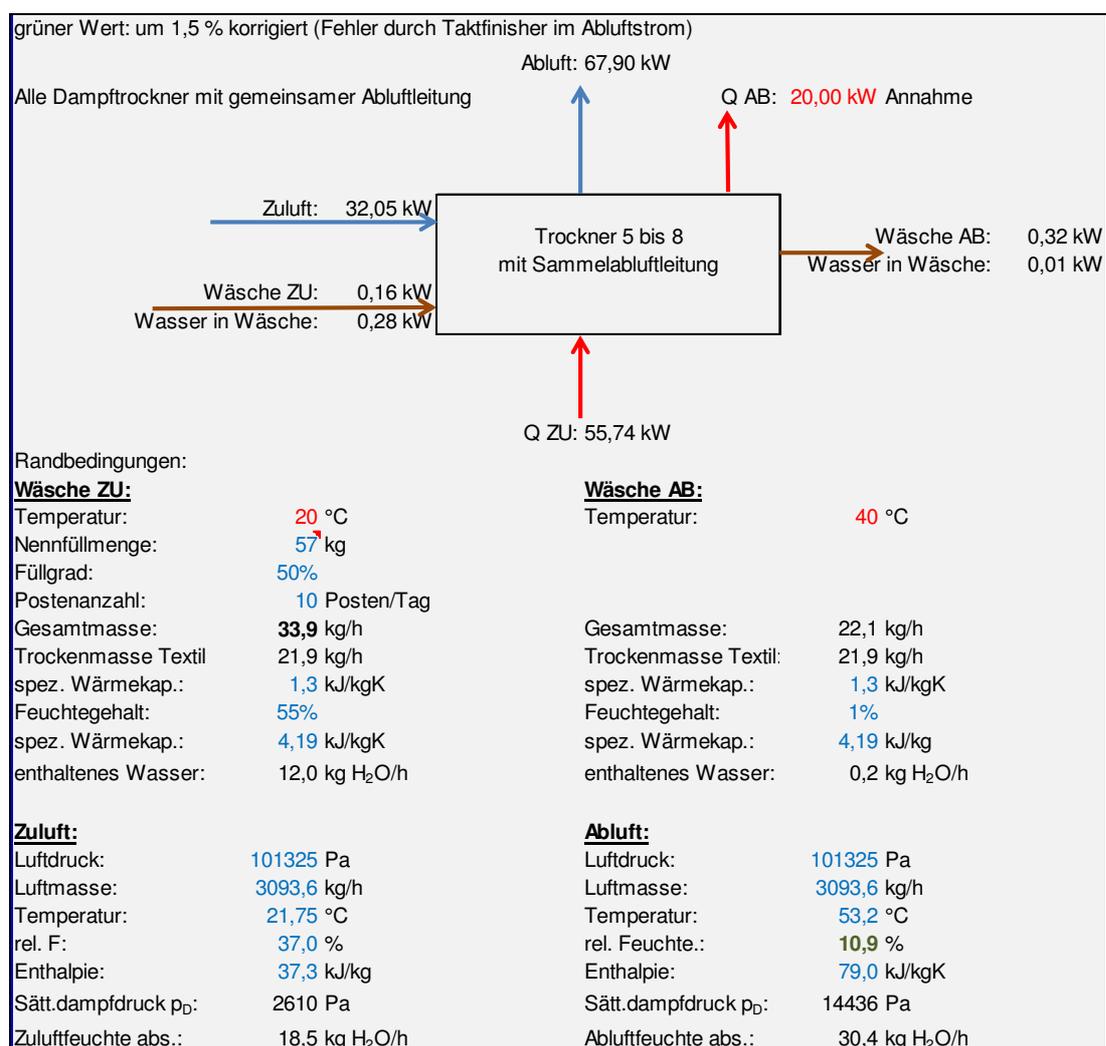


Abbildung 124: Sammelbilanz Wasser und Energie Trockner 5 bis 8, Wäscherei für Hotelwäsche

Im Gegensatz zu den Trocknern 5 bis 8 konnte für Trockner 9 mit wenig Aufwand eine Bilanzierung durchgeführt werden. Über die alleinige Ablufteitung konnte die Anzahl der Posten hochgerechnet sowie mittels Heißluftsonde der Abluftvolumenstrom ermittelt werden. Die relativ geringe Ablufttemperatur und Abluftfeuchte führte zu Messwerten, bei denen von geringen Abweichungen ausgegangen werden kann. Wie in **Abbildung 125** zu erkennen ist, kann der Trockner mit ca. 6 kg/h Trockenwäschedurchsatz als unbedeutend angesehen werden.

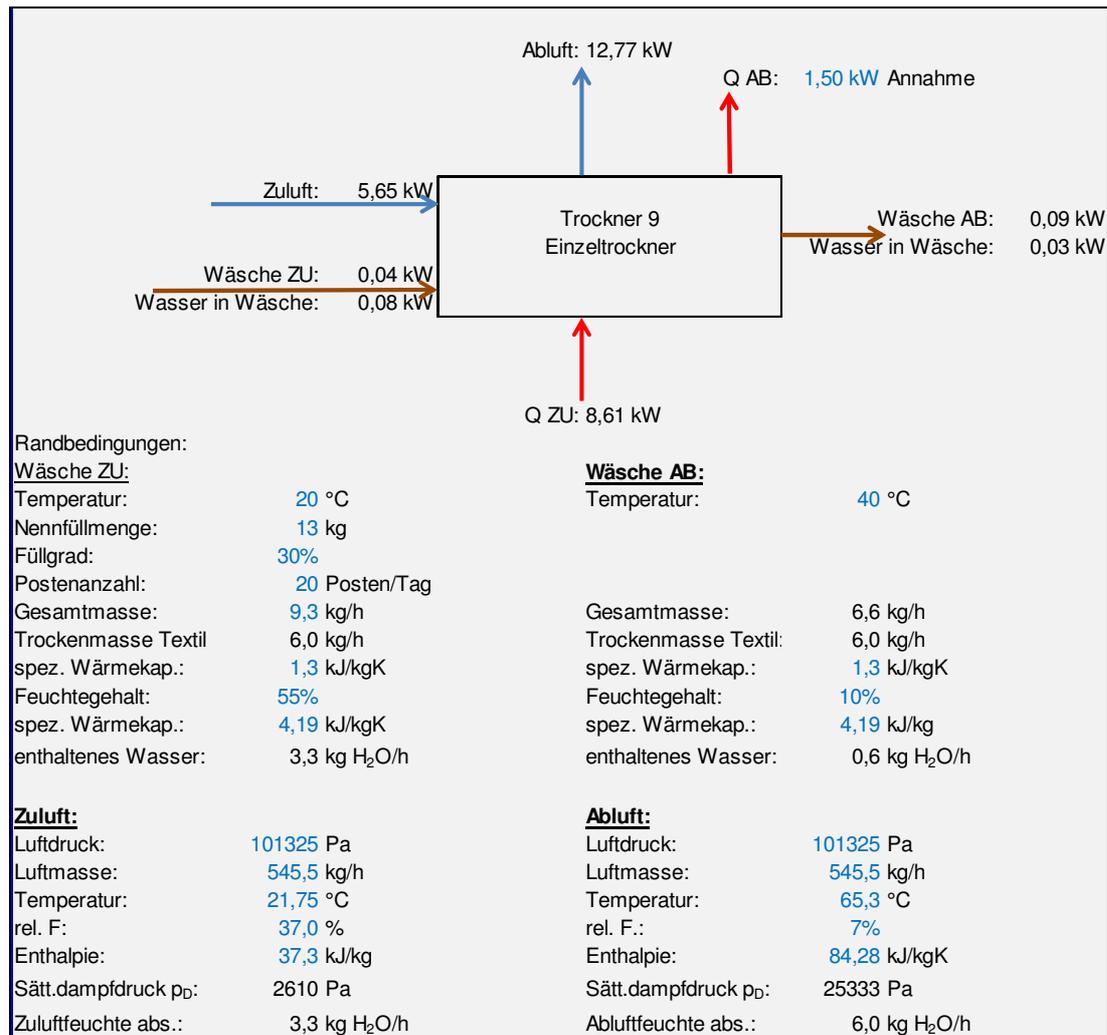


Abbildung 125: Wasser- und Energiebilanz Trockner 9, Wäscherei für Hotelwäsche

Zur Bilanzierung der erdgasbeheizten Trockner wurde der Durchsatz der Waschstraße aufgeteilt auf die drei 60-kg-Trockner:

- Trockner 1: 67 % (nur Schüttlerbetrieb)
- Trockner 2: 17 %
- Trockner 3: 16 %

Die Werte wurden iterativ über die Anzahl der Posten sowie die gemessene Abluftfeuchte sowie den Wäshedurchsatz der Waschstraße ermittelt. Mit dieser Vorgehensweise wurde bewusst der Fehler in Kauf genommen, dass in Trockner 3 zusätzlich pro Tag im Schnitt ca. 1 Posten Wischbezüge unabhängig von der Waschstraße (mit Beladung durch Saugzuggebläse) getrocknet werden.

Die Bilanzierung von Trockner 4 erfolgte über die Ermittlung der Postenanzahl sowie die Abschätzung der mittleren Postenmasse bzw. des Füllgrades. Wie in **Abbildung 126** zu erkennen ist, wurde ausgehend von den Feuchtegehalten der Wäsche und den gemessenen Feuchtegehalten in der Abluft von einer ca. 50 %igen Beladungsmenge bezogen auf die Nennfüllmenge ausgegangen. Wie bei allen Maschinen wurde mit der mittleren gemessenen Raumluft bilanziert.

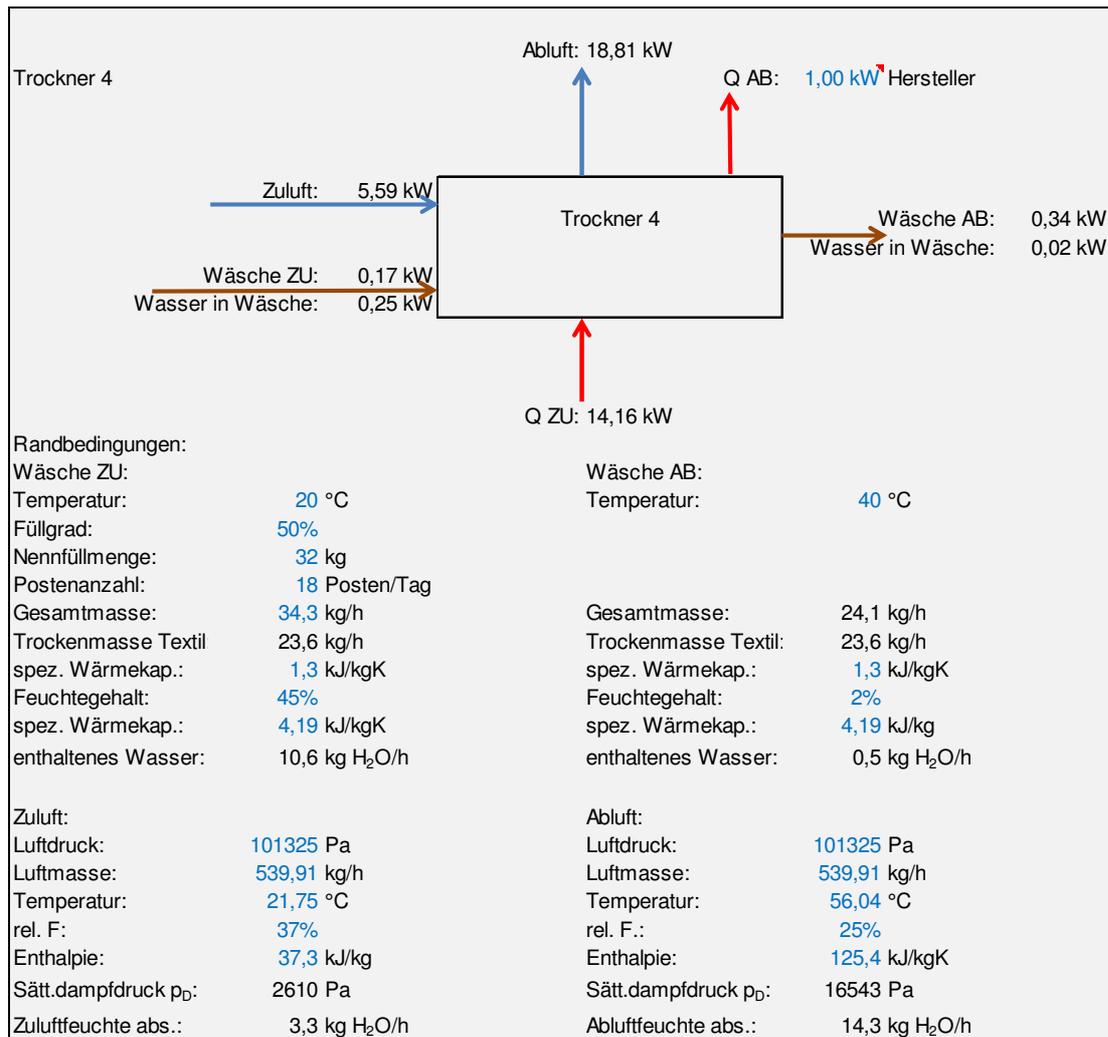


Abbildung 126: Wasser- und Energiebilanz Trockner 4, Wäscherei für Hotelwäsche

7.2.1.4 Elektrische Energie

7.2.1.4.1 Berechnung elektrischer Energieverbrauch

Der Schwerpunkt der Messungen lag bei der Wärme- bzw. Dampferzeugung, so dass keine Detailmessungen hinsichtlich des elektrischen Energieverbrauchs vorgenommen wurden. Die Wäscherei für Hotelwäsche hatte beispielsweise 2012 einen Bedarf an elektrischer Energie von 212.500 kWh, dem stehen 2,1 Mio. kWh Erdgas gegenüber. Als in der Branche relevanter elektrischer Verbraucher wird die Druckluftherzeugung gesondert behandelt (siehe **Kapitel 7.2.1.5**). In **Tabelle 60** wurden die wesentlichen Verbraucher mit den Nennleistungen, den Betriebszeiten und über einen Gleichzeitigkeitsfaktor bzw. das Verhältnis von Maschinenlaufzeit zu Wäschereibetriebszeit sowie den sich daraus ergebenden Stromverbräuchen aufgeführt.

Tabelle 60: Jährlichen Betriebsstunden der elektrischen Verbraucher, Wäscherei für Hotelwäsche

Anlagen-bezeichnung	Ermittlung der jährlichen Betriebsstunden				
	Anmerkungen	Betriebszeit [h]	Arbeitstage pro Jahr	Gleichzeitigkeitsfaktor	Gesamtbetriebszeit
Hallenbeleuchtung	Betriebszeit mit Berücksichtigung Stufenschaltung	10	250	0,6	1.500
Druckerhöhungsanlage	Berechnung aus Messung der Spannung	4	250	0,8	800
Waschstraße	126 Takte * 180 s/Takt	6,3	250	0,8	1.260
Presse der Waschstraße	126 Takte * 90 s/Takt	3,15	250	0,7	551,25
WSM 4 bis 8	Berechnung: 10 Posten á 0,5 h	5	250	0,7	875
WSM 1 bis 3	Berechnung aus Auswertung: 5,5 h nach Daten d. Steuerung	5,5	250	0,7	962,5
Druckluftherzeugung	Berechnung über mittlere Leistung (modulierender Kompressor)	8,4	250	1	2.100
Trockner 1 bis 3	Berechnung aus Messung der Abluft von Tr 2+3	9,9	250	0,7	1.732,5
Trockner 4	Berechnung aus Messung der Abluft, 18 Posten a 0,37 h	6,66	250	0,7	1.165,5
Trockner 5 bis 9 (dampf beheizte Trockner)	Normale Betriebszeit, Abschlag bei der Gleichzeitigkeit wegen Stillstand	8,4	250	0,6	1.260
Mangel 1 und 2	Betriebszeit mit Pausen und Störungen	8,4	250	0,8	1.680

Die Berechnung einer mittleren Maschinenlaufzeit ergibt sich aus der Notwendigkeit sowohl Maschinenstillstandszeiten als auch interne Betriebszeiten und Belastungsgrad von Komponenten (Antriebe von Trommeln, Gebläsen oder Pumpen) abzubilden.

In **Tabelle 61** sind die wesentlichen Verbraucher mit Betriebsstunden und der Nennleistung aufgelistet und bilden die die Berechnungsgrundlage zur Ermittlung des Jahresbedarfs. In Einzelfällen, z.B. bei der Druckluft wird von einer mittleren Leistung ausgegangen.

Tabelle 61: Berechnung der jährlichen Stromverbräuche, Wäscherei für Hotelwäsche

Anlagenbezeichnung	Jährliche Betriebsstunden (nach Tabelle 60)	Leistung [kW]	Elektrische Energie pro Jahr [kWh]	Anmerkungen
Hallenbeleuchtung	1.500	8,7	13.050	Ohne Vorschaltgeräte
Druckerhöhungsanlage	800	2,2	1,760	
Waschstraße	1.260	14,55	18.333	Leistungsanteil Antrieb Röhre 11 kW
Presse der Waschstraße	551	11	6.064	
WSM 4 bis 8	875	11,55	10.106	WSM 4 komplett, sonst nur Motorleistung
WSM 1 bis 3	963	37	35.613	Annahme: 2 * 13 kW, 1 * 11 kW
Druckluftherzeugung	2.100	10	21.000	Nennleistung 18 kW, Leistung gem. Infodisplay
Trockner 1 bis 3	1.733	25,8	44.711	Strombedarf nach Datenblatt,
Trockner 4	1.166	1,9	2.214	Leistungen nach Datenblatt
Trockner 5 bis 9	1.260	8,27	10.420	Leistungen nach Typenschild

Anlagenbezeichnung	Jährliche Betriebsstunden (nach Tabelle 60)	Leistung [kW]	Elektrische Energie pro Jahr [kWh]	Anmerkungen
Mangel 1 und 2	1.680	26	43.680	Leistung nach Datenblatt
			206.952	
Energieverbrauch pro Jahr aus dem Jahr 2012 (Vergleichswert)			212.500	

Anhand der Abluftdaten wurden die erdgasbeheizten Trockner ausgewertet. Abgerundet wurden im Durchschnitt 22 Posten mit einer Dauer von 0,45 h (27 min) getrocknet. Dies gilt jedoch nicht für Trockner 1, der als Tumbler die meisten Posten nur kurze Zeit auflockert. Als Vereinfachung wurde deshalb für alle 3 Trockner dieses 60 kg-Typs ein Abschlagsfaktor von 0,7 eingerechnet, womit die längeren Stillstandszeiten von Trockner 1 berücksichtigt wurden. Die Beleuchtung besteht aus 58 W-Leuchtstoffröhren mit konventionellem Vorschaltgerät und verschiedenen Schaltstufen (100 %, 66 %, 33 %, 0 %) für die Linienbeleuchtung auf der reinen Seite der Halle. Deshalb wurde von den ca. 2.500 Betriebsstunden (250 Arbeitstage á 10 Stunden) pro Jahr ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,6 angenommen. Die Beleuchtungsdauer von 10 Stunden pro Tag sollte die während der Pausen und für externe Dienstleister und Fahrer auch außerhalb des Waschbetriebs weitergenutzte Beleuchtung abbilden. In der aufgeführten Abschätzung sind die sonstigen Verbraucher – noch nicht enthalten und erklären den Abstand zum tatsächlichen Verbrauch aus dem Jahr 2012 (siehe auch **Kapitel 9.2.1**)

7.2.1.5 Druckluft

Die Druckluftversorgung bestand aus folgenden Komponenten:

- 1 Kompressor AtlasCopco GA18VSD – Schraubenverdichter mit variabler Drehzahl
- 1 Kompressor Boge VLEA 18,5 R8 Kompressor (Altbestand als Notfallgerät)
- 1 Druckluftkühler /-entfeuchter Boge
- 1 Kondensat-Abscheider
- 1 Druckluftspeicher 2000 L, Fa. Lohenner, Baujahr 2008
- Druckluftnetz zur Versorgung der Anlagen und Geräte

Hauptverbraucher sind die Mangeln, die die Druckluft zur Ansteuerung von Zylindern für das Ablösen der Wäsche von den Walzen verwenden.

Die Kompressoren sind in einer Einhausung in der Nord-Ost-Ecke der Halle untergebracht, Druckluftkühler und Speicher stehen in der Halle vor der Einhausung.

Die Tür der Einhausung stand während der Messungen in der Regel offen. Eine vorhandene Jalousieklappe in der Außenwand für die Nachströmung von Außenluft war geschlossen.

Der Netzdruck war auf 7 bar eingestellt. Die Anzeige des Kompressors schwankte im Betrieb um +/- 0,1 bar.

Das Druckluftnetz ist aus geschraubtem Kunststoffrohr aufgebaut, das keine nennenswerten Leckagen aufwies.

Im Zuge der Nachmessungen für die dampfbeheizten Trockner wurde auch eine Drucksonde in das Druckluftnetz bei den dampfbeheizten Trocknern an einem von der Druckluftherzeugung weit entfernten Punkt eingebaut.

Es wurde ein Druck von 6,8 bis 7,0 bar gemessen. Von der Druckluftherzeugung bis zur Messstelle am dampfbeheizten Trockner lag der Druckverlust bei ca. 0,2 bar.

Druckluftleckagen wurden an folgenden Verbrauchern entdeckt:

- Trockner 1 bis 3: Steuerblöcke/Steuerventile der Gastrockner

- Taktfinisher: Verschraubung am Kondensatabscheider Druckluft
- Etikettierstation: Verschraubung Kondensatabscheider Druckluft
- Dämpfpuppen: Geräteinterne Leckage – keine Ortung möglich
- Hemdenfinisher: Verschraubung Kondensatabscheider Druckluft
- Mangel 2: Kondensatabscheider Druckluft beim Einzug
- Mangel 2: Kondensatabscheider Druckluft (Unterseite, Ablass)

Im Gegensatz zu Kompressoren anderer Hersteller konnte an der dort eingesetzten Maschine keine PC-Auswertung oder das Display genutzt werden. Das vorhandene Display des Kompressors schaltete bereits nach wenigen Minuten ab, so dass eine automatisierte Aufzeichnung nicht möglich war. Durch manuelle Auswertung des Info-Displays konnten folgende Daten ermittelt werden:

- Betriebsstunden: 2.435
- Motorstarts: 6.476
- Lastspiele: 2.117
- Drehzahlanteile:
 - 1-20 % 0 %
 - 20-40 % 56 %
 - 40-60 % 40 %
 - 60-80 % 4 %
 - 80-100 % 0 %
- Lüfterstarts: 50.654
- Erzeugte Druckluftmenge: 187.000 m³
- Reglerstunden: 2.786
- Wochenzeitschaltuhr: deaktiviert
- Umgebungsluft: > 25 °C (→ Warnung vor thermischer Überlastung)

Die Ansaugöffnung des Kompressors verfügte über keinen direkten Anschluss nach außen, so dass die Ansaugluft aus der direkten, warmen Umgebung des Kompressors stammt. Durch die fehlenden Zugriffsmöglichkeiten auf den Kompressor konnte zum Zeitpunkt der Untersuchungen keine Leckratenermittlung durchgeführt werden.

Aus der erzeugten Druckluftmenge und der Betriebszeit (des Kompressors) konnte eine mittlere Liefermenge von 1,28 m³/min errechnet werden. Insgesamt – das zeigten auch die Drehzahlanteile – war der Kompressor zum Zeitpunkt der IST-Analyse ca. 20% überdimensioniert. Für die geringen Zeitanteile mit Spitzenbedarf wäre ein Zuschalten des einstufigen Kompressors in Verbindung mit einem kleineren drehzahlgeregelten Kompressor als Hauptkompressor wirtschaftlicher. Durch die Einhausung – gedacht als Schutz gegen Flusenansaugung – konnte der Kompressor die entstehende Abwärme nur schwer abführen (siehe Warnmeldung auf dem Display unter „Umgebungsluft“).

7.2.2 Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien

7.2.2.1 Wasserqualitäten

- **Frischwasser (Trinkwasser)**

Das *Frischwasser* im Wäschereibetrieb für Hotelwäsche wies bei der IST-Analyse eine Temperatur von 9 °C auf und hatte eine elektrische Leitfähigkeit von 665 µS/cm. Der pH-Wert betrug 6,75 und die Wasserhärte 18 °d (3,21 mmol/l). (4).

Das zum Waschen verwendete *Weichwasser* (0,5 °d bzw. 0,09 mmol/l) hatte zum Messzeitpunkt eine Temperatur von 9 °C, einen pH- Wert von 6,9 und wies aufgrund des Enthärtungsvorgangs eine etwas höhere Leitfähigkeit von 702 µS/cm auf. Da zum Waschen ausschließlich

Trinkwasser verwendet wird, kann davon ausgegangen werden, dass neben den untersuchten Parametern alle anderen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung eingehalten werden.

- **Abwasser**

Die nach **Kapitel 3.2.3.1** durchgeführte Abwasseranalyse zeigte am Übergabeschacht einen pH-Wert von 7,0 und eine Abwassertemperatur von 26 °C. Die Leitfähigkeit des Abwassers betrug 1.113 µS/cm bei einer Gesamthärte von 6 °d. Der Abdampfrückstand lag bei 1,27 g/l. Weitere Inhaltsstoffe wie Arsen, Cadmium, Chrom, Nickel und Quecksilber wurden nicht bestimmt, da die Abwasserwerte seitens der unteren Wasserbehörde der Stadt Garbsen akzeptiert wurden.

- **Wasserdaten innerhalb von Waschstraße und Tanks**

Die Wasserqualitäten wurden von der Flotte aller Kammern der Waschanlage, vom verwendeten Frischwasser sowie von den Rückgewinnungstanks der Waschstraße (WSR 1 bis 3) und von der Flotte ausgewählter Waschprogrammsschritte der Waschscheudermaschinen bestimmt. Dabei wurde neben pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit auch der Abdampfrückstand (alle im Wasser vorhandenen anorganischen Komponenten wie Flusen, Sand, Metalle, usw.) ermittelt (**Tabelle 62**).

Tabelle 62: Analysenwerte der untersuchten Wasserproben, Wäscherei für Hotelwäsche

Parameter Probe	pH-Wert	Temperatur in °C	Leitfähigkeit in µS/cm	Gesamthärte in °d	Abdampfrückstand in g/l	Eisen in mg/l
K2	8,3	36	1.524	< 5	1,52	0
K4	9,8	45	1.483	< 5	1,65	0
K5	9,7	49	1.579	< 5	1,99	0
K6	8,8	46	1.168	< 5	1,75	n.b.
K8	9,3	44	1.518	< 5	1,79	n.b.
K9	7,3	41	1.126	< 5	1,13	0
K11	7,5	34	1.233	< 5	1,18	n.b.
Presse	6,8	37	1.236	< 5	1,08	0
Tank 1 WA	9,2	46	1.391	< 5	1,48	0
Tank 2 WA	8,6	41	1.157	< 5	1,24	n.b.
Tank 3 WA	6,3	33	1.147	< 5	0,86	0
Grube	7,0	26	1.113	6	1,27	0,1
Toilette	6,9	10	663	15	n.b.	0
Weichwasser	6,9	9	702	< 5	n.b.	0

Parameter Probe	pH- Wert	Temperatur in °C	Leifähigkeit in µS/cm	Gesamthärte in °d	Abdampf- rückstand in g/l	Eisen in mg/l
Hartwasser	6,8	9	665	15 - 20	n.b.	0
WSM5 KW	10,3	56	1.360	< 5	1,88	0
WSM5 Z	7,1	14	643	10	0,41	0
WSM8 KW	7,5	50	1.123	< 5	1,31	0
WSM8 Z	7,3	22	668	10 - 15	0,53	0

* WA: Waschanlage, KW: Klarwäsche, Z: Schleuderwasser

7.2.2.2 Wascheffekte

Zur Überprüfung der Wascheffekte wurden in der Waschstraße und in den unterschiedlichen Waschschleudermaschinen (**Tabelle 51**) Waschversuche entsprechend **Kapitel 3.2.3** durchgeführt.

7.2.2.2.1 Waschstraße

Die im Betrieb vorhandene Waschstraße zum Waschen von Hotel-Bettwäsche wurde über ein Transportband mit Wäsche bestückt. Die Masse der taktweise zugeführten Wäscheposten wurde über eine automatische Beladungsmengenerfassung erfasst. Die Taktzeit der Anlage betrug 210 s (einschließlich Wäschetransport in die nächste Kammer). **Abbildung 127** zeigt die Anlagenkonzeption der Waschstraße.

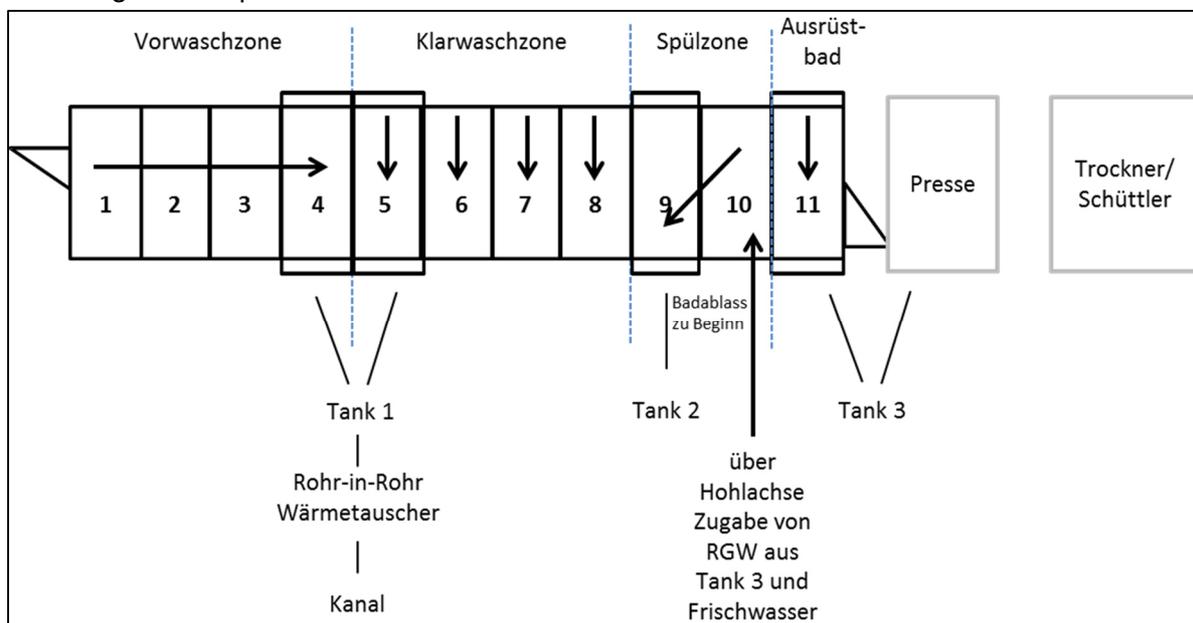


Abbildung 127: Anlagenkonzeption Waschstraße, Wäscherei für Hotelwäsche

Die Waschstraße ist in folgende Bearbeitungszonen aufgeteilt:

- Vorwaschzone Kammer 1 – 4 (stehendes Bad, Badwechsel)
- Klarwaschzone Kammer 5 – 8 (stehendes Bad, Badwechsel)
- Spülzone Kammer 9 – 10 (Gegenstrom)
- Ausrüstkammer: Kammer 11 (stehendes Bad)

Die untersuchte Waschstraße wird ausschließlich mit Direktampf (5,5 bar_{abs}) beheizt, wobei die Waschflotte nur in den Kammern 4 und 5 aufgeheizt wird. Die Flottentemperaturen der beheizbaren Kammern betragen zum Zeitpunkt der Messungen für:

- Kammer 1: 36 °C
- Kammer 4: 45 °C
- Kammer 5: 49 °C
- Kammer 9: 41 °C
- Kammer 11: 34 °C

Die Flottenführung im untersuchten Waschprogramm 20 (Hotel-/ Bettwäsche) wies folgende Besonderheiten auf:

Kammer 1:	Einschwemmen mit Flottenverhältnis von 5 l/kg mit rückgewonnenem Wasser aus Tank 3 und 2
Kammer 4:	Bei Taktende Flottenablass in Kanal und anschließend Flottenzugabe aus Tank A
Kammer 5:	Badwechsel, Flottenablass auf 2 l/kg, dann Zugabe auf 5 l/kg mit rückgewonnenem Wasser aus Tank 2
Kammer 5 - 8:	Flottenverhältnis 5 l/kg, in K8 zu Taktende Umladen des Postens mit gesamter Flotte in Spülzone (Kammer 9)
Kammer 9:	Zu Taktbeginn gesamter Badablass in Tank 2
Kammer 9 - 10:	Flottenverhältnis von etwa 5,5 l/kg (Gegenstrom von K10 nach K9)
Kammer 10:	kontinuierliche Zufuhr von Rückgewinnungswasser aus Tank 3 (Pressenwasser und Flottenablass aus K11) und Frischwasser
Kammer 11:	Frischwasserzufuhr, stehendes Bad, Flottenverhältnis 6 l/kg, nach Taktende Flottenablass in Tank 3 und Umladen in Presse

Wasch- und Waschhilfsmittel (Hersteller: Fa. Ecolab Deutschland GmbH) wurden in konstanter Menge pro Waschtakt in die Kammern dosiert, wobei diese Mengendosierung lt. Herstellerangaben über die Laufzeit der Dosierpumpe wie folgt eingestellt war:

Kammer 1:	Dermasil Emulsion (Alleinwaschmittel)	2,0 ml/kg
Kammer 1:	Turbo Break (Alkalibooster)	2,5 ml/kg
Kammer 4:	Dermasil Emulsion (Alleinwaschmittel)	1,0 ml/kg
Kammer 4:	Turbo Break (Alkalibooster)	1,0 ml/kg
Kammer 5:	Ozonit 40 (Bleich- und Desinfektionsmittel)	3,0 ml/kg
Kammer 11:	Finale spezial (Zitronensäure)	3,5 ml/kg

Tabelle 63 zeigt zusammenfassend den Programmablauf des untersuchten Waschprogramms in der Waschstraße (Programm Nr. 20: Hotelbettwäsche), wobei die Taktzeit 180 s plus 30 s Transportzeit des Postens zur nächsten Kammer betrug. Der g-Faktor der Trommel betrug 0,045 und der Schwenkwinkel 290°. Die Entwässerung erfolgte mittels Presse bei einem Pressdruck von 28 bar über ca. 120 s.

Tabelle 63: Programmablauf in der Waschstraße, Wäscherei für Hotelwäsche

Kammer	Wasserart	Niveau [l/kg]	Flotten-temperatur [°C]	Flottenablass	Wasch- und Waschhilfsmittel
1	RW aus Tank 2 und 3	5	36	kein	Alleinwaschmittel und Alkalibooster
2	kein	wie K1	36	kein	keine

Kammer	Wasserart	Niveau [l/kg]	Flotten-temperatur [°C]	Flottenablass	Wasch- und Waschlhilfsmittel
3	kein	wie K1	36	kein	keine
4	kein	wie K1	45	in Tank 1	Alleinwaschmittel und Alkalibooster
5	wie K6	5	49	in Tank 1	Bleich- und Desinfektionsmittel
6	wie K7	wie K5	46	kein	keine
7	RW aus Spülzone (Tank 2)	wie K5	49	kein	keine
8	wie K9	wie K5	44	kein	keine
9	wie K10	5-6	41	in Tank 2	keine
10	RW aus Tank 3 und FW	5-6	41	kein	keine
11	FW	6	34	in Tank 3	Zitronensäure

* FW= Frischwasser, RW= Rückgewinnungswasser

7.2.2.2 Waschschleudermaschinen für Altenheim-Bettwäsche

In Waschmaschine 1 wurde Bettwäsche aus Altenheimen gewaschen. Diese Maschine (800 l Trommelvolumen, D-Teilung) wurde mit Direktampf beheizt (5,5 bar). Das untersuchte Waschprogramm 3 (Altenheim-Bettwäsche) wies folgende Besonderheiten auf:

Programmschritt 1: Klarwäsche

Füllverhältnis: 40 l/kg
Wasserart: Weichwasser
Flottentemperatur: 40 °C
Flottenverhältnis: 4 l/kg
g-Faktor: 0,8 g
Waschmitteldosierung: 1,8 ml/kg Dermalil Emulsion (Alleinwaschmittel) und 1,6 ml/kg Turbo break (Alkalibooster)
Dauer: 1 min
Flottenverhältnis: Erhöhung auf 5,5 l/kg
Waschmitteldosierung: 1,6 ml/kg Ozonit 40 (Bleich- und Desinfektionsmittel)
Dauer: 10 min,
dann Ablass in Kanal mit
Zwischenschleudern (90 g, 1 min)

Programmschritt 3: 1. Spülen

Wasserart: gleichzeitig Hart- und Weichwasser
Flottenverhältnis: 6,5 l/kg
g-Faktor: 0,8 g
Dauer: 3 min,
dann Ablass in Kanal mit
Zwischenschleudern (90 g, 1 min)

Programmschritt 4: 2. Spülen

Wasserart:	gleichzeitig Hart- und Weichwasser
Flottenverhältnis:	6,5 l/kg
g-Faktor:	0,8 g
Dosierung:	0,4 ml/kg Finale Spezial (Zitronensäure)
Dauer:	4 min, dann Ablass in Kanal und Endschleudern (236 g, 4 min)

7.2.2.2.3 Waschschleudermaschinen für hell-bunte Altenheim-Bewohnerwäsche

In Waschmaschine 2 und 3 wurde hell-bunte Bewohnerwäsche aus Altenheimen bearbeitet. Die beiden Waschmaschinen (800 l Trommelvolumen, D-geteilt bzw. 564 l Trommelvolumen, ohne Teilung) wurden mit Direktampf beheizt (5,5 bar_{abs}). Das untersuchte Waschprogramm 1 (Bewohnerwäsche-Altenheime) wies folgende Besonderheiten auf:

Programmschritt 1: Klarwäsche

Füllverhältnis:	18 l/kg (WSM 2) bzw. 24 (WSM 3)
Wasserart:	Weichwasser
Flottentemperatur:	30 °C
Flottenverhältnis:	3 l/kg
g-Faktor:	0,8 g
Waschmitteldosierung:	4 ml/kg Turbo Usona (flüssiges Feinwaschmittel)
Dauer:	1 min
Wasserart:	Weichwasser
Flottentemperatur:	Erhöhung auf 40 °C
Flottenverhältnis:	3 l/kg
g-Faktor:	0,8 g
Waschmitteldosierung:	1,5 ml/kg Turbo Usona (flüssiges Feinwaschmittel) 2,5 ml/kg Ozonit 40 (Bleich- und Desinfektionsmittel) 1 ml/kg Turbo break (Alkalibooster)
Dauer:	15 min, dann Ablass in Kanal mit Zwischenschleudern (30 s Anlegen, dann 2 min bei 90 g)

Programmschritt 3: 1. Spülen

Wasserart:	gleichzeitig Hart- und Weichwasser
Flottenverhältnis:	4 l/kg
g-Faktor:	0,8 g
Dauer:	3 min, dann Ablass in Kanal ohne Zwischenschleudern

Programmschritt 4: 2. Spülen

Wasserart:	gleichzeitig Hart- und Weichwasser
Flottenverhältnis:	4 l/kg
g-Faktor:	0,8 g
Dosierung:	1,3 ml/kg Finale Spezial (Zitronensäure)
Dauer:	4 min, dann Ablass in Kanal und Endschleudern (236 g, 6 min)

7.2.2.2.4 Waschschleudermaschinen für weiße Tischdecken aus Hotels

In den Waschmaschinen 4 bis 7 wurden weiße Tischdecken gewaschen. Es handelt sich dabei um mit Direktampf (5,5 bar) beheizte Maschinen mit einem Trommelvolumen von 100 l (WSM 4), 234 l (WSM 5) und jeweils 165 l (WSM 6 und 7).

