



## **Abschlussbericht**

# **Erstellung eines Handbuches zur Energieeinsparung in Textilreinigungen**

**Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Aktenzeichen: 32093/01-24/2)**

**Projektlaufzeit: 21.06.2015 – 31.12.2017**

**durchgeführt von:**



**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



<b>AZ 32093/01</b>	<b>Referat -24/2</b>	<b>Fördersumme</b>	<b>325.020 €</b>
<b>Antragstitel</b>	<b>Erstellung eines Handbuches zur Energieeinsparung in Textilreinigungen</b>		
<b>Stichworte</b>	Textilreinigung, Energieeinsparung, Reinigung, Finishen, Ganzheitlichkeit, Handbuch		
Laufzeit <b>30 Monate</b>	Projektbeginn <b>21.06.2015</b>	Projektende <b>31.12.2017</b>	Projektphase(n)
<b>Zwischenberichte</b>			
<b>Bewilligungsempfänger</b>	<b>Deutscher Textilreinigungs-Verband e.V.</b> In der Raste 12 53129 Bonn	Tel 0228 / 91731-0 Fax 0228 / 91731-20 Projektleitung: <b>Herr Marco Seifen (DTV)</b> Bearbeiter: Hans G. Hloch, Michael Tokos (wfk), Michael Deichsel, Gottfried Hilburger (TH Nürnberg)	
<b>Kooperationspartner</b>	<b>wfk – Cleaning Technology Institute e.V.</b> Campus Fichtenhain 11, 47807 Krefeld, 02151/8210-0 <b>Institut für Energie und Gebäude der Technischen Hochschule Nürnberg „Georg Simon Ohm“</b> Keßlerplatz 12, 90489 Nürnberg, 0911/5880-1342 bzw. -1850		
<b>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</b>			
<p>Ziel des Projektes war die Erstellung eines für Praktiker anwendbaren Handbuches mit Handlungsempfehlungen zur Umsetzung energie- und wassersparender Maßnahmen in Textilreinigungsbetrieben, die gegenüber Wasser empfindliche Textilien überwiegend mit organischen Lösemitteln behandeln. Für diese Betriebe sollten Möglichkeiten zur nachhaltigen Steigerung der Energieeffizienz durch Energieeinsparung und Prozessoptimierungen aufgezeigt werden. Dabei sollte neben reduziertem Energieeinsatz und Wassereinsatz (in Betrieben mit herkömmlicher Lösemittelreinigung und Nassreinigung) gleichzeitig die Reinigungsqualität zur Ausweitung des Kundenstammes der Betriebe verbessert werden.</p> <p>Im Bereich der Textilreinigung gab es bisher einerseits unzureichende Daten zum Energieeinsatz, andererseits wies eine hohe Schwankungsbreite der Verbrauchswerte auf unzureichende Umsetzung möglicher Einspartechnologien in den Betrieben hin. Ursache waren fehlende, allgemein zugängliche Untersuchungen, in denen exemplarisch für die typischen Strukturen von Textilreinigungsbetrieben anhand von Pilotbetrieben mögliche Einsparungen im Gesamtbetrieb unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Qualität der Reinigung aufgezeigt wurden. Es gab lediglich für einzelne Bearbeitungsphasen bzw. Maschinensysteme unterschiedlichste Empfehlungen zur Ressourceneinsparmaßnahmen, die durch konstruktions-, verfahrens- und steuerungstechnische Neuentwicklungen umgesetzt werden konnten. Deren Effektivität und insbesondere deren Auswirkung auf die Reinigungs- und Finishqualität war jedoch entweder unzureichend nachgewiesen oder wurde vollkommen ignoriert. Untersuchungen des gesamten Reinigungsbetriebes fehlten. Die Auswirkung von Einsparmaßnahmen auf vor- und nachgeschaltete Bearbeitungsstufen und -verfahren blieb unberücksichtigt. Dies galt auch für Dampferzeugung und -versorgung sowie die Kälteerzeugung und -versorgung der Maschinen.</p>			
<small>Deutsche Bundesstiftung Umwelt □ An der Bornau 2 □ 49090 Osnabrück □ Tel 0541/9633-0 □ Fax 0541/9633-190 □ <a href="http://www.dbu.de">http://www.dbu.de</a></small>			

### **Arbeitsschritte und angewandte Methoden**

Die angeführten Einsparungen und die zur Erstellung des Handbuches in Textilreinigungen erforderlichen Daten und Zusammenhänge zur ganzheitlichen Betrachtung wurden über Praxisdaten aus Pilotbetrieben ermittelt und exemplarisch aufgezeigt. Zusätzlich wurden weitere Daten sowie Maschinen- und Verfahrensoptimierungen über Technikumsversuche unter Berücksichtigung der Reinigungs- und Finishqualität erarbeitet.

Dies wurde durch folgende Arbeitsschritten erreicht: Auswahl von Pilotbetrieben und IST-Analyse des Energieeinsatzes in den Pilotbetrieben, Erarbeitung technischer Möglichkeiten zur Energieeinsparung, Untersuchungen zur Energiereduzierung durch Lösemittelauswahl, Untersuchungen zur Energiereduzierung durch reduzierten Destillationsanteil und durch Sprühreinigungsverfahren, Berechnungen zur Energiereduzierung durch zentrale/dezentrale Beheizung von Einzel-Finishgeräten, Untersuchungen zur Energiereduzierung von Finishgeräten durch reduzierten Sprühdampfeinsatz, Untersuchungen zur Energiereduzierung beim Waschen durch Verwendung von Reinigungsmaschinenkühlwasser, Vorschläge zum Transfer der Lösungsansätze in die Textilreinigungen sowie Erarbeitung eines Handbuches und Erstellung einer Homepage zur Einführung energie- und wassersparender Maßnahmen in Textilreinigungen.

### **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentationen**

Das Handbuch zur Energieeinsparung in der Textilreinigung befindet sich auf der Homepage [www.energiesparhandbuch.de](http://www.energiesparhandbuch.de). Außerdem kann eine Papierversion des Handbuches beim Projektleiter DTV angefordert werden. Der ausführliche Abschlussbericht kann auf der Homepage der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) und des Deutschen Textilreinigungsverbandes (DTV) heruntergeladen werden.

### **Vorträge**

- HILBURGER, G., TOKOS, M., DTV-Ausschuss Technik + Umwelt, Coburg, November 2016
- HILBURGER, G., International Detergency Conference, Düsseldorf, April 2017
- HILBURGER, G., TOKOS, M., DTV-Obermeistertagung, Frankfurt, Januar 2017
- SEIFEN, M., DTV-Verbandstag, Starnberg, September 2017
- TOKOS, M., DTV-Verbandstagung, Köln, Februar 2018
- TOKOS, M., DTV Verbandstagung, Osnabrück, März 2018

### **Publikationen**

- TOKOS, M., HLOCH, H.G., BOHNEN, J., Erstellung eines Handbuches zur Energieeinsparung in Textilreinigungen/Development of a handbook for energy savings in dry cleaning enterprises, wfk-news 3 (2016), 8-11
- TOKOS, M., HLOCH, H.G., BOHNEN, J., Erstellung eines Handbuches zur Energieeinsparung in Textilreinigungen/Development of a handbook for energy savings in dry cleaning enterprises, wfk-news 4 (2017), 9-11
- TOKOS, M., HLOCH, H.G., BOHNEN, J., Handbuch zur Energieeinsparung in Textilreinigungen, WRP-Textilpflege, Oktober 2017

Des Weiteren gibt es einen intensiven Ergebnisaustausch mit der Handwerkskammer Hamburg, die in der Mittelstandsinitiative Energiewende die Einsparungen in Textilreinigungen betreut.

### **Fazit**

Die Untersuchungen in den Pilotbetrieben zeigten, dass in allen Reinigungsbetrieben teilweise erhebliche Energie und Ressourceneinsparungen realisierbar waren. Je mehr die Ganzheitlichkeit (d.h. über die Prozessgrenzen hinaus) berücksichtigt wird, umso größer ist das mögliche Einsparpotential. Unabhängig von der Betriebsgröße wurde eher besonderer Wert auf die Reinigungs- und Finishqualität gelegt. Aufgrund des hohen Privatkundenwarenteils werden die Maschinen in kleineren Betrieben teilweise deutlich unterbeladen: Bei Einhaltung der vom Hersteller vorgegebenen Beladungsmenge kann problemlos und effizient Energie eingespart werden. Dies zeigten auch die Technikumsversuche.

Zusätzlich wurde festgestellt: die Lösemittelauswahl und die Badzahlreduzierung von 1 auf 2 haben kaum Einfluss auf den Energiebedarf und beim Finishen nassgereinigter Ware kann Energieeinsparung durch Sprühdampfdeuzierung erreicht werden. Die Verringerung des Destillationsanteils wird aufgrund verringerter Reinigungsqualität nicht empfohlen. Die Sprühreinigung ist nur für leicht verschmutzte Ware geeignet.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Generelle Situation .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>Derzeitige Energieeinsparmaßnahmen in Reinigungsbetrieben .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Generelle Energieeinsparmaßnahmen.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1.1</b>	<b>Lösemittleinsatz.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1.2</b>	<b>Sprühreinigungsverfahren .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.1.3</b>	<b>Finishbereich .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1.4</b>	<b>Kühlwasserverwendung.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Auswirkungen von Energieeinsparmaßnahmen auf die Reinigungsqualität ...</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Untersuchungen an Reinigungsmaschinen .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Durchführung.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Durchführung der IST-Analyse .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Allgemeine Beschreibung.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Erfassung der Energie- und Stoffströme .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.2.1</b>	<b>Warenströme.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.2.2</b>	<b>Lösemittleigenschaften und -qualität.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.2.3</b>	<b>Wassereinsatz.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.2.4</b>	<b>Wärmeerzeugung.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.2.5</b>	<b>Druckluft.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.2.6</b>	<b>Elektrische Energie .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Erfassung von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Reinigungsqualität .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.3.1</b>	<b>Charakterisierung Wasserqualitäten.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.3.2</b>	<b>Charakterisierung Lösemittelqualität.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.3.3</b>	<b>Erfassung der Reinigungseffekte.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.3.4</b>	<b>Erfassung der Trocknungseffekte.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.3.5</b>	<b>Bestimmung der Textilrestfeuchte .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.3.6</b>	<b>Bewertung des Glätteergebnis und der Finishqualität .....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>Untersuchungen in Textilreinigungsbetrieben .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Auswahl von Pilotbetrieben .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2</b>	<b>Betrieb A - Kleinbetrieb mit einer Reinigungsmaschine und Finishbereich ...</b>	<b>24</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Allgemeine Daten des Reinigungsbetriebes.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2.2</b>	<b>IST-Analyse Reinigungsbetrieb A.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2.2.1</b>	<b>Erfassen der Energie- und Massenströme.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2.2.2</b>	<b>Elektrische Energie .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2.2.3</b>	<b>Energiebilanz der Textilreinigungsmaschine .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Prozessparameter und ihre Auswirkungen auf die Textilien.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2.3.1</b>	<b>Wasserqualitäten .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2.3.2</b>	<b>Beschreibung von Reinigungs- und Trocknungsprozess .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2.3.3</b>	<b>Schmutzentfernung .....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.3.4</b>	<b>Vergrauung .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2.3.5</b>	<b>Glätteergebnis .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Optimierungsvorschläge Reinigungsbetrieb A .....</b>	<b>41</b>

4.2.4.1	Textilreinigungsmaschine einschließlich Adsorption.....	42
4.2.4.2	Wärmeerzeugung und Verteilung.....	43
4.2.4.3	Kühlwassermanagement.....	44
4.2.4.4	Bügeleisen/-tisch.....	45
4.3	<b>Betrieb B - Mittlerer Textilreinigungsbetrieb mit 2 bis 3 Reinigungsmaschinen, einer Nassreinigungsmaschine und Finishbereich.....</b>	<b>47</b>
4.3.1	Allgemeine Daten des Reinigungsbetriebes.....	47
4.3.2	IST-Analyse Reinigungsbetrieb B.....	48
4.3.2.1	Erfassen der Energie- und Massenströme.....	48
4.3.2.2	Elektrische Energie .....	52
4.3.2.3	Energiebilanz der Textilreinigungsmaschine .....	58
4.3.3	Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien ...	59
4.3.3.1	Wasserqualitäten .....	59
4.3.3.2	Beschreibung von Reinigungs- und Trocknungsprozessen .....	59
4.3.3.3	Schmutzentfernung .....	61
4.3.3.4	Vergrauung .....	64
4.3.3.5	Glätteergebnis .....	65
4.3.4	Optimierungsvorschläge Reinigungsbetrieb B .....	65
4.3.4.1	Textilreinigungsmaschine.....	66
4.3.4.2	Wärmeerzeugung und Verteilung.....	67
4.3.4.3	Kühlwassermanagement.....	68
4.3.4.4	Bügeleisen/-tisch.....	68
4.3.4.5	Druckluft.....	69
4.4	<b>Betrieb C - Kleinbetrieb mit Reinigungsmaschine, einer Nassreinigungsmaschine mit Finishbereich und ein bis zwei kleineren Waschmaschinen .....</b>	<b>70</b>
4.4.1	Allgemeine Daten.....	70
4.4.2	IST-Analyse Reinigungsbetrieb C.....	73
4.4.2.1	Erfassen der Energie- und Massenströme.....	73
4.4.2.2	Elektrische Energie .....	80
4.4.2.3	Energiebilanz der Textilreinigungsmaschine .....	85
4.4.3	Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien ...	86
4.4.3.1	Wasserqualitäten .....	86
4.4.3.2	Beschreibung von Reinigungs- und Trocknungsprozessen .....	87
4.4.3.3	Schmutzentfernung .....	91
4.4.3.4	Vergrauung .....	95
4.4.3.5	Glätteergebnis .....	96
4.4.4	Optimierungsvorschläge Reinigungsbetrieb C .....	96
4.4.4.1	Textilreinigungsmaschine.....	96
4.4.4.2	Wärmeerzeugung und Verteilung.....	97
4.4.4.3	(Kühl)wassermanagement .....	98
4.5	<b>Betrieb D - Größerer Textilreinigungsbetrieb mit mehreren Wetcleanmaschinen, mehr als 3 Reinigungsmaschinen und Bearbeitung von Industrietextilien wie Schutzkleidung, Blaumänner und Finishbereich.....</b>	<b>103</b>
4.5.1	Allgemeine Daten.....	103
4.5.2	IST-Analyse Reinigungsbetrieb D.....	105

4.5.2.1	Erfassen der Energie- und Massenströme.....	105
4.5.2.2	Elektrische Energie .....	108
4.5.2.3	Energiebilanz der Textilreinigungsmaschinen .....	113
4.5.3	Prozessparameter und ihre Auswirkungen auf die Textilien.....	115
4.5.3.1	Wasserqualitäten .....	115
4.5.3.2	Beschreibung von Reinigungs- und Trocknungsprozessen .....	116
4.5.3.3	Schmutzentfernung .....	119
4.5.3.4	Vergrauung .....	121
4.5.3.5	Glätteergebnis .....	122
4.5.4	Optimierungsvorschläge Reinigungsbetrieb D .....	122
4.5.4.1	Textilreinigungsmaschine (100-kg-TRM) .....	122
4.5.4.2	Dampferzeugung und -verteilung .....	123
4.5.4.3	Druckluftherzeugung und -verteilung.....	124
5	Untersuchungen zur Energiereduzierung.....	125
5.1	Lösemittelauswahl.....	125
5.1.1	Eingesetztes Reinigungsprogramm .....	129
5.1.2	Ergebnisse .....	131
5.2	Reduzierung des Destillationsanteils.....	134
5.3	Sprühreinigungsverfahren.....	136
5.4	Zentrale/Dezentrale Beheizung von Einzel-Finishgeräten .....	140
5.5	Reduzierung des Sprühdampfeinsatzes beim Finishen .....	143
5.6	Verwendung von Reinigungsmaschinenkühlwasser zum Waschen .....	147
6	Zusammenfassung und Kennzahlen.....	149
6.1	Kennzahlen Textilreinigungsmaschine .....	149
6.2	Kennwerte Wäschetrockner.....	151
6.3	Kennwerte Finishprozesse .....	151
6.4	Kennwerte Gesamtbetriebe .....	152
7	Erarbeitung Handbuch .....	153
8	Durchführung eines Wettbewerbs.....	156
9	Danksagung .....	157
10	Literaturverzeichnis.....	158
11	Tabellenverzeichnis.....	160
12	Abbildungsverzeichnis.....	161

## 1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Es gibt etwa 2.100 Textilreinigungsbetriebe in Deutschland, die im Wesentlichen mit organischen Lösemitteln gegenüber Wasser empfindliche Textilien reinigen und glätten. Zusätzlich werden geringe Mengen an Textilien mit Wasser behandelt [1]. Die Betriebe werden durch Kostensteigerungen für Energie und Rohstoffe sowie Löhne und hohen Preisdruck belastet. Die Textilreiniger versuchen deshalb, diese Kostensteigerungen durch Rationalisierungen und Prozessoptimierungen aufzufangen. Eine bislang wenig genutzte Möglichkeit ist die Optimierung des Medien- und Energieeinsatzes durch effiziente Gestaltung aller Prozesse. Die Kosten für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe liegen derzeit, bezogen auf den Umsatz, bei etwa 14 %. Die derzeitige Datenlage bezüglich der Teilnahme von Textilreinigungen am Ökobench (2) zeigt allerdings im Gegensatz zu den Wäschereibetrieben nur eine sehr geringe Anzahl an teilnehmenden Betrieben.

Orientierende Vorrecherchen der Antragsteller zeigten, dass der elektrische Energiebedarf von Textilreinigungen, abhängig von Wäscheanfall und Maschinenpark, mit 35.000 bis 180.000 kWh/a (50 Wochen/a, Betriebsdauer 5 bis 12 h/d) anzusetzen ist. Die installierte elektrische Leistung einer typischen Textilreinigung (Kapazität: 6.000 Reinigungsteile/Monat und 6.000 Oberhemden/Monat) liegt bei 85 kW, der el. Energiebedarf pro Tag zwischen 40 und 80 kWh. Damit werden eine Reinigungsmaschine, eine Kleingewerbewaschmaschine, ein Trockner, ein Dämpfer und eine Pressenstation betrieben. Die typische Maschinenkapazität der Reinigungsmaschine liegt bei 16 kg, der el. Energiebedarf pro Charge um 12 bis 15 kWh (kontinuierliche Destillation; höhere Werte bei KWL, niedrigere bei PER als Lösemittel) und der Kühlwasserbedarf bei 210 bis 270 l/Charge.

Den aktuellen Lösungen, die den Stand der Technik darstellen, fehlt eine gesamtheitliche Betrachtung der Energie- und Stoffströme. Derzeit werden für einzelne Bearbeitungsphasen bzw. Maschinensysteme durch konstruktive sowie durch verfahrens- und steuerungstechnische Neuentwicklungen Energie- und Ressourceneinsparungen erzielt, deren Auswirkungen auf den Gesamtbetrieb nicht untersucht sind. Es werden zwar von den Maschinenherstellern oder Einzelbetrieben unterschiedliche Einsparmaßnahmen propagiert, deren Effektivität und insbesondere deren Auswirkung auf die Reinigungs- und Finishqualität ist jedoch entweder unzureichend nachgewiesen oder wird vollkommen ignoriert.

Zusammenfassend lagen folgende Defizite vor:

- Fehlende Daten bzw. Untersuchungen über den derzeitigen Energieeinsatz von Textilreinigungsbetrieben unter Berücksichtigung von Gesamtbetrieb und der eingesetzten Energieerzeugung und Maschinenteknik mit zugehörigen Größenordnungen der Kosten,
- Einführung ausgewählter, spezieller Energieeinsparmaßnahmen, die sich nur auf Einzelaspekte (z.B. Energieerzeugung, Finishgeräte, Reinigungsmaschine) ohne Berücksichtigung des Gesamtenergiebedarfs des Betriebes beziehen,
- Ersatz der herkömmlichen zentralen Wärmeenergieerzeugung mittels Schnelldampferzeuger (Heizöl-, Erdgas oder elektrisch beheizt) durch dezentral beheizte Maschinen (elektrisch) ohne Berücksichtigung des Gesamtenergiebedarfs des Betriebes,
- Diskussion über energiesparende Reinigungsverfahren ohne Lösemitteldestillation (teilweise ohne Flottenfiltration und Reinigungsverstärker) und sogenannte „Sprühreinigungsverfahren“, bei denen der Lösemittelsatz auf das Besprühen der Textilien mit Flotte begrenzt ist, wobei bisher keine neutralen Untersuchungen über die damit erzielbare Reinigungsqualität durchgeführt wurden,
- Fehlende Daten bzw. Untersuchungen zum Energie- und Ressourceneinsatz für die Erzeugung von Wärme und Kühlung bzw. Kälte unter Berücksichtigung gekoppelter Erzeugung von Wärme und Kälte unter Einsatz eines Wärmepumpen- bzw. Kältemaschinenkreislaufes

- Empfehlungen seitens der Maschinenhersteller zu Finishverfahren ohne bzw. mit reduziertem Sprühdampf ohne nachgewiesene Einhaltung der Finishqualität,
- Zunehmender Einsatz von Waschverfahren (textilschonende Nassreinigung), die eine Weiterverwendung von Reinigungsmaschinen-Kühlwasser oder Kondensat zum Waschen ermöglicht und die ggf. den Wegfall energieintensiver Finish-/Dämpfgeräte erlaubt (fehlende Untersuchungen zum Einsparpotenzial, Grenzen der Anwendung unter Berücksichtigung von Waschqualität und Textilschonung) und
- Das Fehlen geeigneten Informationsmaterials, z.B. in Form eines Handbuches, zum Aufzeigen von Energie- und Wassereinsparmöglichkeiten unter Berücksichtigung von Betriebsgröße, Maschinenpark (Zahl und Art der eingesetzten Maschinen für Reinigung und Finishen) und des Anteils an nassgereinigter Ware sowie der dabei erzielbaren Wasch-, Reinigungs- und Finishqualität.

## **2 Stand der Technik**

### **2.1 Generelle Situation**

Derzeit gibt es etwa 2.100 Textilreinigungsbetriebe in Deutschland, die im Wesentlichen mit organischen Lösemitteln gegenüber Wasser empfindliche Textilien reinigen und glätten. Zusätzlich werden ggf. kleinere Chargen mit Wasser behandelt. Die Betriebe werden durch Kostensteigerungen für Energie und Rohstoffe sowie Löhne und hohen Preisdruck belastet. Die Textilreiniger müssen daher versuchen, diese Kostensteigerungen durch Rationalisierungen und Prozessoptimierungen aufzufangen. Dies betrifft u.a. den optimalen Einsatz von Energie, Wasser (meist Kühlwasser) und anderen Ressourcen durch effiziente Gestaltung aller Prozesse. Erreicht wurde dies z.B. durch Prozessoptimierung bei den vorhandenen Reinigungs- und Finishmaschinen, Einsatz neuer, energieeffizienterer Maschinenteknik und/oder verbesserte Verfahrensabläufe. Letzteres schließt die Wärmeenergieerzeugung und -verteilung innerhalb des Betriebes ein. Zur Unterstützung hat der DTV das Benchmarkingprojekt „Ökobench“ entwickelt [2], in dem sich DTV-Mitgliedsunternehmen anonym hinsichtlich ihres Energie-, Wasser- und Reinigungsmittelverbrauchs mit anderen Betrieben vergleichen können. Die Kosten für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe liegen derzeit, bezogen auf den Umsatz, bei etwa 14 %. Die derzeitige Datenlage bezüglich der Teilnahme von Textilreinigungen am Ökobench-Tool zeigt im Gegensatz zu den Wäschereibetrieben nur eine sehr geringe Anzahl an teilnehmenden Betrieben.

Der Energiebedarf von Textilreinigungen ist, abhängig von Wäscheanfall und Maschinenpark, mit 35.000 bis 180.000 kWh<sub>el</sub>/a (50 Wochen/a, Betriebsdauer 5 bis 12 h/d) anzusetzen. Die installierte elektrische Leistung einer typischen Textilreinigung (Kapazität: 6.000 Reinigungsteile/Monat und 6.000 Oberhemden/Monat) liegt bei 85 kW, der el. Energiebedarf pro Tag zwischen 40 und 80 kWh. Damit werden eine Reinigungsmaschine, eine Kleingewerbewaschmaschine, ein Trockner, ein Dämpfer und eine Pressenstation betrieben. Die typische Maschinenkapazität der Reinigungsmaschine liegt bei 16 kg, der elektrische Energiebedarf pro Charge um 12 bis 15 kWh (kontinuierliche Destillation; höhere Werte bei KWL, niedrigere bei PER als Lösemittel) und der Kühlwasserverbrauch bei 210 bis 270 l/Charge. Auf die Textilreinigung bezogene spezifische Werte für die Finishmaschinen liegen nicht vor. Gleiches gilt für die Aufschlüsselung der Chargenzusammensetzungen.

Ursache der unzureichenden Datenlage zum Energieeinsatz in Textilreinigungen ist einerseits unzureichende Kenntnis über Energieeinsparmöglichkeiten der Betriebe, was im Fehlen von speziell an die Bedingungen der Textilreinigung angepasstem Informationsmaterial begründet ist. Des Weiteren werden zwar von den Maschinenherstellern oder Einzelbetrieben unterschiedliche Einsparmaßnahmen propagiert, deren Effektivität und insbesondere deren Auswirkung auf die Reinigungs- und Finishqualität ist jedoch entweder unzureichend nachgewiesen oder wird vollkommen ignoriert.

### **2.2 Derzeitige Energieeinsparmaßnahmen in Reinigungsbetrieben**

#### **2.2.1 Generelle Energieeinsparmaßnahmen**

Textilreinigungen bereiten Textilien in organischen Lösemitteln auf, wenn wässrige Verfahren zu negativen Textilveränderungen (z.B. Schrumpfen, Verfilzen von Wolle, Knitterbildung) führen. Dies ist insbesondere bei kompliziert aufgebauter Oberbekleidung (z.B. Anzüge, Kostüme, Jacken) der Fall. Derzeit werden etwa 90.000 t Textilien pro Jahr in organischen Lösemitteln behandelt. Der erzielte Umsatz liegt bei ca. 900 Mio. Euro pro Jahr. Ein Teil der angenommenen Ware ist waschbar und wird üblichen Wasch-, Trocken- und Finishbehandlungen

unterzogen, wobei empfindliche Teile schonend behandelt werden (sog. Nassreinigungsverfahren).

Das Reinigungsgut wird wie folgt bearbeitet:

- a) Ggf. gezielte *Fleckentfernung* (Vordetachur)
- b) *Reinigungsbehandlung* in geschlossener Maschine in organischem Lösemittel mit den Funktionen Reinigung (Schmutzentfernung und Spülen) mit Flottenrückgewinnung (teilweise Flottenzirkulation über Schmutzfilter, Auffangen des Lösemittels in Tanks und Wiederverwendung für die nächste Charge), Schleudern und Trocknung bis zum Erreichen eines vorgegebenen Lösemittelgrenzwertes sowie teilweise Lösemitteldestillation und ggf. nach Mehrfachbehandlungen Regeneration der angeschlossenen Aktivkohlefiltration für die Ausblasluft nach Trocknungsende durch Heißluft.
- c) Ggf. *Fleckbehandlung* (Nachdetachur)
- d) *Glätten* und *Endtrocknung* durch Bügeln (manuell mit Bügeleisen, Pressen) oder Dämpfen mit zusätzlichem Besprühen mit Dampf zur Erleichterung der Knitterentfernung und Formgebung (Tunnelfinisher, Dämpfaggregate für Hemden, Hosen etc.)

- **Energieeinsatz**

In herkömmlichen Betrieben (Dampf als Wärmeträger) entfallen etwa 80 % des **elektrischen Energiebedarfs** (Stand 2007) auf den Antrieb von *Motoren* an Reinigungsmaschinen (Trommelantrieb, Zirkulationspumpe, Trocknungsgebläse), *Kompressor*, *Absauganlage* und *Finishgeräten*. Der Rest entfällt auf *Beleuchtung* und *Heizstrom* für Bügeleisen [3]. Während dampf-beheizte Maschinen ausschließlich elektrische Antriebsleistung benötigen, muss bei voll-elektrischen Maschinen bzw. Maschinen und Geräten mit eingebauten elektrischen Dampferzeugern der zusätzliche Energiebedarf für das Heizen berücksichtigt werden. Außerdem benötigen die in den letzten Jahren verstärkt eingesetzten Kälteanlagen zur Trocknungsluftkühlung, Lösemittelkondensierung und zur Trocknungsluftwärmerückgewinnung elektrische Energie.

**Wärme** (erzeugt über Strom oder Dampf) wird in der *Reinigungsmaschine* zum Trocknen, zur Lösemitteldestillation und ggf. zur Regenerierung der Aktivkohle (Adsorptionsanlage) benötigt. Die zur Kondensation des Lösemittel nötige Kälte wird durch Kühlwasser direkt oder mit einer Kompressionskälteanlage erzeugt. Die zum Glätten erforderliche Wärme in den *Finishgeräten* wird über Dampf zur Verfügung gestellt (zentrale Dampferzeugung oder elektrisch erzeugt). Außerdem benötigen Dämpfgeräte zum Formen der Teile Sprühdampf (bis zu 4 bar), der direkt auf die Ware gesprüht wird.

Textilreinigungsmaschinen werden daher in Abhängigkeit von Bauart und Hersteller nach Bedarf mit elektrischer Energie, Dampf und Kühl-/Kaltwasser versorgt.

- **Dampfversorgung**

Dampf kann entweder zentral hergestellt und über ein Dampfleitungsnetz verteilt werden, dezentral an einem oder mehreren Verbrauchern oder direkt im Einzelgerät erzeugt werden [4]. In Textilreinigungen werden zur **zentralen Dampferzeugung** oft sogenannte *Schnelldampferzeuger* eingesetzt. Neuere Dampferzeuger besitzen „Economiser“ (Abgaswärmetauscher zur Nutzung des Wärmeinhalts des Rauchgases) und haben einen erhöhten Wirkungsgrad durch zusätzlich verbesserte Strömungsführung und gute Dämmung. Besondere Bedeutung kommt dem Speisewassermanagement zu, bei dem eine möglichst hohe Temperatur im Speisewassergefäß bei gleichzeitig geringem Brüdendampfverlusten gewährleistet werden soll. Den Hauptanteil des Kesselspeisewassers bildet das zurückgeführte Kondensat. Nachgespeistes Frischwasser kann über Wärmetauscher vorgewärmt (Wärmequellen: Abgas, Brüdendampf, Abschlammwasser) werden.

Bezüglich des *öl- oder gasbefeuerter Dampferzeugers* werden heute bei Erdgas modulierende Brenner eingesetzt, deren Leistung bis auf 20 % der Nennleistung stufenlos abgesenkt werden kann. Bei Ölfeuerungen stehen diese erst bei größeren Leistungen von ca. 300 kW zur Verfügung [4]. Dies senkt energieintensives Aus- und Wiedereinschalten auf ein Minimum und führt zu einer bedarfsgerechten Dampfversorgung. *Elektrodampfkessel* sollten mit einem geschlossenen System kombiniert werden. Geschlossene Systeme arbeiten ohne Speisewassergefäß, erfordern jedoch kompliziertere Installationen bei Anschluss mehrerer Verbraucher (ausreichende Entlüftung, Höherstellung jeden Heizregisters zum Wasserstand im Dampfkessel bei Nutzung der Schwerkraft zur Zirkulation).

Die **dezentrale Dampfversorgung** erfordert keine Ringleitung für die Kondensatrückführung und es treten keine Probleme mit Kondensatableitern und Undichtigkeiten auf. Nicht benötigte Geräte können einfach und schnell ausgeschaltet werden. Nachteilig sind die höheren Anschaffungs- und Stromkosten für Maschinen mit integrierter elektrischer Dampferzeugung im Vergleich zu öl- oder gasbeheizten Kesseln [4].

- **Energieeinsparmaßnahmen an Reinigungsmaschinen**

Bezüglich möglicher Einsparmöglichkeiten an Reinigungsmaschinen werden – unabhängig vom Lösemittel – Maschinen mit reduziertem Lösemittelverbrauch unter 1 % [5], hohen Schleuderdrehzahlen [6] und isolierter Destillation [6] [7] angeboten. Aerodynamisch gestaltete Luftschächte [5] in Kombination mit abgestimmter Leistung von Wärmetauschern, Gebläse und Kälteanlage [7] bei hohem Luftwechsel bewirken verringerte Trocknungszeiten und somit verringerten Energiebedarf. Bei entsprechender Maschinensteuerungsmöglichkeit kann die Heizleistung nach Erreichen der Trocknungstemperatur energiesparend reduziert werden [4]. Mittels Kältemaschine wird die bei der Kühlung der Trocknungsluft (Kondensation des Lösemittels) abgegebene Wärme zur Vorheizung der Trocknungsluft genutzt [6] [8]. Mit Vakuumdestillation, bei der zur Abkühlung des gasförmigen Lösemittels in der ersten Phase Lösemittel und anschließend Kühlwasser eingesetzt wird, kann eine hohe Destillationsleistung bei geringem Energieeinsatz erreicht werden [6]. Durch Einbau eines Niveausensors im Nadel-fänger, der das Niveau (Flottenverhältnis) entsprechend der in der Maschine befindlichen Warenmenge steuert, wird der Lösemittelseinsatz bzw. das zu destillierende Lösemittelvolumen geringstmöglich gehalten. Bei elektrisch beheizten Maschinen wird die volle Heizleistung zudem nur zum Aufheizen der Destillation eingesetzt [5]. Die abschließende Lösemittelentfernung durch Absorption im Aktivkohlefilter sollte aus Energieeinspargründen ohne erneutes Aufheizen der Trocknungsluft erfolgen. Bei Maschinen mit Wasserkühlung für Kälteanlage und Destillation kann der Wasserverbrauch dadurch gesenkt werden, dass das Wasser im geschlossenen Kreislauf über einen Pufferbehälter und luftgekühlten Wärmetauscher geleitet wird. Sinkt bei zu hoher Lufttemperatur die Leistung des Wasserkühlers, wird das warme Kühlwasser mit kaltem Frischwasser ergänzt [9] [10] [11]. Auch für diesen Prozessschritt ist ein ressourcenschonender Umgang mit Frischwasser denkbar.

- **Sonstige Energieeinsparmaßnahmen**

Neben den oben angeführten Einsparmöglichkeiten bei der Wärme- bzw. Dampferzeugung besteht Einsparpotenzial durch Wärmedämmung von Gehäusen und wärmeleitenden Rohrleitungen, Einsatz von Antriebskomponenten hoher Effizienz und Verwendung „richtig“ dimensionierter und „modernen“ Komponenten. Bezüglich der Dampfversorgung sind insbesondere undichte Verschraubungen, Panzerschläuche und Leitungen mit Dampfleck, mangelnde Dämmung von Leitungen und Geräteanbindungsschläuche (meist Edelstahl-Panzerschläuche), ungünstige Anbindung an Dampfleitungen und fehlende Kondensatableitung zu vermeiden

[12]. Schließlich bietet die Optimierung des energetischen Aufwandes für die Bereitstellung von Wärme und Kühl-/Kaltwasser Einsparpotenzial. Neutrale Untersuchungen zum erzielbaren Einsparpotenzial in Textilreinigungsbetrieben liegen bisher dazu nicht vor.

Wie in Untersuchungen zur ganzheitlichen Energiebetrachtung von Wäschereien [12] aufgezeigt werden konnte, führen ganzheitliche prozessübergreifende Optimierungsmaßnahmen zu hohen Einsparungen an Energie und Wasser. Weitere Energie- und Ressourceneinsparungen lassen sich im Bereich der Kühl-/Kaltwasseraufbereitung erzielen. Soweit eine mehrstündige Nutzung vorliegt, kann auch eine prozessübergreifende Nutzung der Abwärme geprüft werden. Vorstellbar ist ebenfalls bei Heizbedarf eine Erwärmung der Frischluft für den Textilreinigungsbetrieb über einen Wärmetauscher mit Abluft aus den Finishgeräten. Dementsprechende Untersuchungen wurden bisher für Textilreinigungen nicht vorgenommen.

### 2.2.1.1 Lösemittleinsatz

In Deutschland werden als Lösemittel gegenwärtig vor allem Tetrachlorethen (PER), Kohlenwasserstofflösemittel (KWL) und in geringem Umfang auch weitere Lösemittel [z.B. Decamethylcyclopentasiloxan (D5), Dibutoxymethan (K4)] verwendet. Die nachfolgende **Tabelle 1** gibt eine Übersicht „wärmetechnischer“ Lösemittelkenngrößen [13] [14] [15]. Beispiele zur damit erzielbaren Schmutzentfernung sind in der Arbeit [16] aufgezeigt.

**Tabelle 1: Lösemittleigenschaften**

Merkmals	Dichte bei 25 °C in g/ml	Siedebereich/ Siedepunkt in °C	spez. Wärmekapazität bei Siedepunkt in kJ/kg*K	spez. Verdampfungsenthalpie in kJ/kg	Flammpunkt in °C	KB - Wert
Iso-Paraffine (KWL)	0,78	180 – 195	1,9 - 2,1	260 - 270	61 - 65	22 - 30
Perchloroethylen (PER)	1,62	121,1	0,9	209,8	keiner	90
Dibutoxymethan (K4)	0,83	182,5	n.a.	294,6	62	75
Cyclosiloxan (D5)	0,95	210	n.a.	138,5	77	13
Intense	0,79	180 - 210	n.a.	n.a.	64	73
Sensene	0,84	180	n.a.	n.a.	65	161
HiGlo	0,82	184	n.a.	n.a.	62	45
KTEX	0,815	185 - 220	n.a.	n.a.	>61	75
Rynex	0,91	215	n.a.	n.a.	93	n.a.
<b>Wasser</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>4,21</b>	<b>2256,9</b>	keiner	-

Danach war bei den verschiedenen Lösemitteln unterschiedlicher Energieverbrauch für Trocknen und Destillieren zu erwarten. Entsprechende Vergleichsuntersuchungen lagen bisher nicht vor.

Die Auswahl des eingesetzten Lösemittels erfolgt bisher unter Berücksichtigung des gewünschten Reinigungsergebnisses, der Arbeitseffizienz, gesellschaftlicher Akzeptanz und nicht in erster Linie nach dem Kriterium des Energieverbrauchs [4]. Dies ist im Wesentlichen

darin begründet, dass bisher keine Vergleichsuntersuchungen mit optimiertem Verfahrensablauf für jedes Lösemittel bei gleichzeitiger Erfassung des Energieeinsatzes, des dabei erzielten Reinigungsergebnisses (Schmutzentfernung, Vergrauung, Textilschädigung, z.B. Verfärbungen etc.) und ggf. auftretender Geruchsbelastung vorliegen.

- **Destillation**

Bei Reinigungsmaschinen ohne Destillation wird davon ausgegangen, dass die Schmutzbestandteile über das üblicherweise vorhandene Filtersystem, ggf. durch Verwendung spezieller Filtersysteme [6] [17], aus der Flotte entfernt werden. Neben reduzierten Maschinenanschaffungskosten haben Verfahren ohne Destillation einen deutlich reduzierten Energiebedarf. Um das Lösemittel nicht zu stark zu verschmutzen, wird oft auf die Bearbeitung von bestimmten Artikeln (dunkle, stark mit Pigmentschmutz behaftete Ware) verzichtet.

Idealerweise wird das erste, verschmutzte Reinigungsbad (insbesondere bei dunkler schwerer Ware) der Destillation zugeführt und das zweite Bad (Spülbad), gespeichert im „Arbeitstank“, für die nächste Reinigung als erstes Bad eingesetzt. Als Spülflotte wird destilliertes, „sauberes“ Lösemittel, ggf. ergänzt durch neues Lösemittel, eingesetzt [18]. Der Anteil dieses Destillationsanteils des Lösemittels sollte aus Energiespargründen möglichst gering gehalten werden, wobei allerdings hohe Schmutzbelastung der Flotte zu ungenügender Schmutzentfernung und Vergrauung führt [19].

Neutrale Publikationen zum Einfluss der Höhe des Destillationsanteils bzw. der Reinigung vollkommen ohne Destillation auf den Energiebedarf unter Berücksichtigung der dabei erzielten Reinigungsqualität, Textilschonung und Geruchsbelastung existieren bisher nicht.

### **2.2.1.2 Sprühreinigungsverfahren**

Beim Sprühreinigungsverfahren [Herstellerbezeichnung „JetClean-Reinigungstechnik“ [16] [20]] wird ohne freie Flotte im Sprühverfahren mit KWL- oder Cyclosiloxan-Lösemittel gearbeitet. Die reversierende Trommel wird kontrolliert vorgewärmt. In Intervallen wird mit und ohne Unterstützung durch erwärmte Luft das Lösemittel in die Trommel auf die Ware gesprüht. Zwischen den einzelnen Sprühintervallen wird nach Herstellerangaben durch wechselnde Trommeldrehzahlen der mechanische Reinigungseffekt verstärkt [11]. Die Lufterdüse oberhalb der Beladetür in die Trommel soll nicht nur eine schnelle und intensive Trocknung gewährleisten, sondern auch wesentlich das Reinigungsergebnis bestimmen. Während der Reinigung im dynamischen Sprühprozess mit sehr hoher Luftwechselrate soll das Lösemittel die Ware vollständig durchdringen. Es wird weder geschleudert, noch destilliert. Beides bewirkt nach Herstellerangaben keine Maschinenvibration, führt aber zu einem stark reduzierten Verbrauch an Energie und Kühlwasser. Der im Lösemittel gelöste Schmutz gelangt in den Tank. Die parallel zur Trocknung verlaufende Tank-Lösemittelfiltration soll dafür sorgen, dass die gelösten Schmutzsubstanzen und Fremdstoffe von einem speziellen Farbstoff-Filter aufgenommen werden. Der nicht im Lösemittel gelöste Schmutz wird vom Nadelfänger und insbesondere vom Luftfiltersystem zurückgehalten. Diese beiden Elemente müssen daher nach jeder Charge gereinigt werden. Geringere Schmutzmengen fallen im Wasserabscheider an und werden täglich mit dem Ablassen des Kontaktwassers entnommen. Verunreinigungen im Trommelgehäuse werden nach 25 Chargen durch ein computergesteuertes Trommelspülprogramm in den Nadelfänger gespült und dort entnommen [6] [11] [19] [20].

Neutrale, nachprüfbar Ergebnisse der erzielbaren Einsparungen an Energie und Wasser sowie zur erzielbaren Reinigungswirkung, Vergrauung, Textilschädigung und Geruchsbildung im Vergleich zu herkömmlichen Reinigungsverfahren existierten nicht.

### 2.2.1.3 Finishbereich

- **Allgemein**

Der Finishprozess erfordert im Wesentlichen Wärmeenergie zur Trocknung der Textilien (120 bis 210 °C) und zur Erzeugung von Sprühdampf (bis zu 4 bar über einige Sekunden). Sprühdampf wird bei Textilien geringen Feuchtegehaltes oder zur beschleunigten Finishbehandlung eingesetzt. Elektrische Energie wird lediglich bei komplizierteren Maschinen/Geräten zum Antrieb (Bewegung von Anpressvorrichtungen, Fördertechnik) benötigt. Bei größeren Maschinen muss zusätzlich ein Heißluftgebläse betrieben werden. Die Bewegung von Anpressvorrichtungen erfolgt pneumatisch.

Insbesondere bei manuell betriebenen Maschinen wird der Energiebedarf pro Teil von der Handhabung bzw. der Stundenleistung des Personals bestimmt.

- **Bügeln und Pressen**

Im professionellen Bereich erfolgt das Glätten mit dem Dampfbügeleisen auf Bügeltischen mit Absaugung. Um die Bügelfläche trocken zu halten, wird bei herkömmlichen Tischen, auch mit Dampfheizung, zusätzlich elektrisch nachgeheizt. Diese Tische sind bei modernen Geräten isoliert. Moderne Bügeltische verzichten auf die Beheizung der Unterlage durch großflächige Absaugung des durch die Trocknung entstehenden Wasserdampfes (sog. Kaltbügeltechnik) [21]. Dies erfordert eine besonders starke Absaugung über längere Zeit, um die durch das Dampfbügeleisen in das Bügelgut eingebrachte Feuchtigkeit abzuführen und die Textilform im abgekühlten Zustand zu fixieren.

Bei Hemdenpressen mit wärmeabstrahlenden Pressplatten werden zur Energieeinsparung Kabinen oder zeltartige Einhausungen, vor allem bei Doppelrumpfkonstruktionen, angeboten. Analog den Finishern (siehe unten) könnte die warme Luft aufgefangen und direkt wiederverwendet werden oder kann über einen Wärmetauscher die Zuluft vorwärmen [4].

- **Finisher**

Das Finishen erfolgt durch die eigentliche Glätt-/Dämpfbehandlung mit anschließendem Belüften zum Abkühlen des behandelten Teiles [22]. Teilautomatisierte Geräte verfügen über fest oder frei programmierbare Steuerungen, so dass Temperatur und Einwirkzeit der Teilschritte fest vorgegeben oder einstellbar sind. Um das Aufheizen des Aufstellraumes durch Frischdampf und Wärme zu vermeiden, werden neuere Geräte mit geschlossenen Kabinen (feste Einhausungen, flexibel mittels Kunststoffvorhängen) angeboten [9] [10]. Energiesparend ist der Einsatz von Finishern mit Wärmerückgewinnung zur Rückführung der abgegebenen Heizenergie, bei denen die warme Abluft über Wärmetauscher die Frischluft erwärmt [10] [20] [22]. Bei dampfbeheizten Finishern kann die im Kondensat des Heizregisters verbleibende Energie zum Aufwärmen der Kabinenluft [10] verwendet werden. Dies reduziert insbesondere die Trocknungszeit nach dem Dämpfen und steigert die Finishleistung. In der Übersicht nach [4] wird empfohlen, die Sprühdampfdauer von 4 auf 2 s zu reduzieren oder vollkommen auf Sprühdampf zu verzichten.

Neueste Entwicklung zur Energieeinsparung ist eine „Restfeuchtemessung“, bei der der Trocknungsprozess automatisch abgebrochen wird, wenn an der dickeren Hemdenknopfleiste eine vorbestimmte Temperatur (deutlich über der Kühlgrenztemperatur) erreicht wird. Dies würde den Energieverbrauch aufgrund zu langer Trocknungszeit vermeiden. Außerdem könnten schwankende Feuchtegehalte, die bei wechselnder Wäscheart unvermeidlich sind, berücksichtigt werden. Die Trocknungsdauer muss nicht, wie derzeit üblich, auf die am schwierigsten zu

trocknenden Teile ausgelegt sein. Der Einsatz eines elektronisch gesteuerten Kondensat-Systems mit einer Staustrecke vor dem Kondensatableiter soll den Betrieb mit reduzierter Heizleistung ermöglichen [4].

Die meisten Finishgeräte sind an zentrale Dampferzeugungsanlagen angeschlossen, was gegenüber einer Einzelbeheizung der Geräte den Nachteil hat, dass die Wärmeverluste der Dampferzeugung, peripherer Dampfanlagenkomponenten und Leitungen zu berücksichtigen sind. Alternativ werden Finisher mit eingebautem Elektro-Dampferzeuger angeboten, die nach Herstellerangaben [10] als multifunktional, platzsparend, energiesparend und geräuscharm gelten. Vom gleichen Hersteller wird ein sog. Multi-Pumpsystem angeboten, bei dem das Kondensat von Hemdenfinishern ohne zwischengeschaltetes Speisewassergefäß direkt in den Dampferzeuger gefördert wird [9] [10]. Im Vergleich zum Gerät mit Speisewassergefäß soll durch den Wegfall des Aufheizvorgangs der Energiebedarf um bis zu 15 % niedriger sein.

Alle Angaben über die oben angeführten Energieeinsparmaßnahmen im Finishbereich beruhen auf Herstellerangaben, deren Größenordnung aufgrund fehlender Einsatz- und Messbedingungen nicht nachvollziehbar bzw. überprüfbar ist. Vergleichsangaben mit herkömmlichen Systemen fehlen. Dies gilt sowohl für die Bedarfswerte als auch für die erzielten Glätteffekte und den dazu erforderlichen Personaleinsatz.

#### **2.2.1.4 Kühlwasserverwendung**

Der Großteil der Textilreinigungsbetriebe wäscht einen steigenden Anteil der zur Textilpflege abgegebenen Teile. Dies sind einerseits übliche empfindliche waschbare Heimtextilien (z.B. Gardinen, Decken, Betten etc.), pflegeaufwändige waschbare Teile (Hemden, Blusen etc.) und wollhaltige empfindliche Oberbekleidung, die mit speziellen, schonenden Waschprogrammen (Nassreinigungsverfahren) behandelt werden können.

Für diese Betriebe bietet sich bei Verwendung von mit Wasser gekühlten Reinigungsmaschinen die Weiterverwendung des aufgeheizten Kühlwassers zum Waschen in Niedrigtemperaturprogrammen (Nassreinigung) an. Das zum Waschen verwendete Kühlwasser, durch Kälteanlage und Destillation auf bis zu 38 °C aufgeheizt, wird dabei bei Bedarf aus einem Vorratsbehälter direkt in die Waschmaschine gepumpt [4] [10]. Fehlendes Wasser wird durch Frischwasser ausgeglichen. Bei Verwendung dieser Energie- und Wassereinsparmaßnahme ist allerdings Stellflächenbedarf für Tanks, Leitungsverlauf und Installationsaufwand zu berücksichtigen. Das zurückgewonnene Kühlwasser kann auch für den allgemeinen Verbrauch in WC's oder im Sanitärbereich verwendet werden.

Zur Kühlwasserweiterverwendung existieren derzeit keine Publikationen mit konkreten, nachvollziehbaren Daten über Einsparpotenzial und Auswirkungen auf den Waschprozess bzw. die erzielbare Waschwirkung.

Da der Stand der Technik für den Bereich des Waschens ausführlich im Abschlussbericht zum DBU-Projekt „Ganzheitliche energetische Betrachtung von Wäschereien“ [12] dargestellt ist und dies nicht der Schwerpunkt des geplanten Projektes ist, wird dieser Bereich nicht weiter dargestellt.

#### **2.2.2 Auswirkungen von Energieeinsparmaßnahmen auf die Reinigungsqualität**

Die Einführung ressourcensparender Technologien erfordert eine exakte Abstimmung des Lösemittel-, Chemikalien- und Wärmeenergieeinsatzes, da sich die in den Reinigungs- und Finishprozess eingreifenden Einsparmaßnahmen teilweise direkt auf die Reinigungs- und Finishqualität auswirken.

Beim *Reinigungsprozess* hat das eingesetzte Lösemittel (Art, Verschmutzung, Destillationsanteil), die Prozessführung [Badzahl, Reinigungsmechanik (Füll-/Flottenverhältnis, Trommel-drehzahl/Reversierung, Baddauer), Filtrationsbedingungen (Badwechselzahl bzw. Umpumprate, Filterart), Reinigungsverstärkerart, -konzentration und -dosierzeitpunkt, Wassergehalt und die behandelte Ware (hell, dunkel; Verschmutzungsart und -intensität) Einfluss auf

- Schmutz- und Fleckentfernung,
- Redeposition (Vergrauung aufgrund Wiederablagerung abgelösten Schmutzes),
- Negative Textilveränderungen (Schrumpf, Nahtkräuselung, Fixierung von Einlagen, Farbänderungen und -übertragung, Griff etc.) und
- Geruch (Ware, Lösemittel).

Insbesondere Bedingungen mit niedrigem Flottenverhältnis (Extremfall Sprühverfahren), niedrigem Destillationsanteil (Verhältnis von frischem destilliertem und wiederverwendetem Lösemittel), unzureichende Entfernung abgelösten Schmutzes und Restchemikalien aus der Flotte (Arbeiten ohne Destillation bzw. unzureichende Filtration) und intensive Reinigungsmechanik lassen negative Textilveränderungen, hohe Redeposition und damit verschlechterte Schmutzentfernung und Geruchsbildung erwarten. Bezüglich der Trocknungsphase kann verlängerte Einwirkdauer intensiver Wäschebewegung bei reduzierter Temperatur zu negativen Textilveränderungen führen [19] [23] [24] [25].

Beim *Finishen* wird das Glätt- bzw. Trocknungsergebnis durch die im Textil herrschende Temperatur (Einflussgrößen: Temperaturhöhe, Wärmezufuhrbedingungen), den Wassergehalt im Textil (Einflussgrößen: Anfangsfeuchte, Sprühdampfdruck und -menge) und die während des Glättens auf das Textil wirkenden Kräfte (Anpressdruck, Luftströmungsbedingungen) sowie durch die Textilien (Fasersubstratzusammensetzung, Flächenkonstruktion, Textilkonfektion) bestimmt. Längere Einwirkdauer von Temperatur und Druck bewirken höhere Glätte. Übertrocknung der Ware aufgrund zu geringer Feuchte, hoher Temperatur und langer Wärmeeinwirkung erhöhen die Gefahr von negativen Textilveränderungen, wie Verfärbung, Weißgradabnahme etc. Durch langsames Abkühlen, ggf. in fixiertem Zustand, wird die Einbringung neuer Knitter vermieden [26] [27].

Bei der *Wiederverwendung von Wasser*, z.B. Kühlwasser, dürfen keine unerwünschten Inhaltsstoffe in die Flotte eingebracht werden, die alleine oder in Kombination mit den Waschmittelbestandteilen negative Textilveränderungen (Textilfaserabbau, Farbveränderungen, Weißgradabnahme etc.) verursachen. Bezüglich der Flottentemperatur muss einerseits die vorgegebene Temperatur, ggf. durch zusätzliches Aufheizen, gewährleistet sein. Andererseits führt zu hohe Temperatur bei Nassreinigungsverfahren zu irreversiblen Textilveränderungen (Schrumpf, Nahtkräuselung etc.).

### 3 Untersuchungen an Reinigungsmaschinen

#### 3.1 Durchführung

Aus den Erfahrungen im Projekt „Ganzheitliche energetische Betrachtung von Wäschereien“ (AZ 28612/02) wurde ein weitgehend standardisiertes Vorgehen für die Erfassung der vier ausgewählten Reinigungsbetriebe angewendet.

Dazu wurden folgende Arbeitsschritte zur Erarbeitung der ganzheitlichen Bewertung zur Energie- und Wassereinsparung durchgeführt, deren Ergebnisse anschließend zur Handbucherstellung dienen:

- A. Vorbereitungsarbeiten, Grobanalyse
- B. IST-Analyse in Reinigungsbetrieb mit Ermittlung von theoretischen Potenzialen zur Einsparung von Ressourcen
- C. Erarbeitung technischer Energieeinsparmöglichkeiten unter Beachtung der Reinigungsqualität
- D. Erarbeitung von Handlungsempfehlungen zur Handbucherstellung

Die Arbeitsschritte beinhalteten die nachfolgenden Tätigkeiten:

#### A. ***Erstbegehung und Grobanalyse des Betriebs***

Festlegung des Feinkonzeptes für die detaillierte Erfassung von Energie- und Massenströmen sowie Reinigungs- und Wetcleaneffekten, Abfrage und Ausarbeitung von Betriebs- und Maschinendaten, Reinigungsverfahren; Festlegung, Beschaffung und Vorbereitung unterschiedlichster Monitore zur Bestimmung der Reinigungseffekte (Schmutz-Monitore, Prüfgewebe zur Bestimmung von Vergrauung), der Spülwirkung und der Textileigenschaften nach Mangel- und Trocknungsbehandlungen nach einem möglichen Wetcleanverfahren (1. Besprechung).

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

Ermittlung und Analyse der vorliegenden Wasser- und Energieströme (Wärme, elektrisch) sowie der Reinigungs- und Finisheffekte mit Erfassung der entsprechenden Verfahrensabläufe anhand Betriebsdatenerfassung (Einbau von Messgeräten), einschließlich Lösemitteldatenerfassung (Temperaturen, pH-Wert, Trübung etc.) und Geruchsbeurteilung (Ware, Lösemittel) sowie Erstellung von Wasser-, Lösemittel- und Energiebilanzen des gesamten Betriebes; bis zu fünf Wiederholungen der Reinigungsbehandlung.

#### C. ***Erarbeitung technischer Möglichkeiten zur Energieeinsparung***

Ausarbeitung geeigneter Lösungsvorschläge zur Einsparung von Wasser, Lösemittel und Energie anhand der ermittelten Daten in Zusammenarbeit mit den Fremdleistern, Vorstellung der Lösungsvorschläge mit dem Textilreinigungsbetrieb (2. Besprechung).