Das untersuchte Waschprogramm 11 (Tischdecken, Hotel, weiß mit Stärke;

Anmerkung: während der Untersuchungen erfolgte keine Stärkedosierung) wies an den eingesetzten Waschmaschinen folgende Besonderheiten auf:

Programmschritt 1: Vorwäsche

Füllverhältnis:	12 l/kg (WSM 4 und 5) 13,0 l/kg (WSM 6 und 7)
Wasserart:	Weichwasser
Flottentemperatur:	40 °C
Flottenverhältnis:	4 l/kg
g-Faktor:	0,45 g (WSM 4) 0,69 g (WSM 5 - 7)
Waschmitteldosierung:	6,15 ml/kg Turbo Emulsion (Basiswaschmittel)
Dauer:	8 min, dann 1 min Ablass

Programmschritt 2: Klarwäsche

Wasserart:	Weichwasser
Flottentemperatur:	60 °C (WSM 4) 75 °C (WSM 5 - 7)
Flottenverhältnis:	4 l/kg
g-Faktor:	0,45 g WSM 4) 0,69 g (WSM 5 - 7)
Waschmitteldosierung:	12,3 ml/kg Turbo Emulsion (Basiswaschmittel) 6,15 ml/kg Ozonit Super (Bleich- und Desinfektionsmittel) WSM 5: <u>zusätzlich</u> 3,1 ml/kg Turbo break (Alkaliverstärker)
Dauer:	15 min, dann Ablass in Kanal ohne Zwischenschleudern

Programmschritt 3: 1. Spülen

Wasserart:	gleichzeitig Hart- und Weichwasser
Flottenverhältnis:	5 l/kg
g-Faktor:	0,45 g (WSM 4) 0,69 g (WSM 5 - 7)
Dauer:	3 min, dann Ablass in Kanal mit Zwischenschleudern (66 g für 1 min) bei WSM 4, ohne Zwischenschleudern bei WSM 5 - 7

Programmschritt 4: 2. Spülen

Wasserart:	gleichzeitig Hart- und Weichwasser
Flottenverhältnis:	5 l/kg
g-Faktor:	0,45 g (WSM 4) 0,69 g (WSM 5 - 7)
Dosierung:	6,5 ml/kg Turbo Neutra Soft (Neutralisation und Weichspüler) nur in WSM 5 - 7
Dauer:	3 min, dann Ablass in Kanal und

WSM 5: Endschleudern (375 g, 5 min)

WSM 6 und 7: Endschleudern (325 g, 5 min)

In Maschine 4 wird ein drittes Spülbad (analog 2. Spülbad) mit Dosierung von Turbo Neutra Soft durchgeführt. Danach erfolgt das Endschleudern mit 265 g über 7 min.

7.2.3 Schmutzentfernung

Die Untersuchungen zur Ermittlung der Schmutzentfernung wurden in der eingesetzten Waschanlage sowie den unterschiedlichen Waschsleudermaschinen durchgeführt. Die **Abbildung 128** bis **Abbildung 133** zeigen die erzielte Schmutzentfernung an Prüfgeweben mit unterschiedlichen Anschmutzungen bei Variation der Flottentemperatur in der Klarwaschzone.

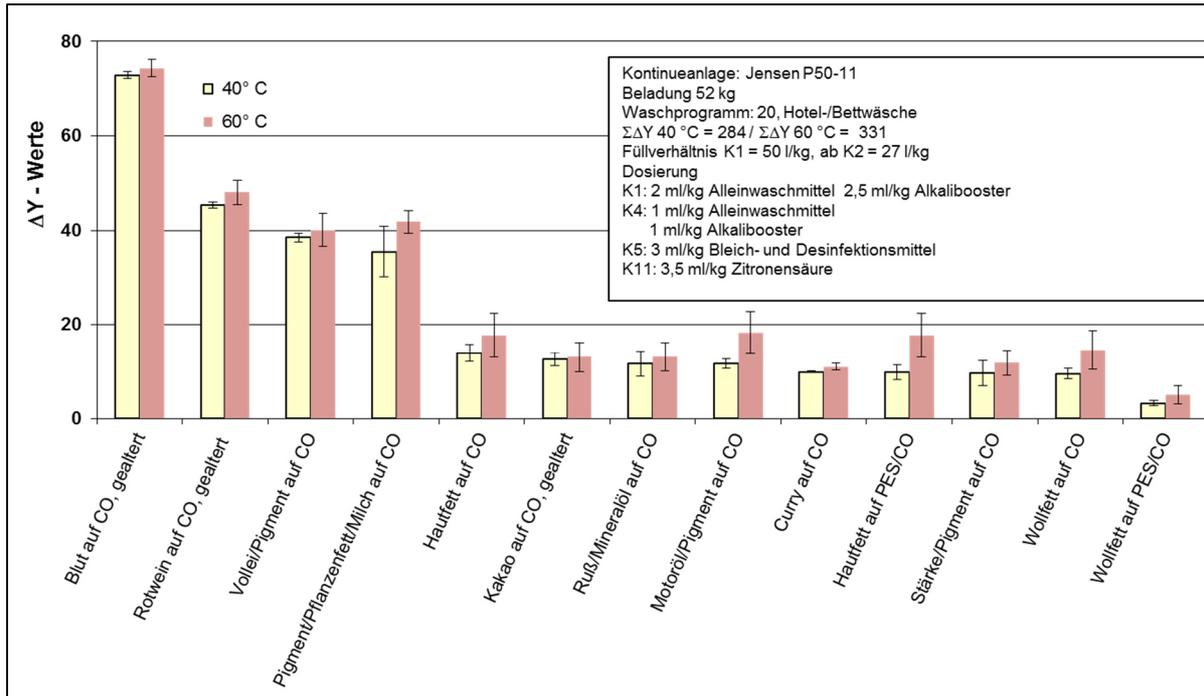


Abbildung 128: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Waschstraße bei Bettwäsche, Parameter Flottentemperatur, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Hotelwäsche

Wie **Abbildung 128** zu entnehmen ist, führt die Anwendung der niedrigeren Temperatur von 40 °C unter ansonsten identischen Bedingungen - insbesondere des Waschmitteleinsatzes - zu leicht verringerter Schmutzentfernung. Dies gilt insbesondere für fetthaltige Verschmutzungen. Laut Aussagen des Betriebsinhabers ist die bei 40 °C erzielte Schmutzentfernung für das Waschen der Hotelbettwäsche zufriedenstellend.

Abbildung 129 zeigt die in Waschsleudermaschine 1 erzielte Schmutzentfernung im Waschprogramm für Altenheim-Bettwäsche mit einer niedrigen Flottentemperatur von 35 °C. In diesem Programm wurde hohe Entfernung von Blut auf Baumwolltextilien gemessen.

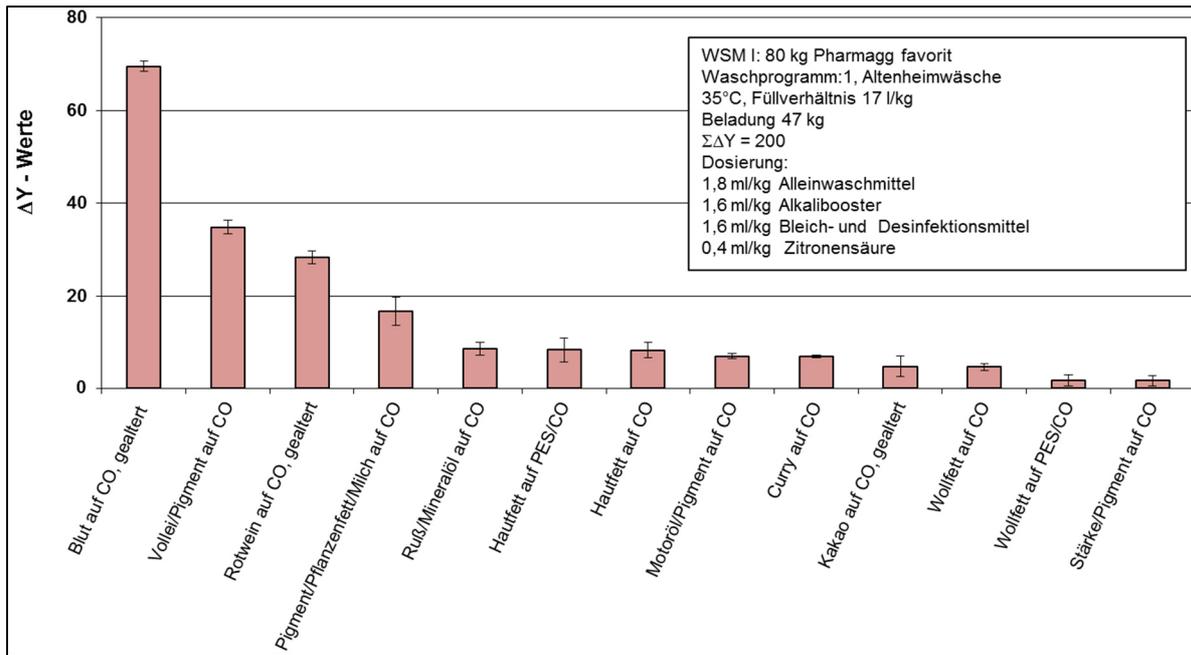


Abbildung 129: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschmaschine 1 bei Bettwäsche, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Hotelwäsche

In den WSM 2 und 3 wird hell-bunte Bewohnerwäsche bei Einsatz von flüssigem Feinwaschmittel in Kombination mit Bleich-/Desinfektionsmittel gewaschen (**Abbildung 130** und **Abbildung 131**), wobei in WSM 2 zusätzlich Alkalibooster dosiert wurde. Beide Maschinen weisen bei ähnlichem Klarwaschtemperaturniveau und Füllverhältnis insgesamt die gleiche Größenordnung der Schmutzentfernung ($\Sigma\Delta Y$) auf, in WSM 2 wird ähnlich hohe Blutentfernung wie in Maschine WSM 1 gemessen (**Abbildung 129**).

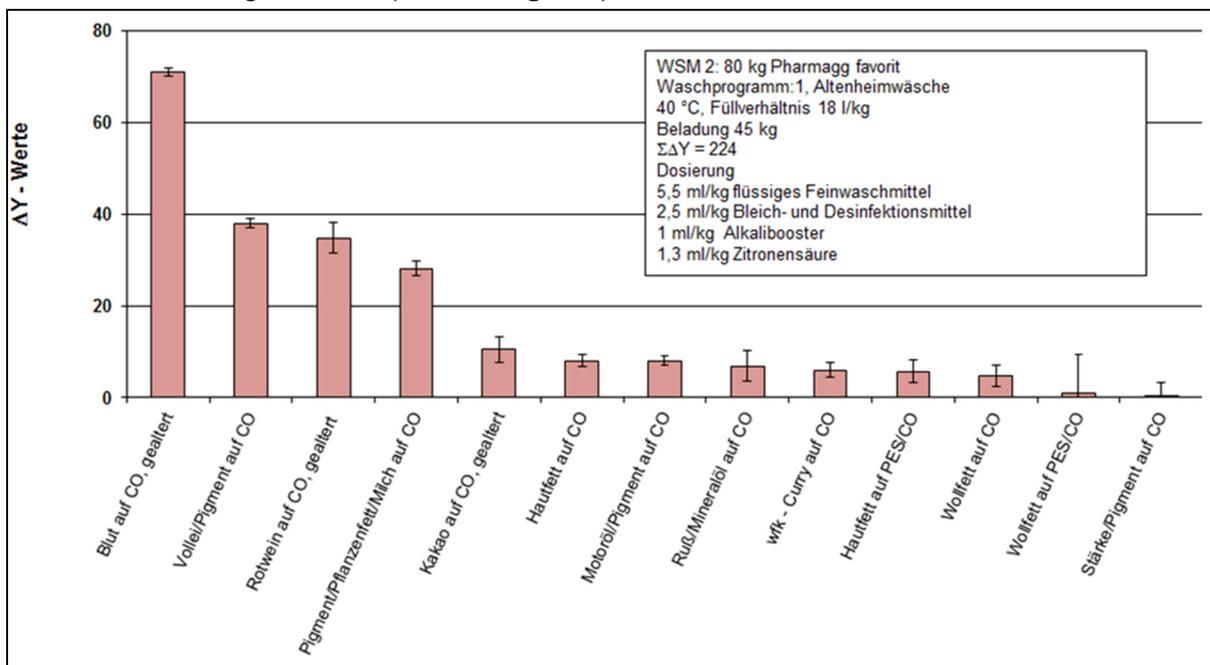


Abbildung 130: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschmaschine 2 bei hell-bunter Bewohnerwäsche, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Hotelwäsche

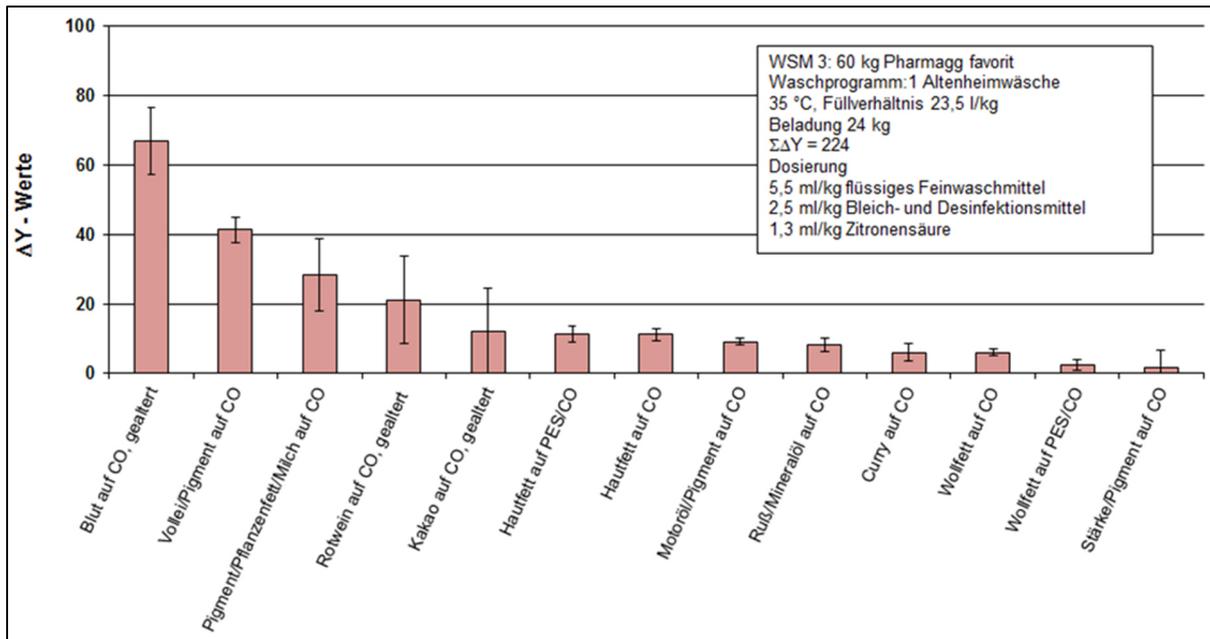


Abbildung 131: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschmaschine 3 bei hell-bunter Bewohnerwäsche, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Hotelwäsche

Die **Abbildung 132** und **Abbildung 133** zeigen die zum Untersuchungszeitpunkt gemessenen Werte der Schmutzentfernung in den Waschmaschinen 4 und 5, die exemplarisch für das Waschen weißer Tischdecken ausgewählt wurden. Die Waschprogramme unterscheiden sich bei etwa gleichem Füllverhältnis um 12 l/kg in der Klarwaschtemperatur (WSM 4: 60 °C, WSM 5: 75 °C). Außerdem wird in WSM 5 zusätzlich Alkalibooster eingesetzt.

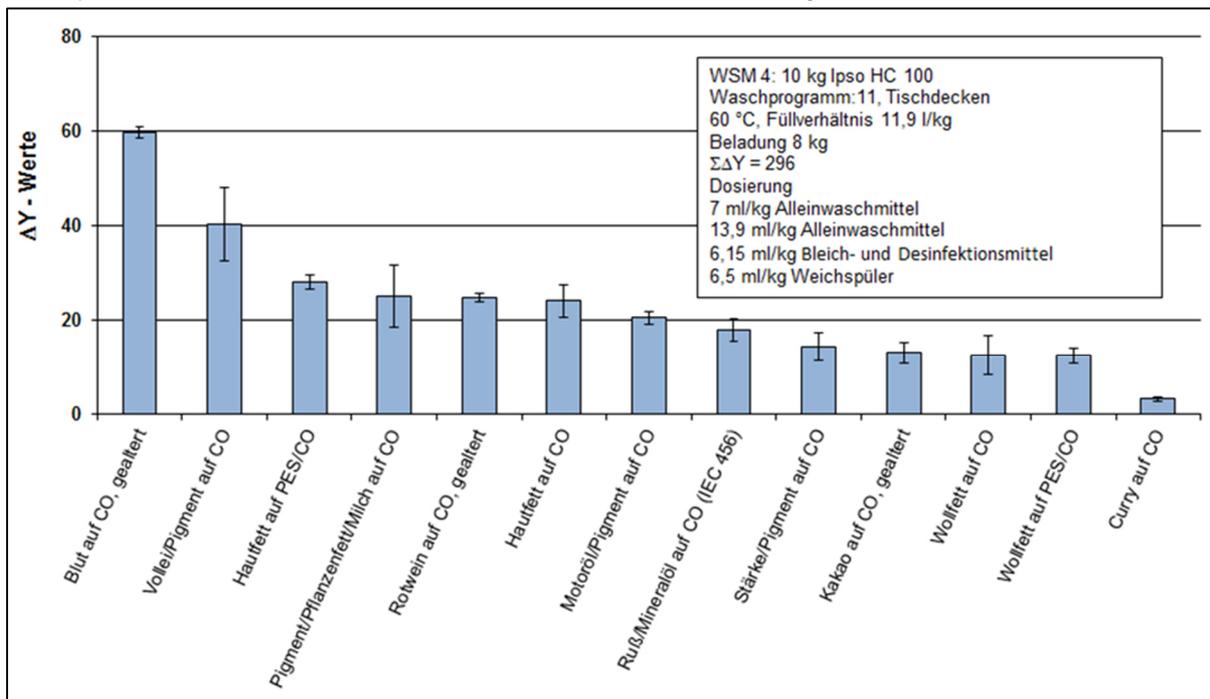


Abbildung 132: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschmaschine 4 (Tischdecken, 60 °C), Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Hotelwäsche

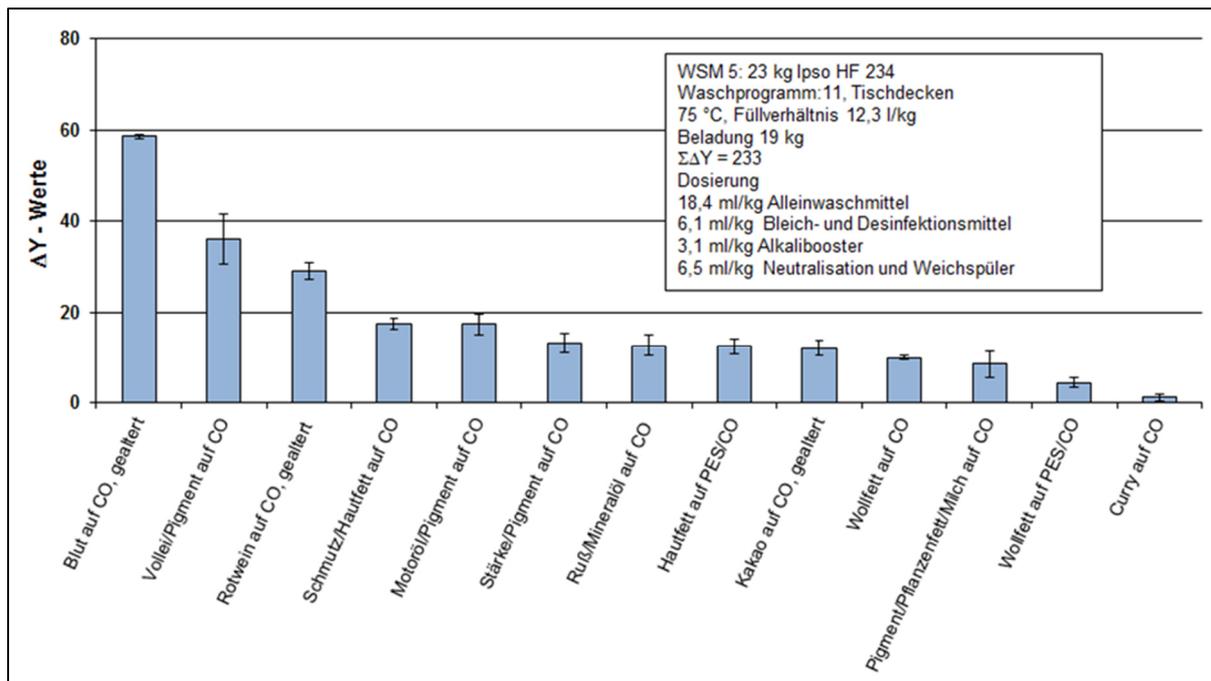


Abbildung 133: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschmaschine 5 (Tischdecken, 75 °C), Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Hotelwäsche

Trotz höherer Klarwaschtemperatur und zusätzlichem Einsatz von Alkali booster wurden in Maschine 4 (**Abbildung 132**) insgesamt höhere Werte der Schmutzentfernung (Werte $\Sigma\Delta Y$: 296) im Vergleich zu Maschine 5 (**Abbildung 133**) gemessen. Die Ursache für dieses Verhalten konnte nicht ermittelt werden.

7.2.4 Sekundärwascheffekte und Spülwirkung

An den in **Kapitel 3.2.3.2** beschriebenen sauberen Prüfgeweben wurden die Kenngrößen der *Sekundärwaschwirkung* beim Waschen von Hotelbettwäsche in der Waschstraße bestimmt (**Tabelle 64**).

Tabelle 64: Sekundärwascheffekte an Baumwolle, IST-Analyse der Wäscherei für Hotelwäsche

Messgrößen	Ausgangswerte	Nach 25 Waschzyklen	Nach 50 Waschzyklen	Anmerkungen, Grenzwerte*
Weißgrad WG-Wert	117	189,9	191,5	Zulässig: min. 170
Grundweißwert Y-Wert	91	91,2	91,5	Zulässig: min. 87
Farbtonabweichung FAZ	R1 - 0,97	R1 - 0,62	R1 - 0,70	Zulässig: R 1,5 - G 2,49
Höchstzugkraftverlust in %	-	5	2	Zulässig: max. 30 %
Schädigungsfaktor (chemische Schädigung)	-	0	0	Zulässig: max. 1,0
Glühasche (anorganische Gewe- beinkrustation)	0,6	0,1	0,1	Zulässig: max. 1,0 %

* Die angegebenen Grenzwerte beziehen sich auf die zulässigen Werte nach RAL-GZ 992 nach 50 Waschbehandlungen

Danach liegen sowohl die die Textilschädigung charakterisierenden Werte des Höchstzugkraftverlustes und der chemischen Schädigung als auch die Glühaschewerte im zulässigen

Bereich nach 50 Waschzyklen. Gleiches gilt für den Weißendruck, einschließlich der optischen Aufhellung, sowie für den Grundweißwert (Maß für die Vergrauung an Baumwolle) und die Farbtonabweichung. Die Abnahme der gemessenen Höchstzugkraft zwischen 25 und 50 Zyklen ist auf prozessbedingte Stillstandzeiten der Waschstraße sowie fehlerhaften Umgang mit den Prüfgeweben während der Waschversuche seitens des Bedienpersonals zurückzuführen.

Abbildung 134 zeigt die ermittelten *Vergrauungswerte* an Baumwolle und PES/CO-Mischgewebe 65/35 in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl.

Die beim Waschen der Hotelbettwäsche in der Waschstraße gemessenen Vergrauungswerte (ΔY -Wert) in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl liegen unter 3, was als niedrig einzustufen ist.

Bezüglich der *Spülwirkung* zeigten die Wasseranalysen der letzten Spülflotte Werte im üblichen Bereich.

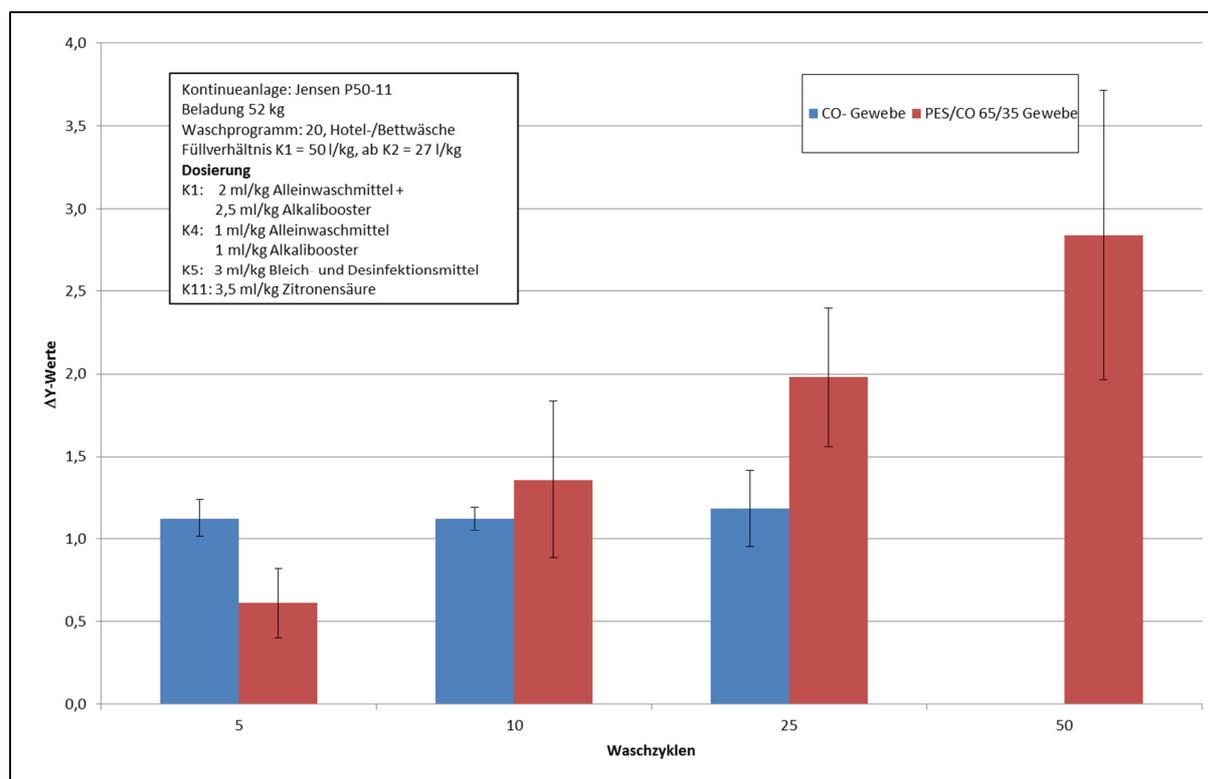


Abbildung 134: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Waschstraße im Programm für Bettwäsche in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl, Wäscherei für Hotelwäsche

7.2.5 Trocknungseffekte

7.2.5.1 Mangeln

Die Trocknung der Tischdecken erfolgte durch Mangeln in einer dampfbeheizten Mangel (Einroller) mit einem Walzendurchmesser von 2,00 m bei einer Arbeitsbreite von 3,3 m. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen betrug der Mangelanpressdruck 3,5 bar (Mangelanzeige) und der anliegende Dampfdruck ca. 11 bar. Die gemessene Muldentemperatur lag bei 190 °C. Die Temperatur der Abluft wurde im Leerlauf (ohne Wäschedurchlauf) zu 137 °C bestimmt.

Die Bettwäsche wurde in dem dampfbeheizten Zweiroller mit einem Walzendurchmesser von 1,2 m bei einer Arbeitsbreite von 3,0 m. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen betrug der Mangelanpressdruck 3,5 bar (Mangelanzeige) und der anliegende Dampfdruck um 11 bar. Die gemessene Muldentemperatur lag bei 190 °C. Die Temperatur der Abluft betrug im Leerlauf (ohne Wäschedurchlauf) 117 °C.

alle Prozesse auswirken. Typische Maßnahmen sind Verbesserungen bei der Dampferzeugung und -verteilung, der Druckluftherzeugung aber auch die prozessübergreifende Abwärmenutzung.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass manche Maßnahmen den Einspareffekt anderer Maßnahmen reduzieren können.

7.3.1 Dampferzeugung

Die Auswertung des Brennerverhaltens am Dampfkessel ergab eine mittlere Feuerungsleistung von ca. 630 kW. Die installierte Leistung lag mit ca. 1.000 kW deutlich höher. Diese Leistung erreichte der Brenner des Dampfkessels in Stufe 2, die in 35% der Betriebszeit genutzt wurde. Deshalb wurden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Frontplatte des Kessels
- Senkung der Brennerleistung in Stufe 2 auf ca. 800 kW (Alternative: Austausch des zweistufigen Brenners gegen einen modulierenden Brenner)
- Nachrüsten eines neuen Wärmetauschers zur Rückgewinnung der Energie aus dem Wrasendampf und Vorwärmung des Waschwassers der Waschwassers (siehe **Abbildung 135**). Der Einbau eines Pufferspeichers ermöglicht zusätzlich die Möglichkeit, Abwärme aus anderen Quellen, insbesondere aus den Mangeln, in dieses System einzubinden.

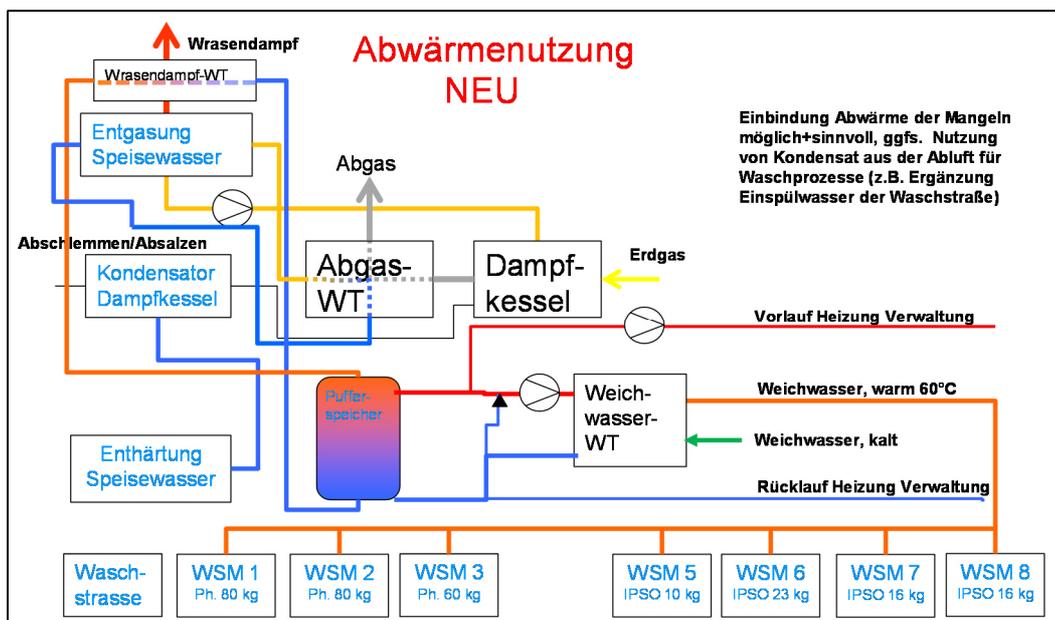


Abbildung 135: Neue Abwärmenutzung zur Erwärmung von Waschwasser, Wäscherei für Hotelwäsche

- Installation eines Wärmetauschers zur Vorwärmung der Verbrennungsluft des Dampfkessels, der zum Zeitpunkt der IST-Analyse zum sicheren Betrieb ein dauerhaft gekipptes Fenster zur Verbrennungsluftnachströmung benötigt. Die Verbrennungsluft wird dabei durch Oberflächenverluste des Dampfkessels und der Komponenten auf ca. 25 - 35 °C erwärmt. Gleichzeitig betrug die Abgastemperatur nach dem Economiser > 120 °C. Durch Installation eines Luft/Abgaswärmetauschers könnte die Verbrennungsluft von außen zugeführt und auf ca. 80 bis 100 °C vorgewärmt werden. Hersteller geben einen Wert von bis zu 2 % Energieeinsparung für Dampfkessel an. Bei einer mittleren Leistung von 630 kW und einer jährlichen Betriebszeit von 2.500 h könnte eine direkte Einsparung bis zu einer Höhe von 31.500 kWh erreicht werden. Mit dem Umbau auf eine Verbrennungsluftvorwärmung kann auf ein während der Betriebszeit gekipptes Fenster verzichtet werden.

7.3.2 Dampfverteilung

- Dämmung der Dampf- und Kondensatleitungen, auch innerhalb der Waschstraße, Armaturen und Verteiler
- Nachrüstung eines (automatischen) Absperrventils in den Leitungsstrang zu den Dampf-Kleinverbrauchern (Dämpfpuppen, Plätttisch, Hemdenfinisher). Diese Maschinen sind nur wenige Stunden pro Tag in Verwendung, stehen jedoch den ganzen Tag unter Dampf. Auch die automatische Absperrung ungenutzter Hauptleitungen, zum Beispiel der Mangelzuleitung am Morgen bzw. der Dampfleitung zur Waschstraße am Abend, wenn die jeweiligen Prozesse noch nicht an- oder bereits abgeschaltet sind, hilft die Leitungsverluste im Dampfnetz zu senken und im Falle des Frischdampfs zusätzlich den Bedarf an Speisewasser zu senken. Um Fehlbedienungen durch das Personal auszuschließen, empfiehlt sich eine Kopplung der oben genannten Dampfventile mit (Haupt-) Schaltern der dahinterliegenden Dampfverbrauchern.

7.3.3 Druckluftherzeugung und –verteilung

- Verlagerung des Kompressors in den unreinen Bereich zur effektiveren Kühlung des Kompressors und gleichzeitiger Beheizung des während der Untersuchung kaum beheizten Bereichs. Zur Einhaltung der Hygiene ist eine Aussenansaugung der zu verdichtenden Luft empfehlenswert.
- Bei Verlagerung des Kompressors ist eine Änderung der Hauptdruckluftleitungen zu prüfen. Mit einem an den Mangeln einzubindenden zusätzlichen Druckluftspeicher könnte eine energieeinsparende Druckabsenkung ohne Gefährdung der Betriebszuverlässigkeit erzielbar sein.

7.3.4 Organisatorische Maßnahmen

Im Wäschereibetrieb für Hotelwäsche wurden Potenziale mit geringinvestivem Aufwand erkannt, die massive Auswirkungen auf die Effizienz des Betriebs hatte:

- Nutzung Sekundärwassertank WSM 1:
Die 80 kg Waschschleudermaschine wurde für verschiedene Wäschearten, unter anderem auch für Wischbezüge und Matten genutzt. Die Maschine nutzt auch für diese Programme nur Frischwasser und enthärtetes Wasser, der auf der Maschine montierte Tank blieb leer und ungenutzt. Durch Änderung der Programme – entweder in Eigenleistung oder durch Investition in einen Kundendienst (< 1.000 €) könnte das letzte Spülwasser zur Vor- und Klarwäsche der Wischbezüge genutzt werden.
- Vereinheitlichung der Waschprogramme von WSM 5 bis 8
Die oben genannten Waschschleudermaschinen verfügten über moderne speicherprogrammierbare Steuerungen, die es erlauben, mittels herstellerspezifischer Software bis zu 99 Waschprogramme zu speichern. Es fiel bei der Analyse der Programme auf, dass die gleichen Programme nicht unter gleicher Nummer abgespeichert sind oder nicht jedes Programm auf jeder Maschine verfügbar ist. Zur Vermeidung von Bedienfehlern sollte jedes Waschprogramm auf allen Maschinen eine identische Programmnummer zugeordnet sein. Zusätzlich sind Programme mit gleichem Namen nicht in jeder Maschine mit identischen Programmabläufen versehen. XXX zeigt, dass bei gleicher Programmbezeichnungen unterschiedliche Flottenstände oder -temperaturen programmiert sein können. Daraus kann abgeleitet werden, dass entweder die Waschperformance einer Maschine niedriger ist und verbessert werden könnte oder die Energie- und Wassereffizienz einer anderen Maschine optimiert werden könnte. Am Bei-

spiel von WSM 7 und 8 – Maschinen gleichen Typs – wurden die abweichenden Programmparameter die im Hinblick auf Energieeinsatz zu prüfen sind – wie Spülgänge mit warmen Wasser („Rinse 1“) - dargestellt.

Tabelle 65: Programmunterschiede von WSM 7 und 8, Wäscherei für Hotelwäsche

Programm/-name	Programm- unterpunkt	Einstellung WSM 7 (HC 165)	Einstellung WSM 8 (HC 165)
20-Zweibad weiß 60/85	Prewash 60 °C	Temperatur 60°C, Level 19 → ~ 47 Liter	Temperatur 60°C, Level 30 → ~ 88 Liter
20-Zweibad weiß 60/85	Mainwash 90 °C	Temperatur 85°C, Level 19 → ~ 47 Liter	Temperatur 85°C, Level 30 → ~ 88 Liter
20-Zweibad weiß 60/85	Final Rinse	Temperatur 30°C, Level 19 → ~ 47 Liter	Temperatur 30°C, Level 23 → ~ 61 Liter
21-Weißwäsche 40/60/85	Vorwäsche 40°C	Temperatur 40°C, Level 19 → ~ 47 Liter	Temperatur 40°C, Level 30 → ~88 Liter
21-Weißwäsche 40/60/85	Prewash 60°C	Temperatur 60°C, Level 19 → ~ 47 Liter	Temperatur 60°C, Level 30 → ~ 88 Liter
21-Weißwäsche 40/60/85	Mainwash 90°C	Temperatur 85°C, Level 19 → ~ 47 Liter	Temperatur 85°C, Level 30 → ~88 Liter
23-Zweibad bunt 30/40	Rinse1	Temperatur 25°C, Level 19 → ~ 47 Liter	Temperatur 25°C, Level 23 → ~ 61 Liter
24-Zweibad bunt 40/60	Mainwash 70°C/ 60°C	Temperatur 73°C, Level 19 → ~ 47 Liter	Temperatur 73°C, Level 23 → ~ 61 Liter
27-Bleiche	Rinse1	Temperatur 55°C; Level 16 → 37 Liter	Temperatur 55°C; Level 16 → 37 Liter

- Verbesserung des Erdgaslastprofils

Bei der Auswertung der Erdgasdaten, die der Energieversorger bereitgestellt hat, wurde festgestellt, dass Tage mit hoher Spitzenlast, die sich das Versorgungsunternehmen bezahlen lässt, durch einen relativ starken Verbrauchsanstieg am Morgen gekennzeichnet sind. Weiterhin konnten starke Erdgasverbrauchsabnahmen zu den Pausen der Mitarbeiter festgestellt werden.

Damit die Spitzen gesenkt werden, können mehrere Maßnahmen eingesetzt werden:

- Senkung der maximalen Feuerungsleistung des Dampfkessels
- Nutzung von Abschaltprogrammen bei Trocknern (dies erfordert ggfs. zusätzlichen Aufwand für Verkabelung, bei Trockner 4 ist ein Lastmanagement in der Software bereits vorhanden)
- Versetzter Arbeitsbeginn und versetzte Pausen der Mitarbeiter, insbesondere an den Mangeln, so dass eine Mangel durchgehend in Betrieb ist

- Einführung eines Maschinenmanagements

Durch die Alltagsaufgaben bleiben oftmals regelmäßige Pflegearbeiten, aber auch eine kontinuierliche Bewertung von Anlagen unbeachtet. Folgende Managementaufgaben wurden empfohlen:

- Einführung von Checklisten mit Unterschrift für Pflege-/Wartungs- und Reparaturarbeiten
- Mindestens monatliche Druckluftleckkontrolle mit Checkliste
- Auflistung von Verbrauchern nach Energie- und Medienbedarf zur Bedarfsanalyse des Betriebs

In **Tabelle 66** sind die wichtigsten Verbesserungen nochmals zusammengefasst. Grundsätzliche Verbesserungsmaßnahmen wie Checklisten und andere organisatorische Maßnahmen wurden nicht extra aufgeführt, weil die Bewertung der Maßnahmen sowohl energetisch als auch finanziell schwierig ist.

Ebenfalls nicht aufgeführt wurde der im Zuge der IST-Analyse von der Wäscherei und durch Untersuchungen des wfk begleitete Austausch der 5 dampfbeheizten Trockner auf 3 erdgasbeheizte Trockner mit höherer Kapazität je Trockner und moderner Trockenpunktregelung.

Tabelle 66: Zusammenfassung der Verbesserungsmaßnahmen, Wäscherei für Hotelwäsche

Nr.	Maßnahme	Investition (Schätzung)	Einsparung / Annahme	Jährliche Einsparung in €	Rol (Jahre)
1	Einbau Wrasendampf-WT für WSR inkl. Einbindung Mangelabluft	20.000 €	85.700 kWh	6.000 €	3,3
2	Dämmung Frontplatte Dampfkessel	500 €	1.900 kWh	140 €	3,8
3	Einbau Verbrennungs-luftvorwärmung für Dampfkessel, raumluft-unabhängiges Luft-Abgas-System	15.000 €	60.000 kWh	4.200 €	3,6
4	Nachrüstung Absperrventile Dampfverteilung	7.000 €	Zwei Ventile zum autom. Abschalten (z.B. Zeitschaltuhr oder Kopplung Maschine), 0,5 kW/m * 12m unisoliertes Rohr * 250 d/a * 4 h/d = ca. 24.000 kWh	1.700 €	4,1
5	Umverlagerung Kompressor	1.500 €	Wärmezufuhr im Waschprozess (wärmere Wäsche, geringe Wärmeverluste und bessere Kühlwirkung Kompressor nicht bewertbar)	Siehe Einsparung	-
6	Nachrüstung Wärmetauscher für Trockner 2 und 3	10.000 €	Ca. 10% Einsparung von 163 kW * 8,4*250 d/a = 342 MWh, 10 %: Ca. 34* MWh, 7 Ct/kWh	2.380 €	4,2
7	Nutzung weiterer Wasserqualitäten	ca. 7.000 €	Invest in Abh. der Variante, Basis ist die vollständige Aufheizung des Wassers auf 30 °C und Substitution von ca. 30 % des Trinkwassers	10.000 €	0,7
8	Optimierung Programme Waschschleudermaschinen (Wartungsdienst)	1.000 €	Einsparung ca. 30% bei 30% der Programme, Einsatz bisher 81 kW*8,4 h * 250 d/a = 170 MWh/a davon 9%: 15,3 MWh, 7 Ct/kWh	1.000 €	1

7.4 Nachmessung Hotelwäsche

Von den vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen wurden durch die Wäscherei folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Dämmen der Frontplatte des Kessels
- Dämmen des Dampfverteilers
- Austausch der 5 dampfbeheizten Trockner durch 3 erdgasbeheizte Trockner mit moderner Leitwertregelung zur Vermeidung von Über Trocknung

Zusätzlich hat der Betrieb im Rahmen von Expansionsmaßnahmen die vorhandene Mangel 1 (2-Roller) gegen einen leistungsfähigeren 3-Roller getauscht und einen zusätzlichen gasbeheizten Tunnelfinisher angeschafft.

Im Zuge der Umbaumaßnahmen wurde für den Tunnelfinisher und die drei neuen Trockner ein zusätzlicher Erdgaszähler installiert.

Während die Effekte durch die Dämmmaßnahmen infolge der geänderten Betriebssituation nicht abbildbar sind, wurde für die Trockner eine Bilanz auf Basis der angenommen gleichen Wäschemengen und Restfeuchtwerte erstellt. Wie in **Abbildung 136** zu sehen ist, wurde auch hier eine Sammelbilanz erstellt, weil die Abluft der drei Trockner in eine – hydraulisch funktionierende – Sammelleitung zusammengeführt wurde. Zur Abbildung der gleichen Anzahl und des gleichen Massenstroms wurde deshalb die Summe der Posten, die zuvor mit den alten Trocknern getrocknet wurden, auf die drei neuen Trockner übertragen. Die durchschnittlich 23 Posten je Trockner umfassen dann – bei Annahme gleicher Wäschemenge – einen geringere Beladungsmenge von ca. 17 %, ausgehend von der Nennbeladungsmenge des Herstellers.

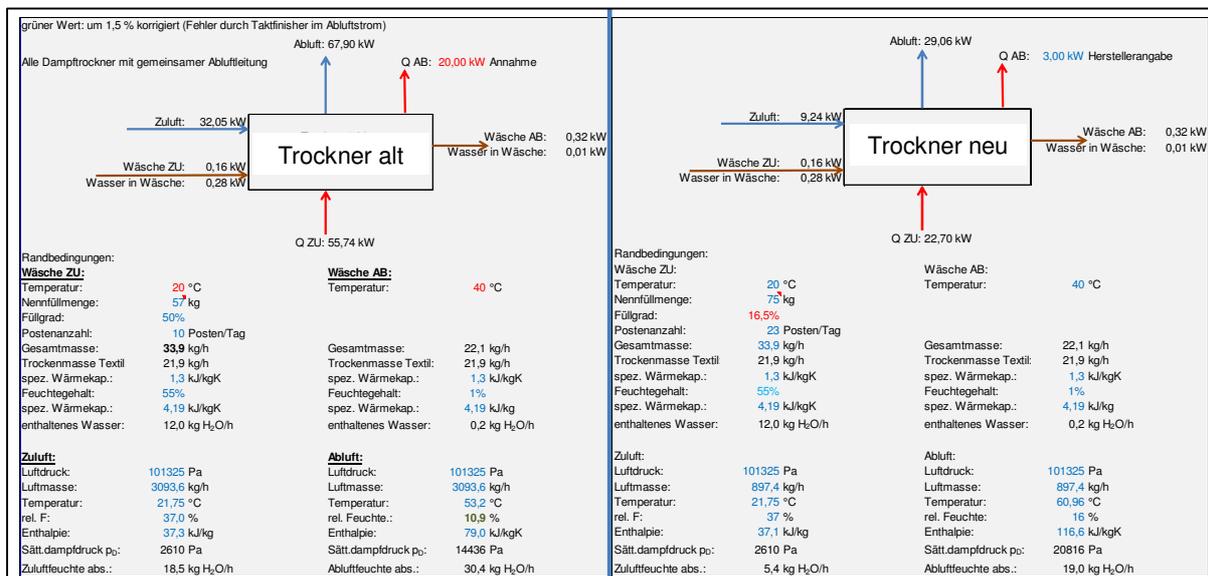


Abbildung 136: Vergleich 4 dampfbeheizten Trockner zu 3 erdgasbeheizten Trocknern, Wäscherei für Hotelwäsche

Die erdgasbeheizten Trockner haben neben dem Vorteil, dass die Verluste aus der Dampferzeugung und Verteilung entfallen, nach **Abbildung 136** klar erkennbare Vorteile:

- Geringerer Abluftvolumenstrom
- Geringere Oberflächenverluste (vor allem durch Wegfall der Dampfregister und der geringeren Geräteoberflächen)

Durch die höhere relative Feuchte würde eine mögliche Abwärmenutzung mit geringerer Abkühlung in den Bereich der Kondensation kommen und mehr Energie freisetzen. Diese Möglichkeit wurde hier nicht genutzt

Auf Basis der angenommenen und der gemessenen Parameter sinkt der Leistungsbedarf der Trockner von ca. 57 kW auf 23 kW. Damit ist eine Einsparung von ca. 60 % umgesetzt. Die größte Unsicherheit bleibt der Nutzer: Auch bei den neuen Trocknern wurde das Nachlegen von Wäscheteilen in laufende Trocknungsprozesse und die generelle Unterbeladung beobachtet.

Auch der Austausch der Mangel 1 (2-Roller, 3000 mm Arbeitsbreite, 1200 mm Walzendurchmesser) gegen eine 3-Rollen-Mangel (3000 mm Arbeitsbreite, 1200 mm Walzendurchmesser) hatte positive Auswirkungen. Der Leistungsbedarf der Mangel 1 sank bei gleichem Durchsatz von ca. 140 kW auf ca. 130 kW. Dies ist auf einen geringfügig niedrigeren Abluftvolumenstrom und Ablufttemperaturen zurückzuführen.

7.5 Zusammenfassung Wäscherei für Hotelwäsche

Die Wäscherei für Hotelwäsche war einer der kleineren Betriebe der untersuchten fünf Wäschereien. Die Größe bezieht sich sowohl auf die verfügbare Fläche der Wäscherei, die tägliche Wäschemenge als auch die Anzahl und Kapazität der Maschinen.

Die Wäscherei hatte für die Größe (Tagesleistung etwa 8 t) moderne Wasch- und Trockner-technik mit Ausnahme der mit Dampf beheizten Trockner. Diese Trockner wurden bereits durch die Wäscherei als ineffiziente Maschinen erkannt und im Rahmen dieses Projektes ersetzt. Bei einer ermittelten Leistungsreduzierung von 34 kW und 2.100 Betriebsstunden wurde durch diese Maßnahme eine Einsparung von 71,4 MWh pro Jahr realisiert.

Ausbaubar sind die Einsparungen auf der organisatorischen Seite. Die Nutzung eines vorhandenen Speichertanks und die Optimierung bzw. Vereinheitlichung der Waschprogramme sowie die optimierte Auslastung der Waschschleudermaschinen und Einzeltrockner stellen noch kostengünstig realisierbare Energieeinsparpotenziale dar, ohne die Waschperformance zu gefährden.

Bei der Nutzung verschiedener Wasserqualitäten haben die meisten der eingesetzten Waschschleudermaschinen bereits die Möglichkeit bis zu 6 verschiedene Wasserarten auszuwählen. Die Nutzung von Regenwasser bietet sich zusätzlich für die Speisewasserversorgung an: Die Nutzung als Kühlwasser für den Entspanner – soweit die Einleitbedingungen dies erfordern – als auch die Nutzung in Waschprozessen nach Aufbereitung durch Filtration, ggfs. Umkehrosmose, würde nicht nur enthärtetes Trinkwasser ersetzen, sondern auch den Aufwand für die Enthärtung des mineralienreichen Wassers senken.

8 Zusammenfassung der Verbrauchskennwerte

Im Rahmen der IST-Analyse wurden die vorhandenen Jahresenergie- und Medienverbräuche ausgewertet und daraus spezifische Kennwerte gebildet. **Abbildung 137** bis **Abbildung 144** zeigen die spezifischen Kennzahlen der untersuchten Wäschereien zum Zeitpunkt der IST-Analyse.

Neben den branchenüblichen Kennwerten für den wäschebezogenen Energie- und Medienverbrauch wurden neue Kennwerte bzw. Kennwerte aus anderen Branchen ermittelt. Zur Beurteilung der Qualität der Druckluftversorgung wurde die Effizienz der Kompressoren sowie die vorgehaltene Kompressorenleistung je gewaschene Tonne berücksichtigt. Für die Dimensionierung der Dampfkessel bzw. deren Brenner wurde die mittlere Auslastung der Brenner ermittelt. Zur Bewertung der möglichen Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen wurde das Verhältnis von Strombedarf zu Wärmebedarf herangezogen.

8.1 Elektrische Energie

Der elektrische Gesamtenergieverbrauch der Wäschereien wurde spezifisch bezogen auf 1 t Wäsche dargestellt. **Abbildung 137** zeigt den spez. elektrischen Energieverbrauch der untersuchten Wäschereien. Zum Vergleich ist der vom VTS ermittelte untere Kennwert im Diagramm eingezeichnet, der mit 0,15 kWh/kg als gering eingestuft werden kann (5).

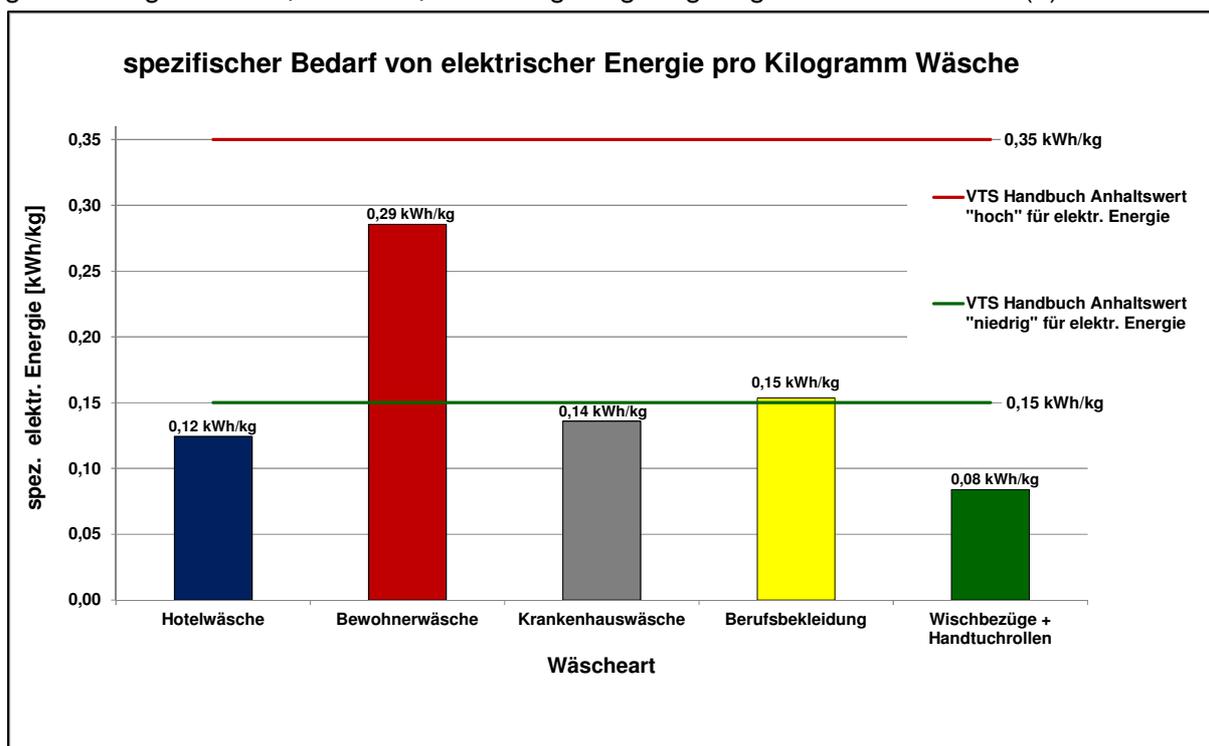


Abbildung 137: Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der untersuchten Wäschereien

Eine ergänzende Aussage, wie gleichmäßig dabei die elektrische Energie eingesetzt wird, kann von der maximal benötigten Leistung in Bezug auf die Jahreswaschleistung und in den Vollbenutzungsstunden (bei den Stromversorgern auch Benutzungsdauer genannt) abgeleitet werden. Die Ermittlung der Vollbenutzungsstunden wurde aus dem Quotienten von Jahresstrombedarf und maximaler elektrischer Leistung der untersuchten Betriebe ermittelt.

Je höher die im Laufe eines Jahres erfasste maximale Leistung der Wäscherei ist, desto weniger effektiv ist die Anlage oder desto optimierungswürdiger sind Arbeitsabläufe. Ein 2-

Schichtbetrieb hat durch die längeren Laufzeiten gegenüber einem 1-Schichtbetrieb automatisch Vorteile. In den untersuchten Wäschereien wurden 0,04 W/kg bis 0,105 W/kg als Spitzenabnahme gemessen. Als erzielbarer Wert für die maximale Leistung einer Wäscherei sollte ein Wert von 0,05 W/kg angestrebt werden.

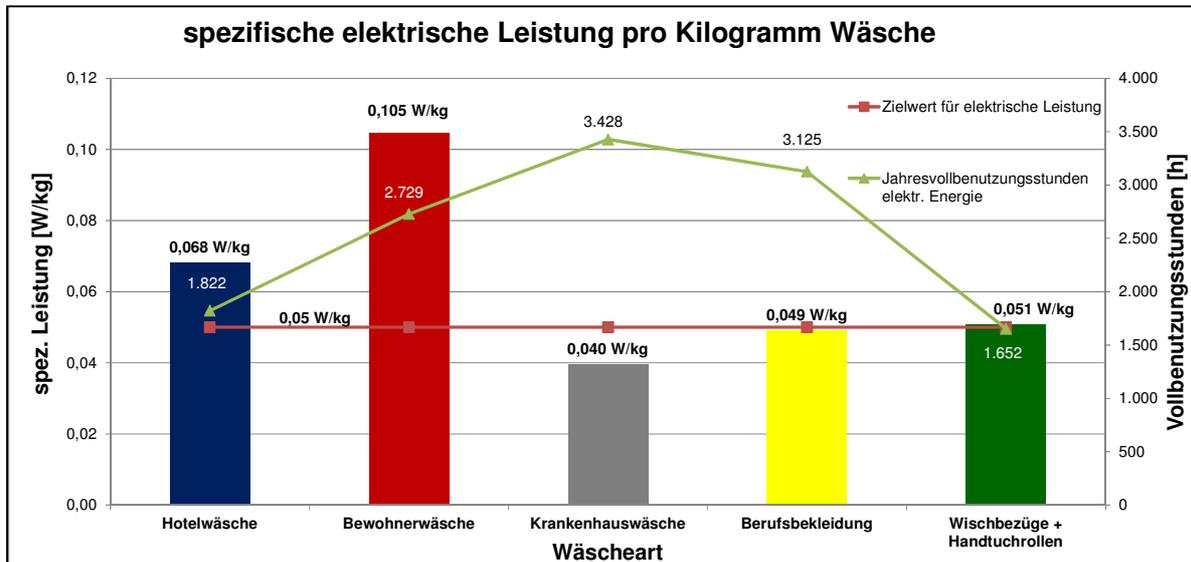


Abbildung 138: Spezifische elektrische Leistungen aller untersuchten Wäschereibetriebe

Zusätzlich wurden Kennwerte zur Quantifizierung der Effizienz der Druckluftherzeugung gebildet. Zur Veranschaulichung der Effizienz der eingesetzten Kompressoren in der untersuchten Wäschereien ist in **Abbildung 139** die spezifische elektrische Leistung bezogen auf die Liefermenge von Druckluft dargestellt. Die Werte der Kompressoren sind Angaben der jeweiligen Hersteller.

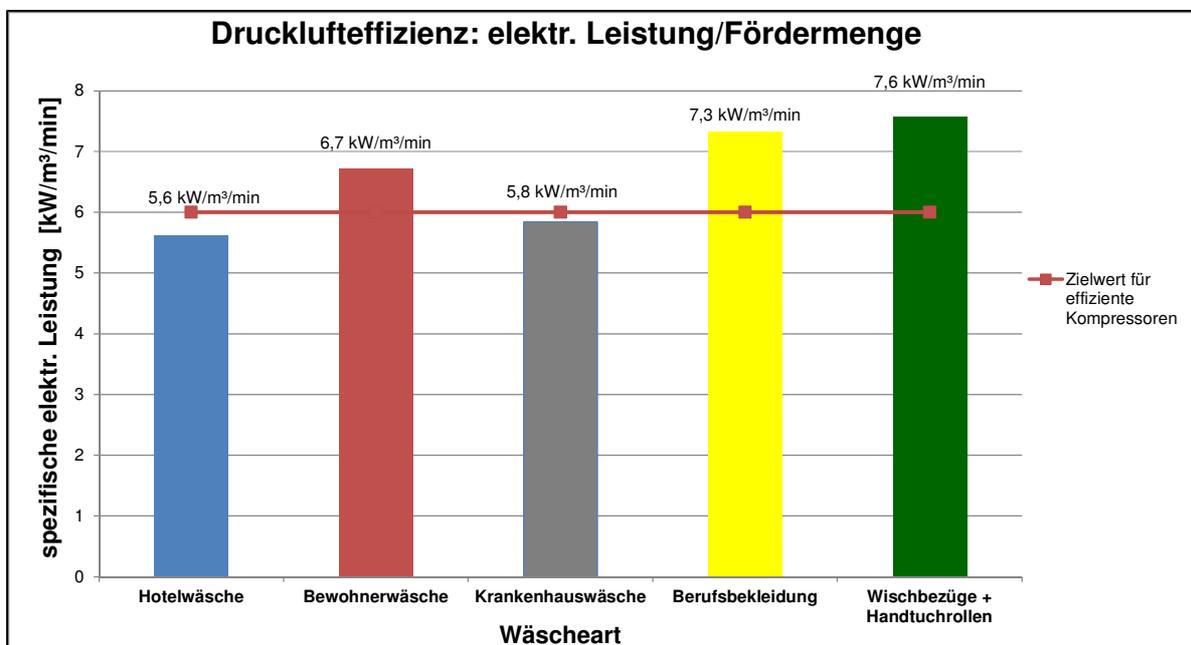


Abbildung 139: Effizienz der Kompressoren in den untersuchten Wäschereien

Als Zielwert für die spezifische Leistung pro geförderten Kubikmeter Druckluft der eingesetzten Kompressoren können 6 kW/m³/min angegeben werden und stellen ein Effizienzkriterium dar. Die spezifische installierte elektrische Leistung der Kompressoren in **Abbildung 140** bilden den vorgehaltenen Leistungsbedarf bezogen auf die bearbeitete Wäschemenge ab. Indirekt

ist in der vorgehaltenen Leistung der Kompressoren der Druckluftbedarf der Maschinen, Leckagen, Verluste des dynamischen Drucks im Druckluftnetz durch zu geringe Rohrquerschnitte und die bei der Auslegung eingerechneten Sicherheiten enthalten.

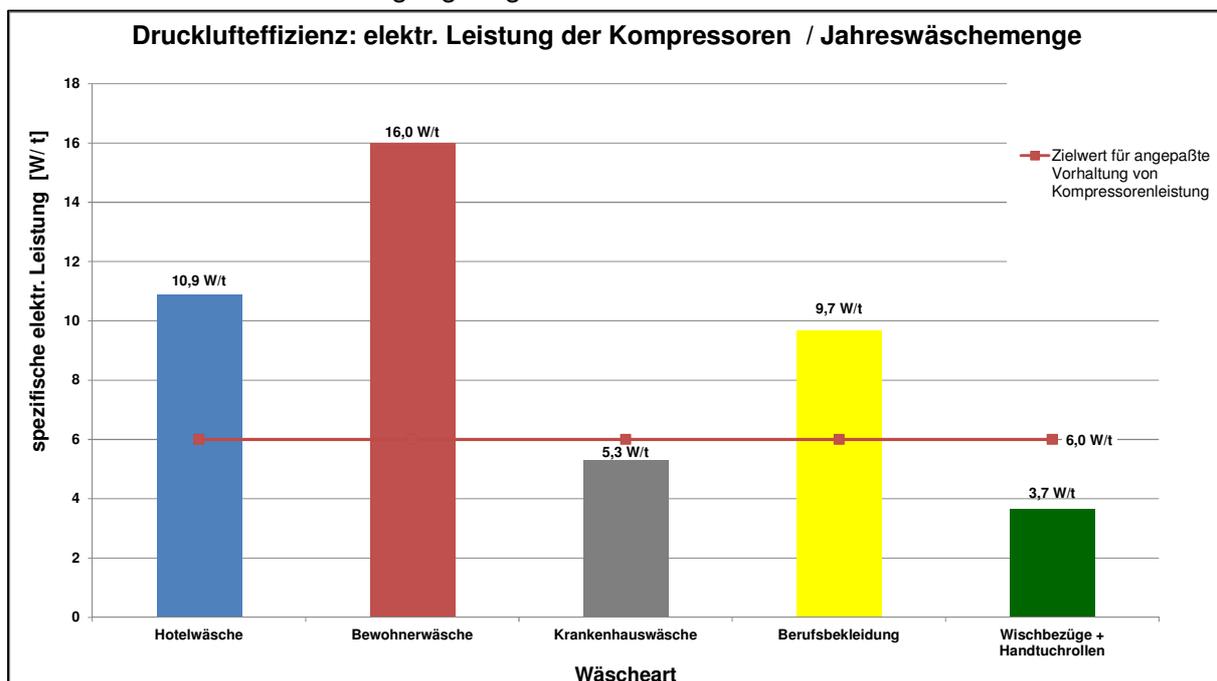


Abbildung 140: Eingesetzte elektrische Leistung der Kompressoren bezogen auf die Jahreswäschemenge

Eine hohe installierte elektrische Leistung für den Kompressor wie im Fall der Wäscherei für Bewohnerwäsche kann auf ein undichtes Netz oder andere Mängel in der Druckluftanlage hinweisen. Im Durchschnitt sollte die vorgehaltene Kompressorleistung im Bereich von ca. 6 W/t liegen.

Eine weitere spezifische Kennzahl für den Drucklufteinsatz in Wäschereien ist der spezifische Stromverbrauch für die Druckluftherzeugung. Dieser Wert konnte nicht in allen Betrieben erfasst werden. Die im Projekt ermittelten Bestwerte markieren den erreichbaren und anzustrebenden Zielbereich von ca. 5,4 kWh/t bis 10,4 kWh/t für sehr gut optimierte Wäschereien.

8.2 Wasserverbrauch

Für gewerbliche Wäschereien ist der Wasserverbrauch ein wichtiger Kennwert.

Er gibt Auskunft über einen sinnvollen Einsatz von Frischwasser in Waschprozessen und gibt indirekt auch einen Hinweis auf evtl. vorhandene Einsparpotenziale und Reduktionsmöglichkeiten. Jeder eingesparte Liter Wasser verringert potenziell den Bedarf an Heizenergie. Die in **Abbildung 141** angegebenen Kennzahlen berücksichtigen ausschließlich die eingesetzte Frischwassermenge und reichen von 13,71 bis 1,74 l/kg einschließlich des Wasserbedarfs für Sanitär und Verwaltung. Der in **Abbildung 141** angegebene untere Grenzwert des VTS von 7 l/kg wurde von zwei der untersuchten Wäschereien bereits unterboten und ist mit einfachen prozessübergreifenden Maßnahmen erreichbar. Der untere VTS - Wert sollte für die Wäschereibranche als möglichen Wert etabliert werden. Die 1,74 l/kg stellen einen Wert für einen auf zwei Wäschearten spezialisierten Betrieb dar, der prozessübergreifende Maßnahmen ganzheitlich realisiert hat und zusätzlich Regenwasser nutzt, was den Frischwasserbedarf deutlich senkt.

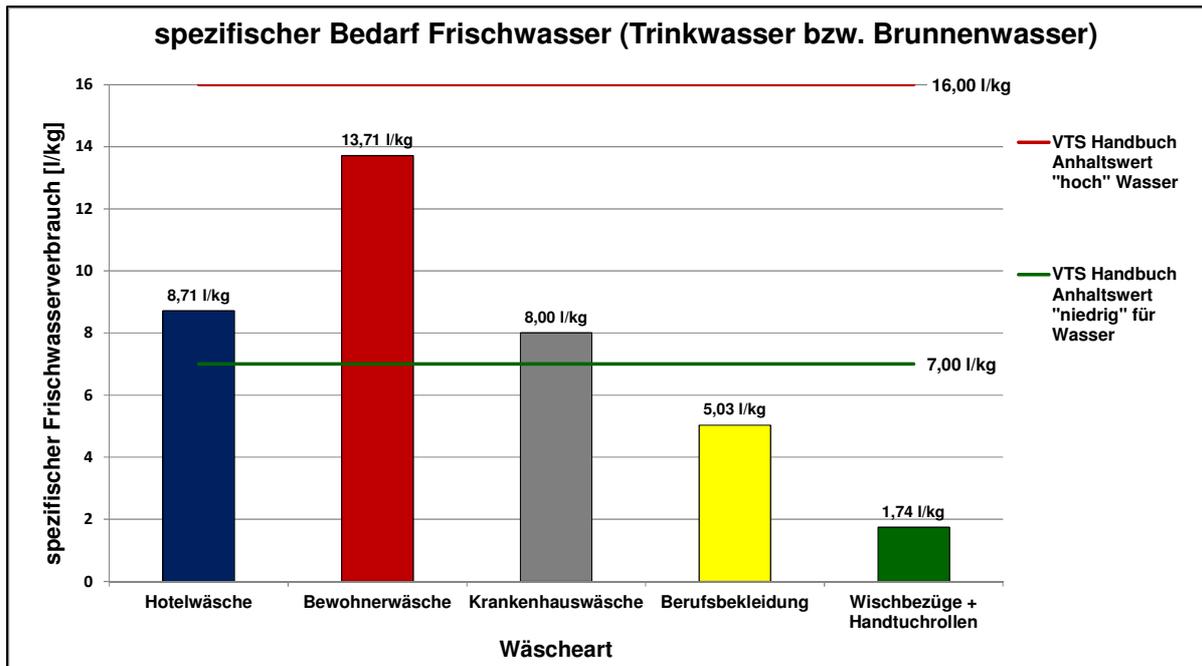


Abbildung 141: Spezifischer Frischwasserbedarf für die untersuchten Wäschereien

8.3 Wärmeenergie

Die meiste Energie in den untersuchten Wäschereien wird zur Erzeugung von Wärme aufgewendet. Darunter fallen die Erzeugung von Dampf und die direkte Aufheizung der Prozessluft bei Trocken- und Finishprozessen. Deshalb wurden mehrere Kennwerte gebildet, um die Unterschiede in der Energienutzung darzustellen.

Wie **Abbildung 142** zeigt, liegen die untersuchten Wäschereien beim Verbrauch von Erdgas bzw. Heizöl im Bereich von 1,64 bis 0,58 kWh/kg. Der untere Grenzwert des VTS kann in diesem Bereich wiederum als wirtschaftlicher Zielwert bestätigt werden. Die 0,58 kWh/kg für den Wäschereibetrieb aus der Projektphase I, der auf zwei Wäschearten spezialisiert ist, stellen einen Grenzwert dar, der nur durch vollständige prozessübergreifende Maßnahmen ganzheitlich realisiert werden kann. Nicht jede der dabei umgesetzten Maßnahmen zur Energierückgewinnung ist dabei wirtschaftlich.

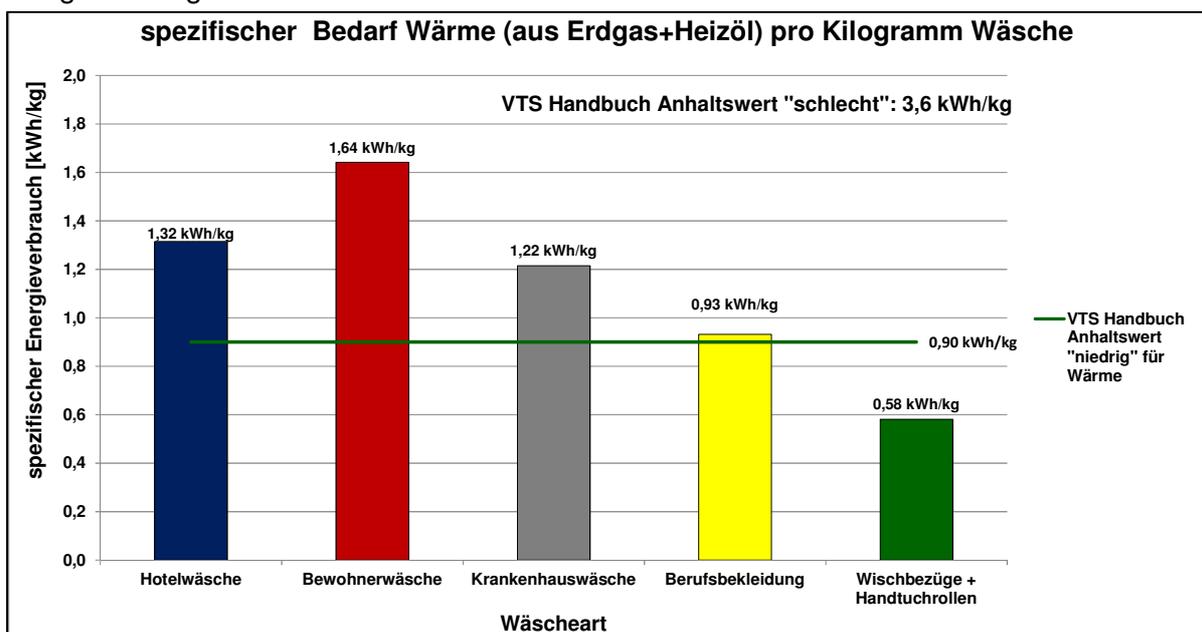


Abbildung 142: Spezifischer Wärmebedarf für Erdgas bzw. Heizöl der untersuchten Wäschereibetriebe

Bei den Untersuchungen in den Wäschereien fiel die geringe Auslastung der Dampfkessel bzw. der Brenner auf. **Abbildung 143** zeigt die geringe Auslastung der Brenner im Bereich von 21 % - 55 % auf. Hauptgrund für diese geringe Auslastung ist eine massive Überdimensionierung der Anlagen. Durch die geringe Auslastung der Anlagen ergibt sich automatisch ein geringer Jahresnutzungsgrad und somit ein erhöhter Energieverbrauch. Bei Umbaumaßnahmen bzw. Erneuerungen der Kesselanlagen ist darauf zu achten, dass eine mittlere Auslastung von ca. 75 % erreicht wird. Die Anlagen sind entsprechend kleiner zu dimensionieren.

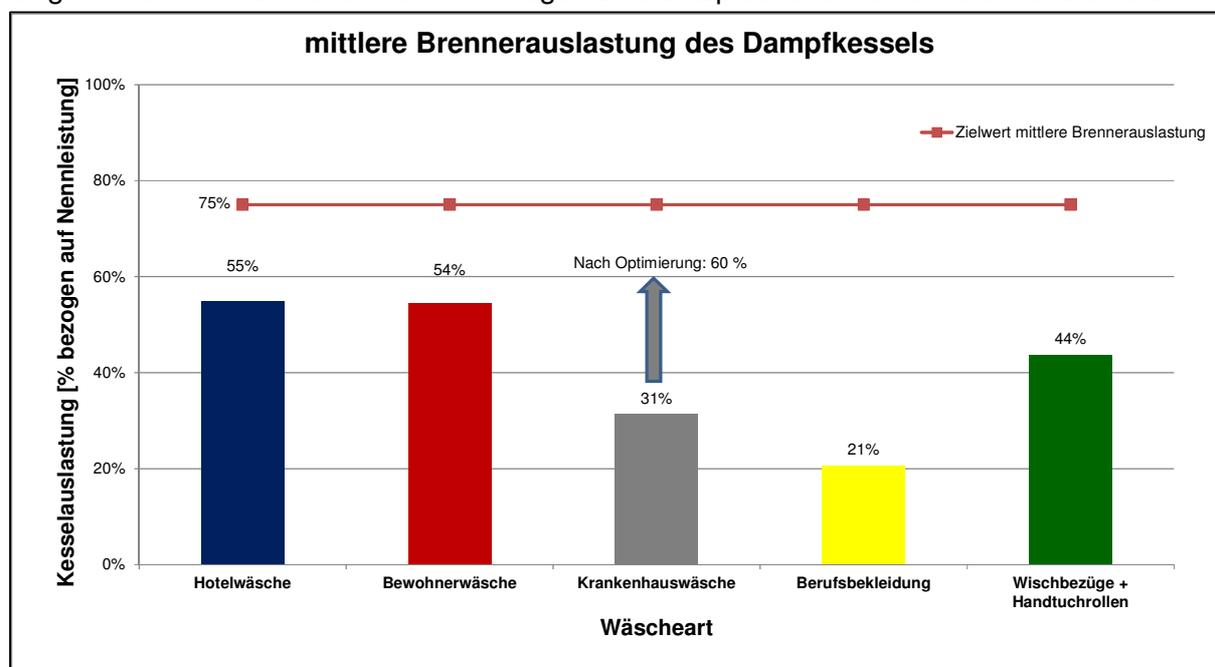


Abbildung 143: Vergleich der mittleren Brennerauslastung

Da die Dampferzeugung und -verteilung durch einen hohen Energieaufwand und Verluste des Systems gekennzeichnet sind, kann anhand der gewonnenen Erkenntnisse die Aussage getroffen werden, dass eine direkte Wärmeerzeugung durch Erdgas im Prozess einer indirekten Wärmeerzeugung mittels Dampf vorzuziehen ist.