#### D. ***Erarbeitung von Handlungsempfehlungen zur Handbucherstellung***

Erstellung eines Handbuchs zur Einführung energie- und wassersparender Maßnahmen in Textilreinigungen unter Verwendung der erzielten Ergebnisse; Aufzeigen geeigneter Maßnahmen zur Energieeinsparung in bestehenden Textilreinigungsbetrieben zur Prozessoptimierung (Reinigung, Finishen, Nassreinigung/Waschen) zur nachhaltigen

Steigerung der Energieeffizienz von Textilreinigungen; Erstellung von Energie- und Wasserbilanzen für die ausgewählten Betriebe, Erarbeiten einer funktionalen Matrix zur Darstellung möglicher Einsparungen in bestehenden Betrieben, unterteilt nach Betriebsgröße sowie Maschinenpark und -art (Reinigung, Finishen, Nassreinigung); Verwendung der Ergebnisse und Folgerungen für Konzepterarbeitung zur ganzheitlichen Bewertung von Wasser- und Energieeinsparmöglichkeiten; Berücksichtigung der erzielten Reinigungs-, Wasch- und Finisheffekte; Aufzeigen der bei der Einführung energiesparender Maßnahmen zu berücksichtigenden negativen Textileffekte sowie Möglichkeiten zu deren Vermeidung.

Bei der Erstbegehung erfolgte die Aufnahme der wesentlichen Daten der jeweiligen Reinigung. Dabei wurden neben Digitalfotos des Betriebs, die Anlagen und deren Typenschilder aufgenommen und zusätzlich durch Befragung der Textilreiniger Betriebsdaten erfasst, die für die messtechnische Erfassung und Bilanzierung wichtig sind.

## 3.2 Durchführung der IST-Analyse

### 3.2.1 Allgemeine Beschreibung

Die IST-Analyse erfolgte nach der Erstbegehung. Sie diente zur Ermittlung und Analyse der vorliegenden Wäschelogistik, Wasser- und Wärmeenergieströme sowie der Reinigungs-, Wetclean- und Finisheffekte mit Erfassung der entsprechenden Verfahrensabläufe sowie der Erstellung von Wasser- und Energiebilanzen des gesamten Reinigungsbetriebes.

Die meisten Betriebe verfügen nur über eine geringe Anzahl an Verbrauchszählern. In der Regel sind dies die Einspeisepunkte von Energie- und Medienversorgern. Typisches Beispiel für Unterzähler sind die meist vorhandenen Erdgas- oder Ölmengenzähler für die verbrauchte Energiemenge des Dampfkessels. Die Aufteilung der Energie- und Medienströme des Gesamtbetriebs auf die Einzelprozesse erfolgte durch

- 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 wurde die Möglichkeit geschaffen, Maschinen und Prozesse miteinander zu verknüpfen. Zusätzlich zu den vorhandenen Maschinendaten wurden die einzelnen Stoffströme und insbesondere deren Energieniveaus aufgezeichnet und analysiert.

Die Mess- und Aufzeichnungsdauer wurde so gewählt, dass eine Aussage über die mittlere Leistung an einem durchschnittlichen Prozesstag möglich war. Je nach Bedeutung einer Messgröße und der Verfügbarkeit von Sensoren wurde die Messdauer zwischen ca. 20 Minuten und mehreren Tagen differenziert. Handmessgeräte wie z.B. Anemometer (zur Bestimmung des Luftvolumenstroms) wurden für punktuelle Momentaufnahmen eingesetzt.

Alle eingesetzten Messgeräte zeigen **Tabelle 2** und **Tabelle 3**.

Tabelle 2: 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 %
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 %
Airflow	DM1	Differenzdruck, in Verbindung mit Prandtl-Staurohr zur Ermittlung der Luftgeschwindigkeit	0 bis 2000 mbar	0,5 % SE
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	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 Energy	Spannung, Strom, Widerstand, Kapazität, Wirkleistung	0 bis 600 V, 0 bis 10 A, 0,01 bis 60 MΩ, 0 bis 600 µF, bis 3.6 kW ohne Stromzange	vom gewählten Messbereich und der Abtastgeschwindigkeit abhängig (siehe Datenblatt).
Eltek Datenlogger	GenII	Funkdatenlogger und Empfänger RX250 Temperaturtransmitter GD 24 Hochtemperaturtransmitter GD24H Strom-Spannungstransmitter GS44 Temperatur-Feuchtetransmitter GD13E Impulsmessung	-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
SJCam	Actioncam	Getaktete Digitalfotografie Aufnahme von Zählerwerten und Videofunktion für Displayaufnahmen an TRMs	Messbereich entsprechend der aufgenommenen Zähler	Messwerte entsprechend der aufgenommenen Zähler, Taktgenauigkeit: k. A.
Krohne	Optiswirl 4200	Wirbelfrequenz-Durchflussmessgerät zum Einbau in Dampfleitungen mit Druck- und Temperaturkompensation	Empfohlene Durchflussgeschwindigkeit 2,0 bis 70 m/s für Gase und Dämpfe	In Abhängigkeit der Reynoldszahl: +/- 1,5% bei Re >= 20000 +/- 2,5% bei 10000 < Re < 20000
Uni-Trend	UT 61E	Digitalmultimeter zur Erfassung und Weiterleitung von Standardnormsignalen an einen Laptop	k.A.	k.A.

Tabelle 3: 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 zwi- schen 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 zwi- schen 375 °C und 1000 °C Toleranzklasse 1 nach IEC 584
Sensirion	SHT75 Kombisensor	Halbleitersensor: Temperatur: PT100-Widerstands- messung Rel. Feuchte: kapazitives Messver- fahren, Kommunikation über 2-Wire-Proto- koll	0 - 100 % rel. Feuchte - 40 bis 125 °C, Nutzbarer Bereich bis 120 °C (Funk- ransmitter)	Genauigkeit Sensor: ± 0,3 °C ± 1,8 % rel. Feuchte Siehe Datenblatt

### 3.2.2 Erfassung der Energie- und Stoffströme

Zur Ermittlung der Stoff- und Energieströme wurde versucht, standardisierte Verfahren umzusetzen. Diese 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 behandelt.

#### 3.2.2.1 Warenströme

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

- Manuelle Wäskemengenerfassung an jeder Wetclean- und Reinigungsmaschine mit Angaben zur Anzahl der behandelten Teile und deren Masse
- Verwendung von Aufzeichnungen der Reinigungsbetriebe, meist fortlaufende Tages- und Monatslisten

#### 3.2.2.2 Lösemittleigenschaften und -qualität

Die zum Zeitpunkt der Untersuchungen vorliegende Lösemittelqualität (Trübung, Farbe, pH-Wert des Lösemittels) wurde ermittelt und in den jeweiligen Kapiteln dokumentiert. Die Trübung und die Farbe wurde visuell bewertet. Die den pH-Wert beeinflussenden Verunreinigungen im Lösemittel wurden durch Zugabe von Wasser aus dem Lösemittel extrahiert. Der pH-Wert dieses Kontaktwassers wurde anschließend mittels Indikator ermittelt.

#### 3.2.2.3 Wassereinsatz

In den Reinigungsbetrieben wurden die verschiedenen Wasserströme erfasst. Neben den vorhandenen Zählern für Trinkwasser des örtlichen Wasserversorgers verfügte einzelne Reinigungsbetriebe über interne Zähleinrichtungen für die Wetclean-Waschmaschinen und den

Dampfkessel. Zur Erfassung der Wasserdurchsätze ohne betriebsinterne Zähleinrichtung wurde ein Clamp-on-Ultraschallmessgerät eingesetzt.

Die meisten Reinigungsbetriebe führen das eingesetzte Frischwasser, das zur Kondensation des Lösemittels notwendig ist, zurück in einen Tank, aus dem die Wetcleanmaschinen vorgewärmtes Frischwasser beziehen.

#### **3.2.2.4 Wärmeerzeugung**

Die Wärmeerzeugung kann unterschieden werden in:

- Gebäudeheizung
- Prozesswärmeerzeugung

Wegen der hohen Verluste der Prozesstechnik sowie der Prozesswärmeverteilung (Dampfverteilung) wurde in keinem Betrieb eine in Betrieb befindliche Gebäudebeheizung vorgefunden.

Die Prozesswärme wurde in allen untersuchten Betrieben mittels Dampf zur Verfügung gestellt.

Da in keinem Reinigungsbetrieb Zähler für den Dampfmengeverbrauch vorhanden war, wurde in Absprache mit den Betrieben ein Dampfmengezähler für die Zeit der Untersuchung eingebaut. Je nach baulicher Lage und Dimension der Dampfleitung konnte dieser Zähler direkt an der zu untersuchenden Textilreinigungsmaschine oder an einem nahegelegenen Verteiler bzw. Dampfrohr eingebaut werden.

In Einzelfällen – dort, wo es für die Handlungsempfehlungen nötig war – wurde über den Leistungsbezug (Erdgaszähler) und die Abgastemperatur eine direkte Aussage zum Abgasverlust des Dampferzeugers getroffen.

#### **3.2.2.5 Druckluft**

Aus den Erfahrungen des Wäschereiprojekts (DBU AZ 28612/02) wurden bei den größeren Betrieben das Laufverhalten des Kompressors und der Druckverlauf erfasst und ausgewertet. Bei Kleinbetrieben mit nur unregelmäßig laufenden Kompressoren wurde dies nicht durchgeführt. Die Aussagen zur Optimierung entsprechen denen großer Betriebe ohne dass es jedoch möglich ist, durch eine Maßnahme die absoluten Einsparungen für eine Refinanzierung zu erreichen.

#### **3.2.2.6 Elektrische Energie**

Die elektrische Energie der einzelnen Anlagen wurde an den größten Verbrauchern gemessen. Kleinverbraucher oder Verbraucher mit sehr konstantem Energieverbrauch (z.B. Bügel-eisen, Beleuchtung etc.) wurden durch die angegebene Nennleistung des jeweiligen Gerätes und deren tägliche Betriebsstunden errechnet. Die vereinfachte Struktur der Verbraucher mit elektrischer Energie in den Reinigungsbetrieben sieht wie folgt aus:

- Reinigungsmaschine
- Trockner/Finishmaschinen
- Wetcleanmaschine(n)
- Druckluftherzeugung
- Beleuchtung
- Sonstige Verbraucher

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

### **3.2.3 Erfassung von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Reinigungsqualität**

#### **3.2.3.1 Charakterisierung Wasserqualitäten**

Zur Charakterisierung der verwendeten Wässer wurde in jedem Betrieb das eingesetzte Frischwasser untersucht. Flottenproben der Wetclean-Waschmaschinen sowie das verwendete und teilweise zum Nassreinigen zurückgeführte Kühlwasser der CR- Maschine wurden ebenfalls – wo möglich – entnommen und analysiert.

Dabei wurden folgende Parameter bestimmt:

- ⇒ (Ab-)Wassertemperatur beim Verlassen der Wetcleanmaschine nach DIN 38404
- ⇒ pH-Wert nach DIN 38404 C5
- ⇒ Spezifische elektrische Leitfähigkeit anlehnend an DIN EN 27888
- ⇒ Abdampfrückstand anlehnend an DIN 38409-23:2010-12 (Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung)

Zur Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte 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 Charakterisierung Lösemittelqualität**

Zur Charakterisierung der verwendeten Lösemittel wurde in jedem Betrieb das eingesetzte Lösemittel aus Arbeitstank und Reintank untersucht und hinsichtlich Farbe und Trübung visuell bewertet. Frisch destilliertes Lösemittel im Reintank wurde außerdem entnommen, um die Lösemittelqualität durch den pH-Wert zu bestimmen.

#### **3.2.3.3 Erfassung der Reinigungseffekte**

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

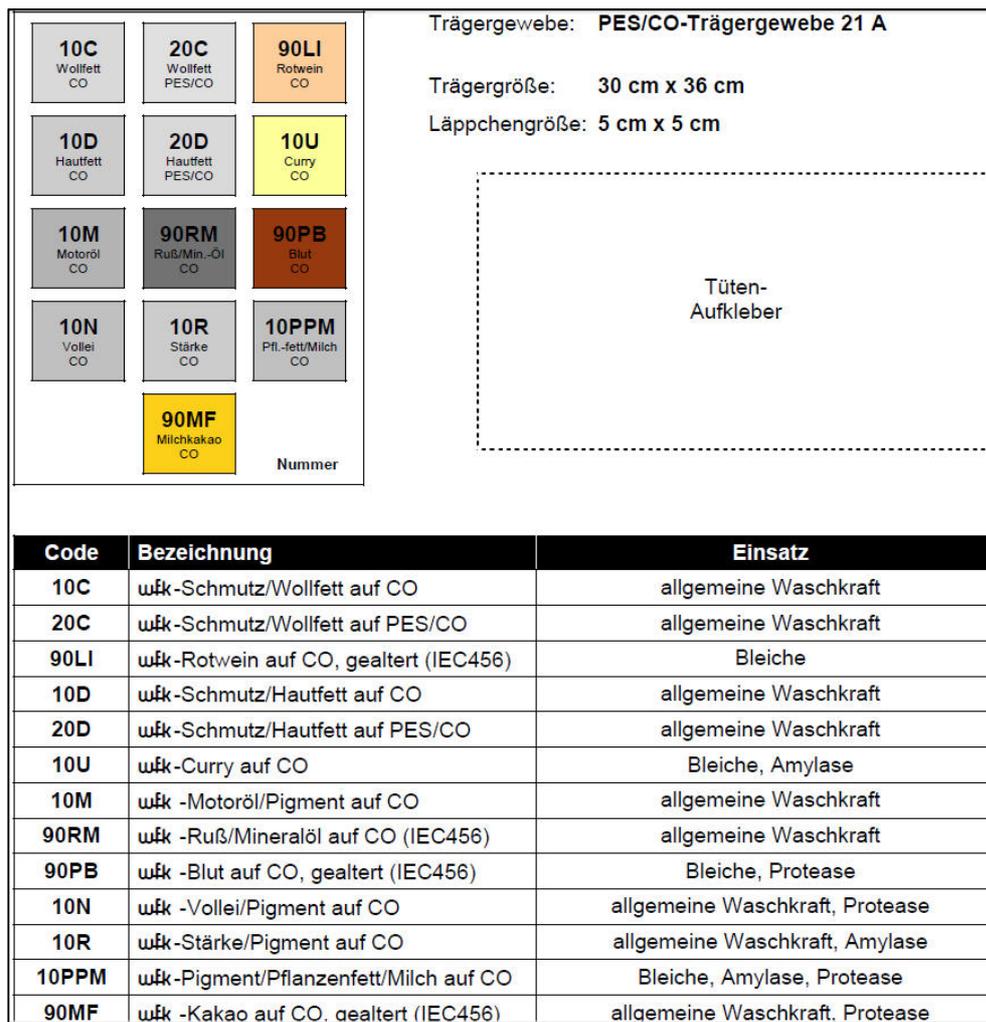


Abbildung 1: PCMS-55 Monitor zur Bewertung von Wasch- und Wetcleanverfahren

Zur Ermittlung der Schmutzentfernung in den *Reinigungsmaschinen* wurden speziell angefertigte Schmutzgewebe entwickelt und eingesetzt (**Abbildung 2**). Diese bestehen aus einem Trägergewebe, auf dem 11 unterschiedliche Gewebe mit unterschiedlichen Verschmutzungen fixiert sind.

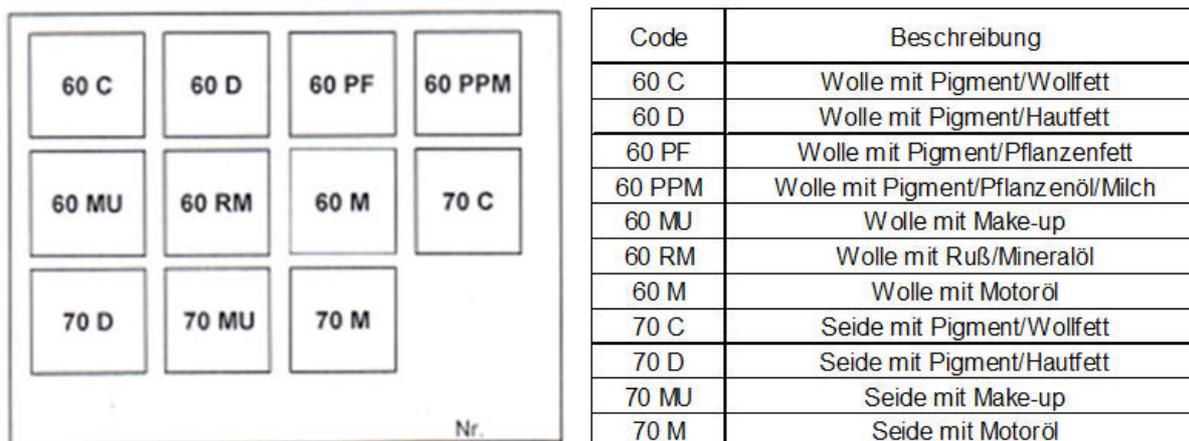


Abbildung 2: PCMS-17c Monitor zur Bewertung von Reinigungsverfahren

Alle Wasch- und Reinigungsversuche wurden dreifach wiederholt. In jeder untersuchten Charge (übliche, in dem jeweiligen Programm behandelte, normal verschmutzte Teile) wurden

insgesamt fünf PCMS Monitore eingesetzt. Jede Verschmutzungsart wurde mit dem Farbmessgerät an drei unterschiedlichen Stellen vermessen, so dass pro Behandlung insgesamt 45 Messwerte pro Anschmutzung und Reinigungsverfahren vorlagen. Die Auswertung der Schmutzentfernung erfolgte durch Messung der Lab-Farbwerte mittels Spektralfotometer. Aus den erzielten Messwerten wurde bei farbigen Anschmutzungen (PCMS-55- Monitor) anhand folgender Formel die Reinigungsintensität RI bestimmt.

$$RI = \frac{(L_{gereinigt} - L_{angeschmutzt})}{(L_{sauber} - L_{angeschmutzt})} \times 100$$

Durch diese Formel lässt sich der tatsächlich entfernte Schmutz ermitteln.

Bei ausschließlich grauen/dunklen Anschmutzungen wie die auf dem eingesetzten PCMS-17c Monitor wurde der  $\Delta Y$ - Wert als Kenngröße für die Schmutzentfernung angegeben.

Zur Ermittlung der **Vergrauung** wurde weißes Gewebe aus CO (170 g/m<sup>2</sup>; Leinwandbindung) und aus PES/CO 65/35 (160 g/m<sup>2</sup>; Leinwandbindung) eingesetzt. Da sich die Vergrauung erst nach mehreren Zyklen zuverlässig quantifizieren lässt, wurden die Monitore jeweils nach dem 1. und nach dem 5. identischen Zyklus farbmessungsmäßig 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.

Auf den Einsatz standardisierter weißer Baumwollgewebe-Monitore, wie sie bei der Bewertung von Waschverfahren eingesetzt werden, zur Bestimmung der chemischen Schädigung, des Festigkeitsverlustes und der anorganischen Inkrustation wurde verzichtet.

Parallel zum Prüfgewebeeinsatz in den Reinigungs- und Wetcleanmaschinen wurden über einen in den Posten eingebrachten Datenlogger die Flottentemperaturverläufe während der Wasch- und Lösemittelbehandlung aufgezeichnet.

Da die **Spülwirkung** in den Betrieben ebenfalls eine große Bedeutung für den Anwender hat, wurden außerdem, sofern möglich, die Flottenalkalitäten in den einzelnen Programmschritten der Wetcleanmaschine bestimmt.

### 3.2.3.4 Erfassung der Trocknungseffekte

Zur Ermittlung der Trocknungseffekte nach der *Nassreinigung* im Trommeltrockner (Tumbler) wurde die Textilrestfeuchte vor (bzw. nach dem mechanischen Entwässern) und nach dem Trocknen bestimmt. Zur detaillierten Beschreibung des Trocknungsprozesses wurden die Trocknungsdauer, Temperaturen (Heißluft, Abluft) und der Trocknungsluftvolumenstrom sowie -feuchte im Tumbler gemessen.

Bei der Behandlung in Lösemittel war es nicht möglich, die Lösemittelentfernung gravimetrisch zu bestimmen. Es wurde dabei lediglich das Ergebnis der vollständigen Entfernung des Lösemittels aus sehr dicken Textilien (Daunenjacken) bewertet.

### 3.2.3.5 Bestimmung der Textilrestfeuchte

Die Bestimmung der Textilrestfeuchte nach Waschbehandlungen erfolgte gravimetrisch. Dazu wurden die Posten der Nassreinigung 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, wurde jedoch in den Betrieben, wo hochpreisige Teile von Kunden einer Nassreinigung unterzogen werden, wegen der empfindlichen Textilien und der notwendigen Übertrocknung nicht bis zur Gewichtskonstanz durchgeführt.

Die Bestimmung des Restlösemittelgehaltes nach Lösemittelbehandlung war nicht möglich, da keine Möglichkeit bestand, Teile nach der Reinigung bzw. vor der Trocknung aus der Maschine zu entnehmen.

#### **3.2.3.6 Bewertung des Glätteergebnis und der Finishqualität**

Zur Bewertung des Glätteergebnisses bzw. der Finishqualität – anlehnend an den Monsanto Standard – wurden durch ein Expertenpanel drei unterschiedliche Warenarten (Hosen, Sakkos, Seidenblusen) begutachtet. Dabei wurde von der fertiggestellten Ware das Knitterbild in Anlehnung an DIN EN ISO 15487 bewertet. Dabei wurden Noten zwischen 1 und 5 vergeben, wobei die Note 1 eine sehr schlechte Finishqualität und noch sehr starke Knitter darstellt. Note 5 steht für eine hervorragende Finishqualität und keinerlei Knitter auf der untersuchten Ware. Der errechnete Median des Expertenpanels wurde für die entsprechende Warenart dargestellt.

## 4 Untersuchungen in Textilreinigungsbetrieben

### 4.1 Auswahl von Pilotbetrieben

Die Auswahl der Pilotbetriebe erfolgte nach Betriebsgröße (Aufbereitungskapazität) bzw. Gesamtenergiebedarf pro Jahr. Des Weiteren wurden Betriebe ausgewählt, die Mitglied des Deutschen Textilreinigungsverbandes e.V. (DTV) in Bonn sind.

Da ein Großteil der Reinigungsbetriebe mittlerweile auch Nassreinigungsverfahren anwenden, wurden in Abstimmung mit allen Projektteilnehmern folgende Betriebe ausgewählt, die bei der Erstellung des Handbuches anonymisiert, entsprechend deren Größe, beschrieben werden.

**Betrieb A:**

**Kleinbetrieb;** Eine Reinigungsmaschine und Finishbereich

**Betrieb B:**

**Mittlerer Textilreinigungsbetrieb;** Zwei bis drei Reinigungsmaschinen, eine Nassreinigungsmaschine und Finishbereich

**Betrieb C:**

**Kleinbetrieb mit Wetclean;** Eine Reinigungsmaschine und eine Nassreinigungsmaschine, Finishbereich und ein bis zwei kleineren Waschmaschinen

**Betrieb D:**

**Größerer Textilreinigungsbetrieb;** wie Betrieb C und zusätzlich Bearbeitung von Industrietextilien wie Schutzkleidung, Blaumänner, Businesskleidung mit mehr als 3 Reinigungsmaschinen, mehreren Nassreinigungsmaschinen und Finishbereich

Beim ersten Besuch der Betriebe wurden Betriebsdaten und vorhandene Maschinen erfasst, um den Messaufwand und die notwendigen Untersuchungen planen zu können. Außerdem wurde ein Konzept zur detaillierten Erfassung von Energie- und Massenströmen (Dampf, Luft, Wasser) sowie Vorlagen zur Bestimmung der Reinigungseffekte erstellt.

## 4.2 Betrieb A - Kleinbetrieb mit einer Reinigungsmaschine und Finishbereich

### 4.2.1 Allgemeine Daten des Reinigungsbetriebes

**Tabelle 4** zeigt die Versorgungsanlagen in Reinigungsbetrieb A.

Der untersuchte Reinigungsbetrieb verfügt über keine Nassreinigungsmaschine. Demnach werden in diesem Betrieb 100 % der aufbereiteten Textilien mit der vorhandenen Reinigungsmaschine (Hersteller Seco, Typ Shop Star 500) behandelt und anschließend über unterschiedliche Finishgeräte (**Tabelle 5**) in Form gebracht.

**Tabelle 4: Versorgungsanlagen Reinigungsbetrieb A**

Anlagenart	Hersteller	Typ	Leistung gem. Typenschild in kW	Anmerkungen
Dampfkessel	Jumag	DG160	-	-
Brenner des Dampfkessels	Weishaupt	WG20N/1-C Z-LN	35-200	Erdgas
Kompressor	Alup	SX6	4	6 bar Betriebsdruck
Kühlwasser Kühlturm	Sulzer-Escher-Wyss; Baujahr 1996;	EWK064/09	0,1/0,5 kW, Motor Helios BG90/4/6/12	0,38 bar Wasserüberdruck, 4t/h,; Düsen EWG, Ventilator HWD 60/12/6-5L1; Fabr. Nr. 8114159

**Tabelle 5: Maschinenpark Reinigungsbetrieb A**

Maschine	Hersteller	Typ	Elektr. Leistung gem. Typenschild in kW	Beheizungsart	Anmerkungen
CR- Maschine	Seco	Shop Star 500		Dampf	
Dämpfkabinett/ Einzelfinisher	Veit	Multiform 8363 Classic		Strom/Dampf	Bis zu 80 Teile/h
Hosentopper	Normbau	TB 40	0,5	Strom/Dampf	
Bügeltisch 1	Normbau	Uni-BT	0,5	Strom/Dampf	
Bügeltisch 2	Normbau	Uni-BT	0,5	Strom/Dampf	
Kombi-Presser	Kleindienst	3.75		Dampf	
Hemdenfinisher	Multimatic/ Brabanti	481	4,2	Strom/Dampf	

Der Reinigungsbetrieb hat eine Fläche von insgesamt ca. 150 m<sup>2</sup>, wobei ca. 40 m<sup>2</sup> den Theken- und Eingangsbereich bilden. Im Keller gibt es zwei Räume. In dem einen befindet sich der Dampfkessel (erdgasbeheizt) mit der Wasseraufbereitungsanlage. Im benachbarten Raum ist der Kompressor zur Erzeugung von Luftdruck untergebracht. **Abbildung 3** zeigt den schematischen Aufbau des Ladenlokals und die Standorte der Maschinen.

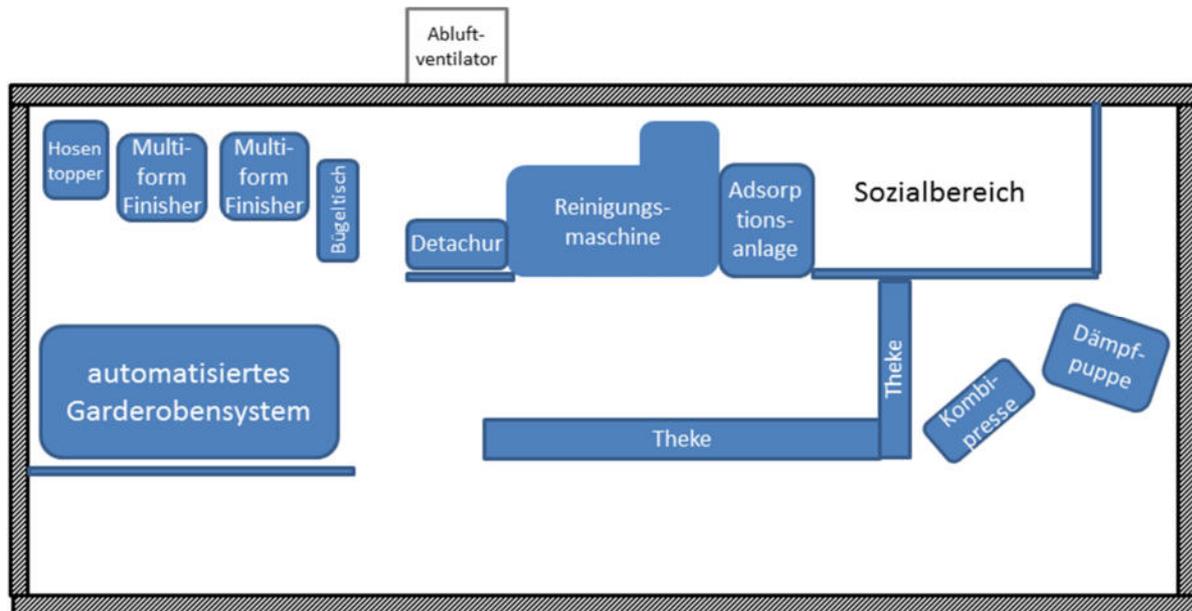


Abbildung 3: Grundriss EG Reinigungsbetrieb A

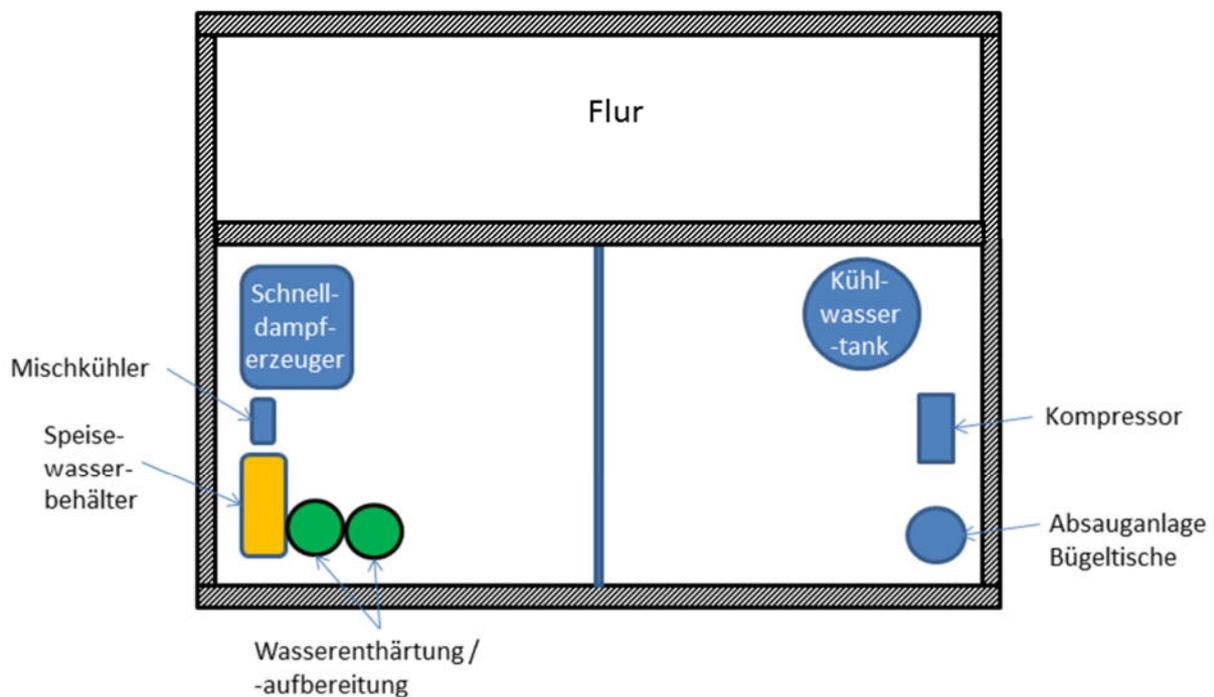


Abbildung 4: Grundriss KG Reinigungsbetrieb A

## 4.2.2 IST-Analyse Reinigungsbetrieb A

### 4.2.2.1 Erfassen der Energie- und Massenströme

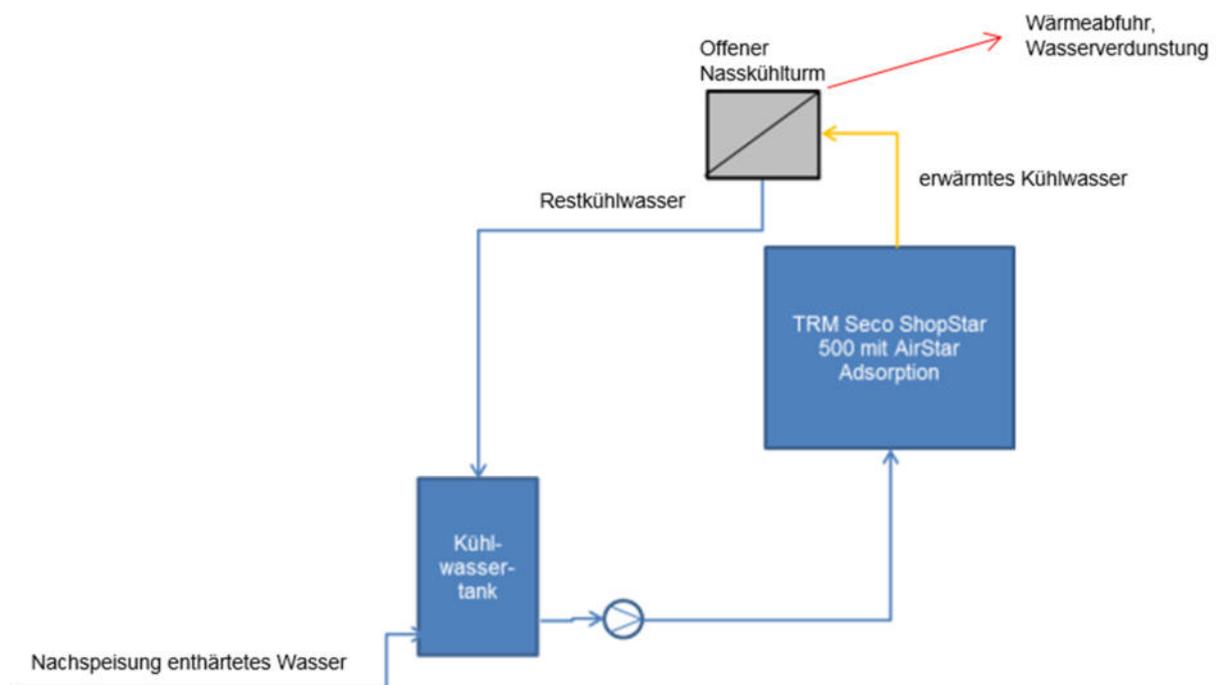
#### 4.2.2.1.1 Warenströme

Der Betrieb bearbeitete im April an 19 erfassten Arbeitstagen 1.191 kg Textilien in 100 Chargen. Das Durchschnittsgewicht betrug ca. 11,9 kg. Die mittlere Tagesleistung betrug 62,7 kg.

#### 4.2.2.1.2 Kühlwassereinsatz

Wie in **Abbildung 5** dargestellt verfügt der Betrieb über ein einfaches, offenes Kühlsystem, bestehend aus:

- Druckloser Kühlwassertank, ca. 300 Liter
- Ungeregelte Pumpe
- Interner Kühlwasserregler in der Textilreinigungsmaschine
- Offener Nasskühlturm



**Abbildung 5: Kühlwassermanagement Betrieb A**

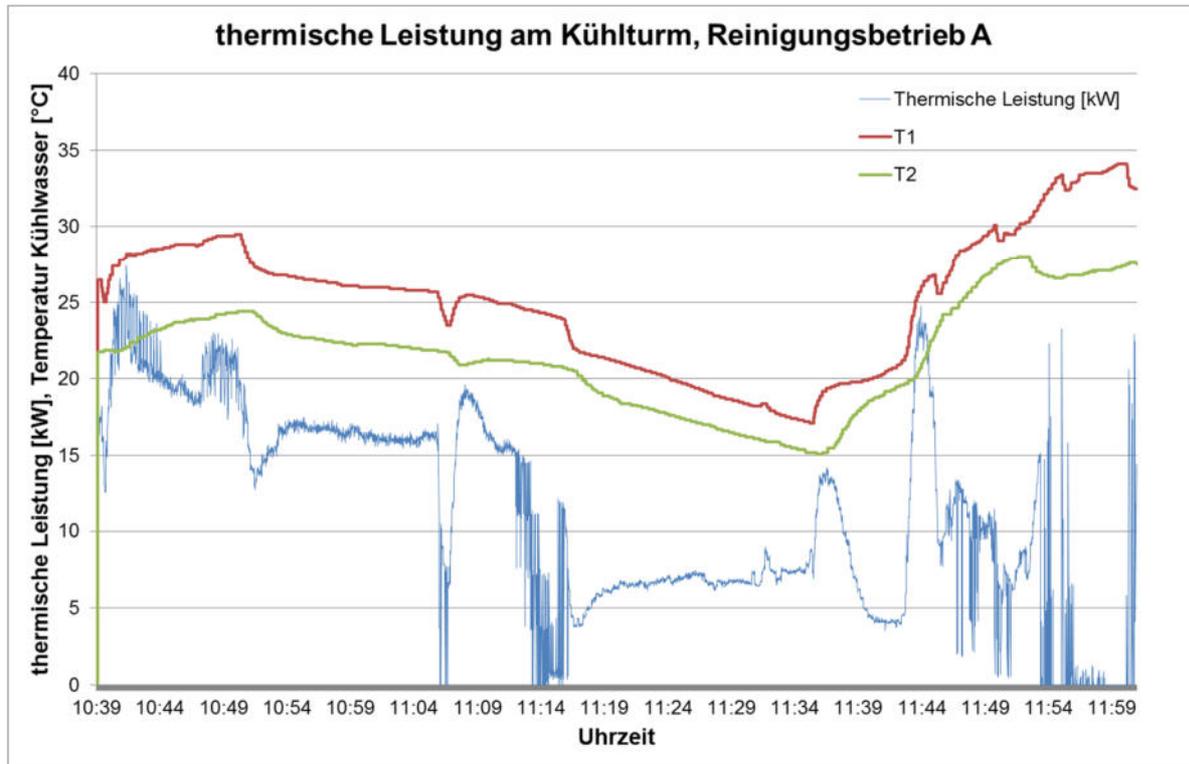
Die anfallende Abwärme der Textilreinigungsmaschine wird nicht genutzt, sondern vollständig über den Kühlturm abgeführt.

Daraus ergeben sich drei Aspekte:

- Erhöhter Hilfsenergiebedarf für die Pumpe
- Aufkonzentration nicht verdampfender Inhaltsstoffe einschließlich aufgenommener Schmutzpartikel aus der Luft am Kühlturm
- Risiko der Verkeimung durch Wassertemperaturen von ca. 15 bis 35 °C bereits im April

Wegen dem Höhenunterschied und der Verrieselung des Wassers unter Atmosphärendruck wird durch die Kühlwasserpumpe ein aus dem Höhenunterschied von ca. 10 m resultierender Druckunterschied ausgeglichen. Diese Energie – einschließlich Verluste aus Rohrreibung, Pumpen- und Motorwirkungsgrad – wird als elektrische Energie zugeführt (siehe auch **Kapitel 4.2.2.2.1**).

Bei der thermischen Leistungsmessung wurde eine mittlere Leistung von ca. 11 kW gemessen. Wie in **Abbildung 6** zu sehen ist, war die gemessene thermische Leistung stark volatil, was auch an stark schwankenden Durchflussmesswerten lag. Als Folge der Aufkonzentration waren die Rohrleitungen durch starke Ablagerungen zugesetzt, die sowohl während der Messung zu Betriebsstörungen als auch kurze Zeit nach den Messungen zu einem teilweisen Rohraustausch führten.



**Abbildung 6: Thermische Leistung Kühlturm, Betrieb A**

Eine Vergleichsmessung am Ausgang der Textilreinigungsmaschine ergab ähnliche Messwerte, verbunden mit ähnlichen Schwankungen sowie starken Messausfällen durch Signalstörungen.

#### 4.2.2.1.3 Wärmeerzeugung

Die Wärmeerzeugung im Reinigungsbetrieb A beschränkt sich auf die Betrachtung der Dampferzeugung. Die vorhandene Raumheizung war während der Messungen nicht in Betrieb und wird nach Auskunft des Betriebs lediglich für längere Feiertagswochenenden im Winter benötigt. Daraus kann geschlossen werden, dass die Verluste bei Betrieb der Anlagen deutlich über dem Heizwärmebedarf der Räumlichkeiten liegen.

Die Dampferzeugung für die Prozesse im Betrieb erfolgt mittels Schnelldampferzeuger, Typ Jumag DG160.

Nach Auskunft des Betriebs gab es in der Vergangenheit Probleme mit Kondensatausfall im Kamin bzw. Versottung des Kamins und Schwadenbildung am Kaminaustritt, der zu Problemen mit Hausbewohnern führte.

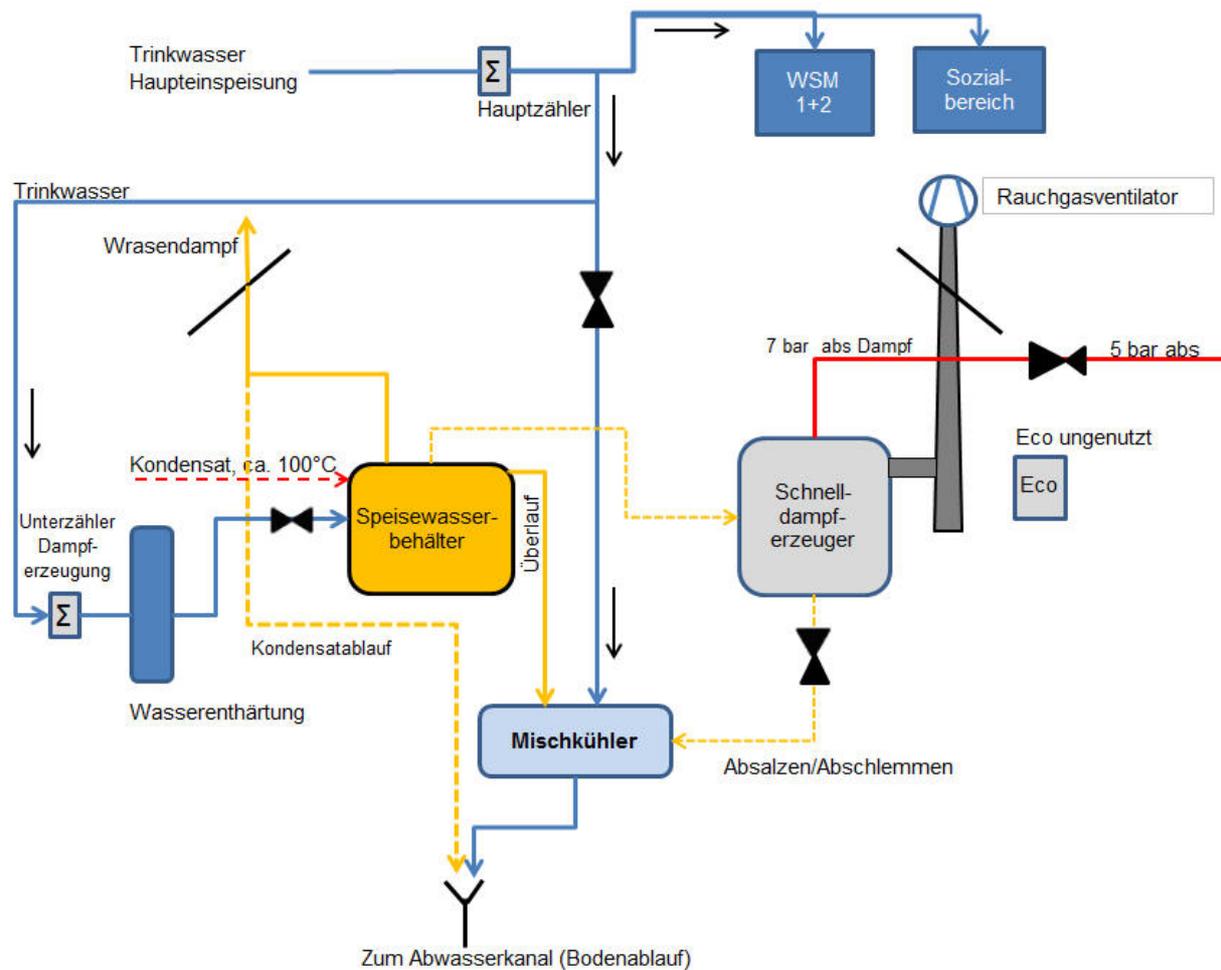


Abbildung 7: Dampferzeugung und Wasserversorgung Reinigungsbetrieb A

Aus diesem Grund wurde ein zusätzlicher Rauchgasventilator eingesetzt und der vorhandene Abgaswärmetauscher stillgelegt.

Der Dampfdruck des Schnelldampferzeugers von ca. 7 bar (abs.) wird nach wenigen Metern mittels Dampfdruckregler auf ca. 5 bar (abs.) reduziert.

Durch Messung des Dampfbezugs und des Erdgasbedarfs konnten folgende Messwerte ermittelt werden:

- Mittlerer Erdgasbezug 50 kW-Erdgas
- Nutzungsgrad Dampferzeuger ca. 69 %
- Maximaler Dampfbedarf 0,041 kg/s (siehe **Abbildung 8**) bzw. 149 kg/h, das entspricht ca. 114 kW-Dampf

Zur Plausibilitätsprüfung wurde der Erdgasbedarf der Jahresrechnung 2015 von 118,27 MWh herangezogen. Mit einer angenommenen Betriebszeit von 2.000 h/a ergibt sich daraus eine mittlere Leistung von ca. 59 kW-Erdgas.

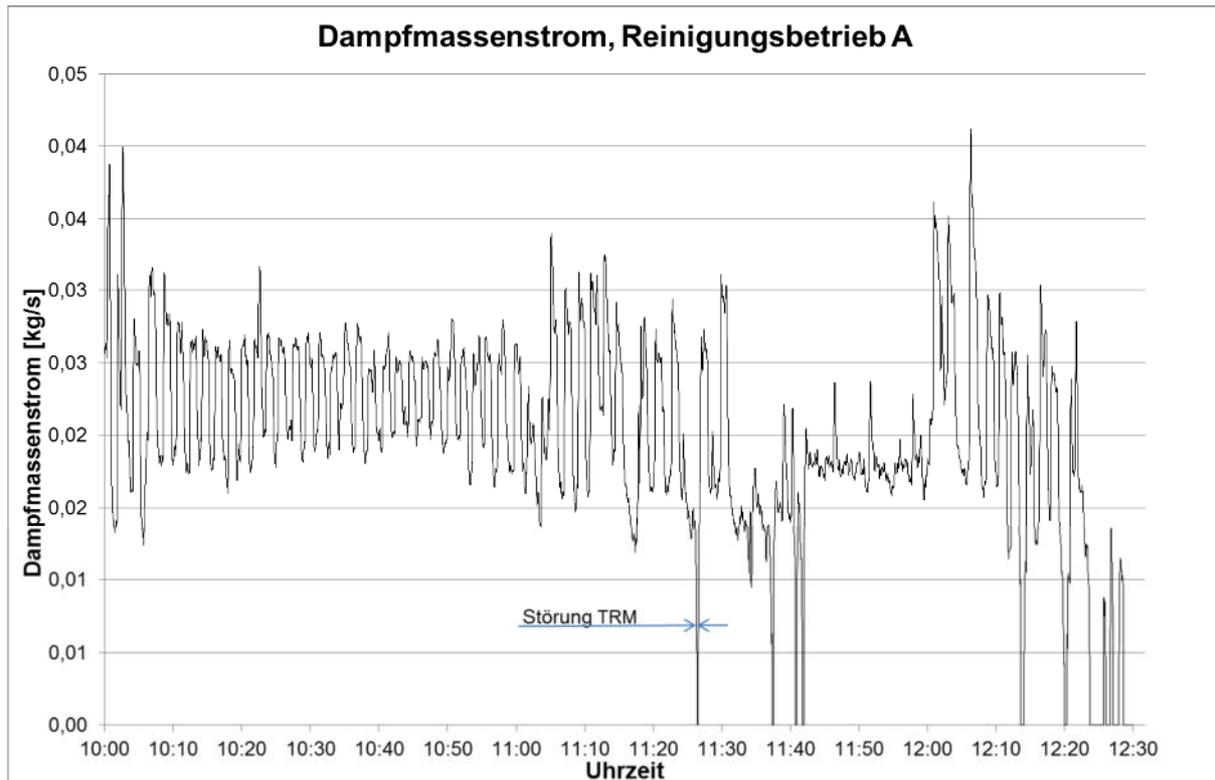


Abbildung 8: Dampfmassenstrom Betrieb A

#### 4.2.2.2 Elektrische Energie

##### 4.2.2.2.1 Elektrischer Energieverbrauch

Der Reinigungsbetrieb verfügt im Wesentlichen über folgende Stromverbraucher:

- Textilreinigungsmaschine und Adsorptionseinheit
- Kühlwasserpumpe
- Bügeltische + Finisher
- Kompressor
- Raumluftechnische Anlage (Abluftventilator)
- Beleuchtung
- Sonstige Verbraucher

**Abbildung 9** zeigt den für dampfbeheizte TRM typischen Leistungsverlauf. Während der Reinigungsphase schwankt die Leistungsaufnahme im Takt der Reversierung und erfährt je ein Zwischenhoch beim Anlauf zum Schleudern. Der größte elektrische Energieaufwand wird für den Trocknungsprozess benötigt und beträgt mit ca. 3,1 kWh rund 66 % der gesamten Stromaufnahme im Reinigungsprozess.

Als Besonderheit hat die Reinigungsmaschine noch keine integrierte, sondern eine beigestellte Adsorptionsanlage mit eigenem Stromanschluss und eigener Steuerung. Diese Steuerung hält die Adsorptionsanlage auf Stand-By-Betrieb, bis Luftklappen den Luftstrom über den Aktivkohlefilter leiten, um die letzten Reste des Lösungsmittels aus der Prozessluft zu entfernen. Wie **Abbildung 10** und **Abbildung 11** zeigen, wird nur für wenige Minuten adsorbiert, die restliche Zeit taktet die Kältemaschine der Adsorptionsanlage, um die Druck- bzw. Temperaturniveaus zu halten.

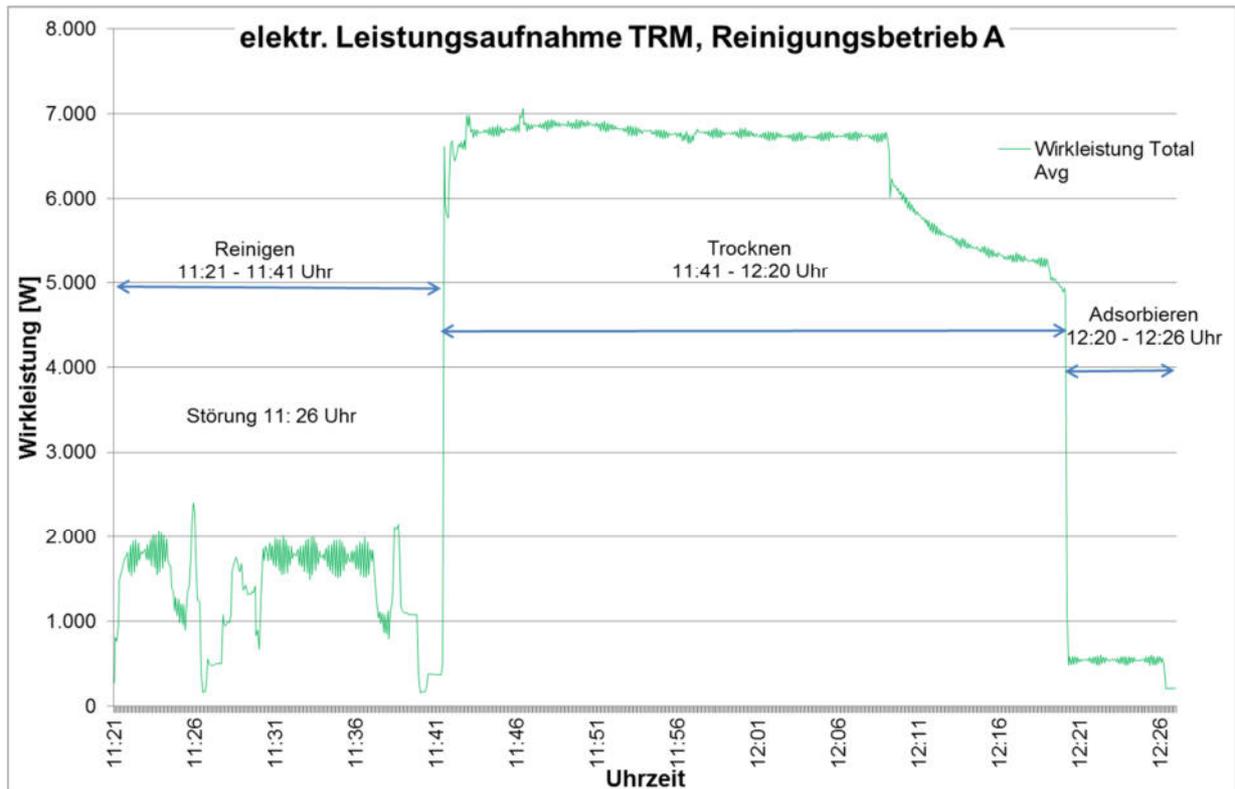


Abbildung 9: Elektrische Leistungsaufnahme TRM Reinigungsbetrieb A

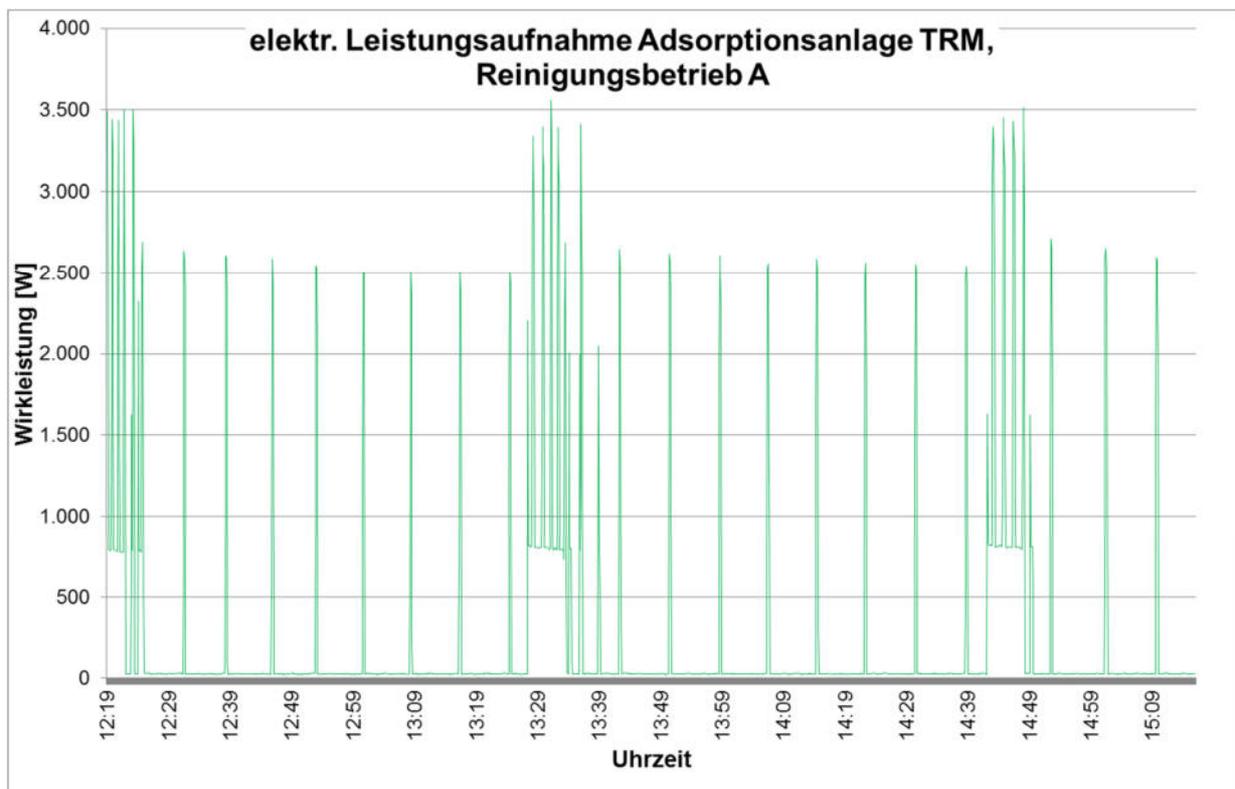


Abbildung 10: Elektrische Leistungsaufnahme Adsorptionsanlage Reinigungsbetrieb A

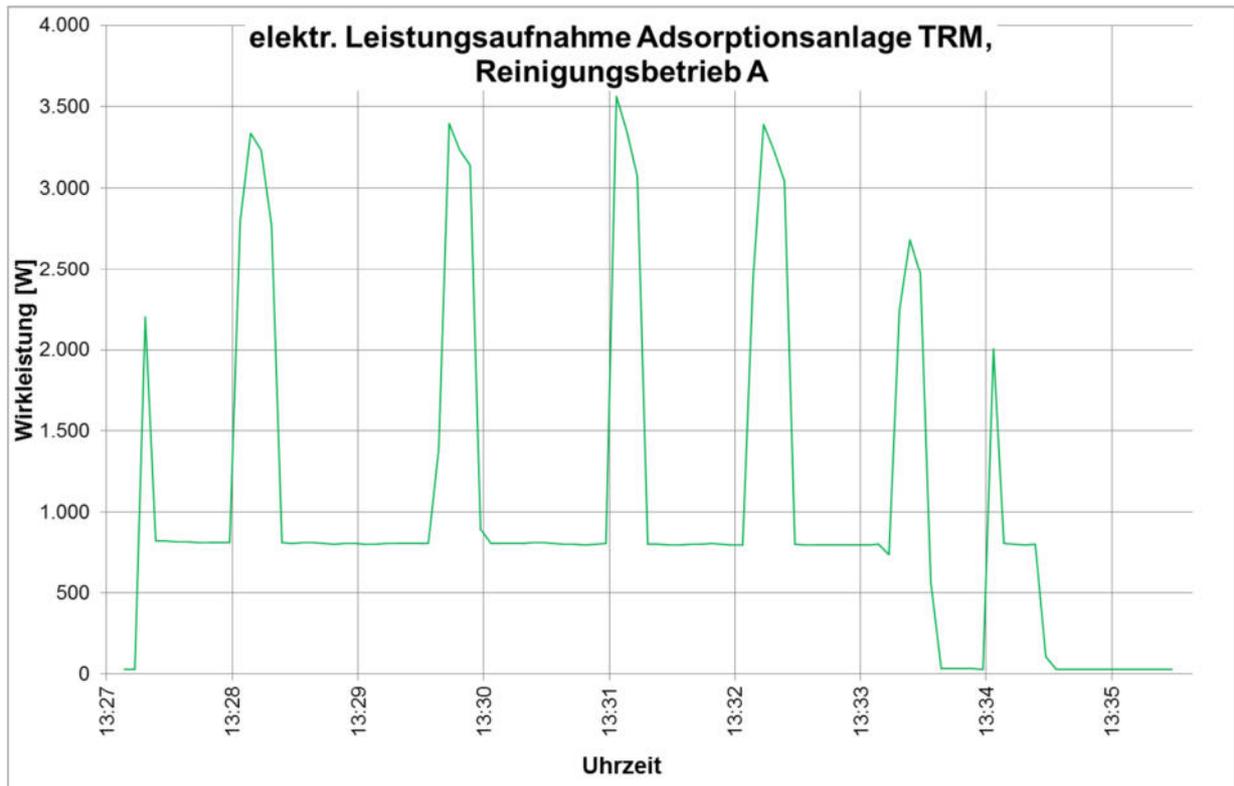


Abbildung 11: Ausschnitt elektrische Leistungsaufnahme Adsorptionsanlage Betrieb A

Für die Reinigungsmaschine einschließlich der Adsorptionsanlage wurde pro Posten ein Strombedarf von 4,65 kWh ermittelt. 66 % des Strombedarfs wird für die Trocknung aufgewendet. Dieser Energiebedarf ist stark abhängig von der Kühlwassertemperatur und den auszukondensierenden Lösemittelmengen.