Als Information zur möglichen Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung dient das Verhältnis von Brennstoffverbrauch (entspricht annähernd dem Wärmebedarf) zum Strombedarf. Nur wenn an vielen Betriebsstunden die erzeugte Wärme und der erzeugte Strom eines BHKW im eigenen Betrieb verbraucht wird, kann ein wirtschaftlicher Betrieb des BHKW erreicht werden.

Je geringer das Verhältnis von Wärme- zu Strombedarf, desto wirtschaftlicher ist eine vollständige Verwertung der eingesetzten Energie in einem Blockheizkraftwerk möglich. BHKW erzeugen ca. 1 - bis 2,4 mal mehr Wärme als Strom, so dass ein Zielwert von ca. 2 für BHKW nutzende Wäschereien anzustreben ist.

Bei den untersuchten Wäschereien wurden die in **Abbildung 144** dargestellten Kennzahlen von 5,75 bis 10,57 erreicht. Die Wäschereien benötigen ca. 6- bis 11-mal mehr Wärme als Strom. Unter diesen Bedingungen kann ein sinnvoller Einsatz von BHKWs nur stromgeführt ausgelegt werden. Die Vollastbetriebsstunden des BHKW sollten für einen wirtschaftlichen Betrieb mindestens 5.000 Betriebsstunden pro Jahr erreichen (6).

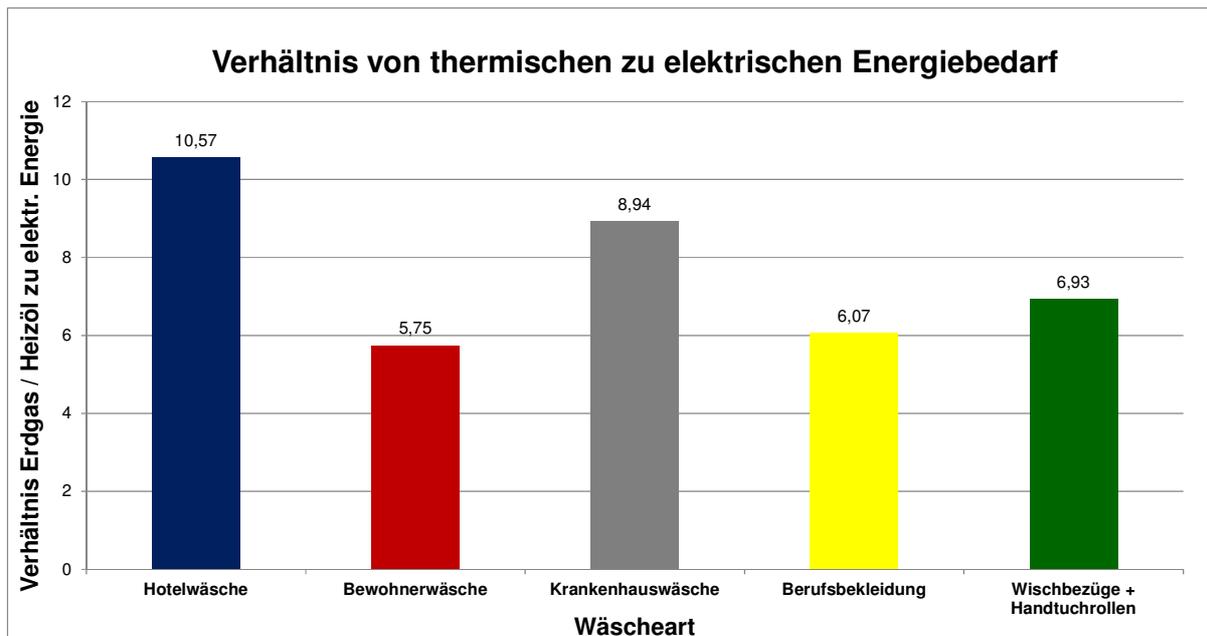


Abbildung 144: Verhältnis thermischer zu elektrischer Energiebedarf für die untersuchten Wäschereibetriebe

8.4 Pinchanalyse

Die Pinchanalyse nach Linhoff wird verwendet, um das Potenzial von Wärmeströmen zu erfassen. Dabei wird ein Compositestrom bestehend aus der Summe der Wärmequellen und ein Compositestrom bestehend aus Wärmesenken gebildet, um diese in Abhängigkeit von einer minimalen Temperaturdifferenz auszutauschen. Die Methode wurde insbesondere für verfahrenstechnische Anlagen entwickelt in denen kontinuierlich anfallende große Leistungen sowohl auf der Wärmequellen- als auch auf der Wärmesenkenseite vorhanden sind.

Die Messung der Betriebszustände in den Wäschereibetrieben zeigte, dass die bei den Prozessen anfallenden Wärmeströme (Wärmesenken und Wärmequellen) in den meisten Fällen nur sehr kurzzeitig fließen und in Abhängigkeit vom jeweiligen Wasch- oder Trocknungsprogramm und der Zeit innerhalb eines Prozesszyklus auf unterschiedlichem Temperaturniveau anfallen.

Zum Beispiel benötigt die Waschstraße der Wäscherei für Bewohnerwäsche in den einzelnen Kammern unterschiedliche Temperaturen, die wiederum vom gewählten Waschprogramm abhängen z. B.:

- Kammer 3: 65 °C
- Kammer 4: 70 °C
- Kammer 10: 90 °C

Die über die Waschstraße nach außen wirksamen Wärmeströme – zum Beispiel Aufheizen in Kammer 3 und 4, Ablass Kammer 4 (Abwasser) – sowie Wärmezufuhr zum extern beheizten Tank 1 fallen je nach Taktung ca. alle 2 - 3 Minuten an.

Gleiches gilt z. B. auch für die Flottentemperatur in den Waschscheudermaschinen wie die folgende **Tabelle 67** (siehe auch **Tabelle 11** des Abschlussberichts) zeigt.

Tabelle 67: Programm 11 Ablauf und Messwerte in WSR 1 zum Waschen von Bewohnerwäsche

Kammer	Wasserart*	Niveau [l/kg]	Flotten-temperatur [°C]	Flottenablass	Wasch- und Waschhilfsmittel
1	4,6 l/kg aus Pressentank und FW	5,0		in Kammer 2	6,0 ml/kg Alleinwaschmittel, 3,8 ml/kg alkalischer Waschkraftverstärker
2	-	wie K1	38	in Kammer 3	-
3	-	wie K1	65	in Kanal	-
4	-	wie K10	70	in Kanal	-
5	-	wie K10	78	in Kammer 4	7,0 ml/kg Alleinwaschmittel
6	-	wie K10	83	in Kammer 5	-
7	-	wie K10	82	in Kammer 6	4,0 ml/kg Wasserstoffperoxid
8	-	wie K10	82	in Kammer 7	-
9	-	wie K10	91	in Kammer 8	-
10	1,8 l/kg RW aus Tank 1 (K11) und 3,2 l/kg FW	5,0	90	in Kammer 9, Gegenstrom, kein Flotten-ablass	-
11	-	wie K14	75	über WT in Tank 1, dann in Kammer 10	-
12	-	wie K14	66	in Kammer 11	-
13	-	wie K14	50	in Kammer 12	-
14	FW und RW aus Presse	4,0 FW 1,0 RW	46	in Kammer 13	-
15	FW und RW aus Presse	5,0	35	In Tank 2	1,5 ml/kg Essigsäure
Presse	-	-	31	In Tank 2	-

* FW= Frischwasser, RW= Rückgewinnungswasser

Um die Pinchanalyse für die untersuchten Wäschereien einzusetzen, wurden die diskontinuierlichen Wärmequellen- und Wärmesenkenströme gemittelt und für die vier Wäschereitypen ausgewertet. Die heiße Compositekurve, der Wärmequellenstrom listet die gemittelten nutzbaren Abwärmeströme der einzelnen Prozesse auf, die aus den Messdaten generiert wurden. Dazu gehören z.B.:

- Abwässer aus Waschstraßen
- Abwässer aus Waschschleudermaschinen
- Abluft aus Trocknern
- Abluft aus Mangeln
- Abluft aus Tunnelfinishern
- Kühlluft bzw. Abwärme aus der Druckluftherzeugung
- ungenutzte Abwärmeströme aus Prozessen der Wärmeerzeugung

Die gemittelten Leistungen der Wärmequellenströme zusammen mit den mittleren Temperaturniveaus bei denen diese vorliegen, bilden die heiße Compositekurve (Wärmequelle).

Die Leistungen der zu erwärmenden Medienströme bilden zusammen mit deren Temperaturniveaus die kalte Compositenkurve (Wärmesenke). Dazu gehören z.B.:

- Erwärmung des zugeführten Frischwassers der Waschstraßen
- Erwärmung des zugeführten Frischwassers der Waschsleudermaschinen
- Erwärmung der zugeführten Frischluft für die Trockner
- Erwärmung der zugeführten Frischluft für die Mangeln
- Vorerwärmung der zugeführten Frischluft für die Tunnelfinisher
- Erwärmung von Niedertemperaturheizströmen (z. B. Fußbodenheizung)
- Erwärmung von Brauchwarmwasser

Für die Wäscherei Bewohnerwäsche sind die Compositeströme Wärmequellen und Wärmesenken mit gemittelter Leistung [kW], Ausgangstemperatur und Zieltemperatur des Stoffstroms [°C] und spezifischem Kapazitätenstrom CP [kW/°C] (heat capacity flowrate) exemplarisch in **Tabelle 68** und **Tabelle 69** aufgeführt.

Tabelle 68: Übersicht der erfassten Wärmequellen in der Wäscherei Bewohnerwäsche mit Abwasser (ABW), Abluft oder Brüdenabluft (ABL), Kaltwasser (KW), Zuluft (ZL):

Bezeichnung Wärmequelle	Enthalpie-strom kW	Ausg.-temp. T _{zu}	Zieltemp. T _{ab}	Kapazitäten-strom CP
Waschstr. Archimedia (ABW)	51,8	37	10	1,92
Waschsleudermaschinen 1-5 (ABW)	65,2	37	10	2,42
Waschsleudermaschinen 6+7 (ABW)	15,8	35	10	0,63
Verbundtrockner 1-4 (ABL)	180,1	68	10	3,11
Mangel 1 (ABL)	75,1	99	10	0,84
Tunnelfinisher, (ABL)	38,8	99	10	0,44
Druckluft Schraube, (ABL)	10,5	90	23	0,16
ECO Dampferzeuger, (ABL)	23,1	220	99	0,19

Tabelle 69: Übersicht der erfassten Wärmesenken in der Wäscherei Bewohnerwäsche mit Abwasser (ABW), Abluft oder Brüdenabluft (ABL), Kaltwasser (KW), Zuluft (ZL):

Bezeichnung Wärmesenke	Enthalpie-strom kW	Ausg.temp. T _{zu}	Zieltemp. T _{ab}	Kapazitäten-strom CP
Archimedia (KW)	91	34,1	82	-1,90
Waschsleudermaschinen 1-5 (KW)	80,1	47,9	82	-2,35
Waschsleudermaschinen 6+7 (KW)	20,2	47,5	80	-0,62
Verbundtrockner 1-4 (ZL)	248	23	160,14	-1,81
Tunnelfinisher, Vorerwärmung (ZL)	5,4	23	45	-0,25

Im folgenden Diagramm für die Wäscherei Bewohnerwäsche ist das Ergebnis für die Compositenkurven Wärmequellen und Wärmesenken zusammen mit der verschobenen Wärmesenkenkurve dargestellt. Der Vergleich der Kurven im Diagramm **Abbildung 145** zeigt, dass der benötigte Enthalpiestrom (Wärmesenken) im Temperaturniveau meist über dem Enthalpieangebot der Wärmequellen liegt. Für die Wärmetauscher der Wärmerückgewinnung wird nun eine minimale Temperaturdifferenz von 20 Kelvin gewählt. Zur Ermittlung des bei dieser Mindesttemperaturdifferenz übertragbaren bzw. rückgewinnbaren Enthalpiestroms wird nun die Wärmesenkenkurve nach rechts verschoben bis sich die Temperaturdifferenz von 20 K zwischen der Kurve Wärmequelle und der verschobenen Kurve Wärmesenken ergibt. Die Stelle mit der minimalen Temperaturdifferenz wird auch als Pinch bezeichnet. Der übertrag-

bare Enthalpiestrom für die Wäscherei Bewohnerwäsche bei der gewünschten Temperaturdifferenz von 20 K kann nun als Differenz zwischen dem Startpunkt der verschobenen Wärmesenkenkurve und dem Endpunkt der Wärmequellenkurve abgelesen werden. Der übertragbare Enthalpiestrom bei 20 Kelvin Temperaturdifferenz beträgt für die Wäscherei Bewohnerwäsche ca. 186 kW. Wenn die Temperaturdifferenz für die Wärmetauscher unter 20 K gesenkt wird, errechnen sich entsprechen höhere Werte. Dies erfordert jedoch größere Austauschflächen in den eingesetzten Wärmetauschern und damit höhere Investitionskosten.

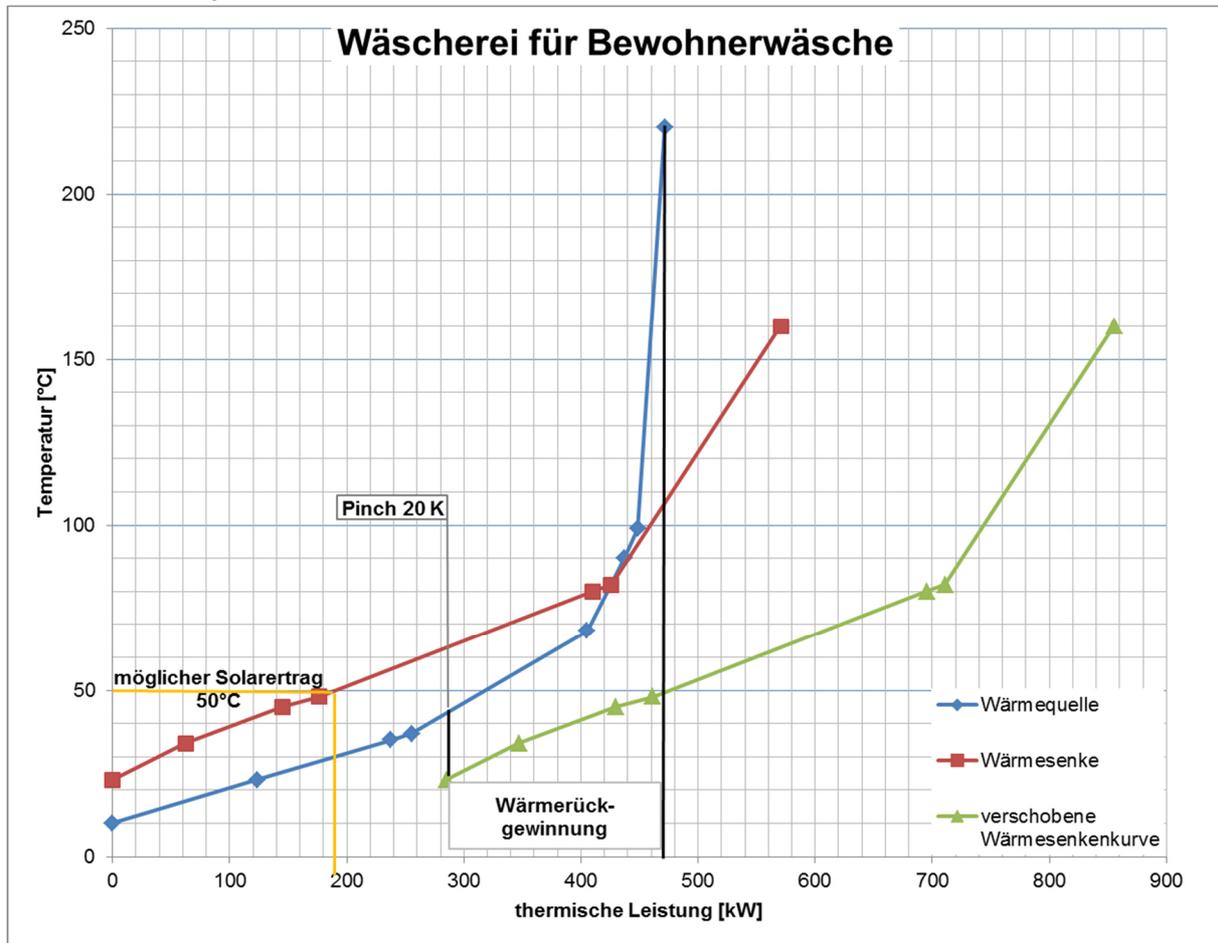


Abbildung 145: Wäscherei Bewohnerwäsche Compositekurven der Wärmequellen und Wärmesenken und verschobene Wärmesenkenkurve mit Pinch und Enthalpiestrom der Wärmerückgewinnung

Aus dem Verhältnis von maximaler Wärmequellenleistung \dot{Q}_{max} zur rückgewinnbaren nutzbaren Leistung Q_{WRG} bei der gewählten Temperaturdifferenz von 20 K kann der Kennwert $\frac{\dot{Q}_{WRG}}{\dot{Q}_{max}}$ gebildet werden, der die Effizienz der Wärmerückgewinnung in einem Wäschereibetrieb ausdrückt. Für die Wäscherei Bewohnerwäsche wären noch 39% bei 20 Kelvin Temperaturdifferenz nutzbar, die derzeit noch ungenutzt in das Abwasser oder die Abluft gehen.

In den folgenden Diagrammen - **Abbildung 146** bis **Abbildung 148** - sind die Ergebnisse für Berufsbekleidung, Krankenhauswäsche und Hotelwäsche dargestellt.

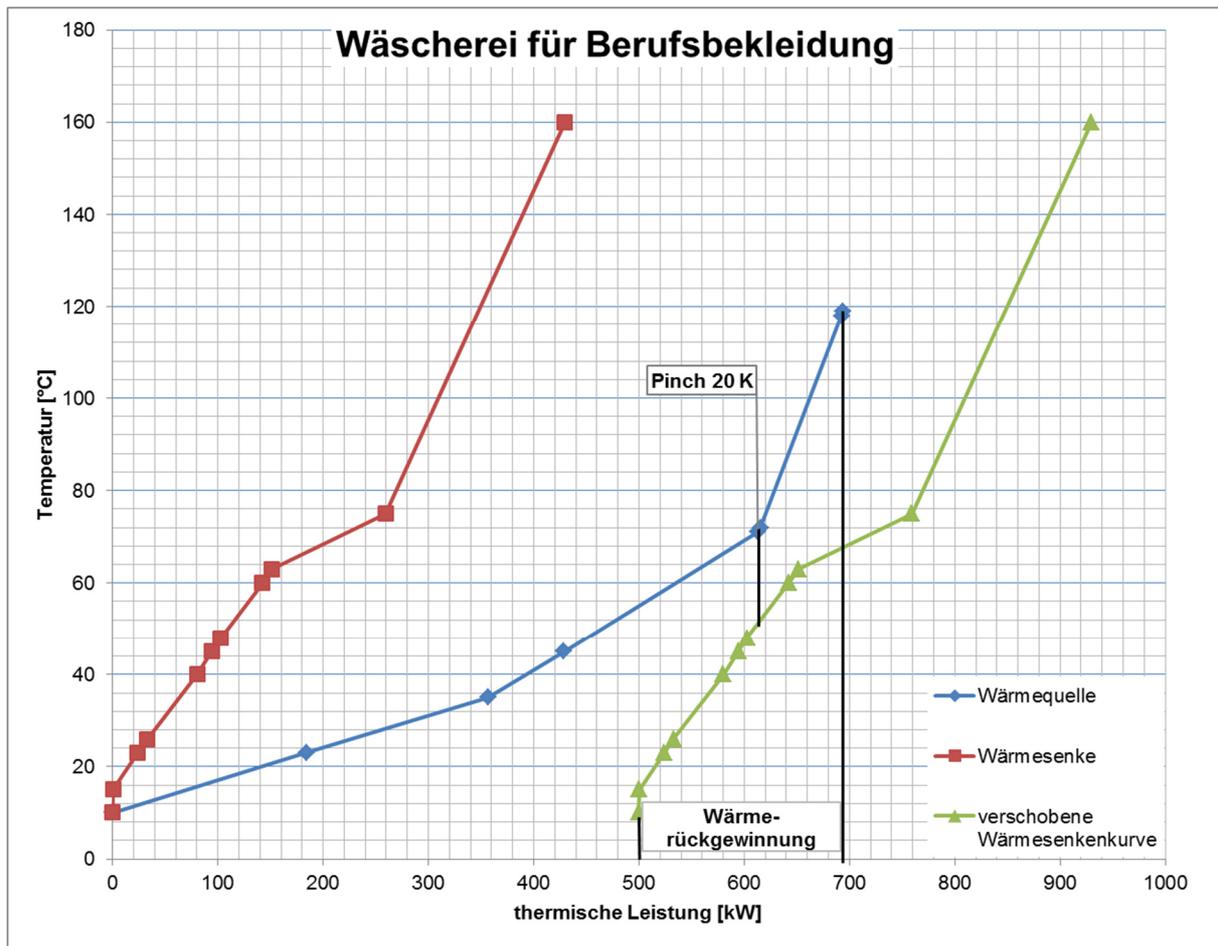


Abbildung 146: Wäscherei Berufsbekleidung Compositekurven der Wärmesenken und Wärmequellen und verschobene Wärmesenkenkurve mit Pinch und Enthalpiestrom der Wärmerückgewinnung

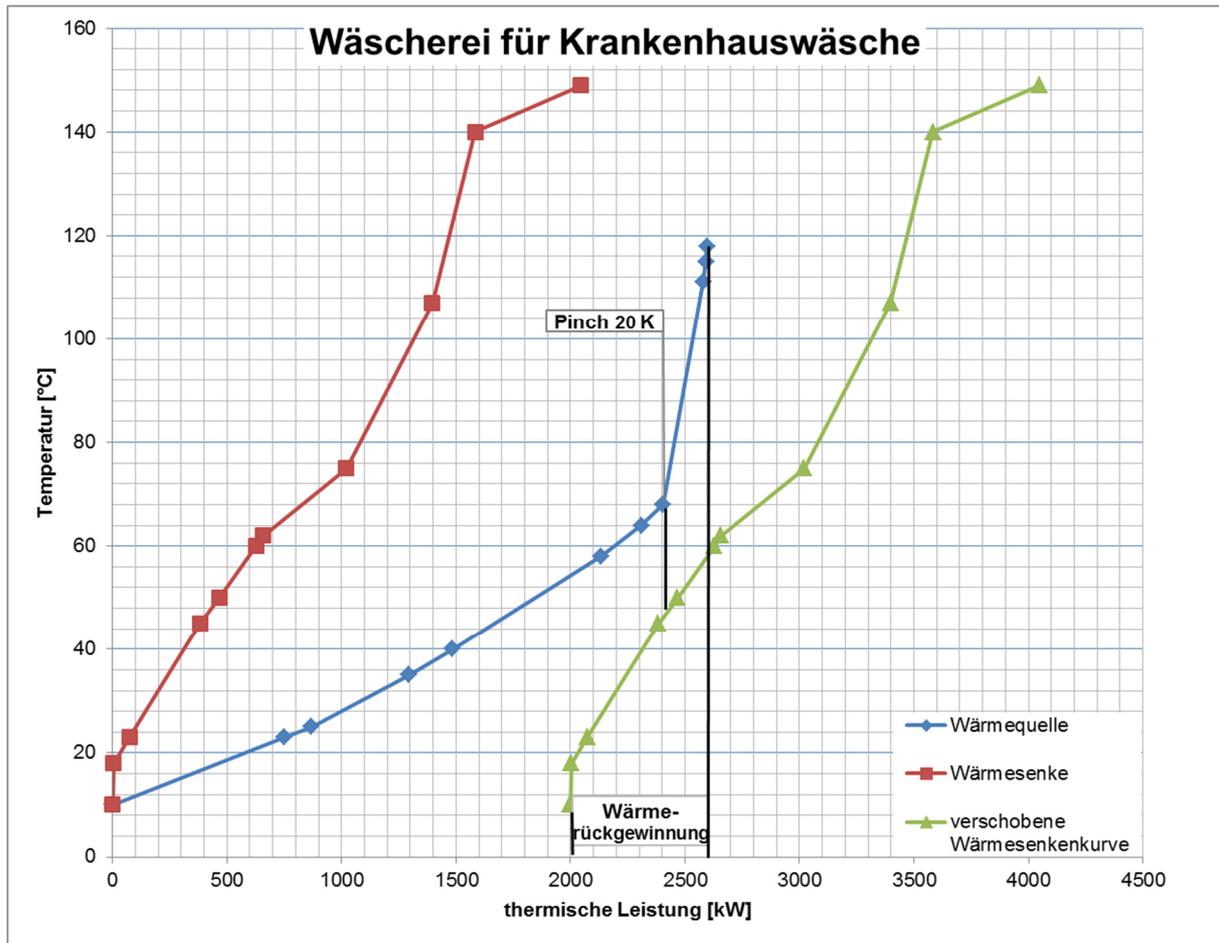


Abbildung 147: Wäscherei Krankenhauswäsche Compositekurven der Wärmesenken und Wärmequellen und verschobene Wärmesenkenkurve mit Pinch und Enthalpiestrom der Wärmerückgewinnung

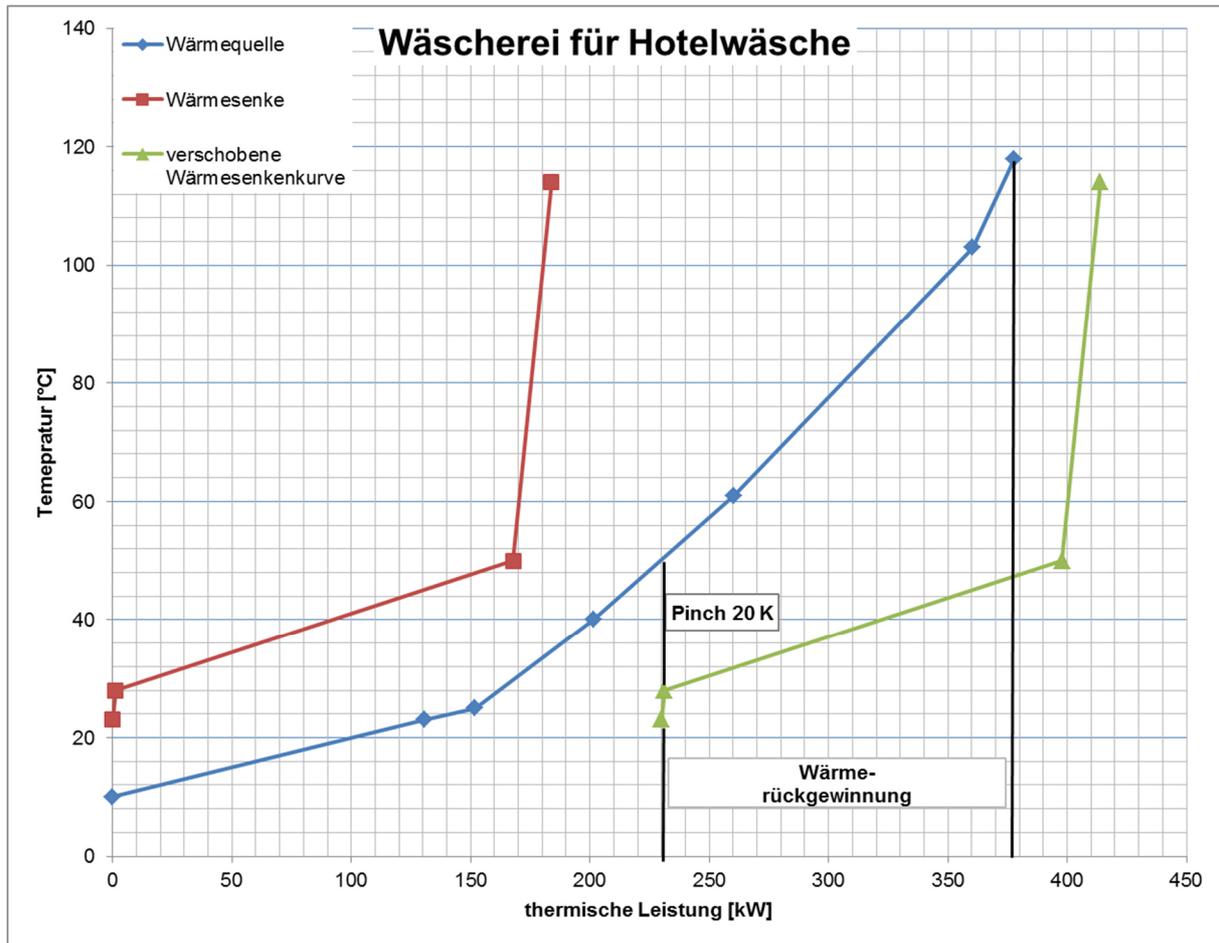


Abbildung 148: Wäscherei Hotelwäsche Compositekurven der Wärmesenken und Wärmequellen und verschobene Wärmesenkenkurve mit Pinch und Enthalpiestrom der Wärmerückgewinnung

Die **Tabelle 70** fasst dazu die Ergebnisse zusammen. Wie die Werte zeigen, unterscheiden sich die Wäschereien hinsichtlich der bereits genutzten rückgewonnenen Enthalpieströme.

Tabelle 70: Maximale Ergebnisse der Pinchanalyse für 20 Kelvin Temperaturdifferenz

Wäschereityp	Wärmequellenstrom (heiße Compositekurve) \dot{Q}_{max}	Wärmesenkenstrom (kalte Compositekurve)	Maximaler rückgewinnbarer gemittelter Wärmestrom $\dot{Q}_{WRG} (\Delta\theta = 20 \text{ K})$	Kennwert $\frac{\dot{Q}_{WRG}}{\dot{Q}_{max}}$
Bewohnerwäsche	471 kW	570 kW	186 kW	0,39
Berufsbekleidung	693 kW	429 kW	193 kW	0,28
Krankenhauswäsche	2.596 kW	2.046 kW	596 kW	0,23
Hotelwäsche	377 kW	183 kW	147 kW	0,39

Dies drückt sich im Kennwert $\frac{\dot{Q}_{WRG}}{\dot{Q}_{max}}$ aus. In den Wäschereien Bewohnerwäsche und Hotelwäsche besteht mit 39 % noch ein höheres Rückgewinnungspotenzial durch den Einsatz eines Wärmetauschers als in den beiden Betrieben für Berufsbekleidung und Krankenhauswäsche. Ideal wäre es wenn bei der gewählten Temperaturdifferenz für den Wärmerückgewinner kein Potenzial offen bleibt.

Ein weiterer spezifischer Kennwert für die Energieeffizienz eines Wäschereibetriebes lässt sich aus der Pinchanalyse dahingehend formulieren, welche Energie der erfassten Wärmequellenströme pro kg Wäsche im Temperaturbereich z.B. bis 30 °C ein Betrieb ungenutzt als Abwasser- oder Abluftwärmestrom an die Umgebung abgibt: $Q_{>30^{\circ}\text{C}} / M_{\text{Wäsche}}$. Dazu müssen die Abwärmeströme gemittelt erfasst und die Tages bzw. Energiemenge über die Zeit hochgerechnet werden, für die die verarbeitete Wäschemenge vorliegt. Der ausgewertete Zeitraum sollte typisch für den Betrieb sein und den normalen Produktionsvorgang charakterisieren. Dies könnte eine Produktionsstunde, ein Produktionstag oder der Jahreszyklus sein. In der folgenden **Tabelle 71** wurde die Auswertung beispielhaft für ein Jahr vorgenommen:

$$Q_{\text{Jahr},>30^{\circ}\text{C}} / M_{\text{Wäsche,Jahr}} \quad \text{mit} \quad Q_{\text{Jahr},>30^{\circ}\text{C}} = \dot{Q}_{>30^{\circ}\text{C}} * t_{\text{Jahr}}$$

Tabelle 71: Wärmequellenstrom, Waschleistung Betriebszeit zur Ermittlung des Kennwerts für die ungenutzte spezifische Wärmequellenenergie mit einer Temperatur über 30°C

Wäschereityp	Wärmequellenstrom (heiße Compositekurve) Leistungen > 30°C $\dot{Q}_{>30^{\circ}\text{C}}$	Waschleistung verarbeitete Wäsche [t/Jahr] $M_{\text{Wäsche,Jahr}}$	Betriebszeit p.a. t_{Jahr}	Kennwert ungenutzte spezifische Wärmequellenenergie über 30° C [kWh/kg] $\frac{Q_{\text{Jahr},>30^{\circ}\text{C}}}{M_{\text{Wäsche,Jahr}}}$	Kennwert spezifischer Wärmeverbrauch pro kg Wäsche [kWh/kg] $\frac{Q_{\text{Jahr},>30^{\circ}\text{C}}}{M_{\text{Wäsche,Jahr}}}$
Bewohnerwäsche	281 kW	1.624,9	250 Tage / 16h (4.000h)	0,69	1,64
Berufsbekleidung	403 kW	5.331,94	250 Tage / 12h + 52Tage / 8h (3.416h)	0,26	0,93
Krankenhauswäsche	1516 kW	11.143,27	250 Tage / 15h (3.750h)	0,51	1,22
Hotelwäsche	209kW	1.654,8	250 Tage / a 10h (2.500h)	0,32	1,32

Der Kennwert $Q_{\text{Jahr},>30^{\circ}\text{C}} / M_{\text{Wäsche,Jahr}}$ zeigt, dass im Bereich Bewohnerwäsche mit 0,69 kWh/kg Wäsche das größte Rückgewinnungspotenzial besteht, während bei den anderen drei Wäschereien das Rückgewinnungspotenzial bis 30 °C schon genutzt wird. Der Vergleich mit dem Kennwert für den spezifischen Wärmeverbrauch pro kg Wäsche, der ebenfalls in der **Tabelle 71** angegeben ist, zeigt, dass die Betriebe die vorhandenen Abwärmepotenziale bereits unterschiedlich nutzen. Während bei der Bewohnerwäsche mit 0,69 kWh/kg Wäsche noch ca. 42 % der Wärme $Q_{\text{Jahr},>30^{\circ}\text{C}}$ ungenutzt sind, sind dies bei der Berufsbekleidung mit 0,26 kWh/kg nur noch ca. 32 % und bei der Hotelwäsche mit 0,32 kWh/kg ca. 24 % immer bezogen auf den spezifischen Wärmeverbrauch $Q_{\text{Jahr},>30^{\circ}\text{C}} / M_{\text{Wäsche,Jahr}}$. Dass die prozentuale Nutzung der Abwärme nicht ohne den spezifischen Wärmeverbrauch beurteilt werden darf, zeigt die Wäscherei Hotelwäsche, die zwar die Abwärme bis 30 °C gut nutzt, aber bei der Erzeugung noch über den Zielkennwert von 0,9 kWh/kg liegt. Es ist energetisch nicht zielführend viel Energie einzusetzen um diese dann zurückzugewinnen. Als Zielvorgaben für eine erfolgreiche ganzheitliche energetische Optimierung eines Wäschereibetriebes gilt daher in der angegebenen Reihenfolge:

1. Reduktion des spezifischen Wärmeverbrauchs unter die im **Kapitel 8.3** Wärmeenergie angegebenen Grenz-Kennwerte

2. Möglichst vollständige Nutzung aller Wärmequellen (Abwärmeströme) mit Temperaturen $> 30^{\circ}\text{C}$. Dabei zeigt die Pinchanalyse auf, welche Wärmeströme durch direkte Wärmerückgewinnung mit Hilfe eines Wärmetauschers und einer vorgegebenen minimalen Temperaturdifferenz nutzbar sind.

Ein weiterer Nebeneffekt der in der Pinchanalyse erfassten mittleren Wärmequellen- und Wärmesenkenströme besteht darin, die Entscheidungsfindung in Bezug auf den Einsatz von Wärmetauschern mit geringeren Temperaturdifferenzen, Wärmepumpen und der Solarenergie zu unterstützen. Es lässt sich aus den Diagrammen ablesen welche Wärmequellen z. B. durch eine Wärmepumpe nutzbar sind und welche Wärmesenken damit versorgt werden können. Mit der Wärmepumpe kann die notwendige Wärmetransformation von der Wärmequellentemperatur auf das gewünschte Temperaturniveau der Wärmesenken durchgeführt werden.

Auch für den möglichen Einsatz von thermischer Solarenergie zur Deckung von Wärmequellen lassen sich Aussagen ableiten, da die notwendigen mittleren Temperaturniveaus in der Pinchanalyse erfasst sind.

Da die Pinchanalyse keine zeitliche Abhängigkeit der anfallenden Wärmeströme berücksichtigt, ist die Aussagekraft für kleine diskontinuierliche anfallende Wärmeströme in den Wäschereibetrieben nicht ideal geeignet. In vielen Fällen lassen sich die in der Pinchanalyse erfassten Enthalpieströme nur durch den Einsatz eines entsprechenden Speichers lösen. Daher wurden in diesem Projekt die nutzbaren Potenziale auch an den einzelnen Maschinen direkt ausgewiesen und für jeden Betrieb individuelle Vorschläge zur direkt rückgekoppelten ganzheitlichen Nutzung vorgeschlagen. Im **Kapitel 9.3.1.2** und **Kapitel 9.3.2.4** wird auf die grundlegende Vorgehensweise hingewiesen, die für eine optimierte Nutzung der Enthalpieströme bzw. Abwärmeströme gilt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Pinchanalyse für die gemittelten Werte der Wärmequellen und Wärmesenken in einem Wäschereibetrieb einen bewertbaren Überblick über die genutzten Wärmerückgewinnungspotenziale verschafft und somit zum Vergleich unterschiedlicher Betriebe herangezogen werden kann. Die technische Realisierung der Wärmerückgewinnung ist dann betriebsbezogen zu lösen.