Die Kühlwasserpumpe für die Rückkühlung der Textilreinigungsmaschine hat eine Nennleistung von 3 kW. Die Messungen ergaben einen mittleren Leistungsbedarf von ca. 2,3 kW. Eine bedarfsabhängige Abschaltung der Kühlwasserpumpe konnte nicht festgestellt werden. Wegen fehlender, direkter Regelung der Kühlwasserpumpe läuft die Pumpe – unabhängig von der Textilreinigungsmaschine über den kompletten Arbeitstag. Lediglich durch das Regulierventil der Textilreinigungsmaschine (TRM) wird in Arbeitspausen der Durchfluss reduziert, so dass eine um ca. 350 W geringe Leistungsaufnahme gemessen wurde.

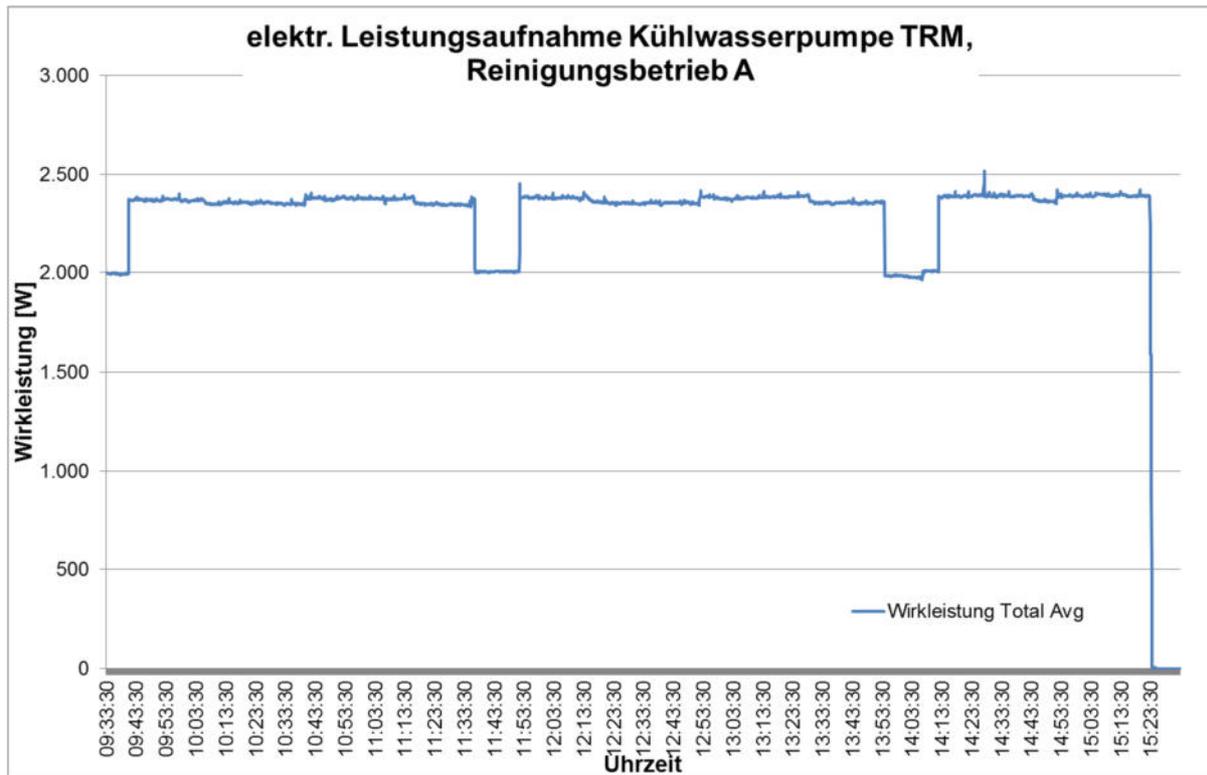


Abbildung 12: Diagramm elektrische Leistungsaufnahme Kühlwasserpumpe

Als einen Verbraucher konnte auch ein Bügeltisch erfasst werden. Über eine Leistungsmessung wurden folgende Komponenten gemessen:

- Leerlauf (interne Regelung, keine Verbraucher aktiv) ca. 9 W
- Beleuchtung (mit interner Regelung) ca. 54 W
- Bügeltischabsaugung + Beleuchtung (mit interner Regelung) ca. 440 W
- Bügeltischblasfunktion + Beleuchtung (mit interner Regelung) ca. 450 W
- Bügeleisen (mit interner Regelung, ohne Beleuchtung) ca. 740 W
- Mittelwert während der Messungen 251 W

Beim Start des Gebläses aus Stillstand entstehen Leistungsspitzen bis ca. 2.400 W (siehe **Abbildung 13**).

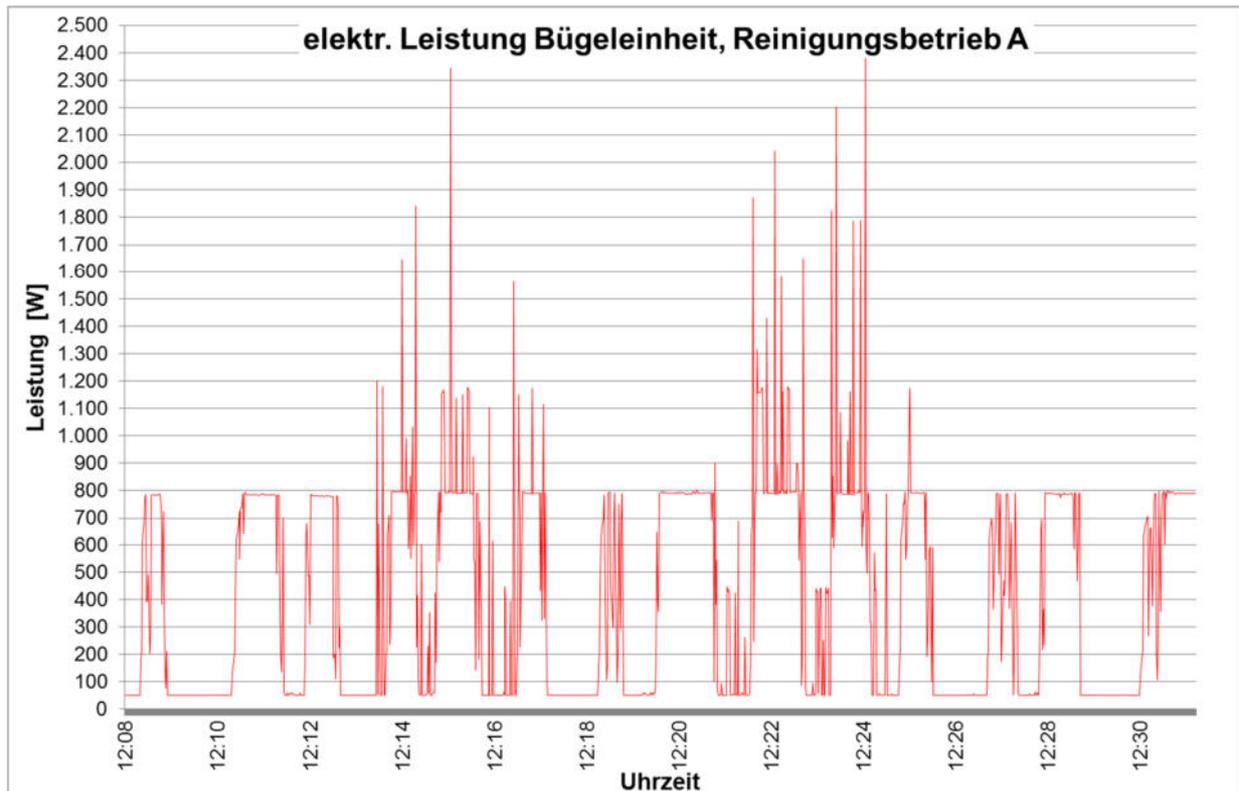


Abbildung 13: Elektrische Leistung Bügelbetrieb Betrieb A

Die bekannten elektrischen Verbraucher ergeben folgenden Gesamtverbrauch:

Tabelle 6: Aufstellung der wichtigsten Stromverbraucher

Verbraucher	Mittlere Leistung [kW]	Betriebsstunden p. a.	Jahresenergiebedarf [kWh]	Anmerkungen
Reinigungsmaschine mit Adsorption	unbekannt	unbekannt	6.119 kWh	Berechnung über Chargenanzahl (1316 p.a.)
Kühlwasserpumpe	2,3	2.000	4.600 kWh	
Kühlturm (Ventilator)	0,5	1.000	500 kWh	Nennleistung, Abschätzung Laufzeit
Bügeltisch	0,25	2.000	2x 500 kWh	(AP-Leuchte, Absaugung, Bügeleisen) x 2 Bügeltischeinheiten
Hosentopper	0,5	500	250 kWh	Nennleistung, Abschätzung Laufzeit
Brenner/Schneldampferzeuger (SDE)	0,29	2.000	580 kWh	Nennleistung, Abschätzung Laufzeit
Rauchgasventilator am SDE	0,475	2.000	950 kWh	Leistungsaufnahme nach Herstellerangabe, Abschätzung Laufzeit

Kompressor	3,0	500	1.500 kWh	Leistungsangabe nach Gebrauchtangebot bei www.ziermann.com, Abschätzung Laufzeit
Multiform Finisher	1,3	500	650 kWh	Nennleistung, Abschätzung Laufzeit
Hemdenfinisher	4,2	500	2.100 kWh	Nennleistung, Abschätzung Laufzeit
Raumbeleuchtung	0,81	1.500	1.218 kWh	Abschätzung über Leuchtmittel (58W, 14 Stück)
Raumluftabsaugung	0,25	2.000	500 kWh	Ventilator unzugänglich, Abschätzung des Energiebedarfs anhand Luftmessung (0,47m³/s), 300 Pa Druckverlust und $\eta_V = \eta_M = 75\%$
Sozialbereich: DLE, Kühlschrank und 2 Wäschschleudermaschinen	unbekannt	unbekannt	704	Laufzeiten der Geräte unbekannt, Schätzung: ca. 200 kWh Kühlschrank, ca. 350 kWh WSM, 90 kWh DLE; + Zuschlag 10% für Kleinverbraucher
<b>Gesamtstrombedarf pro Jahr:</b>			<b>20.671 kWh</b>	

**Tabelle 6** zeigt die gemessenen und die hochgerechneten Jahresverbräuche des Betriebs. Fast die Hälfte des Strombedarfs ist dabei dem Reinigungsprozess und der Rückkühlung zuzuordnen. Die meisten anderen Verbraucher konnten im Rahmen der Messzeit (fehlende Betriebszeit) oder wegen der fehlenden Zugänglichkeit nicht gemessen werden.

Ein zusätzlicher, elektrischer Kleindampferzeuger als wesentlicher Stromverbraucher war während der Messungen nicht vor Ort. Das erklärt auch den großen Abstand zur tatsächlichen Stromrechnung.

Der tatsächliche Strombedarf betrug im Jahr 2015 27.039 kWh.

#### 4.2.2.2 Druckluft

Wegen des geringen und von der Art der Ware abhängigen Druckluftbedarfs wurde keine detaillierte Untersuchung des Druckluftsystems durchgeführt. Während der Untersuchung wurden nur kurzzeitig Hemden und Blusen auf dem Finisher bearbeitet, für den höhere Druckluftverbräuche zu erwarten gewesen wären.

Der vorhandene Kompressor aus dem Jahr 1986 lief pro Tag für ca. 1 Stunde. Diese Laufzeit verlängert sich bei stärkerer Nutzung der Finisher und des Hosentoppers. Die Ermittlung der Druckluftnutzung eines tatsächlich auf Jahressicht durchschnittlichen Arbeitstags ist bei dieser Betriebsgröße deshalb sehr schwer.

Eine Abwärmenutzung für den Kompressor war nicht vorhanden.

### 4.2.2.3 Energiebilanz der Textilreinigungsmaschine

Zusammenfassend für die Kapitel 4.2.2.1.3 und Kapitel 4.2.2.1.2 wurde eine Energiebilanz für den Textilreinigungsprozess erstellt (siehe Abbildung 14).

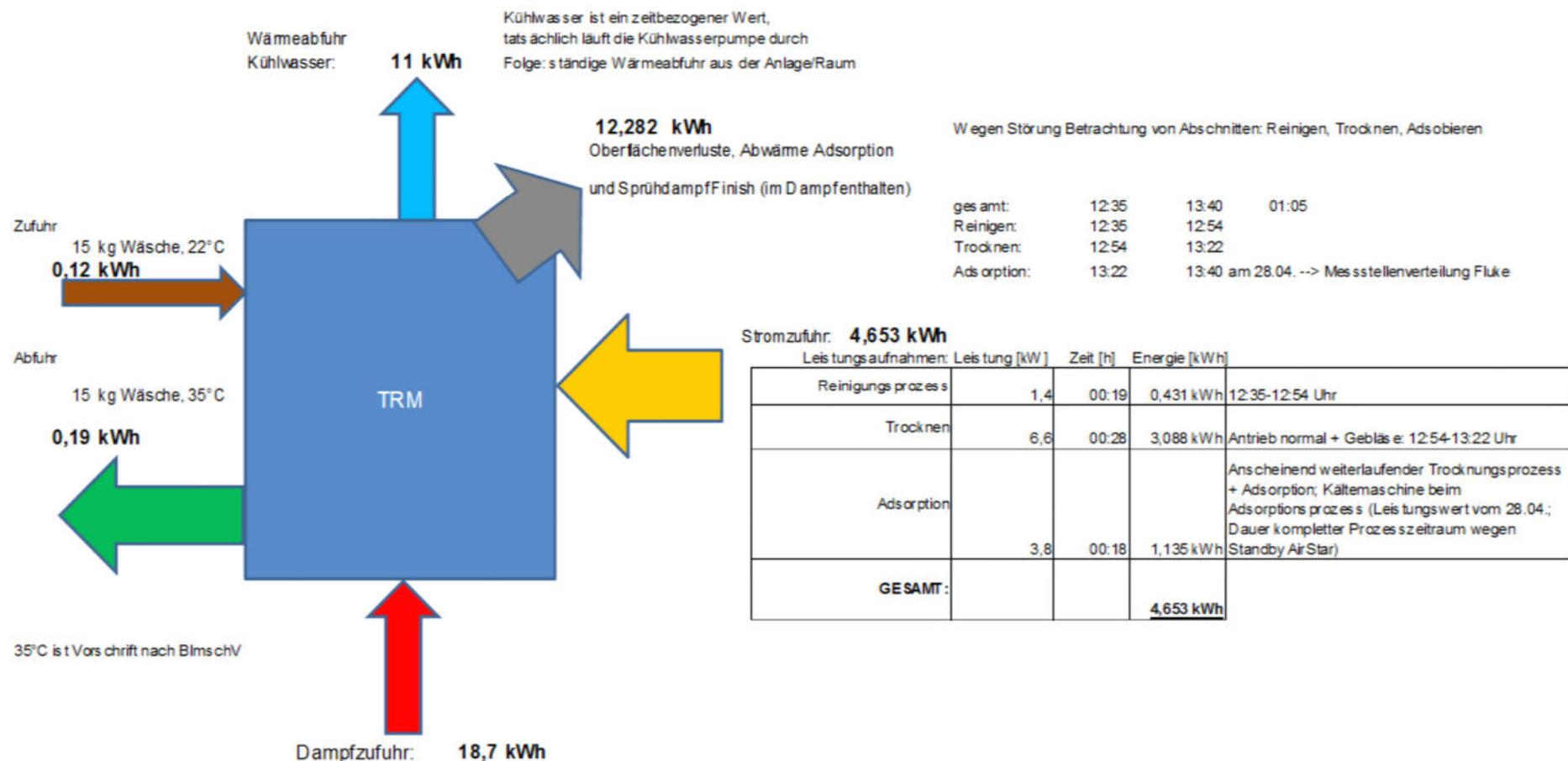


Abbildung 14: Energiebilanz Textilreinigungsprozess Reinigungsbetrieb A

Aufgrund der baulichen Situation konnte keine vollständige Trennung des Dampfbedarfs in Textilreinigungsmaschine und Finishprozesse (Bügeln, Finisher) erfolgen. Dies ist bei der Bewertung der spezifischen Kennwerte zu berücksichtigen.

Wegen der technischen Störungen und der daraus folgenden, dauerhaften Unterbeladung mit 15 kg Textilien werden bei annähernd konstanten Verlusten folgende spezifische Kennwerte erreicht:

- Elektrische Energie: 0,31 kWh<sub>el</sub>/kg
- Dampf: 1,2 kWh<sub>dampf</sub>/kg (einschließlich Verteilverluste)

Diese Werte könnten bereits bei einer Beladung mit 20 kg pro Posten deutlich verbessert werden.

Angesichts des Alters der Maschine und der heute deutlich kompakteren, integrierten Bauweise der Adsorption von Maschinen ähnlicher Baugröße ist auch die Neuanschaffung einer Textilreinigungsmaschine im Rahmen der betrieblichen Planungen zu prüfen. Eine vergleichbare, aktuelle 30-kg-TRM liegt sowohl bei Dampf als auch beim Strombedarf beim etwa halben spezifischen Verbrauch.

#### 4.2.3 Prozessparameter und ihre Auswirkungen auf die Textilien

##### 4.2.3.1 Wasserqualitäten

- **Frischwasser**

Das im Reinigungsbetrieb A vorhandene Frischwasser wird lediglich zur Nachspeisung des Kühlturms und für Sanitärbereiche der Mitarbeiter eingesetzt. Das Wasser für das Betreiben von Kesselspeisewasser wird enthärtet.

Die untersuchte Frischwasserprobe (Stadtwater) wies eine Temperatur von 12,2 °C auf und hatte eine elektrische Leitfähigkeit von 430 µS/cm (bei 20 °C). Der pH-Wert betrug 7,8, was dem zulässigen Bereich des pH-Wertes nach Trinkwasserverordnung entspricht [28]. Die Wasserhärte betrug 10,3 °d (1,84 mmol/l) und der Abdampfrückstand 0,28 mg/l (Grenzwert für Trinkwasser entsprechend DIN 38409 Teil 1: maximal 1 mg/l).

⇒ **Wasserparameter nach Enthärtung**

Das verwendete Weichwasser wird zum Betreiben des Dampfkessels eingesetzt. Es wies zum Messzeitpunkt eine Temperatur von 11,9 °C und eine Leitfähigkeit von 440 µS/cm (bei 20 °C) auf. Der ermittelte pH-Wert betrug 7,9, die Wasserhärte 0,0 °d (0,00 mmol/l) und der Abdampfrückstand des enthärteten Wasser 0,28 mg/l.

⇒ **Wasserparameter des Kühlturms**

Das zur Kondensation des Lösemittels eingesetzte Kühlwasser wird kontinuierlich durch Verdunstung abgekühlt. Das eingesetzte Wasser wies zum Zeitpunkt der Untersuchungen die in **Tabelle 7** genannten Werte auf.

Tabelle 7: Wasserparameter Kühlturm; Betrieb A

<b>Gesamthärte</b>	> 90 °d	
<b>el. Leitfähigkeit</b>	16,27 mS/cm	
<b>pH- Wert</b>	8,6	
<b>Abdampfdruckstand</b>	14,1 mg/l	
<b>Keimgehalt</b>		
<b><i>Pseudomonas aeruginosa</i></b>	bei 22 °C	211 KBE/µl
	bei 36 °C	65 KBE/µl

Für die mikrobiologischen Untersuchungen wurde ein Probevolumen von jeweils 100 µl auf Nährmedien (CASO- Agar) appliziert und bei 22 °C sowie bei 36 °C für jeweils 48 h inkubiert. Anschließend wurden die sichtbaren Keime ausgezählt (**Tabelle 7**). Der Grenzwert der maximal zulässigen Keimzahlen entsprechend Trinkwasserverordnung (Anlage 1, Teil 1) beträgt maximal 100 KBE/ml. Die ermittelte Keimbelastung überschreitet diesen Wert in etwa um das 2.000-fache.

Durch das kontinuierliche Verdunsten des Kühlwassers und Nachspeisung mit Stadtwasser konzentrieren sich Salze und Härtebildner auf. Die ermittelte Wasserhärte überstieg mit einer Wasserhärte von über 90 °d die obere Nachweisgrenze des eingesetzten Messverfahrens.

Die Leitfähigkeit des Kühlwassers betrug zum Messzeitpunkt 16,27 mS/cm (zum Vergleich 430 µS/cm bei Frischwasser). Der Abdampfdruckstand betrug in der Kühlanlage etwa 14,1 mg/l, was den für Trinkwasser zulässigen Wert von 1 mg/l deutlich übersteigt.

Da das Kühlwasser über einen Nasskühlturm auf dem Dach verrieselt und anschließend zurück in einen Tank geführt wird, sollte das Kühlwasser in regelmäßigen Abständen ausgetauscht werden. Dies reduziert die Wasserhärte, was geringere Belastung des Kühlsystem zur Folge hat. Des Weiteren bewirkt regelmäßiger Austausch des Kühlwassers deutlich geringere Keimbelastung, was insbesondere aufgrund des offenen Kühlsystems zu empfehlen ist.

#### 4.2.3.2 Beschreibung von Reinigungs- und Trocknungsprozess

Zur Überprüfung der Textileffekte wurden Untersuchungen entsprechend **Kapitel 3.2.3.3** durchgeführt.

Dazu wurde das am häufigsten eingesetzte Reinigungsprogramm detailliert untersucht, das für helle und auch für dunkle Ware eingesetzt wurde. Die Reinigungsmaschine (SECO ShopStar 500; BJ 1994; 500 l Trommelvolumen; Lösemittel PER) wurde mit Heißdampf beheizt, wobei auf Grund eines defekten Druckminderers in der Versorgungsleitung der maximal zulässige Dampfdruck von 5 bar mit 6,5 bar deutlich überschritten wurde. Aufgrund weiterer technischer Beeinträchtigungen konnte die Maschine nur mit dem maximalen Füllverhältnis von 33 l/kg (max. 15 kg Beladung) betrieben werden, da ansonsten Störungen bei der Trocknung den Programmablauf unterbrechen.

Das Reinigungsprogramm für **dunkle und helle Ware** wies folgenden Ablauf auf:

**Programmschritt 1: 1. Bad**

Füllverhältnis: 33 l/kg

g-Faktor/Reversierung: 0,67 g; 10/1

Lösemittel: PER aus Arbeitstank

Flottenverhältnis: 4 l/kg

RV-Dosierung: keine

Dauer: 2,5 min, anschließend Ablass in Destillation (1 min) und Schleudern bei 71 g (2 min)

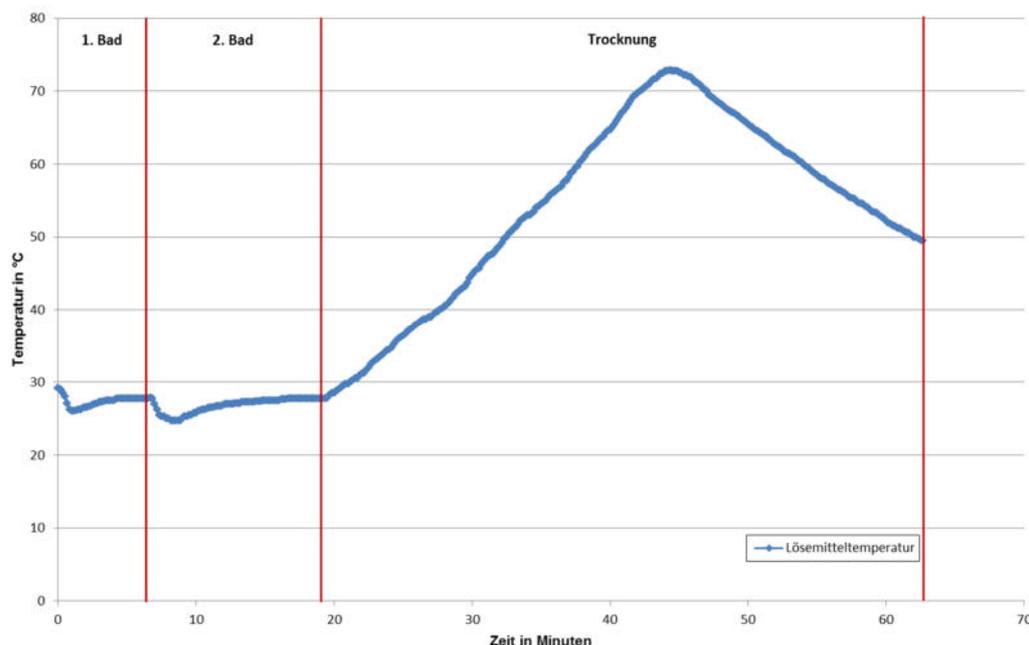
**Programmschritt 2: 2. Bad**

Füllverhältnis:	33 l/kg
g-Faktor/Reversierung:	0,7 g; 10/1
Lösemittel:	4 l/kg PER aus Reintank, Leeren des Arbeitstanks, Auffüllen auf Endniveau aus Reintank
Flottenverhältnis:	6 l/kg
RV-Dosierung:	1,1 ml/l Reinigungsverstärker (100 ml, Firma Seitz)
Dauer:	8 min, anschließend Ablass in Arbeitstank (1 min) und Endschleudern bei 71 g (2 min)

**Programmschritt 3: Trocknung**

g-Faktor/Reversierung:	0,7 g; 10/1
Dauer:	43,5 min

Die gesamte Laufzeit des Reinigungsprogramms inklusive Trocknung betrug mit den zum Zeitpunkt der Untersuchungen in der Maschine behandelten Textilien insgesamt etwa 62 Minuten. Abbildung 15 zeigt den Temperaturverlauf während der Reinigung und anschließender Trocknung. Da für helle und dunkle Ware das gleiche Reinigungsprogramm verwendet wird, gilt das folgende Diagramm für helle und dunkle Bekleidung.



**Abbildung 15: Temperaturverlauf in der Reinigungsmaschine, dunkle und helle Ware**

**4.2.3.3 Schmutzentfernung**

Die **Abbildung 16** bis **Abbildung 19** zeigen die während des Untersuchungszeitpunktes erzielte Schmutzentfernung für dunkle und helle Ware. Für die Untersuchungen wurden zum Vergleich neben den speziell für die Reinigung entwickelten Monitoren (PCMS 17-c) auch die für Waschprozesse üblichen Monitore (PCMS 55) eingesetzt.

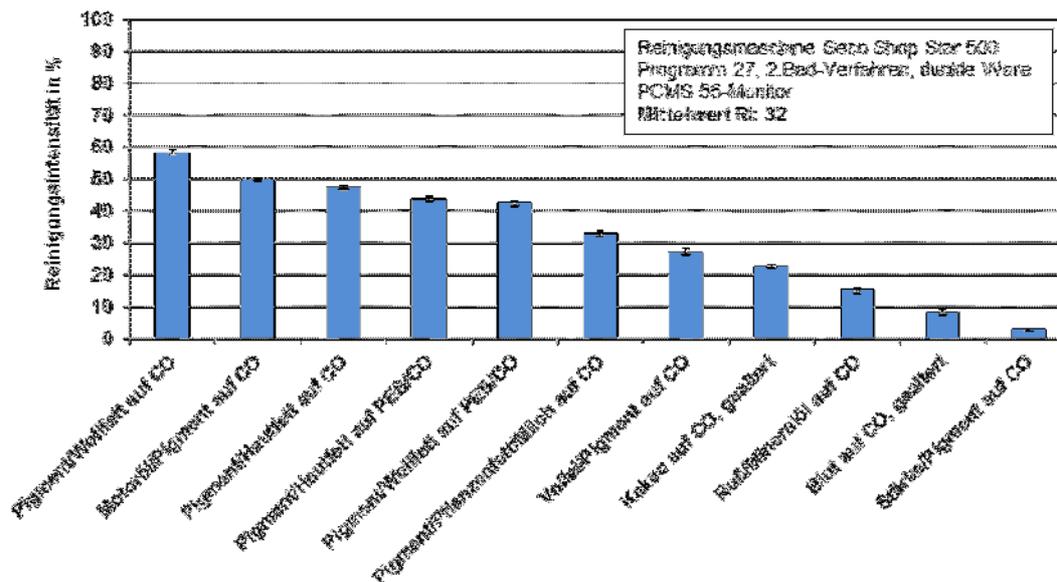


Abbildung 16: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Reinigungsmaschine (15 kg Beladung) mit PER-Lösemittel und dunkler Bekleidung mit PCMS 55 Monitor

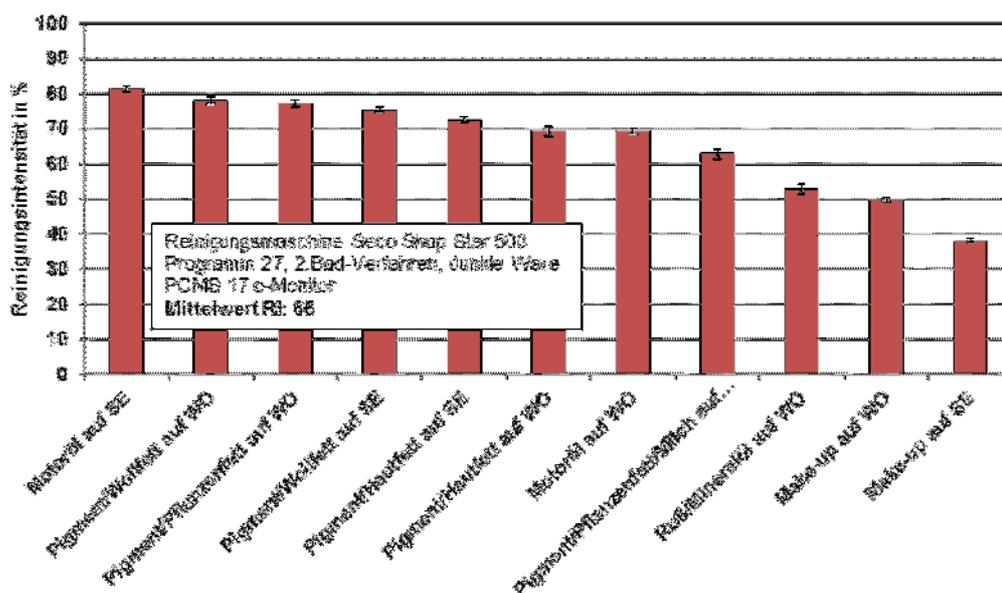


Abbildung 17: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Reinigungsmaschine (15 kg Beladung) mit PER-Lösemittel und dunkler Bekleidung mit PCMS17-c Monitor

**Abbildung 16** zeigt die Schmutzentfernung der für Waschverfahren entwickelten Schmutztestgewebe. Dabei wurden nur Ergebnisse mit signifikanter Schmutzentfernung angegeben. Danach liegt die Summe aller RI-Werte für alle Schmutzarten bei 32.

**Abbildung 17** zeigt, dass sich die speziell für die Chemischreinigung eingesetzten typischen Schmutzarten deutlich besser entfernen lassen. Die Summe aller RI-Werte für alle Schmutzarten liegt bei 66.

Im Vergleich zu den Werten bei dunkler Ware, zeigen **Abbildung 18** und **Abbildung 19** die erzielten Ergebnisse für helle Ware.

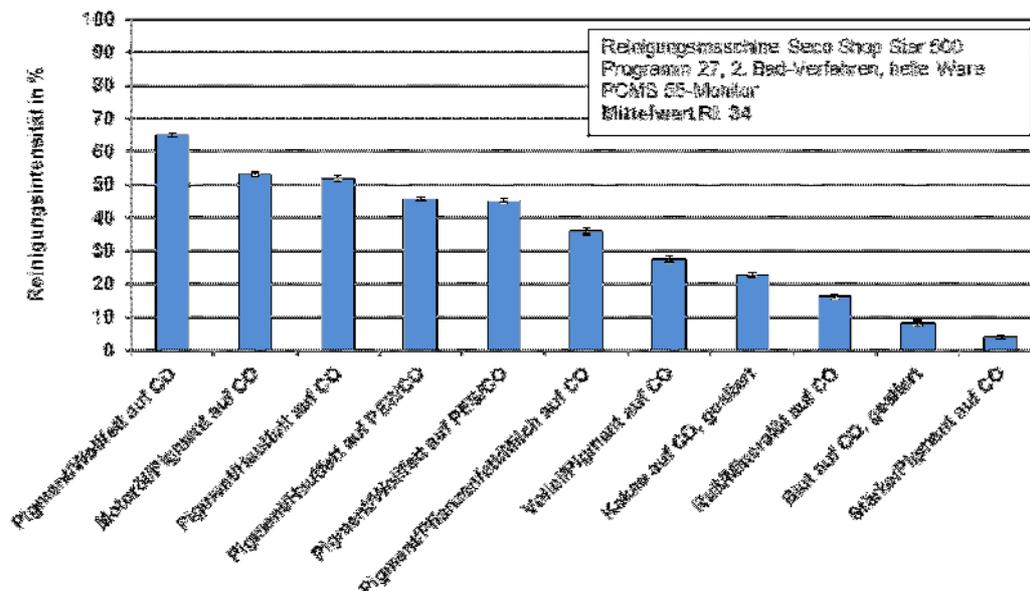


Abbildung 18: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Reinigungsmaschine (15kg Beladung) mit PER-Lösemittel und heller Bekleidung mit PCMS55 Monitor

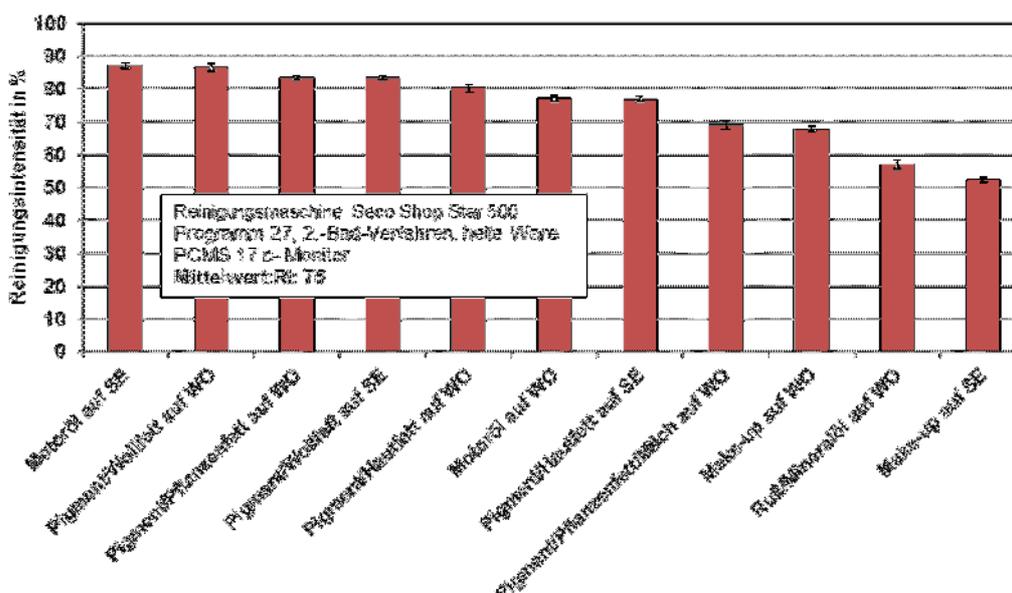


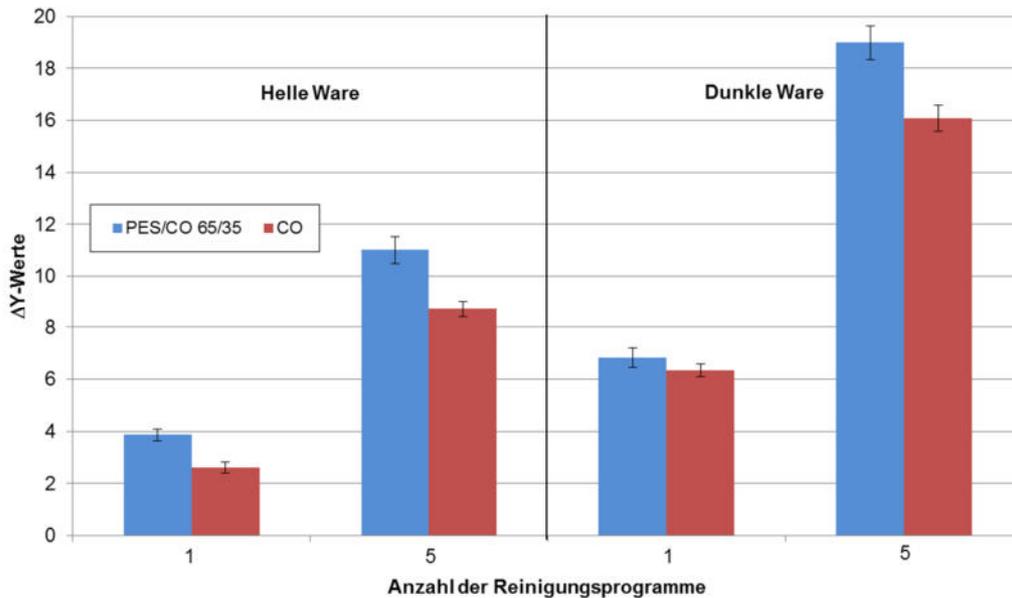
Abbildung 19: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Reinigungsmaschine (15 kg Beladung) mit PER- Lösemittel und heller Bekleidung mit PCMS17-c Monitor

Erwartungsgemäß werden bei heller Ware höhere RI-Werte als bei dunkler Ware gemessen, da das Lösemittel weniger stark belastet ist als bei dunkler Ware, aus der sich zusätzlich Farbpigmente ablösen können.

#### 4.2.3.4 Vergrauung

An den in Kapitel 3.2.3.3 beschriebenen sauberen Prüfgeweben wurden die *Vergrauungswerte* nach 1 und 5 Mehrfachbehandlungen bestimmt.

Abbildung 20 zeigt die ermittelten Ergebnisse an Baumwolle und Mischgewebe (PES/CO 65/35) in Abhängigkeit der durchgeführten Reinigungszyklen.



**Abbildung 20: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Reinigungsmaschine, Reinigungsbetrieb A**

Danach liegen die Vergrauungswerte der Reinigungsmaschine im Programm 27 (2-Bad-Verfahren) bei heller Beladung zwischen 2 und 11 ( $\Delta Y$ -Wert), bei dunkler Beladung erwartungsgemäß höher zwischen 6 und 19 ( $\Delta Y$ -Wert).

#### 4.2.3.5 Glätteergebnis

Die Bewertung des Glätteergebnisses erfolgte nach den in **Kapitel 3.2.3.6** beschriebenen Bedingungen.

Hosen wurden zunächst mit einem Hosentopper vorgedämpft. Anschließend wurden Hosenfalten, Hosentaschen und Hosenbund manuell gebügelt. Die Bewertung ergab den Median von 4,5 (1: mangelhaft; 5: sehr gut).

Das Finishen von Sakkos und anderer Oberbekleidung erfolgte in dem untersuchten Betrieb in drei Schritten. Zunächst werden Kragen, Revers, Knopfleisten und das Innenfutter manuell gebügelt. Anschließend wird eine Dämpfpuppe eingesetzt. Im dritten Arbeitsschritt werden entstandene Druckstellen durch die Dämpfpuppe manuell entfernt. Dabei wurde aufgrund intensiver manueller Finisharbeit und des erfahrenen Personals Glätte der Sakkos mit der Note 5 bewertet.

Das manuelle Finishen (bügeln) von Seidenblusen ist sehr aufwändig, da jeglicher Eintrag von Wasser, auch in Form von Heißdampf, negative Effekte auf der sehr empfindlichen Ware hervorruft. Die untersuchten Seidenblusen zeigten jedoch ebenfalls sehr gute Ergebnisse, was aufgrund der ausschließlich manuellen Behandlung allein den Fähigkeiten und der Erfahrung der Mitarbeiter zuzuschreiben ist. Entsprechend der Bewertung des Expertenpanels wurden Seidenblusen mit der Note 4 bewertet.

#### 4.2.4 Optimierungsvorschläge Reinigungsbetrieb A

Eine energetische Optimierung und somit Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Betriebes A ohne Verschlechterung der Reinigungseffekte ist durch folgende Maßnahmen zu erzielen.

#### 4.2.4.1 Textilreinigungsmaschine einschließlich Adsorption

Die für 25 kg Nennbeladung ausgelegte Textilreinigungsmaschine ging bei einer Beladung über ca. 15 kg auf Störung. Als wesentliche Störungsursachen konnten zwei Faktoren festgestellt werden:

- Motorschutzschalter / Frequenzumrichter
- Kühlwassertemperatur / Überdruck Kältemaschine

Dabei minderte die Unterbeladung der Textilreinigungsmaschine die Auswirkungen des zum Zeitpunkt der Messungen nur eingeschränkt funktionierenden Kühlsystems.

Als direkte Verbesserungsmaßnahmen an der Textilreinigungsmaschine wurden den Eigentümerinnen folgende Maßnahmen empfohlen:

- Ursachenermittlung für die Störmeldungen am Frequenzumrichters (FU) und ggfs. Reparatur oder Ersatz des FU
- Einbau eines Relais für die Freischaltung der Adsorption nach Programmanforderung zur Vermeidung des Stand-By-Betriebs / Takten der Kältemaschine in der Adsorption
- Ggfs. Austausch der Kältemaschine der Adsorption gegen eine leistungsangepasste Kältemaschine mit Rückkühlung über Kühlwasser statt Raumluft
- Dämmen der warmen und heißen Bauteile der Reinigungsmaschine, insbesondere Luftkanäle und Destillationsblase (siehe auch **Abbildung 21**).

**Abbildung 21** zeigt die Rückseite der Textilreinigungsmaschine mit der Destillationsblase bzw. der Reinigungsöffnung der Destillation und teils ungedämmte Dampfleitungsarmaturen, vor allem Kugelhähne und das Dampfventil. Im Gegensatz zu aktuellen Konstruktionen verfügt die Maschine über eine würfel- statt zylinderförmige Destillation. Ein Teil der Wärmeverluste kann bei heutigen Maschinen konstruktiv durch eine geringere Oberfläche bei gleichem Volumen vermieden werden.



**Abbildung 21:** Thermografieaufnahme Destillation TRM Betrieb A

#### 4.2.4.2 Wärmeerzeugung und Verteilung

Entsprechend der auch im Wäschereiprojekt (DBU AZ 28612) gefundenen Mängel bei der Dampferzeugung und Verteilung wurden auch hier Potenziale gefunden. Bei einem Vergleich von Dampfleistung zu eingesetztem Erdgas wurde ein Nutzungsgrad von ca. 69 % ermittelt. Die maximale Dampfleistung betrug ca. 114 kW (149 kg/h Dampf), der mittlere Erdgasbezug betrug 50 kW.

- Dämmen von Dampf- und Kondensatleitungen zur Senkung des Wärmeverlustes und der Verbrennungsgefahr für Mitarbeiter

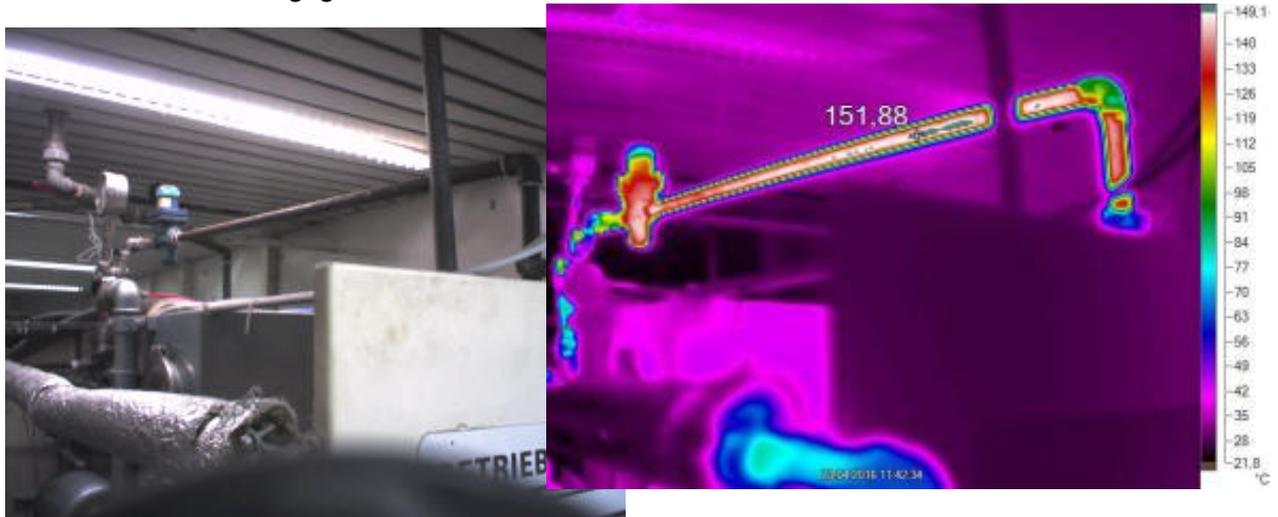


Abbildung 22: Thermografie und Foto einer ungedämmten Dampfleitung in Betrieb A

- Optimierung der Dampferzeugung
  - Einbinden des stillgelegten, vorhandenen Abgaswärmetauschers in Verbindung mit der Sanierung des Kamins und der Stilllegung / Demontage des Rauchgasventilators (siehe Abbildung 23)
  - Drucksenkung des Dampfdrucks auf das Nutzniveau von ca. 5 bar (abs).
  - Senkung der Feuerungsleistung oder Austausch des Brenners auf ca. 150 kW
  - Bei Anschaffung neuer Finishgeräte und/oder einer neuen Textilreinigungsmaschine ist eine neue Bewertung des Verbrauchs und der installierten Brennerleistung nötig. Es sollten deshalb Investitionen in die Verbraucher vor der Optimierung des Dampferzeugers erfolgen
- Optimierung des Speisewasser- und Kondensatmanagements (siehe Abbildung 23)
  - Beseitigung Speisewasserverlust – Reparatur Undichtigkeiten
  - Nutzung der Energie aus dem Wrasendampf und aus dem heißen Abschlamm-/Absalzwasser durch Wärmetauschereinheit
  - Bei ausreichender Abkühlung von Absalz-/Abschlemmwasser kann der bislang vorhandene Mischkühler und der damit verbundene Trinkwasserbedarf entfallen

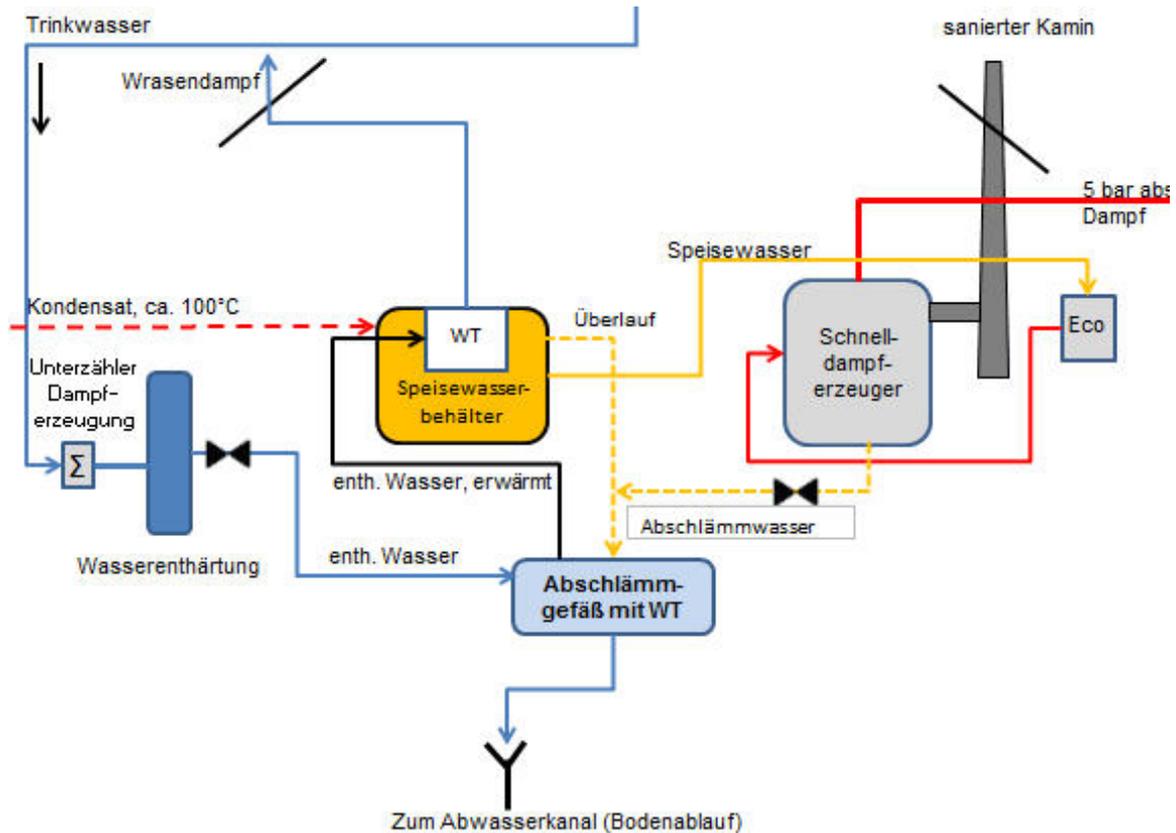


Abbildung 23: Empfehlung Umbau Speisewasserversorgung, Betrieb A

#### 4.2.4.3 Kühlwassermanagement

Wie in Kapitel 4.2.3.1 ausgeführt, war das Kühlwasser durch die Verdunstung und fehlende Abnahme einer weiteren Nutzung stark aufkonzentriert.

Aufgrund der Betriebsgröße ist eine wirtschaftliche Nutzung des erwärmten Kühlwassers nicht ohne weiteres möglich. Erschwert wird eine Nutzung auch durch die laufende Aufkonzentration und den Schmutzeintrag durch die offene Verrieselung des Kühlwassers. Es wurde deshalb ein Umbau des offenen Kühlsystems auf ein geschlossenes System empfohlen, so dass der Strombedarf der Kühlwasserpumpe bei Tausch gegen eine Hocheffizienzpumpe um bis zu 90 % gesenkt werden kann (siehe **Abbildung 24**).

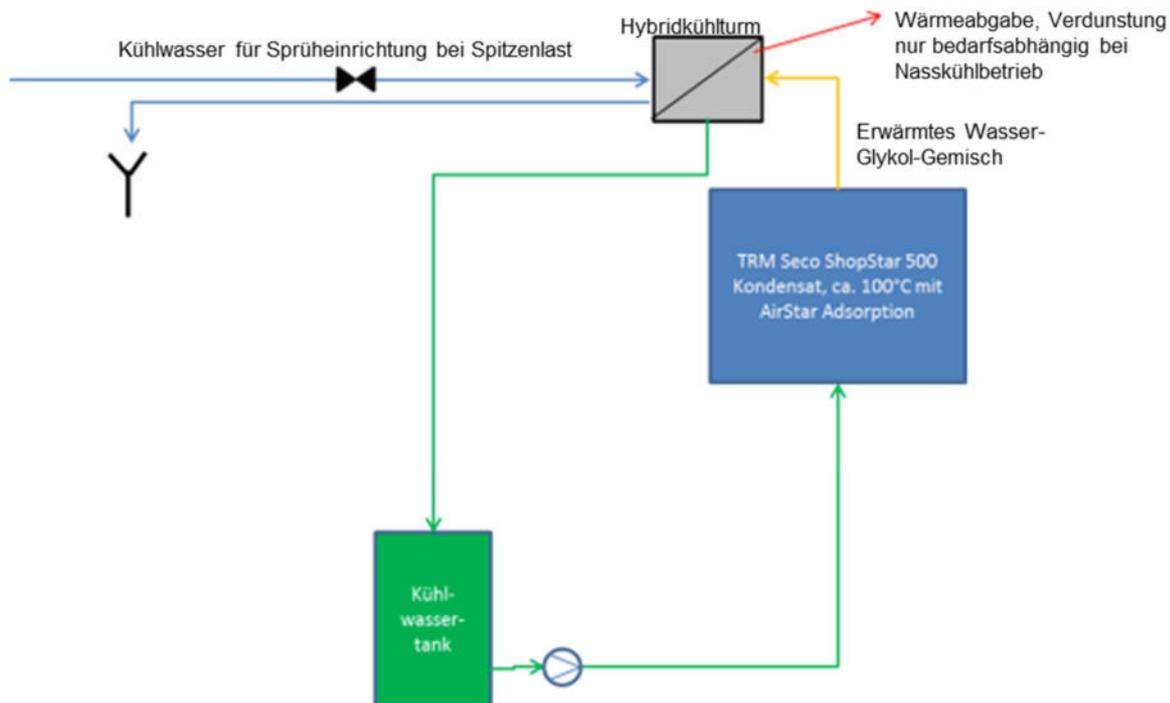


Abbildung 24: Kühlwasserkreislauf optimiert, Betrieb A

Um im Hochsommer thermische Spitzenlasten kompensieren zu können, wird weiterhin Verdunstungskühlung durch äußeres Besprühen des Wärmetauschers benötigt. Durch den geschlossenen Kühlkreis bleibt die Qualität des Kühlmediums langfristig hoch und die Ablagerungen an Rohren und Wärmetauschern gering.

Parallel kann jederzeit Abwärme für Heizzwecke oder für die Vorwärmung von Wasser über den Einbau eines Wärmetauschers in den Kühlkreislauf ausgekoppelt werden, wenn dies wirtschaftlich darstellbar ist. Derzeit ist eine wirtschaftliche Abwärmenutzung – z.B. Fußbodenheizung – nicht erkennbar.

Es sollte deshalb regelmäßig ein Abwärmenutzung für die Gebäudeversorgung (Heizung und Warmwasserversorgung) geprüft werden.

Wenn keine weiteren Änderungen am Kühlsystem vorgenommen werden, sollte das Kühlwasser öfter getauscht werden, z.B. durch Verwendung des erwärmten Kühlwassers im Mischkühler. Dies dient der Verdünnung von aufkonzentrierten Inhaltsstoffe im Kühlsystem und damit der Qualitätsoptimierung des Kühlwassers.

#### 4.2.4.4 Bügeleisen/-tisch

Die Bewertung der Bügeltischeinheit ist in der Praxis komplex. Neben dem Einfluss von unterschiedlicher Technik spielt auch die von der zu bearbeitenden Warenart abhängige Geräteeinstellung und vor allem die individuelle Bearbeitungsweise eine Rolle.

Die in **Kapitel 4.2.2.2.1** erläuterten Komponenten des Bügeltisches benötigen elektrische Energie:

- Bügeleisen
- Arbeitsplatzleuchte
- Abluft-/Abblaseeinrichtung
- Regeleinheit des Tisches

Der Energiebedarf der Beleuchtung und der Regelung ist beim Betrieb konstant. Während die Regelung nicht im Stromverbrauch verändert werden kann, macht ein Austausch der konventionellen Leuchtstoffröhre (ca. 45 W) durch eine LED-Röhre (ca. 35 W) Sinn. Wegen der geringen Betriebsstunden und dem geringen Leistungsunterschied kann mit dieser Maßnahme bis zu einem notwendigen Austausch wegen Defekts der alten Röhre gewartet werden. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht steht einem finanziellen Mehraufwand eine geringe zu erwartende Einsparung von ca. 20 kWh und eine höhere Lebenserwartung gegenüber.

Als positiver Nebeneffekt sinkt die thermische Belastung im Aufstellraum geringfügig ab. Die Saug- / Blaseinrichtung des Bügeltischs kann derzeit nicht wirtschaftlich abgeändert werden. Die größten Optimierungspotenziale im Bereich des Bügeltischs liegt beim Bügeleisen. Sie lassen sich in organisatorische und technische Verbesserungen unterteilen.

Organisatorisch optimieren lassen sich folgende Punkte:

- Anpassung der Temperatur des Bügeleisens auf das minimale, notwendige Temperaturniveau je Textilart und Stoffstärke
- Laufzeitoptimierung durch Abschalten in Pausen
- Prüfung einer Nachrüstung der Bügeltische mit Fußschaltern zur automatischen Vermeidung von Standby-Verbrauchern, ggfs. inklusive Verzögerungsschaltung zur Vermeidung langer Aufheizphasen bei kurzer Abwesenheit

Als technische Verbesserungen wurden genannt:

- Behebung des zu nassen Dampfes durch Nachrüsten von Kondensatabscheider für trockenen Dampf
- Dämmen von Dampfleitungen und Dampfanschlusschläuchen
- Ablage der Bügeleisen bei Stand-By in einem Dämmschuh aus temperaturfestem Material

Kondensatabscheider waren bereits eingebaut, jedoch kam es durch die fehlende bzw. unzureichende Dämmung an den Dampfleitungen und Dampfanschlusschläuchen bei Untersuchung des Betriebs trotzdem zu Tropfenbildung am Bügeleisen. Aus der Erfahrung der Mitarbeiterinnen heraus wurde dieser erste Dampfstoß von der Wäsche weg oder auf ein extra Stoffstück abgegeben. Dies senkt die Bügelleistung und erhöht den Dampfbedarf.

### 4.3 Betrieb B - Mittlerer Textilreinigungsbetrieb mit 2 bis 3 Reinigungsmaschinen, einer Nassreinigungsmaschine und Finishbereich

#### 4.3.1 Allgemeine Daten des Reinigungsbetriebes

Der untersuchte Reinigungsbetrieb verfügt über drei Nassreinigungsmaschinen und zwei Reinigungsmaschinen (Hersteller Multimatic, Typ Phoenix BW 500) und unterschiedliche Finishgeräte.

**Tabelle 8: Versorgungsanlagen Reinigungsbetrieb B**

Anlagenart	Hersteller	Typ	Leistung gem. Typenschild in kW	Anmerkungen
Dampfkessel (zentral)	Loos	UHD 1250	-	
Brenner zum Dampfkessel	Weishaupt	RGL7/ 1-D	300 - 1750	Gas/Öl beheizt
Kompressor mit Lufttrockner	Boge	C15F		BJ 2016; mittlerer Druck 9,5 bar

**Tabelle 9: Maschinenpark Reinigungsbetrieb B**

Maschinen	Hersteller	Typ	Heizleistung gem. Typenschild in kW	Beheizungsart	Anmerkungen
CR-Maschine	Multimatic	Phoenix BW 500	15,1	Dampf	Gemeinsame Destillationskammer
CR-Maschine	Multimatic	Phoenix BW 500	15,1	Dampf	
Wetclean-Waschmaschine	Girbau	HS4040 PM-E		Dampf	
Wetclean-Waschmaschine	Girbau	HS6023		Dampf	
Wetclean-Waschmaschine	Girbau	HS6023		Dampf	

Der Betrieb unterteilt sich in die vier Bereiche Textilreinigung mit Warenannahme und -abgabe, Wäscherei, Logistik und Kesselhaus. Im Kellergeschoss befindet sich zusätzlich der Kompressor zur Versorgung mit Druckluft.

In einem direkt an die Wäscherei angegliederten Kesselhaus befindet sich der Dampfkessel (erdgasbeheizt, mit Möglichkeit der Ölbeheizung) und die Wasseraufbereitungsanlage zur Erzeugung von Weichwasser für das Kesselspeisewasser. **Abbildung 25** zeigt den Aufbau des Unternehmens und die Standorte der Maschinen.

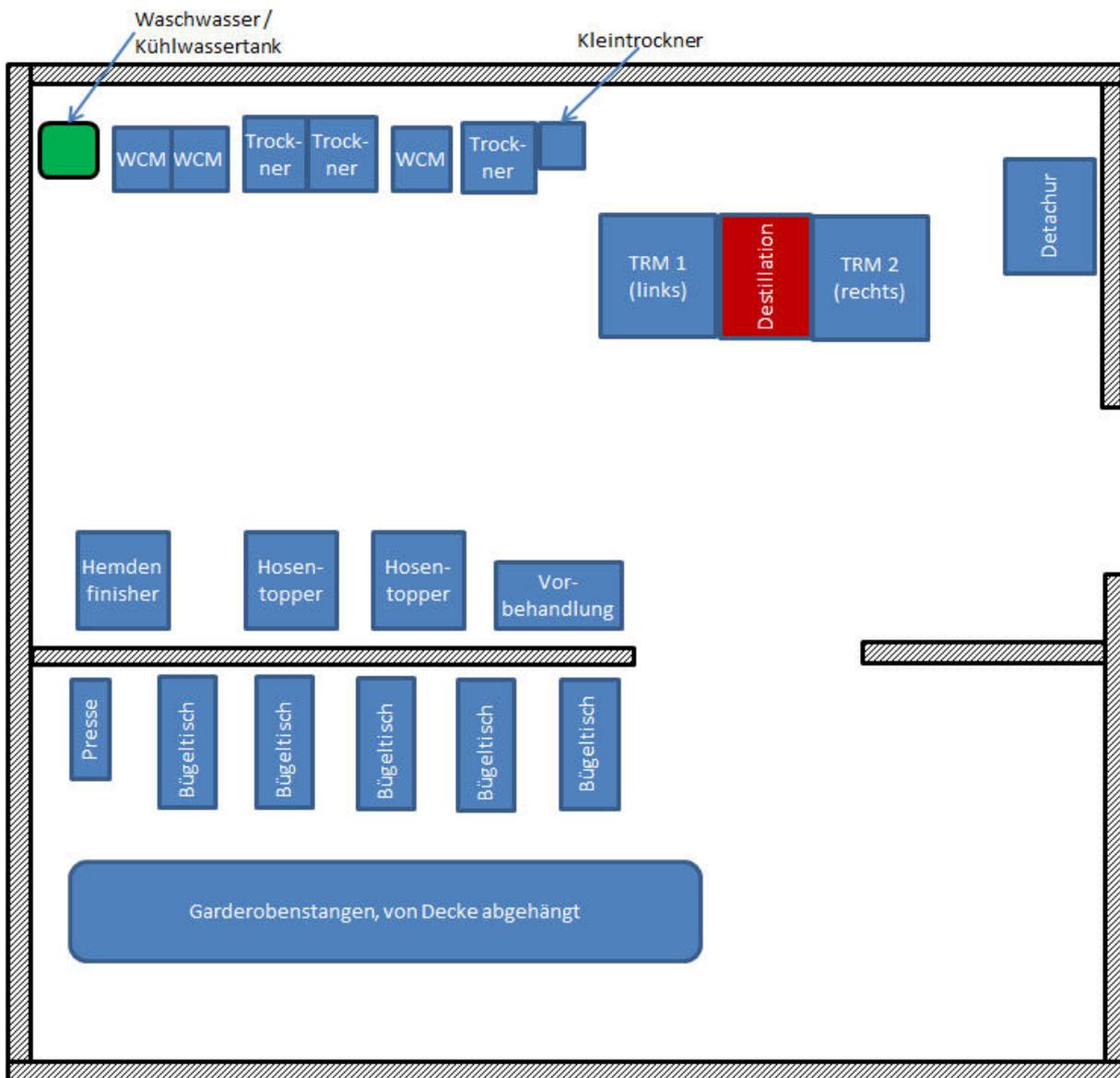


Abbildung 25: Grundriss Textilreinigungsbereich Betrieb B

## 4.3.2 IST-Analyse Reinigungsbetrieb B

### 4.3.2.1 Erfassen der Energie- und Massenströme

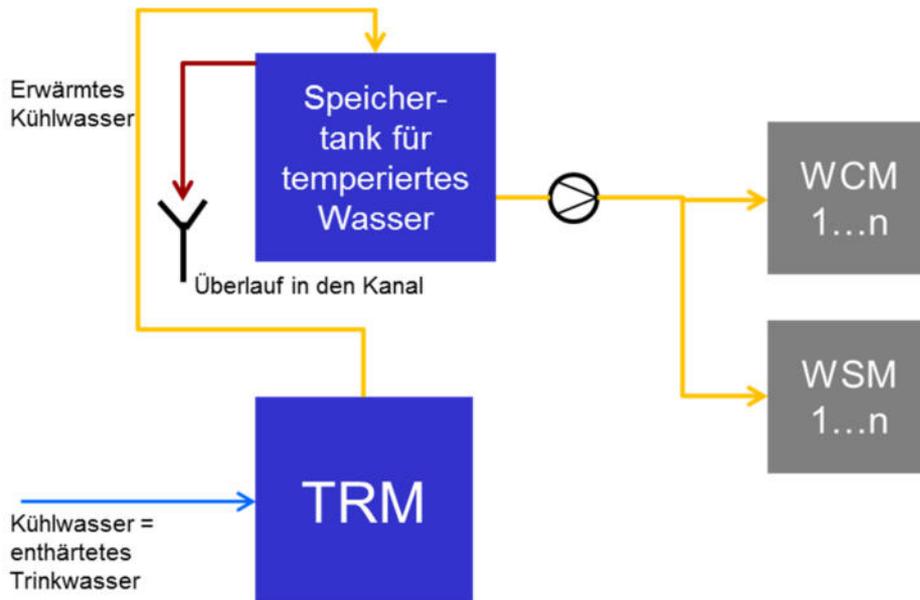
#### 4.3.2.1.1 Warenströme

Der Betrieb bearbeitete insgesamt 500 t/a Textilien, davon 125 t/a in der Reinigung. Ca. 70 % der zu reinigenden Teile (87,5 t/a) wurden gefinisht: davon 80 % Bügeln, 20 % Dämpfen (Puppen/Hemdenfinisher), (wfk, Stand 2011).

Für Juli 2016 wurden die Chargen der Textilreinigungsmaschine ausgewertet: An 12 Arbeitstagen wurden 1.595 kg Textilien in 115 Posten gereinigt. Das mittlere Postengewicht betrug 13,9 kg (ca. 56 % Auslastung bezogen auf die Nennpostenmasse). Die mittlere Tagesleistung der Reinigung betrug 132,9 kg.

#### 4.3.2.1.2 Kühlwassereinsatz

Wie in **Abbildung 26** dargestellt wird das Kühlwasser der Textilreinigungsmaschine nach Erwärmung durch den Prozess in einem einfachen Tank (IBC-Standardbehälter, ca. 1.000 Liter) gespeichert. Ein Hauswasserautomat (Pumpe mit elektronischer Regelung) pumpt dieses Wasser zu den WetClean- bzw. Waschschleudermaschinen, die jeweils über einen eigenen Wasseranschluss für das erwärmte Wasser verfügen. Über einen Kühlturm verfügt der Betrieb nicht.



**Abbildung 26: Kühlwassermanagement Betrieb B**

Während des Messzeitraums wurde kein Überlauf in den Kanal festgestellt. Die mittlere Temperatur des erwärmten Kühlwassers betrug bei Nutzung 36 °C, der mittlere Volumenstrom wurde mit 0,41 m<sup>3</sup>/h gemessen.

Bei der thermischen Leistungsmessung wurde eine mittlere Leistung von ca. 12 kW gemessen. Wie in **Abbildung 27** zu sehen ist, war die gemessene thermische Leistung stark volatil, was auch an stark schwankenden Durchflussmesswerten lag.

Die zeitliche Verzögerung sowie die fehlende Dämmung der Wasserleitung vom Tank zu den Wetclean- und Waschschleudermaschinen führte dazu, dass ein Teil der Energie in den Aufstellraum abgegeben wird und nicht dem Prozess zugutekam.

Es wurde zur Feststellung der Verbrauchsdaten an Wetcleanmaschine 1 (WCM1) mittels Clamp-On-Ultraschallmessgerät die Temperatur und der Volumenstrom der eingesetzten Wasserarten gemessen. WCM1 verbrauchte für das untersuchte Programm 29 167 Liter vorgewärmtes Kühlwasser und 146 l Kaltwasser. Bei einem Postengewicht von 20,53 kg liegt der spezifische Wasserverbrauch bei 15,2 l/kg,

Wie in **Abbildung 28** zu sehen ist, fällt die an der Wasserleitung gemessene Temperatur T2 über die Zapfpausen der Wetcleanmaschine langsam ab, um bei Zapfvorgängen in wenigen Sekunden um ca. 5 K anzusteigen. Im Mittel wurden 36 °C gemessen. Der Dampfeinsatz konnte so um ca. 47 % gesenkt werden.

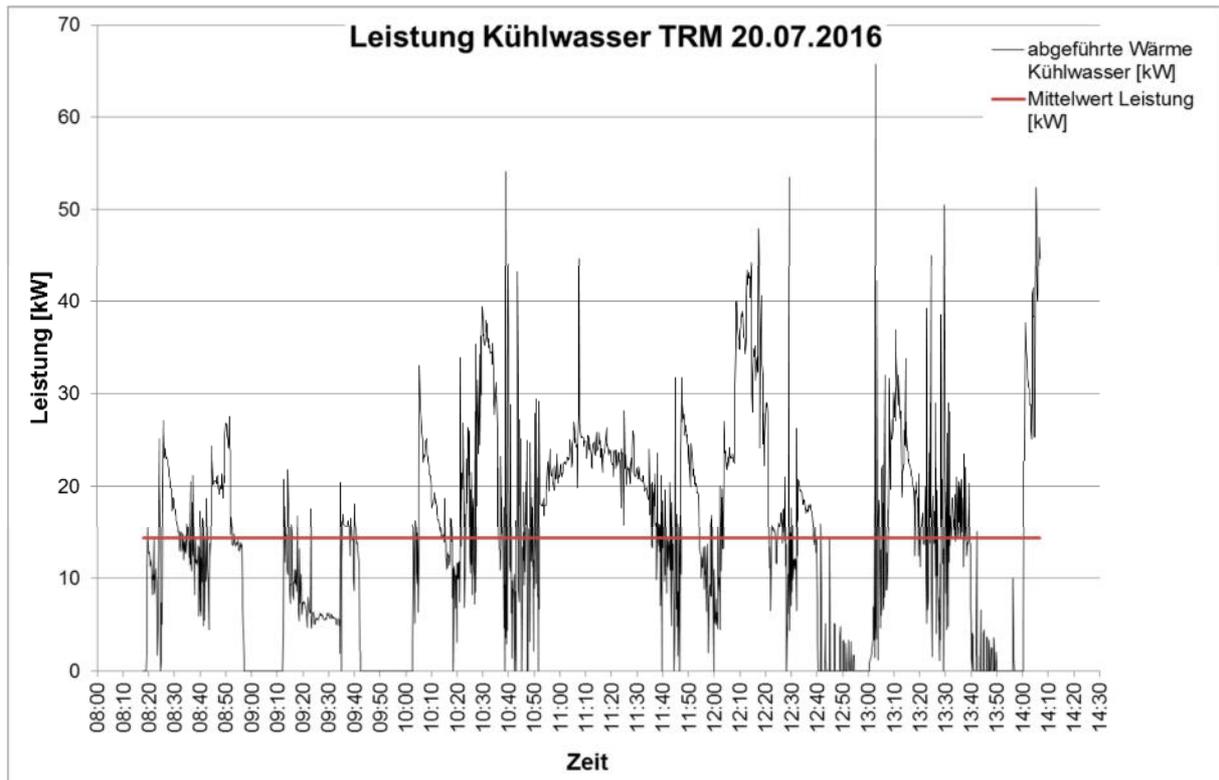


Abbildung 27: Thermische Leistung Kühlwasser, Betrieb B

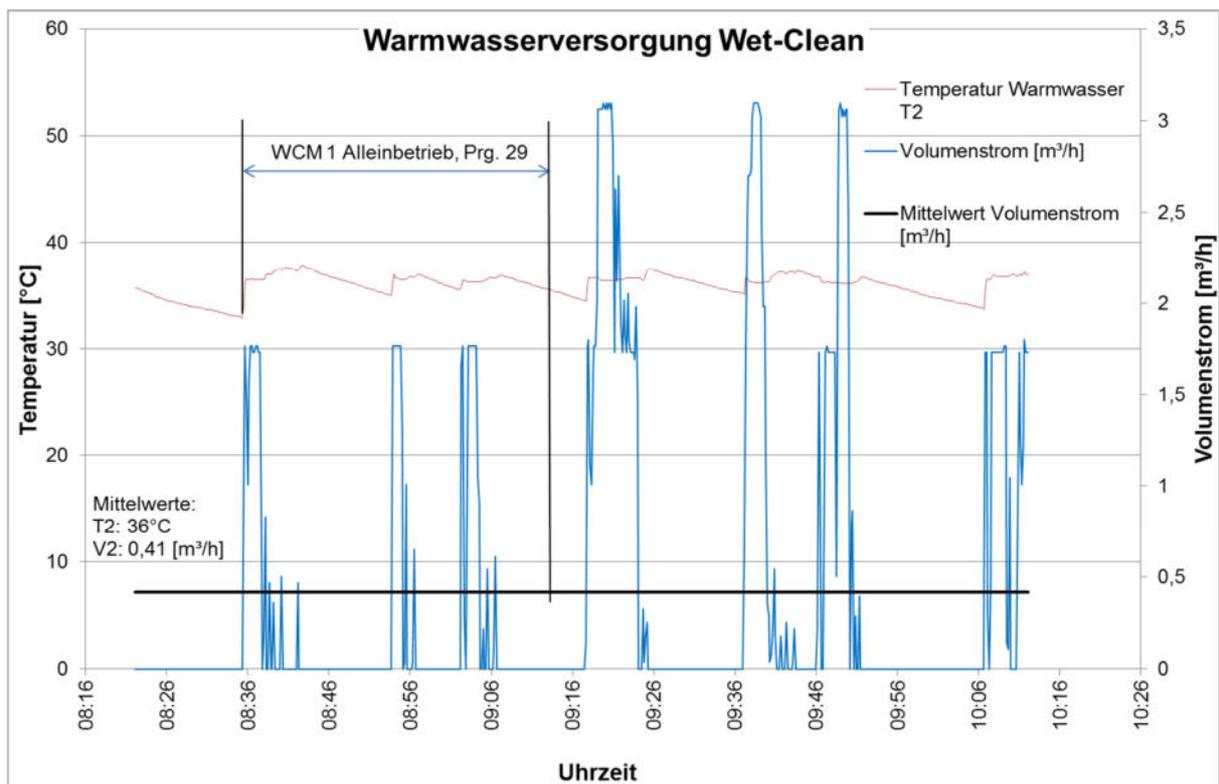


Abbildung 28: Temperaturverlauf und Volumenstrom Warmwasser WCM1

#### 4.3.2.1.3 Wärmeezeugung

Die Wärmeezeugung im Reinigungsbetrieb B besteht im Wesentlichen aus dem Dampferzeuger, der auch über einen Kondensatwärmetauscher die Beheizung des Textilreinigungsbereichs übernimmt. Zum Zeitpunkt der Messung war die Hallenbeheizung nicht in Betrieb. Aufgrund der Betriebsgröße und des starken Einflusses der Wäschereiabteilung gelten die im Wäschereiprojekt gefundenen Optimierungspotenziale. Der Betreiber wurde auch auf die deutlich sichtbare Schwadenbildung am Wrasendampfrohr aufmerksam gemacht.



Abbildung 29: Wrasendampfrohr mit Schwadenbildung

Der Dampfverbrauch der Textilreinigungsmaschine wurde in diesem Betrieb direkt an der Maschine gemessen. Aufgrund einer Fehlbedienung wurde die Destillation zeitweise von der Dampfversorgung abgetrennt (siehe **Abbildung 30**), so dass zuerst ein zu geringer und anschließend über ca. 30 Minuten eine konstante Dampfabnahme durch manuelle Bedienung des Dampfventils erfasst wurde. Für die Bilanzierung wurde deshalb als Ersatzwert der mittlere Dampfbedarf des Tages auf die Prozessdauer umgerechnet (siehe **Kapitel 4.3.2.3**).

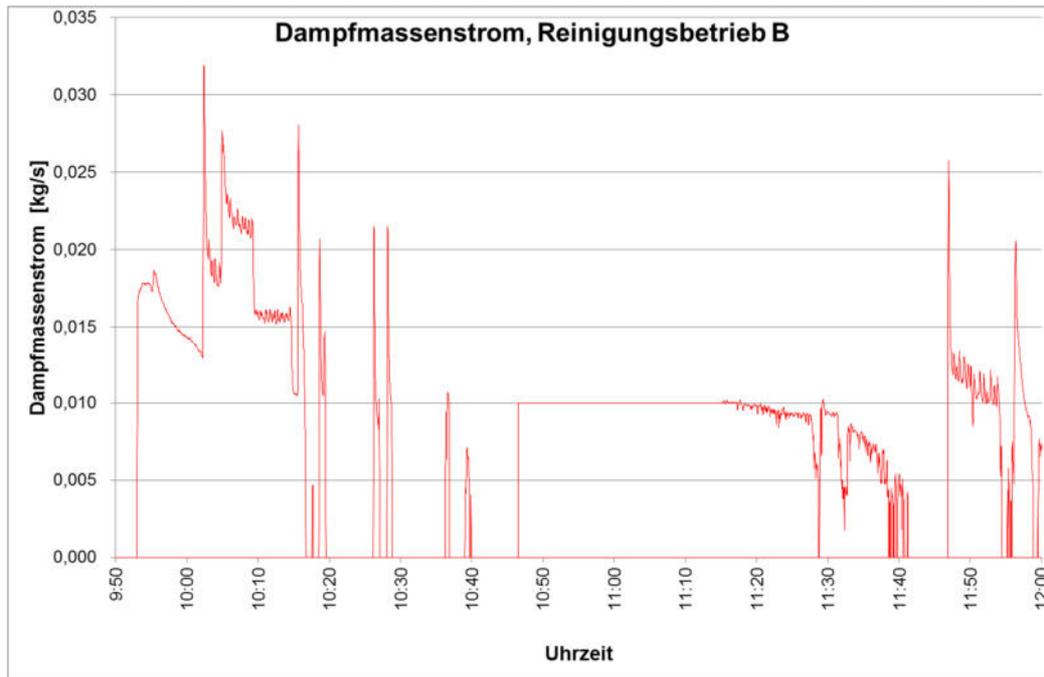


Abbildung 30: Dampfmassenstrom Textilreinigungsmaschine Betrieb B

#### 4.3.2.2 Elektrische Energie

##### 4.3.2.2.1 Elektrischer Energieverbrauch

Der Reinigungsbetrieb verfügt im Wesentlichen über folgende Stromverbraucher:

- Textilreinigungsmaschine
- Pumpen zur Versorgung der WCM/WSM mit erwärmten Wasser
- WCM / WSM
- Wäschetrockner
- Bügeltische + Finisher
- Kompressor
- Raumluftechnische Anlage (Abluftventilator)
- Beleuchtung
- Sonstige Verbraucher

**Abbildung 31** und **Abbildung 32** zeigen den für dampfbeheizte TRM typischen Leistungsverlauf. Während der Reinigungsphase schwankt die Leistungsaufnahme im Takt der Reversierung und erfährt je eine Leistungsspitze beim Anlauf zum Schleudern. Der größte elektrische Energieaufwand wird für den Trocknungsprozess benötigt und beträgt mit ca. 3,6 kWh rund 72 Prozent der gesamten Stromaufnahme im Reinigungsprozess.

Als Besonderheit besteht die Einheit aus zwei Reinigungsmaschinen mit einer gemeinsamen Destillation. Der geringe elektrische Mehraufwand einer Einheit für die Anlagenteile der Destillation (Pumpe + Ventile) fällt nicht ins Gewicht.

Auffällig war die zu Trocknungsbeginn erhöhte Leistungsaufnahme der Kältemaschine. Dieses Maschinenverhalten war im Forschungsprojekt einmalig.

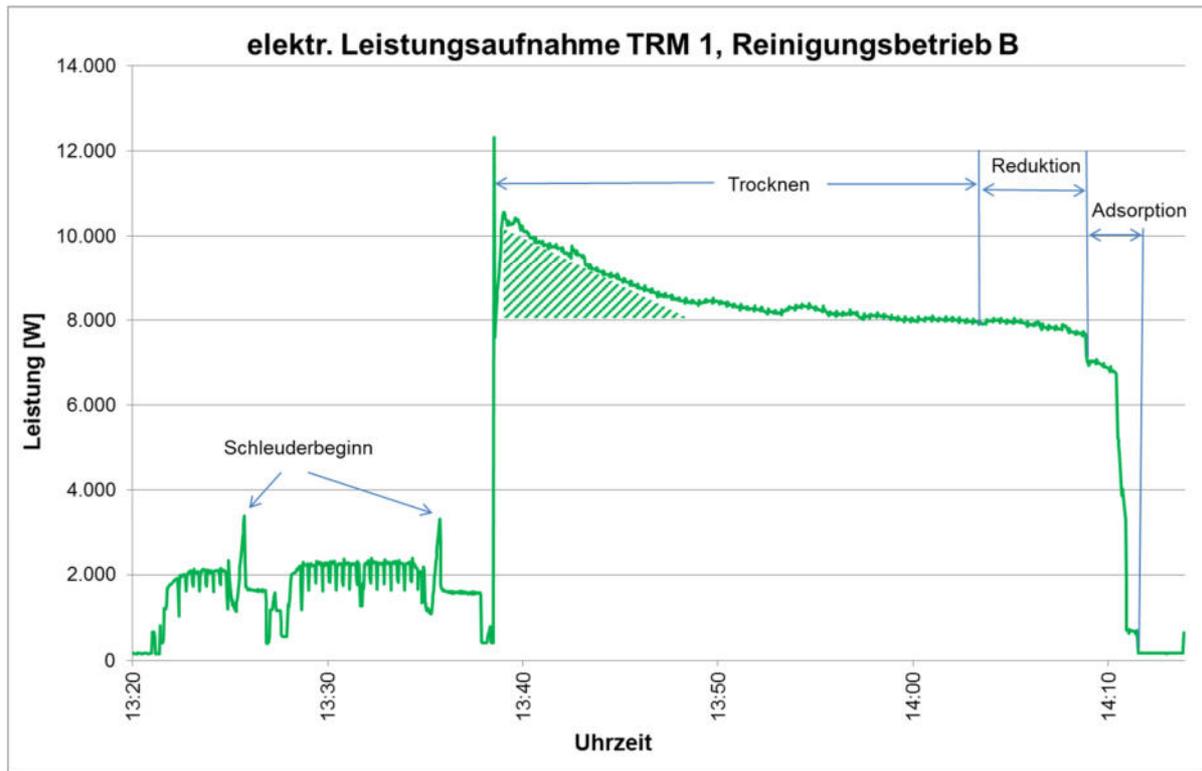


Abbildung 31: Elektrische Leistungsaufnahme TRM 1 Betrieb B

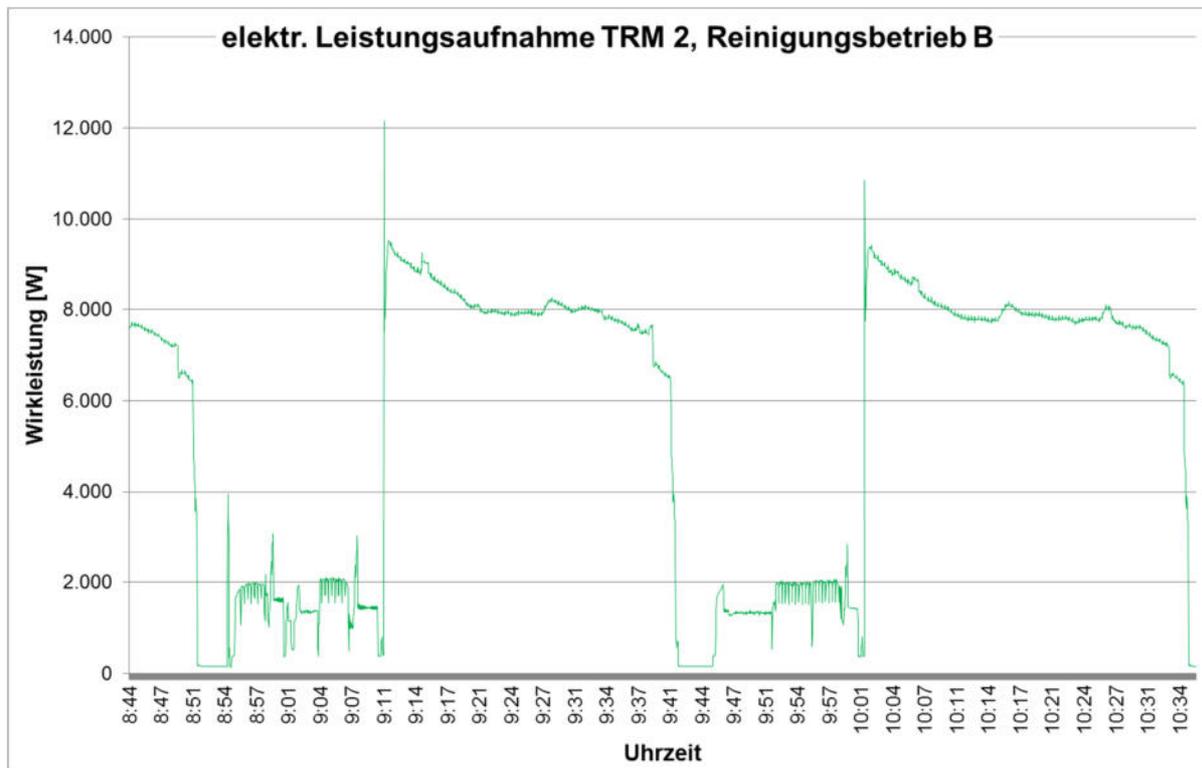


Abbildung 32: Elektrische Leistungsaufnahme TRM 2 Betrieb B

Für beide Reinigungsmaschinen wurde ein mittlerer elektrischer Leistungsbezug von ca. 5,5 kW gemessen. Der für die Bilanzierung ermittelte, postenbezogene Energiebedarf betrug 4,97 kWh. Der hohe Anteil Energie für die Trocknung – hier dominiert die Kältemaschine – ist in der hohen sommerlichen Raumlufttemperaturen und Kühlwassereintrittstemperaturen von ca. 20°C zu suchen.

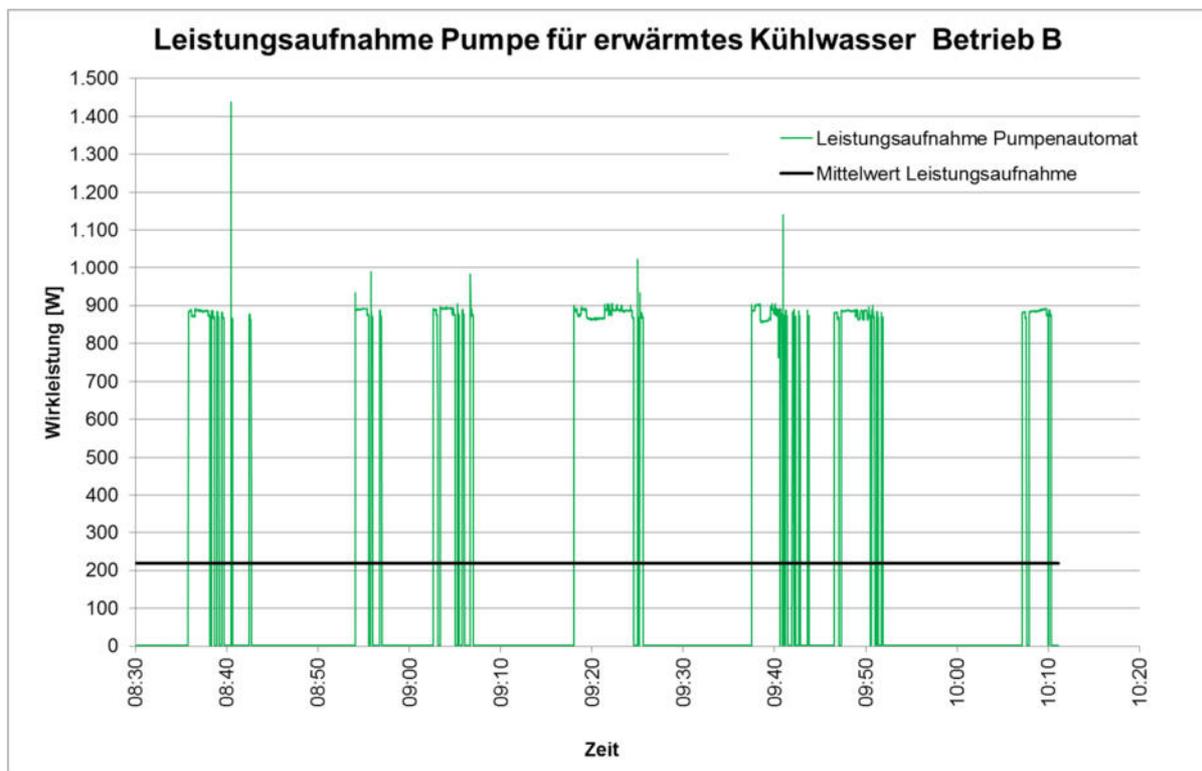
Das Kühlwasser wird energiesparend durch den Netzdruck der öffentlichen Wasserversorgung durch die TRM gefördert und nach der TRM in einem Tank gespeichert, bevor es für die Nutzung in Wetclean- und Waschprozessen eingesetzt wird.

Die Pumpe mit einer Nennleistung von 0,55 kW zur Versorgung der Wetclean- und Waschschleudermaschinen hatte im Betrieb eine Leistungsaufnahme von ca. 880 W und im Stand-By-Betrieb (Druck-/Volumenstromregler) von ca. 13 W, über den Messzeitraum von 1 h 49 min. wurde eine mittlere Leistungsaufnahme von 218 W gemessen (siehe **Abbildung 33**)

In Betrieb B waren einfache, ältere Bügeltische im Einsatz. Über eine Leistungsmessung wurden folgende Komponenten gemessen:

- Leerlauf (interne Regelung, keine Verbraucher aktiv) ca. 15 W
- Bügeleisen (mit interner Regelung) ca. 366 W
- Bügeltischabsaugung (mit interner Regelung + Bügeleisen) ca. 890 W
- Mittelwert während der Messungen 381 W

Beim Start des Gebläses aus Stillstand entstehen Leistungsspitzen bis ca. 912 W (siehe **Abbildung 34**).



**Abbildung 33: Leistungsaufnahme WCM/WSM-Versorgung Warmwasser Betrieb B**

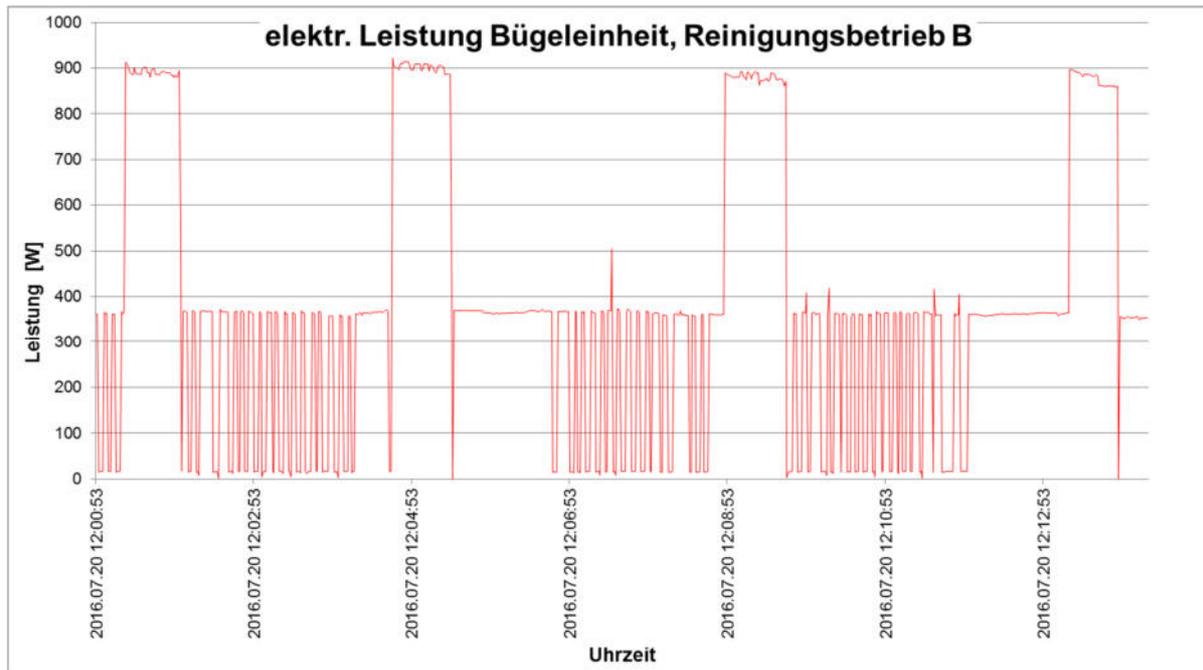


Abbildung 34: Elektrische Leistung Bügeleinheit Betrieb B

Die bekannten elektrischen Verbraucher ergeben folgenden Gesamtverbrauch **Tabelle 10**:

Tabelle 10: Wichtigste Stromverbraucher Betrieb B

Verbraucher	Mittlere Leistung [kW]	Betriebsstunden p. a.	Jahresenergiebedarf [kWh]	Anmerkungen
Reinigungsmaschine mit Adsorption	n.a.	n.a.	(11.000 kWh) 11.908 kWh	Berechnung über Chargenanzahl 2.396 p.a
Warmwasserversorgung WCM/WSM	0,218	2.000	436 kWh	Mittelwert nach Messung
Wetclean-/Waschschleudermaschine	5,9	325	1.917 kWh	3 WCM: HS4040 +2x HS6023 Basis Summe Nennleistung, 2 Posten/Maschine*AT, Gleichzeitigkeit 0,7; 39 min / Posten
Trockner	4,2	325	1.365 kWh	3x T4650, Basis Summe Nennleistung, Gleichzeitigkeit 0,7; Laufzeit analog zu WCM, (dampfbeheizt)
Bügeltisch	0,38	2.000	5x 760 kWh	(Absaugung, Bügeleisen) x 5 Bügeltischeinheiten
Kompressor	11,0	400	4.400 kWh	Leistungsangabe nach <a href="http://www.dst-druckluft.de">www.dst-druckluft.de</a> , Abschätzung Laufzeit über Leistung bei Erfassung (Foto/Video)

Raumbeleuchtung	1,05	2000	2.100 kWh	Abschätzung über Leuchtmittel (35W, ca. 30 Stück, nur TR)
Raumluftabsaugung	n.a.	n.a.	n.a.	Ventilator und Abluftleitung unzugänglich
<b>Gesamtstrombedarf pro Jahr:</b>			<b>25.926 kWh</b>	

**Tabelle 10** zeigt die gemessenen und die hochgerechneten Jahresverbräuche eines Teils des Betriebs. Aufgrund der Anzahl der Geräte ist eine vollständige Betrachtung nicht möglich und umfasst keine Wäscherei und Dampfversorgung.

Fast die Hälfte des berücksichtigten Strombedarfs ist dem Reinigungsprozess und der Rückkühlung zuzuordnen. Die meisten anderen Verbraucher konnten im Rahmen der Messzeit (fehlende Betriebszeit) oder wegen der fehlenden Zugänglichkeit nicht gemessen werden.

Der tatsächliche Strombedarf betrug im Jahr 2016 von Januar bis Juni 41.321 kWh. Bei gleichbleibendem Mittelwert über ein Jahr ergibt sich daraus ein Jahresstrombedarf von 82.642 kWh.

#### 4.3.2.2 Druckluft

Die Druckluftversorgung des gesamten Betriebs erfolgte über einen drehzahlgeregelten Kompressor. Eine Abwärmenutzung des Kompressors war nicht vorhanden.

Erfahrungsgemäß kann der größte Druckluftbedarf großen Verbrauchern wie der Mangel der Wäschereiabteilung zugeordnet werden.

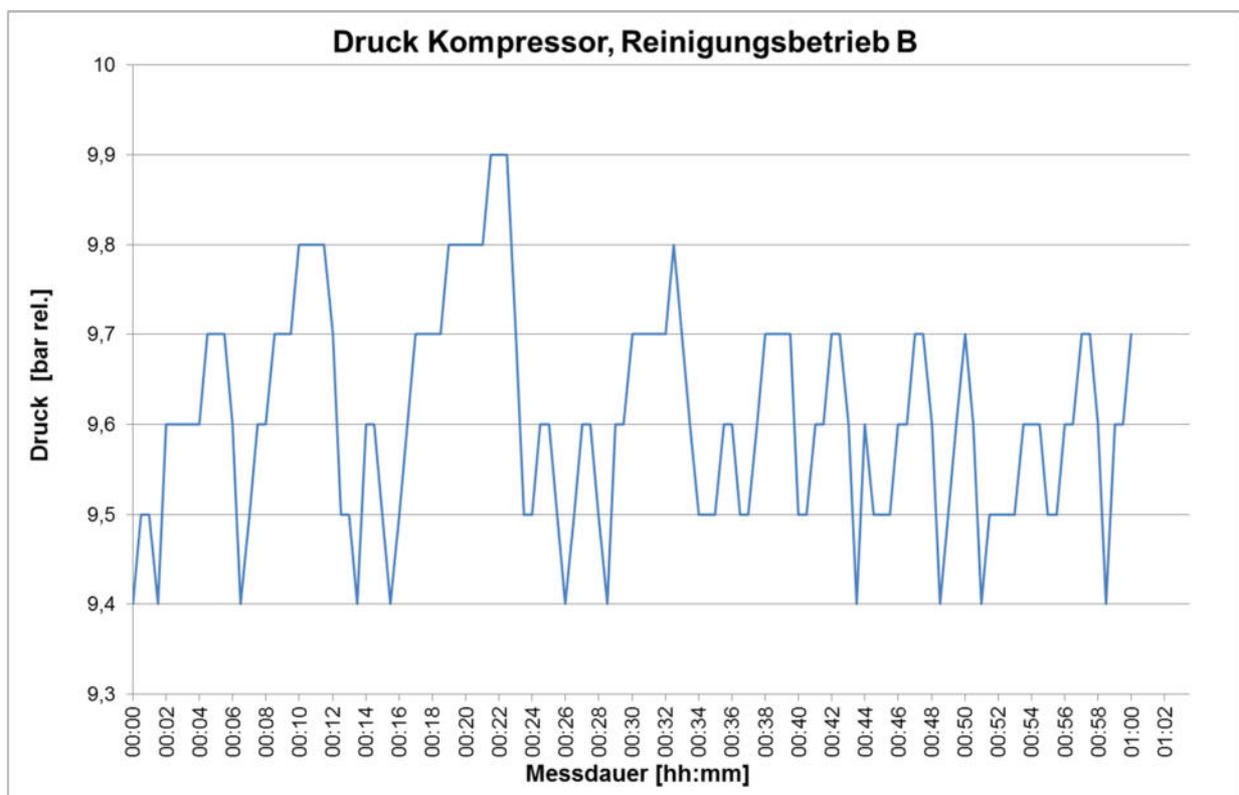


Abbildung 35: Druckluftherzeugung Kompressor Betrieb B

Wie in **Abbildung 35** zu sehen ist, liegt das Druckniveau im Mittel bei ca. 9,6 bar und schwingt je nach Abnahme der Verbraucher zwischen 9,4 und 9,9 bar. Bei Aufzeichnungen des Kompressordisplays wurde eine Auslastung von 0 bis 25% erfasst, d.h. auch im Normalbetrieb erreichte der Kompressor die untere Drehzahlgrenze und schaltete ab. Die erreichbare Liefermenge des Kompressors ist trotz des hohen Druckniveaus für den Betrieb deutlich zu hoch.

### 4.3.2.3 Energiebilanz der Textilreinigungsmaschine

Zusammenfassend für die Kapitel 4.3.2.1.2 und 4.3.2.2.1 wurde eine Energiebilanz für den Textilreinigungsprozess erstellt (siehe **Abbildung 36**).

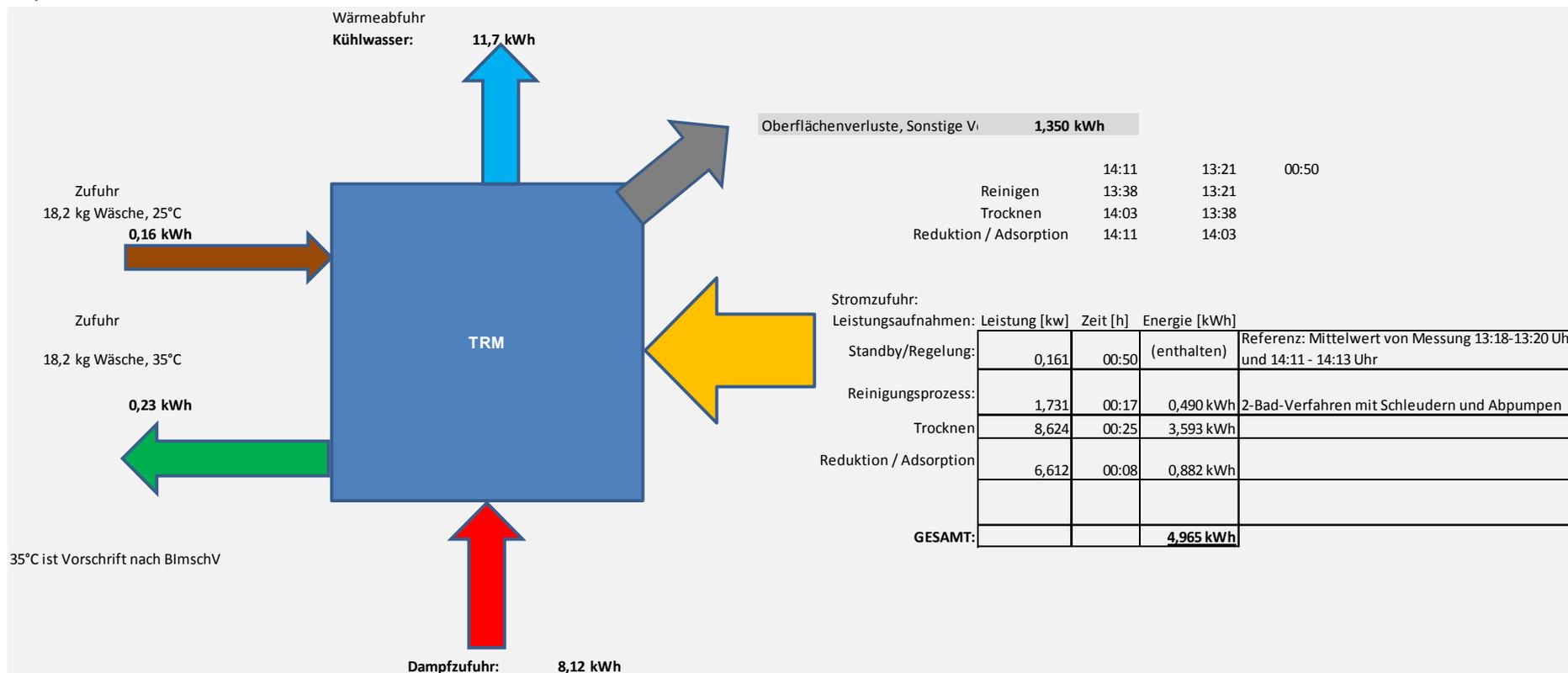


Abbildung 36: Energiebilanz Textilreinigungsbetrieb B

Die Textilreinigungsmaschine erreichte folgende spezifischen Kennwerte für ein 2-Bad-Verfahren mit Destillation:

- Elektrische Energie: 0,27 kWh/kg<sub>Textil</sub>
- Dampf: 0,45 kWh/kg<sub>Textil</sub>

Diese Werte könnten noch durch eine etwas höhere Beladung mit 20 kg pro Posten (statt 18 kg) verbessert werden.

Der etwas über dem Durchschnitt liegende Bedarf an elektrischer Energie ist auch dem wärmeren Kühlwasser geschuldet, so dass die Kältemaschine mit geringerer Effizienz arbeitet. Unter gesamtheitlicher Betrachtung spart sich der Betrieb jedoch die elektrische Energie, die in anderen Betrieben für den Betrieb eines Kühlturms anfällt (Ventilator Kühlturm, höherer Leistungsbedarf Kühlkreispumpe).

### 4.3.3 Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien

#### 4.3.3.1 Wasserqualitäten

- **Frischwasser**

Das im Reinigungsbetrieb B vorhandene Frischwasser wies eine Temperatur von 19 °C auf und hatte eine elektrische Leitfähigkeit von 620 µS/cm (bei 20 °C). Der pH-Wert betrug 7,7, was nach Trinkwasserverordnung [6] als akzeptabel einzustufen ist. Die Wasserhärte betrug 13,3 °d (2,37 mmol/l) und der Abdampfrückstand des Stadtwassers 0,40 mg/l (Grenzwert für Trinkwasser entsprechend DIN 38409 Teil 1 maximal 1 mg/l).

⇒ **Wasserparameter nach der Enthärtungsanlage**

Das verwendete Weichwasser wird zum Betreiben des Dampfkessels eingesetzt und wies zum Messzeitpunkt eine Temperatur von 34 °C und eine Leitfähigkeit von 730 µS/cm (bei 20 °C) auf. Der ermittelte pH-Wert betrug 8,0, die Wasserhärte 0,2 °d (0,03 mmol/l) und der Abdampfrückstand des enthärteten Wasser 0,50 mg/l.

#### 4.3.3.2 Beschreibung von Reinigungs- und Trocknungsprozessen

Die beiden im Unternehmen vorhandenen Chemisch-Reinigungsmaschinen verfügten über eine gemeinsame Destillationseinheit zum Aufbereiten des PER. Darüber hinaus wurde in der einen Reinigungsmaschine ausschließlich helle Ware und in der zweiten Maschine ausschließlich dunkle Ware behandelt. Die Programmparameter sind für beide Warenarten identisch. Dies gilt für die Prozessparameter (g-Faktoren, Reversierrythmus, Flottenniveau, Programmzeiten etc.) und für die Zugabe von Reinigungsverstärker.

Das Reinigungsprogramm für **dunkle und helle Ware** wies folgenden Ablauf auf.

**Programmschritt 1: 1. Bad**

Füllverhältnis:	27 l/kg
g-Faktor/Reversierung:	0,46 g; 20/2
Lösemittel:	aus Arbeitstank
Flottenverhältnis:	2,5 l/kg
RV-Dosierung:	keine
Dauer:	3,5 min, anschließend Ablass in Destillation (30 s) und Schleudern bei 88 g (3,5 min)

**Programmschritt 2: 2. Bad**

Füllverhältnis: 27 l/kg

g-Faktor/Reversierung: 0,46 g; 20/2

Lösemittel: ca. 2 l/kg aus Arbeitstank, Auffüllen auf Endniveau aus Reintank

Flottenverhältnis: 5 l/kg

RV-Dosierung: 1,1 ml/l Reinigungsverstärker (100 ml Novaclin Super P, Firma Seitz)

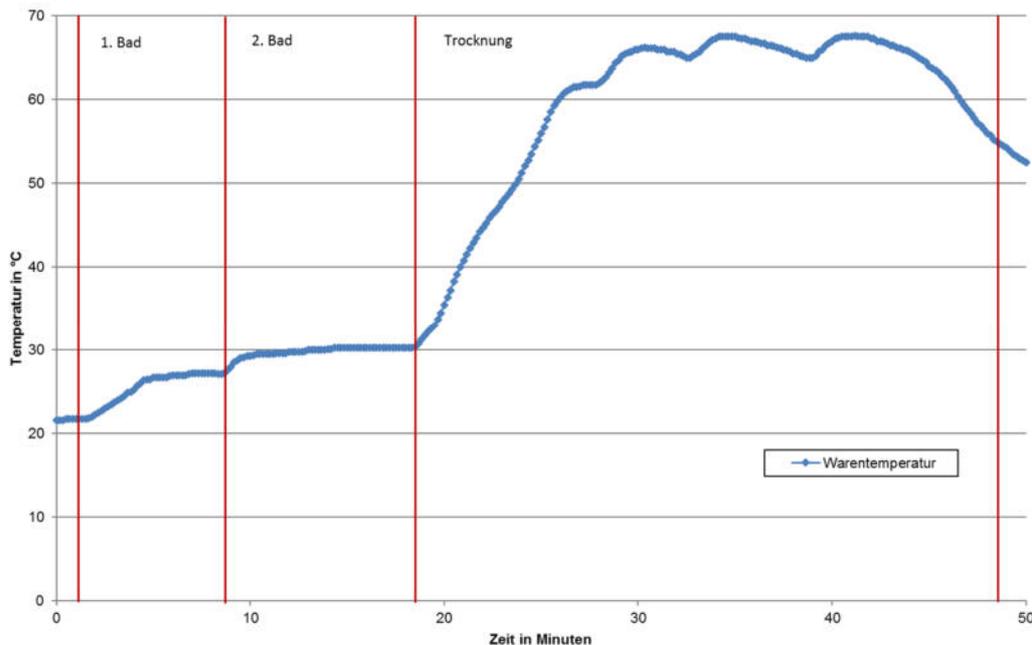
Dauer: 7,5 min, anschließend Ablass in Arbeitstank (1 min) und Endschleudern bei 88 g (3 min)

**Programmschritt 3: Trocknung**

g-Faktor/Reversierung: 0,46 g; 20/2

Dauer: 33 min

Die gesamte Laufzeit des Reinigungsprogramms inklusive Trocknung betrug mit den zum Zeitpunkt der Untersuchungen in der Maschine behandelten Textilien insgesamt 48 Minuten.



**Abbildung 37: Temperaturverlauf Reinigungsmaschine 2 (identisches Reinigungsprogramm)**

**Abbildung 37** zeigt den Temperaturverlauf während der Reinigung und Trocknung. Da für helle und dunkle Ware das gleiche Reinigungsprogramm verwendet wurde, gilt das folgende Temperaturdiagramm für helle und dunkle Ware.

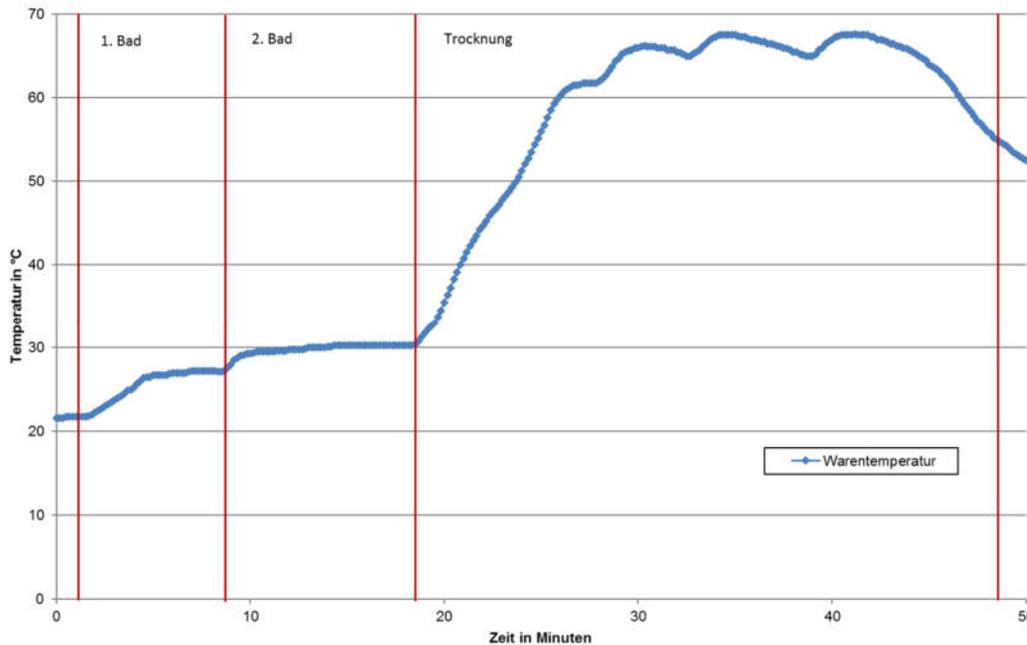


Abbildung 37: Temperaturverlauf Reinigungsmaschine 2 (identisches Reinigungsprogramm)

Die folgende Überprüfung der Textileffekte wurde entsprechend **Kapitel 3.2.3.3** durchgeführt.