9 Bewertung der Ergebnisse und Folgerungen für die Praxis

9.1 Bedeutung der Wäschereistruktur

Bei allen Energieeinsparmöglichkeiten stellten in den untersuchten Betrieben immer die Waschqualität (primäre und sekundäre Wascheffekte) sowie die Produktivität die limitierenden Faktoren dar. Waschen ist mit kaltem Wasser ebenso uneffektiv wie das Trocknen von Wäsche bei Raumlufttemperatur. Alle Optimierungsvorschläge hatten stets die Leistungsfähigkeit der untersuchten Betriebe im Blick.

Die Abbildungen in **Kapitel 8** zeigen deutlich, dass es keinen unmittelbaren Zusammenhang zwischen den Wäschearten und dem Energiebedarf gibt.

Die Wäscherei „Bewohnerwäsche“ (**Kapitel 4**) zeigte bei fast allen Kennzahlen die ungünstigsten Werte. Neben höchsten spezifischen Verbräuchen weist der Betrieb einen der höchsten Kesselauslastungsgrade und das niedrigste Verhältnis von Brennstoff zu Strombezug auf. Obwohl die Effizienz der Druckluftherzeugung im Mittelfeld liegt, ist der Leistungsbedarf bezogen auf die Waschleistung herausragend hoch (siehe **Abbildung 137** bis **Abbildung 144**).

Zu erwarten wäre bei der Wäscherei „Bewohnerwäsche“ eine der höchsten Effizienzgrade, da der hohe Anteil empfindlicher, meist wollhaltiger Textilien geringere Waschttemperaturen bzw. schonendere Wasch- und Finishbedingungen erfordern. Die höhere Restfeuchte in den Textilien nach der mechanischen Entwässerung erfordert zwar höheren Energieeinsatz bei der thermischen Trocknung, die Abwärme aus diesem Prozess kann jedoch zur Aufheizung der Waschflotte auf niedrigerem Temperaturniveau eingesetzt werden.

Tabelle 72 zeigt die ermittelten effizienzbestimmenden Faktoren der untersuchten Wäschereien.

Tabelle 72: Einflussfaktoren auf effizienten Ressourceneinsatz in den untersuchten Wäschereibetrieben

Wäscheart	Positive Faktoren	Negative Faktoren
Hotelwäsche	Großteil der Wäsche wird über moderne Waschstraße behandelt	Unangepasste Brennerleistung und Steuerung des Dampfkessels
	Einsatz von Niedrigtemperaturwaschverfahren (45 °C)	hohes Füllverhältnis (geringe Beladung) der WSM (33 l/kg)
	Einsatz direkt erdgasbeheizter Trockner	ungünstige Handhabung der Kleintrockner (Verwendung von Zeitprogrammen, drastische Unterbeladung)
	Nutzung von hocheffizientem, drehzahlgeregeltem Kompressor	Druckerhöhung Trinkwasser veraltet und Einbindung nicht bedarfsgerecht
	Sehr geringe Leckagerate im Druckluftnetz	WSM ohne Abwasserwärmehückgewinnung
	Economiser am Dampfkessel	Keine Abluftwärmenutzung
Krankenhauswäsche	Ressourceneinsparung durch Verlängerung der Produktionszeit (2-Schicht-Betrieb)	
	Effizienter Kompressor	Dampfkessel überdimensioniert, Brennerleistung zu groß

Wäscheart	Positive Faktoren	Negative Faktoren
	Moderner Dampfkessel mit modulierendem Brenner und Economiser	Große Druckschwankungen im Druckluftnetz
		Einsatz Saugzuggebläse für Wäschetransport über weite Strecken
		Keine Abwasserwärmenutzung bei WSM und einer WSR
		Keine Abluftwärmenutzung aller Abluftströme
		Leckagen im Dampfnetz
Bewohnerswäsche	Abwasserwärmetauscher in WSR	Falsch dimensionierter Economiser am Dampfkessel
		Veraltete und ungünstig parametrisierte Regelung der Dampfkessel
		Keine direkte Erdgasnutzung in Wäschereimaschinen
		Ungenauere Prozessführung in Wäschereimaschinen durch veraltete Anlagen
		Höchste Leckageraten im Druckluftnetz (ca. 40%)
		Keine Abluftwärmenutzung Dampfleckagen an mehreren Stellen
Berufsbekleidung	Einsatz eines Abwasserwärmetauschers für alle Waschprozesse	Dampfkessel überdimensioniert, schlecht isoliert und Brennerleistung zu groß
	Abwärmenutzung aus Druckluftzerzeugung zur Prozesswassererwärmung	Schlechte gedämmte Dampf- und Kondensatleitungen und Leckagen
	Einsatz moderner Waschstraßen	Einsatz Saugzuggebläse für Wäschetransport über weite Strecken
	Hoher Mangelbelegungsgrad durch automatisches Eingabesystem	Kompressoren mit geringer Effizienz
	Moderner Dampfkessel mit modulierendem Brenner und Economiser	Druckluftnetz falsch dimensioniert (Druckabfall zu hoch)
	Hohe Informationsdichte zu Einzelprozessen durch Vernetzung der Anlagen	
Handtuchrollen und Matten (Betrieb aus Projektphase I)	Ganzheitliche Prozessübergreifende Maßnahmen zur Ressourceneinsparung umfassend realisiert	

Wäscheart	Positive Faktoren	Negative Faktoren
	Moderner Dampfkessel mit modulierendem Brenner und Economiser	Dampfkessel durch umgesetzte Einsparmaßnahmen überdimensioniert
	Nutzung der Kondensatabwärme	
	Nutzung des Wrasendampfes aus der Speisewasserentgasung	
	Einsatz moderner Waschstraßen	
	Direkte Nutzung des Abwassers über Waschprozessgrenzen hinweg	
	Hoher Mangelbelegungsgrad	
	Nutzung der Abwärme und Kondensatrückgewinnung aus der Mangelabluft zur Wasservorerwärmung	
	Einsatz direkt befeuerter Trockner mit Wärmerückgewinnung	
	Einsatz effizienter Druckluftkompressoren, niedrigen Systemdruck, Leckageverluste ca. 5 %	
	Niedertemperatur-Abwärmenutzung aus den Wäschereiprozessen durch Fußbodenheizungssysteme	
	Hoher Informationsgehalt durch Erfassung aller relevanten Betriebsdaten	
	Hohen umgesetzten Organisationsgrad in der Betriebsorganisation und in den Prozessabläufen	

Zusammenfassend lässt sich die Effizienz von Wäschereien nicht der Wäscheart, sondern eher an der Effizienz der Teilprozesse und vom Zusammenspiel von Wasch- und Trockenprozessen bewerten. Um ein wirklich **ganzheitliches Energieeinsparkonzept** umzusetzen, müssen auch nicht zum eigentlichen Waschprozess gehörende Verbraucher mit berücksichtigt werden. Dazu gehören insbesondere Verbraucher aus Verwaltung und Administration (Heizung, Warmwasser, Strom für PC und Beleuchtung, Wasserbedarf für Sanitärräume) und hauseigene Werkstatt, Garagen und Lager. Die Untersuchungen zeigten, dass die Wäschereibetriebe diese Verbräuche als gegeben hinnehmen, obwohl oftmals der größte Anteil durch Optimierung eingespart werden könnte. Ganzheitlich und prozessübergreifend wurden die Einsparpotenziale nur in dem Pilotbetrieb aus Projektphase I umgesetzt, wodurch sich die außerordentlich niedrigen spezifischen Verbrauchswerte für diesen Betrieb erklären. Die Konzentration auf zwei Wäschearten in diesem Betrieb und der hohe umgesetzte Optimierungsgrad bei der Organisation der Betriebs- und Prozessabläufe trägt wesentlich zu dem Erreichen der niedrigsten Ressourcenverbräuche bei.

9.2 Ganzheitliche Betrachtung von Wäschereien

9.2.1 Energiedatenmanagement

Die Art und der Umfang der Daten zum Energie- und Ressourcenmanagement variierten zwischen den Betrieben stark. Bei allen Wäschereien wurden die Einspeisedaten anhand der Hauptzähler der Versorgungsunternehmen, durch von Maschinenherstellern installierten oder selbst nachgerüsteten Wasserzähler an Waschstraßen meist manuell erfasst. Verbrauchs- und Leistungsdaten der elektrischen Energieversorgung des gesamten Betriebes wurden durchgängig in elektronischer Form von den Energieversorgern aufgezeichnet und zur Verfügung gestellt.

Die Untersuchungen zeigten, dass Unterzähler in Versorgungsleitungen oftmals ohne System über Gerätegruppen (Finisher, Trockner, WSM) hinweg Verbrauchswerte zusammen erfassen und dadurch eine Verbrauchszuordnung zu den bearbeiteten Wäschearten bzw. den Geräten nicht möglich ist.

Bei einem sehr geringen Teil der Maschinen wurden bereits herstellereitig Verbrauchsmengenzähler eingebaut.

Des Weiteren zeigte sich, dass die manuelle Erfassung von Verbrauchswerten und Maschinenauslastungen sehr ungenau durchgeführt wurde und diese Daten oft nur von begrenztem Nutzen waren. Ein typisches Beispiel stellte der Kesselspeisewasserverbrauch dar, der in den meisten Wäschereien nur als ganzzahlige Kubikmeter dokumentiert wurden. Der entstehende Fehler von $\pm 0,5 \text{ m}^3$ hat bei geringem Frischdampfbedarf einen nicht mehr zu vernachlässigenden Einfluss auf die Genauigkeit des tatsächlichen Verbrauchs. Im Hinblick auf nicht vorhandene Dampfmengenzähler kommt der exakten Erfassung des Speisewasserverbrauchs eine wichtige Rolle zu, da über diesen Wert die Frischdampfmenge errechnet bzw. zumindest abgeschätzt werden kann.

Um die komplexen Zusammenhänge in Wäschereien ganzheitlich (Energie, Personaleinsatz, Maschinenstunden und Wäschedurchsatz) erfassen zu können, ist eine Vernetzung und weitestgehend vollständige, automatisierte Datenerfassung der Anlagen unumgänglich.

Die Übertragung **der Daten der installierten Zähler** stellte ein weiteres Problem dar. Während die Datenlieferung der Energieversorgung die Unzugänglichkeit weitgehend kompensiert, sind sowohl wäschereieigene als auch Zähler von Wasser- und Erdgasversorgern mit keiner oder nur NF-Impulszählern ausgestattet. Die daraus gewonnenen Daten haben im ungünstigsten Fall eine Auflösung von 1 Impuls/ m^3 . Das bedeutet bei Erdgas eine Auflösung von nur 10 - 11 kWh/Impuls. Ein in einer Vergleichsmessung untersuchter Gaszähler an Trocknern zeigte 0,1 m^3 /Impuls oder 1 - 1,1 kWh/Impuls an. Diese Vergleichsmessung zeigte die Schwächen der Impulsmessung: Durch das Fehlen eines absoluten Zählerstands bei Impulsmessungen können Fehlfunktionen (Übertragungsausfall, Zählerdefekt) und geringe oder schwankende Entnahmen über längere Zeit nicht zeitgenau zugeordnet werden. **Abbildung 149** zeigt den Erdgasverbrauch von zwei vollständigen Trocknungsprozessen. Die rote Kurve stellt den manuell abgelesenen Verbrauch im 20-Sekunden-Takt dar. Die schwarze Kurve visualisiert die Anzahl der Impulse je 20 Sekunden. Durch die geringere Auflösung der Impulsmessung gehen Informationen zum maximalen Erdgasvolumenstrom und der charakteristische Verlauf der Energiezufuhr des Brenners verloren.

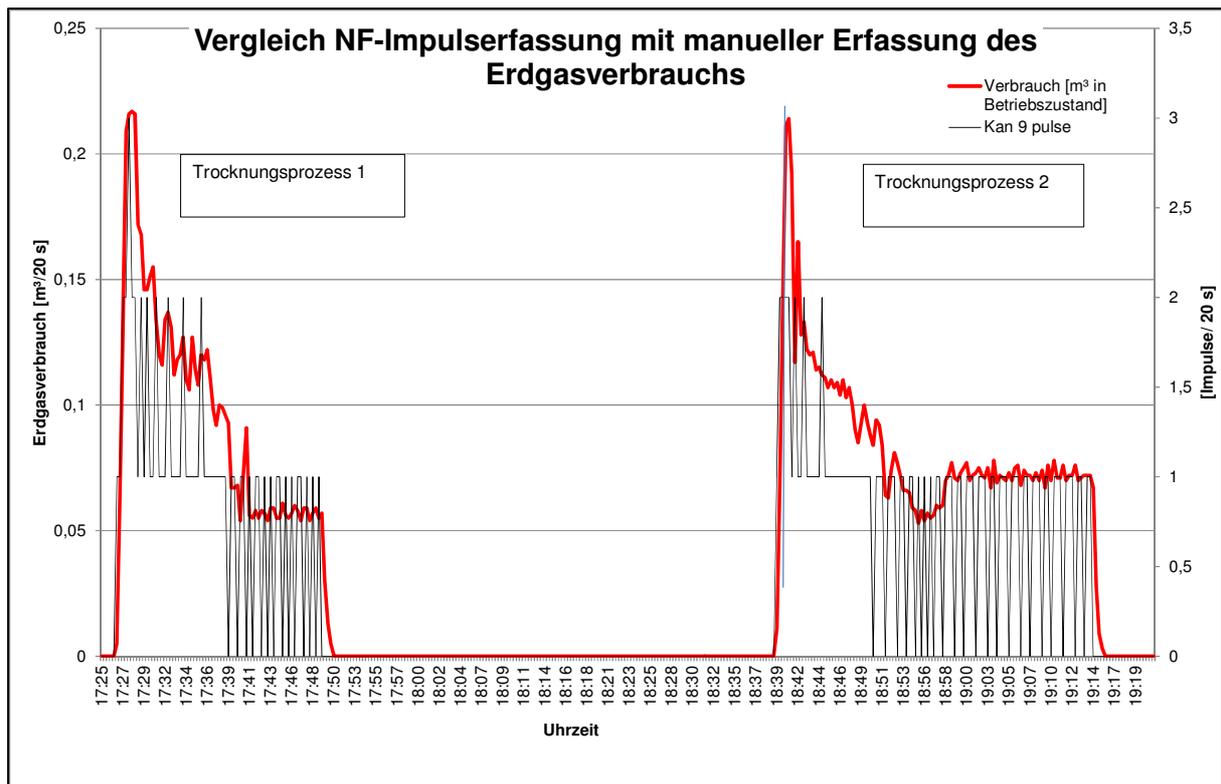


Abbildung 149: Vergleich zwischen Impuls- und Zählwerkwerten eines Erdgaszählers

Fehlende Montageabstände der Leitungen zu Geräten und Wänden erschweren eine Nachrüstung geeigneter Zähler.

Zahlreiche Waschsleudermaschinen wurden mit Schläuchen an die Wasserleitungen angeschlossen, was einen Einbau von Wasserzähleinrichtungen unmöglich macht.

Der elektrische Energieverbrauch ist für die Wäschereien weniger von Bedeutung, da dieser im Vergleich zum Wärmeverbrauch in der Regel nur 10 bis 20 % der Energiemenge ausmacht. In den meisten Wäschereien wird deshalb der elektrische Energieverbrauch des Gesamtbetriebs über handschriftliche Listen bzw. die Abrechnung des Stromversorgers erfasst. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind die spezifischen Kosten pro kWh Strom jedoch viermal so hoch wie die Kosten pro kWh Wärme, wodurch der Unterschied bei den Gesamtkosten für Wärme und Strom nivelliert wird (Stromanteil 40 - 80 % der betrieblichen Energiekosten). Des Weiteren muss zusätzlich zwischen den Arten der Nutzung der elektrischen Energie differenziert werden:

- **Druckluft:**

Zur Erfassung des Betriebsverhaltens der Anlage und dem wirtschaftlichen Einsatz sind die bei 2 von 4 Wäschereien eingesetzten Managementsysteme der Hersteller mit Browser-basierter Oberfläche hervorragend einsetzbar. Über Kenngrößen wie Druck, Temperatur, Drehzahl und Laufzeit wird der Stromverbrauch errechnet.

- **Nutzung maschineninterner Daten:**

Aus den speicherprogrammierbaren Steuerungen der meisten modernen Wäschereianlagen könnte über die Betriebszeit der einzelnen elektrischen Verbraucher in einer Anlage hinreichend genau der Strombedarf errechnet werden. Bislang eingesetzt wurde dies jedoch nicht.

- **Büro- und Sozialräume:**

Keine Wäscherei hatte einen gesonderten Zähler für die scheinbaren Kleinverbraucher in den Sozialräumen und Büros. In der Regel dürfte das im Bestand an der Leitungsführung und Verdrahtung scheitern. Es darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass größere Wäschereien zahlreiche Verbraucher an dieser Stelle im Dauerbetrieb oder zumindest über die komplette Betriebszeit einsetzen. Typische Verbraucher sind hier Kühlschränke, Kaffeeautomaten, Untertischboiler aber auch Umwälzpumpen für wäschereiunabhängige Heizungen.

9.2.2 Effizienter Energieeinsatz

Auf dem Markt vorhandene Insellösungen zur Ressourceneinsparung in Maschinen und Prozessen werden durch die Wäschereien nur bei Neuinstallationen unter Abwägung der Investitionskosten umgesetzt. Bestehende Maschinen durch Modernisierungsmaßnahmen effizienter zu gestalten, werden von den meisten Wäschereibetrieben nicht vorgenommen, wenn die Amortisationszeit durch die Ressourceneinsparung über zwei Jahren liegt. Ein weiterer Grund für die fehlende Umsetzung besteht in fehlender Kenntnis der tatsächlichen maschinen- bzw. prozessbezogenen Verbrauchswerte und Einsparpotenziale.

Hohe elektrische Energieverbräuche können unter anderem auch auf eine nicht bedarfsgerechte Betriebsweise von Anlagen und Maschinen zurückgeführt werden.

In vielen Wäschereien werden Hochtemperaturwaschverfahren (über 70 °C) angewendet, was zu hohen Abstrahlverlusten führt. Auch bei Trocknungsprozessen konnten durch Thermografieaufnahmen Flächen mit hoher Wärmeabstrahlung ermittelt werden.

Bei den Untersuchungen fiel in allen Wäschereien auf, dass in vielen Fällen die Betriebs- bzw. die Prozessabläufe nicht optimal organisiert sind, wodurch immer ein erhöhter Ressourcenverbrauch erzeugt wird. Zum Beispiel wurde festgestellt, dass die Mitarbeiter Maschinen, insbesondere Trockner, nicht effizient oder auch falsch einsetzen. Das Verwenden von Zeitprogrammen sowie das kontinuierliche Nachlegen von Wäscheteilen in den Trocknungsprozess stellt für den Mitarbeiter eine bequeme, jedoch energetisch äußerst ineffiziente Arbeitsweise dar. Grund für diese Arbeitsweise sind nach Gesprächen mit den Mitarbeitern oftmals fehlende Kenntnisse zur optimierten Maschinenbedienung. Durch das kontinuierliche Nachlegen feuchter Wäsche in einen laufenden Trocknungsprozess erhöht sich der Energieverbrauch und es werden andere, sich länger im Prozess befindliche Teile durch Übertrocknung thermisch geschädigt. Übertrocknung von Textilien führt zu einer drastisch reduzierten Lebensdauer und so zu höheren Kosten bei der Wiederbeschaffung.

Die Bedeutung von wäschereiinternen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen für den Ressourcenverbrauch ist häufig der Betriebsleitung sowie dem Wartungs- und Instandhaltungspersonal nicht bekannt. Dies betrifft auch die Auswirkungen auf den Stromverbrauch und die damit verbundenen Kosten von mangelhaft oder nicht durchgeführten Wartungsarbeiten - insbesondere Reinigung von Filtern, Sieben und Wärmetauschern, Beseitigung von Leckagen, Austausch defekter Dichtungen und Ventile. Dieses Bewusstsein kann nur durch laufende Schulungsmaßnahmen geschaffen werden.

9.2.3 Abwärmenutzung

9.2.3.1 Prozessintegrierte Nutzung

Die Abwärmenutzung des Abwassers zum Vorwärmen von Frischwasser ist derzeit für die meisten Waschstraßen bei Wäschereien bekannt und in Benutzung. Auf dem Markt vorhandene Systeme zur Rückführung von Abwärme oder zum Verwenden von Sekundärwasser bei Waschmaschinen werden derzeit in der Wäschereibranche nur selten eingesetzt.

Wärmetauscher zum Recycling von Prozessabluft (z.B. Trockner, Finisher, Mangeln) zur Erwärmung von Zuluft werden extrem selten eingesetzt. Eine von Herstellern realisierte und bei

neueren Geräten standardmäßig integrierte Maßnahme zur Energieeinsparung ist die anteilige Wiederverwendung von Prozessluft (Umluftbetrieb) in Trommeltrocknern. Außerdem wird die aufzuheizende Luftmenge in Tunnelfinishern durch intelligente Luftführungssysteme (z.B. Gegenstromprinzip) reduziert, was ebenfalls reduzierte Energieverbrauchswerte zur Folge hat.

9.2.3.2 Abwärmenutzung über Prozessgrenzen

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen zeigten die Betriebe folgende ganzheitliche Ansätze:

- Nutzung der Kompressorkühlluft zur Beheizung eines Trockenraumes für empfindliche Textilien, die nicht in herkömmlichen Trocknern behandelt werden dürfen.
- Vorwärmen von Wasser für Waschprozesse durch Kompressorabwärme.
- Zentrale Wärmerückgewinnung aus allen Waschprozessen abgeleiteten Abwässern zur Vorwärmung von Frischwasser.
- Beheizung eines Trockenraumes durch Nutzung von Abwärme aus der Abluft eines gewerblichen Trockners.
- Nutzung der Abwärme und des Kondensates aus der Abluft der Mangeln.
- Nutzung der Abwärme und des Kondensates aus Wrasendampf.
- Entspannungsdampf aus Kondensatsammelbehältern (für Frischdampf im Waschprozess)
- Direkte Nutzung des Abwassers und der Abwärme aus der Waschstraße einer höherwertigen Wäsche in der Waschstraße für niederwertige Wäsche.

9.2.3.3 Einsatz von Wärmepumpentechnologie

Eine in den untersuchten Wäschereien nicht eingesetzte Technologie ist die Transformation von Wärme auf ein nutzbares Temperaturniveau durch den Einsatz von moderner Wärmepumpentechnologie. In der Pinchanalyse in **Kapitel 8.4** wurden die Wärmequellenströme bzw. Abwärmeströme zusammen mit den gemittelten Temperaturen erfasst und im Diagramm dargestellt. In den Diagrammen lassen sich nun die Wärmequellen- und Wärmesenkenbereiche identifizieren, die für den Einsatz von Wärmepumpentechnologie geeignet sind. Moderne Hochtemperaturwärmepumpen können mit einem COP von 4 Wärme bei bis zu 90°C bereitstellen. Die folgende **Tabelle 73** zeigt beispielhaft für den Bereich Bewohnerwäsche die Nutzung des Abwasser - Wärmequellenstroms einer Waschstraße Archimedia im Temperaturbereich unter 37 °C zur Erzeugung von Wärme auf einem Temperaturniveau von 90 °C. Diese Wärme könnte entsprechend dem Diagramm zur Pinchanalyse für Bewohnerwäsche die Wärmesenke in diesem Temperaturbereich von ca. 68 – 90°C bedienen.

Tabelle 73: Beispielrechnung Einsatz einer Hochtemperaturwärmepumpe für die Nutzung des Abwasserwärmestroms einer Waschstraße

Größe	Wert	Anmerkungen
Abwassertemperatur vorher:	37 °C	
Abwassertemperatur nach WP:	10 °C	
Durchfluss nach Bilanzierung (Abbildung 15)	1.647,1 kg/h	
Nutzbare Abwärmeleistung aus Abwasser:	ca. 52 kW	
Antriebsleistung:	ca. 17,3 kW	
Nutzbare Gesamtwärmeleistung	ca.69,3 kW	

Größe	Wert	Anmerkungen
Arbeitspreis elektr. Energie:	15 Ct/kWh _{el}	
Wärmepreis nur Energiekosten ohne Kapital-, Wartungs- und Betriebskosten:	3,7 Ct/kWh _{th}	
Eingesparte Energie am Dampfkessel bei 3.000 Betriebsstunden/a	ca. 242 MWh	Nutzungsgrad 86%
Einsparung Heizöl:	ca. 24.100 L, ca. 19.500 €/a	Preis Heizöl: 8,1Ct/kWh
Mehraufwand / Mehrkosten elektr. Energie:	51.900 kWh, 7.785 €/a	
Einsparung nur Energiekosten ohne Kapital-, War- tungs- und Betriebskosten	ca. 11.715 €/a	
Reduktion CO ₂ -Emission durch WP-Einsatz:	ca. 32,3 t CO ₂	spez. CO ₂ -Emis- sion: Heizöl: 2,6 kg/L Strommix: 0,584 kg/kWh (2013)

Für eine vollständige Deckung des Wärmebedarfs der Waschstraße reicht das Abwasser der Waschstraße alleine als Wärmequelle nicht aus. Nach der Bilanzierung **Abbildung 83** benötigt die Waschstraße eine mittlere Wärmeleistung von ca. 81 kW. Somit könnte durch den Einsatz einer Hochtemperaturwärmepumpe ca. 69,3 kW von den benötigten 81 kW aus dem Abwasser der Waschstraße gedeckt werden, was einem Anteil von ca. 85 % entspricht. In Bezug auf die Energiekosten würde sich in der Wäscherei Bewohnerwäsche eine jährliche Energiekosteneinsparung von ca. 11.715 € und eine CO₂ Reduktion von ca. 32,3 t/a ergeben. Damit die Wärmepumpenanlage diese Wärme liefern kann, würde zusätzliches Abwasser von WSM 1 bis 5 eingebunden werden müssen. Wie die Pinchanalyse zeigt sind ausreichend Wärmequellen in der Form von Abwasser vorhanden. Eine Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der Kapitalkosten für die Hochtemperaturwärmepumpe, die weiteren Anlagenkosten für den Pufferspeicher und die Montagekosten sowie Wartung und Instandhaltung konnte nicht durchgeführt werden, da dafür keine belastbaren Werte vorliegen. Weiterhin ist mit steigenden, zumindest jedoch volatilen Kosten für den Strombezug zu rechnen, die dem wirtschaftlichen Betrieb der Wärmepumpe entgegenstehen könnten. Sollte sich das Angebot an regenerativ erzeugtem, volatilem Strom jedoch erhöhen, kann die Wärmepumpe zur Realisierung der Wärme-kreislaufwirtschaft in Wäschereien eingesetzt werden.

Grundsätzlich eignen sich als Wärmequellen in Wäschereibetrieben alle Abwärmeströme bzw. Wärmequellenströme die nicht durch einen direkten Wärmetauschereinsatz nutzbar sind. Sind die gemittelten Wärmequellenströme für eine Pinchanalyse des Wäschereibetriebes erfasst worden, so kann diese Enthalpie aus dem Diagramm der Pinchanalyse wie Kapitel in **Kapitel 8.4** beschrieben, abgelesen werden. Normalerweise sind Wärmequellenenthalpien bzw. Leistungen die unter 30 °C vorliegen nicht mehr direkt nutzbar und können nur durch den Einsatz einer Wärmepumpe mit Transformation auf ein höheres Temperaturniveau nutzbar gemacht

werden. Der Dampfeinsatz in Wäschereien könnte mit dieser Wärmepumpentechnik und Energie aus dem Abwasser substituiert werden. Zum Ausgleich der zeitlichen Unterschiede zwischen anfallender Abwärme und Wärmebedarf ist ein Pufferspeicher vorzusehen.

9.2.3.4 Einsatz von Solartechnologie

Der von Wäschereien benötigte Energiebedarf lässt sich in drei Gruppen gliedern:

- Niedertemperaturwärme für Waschprozesse, je nach Waschverfahren bis 90°C
- Hochtemperaturwärme für Trockenprozesse von 140°C bis 220°C
- Sonstiger Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser

Der sonstige Wärmebedarf kann vernachlässigt werden, manche Wäschereien verfügen über keine aktive Heizung in den Waschhallen, weil die Maschinenverluste selbst im Winter für die Raumbeheizung ausreichend sind.

Zur optimierten Nutzung von Solarenergie würden sich in erster Linie die Niedertemperaturwärme für Waschprozesse sowie die Warmwassererzeugung (der Verwaltung) anbieten. Ebenfalls die im **Kapitel 8.4** vorgestellten Ergebnisse der Pinchanalyse können für die Identifizierung der entsprechenden Enthalpien bzw. Leistungen der Wärmesenken herangezogen werden, die vom Temperaturniveau für den Einsatz von thermischen Solarkollektoren geeignet sind. Zum Beispiel könnte in der Wäscherei Bewohnerwäsche bis 50 °C ca. 190 kW solar erzeugt und eingesetzt werden (siehe **Kapitel 8.4, Abbildung 145**). Dies ist jedoch genau der Temperaturbereich, der durch Wärmerückgewinnung bedient werden kann.

Kennzeichnend für die Niedertemperaturwärme der Waschprozesse ist die im Prozess nötige schnelle Aufheizzeit. Bei Taktzeiten von Waschstraßen von minimal 90 Sekunden und maximal ca. 240 Sekunden wird konventionell innerhalb weniger Sekunden mit Frischdampf beheizt. Daraus ergeben sich mehrere Aspekte:

- Solarwärme auf niedrigem Temperaturniveau bietet sich für die **grundsätzliche** Vorwärmung von Frischwasser an. Das Temperaturlimit liegt hier bei ca. 35 bis 40°C. Wie in **Kapitel 2.3** dargestellt, könnte eine weitere Erhöhung der Frischwassertemperatur zu Knitterbildung im Spülprozess sowie zur Eiweißdenaturierung im Einspülvorgang führen (Abwasser des Spülprozesses wird in der Regel zum Einspülen/Vorwaschen verwendet und hat deswegen weitgehend die gleiche Temperatur).
- Wie unter anderem in **Kapitel 5.2.1.3, 5.2.1.4.2 und 6.4.1** dargestellt, wird die Frischwasservorwärmung sowie die Nutzung in Trockenräumen bereits in Wäschereien mit geringstem Aufwand umgesetzt. Dabei kommt statt Solarenergie Abwärme aus der Druckluftherzeugung und der Abwasserwärmerückgewinnung oder der Brüdenabluft zum Einsatz. Der finanzielle Einsatz ist bei der Abwärmeauskopplung aus der Druckluft durch Standardplattenwärmetauscher zur Auskopplung von Abwärme in Wasser mit wenigen hundert Euro pro kW erheblich geringer als die Gewinnung von thermischer Solarenergie mit Kollektoren.
- Die Abwasserwärmerückgewinnung – zentral oder in einzelnen Waschstraßen – wird auch für die Einhaltung der maximal zulässigen Abwassertemperatur von 35 °C bereits fast flächendeckend praktiziert. Eine zusätzliche, vorgeschaltete Vorwärmung würde

daher die aus den Abwässern zurückgewonnene Leistung reduzieren und gleichzeitig zu unzulässig höheren Abwassertemperaturen führen.

- Zur Einbindung von Solarenergie auf nutzbarem hohem Temperaturniveau beim Aufheizvorgang in der Klarwäsche ist ein zusätzlicher Wärmetauscher mit Einbindung in die Regelung der Waschstraße nötig. Dies gilt analog auch für andere Wärmerückgewinnungssysteme. Der Energiebedarf ist in diesem Prozessschritt relativ gering, weil das eingesetzte Wasser bereits als Spül- und Pressenwasser vorgewärmt ist und je nach Waschprogramm in dieser Kammer von ca. 35 bis 40 °C auf ca. 45 bis 85 °C erwärmt wird.

Die Nutzung von Solarenergie für Trocknungsprozesse in Wäschereien ist mit erheblichem Aufwand verbunden. Zwar sind Luftkollektoren am Markt erhältlich, diese erreichen nur deutlich niedrigere Temperaturen (Stillstandstemperatur ca. 85 – 95 °C) als es für die Trocknungsprozesse mit 120 °C bis 210 °C nötig ist. Diese Systeme können somit nur als Vorwärmung dienen. Zum Transport der erwärmten Luft zu den Trocknern werden Luftleitungen mit großem Platzbedarf sowie zusätzliche Ventilatoren benötigt. Diese Ventilatoren verursachen einen erhöhten spezifischen Transportenergiebedarf. Durch die Entkopplung von Wärmeangebot der Sonne und Wärmebedarf im Prozess ist eine Speicherung notwendig, die bei der Verwendung von Luft als Wärmeträger nicht direkt möglich ist.

Im Gegensatz dazu benötigen Abluftwärmetauscher wie sie in Trocknern zum Einsatz kommen und von den Maschinenherstellern angeboten werden keinerlei Regelung und stellen mit geringer Verzögerung Wärme zur Verfügung, wenn Wärme benötigt wird. Lediglich im Cool-Down wird eine schnellere Abkühlung verhindert, wenn kein Bypass in der Abluft- oder Zuluftleitung vorhanden ist.

Zur optimierten Nutzung von Solarenergie in der Wäschereibranche mittels Temperaturabsenkung der Prozesszulufttemperatur wären zusätzliche Trockner nötig, da die Trocknungszyklen sich verlängern. Mit der möglichen Absenkung der Prozesszulufttemperatur sinkt die Verdampfungsleistung. Die Zykluszeit verlängert sich und damit sinkt der tägliche Wäschedurchsatz je Trockner. Der geringere Wäschedurchsatz müsste durch mehr Trockner bei erhöhtem Strombedarf kompensiert werden.

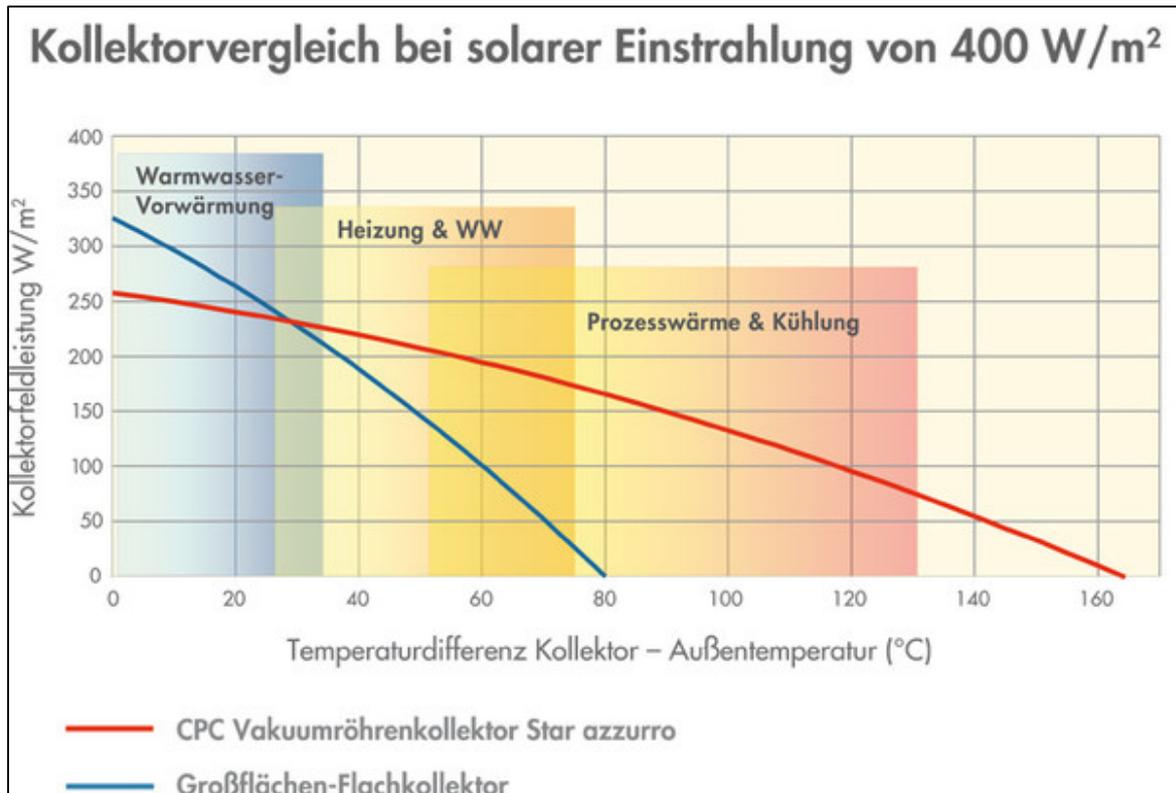
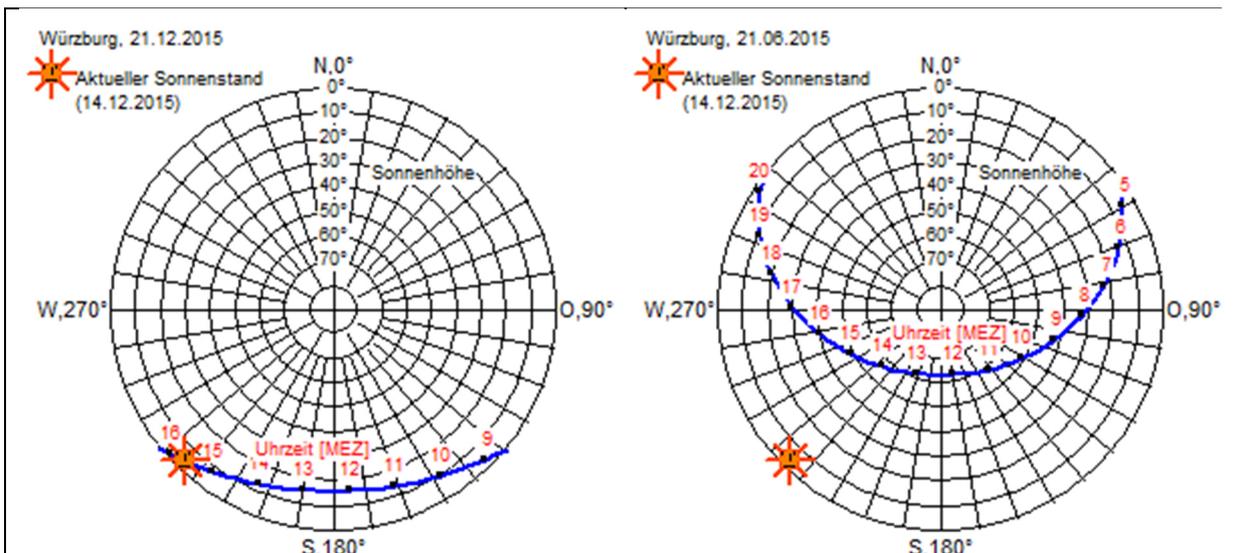


Abbildung 150: Vergleich Flach- zu Röhrenkollektor

(Quelle: <http://ritter-xl-solar.com/technologie/kollektorvergleich/>, T_{amb}=10 °C,)

Die **Abbildung 150** zeigt exemplarisch die Kollektorleistung bezogen auf die Temperaturdifferenz zwischen Kollektortemperatur und Außenlufttemperatur. Dies bedeutet, dass bei gleicher Leistung die Energie im Jahresverlauf auf variablem Temperaturniveau bereitgestellt wird. Während im Sommer die vollständige Abdeckung des Warmwasserbedarfs möglich ist, ist im Winter im Extremfall maximal nur noch eine Vorwärmung von Waschwasser gegeben.