#### 4.3.3.3 Schmutzentfernung

**Abbildung 38** bis **Abbildung 41** zeigen die während des Untersuchungszeitpunktes erzielte Schmutzentfernung in der Reinigungsmaschine für dunkle (Maschine 1) und helle Ware (Maschine 2). Für die Untersuchungen wurden zum Vergleich neben den speziell für die Chemisch-Reinigung entwickelten Monitoren (PCMS 17-c) auch die für Waschprozesse kommerziell erhältlichen Monitore (PCMS 55) eingesetzt.

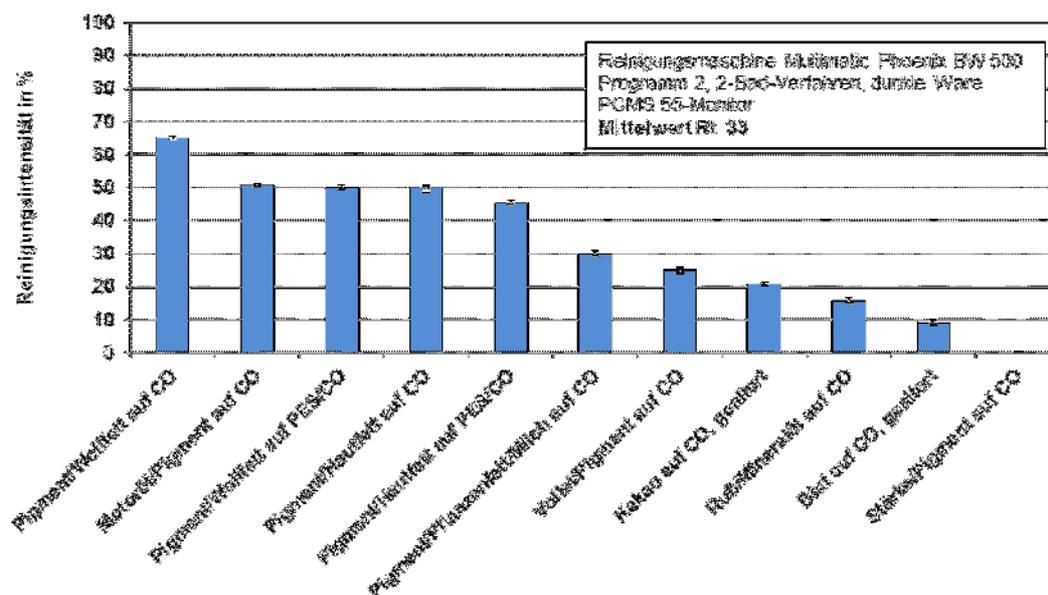


Abbildung 38: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Reinigungsmaschine 1 mit PER- Lösemittel und dunkler Bekleidung mit PCMS 55 Monitor

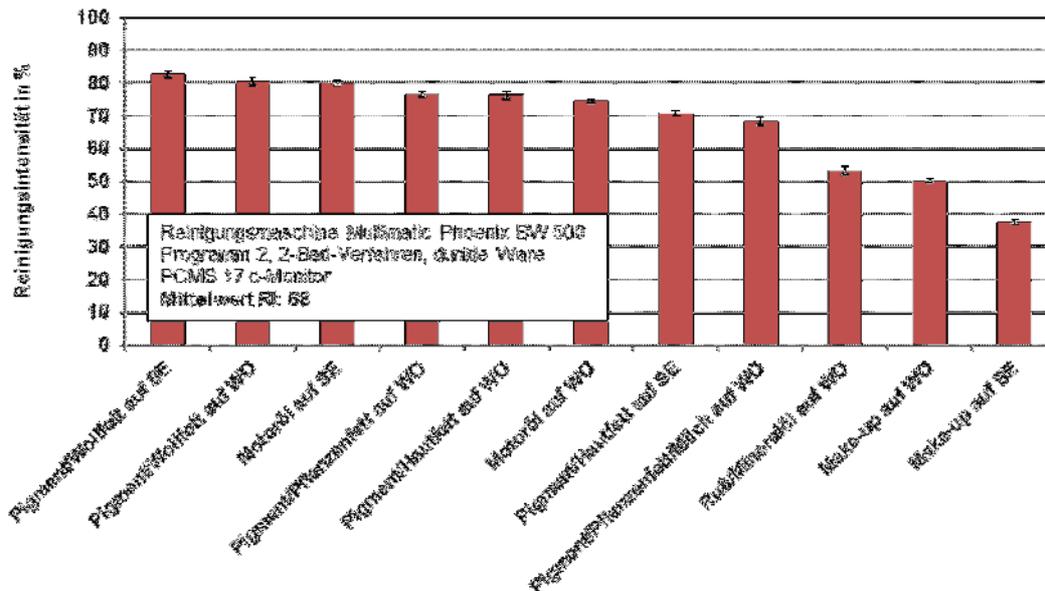


Abbildung 39: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Reinigungsmaschine 1 mit PER- Lösemittel für dunkle Bekleidung mit PCMS17-c Monitor

Die Schmutzentfernung wird hier durch Angabe der Reinigungsintensität (RI-Werte) quantifiziert. **Abbildung 38** zeigt die Fleckentfernung auf standardisierten, für Waschverfahren entwickelten Schmutztestgeweben. Dabei wurden nur Flecken dargestellt, an denen ein Effekt gemessen wurde. Die gesamte Reinigungsintensität beträgt dabei 33 Punkte (RI-Werte).

**Abbildung 39** zeigt bei speziell zur Bewertung von Reinigungsverfahren hergestellten Monitoren eine Reinigungsintensität von 68 Punkten (RI-Werte).

**Abbildung 40** und **Abbildung 41** zeigen die erzielten Ergebnisse für helle Bekleidung im gleichen Reinigungsprogramm in der baugleichen Maschine 2 im Vergleich zu den Werten bei der Aufbereitung dunkler Ware.

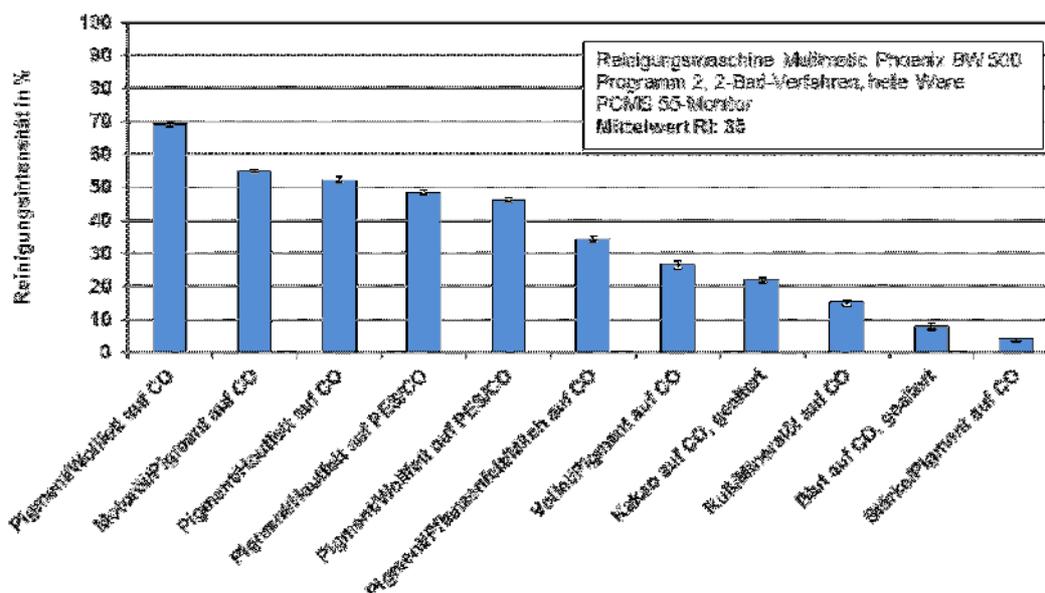
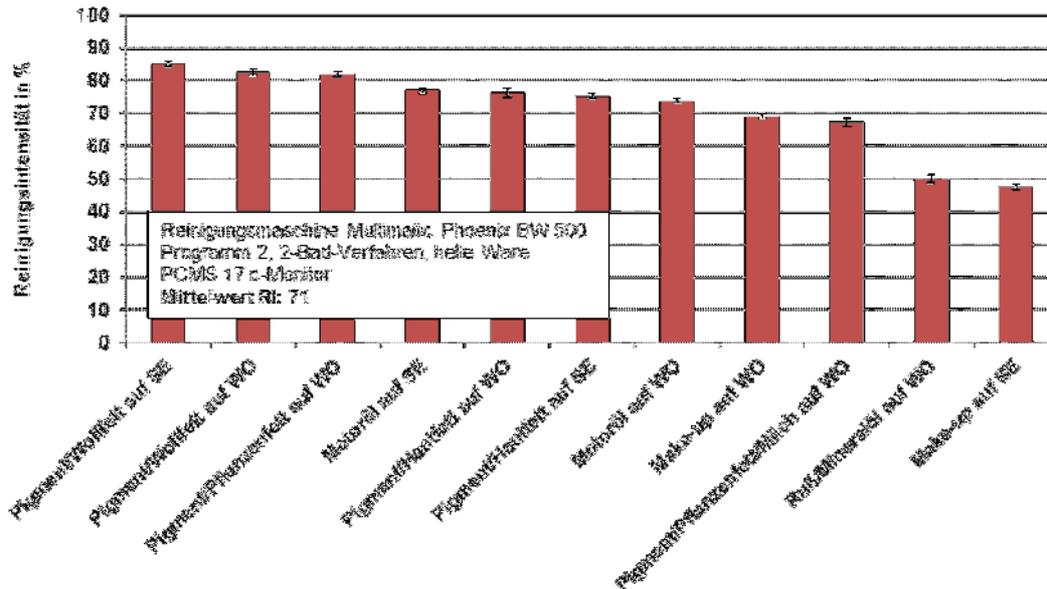


Abbildung 40: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Reinigungsmaschine 2 mit PER- Lösemittel für helle Bekleidung mit PCMS55 Monitor



**Abbildung 41:** Schmutzentfernung (RI-Wert  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine 2 mit PER- Lösemittel für helle Bekleidung mit PCMS17-c Monitor

Erwartungsgemäß ist die Schmutzentfernung bei heller Ware geringfügig höher als bei dunkler Ware, bei dem das Lösemittel durch abgelösten Farbstoffe aus den Textilien entsprechend stärker belastet ist.

Für Textilien, die für die Aufbereitung im wässrigen Verfahren geeignet sind, wurde ein Wetclean-Verfahren eingesetzt. Es wurde dazu eine Nassreinigungsmaschine untersucht, um die exakten Wetcleanbedingungen zu ermitteln. Der ermittelte Programmablaufs war wie folgt:

Maschine:	Girbau HS 6023 (2014)
Beiladung:	helle Wäscheteile
Füllverhältnis:	11,2 l/kg
Programm:	29 (40 °C)
Waschmittel:	2 ml/l Wasser bzw. 9,8 ml/kg Wäsche Waschmittel für stark verschmutzte Berufsbekleidung 2 ml/l Wasser bzw. 9,8 ml/kg Wäsche Fettleöser
Wasserart:	Stadtwasser, ca. 40 °C (Kühlwasser der CR-Maschinen)
Reversierrythmus:	5 / 20
g-faktor Waschen:	0,18 - 0,68
g-faktor Endschleudern:	351

Danach handelt es sich um kein typisches Wetclean-Verfahren, sondern um ein bezüglich der Waschmechanik relativ schonendes Waschverfahren. Das Füllverhältnis, die eingesetzte Waschchemie und die Waschmechanik (g-Faktoren beim Waschen und Reversierrythmus) entsprechen einem Feinwaschprogramm.

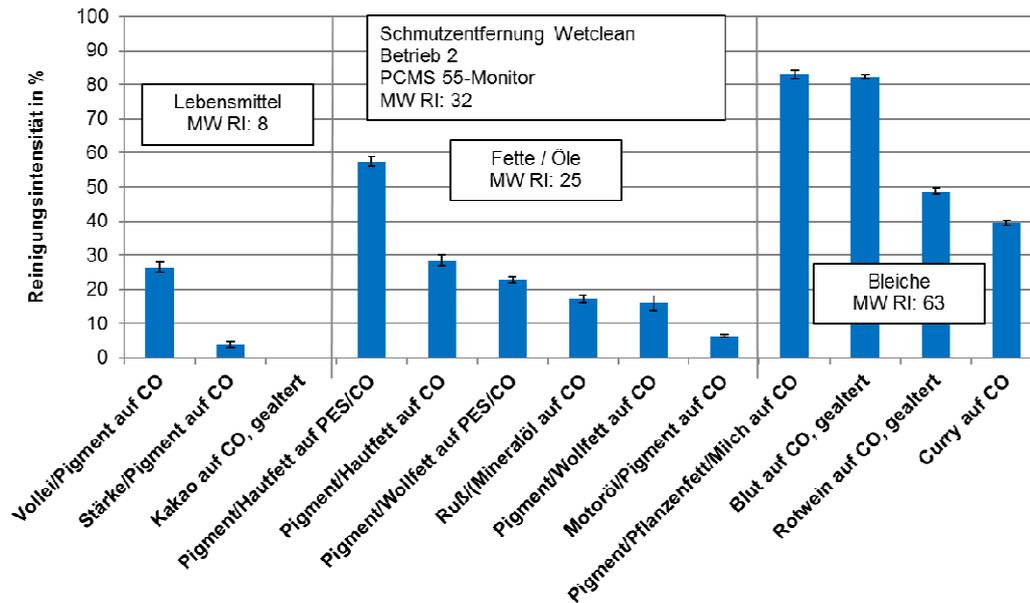


Abbildung 42: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Nassreinigungsmaschine mit PCMS55 Monitor

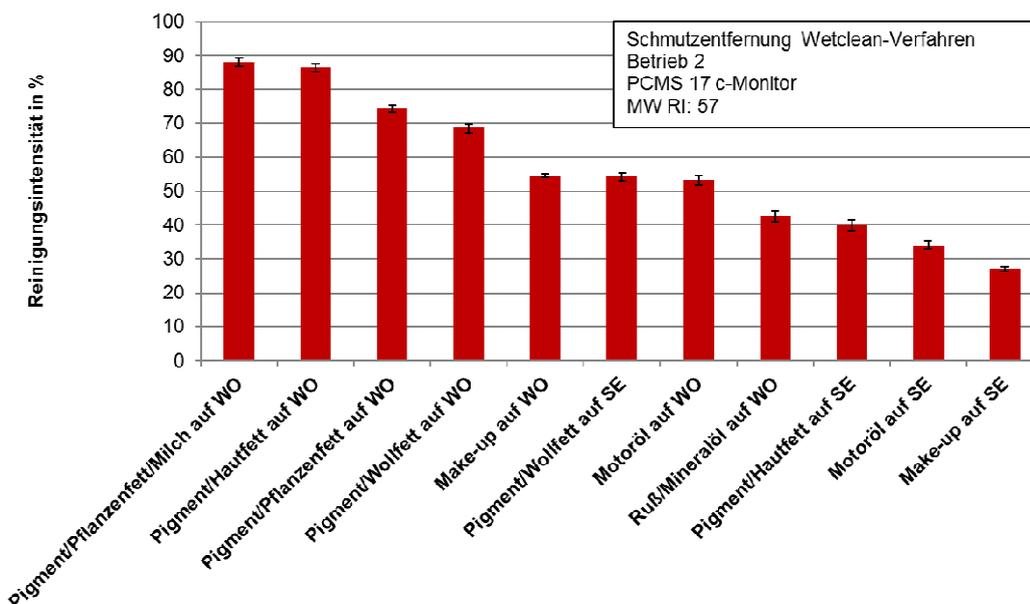
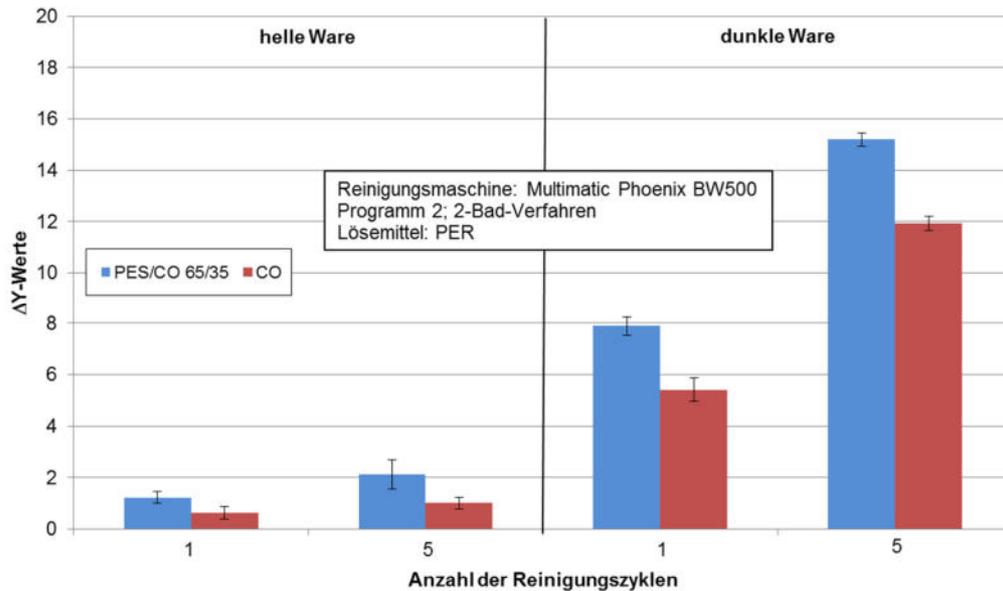


Abbildung 43: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Nassreinigungsmaschine mit PCMS17-c Monitor

#### 4.3.3.4 Vergrauung

An den in **Kapitel 3.2.3.3** beschriebenen sauberen Prüfgeweben wurden in den beiden Reinigungsmaschinen (Maschine 1 dunkle Ware; Maschine 2 helle Ware) die *Vergrauungswerte* nach 1 und nach 5 Mehrfachbehandlungen bestimmt.

**Abbildung 44** zeigt die ermittelten Ergebnisse an Baumwolle und Mischgewebe (PES/CO 65/35) in Abhängigkeit der durchgeführten Reinigungszyklen.



**Abbildung 44: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in Reinigungsmaschinen, Reinigungsbetrieb B**

Danach liegen die Vergrauungswerte der Reinigungsmaschine 2 im Programm 2 bei heller Beladung zwischen 1 und 2 ( $\Delta Y$ -Wert), bei dunkler Beladung erwartungsgemäß etwas höher zwischen 5 und 15 ( $\Delta Y$ -Wert).

#### 4.3.3.5 Glätteergebnis

Die Bewertung des Glätteergebnisses erfolgte nach **Kapitel 3.2.3.6** beschriebenen Verfahren. An den noch feuchten Hemden wurden zunächst Kragen- und Manschetten mit einer entsprechenden Presse gepresst und getrocknet. Anschließend wurden die Hemden mit einem Hemdenfinisher gedämpft und mit Heißluft getrocknet. Das vollständige Trocknen der Doppelnähte und evtl. vorhandener Brusttaschen wurde manuell während des Dämpfvorgangs mit ein Bügeleisen durchgeführt. Das dann auf einen Drahtbügel aufgezugene Oberhemd wurde daraufhin hinsichtlich Knitterbild und Formgebung begutachtet.

Kragen und Manschetten zeigten aufgrund des Pressens und der erfahrenen Handhabung durch die Mitarbeiter sehr glatte Oberflächen und präzise Formgebung.

Gereinigte Hosen und Sakkos wurden durch eine Dämpfpuppe in Form gebracht. Im Anschluss wurden Taschen, Innenfutter der Sakkos, Kragen und Revers bei Bedarf und die Bügelfalten bei Hosen nochmals manuell nach gebügelt.

Die fertig gestellten Sakkos zeigten eine sehr präzise Formgebung, insbesondere bei Kragen und Revers. Auch die Qualität der fertiggestellten Hosen zeigten hervorragende Ergebnisse. Hervorzuheben ist die durch die Büglerin eingebrachten Bügelfalten, die exakt platziert und durchgehend über die Beinlänge hinweg eingebracht wurde.

#### 4.3.4 Optimierungsvorschläge Reinigungsbetrieb B

Eine energetische Optimierung und somit eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Betriebes B ohne Verschlechterung der Reinigungsperformance und Schmutzentfernung sind durch folgende Maßnahmen zu erzielen.

#### 4.3.4.1 Textilreinigungsmaschine

Der Betrieb hat bereits durch einige Maßnahmen den Betrieb der Maschinen optimiert.

- Verzicht auf den Betrieb eines Kühlturms
- Der Kühlwasserdurchsatz lagen während der Messung im Mittel bei 576 l/h
- Die mittlere Kühlwasseraustrittstemperatur liegt bei ca. 37 °C
- Diese relativ hohen Kühlwasseraustrittstemperaturen kommen dem Wetcleanprozess zugute und senken den Dampfbedarf.

Als direkte Verbesserungsmaßnahmen an der Textilreinigungsmaschine wurden den Eigentümern folgende Maßnahmen empfohlen:

- Dämmen von Dampf- und Kondensatleitungen
- Dämmen von warmen Oberflächen der Destillation, der Luftkanäle und des Trommelbehälters

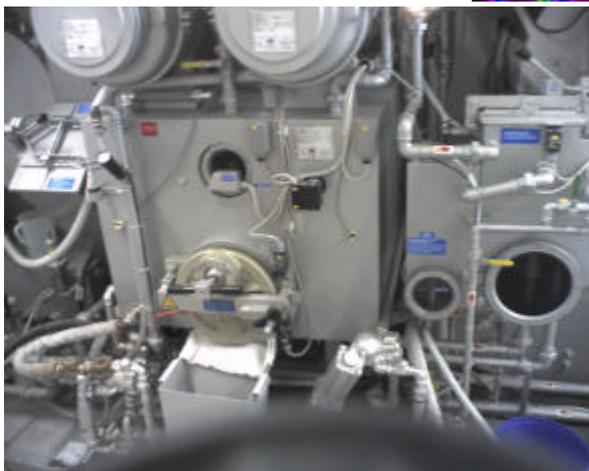


Abbildung 45: Thermografieaufnahme und Bild TRM Betrieb B

- Bei einer mittleren Oberflächentemperatur von 55 °C beträgt das Einsparpotenzial ca. 0,4 kWh/m<sup>2</sup> bzw. ca. 800 kWh/m<sup>2</sup>\*a.
- Senkung der Dampftemperatur auf max. 145 °C. Da die Destillation nur von einer der beiden Reinigungsmaschinen benötigt wird, ist eine geringfügig geringere Destillationsgeschwindigkeit vertretbar bei weniger Oberflächenverlusten und mehr Sicherheit

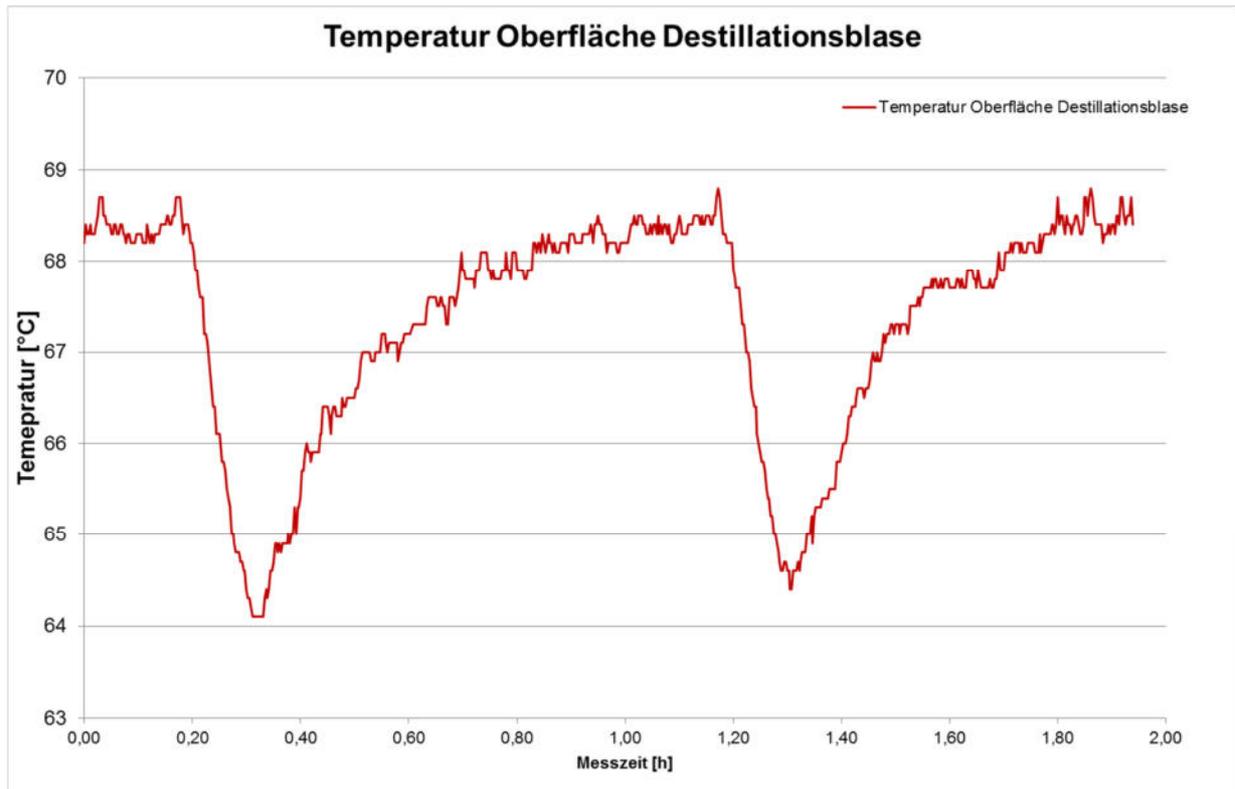


Abbildung 46: Temperaturverlauf an der Oberfläche der Destillation

Abbildung 46 zeigt den Temperaturverlauf an der Oberfläche der Destillationsblase. Die Temperatur fällt nach Ende der Destillation in ca. 10 Minuten von ca. 68 °C auf ca. 64 °C.

#### 4.3.4.2 Wärmeerzeugung und Verteilung

Entsprechend der auch im Wäschereiprojekt (DBU AZ 28612) gefundenen Mängel bei der Dampferzeugung und Verteilung wurden auch hier Potenziale gefunden. Betrieb B ist durch seine Wäschereiabteilung bei der Dampferzeugung und -verteilung nicht wesentlich anders als eine im o.g. Projekt beschriebene Wäscherei.

Die empfohlenen Maßnahmen sind deshalb:

- Dämmen von Dampf- und Kondensatleitungen zur Senkung des Wärmeverlustes und der Verbrennungsgefahr für Mitarbeiter
- Optimierung der Dampferzeugung
  - Einbinden und optimierte Nutzung von Abgaswärmetauschern
  - Drucksenkung des Dampfdrucks auf das Nutzniveau, ggfs. auf zwei Ebenen für Hochdrucknutzung in der Wäscherei und reduzierter Druck für die Textilreinigung
  - Senkung der Feuerungsleistung oder Austausch des Brenners auf die notwendige Leistung
  - Nutzung der Energie aus dem Wrasendampf und aus dem heißen Abschlamm-/Absalzwasser durch eine Wärmetauschereinheit
- Nutzung von Abwärme (z.B. Kompressorabwärme) für Heizzwecke als Substitution von Kondensat und in Verbindung mit einer druckhaltigen Kondensatwirtschaft

#### 4.3.4.3 Kühlwassermanagement

Das Kühlwassermanagement ist bereits weitgehend optimiert. Es gibt jedoch folgende Potenziale, die mit Ausnahme der Dämmung und der Einstellung des Kühlwasserventils erst im Falle einer Reparatur wirtschaftlich umsetzbar werden können:

- Verteilleitungen zu den WCM/WSM nicht isoliert
- Rohrleitungsdimensionierung bis WCM 1 knapp bemessen
- Eindrosseln des Wasserregelventil für TRM für noch geringfügig höhere Wassertemperaturen
- Austausch der einstufigen Jet-Pumpe gegen eine mehrstufige Pumpe. Das Einsparpotenzial wurde mit 50 kWh/a oder ca. 11 % ermittelt

Im Sinne einer ganzheitlichen Energiebetrachtung bestehen in der Wäschereiabteilung noch weitere Wärmequellen (Abluftwärmetauscher Mangel) als auch weitere Senken (Waschschleudermaschinen), die sich in eine übergreifende (Kühl-)Wasserwirtschaft einbinden ließen.

Eine weitere Effizienzsteigerung ist nur durch eine ganzheitliche Betrachtung aller Wärmequellen und Senken möglich. Dazu zählen auch die drei Wäschetrockner der Textilreinigungsabteilung. Deren Abwärmepotenzial bezogen auf 0°C wurde mit je 28 bis 33 kW berechnet. Neben einer direkten Nutzung im Trocknungsprozess ist eine Nutzung der Abluftwärme zur Anhebung der Wassertemperaturen für alle Wetclean- und Waschprozesse auf ein einheitliches Niveau von ca. 50 °C denkbar.

Zur Zeit gibt es die Abwärmenutzung der Textilreinigung und eine weitgehend davon unabhängige Abwärmenutzung in der Wäscherei.

#### 4.3.4.4 Bügeleisen/-tisch

Die Bewertung der Bügeltischeinheit ist in der Praxis komplex. Neben dem Einfluss von unterschiedlicher Technik spielt auch die von der zu bearbeitenden Warenart abhängige Geräteeinstellung und vor allem die individuelle Bearbeitungsweise eine Rolle.

Der untersuchte Bügeltisch besteht aus einer Regeleinheit, Ablufteinrichtung (Gebläse) und dem angeschlossenen Bügeleisen. Die an jedem Bügeltisch vorhandenen und mit einem Fußschalter betätigten Ventilatoren werden nur kurzzeitig betrieben. Das größte Optimierungspotenzial im Bereich des Bügeltischs liegt beim Bügeleisen. Sie lassen sich unterscheiden in organisatorische und technische Verbesserungen.

Organisatorisch optimieren lassen sich folgende Punkte:

- Anpassung der Temperatur des Bügeleisens auf das minimale, notwendige Temperaturniveau je Textilart und Stoffstärke
- Laufzeitoptimierung durch Abschalten in Pausen
- Prüfung einer Nachrüstung der Bügeltische mit Fußschaltern zur automatischen Vermeidung von Standby-Verbrauchern, ggfs. inklusive Verzögerungsschaltung zur Vermeidung langer Aufheizphasen bei kurzer Abwesenheit
- Technische Optimierungsmaßnahmen sind:
  - Dämmen von Dampfleitungen / Dampfschläuchen
  - Ablage der Bügeleisen bei Stand-By in einem noch anzuschaffenden Dämmschuh aus temperaturfestem Material

#### **4.3.4.5 Druckluft**

Der eingesetzte Kompressor ist für den Betrieb – trotz erst kurz zurückliegender Neuanschaffung – zu groß.

Es wurde empfohlen folgende Maßnahmen in der aufgeführten Reihenfolge durchzuführen:

- Absenkung des Drucks auf ein übliches Niveau von ca. 6,5 bis 7 bar mit einem Einsparpotenzial von bis zu 25 %
- Soweit es zu Versorgungsengpässen / zu starken Druckverlusten kommt, sind Leitungsanpassungen und Druckspeicher an größeren Verbrauchern wie der Mangel der Wäscherei vorzusehen
- Erfassung des Druckluftbedarfs durch Zähleinrichtungen
- Ersatz des zu groß dimensionierten Kompressors bzw. Beistellen eines ausreichenden Kompressors und Vorhaltung des vorhandenen als Reserve.

#### 4.4 Betrieb C - Kleinbetrieb mit Reinigungsmaschine, einer Nassreinigungsmaschine mit Finishbereich und ein bis zwei kleineren Waschmaschinen

##### 4.4.1 Allgemeine Daten

Der untersuchte Reinigungsbetrieb verfügt über mehrere Nassreinigungsmaschinen, von denen eine exemplarisch untersucht wurde. Bezogen auf die gesamte aufbereitete Wäschemenge (Reinigen in Lösemittel mit Nassreinigen und Waschen) von etwa 58 t pro Jahr ist der Anteil der in der Reinigungsmaschine behandelten Teile mit etwa 8,5 t pro Jahr (< 20 %) relativ gering. Dennoch müssen die teilweise sehr teuren und hochwertigen Textilien energetisch aufwändig und personalintensiv vorbereitet (detachiert) und fertiggestellt (meist manuell durch entsprechende Einzelplatz-Finishgeräte) werden. **Tabelle 11** zeigt die erforderlichen Versorgungsanlagen zum Betreiben der Maschinen und Geräte.

**Tabelle 11: Versorgungsanlagen Reinigungsbetrieb C**

Anlagenart	Hersteller	Typ	Leistung laut Typenschild	Energiequelle	versorgte Maschinen	Anmerkungen
Dampfkessel	VKK Standard	Condor	0,8 t/h			
Brenner des Dampfkessels	Weishaupt	L3ZA		Heizöl	31	Stufe 1 – 1843 h Stufe 2: 74 h
Heizkessel Raumheizung, Warmwassererzeugung	Viessmann	Vitola VBF27	27 kW			Privat genutzt zur Beheizung des Hauses
Brenner Heizkessel	Weishaupt	WL5/1-8	16,5 bis 40 kW	Heizöl		
Warmwasserbereiter						300 l Speicher, kondensatbeheizt
Kompressor 1	Kaeser	SX 6	4 kW	Elektrizität	28	647 Betriebsstd. pro Jahr; einstufig ohne Nachlaufzeit; mittlerer Druck 6 bar
Kompressor 2	Kaeser	SK 11	7,5 kW	Elektrizität	28	Ausfallsicherung; meist nicht in Benutzung
Drucklufttrockner	SD	KT50 82L	0,26 kW	Elektrizität	1	
Druckluftspeicher	Kaeser	3008/1				500 l; 6 bar
Absaugung an Detachiertisch, Hosenpresse und Gardinenpresse						
Abluftanlage	Maiko	TRV	4 kW	Elektrizität		5-stufig regelbar; meist nur auf Stufe 1 oder 2

Anlagenart	Hersteller	Typ	Leistung laut Typenschild	Energiequelle	versorgte Maschinen	Anmerkungen
Kreiselpumpe zur Kühlwasserversorgung CR-Maschine	Speck	IN-V4-SO	1,1 kW		TRM	Lt. Hersteller: 1,4 l/s / 40,8 m

Der Energiebedarf konnte im untersuchten Betrieb den beiden Bereichen Chemisch-Reinigen mit Finishbereich und Waschen mit anschließender Trocknung auf Grund getrennter Versorgungsleitungen separat erfasst werden. **Tabelle 12** zeigt den im Betrieb vorhandenen Maschinenpark für den Bereich der Textilreinigung inkl. der notwendigen Einzelplatz-Finishgeräte.

**Tabelle 12: Maschinenpark Reinigungsbetrieb C**

Maschinen	Hersteller	Typ	Leistung gem. Typenschild in kW	Beheizungsart	Anmerkungen
Chemisch-Reinigungsmaschine	Multitex	EM440	12,2 kW (elektrisch); 15,1 kW (Dampf)	dampfbeheizt	
Wetcleanmaschine	Electrolux	W365H	0,9 kW (elektrisch); n.a. (Dampf)	dampfbeheizt	V <sub>Trommel</sub> : 65 l
Detachiertisch	Veit	7404	0,75 kW		manuell, über Dampfkessel
Dämpfkabinett	Camptel	Rotor VX	0,4 kW		15-20 kg Dampf/h (abhängig von Wäscheart)
Hosenpresse	Pantex, (heute Malawasi)	U50	k.A.		
Bügeltisch 1	Veit	1444010010	1,85 kW		manuell, über Dampfkessel
Bügeltisch 2	Veit		1 kW		manuell, über Dampfkessel
Hemdenpresse	Kleindienst	Hemden-kabinett	k.A.		

Der Reinigungsbetrieb verteilt sich auf verschiedene Bearbeitungsbereiche. Textilreinigung Bügeln und Finishen sowie der Kundenbereich (Theke und Eingang) befinden sich im Erdgeschoss. Neben Dampfkessel, Economizer und Pufferspeicher befinden sich im Keller ebenfalls wetcleanfähige Waschmaschinen und gewerbliche Wäschetrockner, in denen ankommende Kundenwäsche behandelt und getrocknet wird.

**Abbildung 47** und **Abbildung 48** zeigen schematisch den Aufbau des Betriebes und die Standorte der Maschinen.

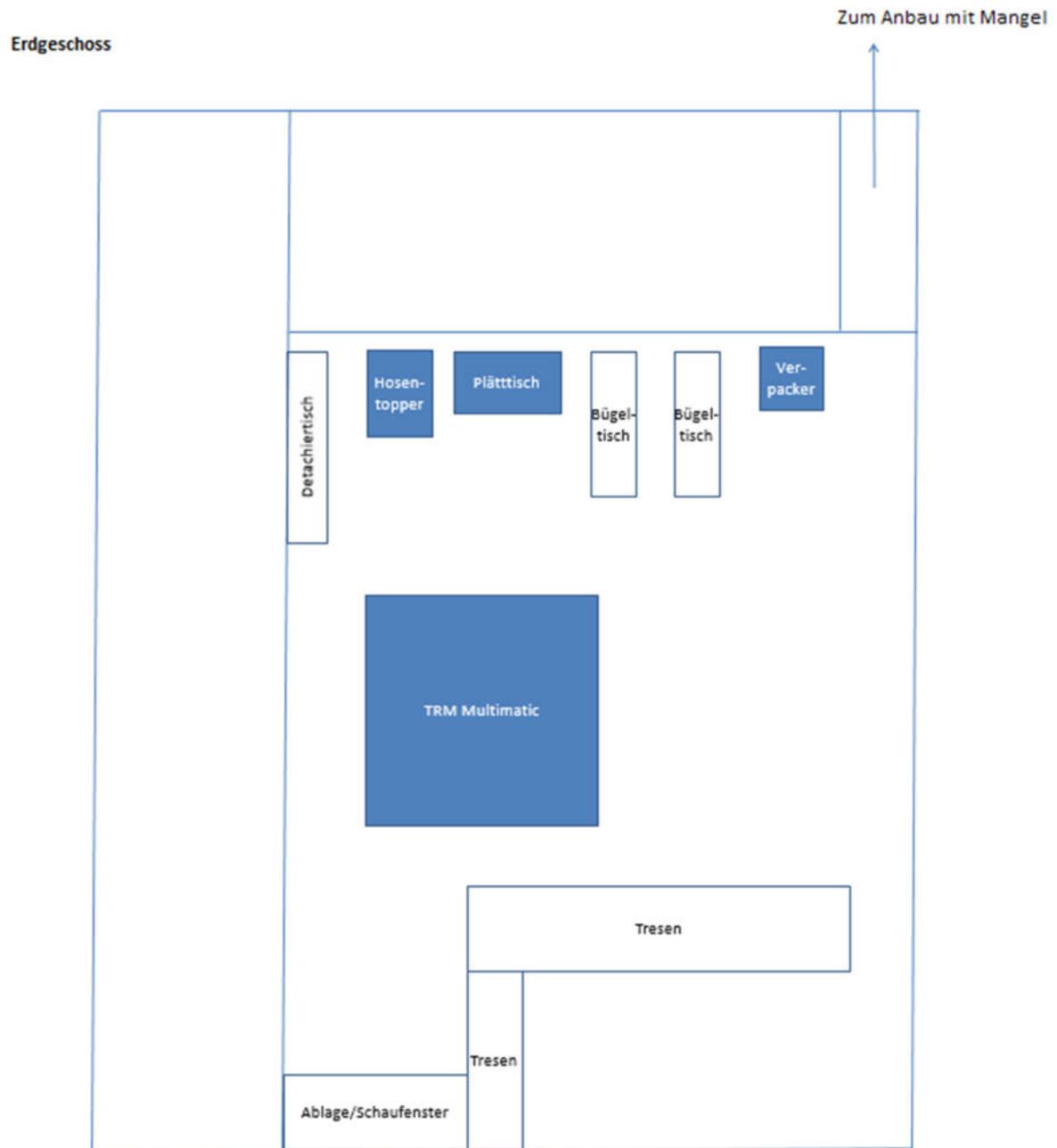


Abbildung 47: Gebäudeplan Erdgeschoss, Reinigungsbetrieb C (nicht maßstabsgetreu)

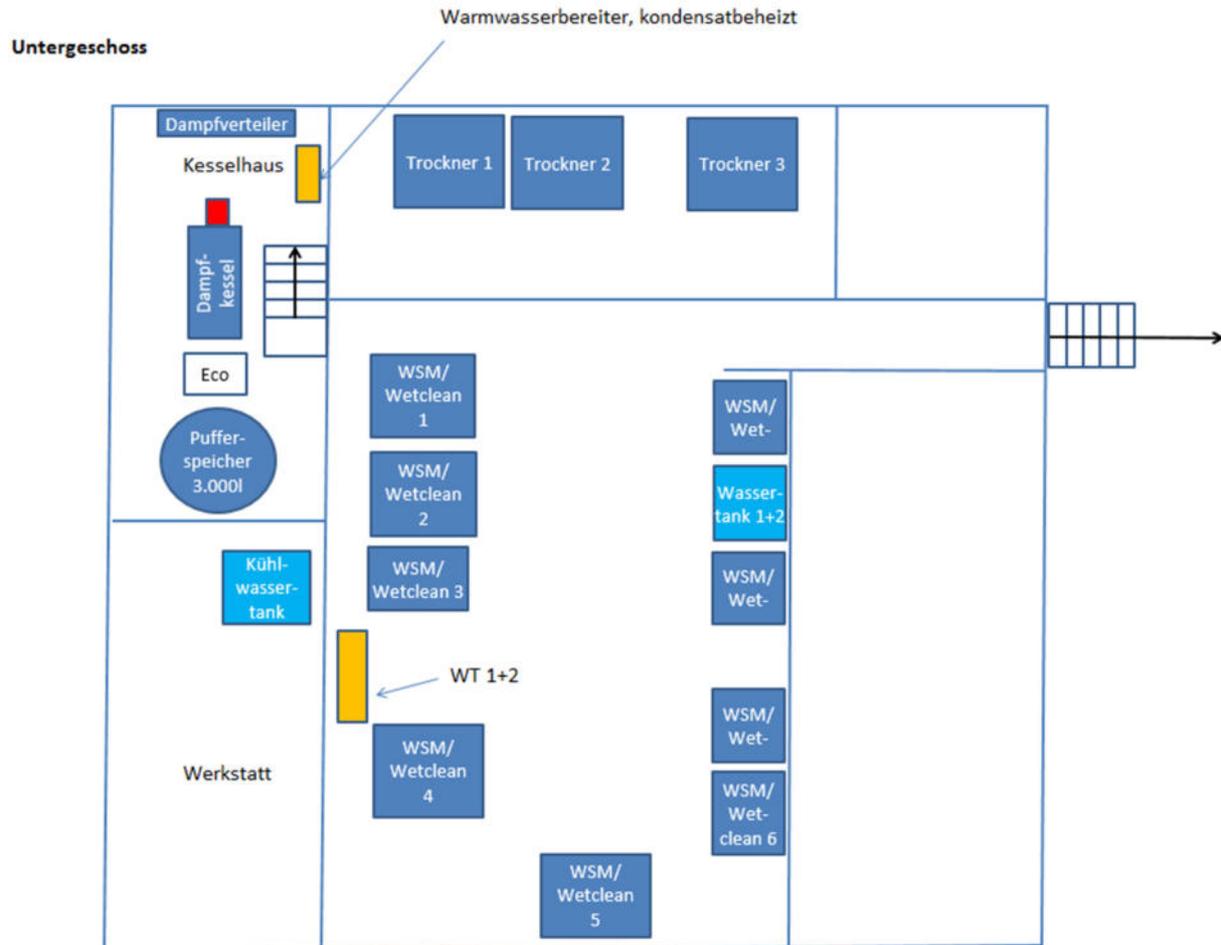


Abbildung 48: Gebäudeplan Keller, Reinigungsbetrieb C (nicht maßstabsgetreu)

#### 4.4.2 IST-Analyse Reinigungsbetrieb C

##### 4.4.2.1 Erfassen der Energie- und Massenströme

###### 4.4.2.1.1 Warenströme

Reinigungsbetrieb C hatte einen Warendurchsatz durch die Wäscherei von 48.944 kg (ca. 83 %) und 8.459 kg (ca. 17 %) durch die Textilreinigung (Betriebserfassung 2014).

Während der Untersuchungen wurden pro Tag ca. 2 - 3 (2,5) Posten mit ca. 15 kg gereinigt. Bei 250 Arbeitstagen würden rein rechnerisch 9.375 kg Bekleidung bearbeitet.

###### 4.4.2.1.2 Kühlwassereinsatz

Wie in **Abbildung 49** dargestellt verfügt der Betrieb über ein relativ komplexes Kühlsystem, bestehend aus:

- Druckloser Kühlwassertank, ca. 1.000 Liter
- Ungeregelte Pumpe für den Kühlkreislauf über die Textilreinigungsmaschine,
- Wärmetauscher I+II zur generellen Trinkwasservorwärmung
- Ungeregelte Pumpe zur manuellen Bedienung (Frostschutzschaltung Pool)
- Interner Kühlwasserregler in der Textilreinigungsmaschine
- Waschtank (erwärmtes Kühlwasser) mit hydraulisch vom Kühlkreis getrenntem Netz und eigenem Hauswasserwerk (geschaltete Pumpe) zur Versorgung von Wetclean- und Waschmaschinen mit erwärmtem Wasser
- Pool im Freien als Rückkühlung

Funktionsweise des Kühlsystems (**Abbildung 49**):

- **Kühlung der Textilreinigungsmaschine mit Vorwärmung Gesamtrinkwasser über Wärmetauscher und Rücklauf Tank („Normalbetrieb“)**
  - Geöffnete Ventile: **V1, V2, V4, V5, V6,**
  - Geschlossene Ventile: **V3, V7, V8, V9, V10**
  - Betrieb der Umwälzpumpe
  
- **Kühlung der Textilreinigungsmaschine mit Vorwärmung Gesamtrinkwasser über Wärmetauscher mit Wärmeabfuhr über Pool**
  - Geöffnete Ventile: **V1, V2, V, V5, V6, V7**
  - Geschlossene Ventile: **V3, V4, V8, V9, V10**
  - Betrieb der Umwälzpumpe
  - Betrieb Hauswasserautomat zur Versorgung von WSM 1-9
  
- **Nachspeisung Trinkwasser in das Kühlsystem**
  - Manuelle Bedienung des Ventils **V8** zur Nachspeisung in die Kühlwasserleitung zur Textilreinigungsmaschine
  
- **Warmwasserbedarf in Spülprozessen**
  - Ventil **V9** wird (manuell) geöffnet, um Waschtank 1+2 auf einem ausreichenden Pegel zu halten
  - Ein Teilstrom der Kühlwasserumwälzpumpe speist Waschtank 1+2
  - Automatische Versorgung der nachfolgenden Waschprozesse durch Hauswasserautomat
  
- **Frostschutzschaltung (manuell)**
  - Ventil **V10** wird manuell geöffnet
  - Frostschutzpumpe wird manuell gestartet und gestoppt, um bei Bedarf ein Einfrieren des Pools zu verhindern.

Der über die Wärmetauscher I+II an das Trinkwasser abgegebene Anteil der Abwärme aus dem Textilreinigungsmaschine wird auch über das Kalt- und Warmwasser dem Waschprozess als auch dem Speisewasser des Dampfkessels zugeführt.

Der geringe Automationsgrad erfordert großes Betreiberwissen über die Funktion der einzelnen Ventile und ist im Betrieb Chefsache.

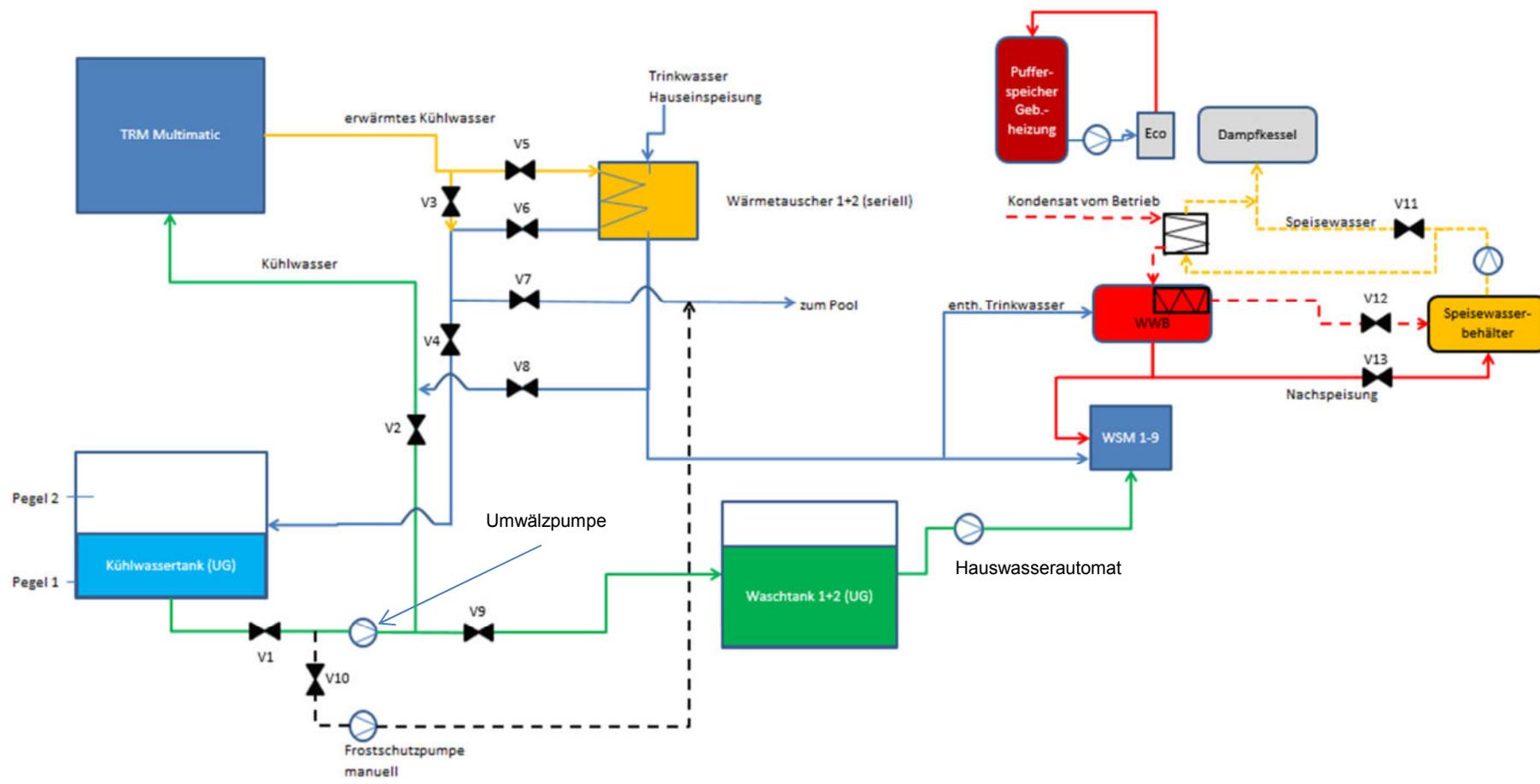


Abbildung 49: Kühlwassermanagement Betrieb C

Die anfallende Abwärme der Textilreinigungsmaschine wird nur zum Teil im Betrieb genutzt. Die manuelle Abwärmenutzung im Pool ist streng betrachtet keine energieeinsparende Nutzung, sondern eine Komfortverbesserung für die Poolnutzer.

Bei der thermischen Leistungsmessung wurde eine mittlere Leistung von ca. 5,3 kW unter Berücksichtigung der Ausfallzeiten gemessen. Wie in **Abbildung 50** zu sehen ist, war die gemessene thermische Leistung stark volatil, was auch an stark schwankenden Durchflussmesswerten lag. Die Messung wurde vor allem beim Ultraschallverfahren durch Vibrationen der Textilreinigungsmaschine (TRM) und Störsignale erschwert, so dass eine genauere Messung unmöglich war. Die Volumenstrommessung war bei Betrieb der Reinigungsmaschine von ständigen Messausfällen betroffen (siehe **Abbildung 51**).

Betrachtet man bei Bilanzierung der Maschine die messtechnisch erfasste Dampfzufuhr – ca. 23 kWh, einschließlich Leitungsverlusten und ggfs. Sprühdampfmengen und ca. 3,5 kWh elektr. Energie, ist unter Berücksichtigung eines angesetzten Oberflächenverlusts von ca. 3 kW von einer tatsächlichen thermischen Energieabfuhr im Kühlwasser von ca. 23 kWh pro Posten (Prozessdauer 46 min) bzw. einer mittleren Leistung von ca. 3,8 kW. Die postengenaue Betrachtung ist durch den über Prozessanfang und –ende hinausgehenden Destillationsprozess mit Dampfzufuhr und Kühlwassermassenstrom und damit Wärmezu- und abfuhr bei dieser Maschine erschwert.