(C) 2007 Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe Ver. 2.2 29.08.07 tf (C) 2007 Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe Ver. 2.2 29.08.07 tf
Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abt. Stadtklima Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abt. Stadtklima

Abbildung 151: winterlicher Sonnenverlauf für Standort Würzburg, <http://cgi.stadtklima-stuttgart.de/mirror/sonne.exe>

Abbildung 152: sommerlicher Sonnenverlauf für Standort Würzburg

Unter der Annahme, dass sich Verrohrung, Regelung und Pufferspeicher nur unwesentlich von einer Abwärmenutzung mit Wärmetauschern unterscheiden, bleiben als zu vergleichende Bauteile die Abwärmetauscher gegenüber den Solarkollektoren. Nicht berücksichtigt werden die zu prüfende Statik der Wäschereihallen, die lokale Eignung der Dachflächen (Verschattung durch Bäume und Nachbargebäude sowie Schwadenbildung) und die überdurchschnittliche Verschmutzung der Kollektoren durch Flusen.

Sowohl Solarthermie als auch Wärmetauscher können zum üblichen Betriebsbeginn (5-7 Uhr) keine Wärme zur Verfügung stellen (siehe dazu **Abbildung 151** und **Abbildung 152**). Eine Pufferung ist somit sowohl für die Nutzung von Solarenergie als auch für die Nutzung von Abwärme vorzusehen.

Für eine Gegenüberstellung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Kosten pro m² Solarfläche: ca. 750 €/m² Bruttofläche Vakuumröhrenkollektor
(Quelle: <http://www.solaranlage-ratgeber.de/solarthermie/solarthermie-wirtschaftlichkeit/solarthermie-anschaffungskosten>)
- Durchschnittlicher Ertrag der Solarthermie: ca. 450 bis 600 kWh / m² * a
(Quelle: <http://www.solarthermie.net/wirtschaftlichkeit/ertrag>)
- Die Kosten pro kW Wärmetauscherleistung: ca. 1.000 €/kW wurden anhand einer vorliegenden Beispielliste abgeschätzt. Die Wärmetauscherhersteller halten sich jedoch bedeckt und verweisen auf die individuelle Auslegung und Anpassung von Wärmetauschern.
- Fördermittel wurden weder für die Solaranlage noch für die Wärmerückgewinnung berücksichtigt.

Auf Basis der spezifischen Kosten und der Solarerträge lässt sich folgender Vergleich aufstellen:

Tabelle 74: Energiekostenvergleich Solar zu Wärmerückgewinnung im 1- bzw. 2-Schichtbetrieb

Anlagentyp	Solar	WRG 1S	WRG 2S	Anmerkungen
Kosten:	750,00 €/m ²	1.000,00 €/kW	1.000,00 €/kW	nur Kollektor bzw. Wärmetauscher
tägl. Betriebsstunden:		8	16	1- /2-Schichtbetrieb
jährliche Betriebsst.:		2.000	4.000	250 Arbeitstage
mittlere Anlagennutzung:		0,5	0,5	Abschlag tatsächliche Nutzung WRG
Ertrag:	600 kWh/m ² *a	1.000 kWh/kW*a	2.000 kWh/kW*a	
Ertrag bei 20 J. Nutzung:	12.000 kWh/m ²	20.000 kWh/kW	40.000 kWh/kW	
Spez. Kostenanteil: [€/kWh]	0,063	0,050	0,025	

Wie **Tabelle 74** zeigt, sind unter den genannten Randbedingungen die spezifischen Kosten pro kWh Energie beim Einsatz von Solarkollektoren mit 0,063 €/kWh selbst beim Einschichtbetrieb gegenüber den 0,05 €/kWh um ca. 25% teurer. Die spezifischen Kostenanteile zeigen auch die aktuelle Problematik, dass bei den aktuellen (2015) Heizöl- und Erdgaspreisen von ca. 0,04 bis 0,05 €/kWh selbst Wärmetauscher beim nachträglichen bzw. maschinenexternen Einbau nicht gegenüber dem Einsatz von fossiler Energie konkurrenzfähig sind. Das große Angebot an nutzbarer Abwärme, die ungünstige Verfügbarkeit der Solarenergie und vor allem

die hohen Kosten für den Einsatz von thermischen Solarkollektoren ist die Erklärung dafür, dass diese im Bereich der Prozesswärmegewinnung in Wäschereien nicht eingesetzt werden.

In der Zukunft könnte es einen möglichen Bedarf an Solarenergie zur Abwasseraufbereitung geben: Mit steigenden Anforderungen an die Grenzwerte von Abwasser aus Wäschereien und steigenden Schmutz- und Chemikalienfrachten im Abwasser kann ein Bedarf an Prozesswasserdestillation entstehen, der teilweise durch Solarenergie gedeckt bzw. beschleunigt werden könnte. Das entstehende Kondensat könnte theoretisch ohne Einschränkung dem Waschprozess zugeführt werden und der entstehende Schlamm bzw. die Trockenmasse als Brennstoff in Müllverbrennungsanlagen und Kraftwerken thermisch genutzt werden.

9.3 Folgerungen für die Praxis

Die folgenden Kapitel sollen Denkansätze, Handlungsempfehlungen sowie Hinweise zu energetisch sinnvollen Maßnahmen für die Wäschereibranche (Inhaber, Verbände und Maschinenhersteller) bieten.

9.3.1 Handlungsempfehlungen für Wäschereien

9.3.1.1 Datenmanagement

Neben den Hauptzählern sollten weitere Messeinrichtungen eingesetzt werden. Zähler für Dampf sind teuer, so dass die Nachrüstung eines Zählers nach dem Hauptdampfventil des Dampfkessels jedoch vor dem Verteiler ausreicht. Damit kann nicht nur die Effizienz des Dampfkessels und der tatsächliche Dampfverbrauch bzw. die Dampfleistung ermittelt werden, sondern im Verdachtsfall außerhalb der normalen Betriebszeiten bei Testmessungen der Dampfverbrauch einzelner Verbraucher kontrolliert werden.

Zur Erfassung des Wasserverbrauchs von Waschschleudermaschinen sollten die Anschlüsse zu jeder Maschine durch Rohre an Stelle von Schläuchen ausgeführt werden. Eine feste Verrohrung ermöglicht eine exakte Erfassung des Wasserverbrauchs. Dieser kann entweder durch Wasserzähler in den Einzelzuleitungen oder durch Ultraschallmessungen realisiert werden. Das Erkennen von Maschinendefekten (zum Beispiel ein undichtes Ablaufventil) ist durch die Wasserverbrauchswerte möglich.

Des Weiteren wird zur Verbrauchsdatenermittlung dringend empfohlen, insbesondere bei Neuschaffungen Verbrauchsmengenzähler zu installieren.

Das Erfassen von Wäschemengen und -arten, Restfeuchtegehalte bei Anlieferung sowie zwischen den einzelnen Prozessschritten sind für eine exakte Bilanzierung notwendig. Nur so lassen sich Optimierungspotenziale erkennen, quantifizieren und sinnvoll umsetzen.

9.3.1.2 Wäschereientwicklungsplan

Für die Erstellung eines Wäschereientwicklungsplans sollte der Wäschereibesitzer die Frage beantworten können, wie er seine Firma in der Zukunft am Markt positionieren möchte. Dabei muss beispielsweise die angestrebte jährlichen Waschleistung, die lokalen Rahmenbedingungen (Arbeitszeiten, Produktionsflächen etc.) und weitere wirtschaftliche Parameter abgeschätzt und definiert werden. Aus den angestrebten Zielen muss ein Masterplan zur zukünftigen Betriebsgestaltung erarbeitet werden, in dem ausschließlich die langfristig angestrebten Ziele definiert werden. Der Plan ist kontinuierlich zu aktualisieren.

Anschließend kann eine IST-Analyse am bestehenden Betrieb erstellt werden. Dabei müssen Bedarfslisten unterteilt nach Stoff- und Medienart für folgende Verbraucher aufgestellt werden:

- Druckluftverbraucher
- Wasserverbraucher
- Stromverbraucher

- Erdgasverbraucher
- Dampfverbraucher

Es ist darauf zu achten, Gleichzeitigkeitsfaktoren sowie bedarfsgerechte Parameter der Anlagen (z.B. Druckniveau, Medien-/Energienmenge) in die Betrachtung mit einzubeziehen. Es kann in der Praxis notwendig sein, untere Grenzwerte der Parameter durch Versuch zu ermitteln.

Aus den Datenblättern und Unterlagen der Maschinenhersteller können Nennwerte für die Medien- und Energieverbräuche entnommen werden. Für die Auslegung der Netze und die Dimensionierung von Kompressoren, Dampfkesseln, Zählleinrichtungen (zulässige Durchflussmengen) können die Nennwerte der Geräte mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor abgemindert werden. Während großzügig dimensionierte Netze Vorteile hinsichtlich der Versorgungssicherheit für die Maschinen haben, lässt sich bei Kompressoren und Dampfkesseln durch genaue Anpassung sowohl bei der Investition als auch im Betrieb Energie und Kosten sparen. Die im Rahmen des Projekts definierten Gleichzeitigkeitsfaktoren sind für die Verbraucher entsprechend **Tabelle 75 bis Tabelle 79** auszuwählen. Die Auswahl des Faktors ist von der Laufzeit des Geräts und der Laufzeit der geräteinternen Verbrauchskomponenten abhängig. So benötigen Trockner Druckluft nur zu Steuerzwecken sowie für Aktoren (Umluftklappen und Lade/Entladeklappen). Bei der Auswahl der Gleichzeitigkeitsfaktoren für thermische Verbraucher (Dampf, Erdgas) bietet die Maschinenauslastung (Mangelbelegungsgrad, Verhältnis der mittleren realen Postenmasse zur Nennpostenmasse) eine hilfreiche Orientierung. Sicherheitszuschläge können am Ende jeder Liste wie ein „reales Gerät“ hinzugefügt werden, um Netzverluste und ggfs. Ausbaureserven einzuplanen. Dieser Zuschlag sollte 20 Prozent nicht überschreiten.

Tabelle 75: Empfohlene Gleichzeitigkeitsfaktoren für Druckluftverbraucher

Druckluftverbrauchergruppen	Wertebereich des Gleichzeitigkeitsfaktors	Empfohlener Wert
Waschstraßen/Waschschleudermaschinen	0,1 - 0,7	0,5
Wäschetrockner	0,2 - 0,7	0,3
Mangeln	0,3 - 0,9	0,7
Tunnelfinisher	0,5 - 0,8	0,7
Einzelplatzgeräte für Finishprozesse (Hemdenfinisher, Dämpfpuppen, Plätt-tische)	0,3 - 0,7	0,5
Handgeräte, z.B. Druckluftpistolen	0,1 - 0,5	0,3

Tabelle 76: Empfohlene Gleichzeitigkeitsfaktoren für Wasserverbraucher

Wasserverbraucher	Wertebereich des Gleichzeitigkeitsfaktors	Empfohlener Wert
Waschstraßen	1	1
Waschschleudermaschinen	0,3 - 0,7	0,5
Dampfkesselanlage	0,1 - 0,3	0,2

Tabelle 77: Empfohlene Gleichzeitigkeitsfaktoren für Stromverbraucher

Stromverbraucher	Wertebereich des Gleichzeitigkeitsfaktors	Empfohlener Wert
Alle Wäschereimaschinen	0,5 - 0,9	0,7

Tabelle 78: Empfohlene Gleichzeitigkeitsfaktoren für Erdgasverbraucher

Erdgasverbraucher	Wertebereich des Gleichzeitigkeitsfaktors	Empfohlener Wert
Tunnelfinisher	0,5 - 1	0,8
Trockner	0,5 - 0,8	0,7
Dampfkessel	Auslegung nach Auflistung Dampfverbraucher + max. 20 % Sicherheitszuschlag	

Tabelle 79: Empfohlene Gleichzeitigkeitsfaktoren für Dampfverbraucher

Dampfverbraucher	Wertebereich des Gleichzeitigkeitsfaktors bezogen auf den Dampfkessel	Empfohlener Wert
Waschstraßen (Frischdampf)	0,5 - 0,7	0,5
Waschschleudermaschinen (Frischdampf)	0,3 - 0,7	0,5
Mangeln (Mulden)	0,5 - 1	0,7
Trockner (Heizregister)	0,3 - 0,7	0,5
Tunnelfinisher (Sprühdampf)	0,3 - 1	0,7
Tunnelfinisher (Heizregister)	0,3 - 0,7	0,5
Einzelplatzgeräte für Finishprozesse (Hemdenfinisher, Dämpfpuppen, Plättische) – nur Sprühdampf	0,3 - 0,7	0,5
Einzelplatzgeräte für Finishprozesse (Hemdenfinisher, Dämpfpuppen, Plättische) – nur Heizregister/Heizflächen	0,1 - 0,5	0,3

Die Beleuchtung der Wäschereibetriebe sollte sowohl zeitlich als auch flächenbezogen nur nach Erfordernis eingeschaltet werden.

Nachdem die Verbraucherdaten ermittelt wurden, können langfristig Maschinen und Anlagen auf die definierten Zielwerte angepasst werden.

Dabei ist der Grundsatz des „Zwiebelmodells“ einzuhalten (siehe **Abbildung 153**). Ein Beispiel stellt die anteilige Nutzung von heißer Trocknerabluft zum Einsatz als Prozessluft dar. Wärmerückgewinnungssysteme sind sinnvoll, jedoch sollte eine **direkte** Wiederverwendung von Abwärme vor der indirekten Wiederverwendung mit Hilfe eines Wärmetauschers wegen des höheren Wirkungsgrades vorrangig eingesetzt werden.

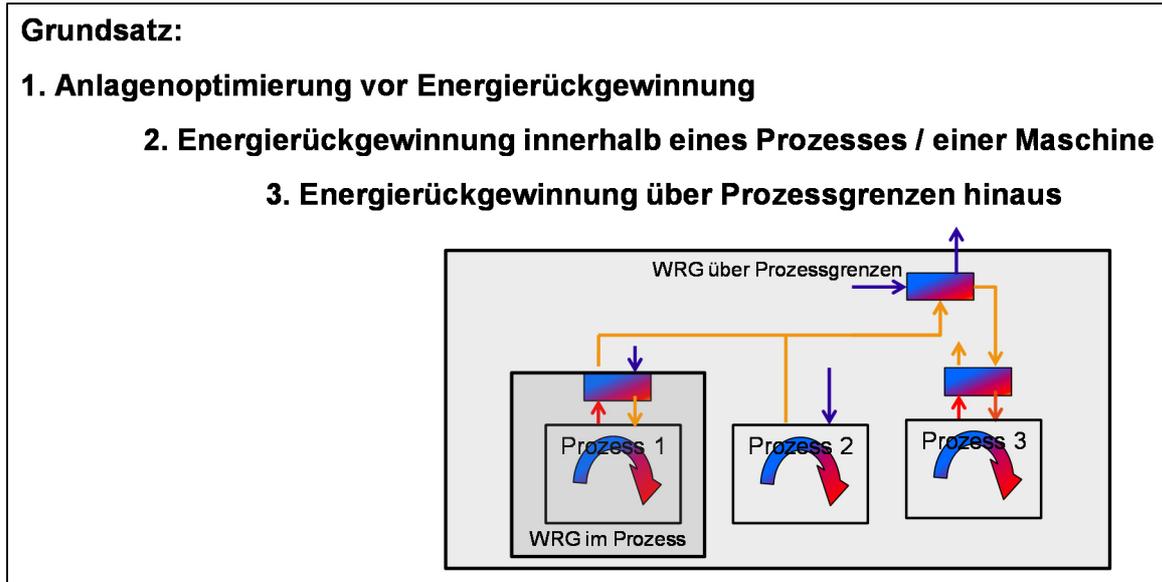


Abbildung 153: Grundsatz der Anlagenoptimierung

Sofern für den Wäschereibesitzer das Ziel ist, Wasser einzusparen, muss über das Nutzen von bereits verwendetem Abwasser aus anderen Waschprozessen nachgedacht werden. Dazu sollten alle anfallenden Wasserqualitäten in Qualitätsstufen eingeteilt und visualisiert werden. Gleichzeitig müssen auch erforderliche Wasserqualitäten zum Waschen nach gleichen Kriterien eingeteilt werden. **Abbildung 154** zeigt beispielhaft die Unterteilung der Wasserarten in Wäschereien. Sollten beispielsweise Teile mit einem geringeren Qualitätsanspruch, wie z.B. stark verschmutzte Kochhosen gewaschen werden, lässt sich dazu ggf. Abwasser aus Waschprozessen von leicht verschmutzter Flachwäsche von Hotels für die Vor- oder Klarwäsche verwenden. Diese Art der wäscheartübergreifenden Wasserwiederverwendung reduziert die notwendige Frischwassermenge deutlich und stellt, insbesondere bei Wiederverwendung bereits erwärmter Waschflotten, enormes Einsparpotenzial dar.

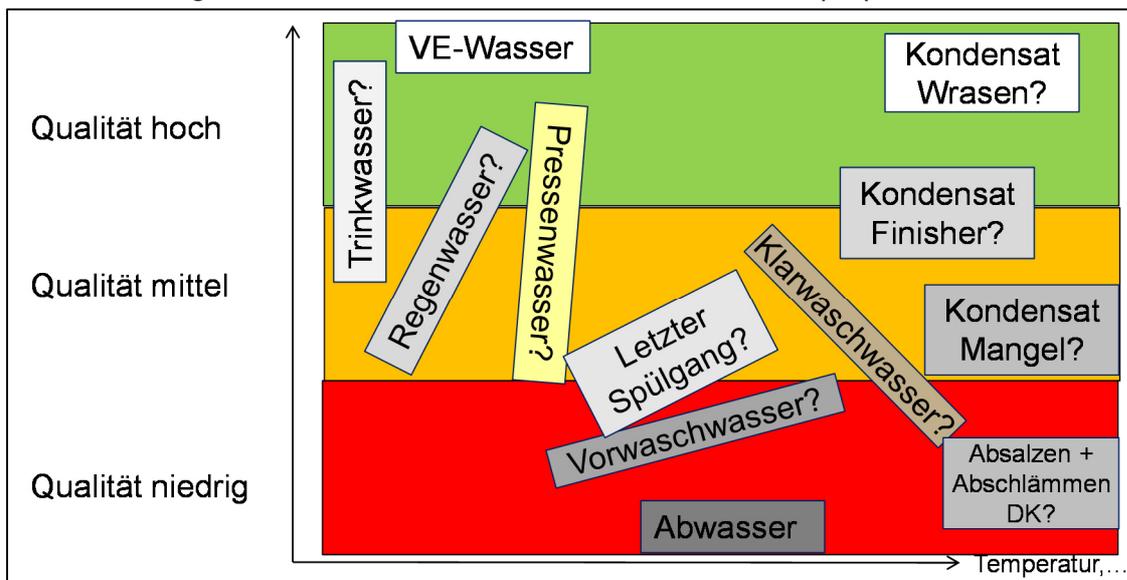


Abbildung 154: Vorhandene Wasserqualitäten in Wäschereien (qualitative Darstellung)

Bei Neuanschaffungen bzw. Austausch eines defekten Gerätes sollte darauf geachtet werden, dass die Geräte mit aktueller Regelungstechnik – zum Beispiel IR-Wäschetemperaturregelung

bei Trocknern an Stelle von zeitgesteuert oder ablufttemperaturgeregelten Trocknern – ausgestattet sind. Es sollten Maschinenverantwortliche benannt werden, die die Maschinen laufend pflegen. Diese Mitarbeiter sind auf eine wirtschaftliche Handhabung der Geräte zu schulen.

Moderne Waschmittel sowie optimierte Waschverfahren lassen heutzutage eine durch RKI zertifizierte, hygienische Aufbereitung von Textilien auch bei Temperaturen unter 70 °C zu. Primäre und sekundäre Wascheffekte zeigen bei geringerer Flottentemperatur verbesserte, zumindest jedoch gleichwertige Ergebnisse.

9.3.2 Handlungsempfehlungen für Hersteller

9.3.2.1 Energiedatenmanagement

Verbrauchsmengenzähler sollten durch die Maschinenhersteller ohne offensichtliche Zusatzkosten für die Wäschereibetreiber in Neuanlagen mit eingebaut werden. Durch die Implementierung solcher Zähler in Neuanlagen lassen sich durch den Wäschereibetreiber Verbrauchsdaten den Maschinen zuordnen und ganzheitliche Energieeinsparkonzepte erarbeiten. Dadurch wird auch durch die Hersteller indirekt ein Betrag zur Energiewende geleistet und verschafft den Herstellern ein positives Image.

Die immer weiter wachsende Vernetzung der Maschinen bietet die Chance, Hersteller übergreifende Lösungen auch für die Verwaltung der Energieverbrauchsdaten zu finden. Es gibt auf dem Markt verschiedene IT-Lösungsansätze, wobei zu prüfen ist, ob ein System die Bedürfnisse der Wäschereien deckt. So muss es möglich sein, manuell oder automatisiert den Textilmassedurchsatz zu erfassen, um Kennwerte für den Gesamtbetrieb und für Einzelprozesse zu generieren. In den meisten Wäschereien sind bereits Messwerte der Wäschemassen bzw. Anzahl der Wäscheteile zumindest in Teilprozessen, z. B. in Waschstraßen und Mangeln mit vorgeschalteten Eingabestationen, vorhanden.

Es erweist sich meistens als schwierig, Maschinen vom gleichen Hersteller aber unterschiedlichen Alters oder Maschinen verschiedener Hersteller zu vernetzen. Hier ist massiver Handlungsbedarf gegeben.

Das Verhältnis von Einsparungen zu Aufwand durch Personal- und Investitionskosten von Datennetzen in Wäschereien mit einer Tagesleistung von weniger als 5 t lässt keinen wirtschaftlichen Vorteil erwarten. In diesen Fällen reichen manuelle Auswertungen, die dennoch zu Optimierungszwecken durch die Geschäftsführung Beachtung finden müssen.

9.3.2.2 Maßnahmen an Maschinen und Anlagen

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass folgende Maßnahmen an Maschinen und Anlagen (herstellerunabhängig) umgesetzt werden sollten:

- Verbesserte Isolierung an Maschinen, insbesondere Trocknern und Mangeln
- Anbringung von Abdeckungen und Isolierung von Tanks
- Beheizung von Tanks vermeiden bzw. Option zur Abwärmeeinbindung vorsehen
- Standardisierte und geeignete Anschlüsse für Zuluft aus Luft-Abgas-Systemen (Doppelrohrsystem) zur Zuluftansaugung von außen und deren Vorwärmung und für Zuluft aus zentralen Luft-/Luft-Wärmetauschern bzw. Sekundärnutzung von Abluft aus Abkühlprozessen anderer Trockner
- Einigung auf eine herstellerunabhängige Schnittstelle zur Datenübertragung
- Ganzheitlicher Ansatz zur Energieeinsparung und systemoffene Umsetzung:
 - Maschinen- und Anlagenhersteller können für die zu- bzw. abgeführten Ressourcenströme Mindestanforderungen definieren, so dass der Betreiber entscheiden kann ob abgegebene Ressourcenströme aus anderen Maschinen und

Anlagen verwendet werden können. (z. B. Wiederverwendung des Abwassers, der Abluft aus Prozess A in Prozess B)

- Optimierung der Prozesse
 - Wäschetrockner:
 - Reduzierung der Oberflächenverluste durch Dämmung der heißesten Bauteile. Das sind in der Regel die Luftkanäle, die Trocknerhauben und die Brennkammern bzw. Dampfregister. Die Trocknerhauben sind die über der Trommel angeordneten Abdeckungen, in denen bei den meisten Herstellern Brenner, Umluftklappen und Hauptventilator untergebracht sind. Die Verluste dort können bei Trocknern der 60-kg-Klasse bei ca. 6 kW liegen und mit ca. 10 cm Dämmung um ca. zwei Drittel reduziert werden.
 - Reduzierung des Abluftvolumenstroms und optimierte Luftführung im Trockenprozess. Aus den Messungen in den Betrieben und im wfk konnte ermittelt werden, dass die spezifische Abluftmasse der Trockner bezogen auf die verdampfte Feuchte bzw. bezogen auf die Trockenmasse des Wäschepostens teils stark von der Art der Textilien abhängt. In Großtrocknern ab 60 kg Nennbeladung liegt die spezifische Abluftmasse bei ca. 5 bis 25 kg Abluft/kg Wäsche, während semiprofessionelle Geräte Werte über 25 erreichen. Die spezifische Abluftmasse bezogen auf das verdampfte Wasser ist stark von der Wäscheart abhängig. So erreicht Frottee im 60 kg- Trockner einen Kennwert von ca. 15 kg Abluft/kg H₂O, Matten im 270 kg-Trockner nur einen Wert von ca. 68 kg Abluft / kg H₂O. Dieser Wert ist durch die hohe Postenmasse und die geringe zu verdampfende Feuchte nachvollziehbar (siehe Endbericht DBU AZ 28612 Phase I, S. 33). Nach Umbauten am Trockner wurde ein Wert für die Trocknung von Matten von ca. 41 kg Abluft pro kg H₂O ermittelt.
Zusätzlich führt die oft übliche Unterbeladung von Trocknern zu einem höheren Luftdurchsatz bei weniger Wäscheumsatz. Diese Luft – soweit sie nicht intern oder von anderen Prozessen vorgewärmt zur Verfügung gestellt wird, wird mit einer mittleren Temperatur von ca. 10 °C der Halle von außen zugeführt und verlässt die Wäscherei ohne Wärmerückgewinnung über die Trocknerabluft mit einer mittleren Temperatur von ca. 60 bis 75 °C.
Im ungünstigsten Fall können pro Tonne Wäsche über 32 Tonnen Abluft entstehen und dabei ca. 500 kWh aus der Wäscherei abgeführt werden. Beim Vergleich der unterschiedlichen Betriebsführungen besteht ein Einsparpotenzial von ca. 50% ohne Berücksichtigung von WRG-Systemen. Diese reduzieren nicht den Luftdurchsatz, sondern nur den Energieverlust.
 - Um das aufgezeigte Einsparpotenzial auszuschöpfen sind folgende Maßnahmen möglich:
 - Einbau von Umschaltklappen zur Nutzung von abgasfreier Abluft für Sekundärnutzung z.B. Luft aus dem Cool-Down für andere Trockner oder Mangeln
 - Nutzung von geeigneter Abluft aus anderen Prozessen, z.B. Kühlluft von Kompressoren, die außerhalb der Gebäudehülle angesaugt werden sollte
 - Einbau von dichtschießenden Motorklappen in den Abluftrohren für Maschinenstillstandszeiten
 - Stetig regelnde Umluftklappen zur Erhöhung der Feuchte und der Enthalpie der Prozessluft im Aufheizvorgang

- Wiegesysteme und Trommelteilungssysteme zur Optimierung der Auslastung
- Die Reduktion des zugeführten Luftmassenstrom für den Trocknungsprozess wurde nicht untersucht, da dies erfahrungsgemäß zu einer Verlängerung der Trocknungszeit führt ohne dass ergänzende Eingriffe im Trocknungsprozess vorgenommen werden. Durch den Einsatz von Wärmerückgewinnern im Zu- - und Abluftbereich, wie dies untersucht wurde, lässt sich diese Problematik umgehen und das höchstmögliche Einsparpotenzial erzielen. Der Einsatz von Wärmerückgewinnern schließt die Reduktion des Zuluftmassenstroms nicht aus. Die damit einhergehende Erhöhung der relativen Feuchte in der Abluft würde den Wärmeübergang im Wärmerückgewinner verbessern, da der Taupunkt im abkühlenden Abluftstrom eher erreicht wird. Das Einsparpotenzial für die Reduktion des Luftmassenstrom ist nur proportional zum sensiblen Wärmeinhalt des reduzierten Luftstroms wohingegen das Einsparpotenzial eines Wärmerückgewinners den gesamten Energieinhalt des Abluftstromes umfassen kann. Dies hängt nur von der Größe der Austauschfläche ab.
- Die Betreiber müssen ausreichende Speicher und Transportmöglichkeiten für den maschinen- und prozessübergreifenden Einsatz von Ressourcen vorsehen (z. B. Abwasserspeicher, Abwasserleitungen, Kondensatspeicher, Kondensatleitungen, Wärmespeicher für Abwärme aus der Abluft falls Anfall und Nutzung nicht zeitgleich erfolgen).
- Betriebsweites Regelungssystem mit Messstellen und Stellgliedern für das Managen von Ressourcenströmen

9.3.2.3 Maßnahmen zur Optimierung der Betriebs- und Prozessabläufe

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass große Einsparpotenziale an Ressourcen durch die Optimierung der Betriebs- und Prozessabläufe erzielt werden können. Daraus resultieren die folgenden Hinweise:

- Betriebszeitenoptimierung
- Chargengrößen für unterschiedliche Wäschearten optimieren
- Prozessabläufe zeitlich aufeinander abstimmen und kontrollieren
- Unterschiedliche nacheinander ablaufende Prozesse räumlich optimiert anordnen, so dass beim Transport wenig Energie verloren geht
- Energieträger möglichst direkt einsetzen d. h. direkte Erdgasbefuerung vor indirekter Dampfheizung
- Prozesse die Ressourcen prozessübergreifend nutzen in räumlicher Nähe zueinander aufstellen
- Transformation von Wärme mittels Hochtemperaturwärmepumpen prüfen

9.3.2.4 Ganzheitliche Lösungsansätze

Die Untersuchungen in den Betrieben haben gezeigt, dass die höchsten Einspareffekte nur durch ganzheitliche Maßnahmen über Prozessgrenzen hinweg einen Effekt haben. Dabei empfiehlt es sich, bei Investitionen mehrere Fragestellungen gleichzeitig zu betrachten.

Folgend zwei Beispiele, die der Einsparung der Energie- und Medien dienen:

- Problemstellung:
 - Wasserversorgung problematisch (Wasserdruck/ Druckerhöhung nicht ausreichend)

- Eine Druckerhöhung erhöht den Wasserdruck an der Einspeisung des Betriebs
- Abwärme geht ungenutzt in die Außenluft
- Wärme für die Aufheizung von Waschwasser wird gleichzeitig in großen Mengen benötigt
- Lösung:
 - Entkopplung der Wasserversorgung der Waschprozesse durch drucklosen Pufferspeicher
 - Eine Druckerhöhung hält den Druck für die Waschprozesse im abgetrennten Prozesswassernetz konstant. Die Wassermenge ist um den Anteil reduziert, der nicht zum Waschprozess gehört
 - Abwärme aus Waschprozessen, Abgasen und Druckluftabwärme kann durch Einbindung mittels Wärmetauscher eingebunden werden.
 - Ergänzend zum Trinkwasser kann geprüft werden, ob weitere Wässer – zum Beispiel Kondensate oder Regenwasser – direkt oder nach Aufbereitung dem Pufferspeicher für Waschprozesse zugeführt werden kann

In **Abbildung 155** ist eine solche Lösung beispielhaft dargestellt.

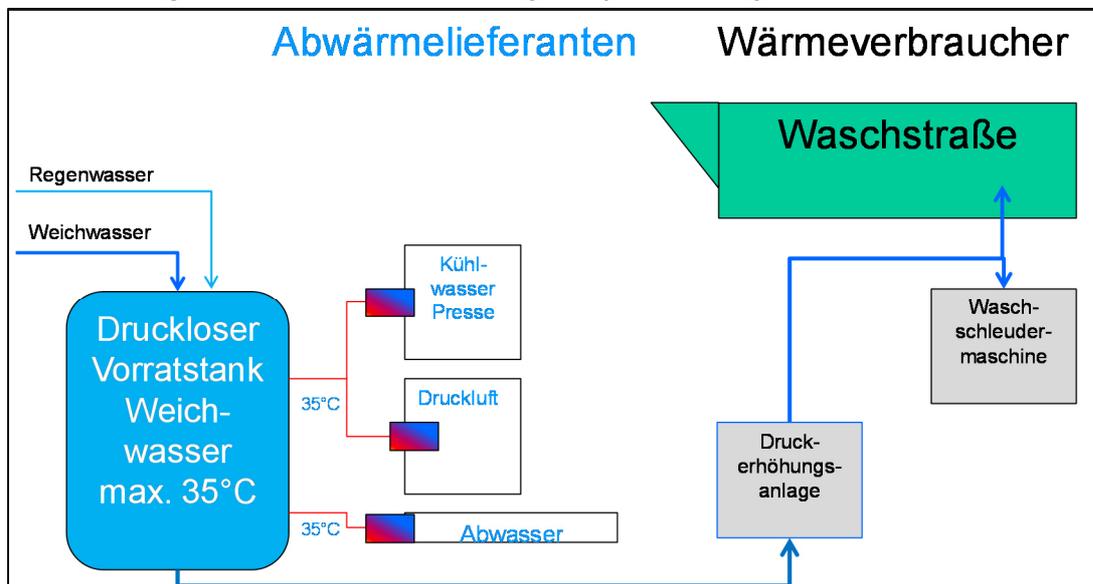


Abbildung 155: Lösungsbeispiel ganzheitliche Wasser- und Abwärmenutzung

Wasser bietet sich als Speicher für Energie durch seine gegenüber Luft höhere Dichte und spezifische Wärmekapazität an. Die Einbindung von Abwärme senkt nicht nur die den Bedarf an Energie zum Aufheizen, sondern senkt gleichzeitig den Bedarf an Frischdampf. Schnellere Aufheizzeiten in den Waschprozessen und geringerer Aufwand für das Speisewasser des Dampfkessels ergeben weitere wirtschaftliche Vorteile.

Neben der Ermittlung der maximalen Wärme, die das Waschwasser aufnehmen kann, ohne die Waschprozesse zu gefährden, muss sichergestellt werden, dass wichtige Prozesse wie die Druckluftversorgung störungsfrei betrieben werden.

Die direkte Nutzung von Abluft als zweites Beispiel ist in der Regel aufwändiger. Mit der Nutzung von erdgasbeheizten Trocknern kann die Abluft meist nicht direkt genutzt werden. Neben den enthaltenen Abgasen führen Flusen und ggfs. Kondensate zu erheblichen Problemen bei einer direkten Nutzung der Abluft. Dennoch kann die direkte Nutzung von Luft anderer Prozesse eine Lösung darstellen:

- Problemstellung:
 - Wärmeabfuhr der Kompressoren und Kältetrockner muss gewährleistet sein

- Die Effizienz von Kompressoren steigt mit sinkender Ansauglufttemperatur
- Die Summe des Abluftmassenstroms aller Trockner und Mangeln verursacht eine enorme Nachströmung. Die kalte Außenluft erhöht Wärmeverluste und verursacht (im Winter) direkte oder indirekte Heizkosten und wirkt sich negativ auf die Behaglichkeit der Mitarbeiter aus
- Warme Abluft in verschiedenen Qualitäten geht ungenutzt über Dach weg
- Wärme für die Aufheizung von Prozessluft wird gleichzeitig in großen Mengen benötigt
- Der mittlere Feuchtegehalt der Raumluft ist höher als der mittlere Feuchtegehalt der Außenluft
- Die Abluft von Trocknern im Cool-Down-Betrieb ist abgasfrei, trocken und meistens 40 °C warm oder wärmer und wird ungenutzt abgeführt
- Lösung:
 - Gestufte Nutzung der Luft mit kurzzeitiger, druckloser Speicherung in einem Luftkanal
 - Kühlung der Kompressoren durch Außenluftansaugung
 - Gezielte Führung der erwärmten Kompressorkühlluft zu Trocknungsprozessen
 - Rückführung der Trocknerabluft im Cool-down-Betrieb in den Luftkanal zur Nutzung in anderen Prozessen (zum Beispiel mehrere Trockner oder Verbrennungsluft für Heiz- oder Dampfkessel)
 - Reduktion des Gesamtluftvolumenstroms und der Zugscheinungen

Abbildung 156 zeigt ein einfaches Beispiel zur mehrfachen Nutzung der Prozessluft. Um die Qualität der Luft nach einem Trockner oder bei Ansaugung von Außenluft zu erhöhen, wird in der Regel ein Filter benötigt. Zur Vermeidung von zu hohem Wartungsaufwand muss eine automatisierte Filterreinigung oder ähnliches vorgesehen werden.

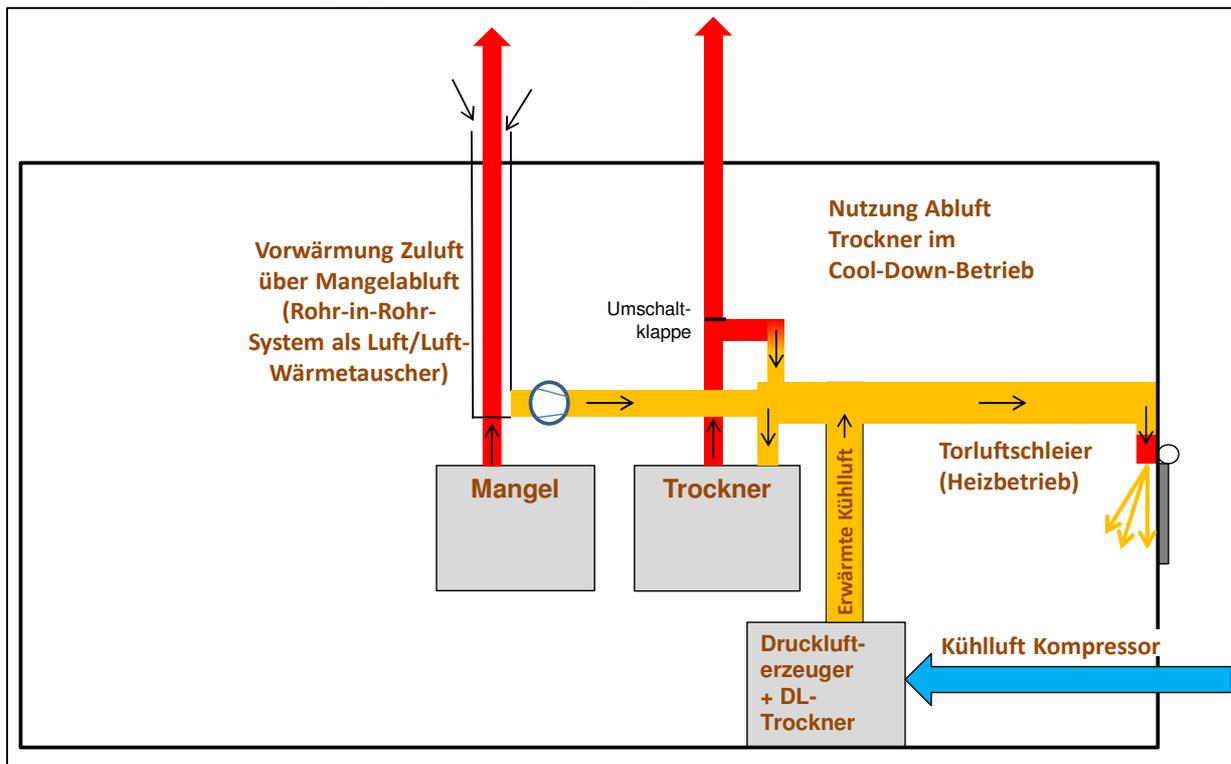


Abbildung 156: Vorschlag zur optimierten Luftnutzung des Druckluftproduzenten

9.3.3 Handlungsempfehlungen für Verbände / DTV

Verbände, die einen Großteil der Wäschereien in Deutschland vertreten, sollten ihre Mitgliedsbetriebe bei folgenden Aspekten unterstützen:

- Aushandeln von Sonderkonditionen für Wäschereibetriebe mit folgenden Geschäftspartnern:
 - Energieversorger über Strom und Erdgas hinaus (Pellets, Flüssiggas, etc.)
 - Planungs- und Beratungsleistungen
 - Hersteller von effizienter Anlagentechnik (z.B. von Kompressoren, Wärmetauschern, Wäschereitechnik)
- Festlegung von neuen, möglichen Kennzahlbereichen und Waschparametern, zum Beispiel
 - Spezifischer Flächenbedarf
 - Spezifische Anlagenleistungen und dazugehörige Wäschemengen

9.4 Analysetool zur schnellen Optimierungsrechnung

Bereits in Phase I des Projekts wurden erste Schritte mit EES und mit Excel zur Erstellung von Energiebilanzen in Wäschereibetrieben unternommen. Nach Übungen und Arbeiten mit verschiedenen anderen Programmen und Programmierumgebungen - unter anderem Excel VBA, Dymola und EES wurde in Phase II die Arbeit an einem einfachen Tool zu Abschätzung der Energieeffizienz von Optimierungsmaßnahmen mit LabView fortgesetzt.

Labview ist eine sehr umfangreiche Programmierumgebung, die nicht nur zur Berechnung von umfangreichen Gleichungssystemen geeignet ist, sondern auch in der Lage ist, externe Messdaten und über Schnittstellen Rechenwerte ein- und auslesen kann. Für LabView sprachen mehrere Argumente:

- Die Codeerstellung ist schnell zu erlernen durch die Programmierung auf einer graphischen Oberfläche- parallele Entwicklung des Rechenteils (Blockpanel) und der Bedienoberfläche (Frontpanel)
- gute Prüfung der Funktion durch Einzelschrittberechnung mit der Möglichkeit zur Anzeige von Ein- und Ausgabewerte an jedem Funktionspunkt
- Es können exe-Dateien erzeugt werden, die ohne Labview auf jedem normalen PC genutzt werden können. Für die Nutzung wird eine kostenlose runtime environment engine benötigt, das ist eine Sammlung von Datei-Bibliotheken, auf die die „build“ genannten exe-Dateien zugreifen.

Das programmierte Tool besteht aus mehreren Modulen, die grundsätzlich unabhängig voneinander benutzt werden können.

Die bislang programmierten Module sind:

- Waschstraße
- Waschschleudermaschine
- erdgasbeheizter Trockner
- dampfbeheizter Trockner
- Mangel (noch nicht eingebunden in die Hauptbedienoberfläche)
- Dampfkessel

Damit der Überblick über die Module nicht verloren geht und mehrere Maschinen gleicher Art - also mehrere Waschstraßen oder Trockner - bilanziert werden können, wurde eine Eingabemaske erstellt (siehe **Anhang A9-1 Screenshot der Tool-Nutzeroberfläche**). Diese Eingabemaske verfügt an der linken Seite über Schalter, mit denen die Module an- und abgeschaltet werden können. Wird ein Modul abgeschaltet, wird automatisch bei der Abwärme und der zugeführten Dampf- bzw. Erdgasleistung eine Null angezeigt. Der Schaltzustand wird über rote

bzw. grüne Farbe der Schalter, eine grüne LED sowie über den Schriftzug „AN“ bzw. „AUS“ am Schalter hervorgehoben.

Unter den Schaltern befindet sich ein für alle Module verwendetes Eingabefeld für die physikalischen Größen spezifische Wärmekapazität von Luft, Dampf, Wäsche und Wasser, die Verdampfungsenthalpie von Wasser und der Umgebungsluftdruck.

Neben den Schaltern befinden sich die einzelnen Eingabefelder der Module, unter den Eingabefeldern befinden sich die Ausgabefelder. Über den Eingabefeldern der Module werden für jede Maschinengruppe die zugeführte Energie und die abgeführte Abwärme als Summenwert dargestellt. Die Gruppen „Waschstraßen“ und „Waschschleudermaschinen“ geben zusätzlich den mittleren Wasserverbrauch pro Stunde aus.

Am Beispiel der erdgasbeheizten Trockner soll der Arbeitsablauf des Tools erläutert werden: Wie in **Abbildung 157** zu sehen ist, wird zur ausschließlichen Berechnung der erdgasbeheizten Trockner jeder bis auf den Schalter dieser Gruppe auf „AUS“ und der Schalter für diese Trockner auf „AN“ gestellt.

Im zweiten Schritt wird das Datenfeld ausgefüllt. Jeder Wert der in dieses Datenfeld geschrieben wird, hat zwei „Koordinaten“ die den Wert eindeutig beschreiben:

- **Gerätenummer**, in diesem Beispiel die Ziffer neben „Trockner“
- Und **Wert** für die dem eingegebenen Zahlenwert zugewiesene Bedeutung

Der eigentliche Zahlenwert steht in einem eigenen Feld unter der Bezeichnung „Eingabewerte“. Im abgebildeten Beispiel hat Trockner 1 einen Oberflächenverlust (Wert 15) von 8 kW. In Labview ist es üblich, dass Felder immer mit Null beginnen. Es gibt somit einen Trockner 0 und den Wert 0. Für alle Wäschereimaschinen wurde die Textiltemperatur vor dem jeweiligen Prozess – in **Abbildung 157** mit „Textiltemperatur ZU [°C]“ bezeichnet - dem Wert 0 zugewiesen.

erdgasbeheizte Trockner Eingabewerte

Eingabewerte
Trockner erdgasbeheizt

Trockner 1

Wert 15

8

Wert 0: Textiltemperatur ZU [°C]
 Wert 1: mittlere Postenmasse [kg]
 Wert 2: effektive Taktzeit [s]
 Wert 3: mittlerer Wassergehalt [kg]
 Wert 4: Eingabewert Restfeuchte ZU [%]
 Wert 5: Auswahl Rechenverfahren Restfeuchte = 1, sonst 0
 Wert 6: Temperatur Zuluft [°C]
 Wert 7: relative Feuchte Zuluft [% RH]
 Wert 8: Temperatur Textil nach Entladen
 Wert 9: restliches Wasser in Textil [kg]
 Wert 10: Eingabewert Restfeuchte nach Entladen [%]
 Wert 11: Auswahl Rechenverfahren Restfeuchte = 1, sonst 0
 Wert 12: Temperatur Abluft [°C]
 Wert 13: Volumenstrom Abluft [m³/h]
 Wert 14: Anteil Betrieb/Gesamtzeit Ventilator (0,5-0,7 Einzelmessung; 1:)
 Wert 15: Oberflächenverluste [kW]
 Wert 16: max. Prozesslufttemperatur [°C]

Abbildung 157: Bildausschnitt Eingabefeld für erdgasbeheizte Trockner

Bei Wert 1 wird die mittlere Postenmasse des feuchten Postens angegeben. Der Nutzer hat die Möglichkeit, einen einzelnen Posten oder den auf einem Zeitabschnitt (Stunde, Tag oder Jahr) bezogenen Mittelwert einzugeben. Der Bezug zu den folgenden Werten muss jedoch beachtet werden. Wert 2 – die effektive Taktzeit bzw. Trocknungsdauer – erfordert – wenn es sich nicht um eine Einzelpostenbetrachtung handelt – in der Regel eine Analyse der mittleren Zykluszeit, wenn es sich nicht um eine rein zeitgesteuerte Trocknung handelt. Die Werte 3, 4 und 5 hängen zusammen: Hier hat der Nutzer die Auswahl, ob die Restfeuchte der Wäsche als Absolutwert in kg oder als Relativwert in Prozent des Wäschegewichts vorliegen. Wert 5 signalisiert dem Tool mit welchem Wert gerechnet werden soll. Mit einer „1“ wird der Prozentwert (Wert 4) verwendet, bei einer „0“ wird mit dem eingegebenen Absolutwert von Wert 3 gerechnet. Die Werte 6 bis 8 sind selbsterklärend und erfordern z. B. eine Angabe für die Raumluftbedingungen oder die Bedingungen werden durch eine laufende Messung ermittelt – je nach zeitlichem Bezug der Messung (Einzelposten oder Bilanzierung über längere Zeiträume). Wert 9 bis 11 stellen das Gegenstück zu Wert 3 bis 5 dar: Hier kann ebenfalls die Restfeuchte nach dem Trocknen als Prozent- oder Absolutwert angegeben werden. Wert 11 stellt die Abfrage nach dem Rechenverfahren dar. Wert 12 und 13 sind die auch mit einfachen Mitteln messbaren Abluftdaten. Es wurde bewusst auf die Abluftfeuchte als Eingabewert verzichtet. Diese wird aus der Wasserbilanz der zugeführten Luft sowie der Verdampfungsleistung ermittelt. Wert 14 stellt die Abfrage nach den Betriebspausen dar. Für die Messung eines Postens ist die Laufzeit des Ventilators gleich dem Betrachtungszeitraum (Faktor 1), bei längeren Zeiträumen spielen Arbeitspausen, Störungen oder Lade-/Entladezeiten eine beachtliche Rolle. Dies kann durch Aufzeichnung der Laufzeiten ermittelt oder abgeschätzt werden (zum Beispiel Anzahl der Posten bei bekannter Trocknungsdauer) und mit einem Faktor ver-

sehen werden. In vielen Fällen liegt der Faktor zwischen 0,5 und 0,7. Wert 15 wird der Oberflächenverlust des Trockners zugewiesen. Auch hier besteht die Möglichkeit entweder auf Herstellerangaben zurückzugreifen oder mit mehreren Thermoelementen oder Thermografien sowie den zuzuweisenden Flächen die Oberflächenverluste aus Strahlung und Konvektion zu ermitteln. Wert 16 wurde für die weitere Entwicklung einbezogen: Die maximale Prozesslufttemperatur soll zu einem späteren Zeitpunkt helfen, die substituierbaren Wärmeströme über die Temperaturen zu definieren.

Nach der Eingabe aller Daten wird auf den weißen Pfeil in der Menüleiste von LabView geklickt und das Programm berechnet alle Daten der Ausgabe. **Abbildung 158** zeigt, die gewählte Darstellung der Ergebnisse in einem zweidimensionalen Feld (Trockner, Wert).

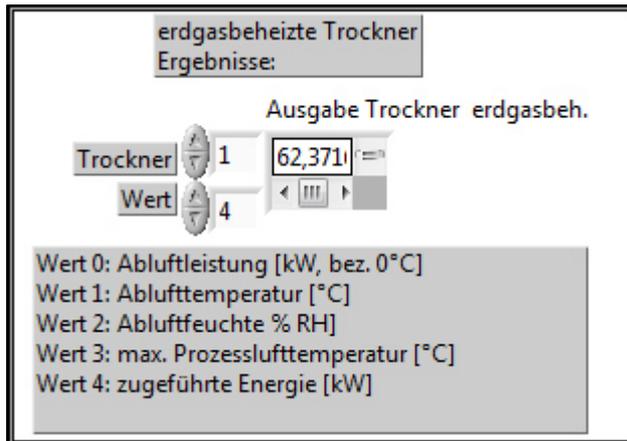


Abbildung 158: Bildausschnitt der Ausgabedaten für einen erdgasbeheizten Trockner

Die Systematik der „Koordinaten“ der Zahlenwerte ist analog zur Eingabe vorhanden. Das Tool gibt als Wert 0 in der Ausgabe die Abluftleistung, Wert 1 die aus dem Eingabefeld übernommene Ablufttemperatur, Wert 2 die relative Abluftfeuchte und Wert 3 die ebenfalls übernommene max. Prozesslufttemperatur aus. Als Wert 4 erhält man die zugeführte Energie des ausgewählten Trockners. Die mittlere zugeführte Energie in Form von Erdgas für alle Trockner und die mittlere Abwärme für alle Trockner ist als herausragender Wert über der Eingabe angeordnet.

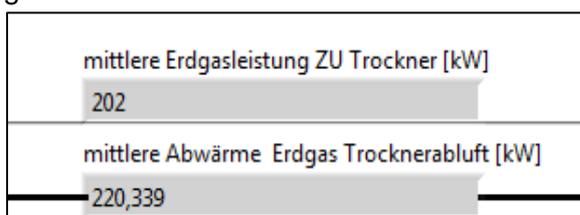


Abbildung 159: Bildausschnitt Ausgabe der zugeführten Energie und der Abwärme in der Abluft für alle erdgasbeheizten Trockner

Aus den Modulen können auch Stand-alone-Programme (als eigenes „build“) genutzt werden. Im Fall des Trocknermoduls können nur einzelne Trockner mit einer einfacheren Oberfläche eingegeben und berechnet werden. Grundsätzlich ist die Struktur identisch, nur die Eingaben erfolgen in eindimensionalen Feldern oder als Einzelwerteingabe (z. B. Modul Mangel).

Wie man an in **Anhang A9-2 „screenshot Nutzeroberfläche Erdgastrockner“** erkennen kann, sind die Angaben der Wertzuweisungen der einzelnen Felder aufgeführt. Es bietet sich beim Ausfüllen an, zuerst die Wäschedaten (Eingang und Ausgang des Trockners) und dann die Luftdaten anzugeben. Danach wird analog zur Haupteingabemaske auf den weißen Pfeil links oben geklickt und das Tool berechnet die Abluftwärmeverluste und die zugeführte

Wärme. Für Prüfzwecke werden zusätzliche Werte wie die Zu- und Abluftenthalpie ausgegeben. Zu beachten ist, dass die Genauigkeit der Berechnung der Trocknermodule ab 100 °C und mit zunehmender Feuchtelast abnimmt. Bei Temperaturen über 100 °C ist Wasser unter Umgebungsdruck (ca. 1 bar) dampfförmig. Es ist bei diesen Zustandsbedingungen nicht mehr ausschlaggebend, wieviel Wasser von der Luft aufgenommen werden kann, weil Wasser nur noch gasförmig vorhanden ist. Durch diese „Entkopplung“ von der Luft muss die Berechnung auf anderem Wege erfolgen als über die Betrachtung von feuchter Luft. Am einfachsten ist die Bilanzierung über die Wassermassenströme der Prozessluft und der mit den Textilien ein- und ausgetragenen Feuchte.

Aus diesem Grund wurde das Mangelmodul überarbeitet und konnte nicht mehr im Rahmen des Forschungsprojekts eingebunden werden. Dort wird die absolute Abluftfeuchte, die Abluftenthalpie und als Folge davon die zuzuführende Wärme durch Iteration der Dichte der Abluft und der Wasserbilanz ermittelt.

Für die weitere Entwicklung ist die Möglichkeit der Einbindung des Tools in das Internet zu prüfen, um eine für alle Nutzer aktuelle Version zur Verfügung zu stellen. Gerade mit Hinblick auf eine mögliche, zukünftige Vernetzung mit den Maschinen untereinander und dem Erfassen von Messdaten könnten Wäschereien bilanziert und ggfs. sogar in Abhängigkeit variabler Energiepreise gesteuert bzw. Energiebezüge optimiert werden

9.5 Ökobench - Online-Tool zum Vergleich von Wäschereien

Um den Betrieben eine Möglichkeit zu bieten, ihren eigenen Energieverbrauch mit anderen Marktteilnehmern vergleichen zu können und somit mögliche Einsparpotenziale zu identifizieren, ist das sogenannte Ökobench-Tool entwickelt worden. Hier haben die Betriebe die Möglichkeit, in unterschiedlichen Zeiträumen Ihre Energie-, Wasser-, Strom- und Waschmittel-, bzw. Lösemittelverbräuche zu erfassen und bezogen auf 1 kg Trockenwäsche bzw. pro Wäscheteil auszuwerten. Die ausgewerteten Daten werden dann verbrauchsspezifisch in Diagrammen, oder wahlweise in absoluten Zahlen angezeigt und mit den anderen registrierten Nutzern des Ökobench anonymisiert verglichen. Erreichbar ist das Ökobench-Tool über die Internetseite <http://www.brancheninitiative-energie.de/brancheninitiative/oecobench>.

9.5.1 Registrierung

Das Benchmark-Tool ist für alle Textilpflegebetriebe kostenfrei nutzbar. Mitglieder des Deutschen Textilreinigungs-Verband e.V. haben die Möglichkeit, sich mit den Zugangsdaten der Homepage des DTV einzuloggen. Nicht-DTV-Mitglieder können sich in der DTV-Geschäftsstelle Zugangsdaten generieren lassen, mit denen sie das Ökobench-Tool nutzen können.

9.5.2 Datenerfassung

Nachdem sich der Nutzer eingeloggt hat, hat er die Möglichkeit seine Daten zu hinterlegen. **Abbildung 160** und **Abbildung 161** zeigen die Eingabemasken der Datenerfassung.

The screenshot shows the data entry interface for the Ökobench tool. At the top, there is a navigation bar with the following tabs: DATENERFASSUNG (active), MEINE DATEN, DATENAUSWERTUNG, KONTAKT, and IMPRESSUM. Below the navigation bar, there is a header area with a calculator and a bar chart. The main form area contains the following elements:

- Header:** "Sie sind eingeloggt als" followed by the username "chucholowius" and a password field with masked characters. A "abmelden" button is located below the password field.
- Form Fields:**
 - Firma: Beispielunternehmen
 - Betrieb: Wäscherei Weißer Traum
 - Art des Betriebes: Wäscherei Reinigung Mischbetrieb
- Buttons:**
 - Daten für einen weiteren Betrieb erfassen
 - Vorhandene Betriebsdaten bearbeiten
 - Zu einem anderen Betrieb wechseln
- Associations:** "Bitte markieren Sie die Verbände, in denen Ihr Unternehmen Mitglied ist:"
 - ohne
 - NWD Zentratex
 - DBL
 - Servitex
 - Lavantex
 - diemietwaesche.de
 - Sitex
 - TSA
 - Dressline
 - Leosystem
- Working Methods:** "Bitte markieren Sie die Arbeitsweisen, die für Sie typisch sind:"
 - Wärmetauscher Abwasser zu Frischwasser
 - Wärmerückgewinnung Abluft zu Frischluft
 - Wärmerückgewinnung Abluft zu Wasser
 - Wasserrückgewinnung
 - Wassermehrfachnutzung
 - Abwasserbehandlung: Siebfilter
 - Abwasserbehandlung: Fällung/Flockung
 - Abwasserbehandlung: Mikro-/Ultrafiltration
 - Abwasserbehandlung: Neutralis
 - Abwasserbehandlung: Biologie
 - Dampfkessel: Abluft-Wärmetausch (ECO)
 - Dampf-System: Bründendampf-Nutzung
- Other Fields:**
 - sonstige Abwasserbehandlung: eine sonstige Abwasserbehandlung
- Buttons:**
 - abbrechen
 - speichern
 - weiter

Abbildung 160 Eingabemaske Datenerfassung

Abbildung 161 Eingabemaske Datenerfassung (II)

Dies ist auch zwingend notwendig, da generell niemand die Möglichkeit hat, ohne Hinterlegen der eigenen Daten und Verbräuche, eine Auswertung zu sehen. Hinterlegt werden müssen der Firmenname, der Betrieb sowie die Art des Betriebes. Bei der Art des Betriebes besteht die Auswahl zwischen Wäscherei, Reinigung und Mischbetrieb, was in diesem Fall Wäscherei und Reinigung in einem Betrieb bedeutet. Zusätzlich besteht noch die Möglichkeit den Ansprechpartner, Telefonnummer und E-Mailadresse anzugeben. Diese Angaben sind allerdings freiwillig und sind für andere Teilnehmer nicht sichtbar.

Ist ein Betrieb Mitglied in einem Verbund, besteht die Möglichkeit seinen Verbund über eine Liste zu markieren. Innerhalb des Verbundes können dann die Verbrauchsdaten nochmal gesondert verglichen werden.

In einer weiteren Auswahlliste können, je nach Betriebsart, bestimmte Verfahrensweisen selektiert werden. Als Wäschereibetrieb hat man z.B. die Auswahl zwischen „Wärmetauscher Abwasser zu Frischwasser“, „Wärmetauscher Abluft zu Wasser“ oder „Brühdampfnutzung“.

Hat ein Betrieb eine Rückgewinnungstechnologie in seinem Betrieb eingesetzt, die nicht in der Liste aufgeführt ist, besteht die Möglichkeit unter „sonstige Abwasserbehandlung“ einen Freitext einzugeben. Als Reinigungsbetrieb hat der Nutzer die Möglichkeit zwischen „Kontaktwaseraufbereitung“, „Wasserrückgewinnung“ und „Kühlwasserrückgewinnung“ zu wählen.

Hat ein Unternehmen mehrere Betriebe, so können diese unter einem Account zusammengefasst werden. Des Weiteren gibt es die Möglichkeit, eventuell vorhandene Betriebsdaten zu bearbeiten sowie zwischen den verschiedenen Betrieben zu wechseln.

In einem weiteren Schritt werden für den ausgewählten Betrieb die Verbräuche eingegeben. Hier besteht die Möglichkeit die Verbräuche für ein ganzes Jahr, einen kompletten Monat oder die Verbräuche eines Tages zu hinterlegen. Für den dann ausgewählten Zeitraum wird zuerst die gewaschene Menge Wäsche in Tonnen, bei Reinigungsbetrieben die Anzahl der Teile, bzw. die Wäsche in kg eingegeben. Anschließend kann der Nutzer eingeben wie sich die Tonnage prozentual aufteilt. Dabei gibt es folgende Möglichkeiten:

- Berufsbekleidung
- Krankenhaus/Altenheim flach
- Hotelwäsche
- Bewohnerwäsche
- Handtuchrollen
- Matten
- Feuchtwischbezüge
- Reinigungsteile
- Sonstiges

Sollen die Verbräuche für einen Reinigungsbetrieb erfasst werden, besteht die Möglichkeit die bearbeiteten Teile einem Lösemittel zuzuordnen, bzw. die Teile die per Nassreinigung bearbeitet wurden anzugeben.

Im nächsten Schritt werden die Verbräuche für den oben angegebenen Zeitraum eingegeben. Folgende Medien können hier erfasst werden:

- Wasser in m³
- Strom in kWh
- Öl in Liter
- Gas in kWh
- Holzpellets in kWh
- Sonstige Energieträger in kWh
- Waschmittel in g

Bei einer Chemisch Reinigung kann zudem der Verbrauch für Reinigungsverstärker, Detachiermittel sowie der Verbrauch für Lösemittel (PER, KWL und andere Lösemittel) angegeben werden.

9.5.3 Datenauswertung

In der Datenauswertung werden die registrierten Betriebe sowohl in einer graphischen Auswertung, als auch in einer Auswertung nach Zahlen miteinander verglichen. Dabei werden Wäschereien, Reinigungen und Mischbetriebe separat betrachtet. In der Maske „Datenauswertung“ gibt es die Möglichkeit, für den Fall das man mehrere Betriebe registriert hat, zwischen den verschiedenen Betrieben auszuwählen. Zurzeit haben die Nutzer des Ökobench die Möglichkeit, drei unterschiedliche Auswertungstypen ihrer hinterlegten Daten zu nutzen (siehe **Abbildung 162**).

Abbildung 162: Datenauswertungsmöglichkeiten für Wäschereien

Bei der grafischen Auswertung nach Verbräuchen können die Verbrauchswerte für Wasser, Strom, thermische Energie sowie Waschmittel in einem Balkendiagramm betrachtet werden. Bei Reinigungs- und Mischbetrieben können zusätzlich noch Reinigungsverstärker, Detachiermittel, PER, KWL und „andere Lösemittel“ verglichen werden.

Unter dem Punkt „Betriebsdaten im Branchenvergleich“ werden alle bisher im Ökobench registrierten Betriebe und ihre Verbräuche anonymisiert angezeigt. Der betrachtete Zeitraum (Jahr, Monat oder Tag) kann frei gewählt werden. Für den momentan betrachteten Betrieb wird der Balken in Rot angezeigt, die weiteren eigenen Betriebe werden schraffiert und alle fremden Betriebe in Blau dargestellt. Hat ein Unternehmen nur einen Betrieb, wird der eigene Betrieb orange und alle anderen Balken in blau angezeigt.

Im Menü „Auswertung meiner Betriebe“ werden nur die zur Unternehmensgruppe gehörenden Betriebe angezeigt. Alle anderen Betriebe werden ausgeblendet. Wählt der Nutzer „Meine Verbräuche im Rückblick“, so können alle Verbräuche nach Jahren, Monaten, Werktagen oder Wochentagen rückblickend betrachtet werden, wie **Abbildung 163** zeigt.

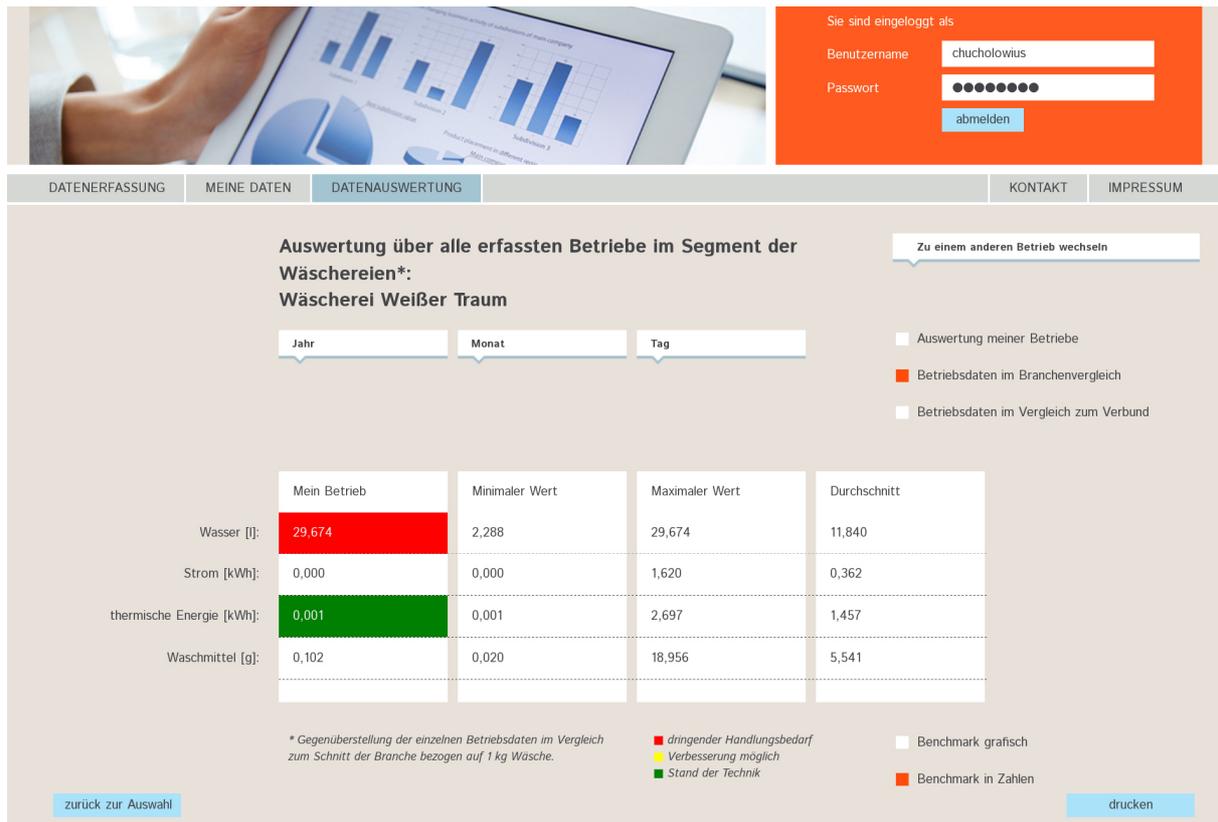


Abbildung 163: Verbrauchsdatenauswertung einer Wäscherei

Ist der Betrieb Mitglied in einem Verbund, so gibt es zusätzlich die Möglichkeit die Betriebsdaten im Vergleich zum Verbund zu betrachten.

In allen Balkendiagrammen sind in den Auswertungen für Wasser und thermische Energie Benchmark Werte gekennzeichnet, die dem Nutzer die Möglichkeit geben sollten, die eigenen Verbrauchswerte besser einordnen zu können. Beim Wasserverbrauch ist bei 7,0 l/kg eine grüne Linie eingezeichnet, die den Stand der Technik darstellt. Eine gelbe Linie bei 9,5 l/kg soll Möglichkeiten der Verbesserung sowie eine rote Linie bei 12 l/kg absoluten Handlungsbedarf signalisieren. **Abbildung 164** zeigt exemplarisch die Verbrauchsdaten einiger Betriebe im Vergleich zum eigenen Betrieb.



Abbildung 164: Vergleich des spez. Wasserverbrauchs mit anderen Wäschereien

Wie beim Wasserverbrauch (**Abbildung 164**) sind auch bei der thermischen Energie sind die Grenzen bei 0,8 kWh/kg (grün), 1,3 kWh/kg (gelb) sowie bei 1,8 kWh/kg (rot) als Benchmarkwerte eingezeichnet.

Unter dem Auswertungsdiagramm befinden sich noch zwei Schaltflächen. Hier besteht die Wahl neben der immer zuerst erscheinenden grafischen Auswertung und einer Auswertung nach Zahlen zu wählen. Hier werden in einer Tabelle die eigenen Verbrauchswerte sowie die Minimal-, die Maximal- und die Durchschnittswerte aller hinterlegten Verbrauchswerte angezeigt. Auch hier gibt es die Möglichkeit bei mehreren eigenen Betrieben, oder in einem Verbund, die anderen Betriebe vom Vergleich auszuschließen.

Abbildung 165 zeigt eine grafische Sonderauswertung nach Verbräuchen. Dort gibt es die Möglichkeit, den eigenen Betrieb nicht nur mit allen teilnehmenden Betrieben, sondern auch nur mit Betrieben zu vergleichen, die das gleiche Wäschesortiment bearbeiten. So kann sich

der Nutzer unter „Art der Reinigung“ mit Wäschereien unterschiedlicher Wäschesortimente messen.



Abbildung 165: Vergleich des spez. Wasserverbrauchs mit anderen Betrieben gleicher Wäscheart

Folgende Auswahlmöglichkeiten stehen hier zur Verfügung:

- Keine Auswahl (Vergleich mit allen Betrieben)
- Berufsbekleidung
- Hotelwäsche
- Kombination Hotel Berufsbekleidung
- Krankenhaus/Altenheim flach
- Kombination Krankenhaus/Altenheim/Bewohnerwäsche/Reinigungsteile
- Kombination Handtuchrollen/Fußmatten/Feuchtwischbezüge

Auch hier gibt es die Möglichkeit, für den Fall, dass der Nutzer mehrere Betriebe besitzt, bzw. einem Verbund angehört, sich nicht nur mit der gesamten Branche, sondern auch innerhalb des Verbundes zu vergleichen.

Unter „Meine Verbräuche im Vergleich mit angezeigter Wäschemenge und Verarbeitungsschwerpunkt“ hat der Nutzer den Vorteil, sich mit Betrieben ähnlicher Größe zu vergleichen.

In einem xy-Diagramm ist das Wäscheaufkommen in t/Tag auf der x-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Wäschearten sind mit verschiedenen Symbolen gekennzeichnet, die sich in einer Liste neben dem Diagramm einfach, durch das Setzen von Häkchen, ein- bzw. ausblenden lassen. Das hat den Vorteil dass man einen realistischen Vergleich seiner Verbräuche erhält und sich ein Betrieb mit einer Wäschemenge von 4 t/d nicht mit einem Betrieb mit 20 t/d vergleichen muss.

Bei der Auswertung nach Zahlen werden die Daten, wie bereits beschrieben, in einer Tabelle dargestellt.

Auch hier kann der Nutzer die Verbrauchswerte für Wasser und thermische Energie einordnen, indem die bereits oben beschriebenen Grenzwerte auch hier sichtbar gemacht sind. Werden diese unterschritten, werden die jeweiligen Felder der Tabelle farbig hinterlegt (siehe **Abbildung 163**).

Meine Daten

Unter dem Menüpunkt „Meine Daten“ (**Abbildung 166**) kann der Nutzer die alle unter seinem Account hinterlegten Verbräuche bearbeiten. Hier können die einzelnen Datensätze gelöscht oder bearbeitet werden. Zusätzlich kann sich der Nutzer die hinterlegten Werte als csv-Datei exportieren, sich die Verbrauchswerte eines jeden Datensatzes als Balkendiagramm ansehen und sämtliche unter diesem Account hinterlegten Verbräuche löschen.

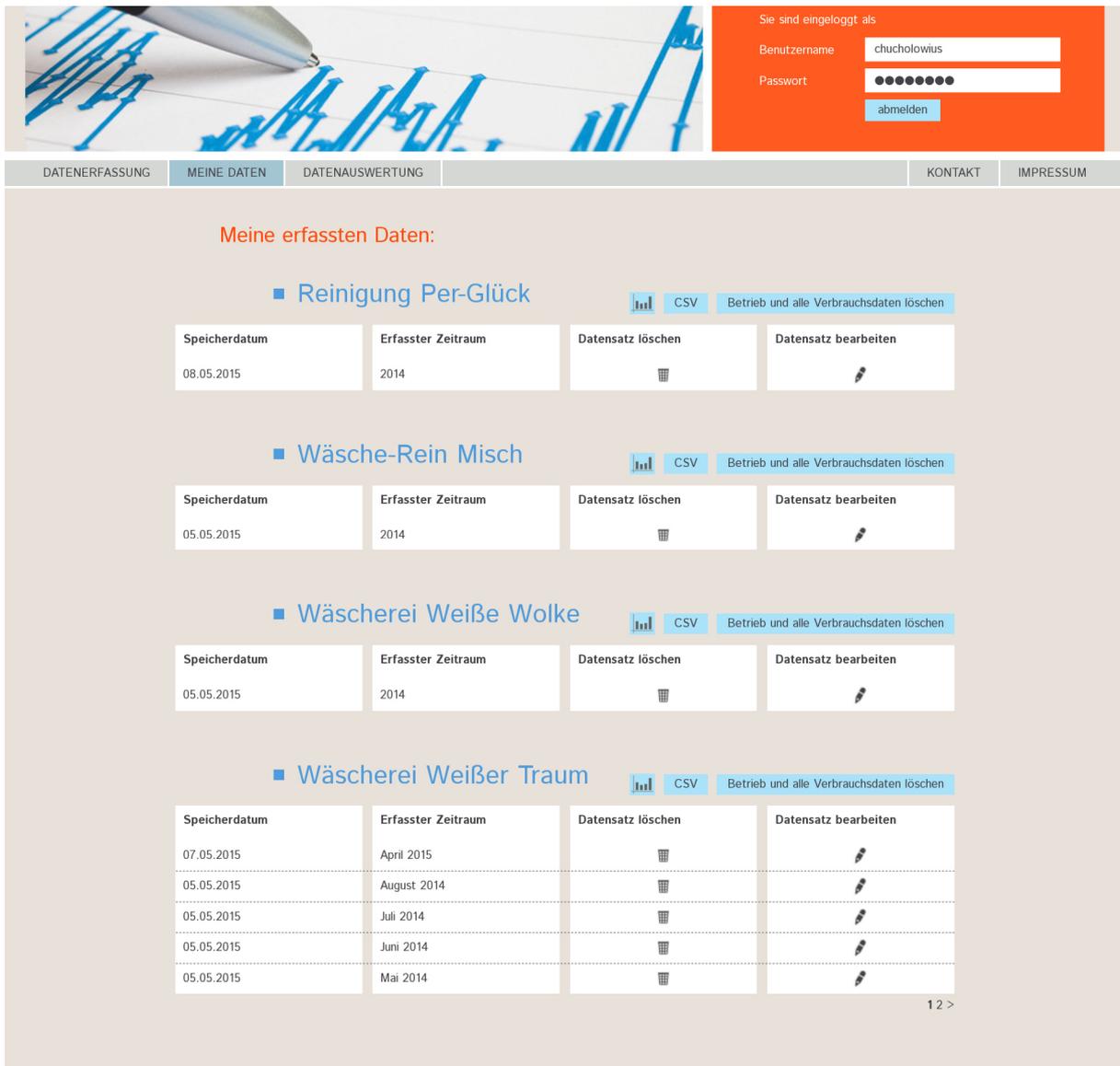


Abbildung 166: Ökobenchtool – Meine Daten

9.6 Ausblick

Im Rahmen der Nachmessungen in den Wäschereien wurden nur geringe oder sogar negative Einsparungen bzw. Verbesserungen der spezifischen Verbrauchskennwerte ermittelt. Die täglich und jahreszeitlich schwankenden Auslastungen und die begrenzten Kontrollzeiträume waren eine Hauptursache dafür. Um eine belastbare Aussage zur tatsächlichen Effizienzsteigerung treffen zu können, wurden die Wäschereien bei der Abschlussbesprechung gebeten, ihre neuesten Energie- und Medienverbräuche sowie die damit behandelten Wäschemengen mitzuteilen.