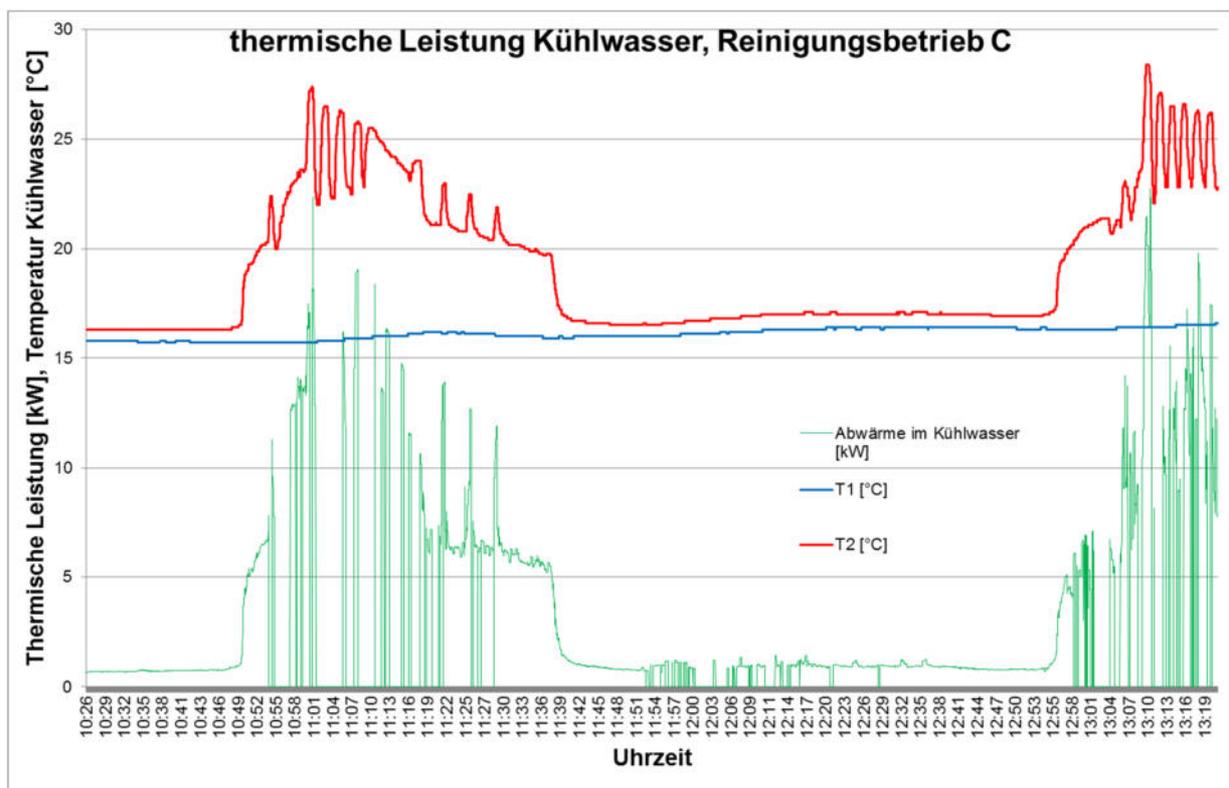


Abbildung 50: Thermische Leistung Kühlwasser Betrieb C

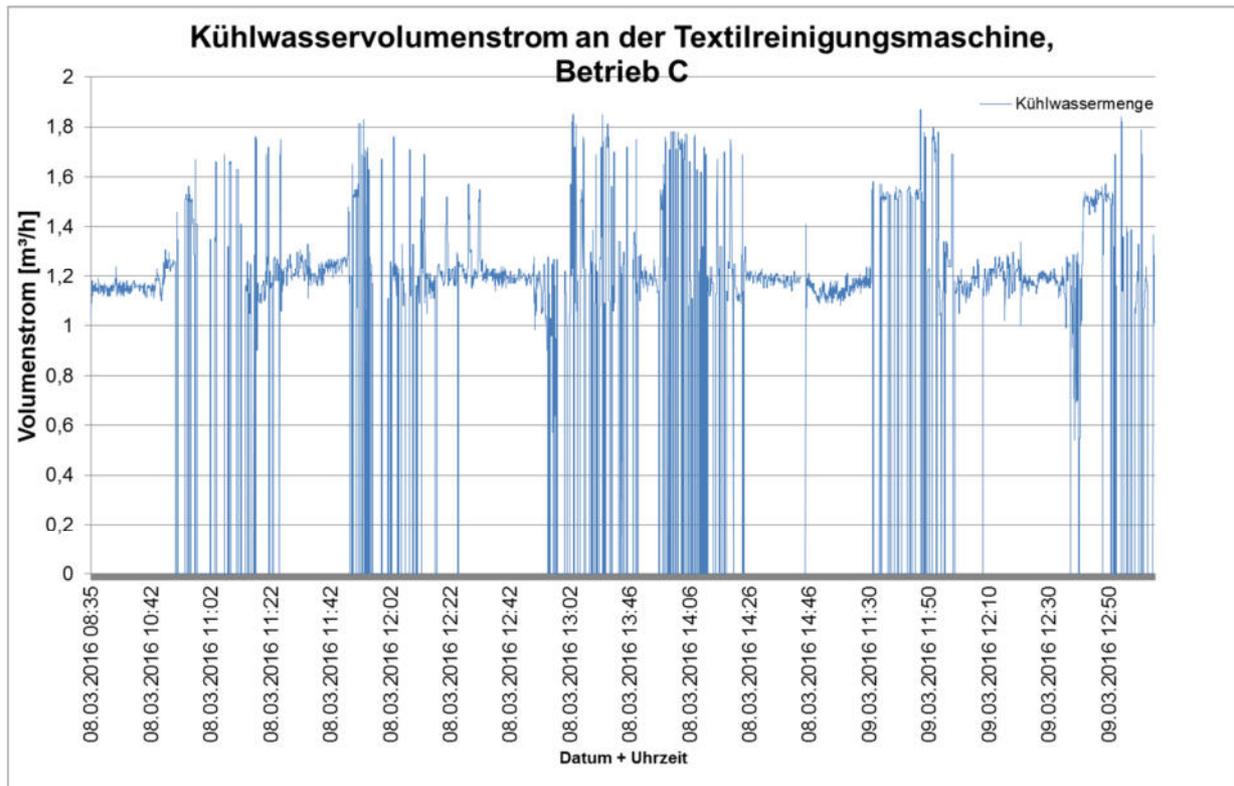


Abbildung 51: Kühlwasservolumenstrommessung an der TRM, Betrieb C

**Abbildung 51** zeigt den Verlauf des gemessenen Kühlwasservolumenstroms mit den während des Betriebs der Textilreinigungsmaschine auftretenden Messwertschwankungen. Diese bestehen aus Messwertausfällen und den bei Betrieb erhöhten Volumenströmen bei geöffnetem Durchflussregler an der TRM. Ohne Störungen stellt sich ein Volumenstrom von ca. 1,2 m<sup>3</sup>/h ein.

Im Wetcleanverfahren wird das erwärmte Kühlwasser aus dem Textilreinigungsprozess als auch Trinkwasser und enthärtetes Wasser eingesetzt.

Wie in **Abbildung 49** dargestellt wird das komplette Trinkwasser des Betriebs über zwei in Reihe geschaltete Wärmetauscher (I+II) vorgewärmt.

Bei einer Leistungsmessung wurde für beide Wärmetauscher zusammen eine übertragene Wärme von ca. 5 kW gemessen. Die Leistung ist durch die geringen Temperaturdifferenzen zwischen Kühl- und Trinkwasser begrenzt. Der Trinkwasseranteil, der der Nachspeisung des Kühlsystems dient, transportiert einen Teil der abgegebenen Wärme wieder zurück in den Kühlwassertank.

Für das Wetcleanverfahren wurden – dank der vorhandenen Wasseruhren – für alle Wasserarten Aufzeichnungen erstellt und die Temperatur gemessen.

Tabelle 13: Wasserverbrauch Wetclean Betrieb C

Nr.	Postengewicht	Verbrauch nach Wasserart [l]				Spez. Verbrauch
		kalt hart	kalt weich	warm weich	gesamt	
1	2,0 kg	26 l	23 l	13 l	62 l	31,0 l/kg
2	3,0 kg	26 l	23 l	13 l	62 l	20,7 l/kg
3	5,0 kg	36 l	30 l	18 l	84 l	16,8 l/kg
4	6,5 kg	38 l	28 l	19 l	85 l	13,1 l/kg
5	4,0 kg	35 l	24 l	18 l	77 l	19,3 l/kg
6	4,0 kg	26 l	25 l	16 l	67 l	16,8 l/kg
7	4,0 kg	32 l	29 l	18 l	79 l	16,8 l/kg

Wie **Tabelle 13** zeigt, wurden sehr geringe Postengewichte in der untersuchten Wetcleanmaschine behandelt und nach dem eigentlichen Waschen mit 3 Bädern gespült. Das Ergebnis ist ein überdurchschnittlich hoher Wasserverbrauch. Gewichtet nach dem Postengewicht ergibt sich ein Mittelwert für das Nassreinigungsverfahren von 18,1 l/kg.

Hochgerechnet auf 48.944 kg Wäsche (Jahresleistung 2014) würde eine Trinkwassermenge von 886 m<sup>3</sup>/a verbraucht. Tatsächlich wurden mit allen Nebenverbrauchern 1.021 m<sup>3</sup> mit dem Wasserversorger abgerechnet.

Aufgrund fehlender Rohrleitungsdämmung und fehlender Zirkulation sinkt die Temperatur der Warmwasserleitung bei jeder Zapfpause innerhalb von ca. einer Stunde um ca. 10 K ab. Die Trinkwassertemperatur hingegen steigt bei Zapfpausen an und fällt bei Zapfvorgängen um bis zu ca. 5-6 K ab.

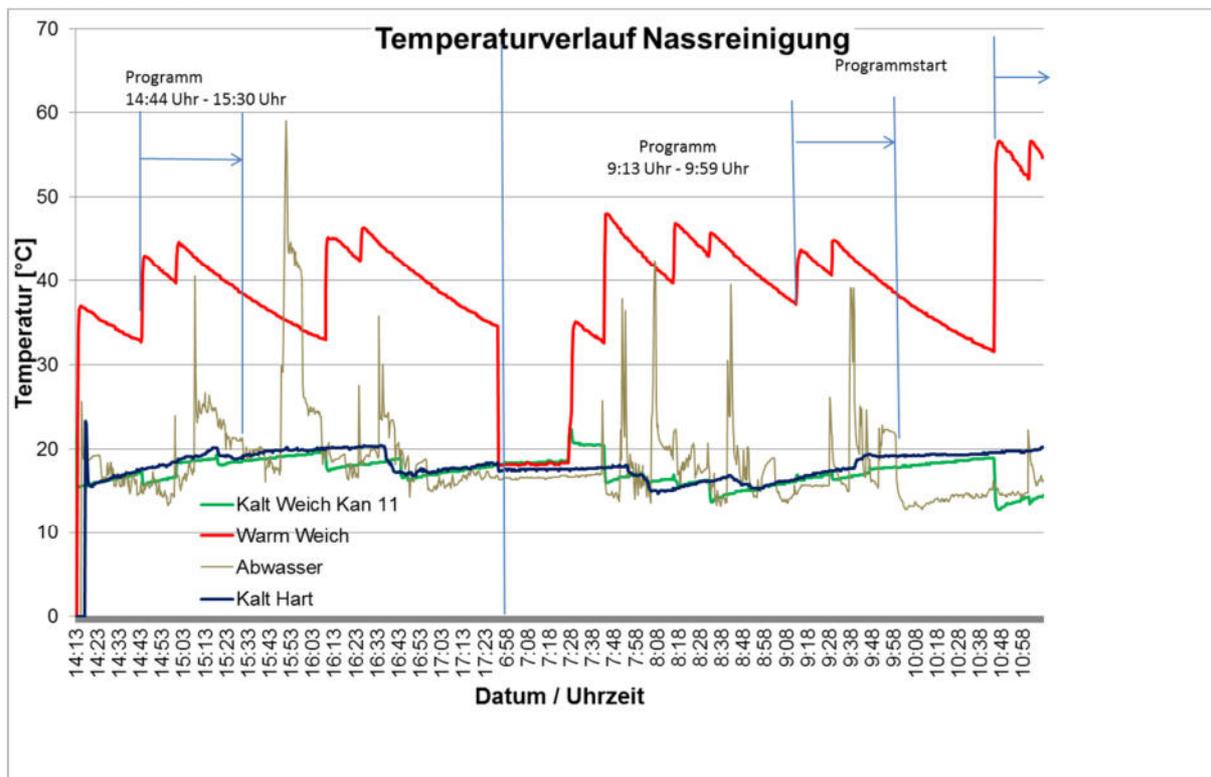


Abbildung 52: Temperaturverlauf Nassreinigung Betrieb C

#### 4.4.2.1.3 Wärmeerzeugung

Die Wärmeerzeugung im Reinigungsbetrieb C beschränkt sich auf die Betrachtung der Dampferzeugung. Die vorhandene Raumheizung erfolgt durch Nutzung von Abwärme aus dem Dampfkessel (Economiser).

Die Dampferzeugung für die Prozesse im Betrieb erfolgt mittels Großraumwasserkessels, Marke VKK-Standard, Typ Condor mit einer Nenndampfleistung von 0,8 t/h. Der Dampfkessel wird beheizt mit einem zweistufigen Heizölbrenner der Marke Weishaupt, Typ L3-ZA.

Der Brenner wurde im Jahr 2014 in Stufe 1 für 1.825 h und in Stufe 2 für 75 h betrieben. Dies ist bereits ein Hinweis auf eine deutlich zu große Heizleistung in Stufe 2.

Durch Messung des Heizölverbrauchs konnten folgende Messwerte ermittelt werden:

- Heizölbedarf über 3,68 h Messzeit: 71,95 Liter
- Mittlere Brennerleistung: 195 kW

- Brennerleistung Stufe 1: 120 kW
- Brennerleistung Stufe 2: 263 kW
- Laufzeiten:

	Stunden	Prozent- anteile	Hochrech- nung 1. Jahr
Messzeit:	03:42:03	100 %	1.900 h
davon Stillstand	00:25:03	11,3 %	226 h
1. Stufe:	03:04:28	83,07 %	1.661 h
2. Stufe:	00:12:32	5,64 %	113 h

- Anhand der Leistungen und der hochgerechneten Betriebsstunden wurde ein Jahresheizölbedarf von 22.904 l/a ermittelt.

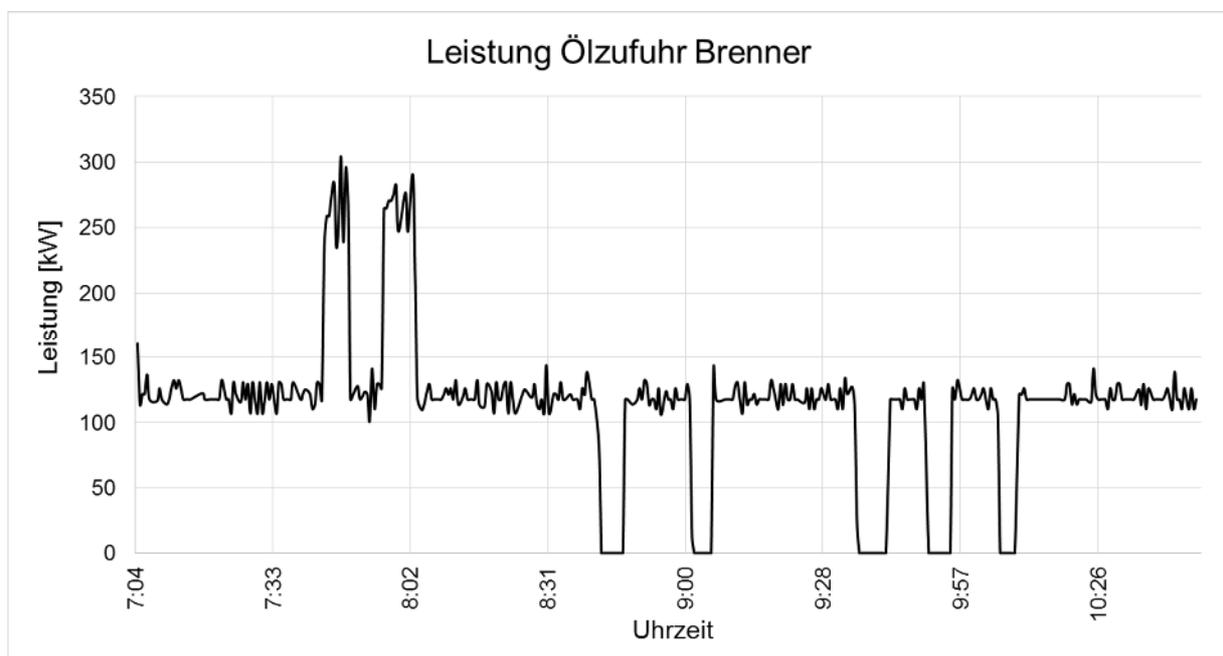


Abbildung 53: Leistung Brenner am Dampfkessel, Betrieb C

Zur Plausibilitätsprüfung wurde der Jahresheizölverbrauch des Betriebs 2014 von 23.466 Liter bzw. 234,7 MWh herangezogen. Mit einer angenommenen Betriebszeit von 2.000 h/a ergibt sich daraus eine mittlere Leistung von ca. 117 kW-Heizöl.

Aufgrund der Messzeit am Morgen (7:05 Uhr bis 10:46 Uhr) ist bei der Messung eine höhere Brennerleistung für Aufheizvorgänge erfasst worden.

Mittels Dampfmengenzähler am Verteiler wurde der Anteil gemessen, der für die Textilreinigungsmaschine und die Finishmaschinen (zwei Bügeltische, ein Plätttisch und ein Hosentopper) aufgewendet wurde sowie die auftretenden Leitungsverluste vom Verteiler bis zum Verbraucher.

Über den Messzeitraum wurde für den Dampfbedarf ein Mittelwert von 21,2 kg/h (entspricht ca. 13,8 kW) gemessen. Im Bilanzierungszeitraum der Textilreinigungsmaschine wurden ca. 23 kWh Dampf gemessen (siehe **Kapitel 4.4.2.3**).

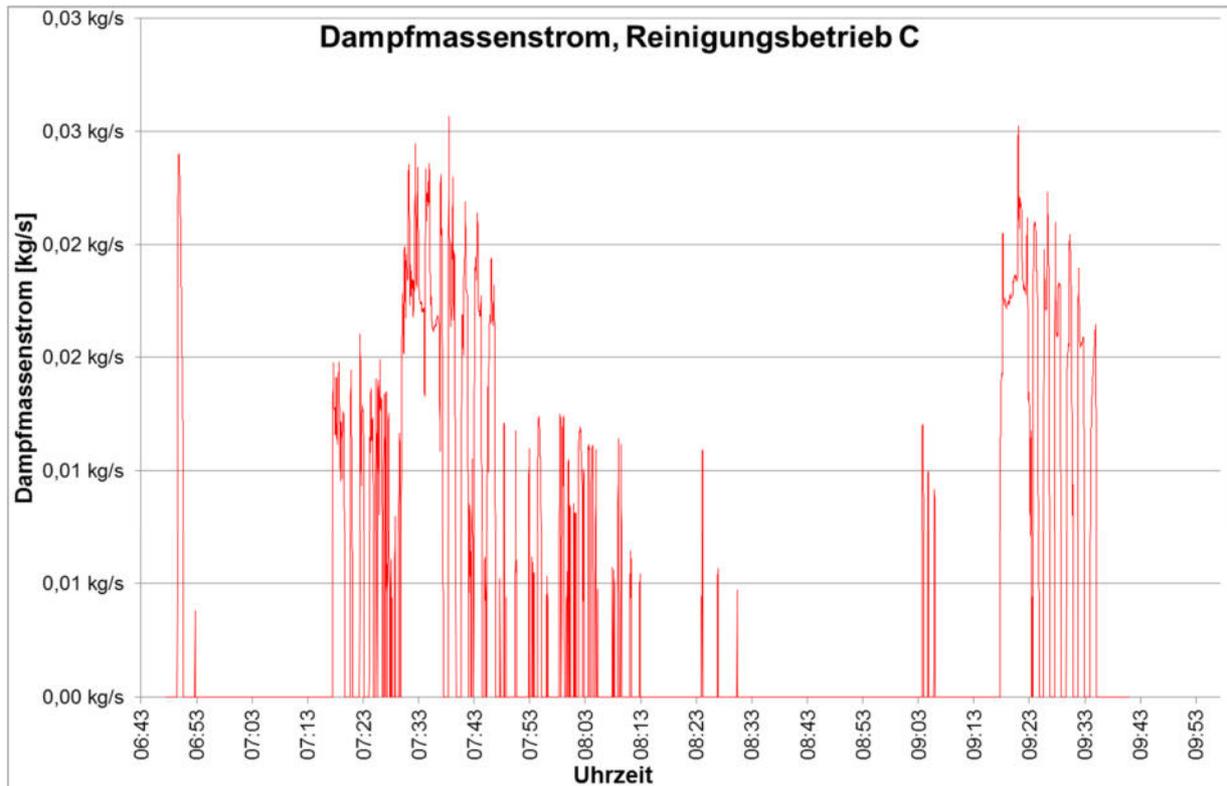


Abbildung 54: Dampfmassenstrom Textilreinigung des Betrieb C

#### 4.4.2.2 Elektrische Energie

##### 4.4.2.2.1 Elektrischer Energieverbrauch

Der Reinigungsbetrieb verfügt im Wesentlichen über folgende Stromverbraucher:

- Textilreinigungsmaschine
- Kühlwasserpumpe + Hauswasserwerk für WCM
- Wetcleanmaschinen
- Trockner
- Bügeltische + Finisher
- Kompressor
- Raumluftechnische Anlage (Abluftventilator)
- Beleuchtung
- Sonstige Verbraucher

**Abbildung 55** zeigt den für dampfbeheizte Textilreinigungsmaschinen typischen Leistungsverlauf. Während der Reinigungsphase schwankt die Leistungsaufnahme im Takt der Reversierung. Ausgeprägte Leistungsspitzen zu Beginn des Schleuderns sind nicht aufgetreten. Wegen einer Störung am Schlauch für die Dosierung des Reinigungsverstärkers (RV) ist für ca. 3 min nur die Leistung für die Regelung (ca. 130 W) gemessen worden. Der größte elektrische Energieaufwand wird für den Trocknungsprozess benötigt und beträgt mit ca. 2,9 kWh rund 85 Prozent der gesamten Stromaufnahme im Reinigungsprozess. Die Reduktionsphase ist bei diesem hellen Posten deutlich kürzer als beim Posten mit dunkler Ware (siehe **Abbildung 56**). Der Strombedarf betrug bei heller Ware 3,5 kWh

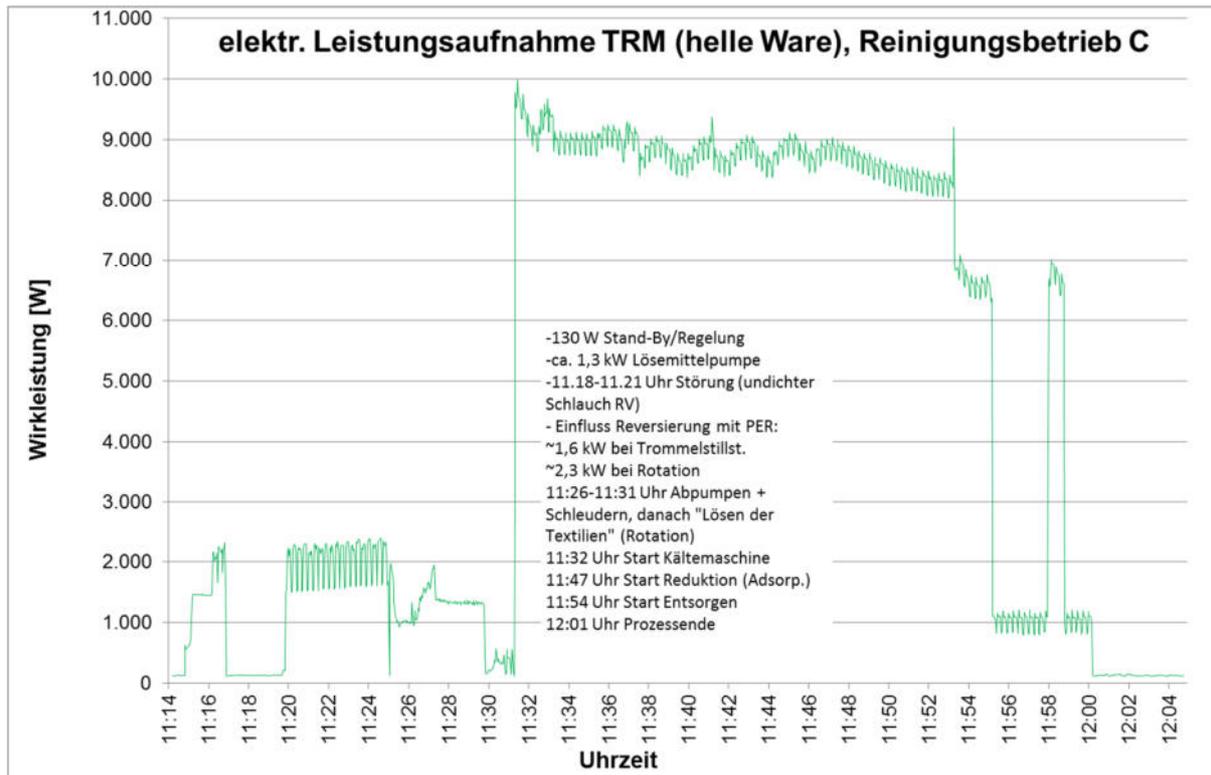


Abbildung 55: Wirkleistung Textilreinigungsmaschine (helle Ware)

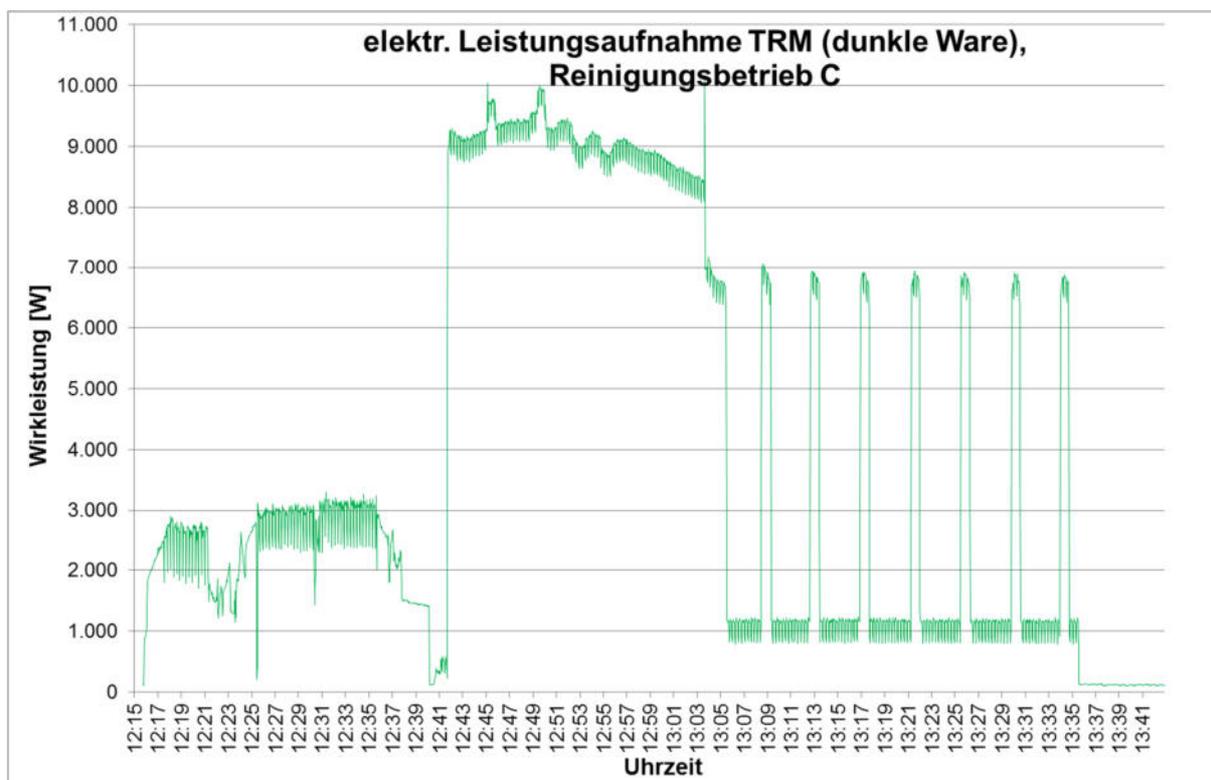


Abbildung 56: Wirkleistung Textilreinigungsmaschine Programm 21 (dunkle Ware)

Für dunkle Ware in der Reinigungsmaschine wurde pro Posten ein Strombedarf von 5,6 kWh ermittelt. 60 % des Strombedarfs wird für die Trocknung, ca. 22 % für die Adsorption aufge-

wendet. Der Energiebedarf ist stark abhängig von der Kühlwassertemperatur und den auszukondensierenden Lösemittelmengen, die in Programm 21 zu deutlich längeren Adsorptionszeiten führte (siehe **Abbildung 56**).

Die Kühlwasserpumpe für die Rückkühlung der Textilreinigungsmaschine hat eine Nennleistung von 1,1 kW.

Eine bedarfsabhängige Abschaltung der Kühlwasserpumpe konnte nicht festgestellt werden. Wegen fehlender, direkter Regelung der Kühlwasserpumpe läuft die Pumpe – unabhängig von der Textilreinigungsmaschine über den kompletten Arbeitstag. Lediglich durch das Regulierventil der Textilreinigungsmaschine (TRM) wird in Arbeitspausen der Durchfluss von ca. 1,6 m<sup>3</sup>/h auf ca. 1,1 m<sup>3</sup>/h reduziert.

Ein Bügeltisch wurde mit einer mittleren Leistung von 391 Watt gemessen, davon entfiel eine mittlere Leistung von 261 Watt auf das Bügeleisen. Wie in **Abbildung 57** zu sehen ist, heizte das Bügeleisen für ca. 1,5 min ununterbrochen auf bis die Betriebstemperatur erreicht war. In der weiteren Nutzung setzt sich der Leistungsbedarf aus dem Wärmebedarf beim Bügeln (Wärmeverluste und Verdampfungsaufwand) und der Antriebsleistung des Ventilators der Bügeltischabsaugung zusammen.

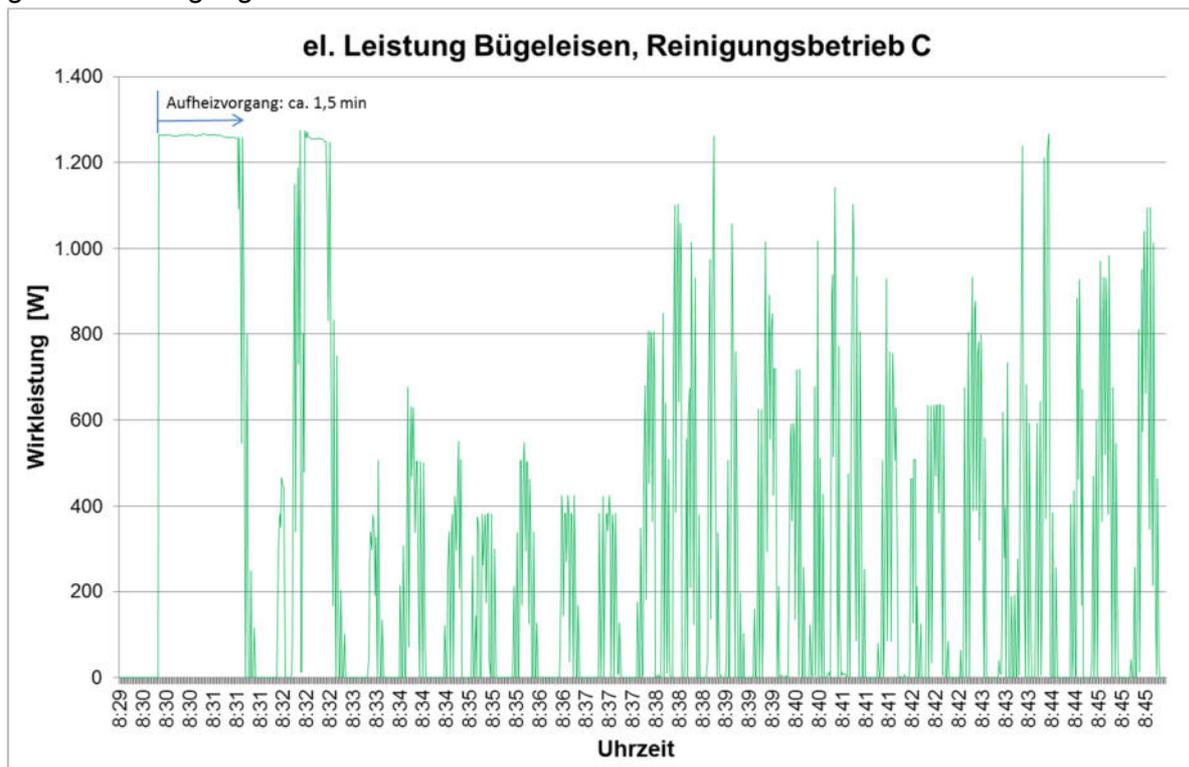


Abbildung 57: Leistung Bügeleisen Betrieb C

Die bekannten elektrischen Verbraucher ergeben folgenden Gesamtverbrauch:

**Tabelle 14: Wichtigste Stromverbraucher Betrieb C**

Verbraucher	Mittlere Leistung [kW]	Betriebsstunden p. a.	Jahresenergiebedarf [kWh]	Anmerkungen
Reinigungsmaschine mit Adsorption	n.a.	n.a.	2.844 kWh	Berechnung über Chargenanzahl (625 p.a.), Mittelwert hell/dunkel 4,55 kWh/Posten
Kühlwasserpumpe	1,1	1.500	1.650 kWh	Nennleistung, Abschätzung Laufzeit
Bügeltisch	0,391	750	2x 293 kWh	(Absaugung, Bügeleisen) x 2 Bügeltischeinheiten
Dämpfkabinett	0,4	500	200 kWh	Nennleistung, Abschätzung Laufzeit
Wetcleanmaschine	0,75	750	9 x 563 kWh	Nennleistung WCM1; 9 WCM x Prog.dauer, Postenanzahl (4 Posten) x 250 Arbeitstage
Brenner/Dampfkessel	0,9	1.900	1.710 kWh	Nennleistung, Abschätzung Laufzeit
Kompressor	4	647	2.588 kWh	Leistungsangabe nach Typenschild, Laufzeit nach Betriebsaufzeichnung
Raumbeleuchtung	0,7	1.500	1.050 kWh	Abschätzung über Leuchtmittel (58W, 12 Stück)
Raumluftabsaugung	1,47	2.000	2.940 kWh	Betrieb auf Stufe I+II von V; Messung Strom, cos phi ~ 0,85
Sonstige Verbraucher			1.864 kWh	Zuschlag 10% von 18.635 kWh für Sozialräume, Büro, sonstige Verbraucher
<b>Gesamtstrombedarf pro Jahr:</b>			<b>20.499 kWh</b>	

**Tabelle 14** zeigt die hochgerechneten Jahresverbräuche des Textilreinigungsbetriebs. Der Reinigungsprozess mit einem Anteil von ca. 22 % gering aus. Die geringe Kühlpumpenleistung und der gegenüber anderen Betrieben wegfallende Kühlturmaufwand wirken sich hier positiv aus, obwohl die elektrische Leistung für die Textilreinigungsmaschine Der elektrische Energiebedarf für die Wasch- und Wetcleanprozesse bringt die größte Ungenauigkeit in diese Aufstellung. Es wurden nicht alle Programme berücksichtigt sowie vereinfacht alle 9 Maschinen mit den Daten von WCM 1 einkalkuliert. Die meisten anderen Verbraucher konnten im Rahmen der Messzeit (fehlende Betriebszeit) oder wegen der fehlenden Zugänglichkeit nicht gemessen werden. Der tatsächliche Strombedarf des Betriebs ist von 2013 zu 2014 stark gesunken und betrug im Jahr 2014 20.732 kWh. Im Jahr zuvor lag der Verbrauch noch bei 31.292 kWh.

#### **4.4.2.2 Druckluft**

Trotz der im Betrieb vorhandenen Mangel und des für die Betriebsgröße weitverzweigten Druckluftnetzes verfügte der Betrieb über einen lediglich 4 kW kleinen Schraubenkompressor. Ein 7,5 kW- Kompressor von 1981 diene noch als Ausfallsicherung, wird jedoch nicht mehr regelmäßig betrieben.

Wegen des geringen und von der Art der Ware abhängigen Druckluftbedarfs wurde keine detaillierte Untersuchung des Druckluftsystems durchgeführt. Nach Auskunft des Betreibers wird der Kompressor nur stundenweise eingesetzt und das Netz sonst weitgehend aus dem Druckluftspeicher versorgt.

Eine Abwärmenutzung war nicht vorhanden.

### 4.4.2.3 Energiebilanz der Textilreinigungsmaschine

Zusammenfassend für die Kapitel 4.4.2.1.3 und 4.4.2.2.1 wurde eine Energiebilanz für den Textilreinigungsprozess (Programm 31) erstellt (siehe **Abbildung 58**). In der Summe der Verluste sind auch prozessfremde Verluste, bedingt durch die Einbausituation des Zählers, enthalten. Dampfzufuhr (Destillation) und Wärmeabfuhr im Kühlwasser waren bzw. sind an dieser Maschine nicht zeitlich am Reinigungsprozess gekoppelt.

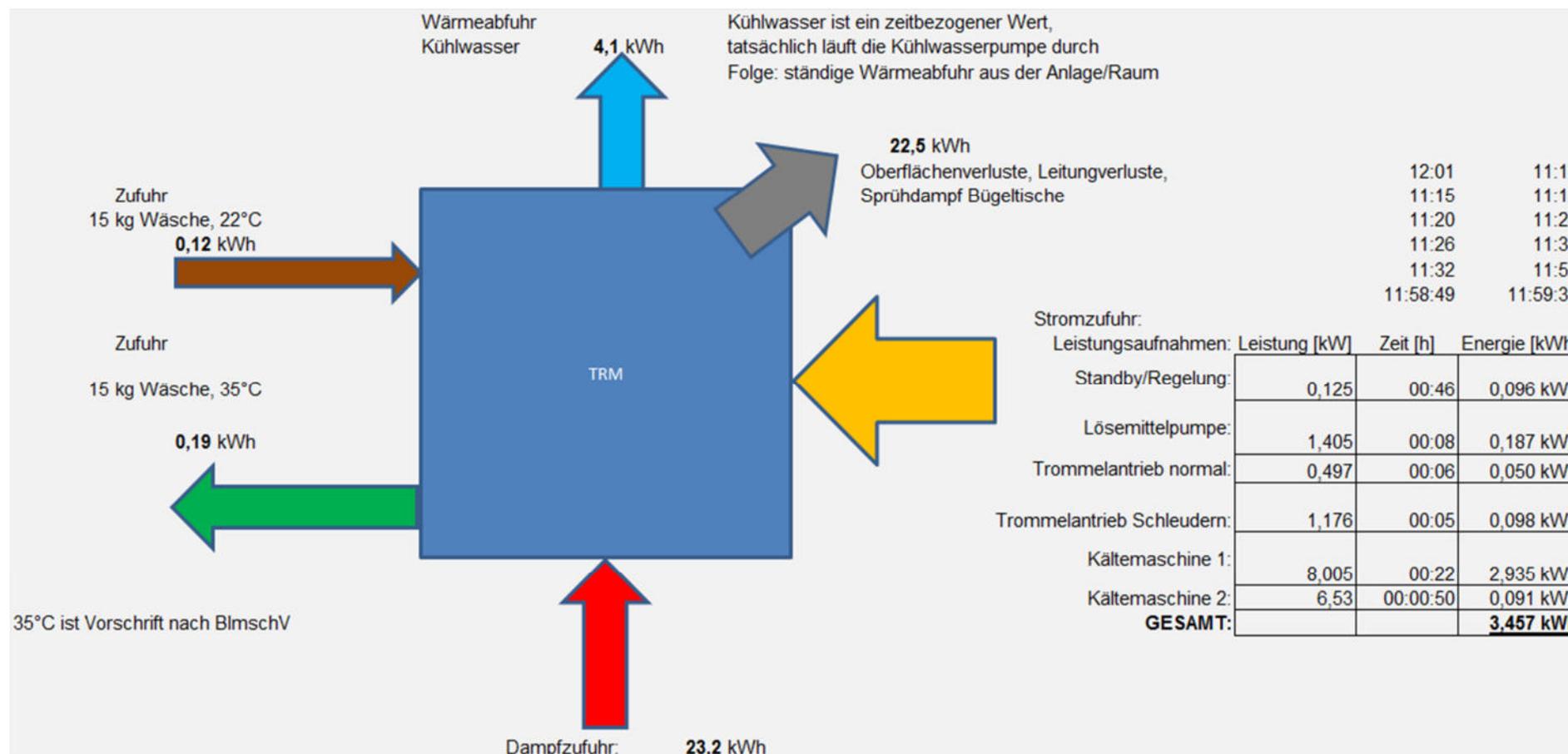


Abbildung 58: Energiebilanz Textilreinigungsprozess Betrieb C

Die Textilreinigungsmaschine erreichte im Programm 31 folgende spezifischen Energieverbräuche:

- Elektrische Energie: 0,23 kWh/kg
- Dampf: 1,53 kWh/kg

Die Kennwerte liegen beim Strom leicht unterhalb des Mittelwerts aller im Projekt gemessenen Textilreinigungsmaschinen. Der spezifische Dampfbedarf liegt deutlich darüber, was nicht zuletzt an der Einbausituation des Dampfmengenzählers liegt. Der Kennwert enthält Leitungsverluste und geringe Sprühdampfverluste.

Unter Berücksichtigung des Wunsches des Betreibers nach hoher Reinigungsqualität und geringer mechanischer Belastung kann der Kennwert nicht durch höhere Postenmasse verbessert werden.

Die Kühlwassertemperaturen waren zum Zeitpunkt der Messung niedrig (16,2 °C Eingang, 19,2 °C Ausgangstemperatur), so dass diese über die Effizienz der Kältemaschine einen Anteil an dem guten Kennwert für die elektrische Energie beitragen.

#### 4.4.3 Erfassen von Prozessparametern und ihre Auswirkungen auf die Textilien

##### 4.4.3.1 Wasserqualitäten

- **Frischwasser**

Das im Reinigungsbetrieb C vorhandene Frischwasser wies zum Zeitpunkt der Untersuchungen eine Temperatur von 12,6 °C auf und hatte eine elektrische Leitfähigkeit von 460 µS/cm (bei 20 °C). Der pH-Wert betrug 7,8 und die Wasserhärte 16,0 °d (2,85 mmol/l). Wasch- und Nassreinigungsprozesse werden je nach Programmschritt entweder mit nicht enthärtetem Trinkwasser oder mit enthärtetem Wasser durchgeführt. Das verwendete *Weichwasser* hatte zum Messzeitpunkt eine Temperatur von 14,3 °C und wies eine Leitfähigkeit von 470 µS/cm (bei 20 °C) auf. Der ermittelte pH-Wert betrug 7,7 und die Wasserhärte 0,1 °d (0,02 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.

⇒ **Wasserparameter innerhalb des Waschprozesses**

Die Wasserparameter wurden bei der untersuchten Nassreinigungsmaschine nach manueller Entnahme von Flottenproben am Ablaufrohr am Ende eines jeden Programmschrittes bestimmt. Dabei wurde stets die erste und die letzte anfallende Wassermenge verworfen. Bezüglich der energetischen Betrachtung ist neben dem erwärmten Wasservolumen nur die angewandte Flottentemperatur von Bedeutung. Da zum Zeitpunkt der Untersuchungen in dem Betrieb keine typische Nassreinigung durchgeführt wurde, wurde stattdessen das am häufigsten benutzte Waschprogramm untersucht. Dabei wurden neben o.g. Frisch- und Weichwasser auch Flottenproben aus der Vorwäsche, der Klarwäsche und allen 3 Spülängen untersucht (**Tabelle 15**).

Tabelle 15: Analysewerte untersuchter Wasserproben, Reinigungsbetrieb C

Parameter Probe	Temperatur in °C	pH- Wert	Leitfähigkeit in $\mu\text{S}/\text{cm}$ (bei 20 °C)	Gesamt- härte in °d	Gesamt- alkalität in $\text{g}_{\text{Soda}}/\text{l}$	Abdampf- rückstand in g/l
<b>Waschmaschine</b>						
Vorwäsche	25	8,2	0,59	1	0,30	1,52
Klärwäsche	37	8,0	0,54	1	0,27	0,99
1.Spülbad	27	8,1	0,50	13	0,26	0,44
2.Spülbad	24	8,0	0,49	13	0,28	0,45
3.Spülbad	22	8,0	0,49	13	0,28	0,42

#### 4.4.3.2 Beschreibung von Reinigungs- und Trocknungsprozessen

Zur Bewertung der Textileffekte in der Reinigungsmaschine wurden die beiden meistverwendeten Reinigungsprogramme (dunkle Teile und helle Teile) detailliert untersucht. Die Reinigungsmaschine (Multitex EM 440; BJ 1994; 440 l Trommelvolumen; Lösemittel PER) wurde mit Sattedampf (ca. 7 bar<sub>abs</sub> vor Druckregler/Ventil, ca. 165 °C Dampftemperatur) beheizt. Das Reinigungsprogramm für **dunkle Ware** wies folgenden Ablauf auf:

##### Programmschritt 1: 1. Bad

Füllverhältnis: 24,5 l/kg  
g-Faktor/Reversierung: 0,21 g; 10/4  
Lösemittel: aus Arbeitstank (dunkel)  
Flottenverhältnis: 4 l/kg  
RV-Dosierung: keine  
Dauer: 6 min, anschließend Ablass in Destillation und 1,5 min Schleudern bei 35,9 g

##### Programmschritt 2: 2. Bad

Füllverhältnis: 24,5 l/kg  
g-Faktor/Reversierung: 0,21 g; 10/4  
Lösemittel: Rest aus Arbeitstank (dunkel), Auffüllen auf Niveau aus Reintank  
Flottenverhältnis: 4 l/kg  
RV-Dosierung: 150 ml  
Dauer: 5 min, anschließend  
Flottenverhältnis: Erhöhung auf 5 l/kg  
RV-Dosierung: -  
Dauer: 4,75 min, anschließend Ablass in Destillation und 3 min Endschleudern bei 35,9 g

##### Programmschritt 3: Rollieren/Auflockern

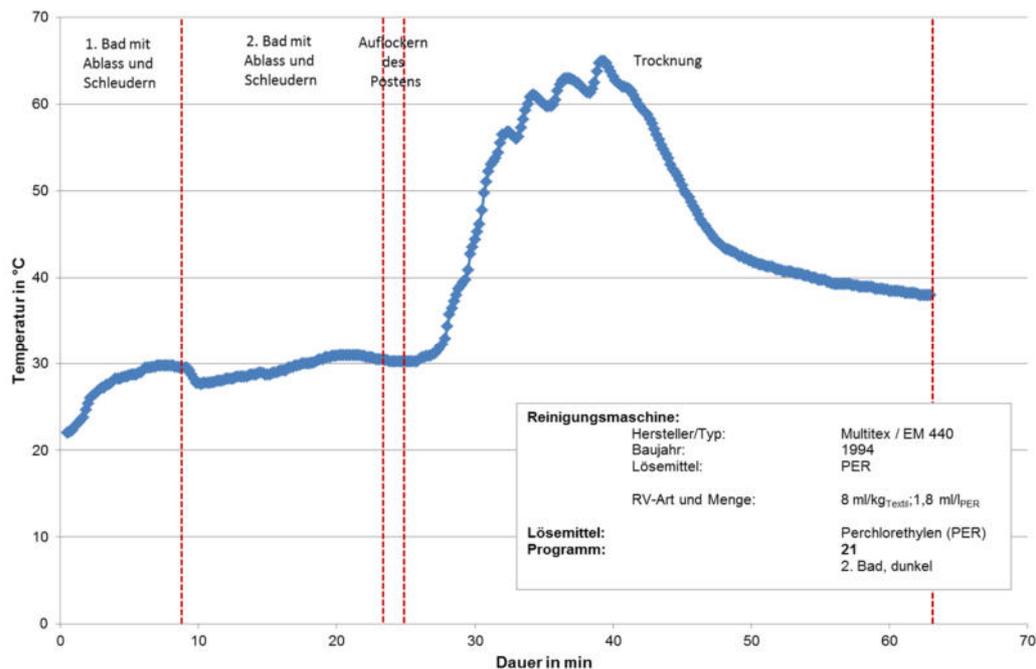
g-Faktor/Reversierung: 0,21 g; 10/4  
Dauer: 1 min

##### Programmschritt 4: Trocknung

g-Faktor/Reversierung: 0,21 g; 10/4  
Dauer: 38,5 min

Die gesamte Laufzeit des Reinigungsprogramms inklusive der Trocknung betrug mit den zum Zeitpunkt der Untersuchungen in der Maschine behandelten Textilien insgesamt etwa 60 Minuten.

**Abbildung 59** zeigt den Temperaturverlauf während der Reinigung und anschließender Trocknung für dunkle Ware.



**Abbildung 59: Temperaturverlauf Reinigungsmaschine, dunkle Ware**

Das Reinigungsprogramm für **helle Ware** wies folgenden Ablauf auf:

**Programmschritt 1: 1. Bad**

Füllverhältnis: 29,3 l/kg  
 g-Faktor/Reversierung: 0,21 g; 10/4  
 Lösemittel: aus Arbeitstank (hell)  
 Flottenverhältnis: 4 l/kg  
 RV-Dosierung: 300 ml  
 Dauer: 6 min, anschließend 1 min Ablass und 3 min Schleudern bei 35,9 g in Destillation

**Programmschritt 2: 2. Bad**

Füllverhältnis: 29,3 l/kg  
 g-Faktor/Reversierung: 0,21 g; 10/4  
 Lösemittel: Aus Reintank  
 Flottenverhältnis: 4 l/kg  
 RV-Dosierung: keine  
 Dauer: 4 min, anschließend  
 1 min Ablass und 3 min Endsleudern bei 35,9 g in Arbeitstank (hell)

**Programmschritt 3: Rollieren/Auflockern**

g-Faktor/Reversierung: 0,21 g; 10/4

Dauer: 1 min

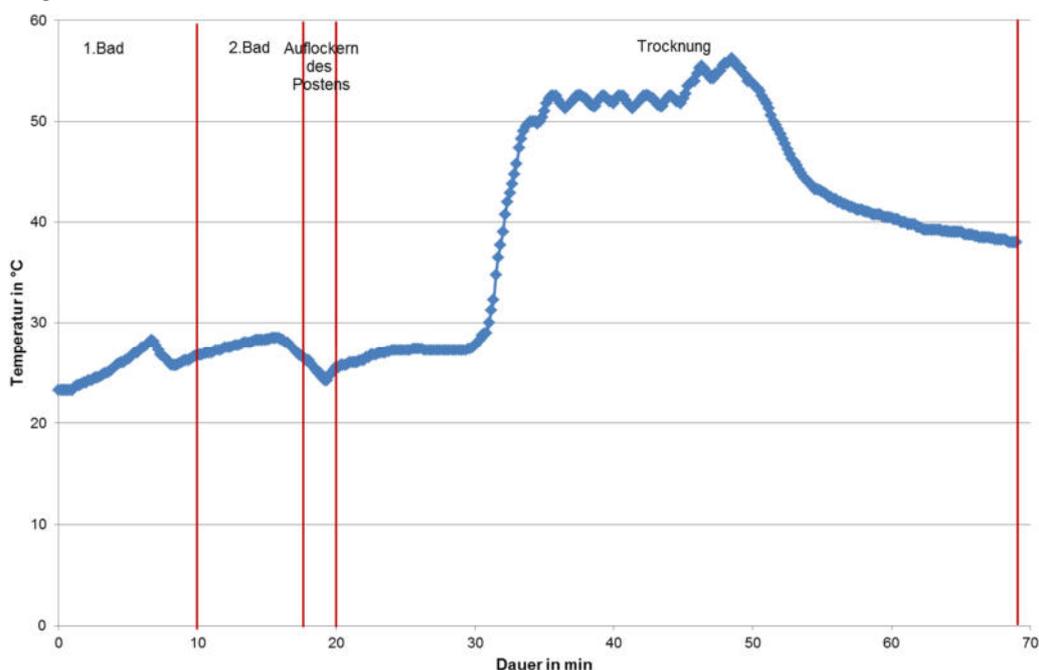
**Programmschritt 4: Trocknung**

g-Faktor/Reversierung: 0,21 g; 10/4

Dauer: 49 min

Die gesamte Laufzeit des Reinigungsprogramms inklusive der Trocknung betrug mit den zum Zeitpunkt der Untersuchungen in der Maschine behandelten Textilien insgesamt 46 Minuten.

**Abbildung 60** zeigt den Temperaturverlauf während der Reinigung und anschließender Trocknung für helle Ware.



**Abbildung 60: Temperaturverlauf Reinigungsmaschine, helle Ware**

Im Rahmen des Projektes wurde außerdem exemplarisch eine wetcleanfähige Waschsleudermaschine (Electrolux W365H) untersucht. Da zum Zeitpunkt der Untersuchungen keine Bekleidung für die Nassreinigung vorhanden war, wurde das am häufigsten eingesetzte Waschprogramm (40 °C, hell) untersucht. Die Maschine (65 l Trommelvolumen) wurde mit Direktampf beheizt (ca. 4 bar<sub>abs</sub>) und hat je nach Bedarf drei unterschiedliche Wasserarten verwendet: Weichwasser kalt (14,3 °C), Weichwasser warm (32,1 °C) und Hartwasser kalt (12,6 °C). Das untersuchte Waschprogramm 400 wies folgenden Ablauf auf:

*Programmschritt 1: Vorwäsche*

Füllverhältnis:	16,25 l/kg
g-Faktor:	0,62 g
Wasserart:	Weichwasser, kalt
Flottentemperatur:	kalt
Flottenverhältnis:	5,75 l/kg
Waschmitteldosierung:	42,5 ml (10,6 ml/kg <sub>Textil</sub> ) schwach alkalisches Alleinwaschmittel und 42,5 ml (10,6 ml/kg <sub>Textil</sub> ) Fettlöser
Dauer:	15 min, dann Ablass in Kanal (40 s)

*Programmschritt 2: Klarwäsche*

Wasserart:	Weichwasser, warm
Flottentemperatur:	40 °C
Flottenverhältnis:	5 l/kg
Waschmitteldosierung:	12,75 ml (3,2 ml/kg <sub>Textil</sub> ) Fettlöser, 12,75 ml (3,2 ml/kg <sub>Textil</sub> ) schwach alkalisches Alleinwaschmittel, 20 ml (5 ml/kg <sub>Textil</sub> ) Basiswaschmittel, 82,5 ml (20,6 ml/kg <sub>Textil</sub> ) Bleichmittel auf Peressigsäurebasis
Dauer:	8 min, dann Ablass in Kanal und Schleudern (1 min, 120 g)

*Programmschritt 3: 1. Spülen*

Wasserart:	Hartwasser, kalt
Flottentemperatur:	kalt
Flottenverhältnis:	3 l/kg
Dauer:	2 min, dann Ablass in Kanal (40 s)

*Programmschritt 4: 2. Spülen*

Wasserart:	Hartwasser, kalt
Flottentemperatur:	kalt
Flottenverhältnis:	3 l/kg
Dauer:	2 min, dann Ablass in Kanal und Schleudern (1 min, 120 g)

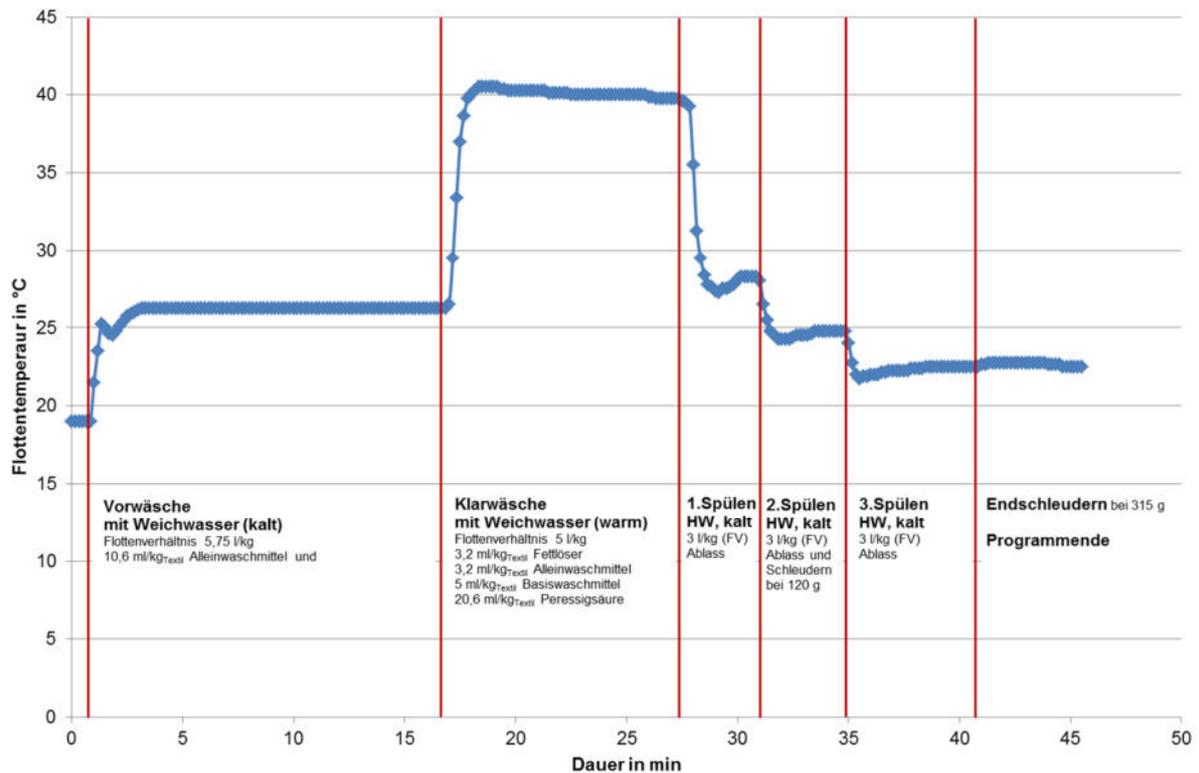
*Programmschritt 5: 3. Spülen*

Wasserart:	Hartwasser, kalt
Flottentemperatur:	kalt
Flottenverhältnis:	3 l/kg
Dauer:	4 min, dann Ablass in Kanal (40 s)

*Programmschritt 6: Endschleudern*

Dauer:	315 g über 5 min
--------	------------------

**Abbildung 61** zeigt den Flottentemperaturverlauf während des Waschprozesses für helle Oberhemden und Blusen.



**Abbildung 61:** Flottentemperaturverlauf in Wetcleanmaschine beim Waschen von Oberhemden, Waschprogramm 400 (40 °C hell)

Die folgende Überprüfung der Textileffekte wurde entsprechend **Kapitel 3.2.3.3** durchgeführt.

#### 4.4.3.3 Schmutzentfernung

**Abbildung 62** bis **Abbildung 65** zeigen die während des Untersuchungszeitpunktes erzielte Schmutzentfernung in der Reinigungsmaschine für dunkle und helle Ware. Für die Untersuchungen wurden zum Vergleich neben den speziell für die Chemischreinigung entwickelten Monitoren (PCMS 17-c) auch die für Waschprozesse üblicherweise eingesetzten Monitore (PCMS 55) angewandt.

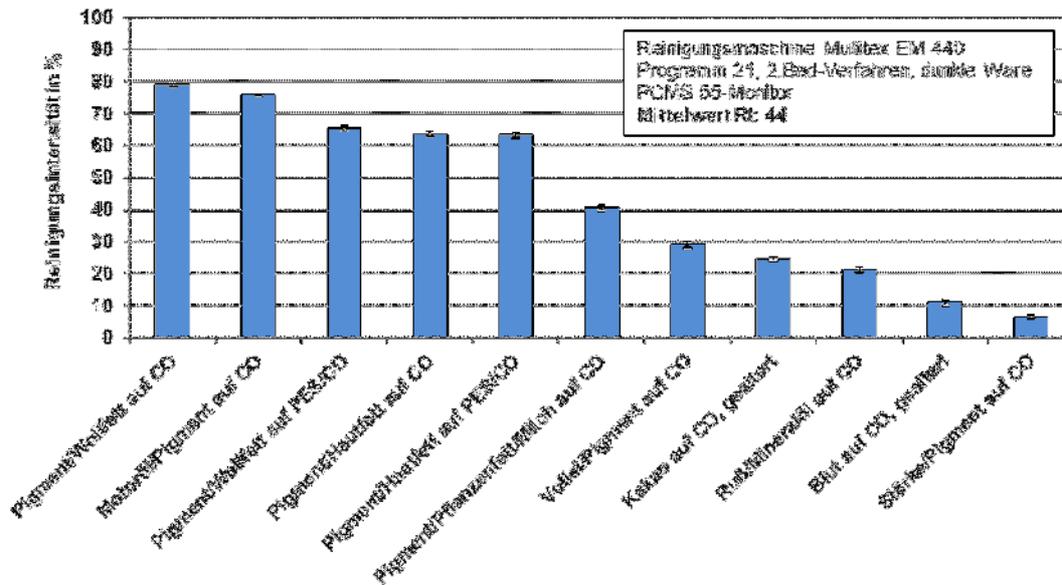


Abbildung 62: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine mit PER- Lösemittel für dunkle Bekleidung mit PCMS 55 Monitor

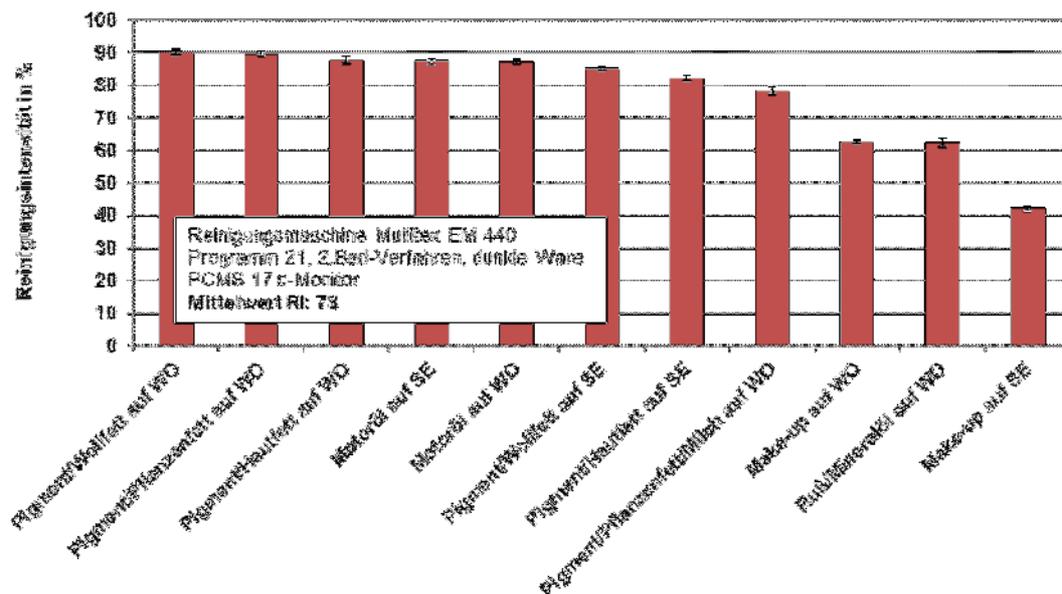


Abbildung 63: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine mit PER- Lösemittel für dunkle Bekleidung mit PCMS17-c Monitor

Die Schmutzentfernung wurde durch Angabe der Reinigungsintensität (RI-Werte) quantifiziert. **Abbildung 62** zeigt die Fleckentfernung auf den für Waschverfahren entwickelten Schmutztestgeweben. Dabei wurden nur Flecken dargestellt, an denen ein Effekt gemessen wurde. Die durchschnittliche Reinigungsintensität aller Monitore beträgt 44 %.

**Abbildung 63** zeigt die Schmutzentfernung des PCMS17-c Monitors. Bei diesen speziell zur Bewertung von Reinigungsverfahren hergestellten Monitoren wurde eine durchschnittliche Reinigungsintensität von 78 % erzielt.

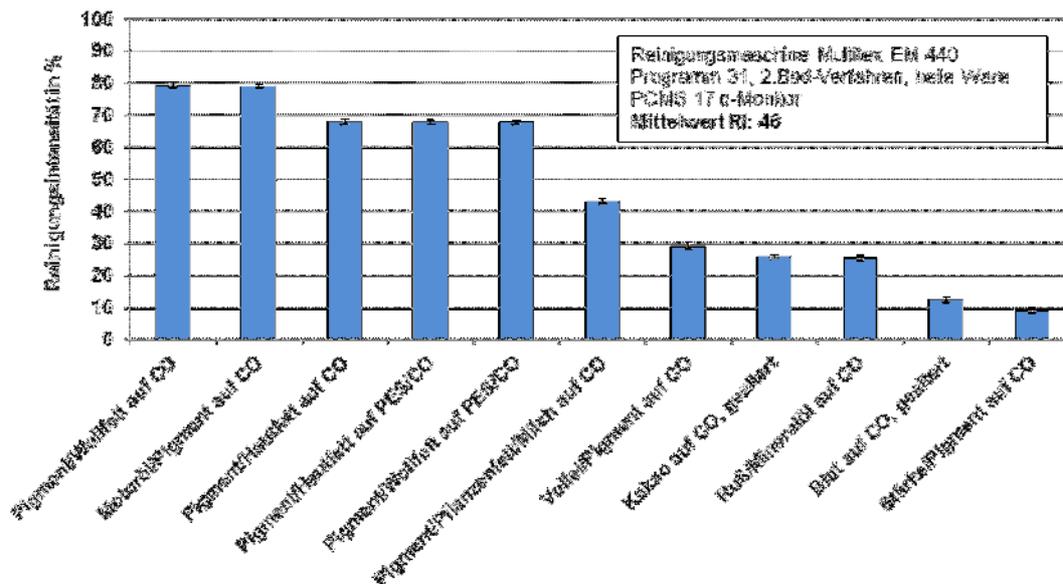


Abbildung 64 und Abbildung 65 zeigen die erzielten Ergebnisse für helle Bekleidung.

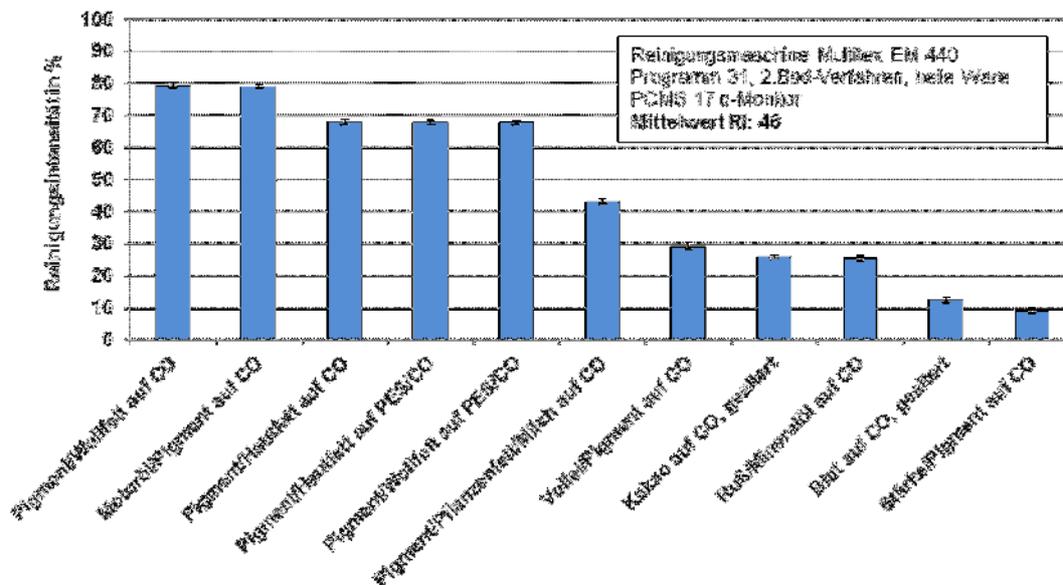


Abbildung 64: Schmutzentfernung (RI-Werte ± Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine mit PER- Lösemittel für helle Bekleidung mit PCMS55 Monitor

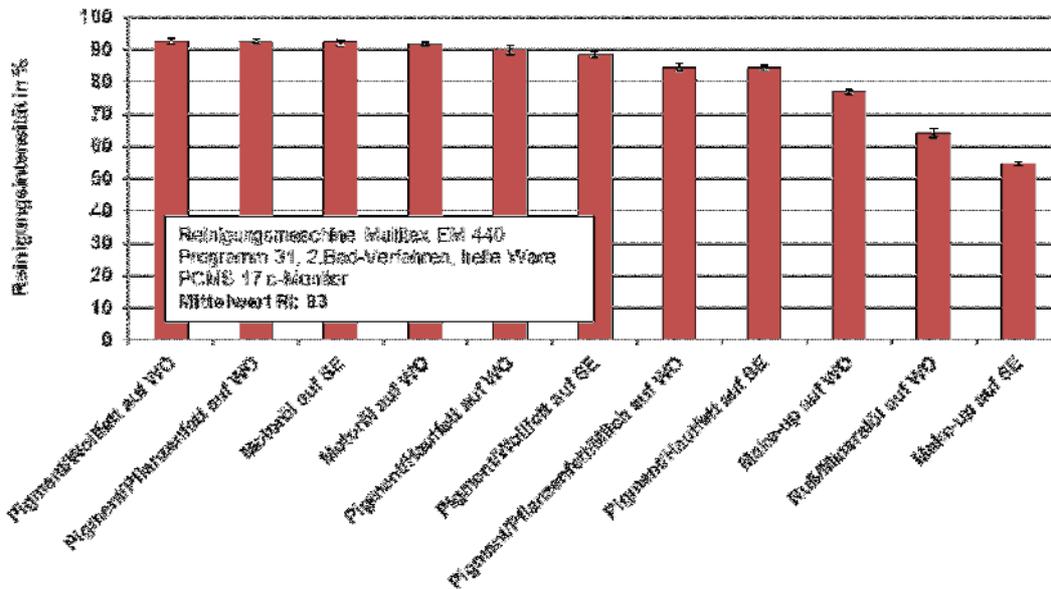


Abbildung 65: Schmutzentfernung (RI-Werte ± Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine mit PER- Lösemittel für helle Bekleidung mit PCMS17-c Monitor

Erwartungsgemäß ist die erzielte Reinigungsintensität der unterschiedlichen Schmutzarten bei heller Ware etwas höher als bei dunkler Ware mit durch abgelöste Farbstoffe aus den Textilien entsprechend stärker belasteten Lösemitteln.

Im Waschprogramm für Oberhemden wurden zum Zeitpunkt der Untersuchungen die in **Abbildung 66** und **Abbildung 67** dargestellten Ergebnisse erzielt.

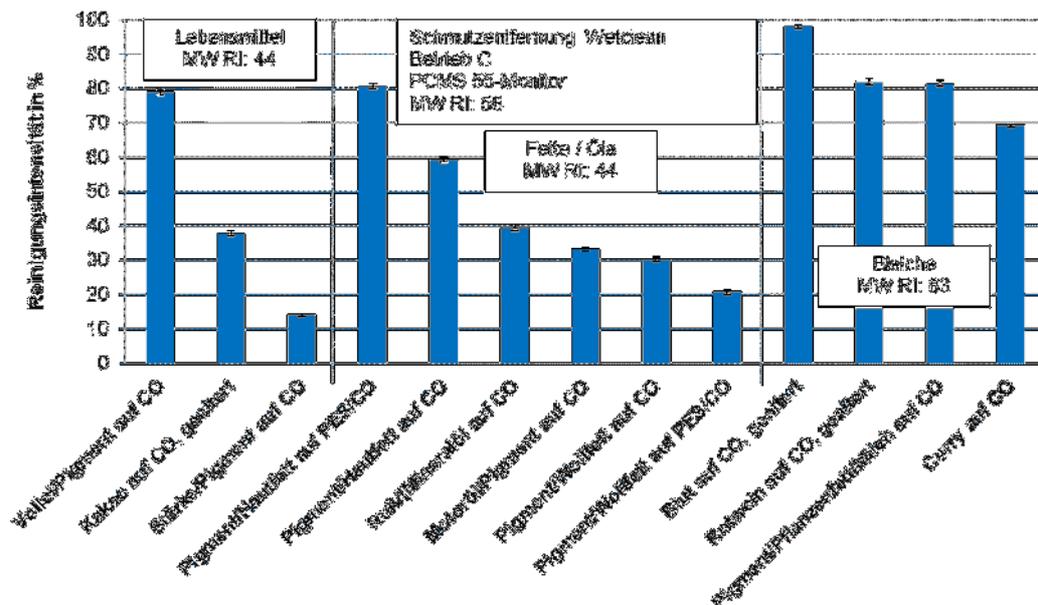


Abbildung 66: Schmutzentfernung (RI-Werte ± Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten im Waschverfahren für Oberhemden mit PCMS55 Monitor

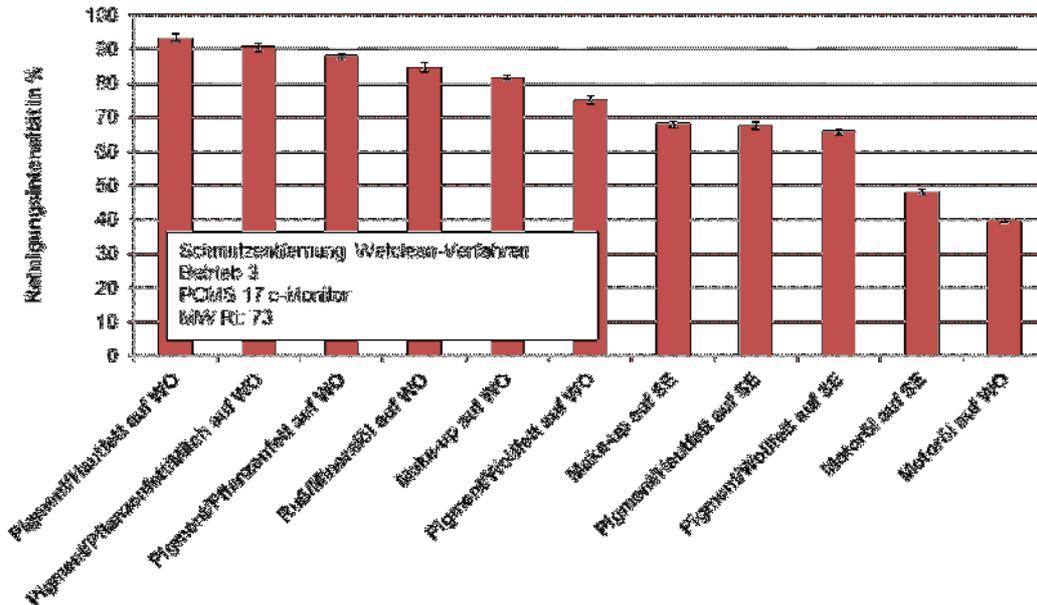


Abbildung 67: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten im Waschverfahren für Oberhemden mit PCMS17-c Monitor

Danach werden insgesamt bewertet im Waschverfahren erwartungsgemäß höhere Werte der Schmutzentfernung im Vergleich zur Reinigung im Lösemittel erzielt. Dies gilt insbesondere für die hydrophilen Schmutzarten.

#### 4.4.3.4 Vergrauung

An den in **Kapitel 3.2.3.3** beschriebenen sauberen Prüfgeweben wurden in den Reinigungsprogrammen mit heller und dunkler Ware die *Vergrauungswerte* nach 1 und 5 Mehrfachbehandlungen bestimmt.

**Abbildung 68** zeigt die Ergebnisse an Baumwolle und Mischgewebe (PES/CO 65/35) in Abhängigkeit der durchgeführten Reinigungszyklen.

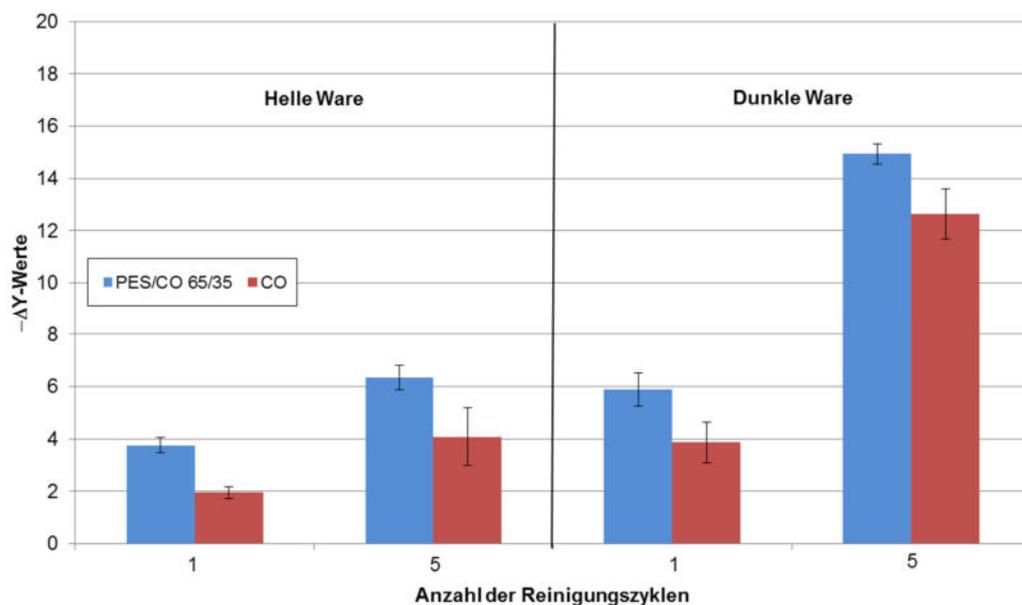


Abbildung 68: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Reinigungsmaschine, helle Ware, Reinigungsbetrieb C

Danach liegen die Vergrauungswerte der Reinigungsmaschine im Programm für helle Ware zwischen 2 und 6 ( $\Delta Y$ -Wert), im Reinigungsprogramm für dunkle Ware erwartungsgemäß etwas höher und zwar zwischen 4 und 15 ( $\Delta Y$ -Wert).

#### **4.4.3.5 Glätteergebnis**

Zur Bewertung des Glätteergebnisses wurden durch ein Expertenpanel vier unterschiedliche Warenarten (Hosen, Sakkos, Mäntel, Seidenblusen) begutachtet. Dabei wurde von der fertiggestellten Ware das Knitterbild in Anlehnung an DIN EN ISO 15487 unter Zuhilfenahme des Monsanto- Standards bewertet.

Aufgrund der gleichmäßigen Druckverteilung über große Flächen beim maschinellen Pressvorgang wurden Hosenfalten hervorragend entfernt (Note 5).

Sakkos und andere Oberbekleidung wurden mittels Garderobenfinisher vorgeglättet und anschließend an Revers, Taschen, Innenfutter, Knopfleisten und Kragen manuell nachgebügelt. Auch hier wurden sehr gute Ergebnisse erzielt (Note 5).

Wollmäntel werden auf einem Bügeltisch abgedämpft und in Form gezogen, was zu sehr guter Glättung führte. Das aufwändige manuelle Finishen durch Bügeln der Seidenblusen ergab ebenfalls sehr gute Ergebnisse, was in der ausschließlich manuellen Behandlung und der Erfahrung der Mitarbeiter begründet ist.

### **4.4.4 Optimierungsvorschläge Reinigungsbetrieb C**

Eine energetische Optimierung und somit Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Betriebes C ohne Verschlechterung der Reinigungs- und Waschperformance sind durch die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Maßnahmen zu erzielen.

#### **4.4.4.1 Textilreinigungsmaschine**

Die Textilreinigungsmaschine von 1994 entspricht in vielen mess- und regeltechnischen Aspekten nicht dem Stand der Technik.

Insgesamt konnte bis auf die mangelhafte Wärmedämmung warmer und heißer Bauteile kein besonders auffälliger und behebbarer Mangel entdeckt werden (siehe auch **Abbildung 69**).

Aufgrund des Alters der Maschine und den Möglichkeiten heutiger regeltechnischer Anlagen in Reinigungsmaschinen empfiehlt sich auf längere Sicht ein Austausch der Maschine.

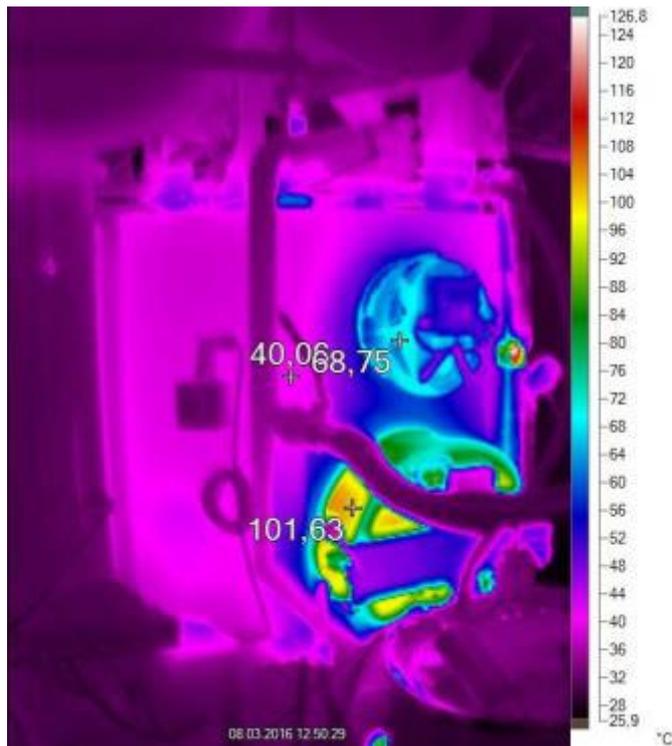


Abbildung 69: Thermografie Destillation TRM Betrieb C

#### 4.4.4.2 Wärmeerzeugung und Verteilung

Das Thema Dämmung ist auch bei der Wärmeerzeugung und Verteilung relevant. Der Dampfkessel, als auch ungedämmte Armaturen, Speisewasserbehälter und Verteiler strahlen große Mengen Wärme in den Aufstellraum ab.

Exemplarisch zeigt **Abbildung 70** die im Mittel ca. 75 °C warme vordere Wendeplatte des Dampfkessels. Mit geringem finanziellen Aufwand könnte der Wärmeverlust reduziert werden (siehe auch Abschlussbericht Wäschereiprojekt DBU AZ 28612/02).

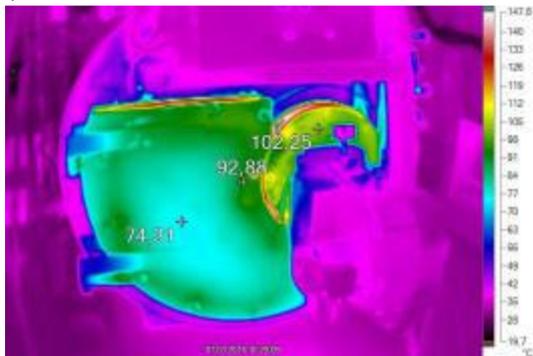


Abbildung 70: Thermografie Frontplatte Dampfkessel Betrieb C

Da der Dampfkessel für einen in der Vergangenheit benötigten Dampfbedarf ausgelegt ist, passen Brenner und derzeitiger Dampfbedarf nur bedingt zueinander.

Der gerade an 75 bzw. 113 Stunden pro Jahr mit Stufe 2 betriebene Brenner sollte an den Leistungsbedarf angepasst oder durch einen Brenner mit kleinerer Leistung ersetzt werden. Für Stufe 1 ist bereits die Grenze bei der Bedüsung erreicht und kann allenfalls durch Änderungen beim Öldruck geringfügig optimiert werden.

Durch eine geringere Brennerleistung würde die Zahl der Start-Stop-Zyklen und die mittlere Abgastemperatur sinken. Die Abgastemperatur wirkt sich direkt auf den Wirkungsgrad des Dampfkessels aus.

Gemäß Protokoll liegt diese vor dem Economiser bei 210 °C in Stufe 1 bzw. 248 °C in Stufe 2. Durch die Einbindung eines Pufferspeichers mit dauerhafter Wärmeabnahme aus dem Economiser wird die Abgastemperatur auf 109/118 °C abgesenkt. Die Wärme aus dem Pufferspeicher wird dann vorrangig für die Gebäudeheizung verwendet.

Diese Lösung sollte dennoch überdacht werden, um die Energie im Prozess zu halten.

#### 4.4.4.3 (Kühl)wassermanagement

Wie in **Kapitel 4.4.2.1.2** ausgeführt, verfügt der Betrieb bereits über eine umfangreiche Kühlwassernutzung.

Allerdings ist der Betrieb der Anlagen weitgehend manuell gelöst und die Anlage relativ komplex aufgebaut.

Aus diesem Grund wurden 4 Umbauvarianten entwickelt, von denen zwei dem Betreiber vorgestellt wurden.

Variante V1 ist eine einfache Lösung, um die Abnahme von Kühlwasser und die Nutzung der Abwärme aus dem Dampfkesselabgas zu erhöhen. Im Detail umfasst Variante V1 folgende Maßnahmen (siehe **Abbildung 71**):

- Direkte Kühlwasserleitung von der Textilreinigungsmaschine zum Warmwasserbereiter
- Aufheizen des Warmwasserbereiters über den Pufferspeicher des Economisers statt Kondensatbeheizung mit vorgeschaltetem Wärmetauscher zum Schutz der Speisepumpe
- Höherlegung des Speisewasserbehälters zum Schutz der Speisewasserpumpe (Einhaltung NPSH<sub>erford.</sub>) und Wegfall des vorgeschalteten Wärmetauschers
- Direkter Anschluss der Kondensatleitung an den Speisewasserbehälter
- Einbau eines Sekundärwassertanks und Aufteilung der WCM/WSM in Nutzungsgruppen (Sekundärwasserlieferanten und Sekundärwassernutzer)  
Nutzung des Abwassers aus gering verschmutzten Posten (typischerweise Wetcleanprozesse, Hemden/Oberbekleidung) zur Vorwäsche für stark verschmutzte Ware (z.B. Matten, Wischbezüge, Pferddecke)
- Ergänzung der Pumpe durch Pumpautomaten/Druckschalter oder Austausch der Pumpe durch mehrstufige Versorgungsanlage

In Variante 4 (siehe **Abbildung 72**) wurden tieferegehende Ansätze zur Optimierung des Energie und zusätzlich auch des Wasserverbrauchs und zur Verbesserung der Trinkwassersicherheit skizziert:

- Umbau Warmwasserbereiter und Economiser sowie Sekundärwassertank wie Variante 1

Zusätzlich:

- Umbau des Kühlsystems:
  - Kühlwasserspeicher (unter Druckspeicher statt druckloser Tank)
  - Wärmetauscher im Kühlwasserspeicher zur bedarfsorientierten Kühlung des Speichers bei Nichtabnahme der Wärme mit eigenem, Glykol gefülltem Rückkühlkreis
  - Nachspeisung aus einem vorgelagerten Tank zur Nachspeisung
  - Umwälzpumpe mit ca. 100 – 200 W statt 1,1 kW

- Parallele Anbindung an die Textilreinigungsmaschine mit Motorventilen und Temperatursensoren zur optimierten Wärmeabfuhr an der Kältemaschine und an der Destillation
- Membranausdehnungsgefäß
- Ersatz der Wärmetauscher I + II durch eine Wärmepumpe zur Wärmetransformation auf Nutzniveau des Warmwasserbereiter
- Wegfall des bisherigen Waschtank bzw. Weiternutzung als Sekundärwassertank
- Wegfall Frostschutzschaltung für Pool

### **Vor- und Nachteile der Varianten**

Aktuelle Variante:

- + Einfacher Aufbau, sicherer Betrieb
- Erhöhter Energiebedarf für Pumpenstrom
- Nutzung Energiegewinn Economiser abgekoppelt von Wärmebedarf Reinigung
- Senkung Kühlwirkung von Nachspeisewasser durch Vorwärmung

Variante 1:

- + Relativ geringe Investition (Schätzung: ca. 4.200 €, mit SPS, ohne Programmierung und Gestell Speisewasser)
- + Einfacher Aufbau, Teilautomatisierung durch Druckregelung
- + Einsparung Wasseranschluss WSM → Nutzung für Sekundärwasser (Spülwasser helle Ware als Vorwaschwasser von Matten), Wassereinsparung
- Erhöhter Energiebedarf für Pumpenstrom bleibt

Variante 4:

- + Sicheres Notkühlsystem ohne Frostschutzschaltung, Pool-Frostschutz kann entfallen, wenn Pool im Winter außer Betrieb
- + Nachspeisung von Kaltwasser vom Vorlagebehälter in den Kühlwasser-Vorlauf (direkte Nutzung des Kaltwassers)
- + Drucksystem spart Pumpenstrom
- + Einsparung Wasseranschluss WSM → Sekundärnutzung → Wassereinsparung
- + Nutzung Economiser für Warmwasserbedarf in der Reinigung (Kopplung Wärmebedarf und Abwärme)
- Komplexerer Aufbau, mehr Ventile und ggfs. zentrale Steuerung
- Höhere Investitionskosten (Schätzung: ca. 10.400 €, mit SPS, ohne Wärmepumpe, Programmierung und Gestell Speisewasser)

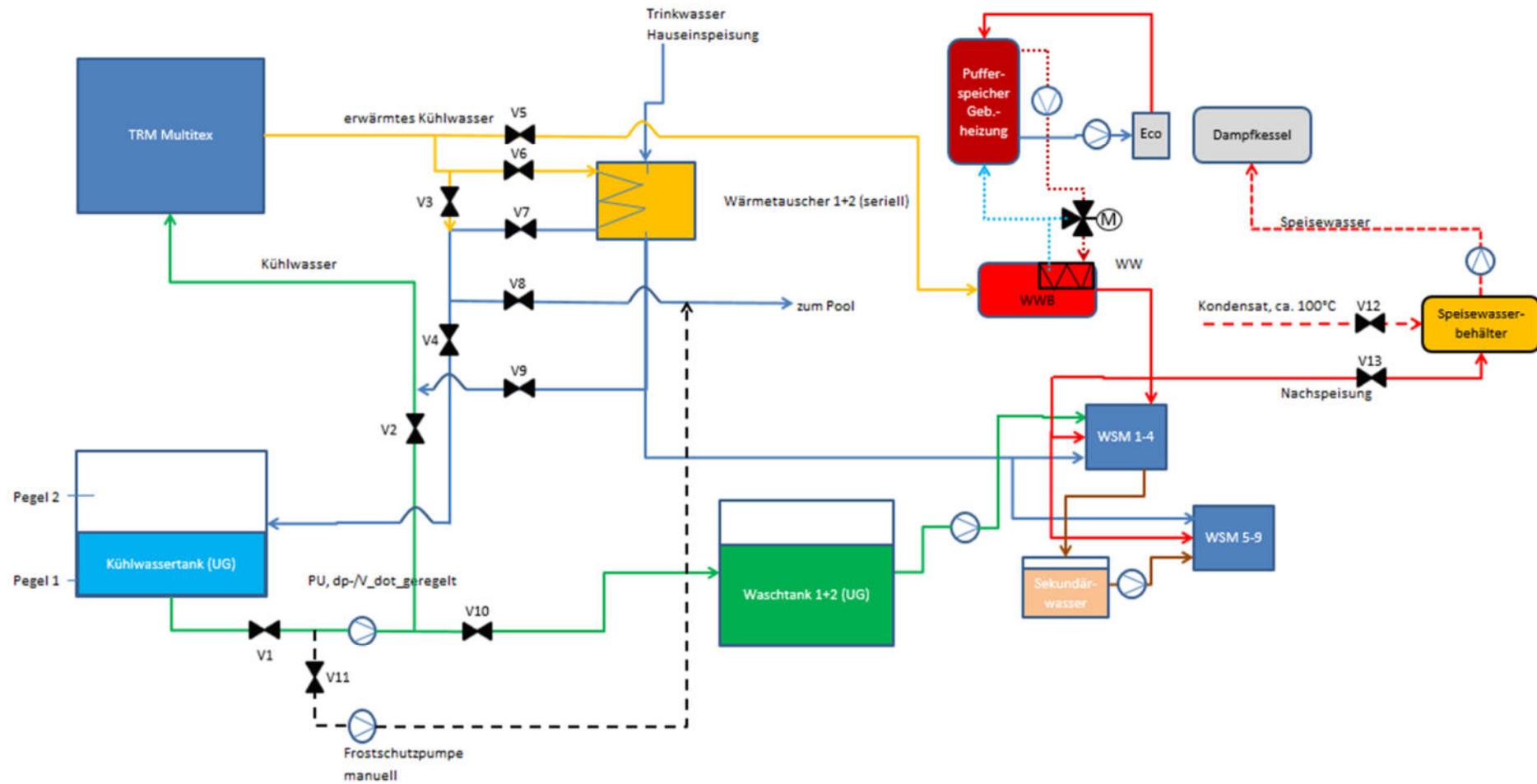


Abbildung 71: Optimierter Zustand Kühlwasseranlage Variante 1, Betrieb C

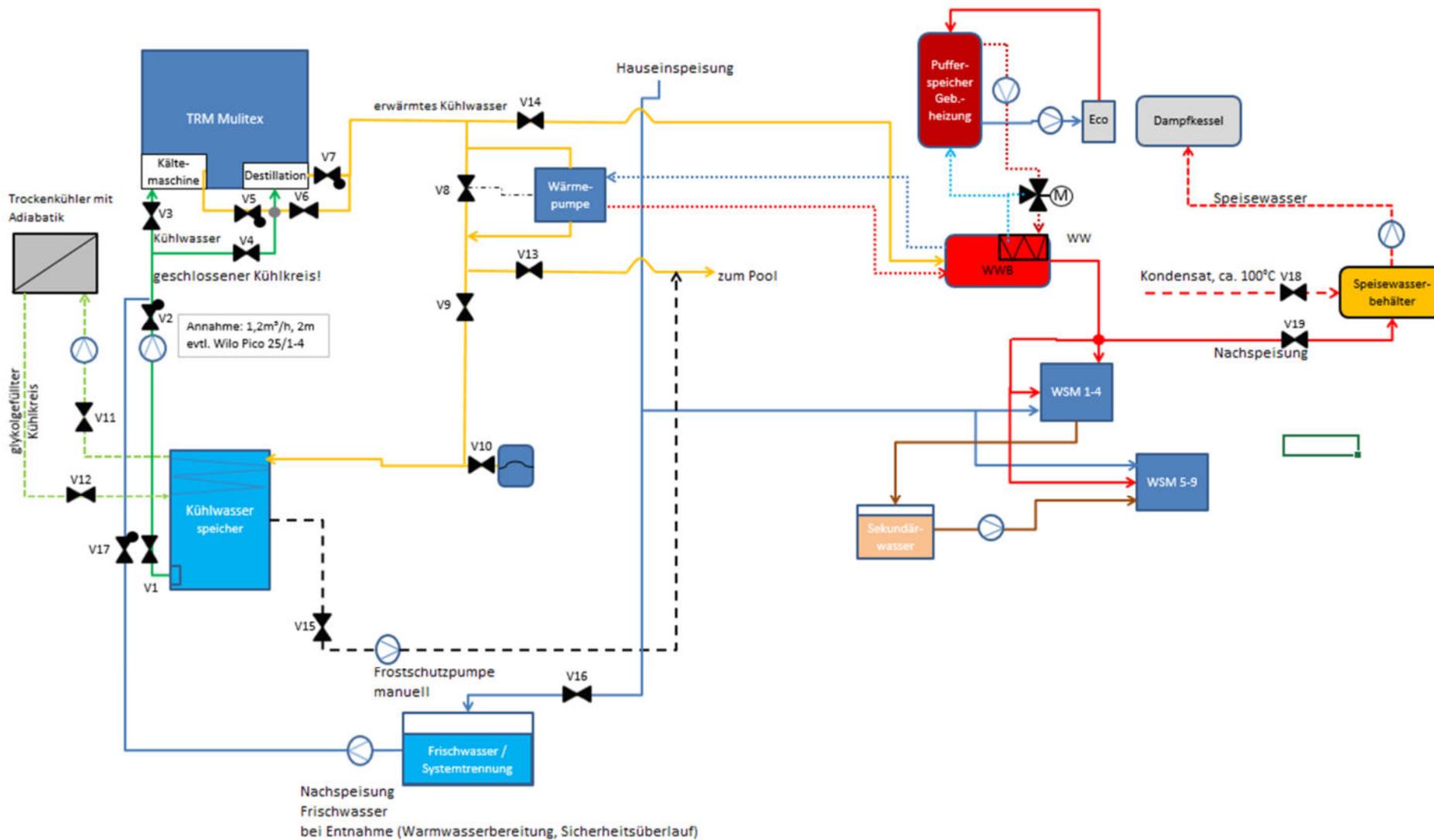


Abbildung 72: Optimierter Variante 4 Kühlwasseranlage, Betrieb C

Das Wetcleanverfahren benötigt erhebliche Mengen an Wasser. Bislang ist dies unkritisch, weil große Mengen Kühlwasser zur Verfügung stehen bzw. ein großer Kühlwasserdurchsatz die Temperaturen im Kühlsystem senkt und dadurch die Effizienz der Kältemaschine der TRM verbessert.

Bei Optimierung des Systems nach Variante 4 würden deutlich geringere Wassermengen benötigt werden, weil ein Teil des Kühlwassers durch Sekundärwasser ersetzt wird.

Die zur Verfügung stehende Spülwassermenge liegt bei ca. 10 l/Posten bzw. bei einem mittleren Postengewicht von ca. 4 kg können 2,5 l/kg eingespart werden.

Eine Hochrechnung auf Jahressicht ist wegen der unbekanntenen Aufteilung der Wäschearten und ihrer Verteilung über das Jahr nicht möglich.

#### 4.5 Betrieb D - Größerer Textilreinigungsbetrieb mit mehreren Wetcleanmaschinen, mehr als 3 Reinigungsmaschinen und Bearbeitung von Industrietextilien wie Schutzkleidung, Blaumänner und Finishbereich

##### 4.5.1 Allgemeine Daten

Der untersuchte Reinigungsbetrieb verfügt über mehrere Nassreinigungsmaschinen, von denen exemplarisch eine untersucht wurde. Des Weiteren verfügt dieser Betrieb über einen angegliederten Waschbereich mit mehreren gewerblichen Waschscheudermaschinen (25 kg, 2 x 70 kg Beladepazität), in denen Arbeitskleidung gewaschen wird.

Zur Reinigung von Ware mit Lösemitteln verfügt der Betrieb über 6 Reinigungsmaschinen von 16 kg bis 100 kg (16 kg, 30 kg, 50 kg, 2 x 70 kg, 1 x 100 kg) Nennbeladungsmenge.

Bezogen auf die gesamte aufbereitete Wäschemenge (Reinigen in Lösemittel, Nassreinigen und Waschen) von etwa 435 t pro Jahr beträgt der Anteil der in allen Reinigungsmaschinen behandelten Teile etwa 206 t pro Jahr (etwa 47,4 %).

**Tabelle 16** zeigt die im Betrieb vorhandenen Maschinen- und Anlagen.

**Tabelle 16: Versorgungsanlagen Reinigungsbetrieb D**

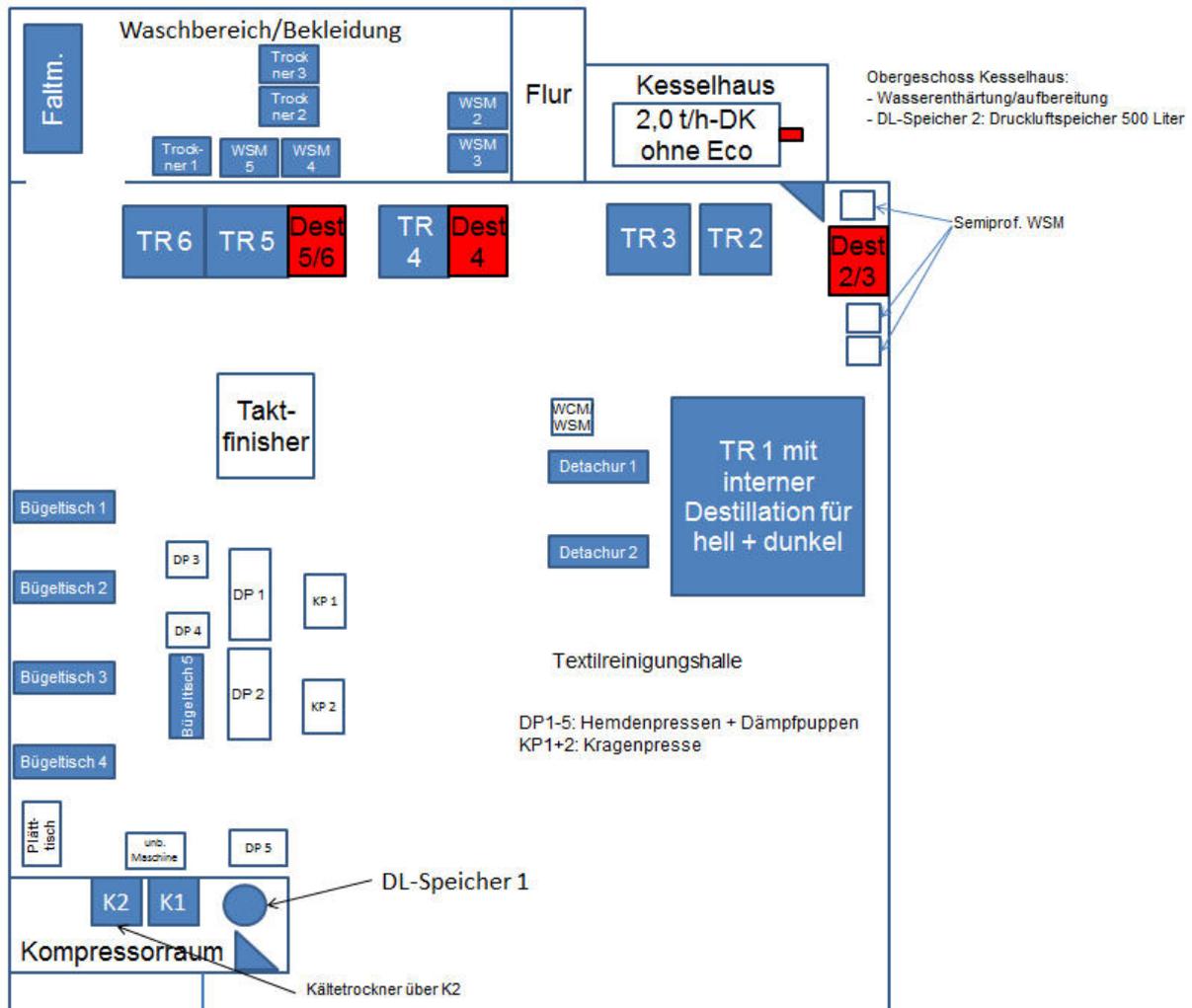
Anlagenart	Hersteller	Typ	Leistung in KW	Energieversorgung	Anmerkungen
Dampfkessel	Loos - Offenbach	28002	2,0 t/h Dampf		
Brenner des Dampfkessels	Weishaupt	GL8/1D ZD	400-2250	Öl und Gas	
Kompressor 1	Compair	L07	7,5	Elektr. Energie	7-7,5 bar
Kompressor 2	Compair	Start-0100	7,5	Elektr. Energie	Ausfallsicherung
Drucklufttrockner	Compair	F24 HS	0,76	Elektr. Energie	
2 Wasserrückkühler (Kühlturmanlage)	Geiger Apparatbau	WH100R	31 kW el		Riemengetriebene Ventilatoren am Kühlturm
2 Kühlwasserpumpen	Grundfos	CR 60-40	Je 4 kW el		2 Pumpen im Wechselbetrieb

Tabelle 17: Liste Maschinen Reinigungsbetrieb D

Maschinen	Hersteller	Typ	Leistung in KW	Energie-versorgung	Anmerkungen
Reinigungsmaschine 1	Böwe	Induline	Je 26,7 kW el	Elektr. Energie + Dampf	Trommelvolumen 2100 l
Reinigungsmaschine 2 + 3	Böwe Passat	SI70		Elektr. Energie + Dampf	Gemeinsame Destillation, Maschinen haben unterschiedliche Kälteanlagen; 1230 l Trommelvolumen
Reinigungsmaschine 4	Böwe	P30	12 kW el	Elektr. Energie + Dampf	600 l Trommelvolumen
Reinigungsmaschine 5	Böwe	P5100	20,9 kW el	Elektr. Energie + Dampf	1000 l Trommelvolumen
Reinigungsmaschine 6	Böwe	P532	7kW el	Elektr. Energie + Dampf	320 l Trommelvolumen
Wetclean-Waschmaschine	Miele Professional	WS5101 D IND	Je 11 kW	Dampf/ Elektr. Energie	100 l Trommelvolumen
Batchfinisher	Kannegiesser	KFW	1 kW el.	Elektr. Energie	190 Teile/h Dampfleistung nicht berücksichtigt

Der Betrieb hat eine Fläche von insgesamt ca. 1.500 m<sup>2</sup>, wobei ca. 50 m<sup>2</sup> den Kundenbereich (Theke und Eingang) bilden. Der Bereich Reinigung und Nassreinigung inklusive Finishbereich befindet sich in der Halle hinter der Annahme auf einer Fläche von etwa 1.450 m<sup>2</sup>. Durch einen separaten Zugang erfolgt die Anlieferung von Ware gewerblicher Kunden.

Die Versorgungsmaschinen und der zentrale Dampfkessel befinden sich im angrenzenden Kesselhaus. Der Kompressor und die Wasserenthärtungsanlage stehen in einem Nebenraum am Ende der Halle. **Abbildung 73** zeigt schematisch den Aufbau des Betriebes und die Standorte der Maschinen.



Verkürzte Darstellung, Halle abgeschnitten - Logistik / Folienschweißgerät und Förderband abgeschnitten

**Abbildung 73: Gebäudeplan Reinigungsbetrieb D (nicht maßstabgetreu)**

## 4.5.2 IST-Analyse Reinigungsbetrieb D

### 4.5.2.1 Erfassen der Energie- und Massenströme

#### 4.5.2.1.1 Wäscheströme

Aufgrund der Betriebsgröße war eine vollständige Maschinenerfassung nicht möglich. Auf Basis der Betriebsdaten werden 435 t/a aufbereitet. Ca. 206 t/a (47 %) werden in Textilreinigungsmaschinen bearbeitet.

#### 4.5.2.1.2 Wassereinsatz

Wie dargestellt verfügt der Betrieb über ein einfaches, offenes Kühlsystem, bestehend aus:

- Druckloser Kühlwassertank, ca. 1.000 Liter
- 2x unregelte Pumpe (je 11 kW Nennleistung) mit Wechselschaltung
- Interner Kühlwasserregler in den Textilreinigungsmaschinen
- Offener Nasskühlturm mit 2 Ventilatoren (je 3 kW Antrieb)
- 2. Tank für die Nutzung des erwärmten Kühlwassers in Wetclean-/Waschprozessen

Eine Kühlwasserpumpe pumpt das Wasser durch die Textilreinigungsmaschinen zum Kühlturm, wo das Wasser nach Verrieselung im Kühlturm über ein KG-Rohr frei in den Kühlwassertank zurückläuft. Unabhängig davon wird ein Teil des Wassers in einen 2. Tank mit Pegelmessung abgezweigt, um erwärmtes Kühlwasser für Waschprozesse einzusetzen.

Wie in **Abbildung 74** zu sehen ist, variiert die am Kühlturmein- und austritt gemessene Wassertemperatur bei weitgehend konstantem Volumenstrom.

Folgende Werte wurden ermittelt:

- Mittelwert der abgeführten thermischen Leistung: ca. 69 kW
- Mittelwert  $T_{\text{ein}}$ : 17,7 °C
- Mittelwert  $T_{\text{aus}}$ : 15,9 °C
- Mittelwert Volumenstrom: 33 m<sup>3</sup>/h

Die niedrigen Temperaturen des Kühlwassers sind einerseits der Jahreszeit (November 2016) als auch dem enormen Volumenstrom geschuldet. Die Effizienz der Textilreinigungsprozesse ist dies zuträglich, wird jedoch teuer über hohen Energieaufwand für Pumpe und Kühlturm erkaufte.

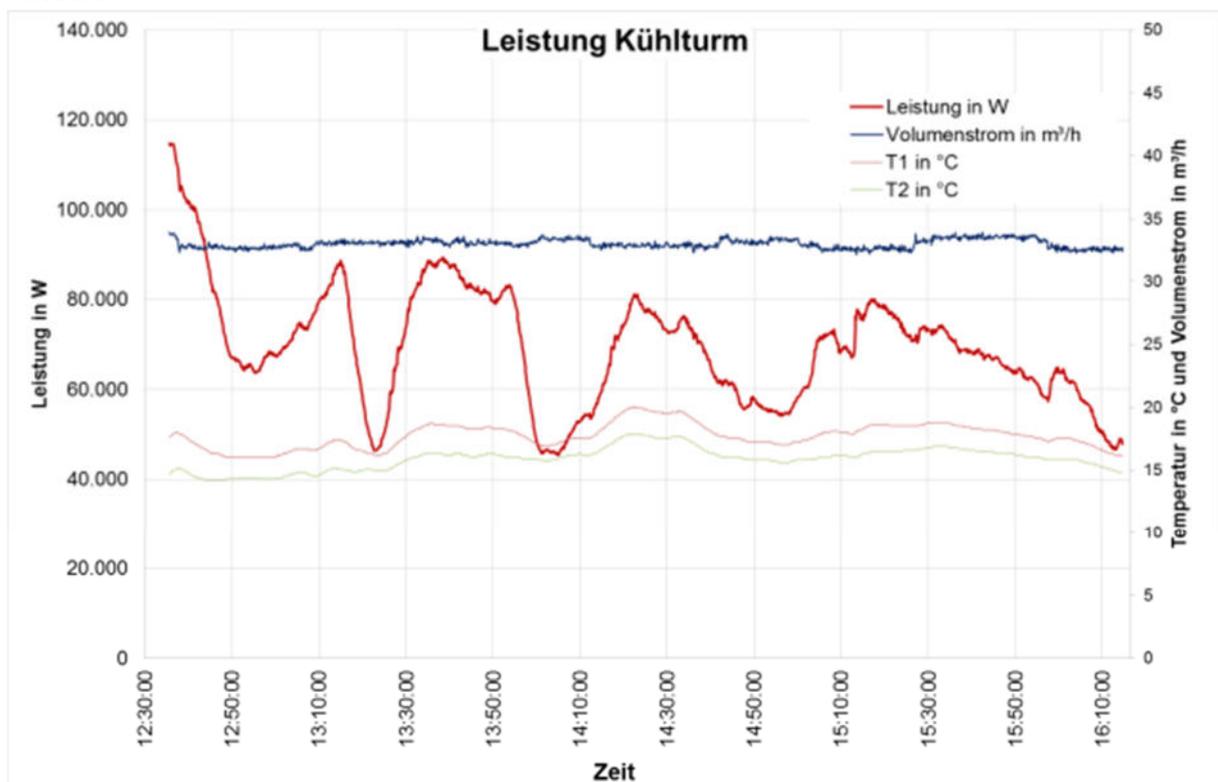


Abbildung 74: Thermische Leistung Kühlturm Betrieb D

#### 4.5.2.1.3 Wärmeerzeugung

Die Wärmeerzeugung beschränkt sich hauptsächlich auf die Dampferzeugung mit einem Großraumwasserkessel- ohne Economiser.

Bei einer Untersuchung wurde eine relativ geringe mittlere Abgastemperatur von 186 °C gemessen (siehe **Abbildung 76**). Die mittlere Leistung, die der Brenner aus dem Netz bezog, betrug ca. 472 kW-Erdgas. Bei einer Mindestleistung des Brenners von 400 kW ist davon auszugehen, dass zahlreiche Start-Stop-Zyklen auftreten. Dies konnte jedoch im Rahmen der Untersuchung nicht festgestellt werden.

Insgesamt war das Kesselhaus sehr warm und Fenster im OG neben dem Speisewasserbehälter geöffnet. Während die Frontplatte bereits gedämmt war, fehlten Dämmungen an Speisewasserbehälter, Dampf- und Kondensatleitungen sowie an Armaturen (siehe **Abbildung 75**).

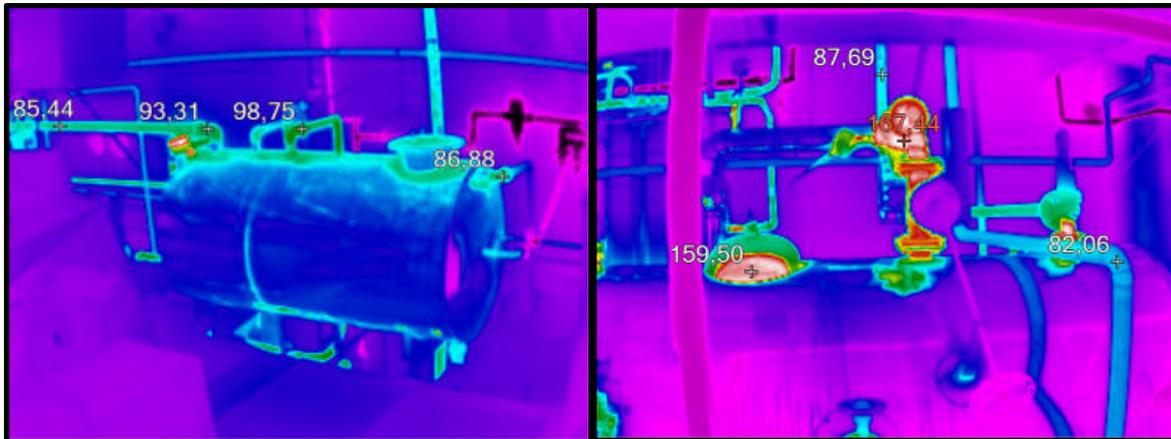


Abbildung 75: Thermografie Speisewasserbehälter und Thermografie Dampfkessel Betrieb D

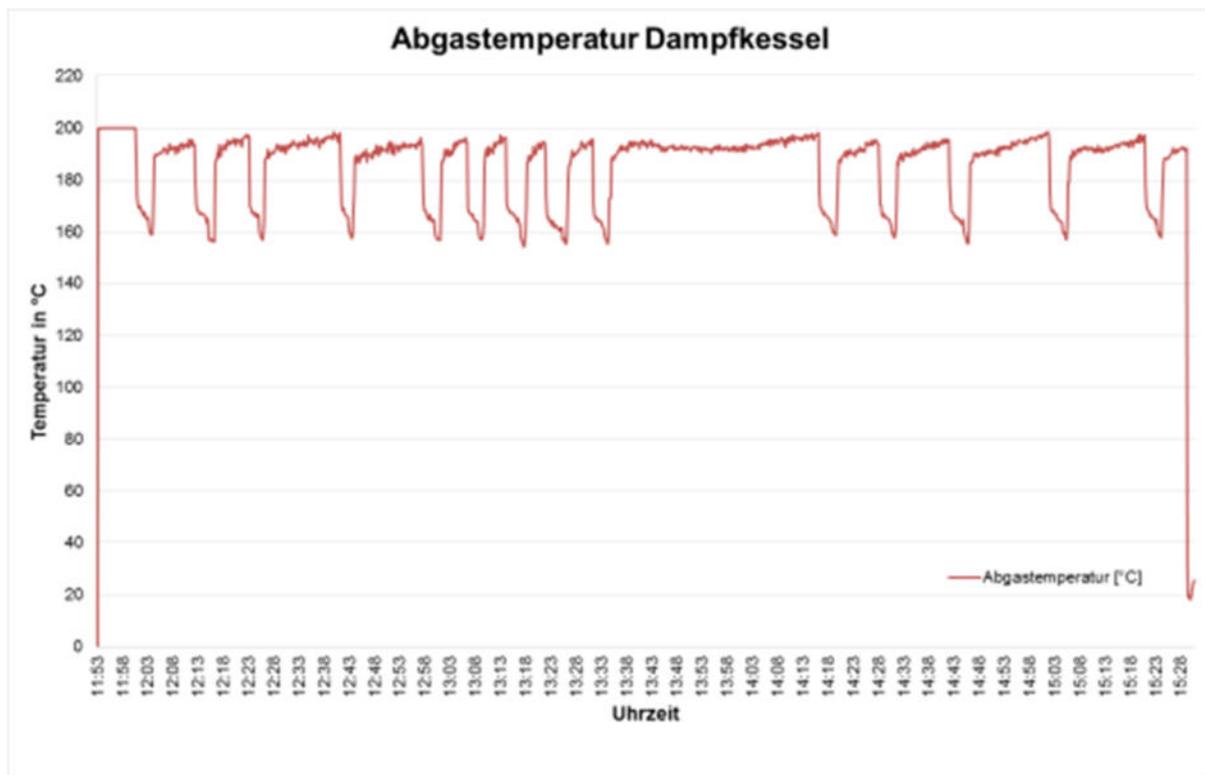


Abbildung 76: Abgastemperatur Dampfkessel, Betrieb D

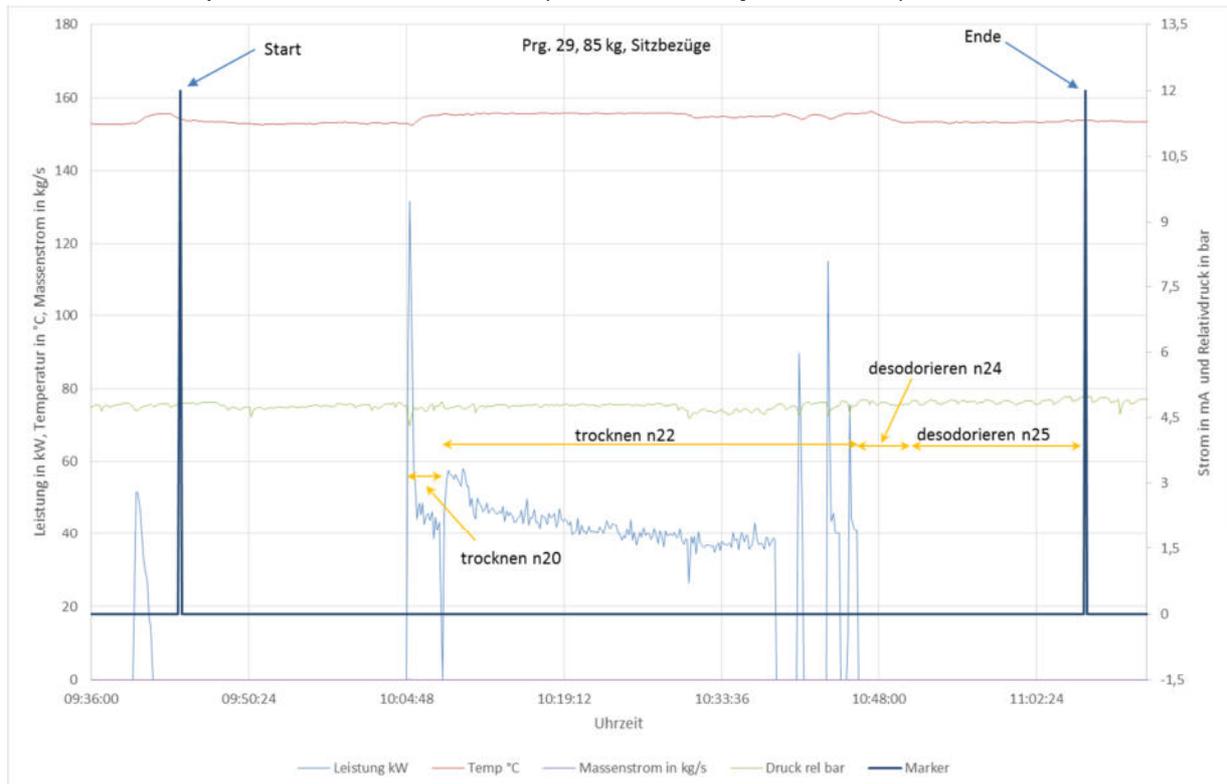
Der temporär eingebaute Dampfmengenzähler an den Textilreinigungsmaschinen lieferte folgende Mittelwerte (gemessen an P30) für die Dampfversorgung:

- 154 °C Dampftemperatur
- 4,8 bar rel. Dampfdruck

Wie in **Abbildung 77** dargestellt ist der eigentliche Reinigungsprozess ohne Dampfbedarf. Erst mit dem Start des Trocknungsprozesses wird Dampf benötigt. Zum Ende des Prozesses ändert sich der konstante Dampfbezug in kurze Dampfstöße.