Tabelle 80 zeigt die im ersten Halbjahr (Januar bis einschließlich Juni) 2015 behandelten Wäschemengen und die dafür benötigten Wasser- und Energieverbräuche.

Tabelle 80: Waschleistung und Energie- und Wasserverbräuche der vier untersuchten Wäschereien im ersten Halbjahr 2015

Wäscherei	Wäschemenge 1-6/2015 [kg]	Erdgas/Heizöl [kWh]	Elektrische Energie [kWh]	Wasser [m³]
Krankenhauswäsche	6.478.897	7.215.278	847.654	47.699
Hotelwäsche	928.000	786.990	120.150	9.374
Berufsbekleidung	2.942.620	2.771.778	403.570	11.309
Bewohnerwäsche	738.082	1.162.452	172.980	8.149

Aus den Werten von **Tabelle 80** wurden die in **Tabelle 81** aufgelisteten Kennwerte errechnet.

Tabelle 81: Spezifische Verbrauchskennwerte der untersuchten Wäschereien im ersten Halbjahr 2015

Wäscherei	Spez. Erdgas/Heizöl- Verbrauch [kWh/kg]	Spez. Elektrische Energiebedarf [kWh/kg]	Spez. Wasser- bedarf [l/kg]
Krankenhauswäsche	1,11	0,13	7,36
Hotelwäsche	0,85	0,13	10,10
Berufsbekleidung	0,94	0,14	3,84
Bewohnerwäsche	1,57	0,23	11,04
Vergleichswert optimierter Betrieb Matten, Handtuch- rollen und Wischbezüge	0,58	0,08	1,74

Vergleicht man die erreichten Kennwerte der IST-Analyse mit den im ersten Halbjahr 2015 erreichten Werten, sind deutlichere Veränderungen erkennbar. Wie **Tabelle 82** zeigt ist bei jeder Wäscherei mindestens ein Kennwert verbessert worden.

Die Wäscherei für Krankenhauswäsche hatte neben den Optimierungsmaßnahmen die Wäschemenge erhöht. Der Betrieb nutzt derzeit eine vierte Waschstraße sowie einen zweiten Tunnelfinisher. Die automatische Wäschezufuhr an einer Mangel für Großteile sollte ebenfalls den Mangelbelegungsgrad erhöht haben.

Die Wäscherei für Hotelwäsche hatte durch die Investition in die erdgasbeheizten Trockner und durch eine höhere Anlagenauslastung sehr niedrige Ergebnisse des spezifischen Erdgasverbrauch erzielt. Die höheren Strom- und Wasserverbräuche konnten im Gespräch mit der Wäscherei erklärt werden. Durch den Ausbau des Anteils der Bewohnerwäsche wurde weniger Wäsche mit weniger effizienten Waschschleudermaschinen, aber mit mehr Wasser gewaschen. Die zur Textilschonung der Bewohnerwäsche größere Flotte erhöhte den spezifischen Wasserbedarf. Zur Bewältigung der neuen Wäscheart wurden außerdem weitere Maschinen (elektrische Verbraucher) angeschafft und kleinere Waschschleudermaschinen gegen größere getauscht, was die spezifischen Kennwerte in der oben genannten Betriebsweise verschlechterte.

Tabelle 82: Prozentuale Veränderung der spezifischen Wasser- und Energieverbrauchswerte zwischen IST-Analyse und 1. Halbjahr 2015

Wäscherei	Veränderung spez. Erdgas/Heizöl- Verbrauch	Veränderung spez. Elektrische Energiebedarf	Veränderung spez. Wasserbedarf
Krankenhauswäsche	-8,4 %	-3,8 %	-8,0 %
Hotelwäsche	-35,5 %	+4,1 %	+15,9 %
Berufsbekleidung	+1,1 %	-10,7 %	-23,6 %
Bewohnerwäsche	-4,1 %	-17,9 %	-19,5 %
Vergleichswert optimierter Betrieb Matten, Handtuchrollen und Wischbezüge	-26 %	-4,1 %	-60,3 %

Die Wäscherei für Berufsbekleidung konnte den Erdgas/Heizöl-Verbrauch weitgehend konstant halten. Durch Optimierungen der Waschstraßenregelungen konnte der Wasserverbrauch gesenkt werden. Aufgrund der Struktur des Betriebes – Nutzung von Brunnenwasser und aufbereitetem Wasser – wirkt sich der gesunkene spezifische Wasserverbrauch direkt auf den Stromverbrauch aus. Der Aufwand für Pumpen, Druckluft etc. sinkt. Gleichzeitig sinkt die verfügbare Abwärme aus der Druckluft. Diese wird automatisch über Frischdampf mit Erdgas bzw. Heizöl kompensiert.

Die Wäscherei für Bewohnerwäsche hatte bei niedrigerer Wäschemenge den Erdgas/Heizölbedarf leicht senken können. Der in der Nachmessung stark erhöhte Mehrverbrauch ist bei längeren Betrachtungszeiträumen weggefallen. Durch Betriebsoptimierungen konnte der Betrieb den spezifischen Strombedarf und den spezifischen Wasserverbrauch deutlich senken. Gleichzeitig verfügt der Betrieb über das größte Einsparpotenzial von allen untersuchten Betrieben.

Aus **Tabelle 81** und **Tabelle 82** ist zu entnehmen, dass die in Phase I untersuchte Wäscherei eine klare Vorreiterrolle einnimmt. Die dort umgesetzten Maßnahmen sind zum heutigen Zeitpunkt nicht alle wirtschaftlich, zeigen jedoch auf, dass es auch in der Wäschereibranche bereits mittelfristig unvermeidlich zu den auch in **Kapitel 9.3.2.4.** beschriebenen ganzheitlichen Lösungsansätzen führen wird.

- Bereits im Abschlussgespräch mit den vier untersuchten Betrieben wurden Schwierigkeiten mit den lokalen Wasserversorgern geäußert. Die Sicherstellung der Wasserversorgung wird zur Entkoppelung von Wasserversorgung und Wasserbedarf im Betrieb führen. Die Lösung sind Wassertanks für alle relevanten Wasserqualitäten.
- Die Energiewende hin zu regenerativen Energien könnte zukünftig zu stark schwankenden Energiepreisen führen, so dass vernetzte Wäschereien mit regelbarer Last bzw. Maschinen mit verschiedenen Energiesystemen Vorteile generieren können. Systeme zur Energiespeicherung zur Lastverteilung könnten hier das Gegenstück zum Wasserspeicher bilden.
- „Industrie 4.0“ oder die Vernetzung von Anlagen und Maschinen ist bereits im vollen Gang. Neben potenziellen Risiken birgt die Vernetzung der Maschinen auch die Chance zur lastoptimierten und Abwärme optimierten Betriebsweise und die schnelle Reaktion auf Betriebsstörungen

10 Danksagung

Für die Förderung des Forschungsvorhabens DBU 28612 – sowohl in Phase I als auch in Phase II - danken wir der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). Ferner danken wir den Firmen Christeyns GmbH aus Offenburg und Burnus-Hychem (beide Waschmittellieferanten), sowie den Firmen Jensen-Group aus Harsum und Lavatec Laundry Technology GmbH aus Heilbronn (Maschinenhersteller) für die Bereitstellung von Versuchsmaterialien und die Begleitung der Arbeiten mit Beratung und Hilfe beim Transfer.

11 Literaturverzeichnis

1. **Deutscher Textilreinigungsverband e.V.** *Der DTV-Branchenbericht - Zahlen, Daten, Fakten.* Bonn : DTV, 2011.
2. **SN-Fachpresse Hamburg.** Larosé Niederlassung in Nonnweiler - Neues Energieeinsparkonzept in Nonnweiler macht Rekordwerte möglich. *WRP-Reportage Beiheft.* Januar 2010.
3. **C. Börs, W. Buschmeier.** *Modellhafte Demonstration einer energieeffizienten, kombinierten Rückgewinnung von Abwärme aus Waschschleudermaschinen und Trockneranlagen zum Aufheizen des Waschwassers in der Wäscherei".* Bad Iburg : DBU-Projekt AZ 28543, 2011.
4. **Bundesrepublik Deutschland.** TrinkV2013. 2013.
5. **Ammann, Daniel u. a.** RessEff Ressourceneffizienz in Textilreinigungen und Wäschereien. *Handbuch für die Praxis.* Bern : VTS, 2013. Internet-Download 2013 von www.textilpflege.ch/dienstleistung/ressourceneffizienz.html.
6. **Qualifizierungskampagne Erneuerbare Energien in Zusammenarbeit mit dem Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle Ulm e.V.** Die BHKW-Infothek. *8. Literatur, eBooks, Downloads.* [Online] 02 2010. [Zitat vom: 16. 09 2015.] <http://www.bhkw-infothek.de/wp-content/uploads/Mini-BHKW-Version-2010.pdf>.
7. **E-Mail, Imke Ritter Wäscherei Seidel per.** E-Mail Kesselspeisewasser . Garbsen : s.n., 2014.
8. **Viessmann GmbH.** Planungshandbuch Dampfkessel. Deutschland : s.n., 2011.

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eingesetzte Messgeräte	10
Tabelle 2: Eingesetzte Sensoren	12
Tabelle 3: Waschtechnik der der Wäscherei für Bewohnerwäsche	20
Tabelle 4: Trockner der Wäscherei für Bewohnerwäsche	21
Tabelle 5: Sonderbehandlung und sonstige Wäschereitechnik der Wäscherei für Bewohnerwäsche	21
Tabelle 6: Versorgungsanlagen der Wäscherei für Bewohnerwäsche	22
Tabelle 7: Berechnung jährlicher Heizölbedarf, Wäscherei für Bewohnerwäsche	29
Tabelle 8: Kennwerte Waschprozesse (Bezug 14h Waschzeit pro Tag, ohne Systemverluste Dampf)	34
Tabelle 9: Berechnung Stromverbrauch für die Wäscherei für Bewohnerwäsche	37
Tabelle 10: Analysenwerte der Wasserproben beim Waschen von Bewohnerwäsche	40
Tabelle 11: Programmablauf in WSR 1 zum Waschen von Bewohnerwäsche	42
Tabelle 12: Textilschädigung an Baumwolle, IST-Analyse, Alten- und Pflegeheimwäsche.....	48
Tabelle 13: Zusammenfassung Verbesserungen Wäscherei für Bewohnerwäsche	56
Tabelle 14: Laufzeitverteilung der Brennerstufen.....	59
Tabelle 15: Druckluft-Nachmessung, Wäscherei für Bewohnerwäsche.....	61
Tabelle 16: Waschtechnik Wäscherei für Berufsbekleidung	65
Tabelle 17: Trockner Wäscherei für Berufsbekleidung	66
Tabelle 18: Anlagen Sonderbehandlung und sonstige Wäschereitechnik, Wäscherei für Berufsbekleidung	67
Tabelle 19: Versorgungsanlagen, Wäscherei für Berufsbekleidung	67
Tabelle 20: Wäschedurchsatz der Waschstraßen, Wäscherei für Berufsbekleidung	69
Tabelle 21: Festlegung mittlere spezifische Wäschemasse, Wäscherei für Berufsbekleidung..	70
Tabelle 22: Ermittlung Tagesmangelleistung, Wäscherei für Berufsbekleidung	70
Tabelle 23: Berechnung jährlicher Energiebedarf, Wäscherei für Berufsbekleidung.....	81
Tabelle 24: Berechnung des elektrischen Verbrauchs, Wäscherei für Berufsbekleidung	89
Tabelle 25: Berechnung des Jahresstrombedarfs auf Basis von Wochendaten, Wäscherei für Berufsbekleidung	89
Tabelle 26: Betriebsstatus zur Ermittlung der Leckrate außerhalb der Betriebszeit, Wäscherei für Berufsbekleidung	91
Tabelle 27: Ermittlung Verluste außerhalb der Betriebszeit, Wäscherei für Berufsbekleidung..	91
Tabelle 28: Sekundärwascheffekte an Baumwolle, IST-Analyse, stark verschm. Berufsbekleidung weiß	100
Tabelle 29: Zusammenfassung für Verbesserungsmaßnahmen, Wäscherei für Berufsbekleidung	108
Tabelle 30: Vergleich Druckluftdaten IST-Analyse zu Nachmessung, Wäscherei für Berufsbekleidung	109
Tabelle 31: Vergleich WSM 2 IST-Werte zu Nachmessung und Einsparung, Wäscherei für Berufsbekleidung	111
Tabelle 32: Waschtechnik der Wäscherei für Krankenhauswäsche	114
Tabelle 33: Trockner der Wäscherei für Krankenhauswäsche	115
Tabelle 34: Anlagen zur Sonderbehandlung und sonstige Wäschereitechnik, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	117
Tabelle 35: Versorgungsanlagen der Wäscherei für Krankenhauswäsche	117
Tabelle 36: Wäschedurchsatz der WSR und aller WSM, Wäscherei für Krankenhauswäsche .	119
Tabelle 37: Ermittlung der Wäschemenge von Trockner 11 bis Trockner 17, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	120
Tabelle 38: Ermittlung des Wäschemassendurchsatzes der Mangeln, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	121
Tabelle 39: Ermittlung des Wäschemassendurchsatzes des Tunnelfinishers, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	121

Tabelle 40: spezifischer Energiebedarf bezogen auf die gesamte Wäschemenge, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	125
Tabelle 41: Berechnung des jährlichen Erdgasverbrauchs des Dampfkessels, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	126
Tabelle 42: Zählerstände Kesselspeisewasserverbrauch der Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	126
Tabelle 43: Berechnung des elektrischen Energiebedarfs, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	133
Tabelle 44: Leckkratenermittlung des Druckluftnetzes, Wäscherei für Krankenhauswäsche....	134
Tabelle 45: Analysewerte untersuchter Wasserproben der Waschstraßen, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	137
Tabelle 46: Analysenwerte untersuchter Wasserproben, Waschmaschine, sonstige Wässer, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	138
Tabelle 47: Sekundärwascheffekte an Baumwolle, IST-Analyse, Flachwäsche, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	144
Tabelle 48: Zusammenfassung Optimierungsmaßnahmen in der Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	152
Tabelle 49: Druckluftnachmessung, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	157
Tabelle 50: Leistungsermittlung Abwärmenutzung Trockenraum neu, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	159
Tabelle 51: Waschtechnik Wäscherei für Hotelwäsche.....	163
Tabelle 52: Trockner der Wäscherei für Hotelwäsche.....	164
Tabelle 53: Anlagen zur Sonderbehandlung, sonstige Wäschereitechnik, Wäscherei für Hotelwäsche.....	165
Tabelle 54: Versorgungsanlagen der Wäscherei für Hotelwäsche.....	165
Tabelle 55: Trinkwasserverbrauch am Hauptwasserzähler, Wäscherei für Hotelwäsche.....	167
Tabelle 56: Trinkwasserverbrauch nach Ultraschallmessung, Wäscherei für Hotelwäsche....	168
Tabelle 57: Ermittlung des mittleren Wasserverbrauchs von WSM 1 bis 8, Wäscherei für Hotelwäsche.....	168
Tabelle 58: Leistungsanteile der beiden Brennerstufen des Dampfkessels, Wäscherei für Hotelwäsche.....	173
Tabelle 59: Berechnung des jährlichen Erdgasverbrauchs des Dampfkessels, Wäscherei für Hotelwäsche.....	173
Tabelle 60: Jährlichen Betriebsstunden der elektrischen Verbraucher, Wäscherei für Hotelwäsche.....	180
Tabelle 61: Berechnung der jährlichen Stromverbräuche, Wäscherei für Hotelwäsche.....	180
Tabelle 62: Analysenwerte der untersuchen Wasserproben, Wäscherei für Hotelwäsche.....	183
Tabelle 63: Programmablauf in der Waschstraße, Wäscherei für Hotelwäsche.....	185
Tabelle 64: Sekundärwascheffekte an Baumwolle, IST-Analyse der Wäscherei für Hotelwäsche.....	192
Tabelle 65: Programmunterschiede von WSM 7 und 8, Wäscherei für Hotelwäsche.....	197
Tabelle 66: Zusammenfassung der Verbesserungsmaßnahmen, Wäscherei für Hotelwäsche	198
Tabelle 67: Programm 11 Ablauf und Messwerte in WSR 1 zum Waschen von Bewohnerwäsche.....	207
Tabelle 68: Übersicht der erfassten Wärmequellen in der Wäscherei Bewohnerwäsche mit Abwasser (ABW), Abluft oder Brüdenabluft (ABL), Kaltwasser (KW), Zuluft (ZL):.....	208
Tabelle 69: Übersicht der erfassten Wärmesenken in der Wäscherei Bewohnerwäsche mit Abwasser (ABW), Abluft oder Brüdenabluft (ABL), Kaltwasser (KW), Zuluft (ZL):.....	208
Tabelle 70: Maximale Ergebnisse der Pinchanalyse für 20 Kelvin Temperaturdifferenz.....	212
Tabelle 71: Wärmequellenstrom, Waschleistung Betriebszeit zur Ermittlung des Kennwerts für die ungenutzte spezifische Wärmequellenenergie mit einer Temperatur über 30°C.....	213
Tabelle 72: Einflussfaktoren auf effizienten Ressourceneinsatz in den untersuchten Wäschereibetrieben.....	215

Tabelle 73: Beispielrechnung Einsatz einer Hochtemperaturwärmepumpe für die Nutzung des Abwasserwärmestroms einer Waschstraße	221
Tabelle 74: Energiekostenvergleich Solar zu Wärmerückgewinnung im 1- bzw. 2-Schichtbetrieb	226
Tabelle 75: Empfohlene Gleichzeitigkeitsfaktoren für Druckluftverbraucher	228
Tabelle 76: Empfohlene Gleichzeitigkeitsfaktoren für Wasserverbraucher	228
Tabelle 77: Empfohlene Gleichzeitigkeitsfaktoren für Stromverbraucher	229
Tabelle 78: Empfohlene Gleichzeitigkeitsfaktoren für Erdgasverbraucher	229
Tabelle 79: Empfohlene Gleichzeitigkeitsfaktoren für Dampfverbraucher	229
Tabelle 80: Waschleistung und Energie- und Wasserverbräuche der vier untersuchten Wäschereien im ersten Halbjahr 2015	250
Tabelle 81: Spezifische Verbrauchskennwerte der untersuchten Wäschereien im ersten Halbjahr 2015	250
Tabelle 82: Prozentuale Veränderung der spezifischen Wasser- und Energieverbrauchswerte zwischen IST-Analyse und 1. Halbjahr 2015	251

13 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wasserverbrauchsmessung an einer Waschstraße mit Abwasserwärmetauscher	13
Abbildung 2: Beispielbilanzierung Dampfkessel	16
Abbildung 3: PCM S-55 Monitor.....	18
Abbildung 4: Gebäudeplan der Wäscherei für Bewohnerwäsche (nicht maßstabsgetreu)	23
Abbildung 5: Ablufttemperatur am Beispiel von Trockner 1 der Verbundtrockneranlage, Wäscherei für Bewohnerwäsche	24
Abbildung 6: Verteilung der Betriebszustände der Trockner der Verbundtrockneranlage.....	24
Abbildung 7: Wäschebilanz bei der IST-Analyse, Wäscherei für Bewohnerwäsche	25
Abbildung 8: Wasserbilanz der Wäscherei für Bewohnerwäsche	26
Abbildung 9: Schema Dampferzeugung / Kesselhaus der Wäscherei für Bewohnerwäsche.....	27
Abbildung 10: Schema Dampfverteilung in der Wäscherei für Bewohnerwäsche.....	27
Abbildung 11: Berechnete Brennerleistungen in Abhängigkeit zur Brennerstufe der beiden Dampfkessel der Wäscherei für Bewohnerwäsche	28
Abbildung 12: Leistungsverlauf der Gesamtfeuerungsleistung der Dampferzeugungsanlage der Wäscherei für Bewohnerwäsche	29
Abbildung 13: Diagramm Durchfluss Kesselspeisewasser, Wäscherei für Bewohnerwäsche ..	30
Abbildung 14: Dampfbilanz Wäscherei für Bewohnerwäsche im IST-Zustand	32
Abbildung 15: Bilanz Waschstraße, Wäscherei für Bewohnerwäsche.....	33
Abbildung 16: Bilanz Contrex-Anlage, Wäscherei für Bewohnerwäsche	33
Abbildung 17: Sammelbilanz WSM 6 und 7 der Wäscherei für Bewohnerwäsche.....	34
Abbildung 18: Sammelbilanz Verbundtrockneranlage Trockner 1 – 4, Wäscherei für Bewohnerwäsche	35
Abbildung 19: Bilanz Mangel 1, Wäscherei für Bewohnerwäsche.....	36
Abbildung 20: Bilanz Finisher 1, Wäscherei für Bewohnerwäsche	36
Abbildung 21: Druck- und Temperaturverlauf des einstufigen 11-kW-Kompressors, Wäscherei für Bewohnerwäsche	38
Abbildung 22: Energieflussdiagramm Druckluft für die Wäscherei für Bewohnerwäsche	39
Abbildung 23: Anlagenkonzeption Waschstraße, Wäscherei für Bewohnerwäsche	41
Abbildung 24: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Waschstraße bei Altenheim-Unterwäsche, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen.....	45
Abbildung 25: Schmutzentfernung unterschiedlicher Schmutzarten (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) in den Waschsleudermaschinen 1 bis 4 im Programm für Oberbekleidung aus Alten- und Pflegeheimen, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen	46
Abbildung 26: Schmutzentfernung unterschiedlicher Schmutzarten (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) in Waschsleudermaschine 5 im Programm Küchenwäsche, Mittelwerte aus 3 Versuchen	47
Abbildung 27: Schmutzentfernung unterschiedlicher Schmutzarten (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) in Waschsleudermaschine 7 im Programm für bunte, wollhaltige Alten-Pflegeheimwäsche, Mittelwerte aus 3 Versuchen	47
Abbildung 28: Schmutzentfernung (ΔY -Wert) aller eingesetzten Anschmutzungen für die untersuchten Maschinen, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen.....	48
Abbildung 29: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Waschstraße im Programm für Alten- und Pflegeheimwäsche in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl	49
Abbildung 30: Vorgeschlagene Optimierungsmaßnahmen Dampferzeugung (schematische Darstellung), Wäscherei für Bewohnerwäsche	51
Abbildung 31: Energiefluss Druckluft im Anlagen-Zielzustand, Wäscherei für Bewohnerwäsche	52
Abbildung 32: Wasserversorgung Waschstraße, Wäscherei für Bewohnerwäsche.....	55

Abbildung 33: Prinzipskizze Abwasserwärmepumpe mit Pufferspeicher.....	55
Abbildung 34: Speisewasservorratsbehälter mit Dampfheizung, Wäscherei für Bewohnerwäsche	58
Abbildung 35: Feuerungsleistung Dampfkessel vor und nach Optimierung, Wäscherei für Bewohnerwäsche	59
Abbildung 36: Leistungsverlauf Economiser am 1,25 t/h-Dampfkessel, Wäscherei für Bewohnerwäsche	60
Abbildung 37: Verhalten Druckluftanlage der Wäscherei für Bewohnerwäsche bei der IST- Analyse	61
Abbildung 38: Verhalten Druckluftanlage der Wäscherei für Bewohnerwäsche bei der Nachmessung	62
Abbildung 39: Gebäudeplan, Wäscherei für Berufsbekleidung (nicht maßstabsgetreu)	68
Abbildung 40: Wäschebilanz der Wäscherei für Berufsbekleidung	71
Abbildung 41: Wasserverbrauch WSM 2, Wäscherei für Berufsbekleidung.....	72
Abbildung 42: Wasserverbrauch WSM 1, Wäscherei für Berufsbekleidung.....	73
Abbildung 43: Teilgeöffneter Kugelhahn WSR 1, Wäscherei für Berufsbekleidung.....	74
Abbildung 44: Wasservolumenströme WSR 1, Wäscherei für Berufsbekleidung.....	75
Abbildung 45: Aufstellung Zählerwerte Wasserverbraucher und Wasserlieferanten, Wäscherei für Berufsbekleidung	76
Abbildung 46: Tagesbedarf Wasser Waschstraßen und Brunnen, Wäscherei für Berufsbekleidung	77
Abbildung 47: Wasserbilanz, Wäscherei für Berufsbekleidung	77
Abbildung 48: Schema des Dampfnetzes, Wäscherei für Berufsbekleidung	79
Abbildung 49: Dampferzeugung, Wäscherei für Berufsbekleidung	80
Abbildung 50: Dampfverteilung, Wäscherei für Berufsbekleidung	80
Abbildung 51: Feuerungsleistung Dampfkessel, Wäscherei für Berufsbekleidung	81
Abbildung 52: nicht isolierte Dampfleitung zu Trockner 1 und 3, Wäscherei für Berufsbekleidung	82
Abbildung 53: Dampfbilanz der Wäscherei für Berufsbekleidung	83
Abbildung 54: Energie- und Medienbilanz von WSR 1, Wäscherei für Berufsbekleidung	84
Abbildung 55: Energie- und Medienbilanz von WSR 2, Wäscherei für Berufsbekleidung	84
Abbildung 56: Energie- und Medienbilanz von WSM 1, Wäscherei für Berufsbekleidung.....	85
Abbildung 57: Energie- und Medienbilanz von WSM 2, Wäscherei für Berufsbekleidung.....	85
Abbildung 58: Energie- und Medienbilanz des Tunnelfinishers, Wäscherei für Berufsbekleidung	86
Abbildung 59: Bilanzierung Mangel 1, Wäscherei für Berufsbekleidung.....	87
Abbildung 60: Bilanzierung Mangel 2, Wäscherei für Bewohnerwäsche.....	87
Abbildung 61: Sammelbilanz der erdgasbeheizten 60-kg-Trockner (Trockner 2 und 4 - 8), Wäscherei für Berufsbekleidung	88
Abbildung 62: Viertelstunden-Leistungswerte elektrische Energie, Wäscherei für Berufsbekleidung	90
Abbildung 63: Druck und Betriebsstatus eines Kompressors der Wäscherei für Berufsbekleidung	91
Abbildung 64: Energiefluss Druckluftherzeugung der Wäscherei für Berufsbekleidung	92
Abbildung 65: Druckverlauf an pneumatisch ungünstigem Verbraucher, Wäscherei für Berufsbekleidung	92
Abbildung 66: Anlagenkonzeption Waschstraße WSR 2, Wäscherei für Berufsbekleidung.....	94
Abbildung 67: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschstraße WSR 2 bei stark verschmutzter Berufsbekleidung (weiß)..	98
Abbildung 68: Schmutzentfernung (ΔY -Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschstraße WSR 2 bei blauer Berufsbekleidung, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen.....	99

Abbildung 69: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Waschstraße bei normal verschmutzter weißer Berufsbekleidung (ohne Chlordosierung), Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen	100
Abbildung 70: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Waschstraße WSR 2 für stark verschmutzte weiße Berufskleidung in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl	101
Abbildung 71: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in WSM 1 für das Nachwaschprogramm Berufsbekleidung, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen.....	102
Abbildung 72: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in WSM 2 im Programm für Warnschutz-Berufsbekleidung, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen.....	103
Abbildung 73: Wasserverbrauch von WSM 2 während des Waschprogramms 14, Wäscherei für Berufsbekleidung	104
Abbildung 74: Zweite Ebene im Kesselhaus, Wäscherei für Berufsbekleidung.....	106
Abbildung 75: Wasserverbrauch WSM 2 IST-Analyse und Nachmessung, Wäscherei für Berufsbekleidung	110
Abbildung 76: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in WSM 2 im Programm für Berufsbekleidung, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen.....	111
Abbildung 77: Grundriss der Wäscherei für Krankenhauswäsche (nicht maßstabsgetreu).....	118
Abbildung 78: Wäschebilanz bei der IST-Analyse, Wäscherei für Krankenhauswäsche	122
Abbildung 79: Wasserbilanz der Wäscherei für Krankenhauswäsche	123
Abbildung 80: Temperaturverlauf des Dampfes am Dampfkessel, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	124
Abbildung 81: Leistungsverlauf Erdgas am Dampfkessel, Wäscherei für Krankenhauswäsche	126
Abbildung 82: Dampf Bilanz der Wäscherei für Krankenhauswäsche	127
Abbildung 83: Bilanz Waschstraße 1 der Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	128
Abbildung 84: Bilanz Waschstraße 2 der Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	128
Abbildung 85: Bilanz Waschstraße 3 der Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	129
Abbildung 86: Sammelbilanz für WSM 1 bis 8, Wäscherei für Krankenhauswäsche	129
Abbildung 87: Stoff- und Energiebilanz von Mangel 1, Wäscherei für Krankenhauswäsche ...	130
Abbildung 88: Stoff- und Energiebilanz von Mangel 2, Wäscherei für Krankenhauswäsche ...	130
Abbildung 89: Stoff- und Energiebilanz von Mangel 3, Wäscherei für Krankenhauswäsche ...	131
Abbildung 90: Fiktive Energiebilanz Trockner 10 ohne WRG, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	132
Abbildung 91: Energiebilanz Trockner 10 mit WRG, Wäscherei für Krankenhauswäsche	132
Abbildung 92: Netzdruck der Druckluft im IST-Zustand, Wäscherei für Krankenhauswäsche	135
Abbildung 93: Energieflussdiagramm Druckluft für Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	135
Abbildung 94: Druckverlauf am ungünstigsten Druckluftverbraucher, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	136
Abbildung 95: Anlagenkonzeption der Waschstraßen WSR 1 und 2, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	139
Abbildung 96: Anlagenkonzeption von Waschstraße WSR 3, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	140
Abbildung 97: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschstraße WSR 1, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	142
Abbildung 98: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschstraße WSR 2, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	143

Abbildung 99: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschstraße WSR 3, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	143
Abbildung 100: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschmaschine WSM 1 Kopfkissen, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	144
Abbildung 101: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Waschstraße WSR 1 für Flachwäsche in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	145
Abbildung 102: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Waschstraße WSR 2 für Flachwäsche in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	146
Abbildung 103: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Waschstraße WSR 3 für Flachwäsche in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	146
Abbildung 104: Energieflussdiagramm für Druckluft nach Optimierung, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	151
Abbildung 105: Druckluftnetz mit Erweiterung, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	151
Abbildung 106: Neues Trocknerkonzept für Trockner-Gruppe "Altenheim", Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	154
Abbildung 107: Luftführung des Trockenraumes, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	155
Abbildung 108: Beispielhaftes Schema zur Abwärmenutzung aus der Abluft einer Mangel, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	156
Abbildung 109: Leistungsverlauf Dampfkessel vor und nach Optimierung, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	157
Abbildung 110: Vergleich Druckverlauf und Liefermenge IST-Analyse und Nachmessung, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	158
Abbildung 111: Temperatur- und Volumenstrom Zuluft Trockenraum, Wäscherei für Krankenhauswäsche.....	159
Abbildung 112: Vergleich Trocknungsprozess 60 kg- und 90 kg-Trockner, Wäscherei für Krankenhaus-wäsche.....	161
Abbildung 113: Grundriss, nicht maßstäblich, Wäscherei für Hotelwäsche.....	166
Abbildung 114: Wäschebilanz der Wäscherei für Hotelwäsche.....	167
Abbildung 115: Ausschnitt aus der Erfassung des Betriebsstatus der Druckerhöhung, Wäscherei für Hotelwäsche.....	168
Abbildung 116: Wasserbilanz der Wäscherei für Hotelwäsche.....	170
Abbildung 117: Dampfschema Wäscherei für Hotelwäsche.....	171
Abbildung 118: Aufbau des Erdgasnetzes, Wäscherei für Hotelwäsche.....	172
Abbildung 119: Dampfbilanz Wäscherei für Hotelwäsche.....	174
Abbildung 120: Bilanz Waschstraße, Wäscherei für Hotelwäsche.....	175
Abbildung 121: Sammelbilanz WSM 1 bis 8 ohne 4, Wäscherei für Hotelwäsche.....	175
Abbildung 122: Wasser- und Energiebilanz Mangel 1, Wäscherei für Hotelwäsche.....	176
Abbildung 123: Wasser- und Energiebilanz Mangel 2, Wäscherei für Hotelwäsche.....	176
Abbildung 124: Sammelbilanz Wasser und Energie Trockner 5 bis 8, Wäscherei für Hotelwäsche.....	177
Abbildung 125: Wasser- und Energiebilanz Trockner 9, Wäscherei für Hotelwäsche.....	178
Abbildung 126: Wasser- und Energiebilanz Trockner 4, Wäscherei für Hotelwäsche.....	179
Abbildung 127: Anlagenkonzeption Waschstraße, Wäscherei für Hotelwäsche.....	184
Abbildung 128: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Waschstraße bei Bettwäsche, Parameter Flottentemperatur, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Hotelwäsche.....	189

Abbildung 129: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschmaschine 1 bei Bettwäsche, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Hotelwäsche.....	190
Abbildung 130: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschmaschine 2 bei hell-bunter Bewohnerwäsche, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Hotelwäsche.....	190
Abbildung 131: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschmaschine 3 bei hell-bunter Bewohnerwäsche, Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Hotelwäsche.....	191
Abbildung 132: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschmaschine 4 (Tischdecken, 60 °C), Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Hotelwäsche.....	191
Abbildung 133: Schmutzentfernung (ΔY-Wert \pm Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Waschmaschine 5 (Tischdecken, 75 °C), Mittelwerte aus 3 Versuchsreihen, Wäscherei für Hotelwäsche.....	192
Abbildung 134: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Waschstraße im Programm für Bettwäsche in Abhängigkeit von der Waschzyklenzahl, Wäscherei für Hotelwäsche.....	193
Abbildung 135: Neue Abwärmenutzung zur Erwärmung von Waschwasser, Wäscherei für Hotelwäsche.....	195
Abbildung 136: Vergleich 4 dampfbeheizten Trockner zu 3 erdgasbeheizten Trocknern, Wäscherei für Hotelwäsche.....	199
Abbildung 137: Spezifischer elektrischer Energieverbrauch der untersuchten Wäschereien .	201
Abbildung 138: Spezifische elektrische Leistungen aller untersuchten Wäschereibetriebe....	202
Abbildung 139: Effizienz der Kompressoren in den untersuchten Wäschereien.....	202
Abbildung 140: Eingesetzte elektrische Leistung der Kompressoren bezogen auf die Jahreswäschemenge	203
Abbildung 141: Spezifischer Frischwasserbedarf für die untersuchten Wäschereien.....	204
Abbildung 142: Spezifischer Wärmebedarf für Erdgas bzw. Heizöl der untersuchten Wäschereibetriebe.....	204
Abbildung 143: Vergleich der mittleren Brennerauslastung	205
Abbildung 144: Verhältnis thermischer zu elektrischer Energiebedarf für die untersuchten Wäschereibetriebe.....	206
Abbildung 145: Wäscherei Bewohnerwäsche Compositekurven der Wärmesenken und Wärmequellen und verschobene Wärmesenkenkurve mit Pinch und Enthalpiestrom der Wärmerückgewinnung	209
Abbildung 146: Wäscherei Berufsbekleidung Compositekurven der Wärmesenken und Wärmequellen und verschobene Wärmesenkenkurve mit Pinch und Enthalpiestrom der Wärmerückgewinnung	210
Abbildung 147: Wäscherei Krankenhauswäsche Compositekurven der Wärmesenken und Wärmequellen und verschobene Wärmesenkenkurve mit Pinch und Enthalpiestrom der Wärmerückgewinnung	211
Abbildung 148: Wäscherei Hotelwäsche Compositekurven der Wärmesenken und Wärmequellen und verschobene Wärmesenkenkurve mit Pinch und Enthalpiestrom der Wärmerückgewinnung	212
Abbildung 149: Vergleich zwischen Impuls- und Zählwerkwerten eines Erdgaszählers	219
Abbildung 150: Vergleich Flach- zu Röhrenkollektor	225
Abbildung 151: winterlicher Sonnenverlauf für Standort Würzburg, http://cgi.stadtklima-stuttgart.de/mirror/sonne.exe.....	225
Abbildung 152: sommerlicher Sonnenverlauf für Standort Würzburg	225
Abbildung 153: Grundsatz der Anlagenoptimierung	230
Abbildung 154: Vorhandene Wasserqualitäten in Wäschereien (qualitative Darstellung).....	230
Abbildung 155: Lösungsbeispiel ganzheitliche Wasser- und Abwärmenutzung	234

Abbildung 156: Vorschlag zur optimierten Luftnutzung des Druckluftherzeugers.....	235
Abbildung 157: Bildausschnitt Eingabefeld für erdgasbeheizte Trockner	238
Abbildung 158: Bildausschnitt der Ausgabedaten für einen erdgasbeheizten Trockner.....	239
Abbildung 159: Bildausschnitt Ausgabe der zugeführten Energie und der Abwärme in der Abluft für alle erdgasbeheizten Trockner	239
Abbildung 162 Eingabemaske Datenerfassung	241
Abbildung 163 Eingabemaske Datenerfassung (II).....	242
Abbildung 164: Datenauswertungsmöglichkeiten für Wäschereien.....	244
Abbildung 165: Verbrauchsdatenauswertung einer Wäscherei	245
Abbildung 166: Vergleich des spez. Wasserverbrauchs mit anderen Wäschereien.....	246
Abbildung 167: Vergleich des spez. Wasserverbrauchs mit anderen Betrieben gleicher Wäscheart.....	247
Abbildung 168: Ökobenchtool – Meine Daten.....	249

14 Anhang

Anhang A9-1 Screenshot der Nutzeroberfläche des Tools

Anhang A9-2 Screenshot der Nutzeroberfläche des Modul Erdgastrockner