Im Diagramm nicht abgebildet ist der Dampfbezug, den die Textilreinigungsmaschine für die Destillation aufgenommen hat.

Da die Maschine zwei Dampfanschlüsse hat, musste der zweite Anschluss über die Energiebilanz der Dampfblase bilanziert werden (siehe auch **Kapitel 4.5.2.3**).



**Abbildung 77: Dampfbezug 100-kg-TRM, Betrieb D**

## 4.5.2.2 Elektrische Energie

### 4.5.2.2.1 Berechnung des elektrischen Energieverbrauchs

Der Reinigungsbetrieb verfügt im Wesentlichen über folgende Stromverbraucher:

- Textilreinigungsmaschinen
- Kühlwasserpumpe + Kühlturm
- Bügeltische + Finisher
- Wetclean- und Waschmaschinen
- Trockner
- Kompressor
- Raumluftechnische Anlage (Abluftventilator)
- Beleuchtung
- Sonstige Verbraucher

Aufgrund der Vielzahl der Verbraucher und der betriebsbedingten fehlenden Unterbrechungen zur Installation von Messgeräten konnten nur Stichproben einzelner Maschinen und Anlagen durchgeführt werden.

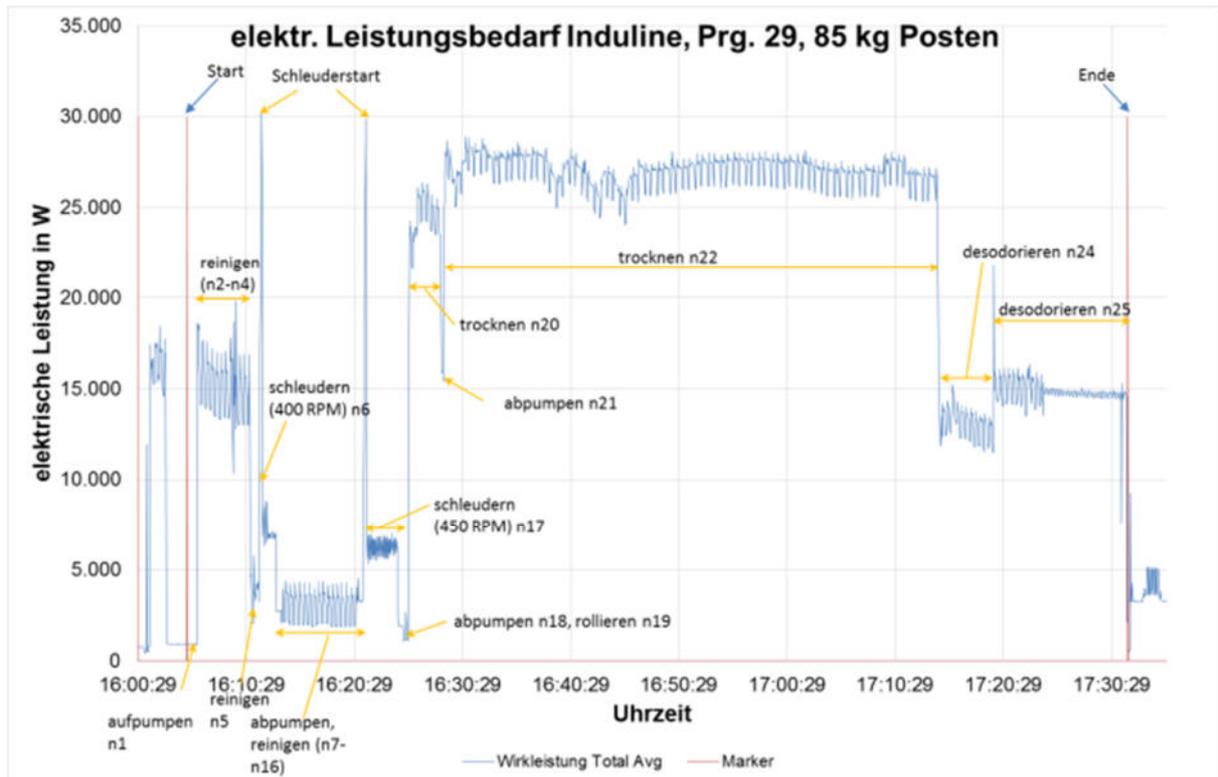


Abbildung 78: Elektrische Leistung 100-kg-Textilreinigungsmaschine, Betrieb D

**Abbildung 78** zeigt den für dampfbeheizte TRM typischen Leistungsverlauf. Während der Reinigungsphase schwankt die Leistungsaufnahme im Takt der Reversierung und erfährt je ein Spitzenwert beim Anlauf zum Schleudern. Diese Spitzenwerte sind eine Ausnahme unter den Textilreinigungsmaschinen. Der größte elektrische Energieaufwand wird für den Trocknungsprozess benötigt und beträgt rund 76 Prozent der gesamten Stromaufnahme im Reinigungsprozess. Da zum Zeitpunkt der Messung die Kühlwassertemperaturen unter 20 °C lagen, sind größere Potenziale im Wärme-/Kälteverlust zu suchen.

**Abbildung 79** zeigt den Luftkanal der 100-kg-TRM im Betrieb. Wegen fehlender Dämmung und fehlender thermischer Trennung kondensiert Luftfeuchte an der Außenseite des Luftkanals. Diese Kälteverluste auf der Verdampferseite und den Wärmeverlusten auf der Kondensatorseite müssen durch die Kältemaschine ausgeglichen werden. Das kostet im Prozess Energie und Zeit.

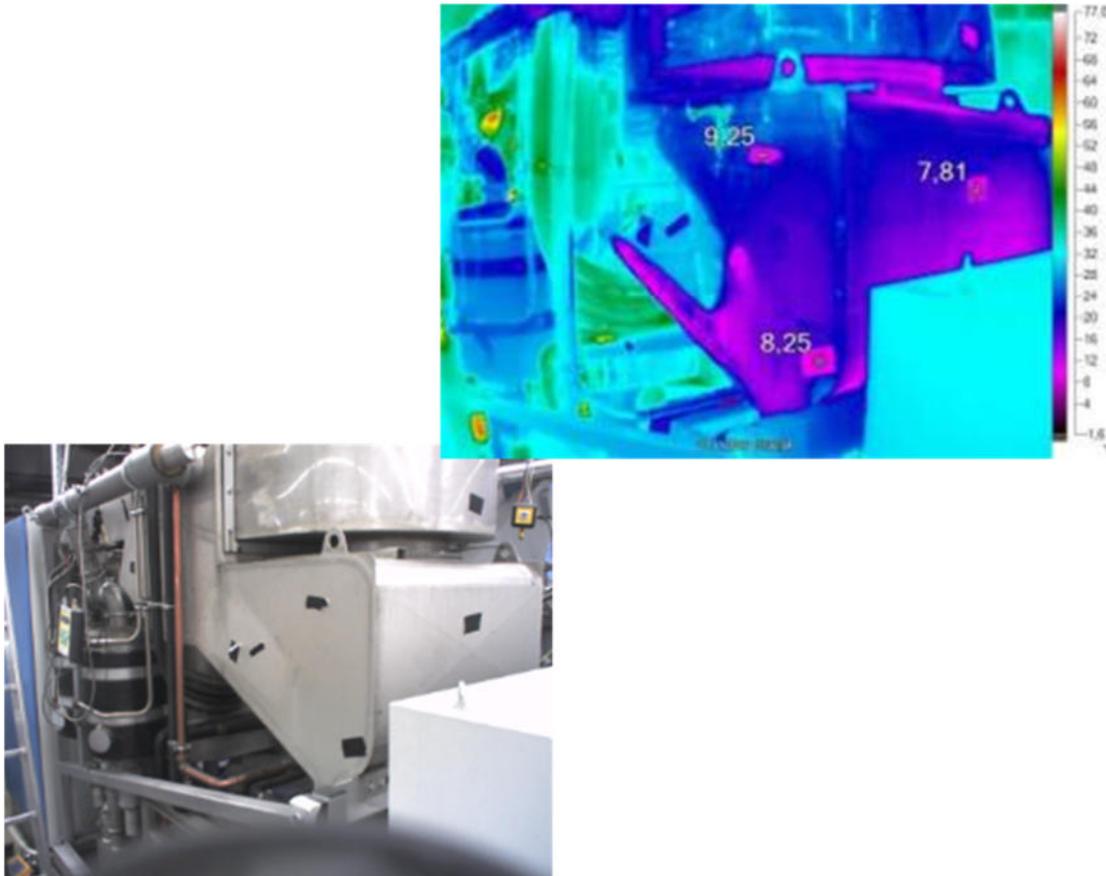


Abbildung 79: Thermografie Luftkanal 100-kg-TRM, Betrieb D

**Abbildung 80** zeigt den für dampfbeheizte TRM typischen Leistungsverlauf. Während der Reinigungsphase schwankt die Leistungsaufnahme im Takt der Reversierung und erfährt je ein kleines Zwischenhoch beim Anlauf zum Schleudern. Der größte elektrische Energieaufwand wird für den Trocknungsprozess benötigt und beträgt mit 1,5 kWh rund 59 % der gesamten Stromaufnahme im Reinigungsprozess.

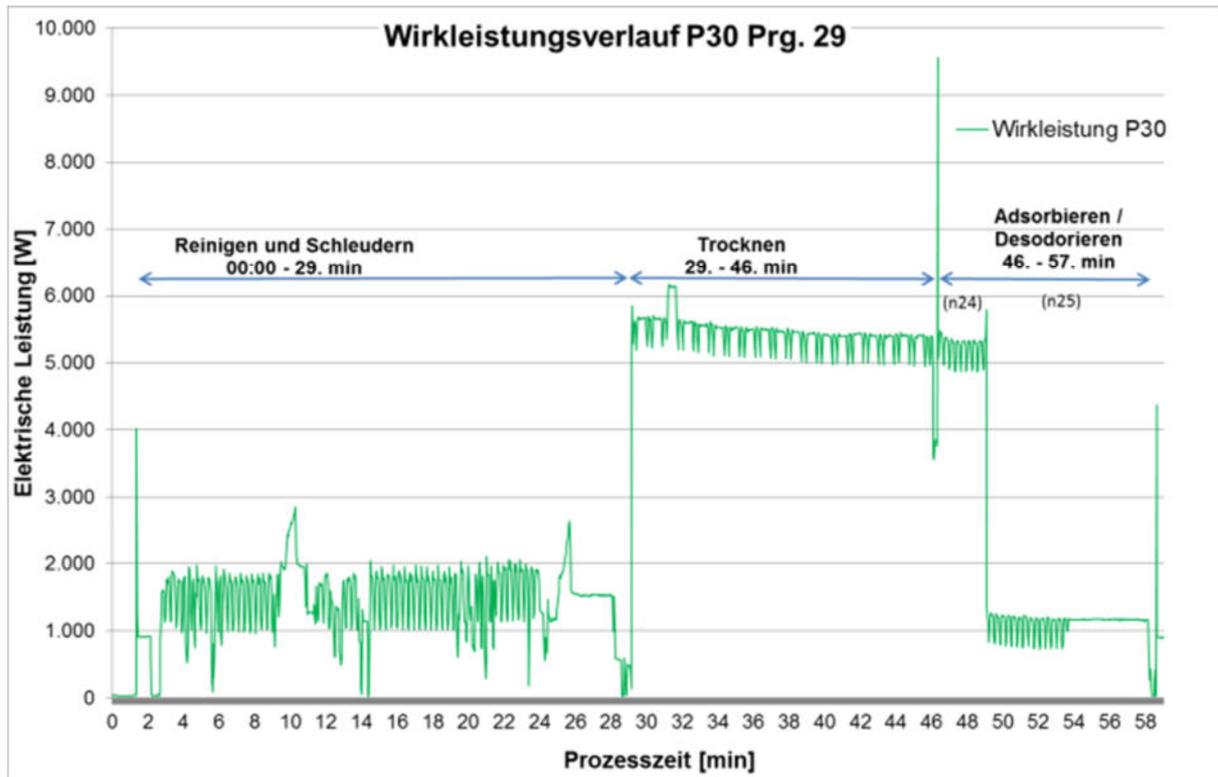


Abbildung 80: Elektrische Leistung der 30-kg-Textilreinigungsmaschine, Betrieb D

#### 4.5.2.2 Druckluft

Die Druckluftanlage besteht aus zwei Kompressoren und einem Drucklufttrockner sowie einem Druckluftspeicher. Zum Zeitpunkt der Messung war ein Kompressor in Betriebsbereitschaft, so dass sich die Auswertung des Betriebszustands auf den zweiten Kompressor beschränkt. Der mittlere Druck am Kompressor betrug 7,2 bar. Nennenswerte Leerlaufzeiten sind nicht aufgetreten.

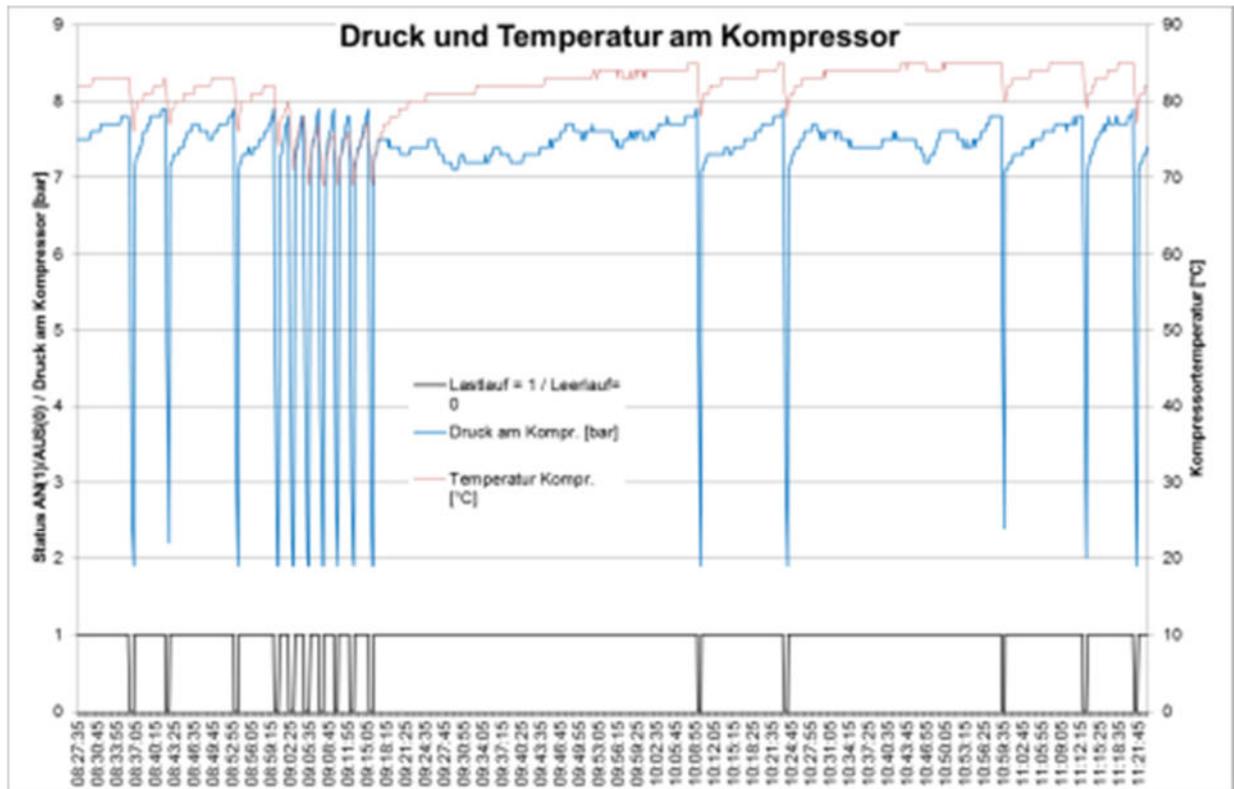


Abbildung 81: Druck und Temperatur Kompressor Betrieb D

### 4.5.2.3 Energiebilanz der Textilreinigungsmaschinen

Zusammenfassend für die Kapitel 4.5.2.1.3 und 4.5.2.2.1 wurde eine Energiebilanz für die zwei Textilreinigungsprozesse erstellt (siehe **Abbildung 82**).

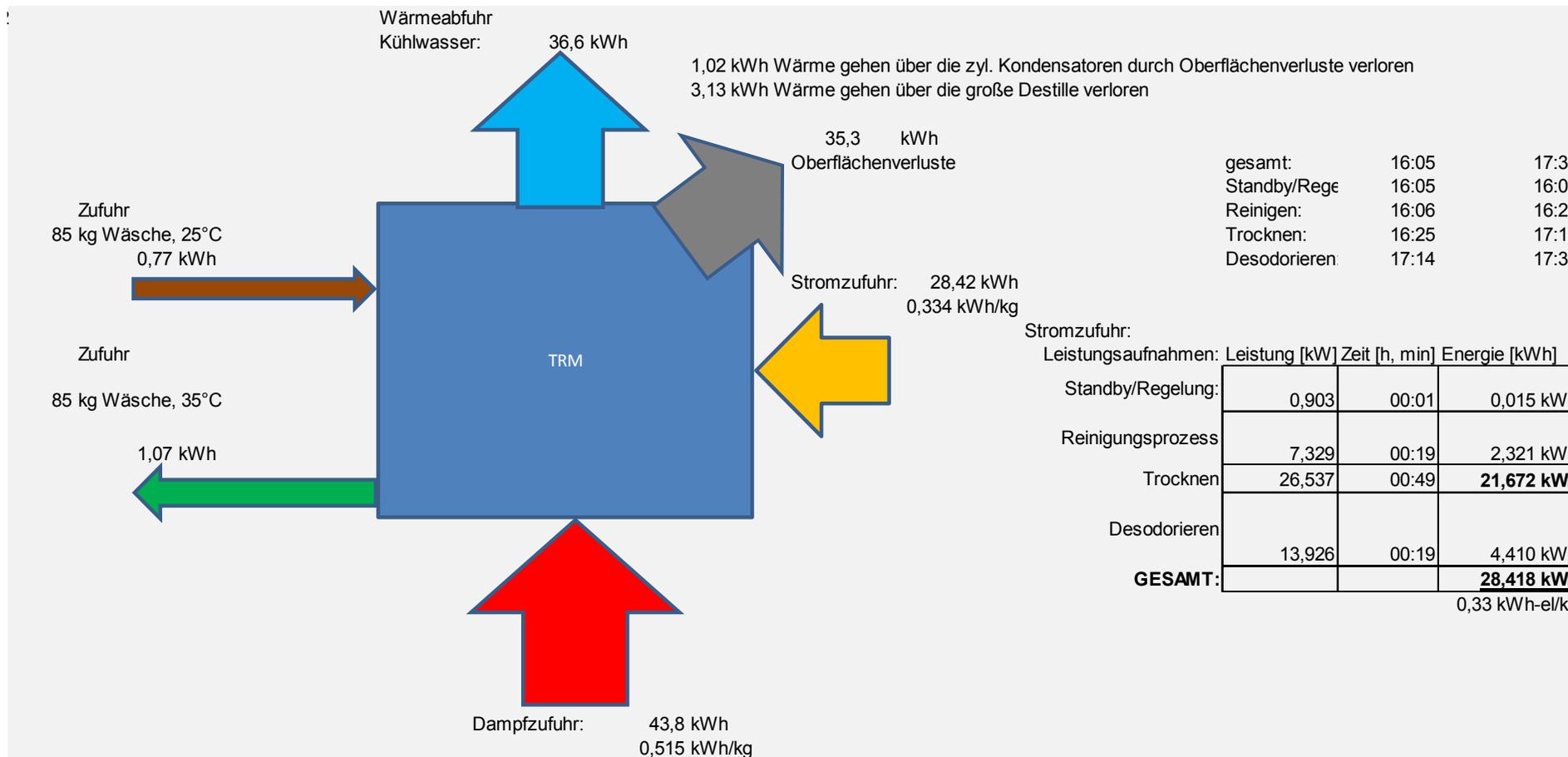


Abbildung 82: Energiebilanz 100-kg-Textilreinigungsmaschine, Betrieb D

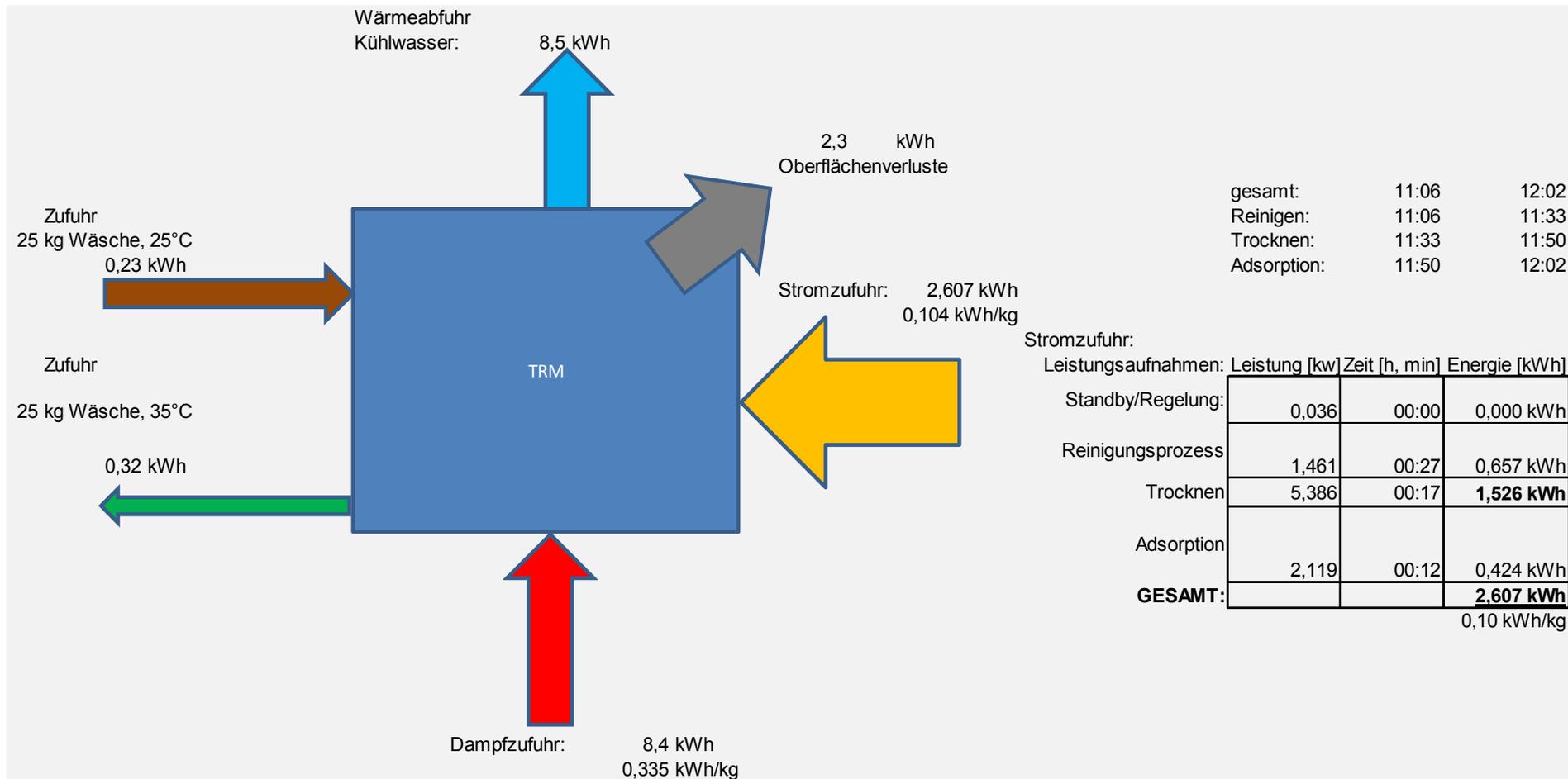


Abbildung 83: Energiebilanz 30-kg-TRM, Betrieb D

Im Hinblick auf die beiden untersuchten Textilreinigungsmaschinen konnte festgestellt werden, dass die größere Textilreinigungsmaschine keine energetischen Vorteile gegenüber der 30-kg-Maschine liefern konnte. Wie in **Abbildung 84** zu sehen ist, liegt der spezifische Strombedarf der 100-kg-Maschine mit 0,33 kWh/kg beim etwa 3fachen der 30-kg-TRM (0,10 kWh/kg). Auch beim Dampf ist der Bedarf bei der 30-kg-Maschine mit 0,34 kWh/kg deutlich geringer. Hier liegt die 100-kg-Textilreinigungsmaschine bei einem spez. Kennwert von 0,52 kWh-Dampf/kg.

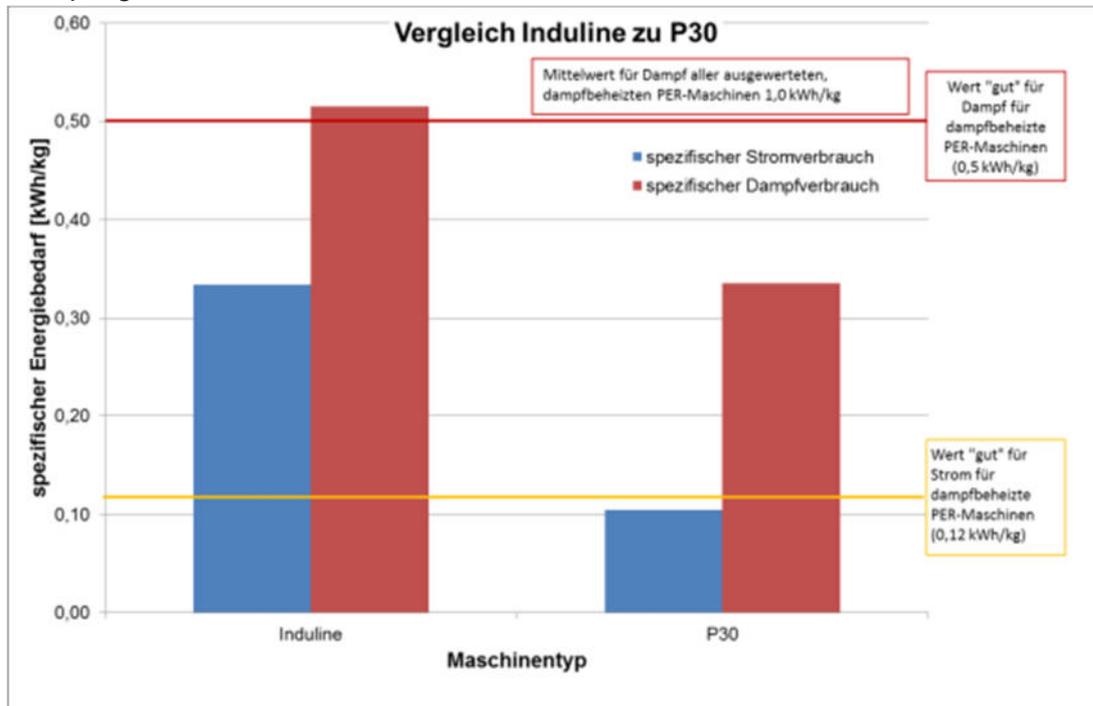


Abbildung 84: Spezifischer Energiebedarf 100-kg-Maschine (Induline) zu 30 kg-Maschine (P30)

Die Ursachen für das überraschende Abschneiden liegen in der aufwändigen Technik, den überproportional größeren, wärmeabgebenden Oberflächen der Induline.

#### 4.5.3 Prozessparameter und ihre Auswirkungen auf die Textilien

##### 4.5.3.1 Wasserqualitäten

- **Frischwasser**

Das im Reinigungsbetrieb D vorhandene Frischwasser wies zum Zeitpunkt der Untersuchungen eine Temperatur von 17 °C auf und hatte eine elektrische Leitfähigkeit von 106,1 µS/cm (bei 20 °C). Der pH-Wert betrug 7,4 und die Wasserhärte 4,0 °d (0,71 mmol/l). Die Wasch- und Nassreinigungsprozesse wurden mit enthärtetem Trinkwasser durchgeführt. Das verwendete *Weichwasser* hatte zum Messzeitpunkt eine Temperatur von 8 °C und wies eine Leitfähigkeit von 146,7 µS/cm (bei 20 °C) auf. Der ermittelte pH-Wert betrug 8,0 und die Wasserhärte 0,1 °dH (0,02 mmol/l). Da zum Waschen ausschließlich enthärtetes Trinkwasser verwendet wird, kann davon ausgegangen werden, dass neben den untersuchten Parametern alle anderen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung eingehalten werden.

##### ⇒ **Wasserparameter innerhalb des Wetclean-Prozesses**

Die Wasserparameter der untersuchten Nassreinigungsmaschine wurden an manuell entnommenen Flottenproben am Ablaufrohr am Ende eines jeden Programmschrittes bestimmt. Da-

bei wurde stets die erste und letzte anfallende Wassermenge verworfen. Bezüglich der energetischen Betrachtung ist neben dem erwärmten Wasservolumen nur die angewandte Flottentemperatur von Bedeutung. Für die Untersuchungen wurde in Betrieb D exemplarisch an einer Waschschleudermaschine ein typisches Nassreinigungsverfahren untersucht. Dabei wurden Flottenproben aus der Klarwäsche und den beiden Spülgängen gezogen und analysiert (**Tabelle 18**).

**Tabelle 18: Analysewerte untersuchter Wasserproben, Reinigungsbetrieb D**

Parameter Probe	Temperatur in °C	pH- Wert	Leitfähigkeit in $\mu\text{S}/\text{cm}$ (bei 20 °C)	Gesamt- härte in °d	Gesamt- alkalität in $\text{g}_{\text{Soda}}/\text{l}$	Abdampf- rückstand in $\text{g}/\text{l}$
<b>Waschmaschine</b>						
Klärwäsche	26,4	7,6	324	1,0	0,85	0,73
1.Spülbad	20,2	7,7	195,1	0,1	0,7	0,23
2.Spülbad	17,3	7,7	167,5	0,1	0,6	0,14

#### 4.5.3.2 Beschreibung von Reinigungs- und Trocknungsprozessen

Zur Überprüfung der Effekte wurden in den Reinigungsmaschinen und exemplarisch einer Waschschleudermaschine im Wetclean-Verfahren Untersuchungen entsprechend **Kapitel 3.2.3.3** durchgeführt.

In den unterschiedlichen Reinigungsmaschinen wurde in jeder Maschine unterschiedlichen Typs das meistverwendete Reinigungsprogramm detailliert untersucht.

##### ⇒ Induline

Die Reinigungsmaschine (Böwe Induline; BJ 2009; 2100 l Trommelvolumen; Lösemittel PER) wurde mit Heißdampf (ca. 4 bar<sub>abs</sub>) beheizt.

In dieser Maschine wurden zum Zeitpunkt der Untersuchungen ausschließlich dunkle Sitzbezüge aufbereitet. Der Ablauf der Reinigungsprogrammes war wie folgt:

##### Programmschritt 1: 1. Bad

Füllverhältnis: 25 l/kg  
 g-Faktor/Reversierung: 0,81 g; 10/5  
 Lösemittel: aus Arbeitstank (dunkel)  
 Flottenverhältnis: 4 l/kg  
 RV-Dosierung: keine  
 Dauer: 6,5 min, anschließend Ablass in Destillation und 2,5 min Schleudern bei 120 g

**Programmschritt 2: 2. Bad**

Füllverhältnis: 25 l/kg  
 g-Faktor/Reversierung: 0,81 g; 10/5  
 Lösemittel: Rest aus Arbeitstank (dunkel), Auffüllen auf Niveau aus Reintank  
 Flottenverhältnis: 4 l/kg  
 RV-Dosierung: 1,6 ml/l RV und 2,3 ml/l Geruchsabsorber  
 Dauer: 7 min, anschließend  
 Flottenverhältnis: Erhöhung auf 5 l/kg  
 Dauer: 14,5 min, anschließend Ablass in Destillation und 3,5 min Endschleudern bei 152 g

**Programmschritt 3: Rollieren/Auflockern**

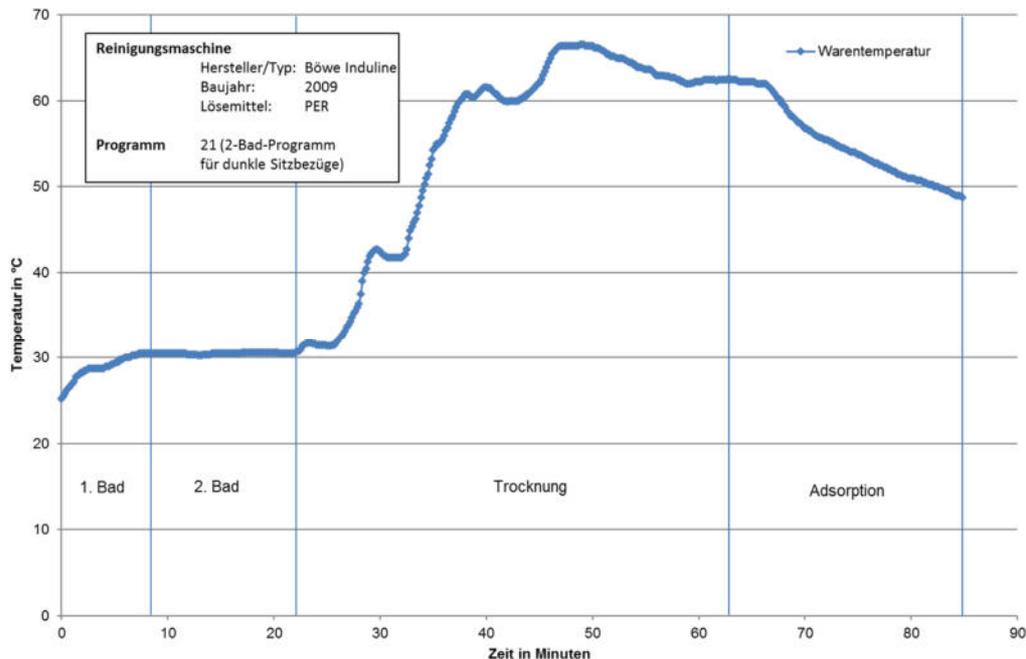
g-Faktor/Reversierung: 0,81 g; 10/5  
 Dauer: 1 min

**Programmschritt 4: Trocknung mit Reduktion und Adsorption**

g-Faktor/Reversierung: 0,81 g; 10/5  
 Dauer: 53 min

Die gesamte Laufzeit des Reinigungsprogramms inklusive der Trocknung betrug mit den zum Zeitpunkt der Untersuchungen in der Maschine behandelten Textilien insgesamt 84 Minuten.

**Abbildung 85** zeigt den Temperaturverlauf während der Reinigung und anschließender Trocknung für dunkle Sitzbezüge.



**Abbildung 85: Temperaturverlauf Reinigungsmaschine Induline, dunkle Sitzbezüge**

Der Ablauf der Reinigungsprogramme der anderen Reinigungsmaschinen (alle vom gleichen Hersteller) zeigte identische Werte.

Einziger Unterschied im Programmablauf war die gesamte Programmdauer: Da die Trocknungsdauer durch ein Trockenkontrollgerät geregelt wird und in den Maschinen unterschiedliche Warenarten bzw. Füllverhältnisse eingesetzt wurden, ergaben sich daraus unterschiedlich lange Trocknungszeiten bis zum Erreichen des vorgegebenen Endlösemittelgehaltes.

Die wetcleanfähige Waschschleudermaschine (Miele WS 5101 D IND) wurde zum Untersuchungszeitpunkt für Wetcleanverfahren eingesetzt. Die Maschine (100 l Trommelvolumen) wurde mit Direktampf beheizt (ca. 4 bar<sub>abs</sub>) und kann je nach Bedarf drei unterschiedliche Wasserarten verwenden: Weichwasser kalt (17 °C), Weichwasser warm aus Kühlturm (> 32 °C) und Hartwasser kalt (16 °C).

Das untersuchte Wetclean-Programm (Nr. 15) wies folgenden Ablauf auf:

*Programmschritt 1: Klarwäsche*

Füllverhältnis: 40 l/kg  
 g-Faktor; Reversierung: 0,62 g; 5/33  
 Wasserart: Weichwasser, kalt  
 Flottentemperatur: 25 °C  
 Flottenverhältnis: 21,7 l/kg  
 Waschmitteldosierung: 37,5 ml (15 ml/kg<sub>Textil</sub>) neutrales Wollwaschmittel und 37,5 ml (15 ml/kg<sub>Textil</sub>) Tensidbooster  
 Dauer: 13 min, dann Ablass in Kanal ohne Schleudern

*Programmschritt 2: 1. Spülen*

Wasserart: Weichwasser, kalt  
 Flottentemperatur: kalt  
 Flottenverhältnis: 16 l/kg  
 Dauer: 6 min, dann Ablass in Kanal ohne Schleudern

*Programmschritt 3: 2. Spülen*

Wasserart: Weichwasser, kalt  
 Flottentemperatur: kalt  
 Flottenverhältnis: 16 l/kg  
 Dauer: 6 min, dann Ablass in Kanal

*Programmschritt 5: Endschleudern*

Dauer: 400 g über 6 min

**Abbildung 86** zeigt den Flottentemperaturverlauf während des Nassreinigungsprozesses.

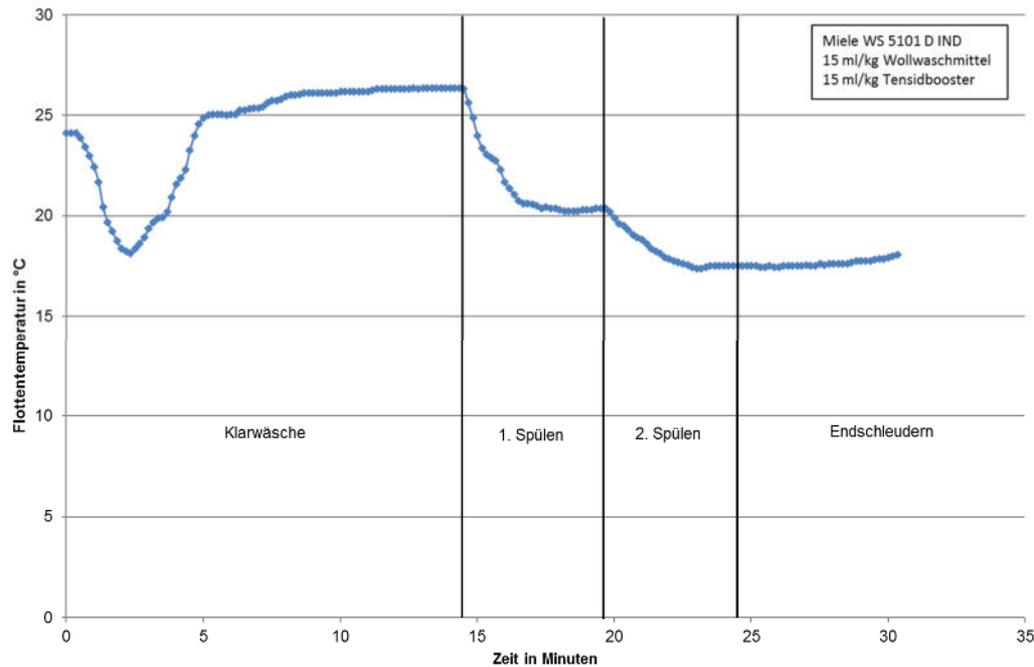


Abbildung 86: Flottentemperaturverlauf in Wetcleanmaschine bei der Nassreinigung Waschprogramm 15 (25 °C, hell)

Die folgende Überprüfung der Textileffekte wurde entsprechend **Kapitel 3.2.3.3** durchgeführt.

#### 4.5.3.3 Schmutzentfernung

Abbildung 87 und Abbildung 88 zeigen die während des Untersuchungszeitpunktes erzielte Schmutzentfernung in der Reinigungsmaschine für dunkle Ware.

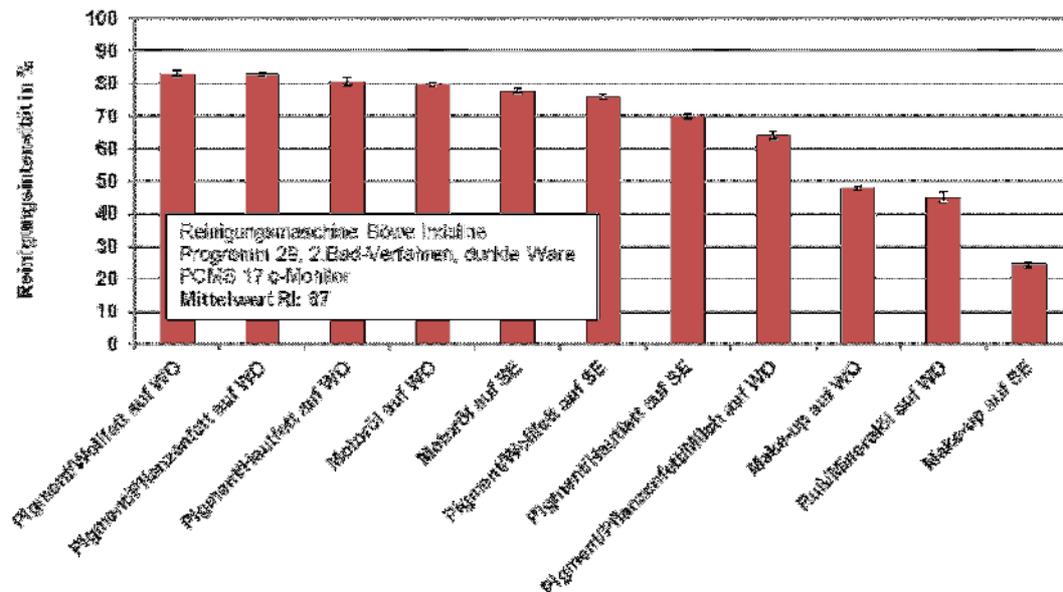
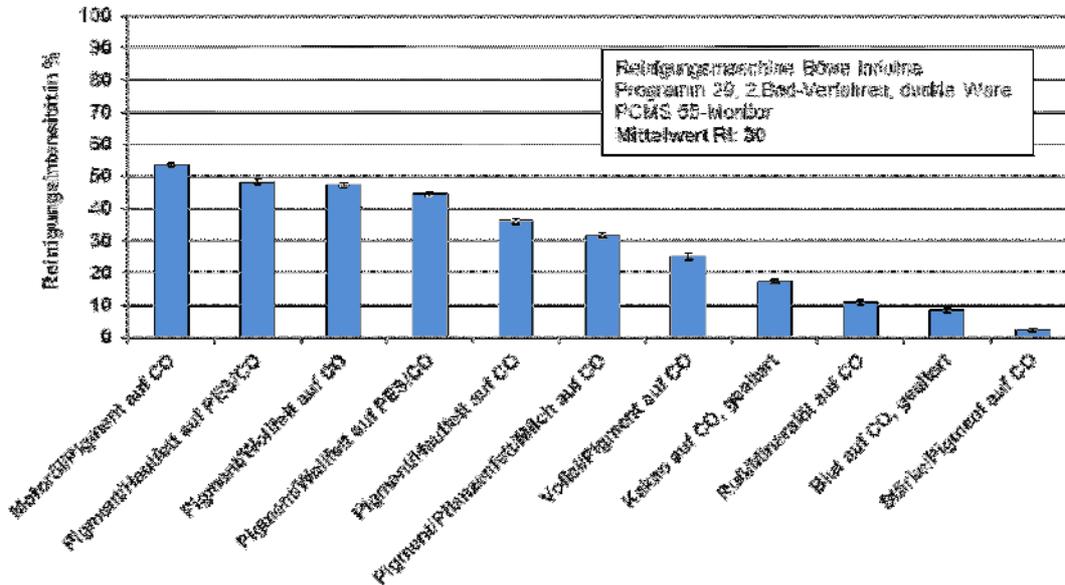


Abbildung 87: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine mit PER- Lösemittel für dunkle Bekleidung mit PCMS 17-c Monitor



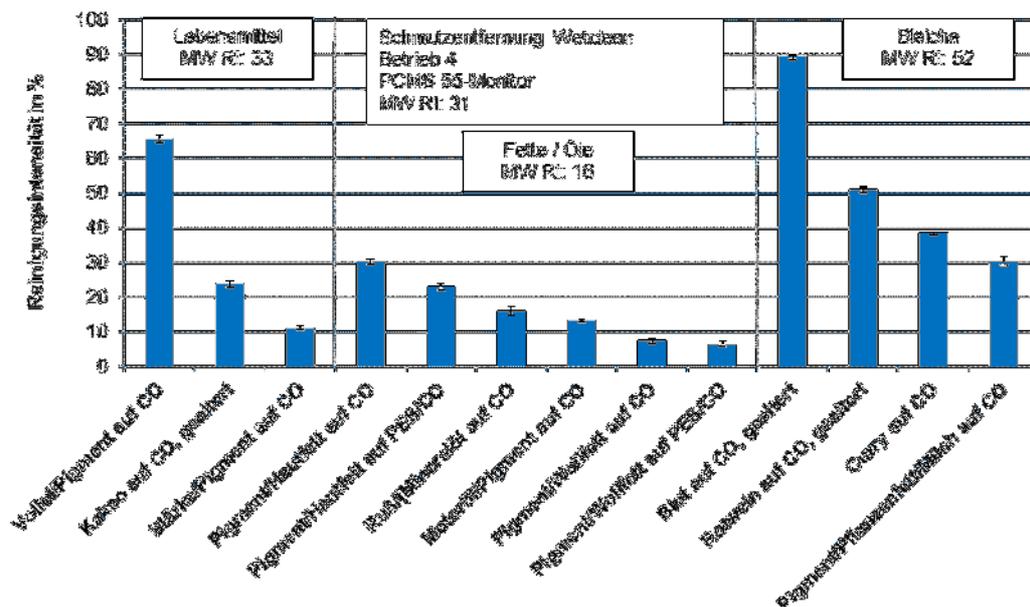
**Abbildung 88:** Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine mit PER- Lösemittel für dunkle Bekleidung mit PCMS 55 Monitor

Die Schmutzentfernung wird durch Angabe der Reinigungsintensität (RI- Werte) quantifiziert, da es sich bei den eingesetzten Anschmutzungen teilweise um farbige Verfleckungen handelte und diese sich durch Angabe der Reinigungsintensität am treffendsten interpretieren und vergleichen lassen.

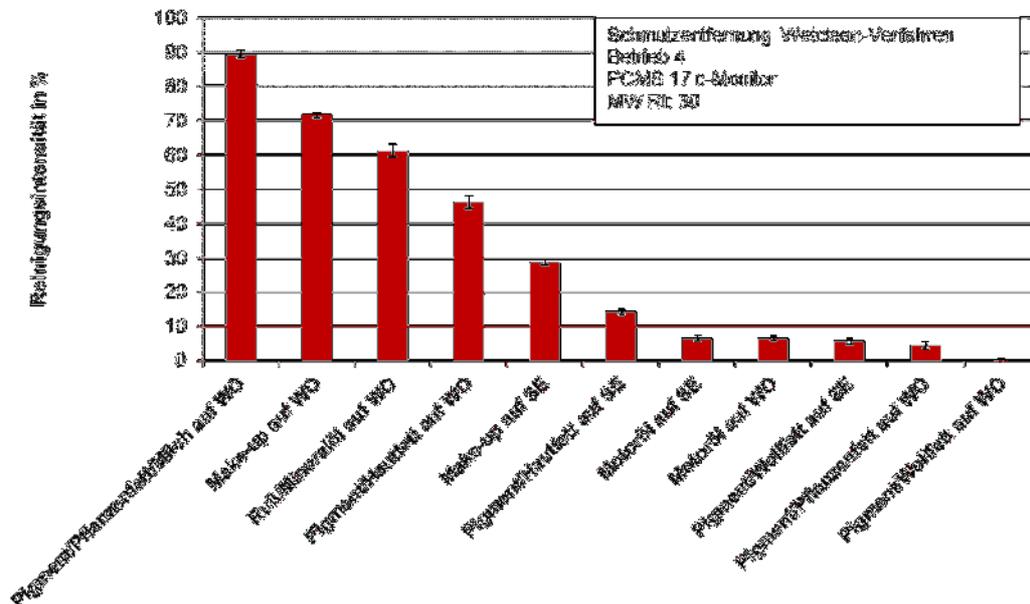
**Abbildung 87** zeigt, dass die erzielte Reinigungsintensität bei speziell zur Bewertung von Reinigungsverfahren hergestellten Monitoren bei durchschnittlich 67 % (RI-Werte) lag.

**Abbildung 88** zeigt die Reinigungsintensität für Waschverfahren entwickelten Schmutztestgeweben auf. Dabei wurden nur Flecken dargestellt, an denen ein Effekt gemessen wurde. Die Reinigungsintensität lag bei durchschnittlich 30 % (RI-Werte).

**Abbildung 89** und **Abbildung 90** zeigen die erzielte Schmutzentfernung beim eingesetzten Wetcleanverfahren mit der Flottentemperatur von 27 °C in der Klarwäsche.



**Abbildung 89: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten im Wetcleanverfahren bei 27 °C Flottentemperatur auf PCMS 55 Monitor**



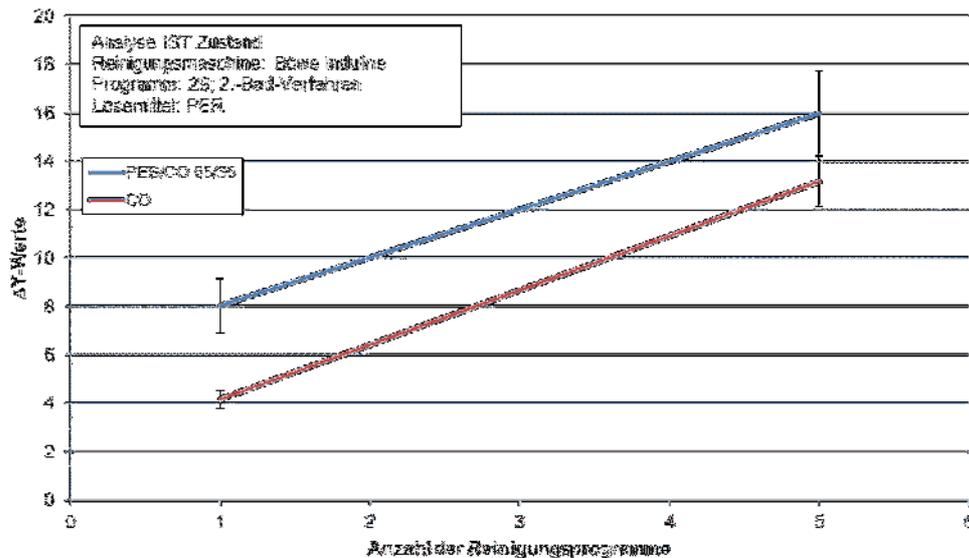
**Abbildung 90: Schmutzentfernung (RI-Werte  $\pm$  Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten im Wetcleanverfahren bei 27 °C Flottentemperatur auf PCMS 17-c Monitor**

Danach wird im Vergleich zu üblichen Waschverfahren nur geringe Schmutzentfernung erzielt. Ursache sind die schonenden Bedingungen des Wetclean-Verfahrens (pH-neutrale Waschmittel ohne Bleiche, geringe Waschmechanik), was jedoch für Wetclean-Verfahren üblich ist, um die Textilien nicht zu beschädigen. Im Vergleich zur Schmutzentfernung in Lösemittel ist die Schmutzentfernung vergleichbar. Durch die Waschbehandlung werden jedoch hydrophile Schmutzarten und insbesondere Gerüche (Urin- oder Schweißgeruch) nahezu vollständig entfernt.

#### 4.5.3.4 Vergrauung

An den in **Kapitel 3.2.3.3** beschriebenen sauberen Prüfgeweben wurden in den Reinigungsprogrammen für helle und dunkle Ware die *Vergrauungswerte* nach 1 und 5 Mehrfachbehandlungen bestimmt.

**Abbildung 91** zeigt die Ergebnisse an Baumwolle und Mischgewebe (PES/CO 65/35) in Abhängigkeit der durchgeführten Reinigungszyklen.



**Abbildung 91: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Reinigungsmaschine, dunkle Ware, Reinigungsbetrieb C**

Danach liegen die Vergrauungswerte der Reinigungsmaschine im Programm für dunkle Ware zwischen 4 und 8 ( $\Delta Y$ -Wert) nach einer Reinigung und nach 5 Reinigungszyklen bei etwa 14, was Praxis-üblichen Werten entspricht.

#### 4.5.3.5 Glätteergebnis

Zur Bewertung des Glätteergebnisses wurden durch ein Expertenpanel vier unterschiedliche Warenarten (Hosen, Sakkos, Mäntel, Seidenblusen) begutachtet. Dabei wurde von der fertiggestellten Ware das Knitterbild in Anlehnung an DIN EN ISO 15487 unter Zuhilfenahme des Monsanto- Standards bewertet.

Aufgrund der deutlich gleichmäßigeren Druckverteilung über die gesamte Fläche beim maschinellen Pressvorgang zeigten Hosenfalten hervorragende Ergebnisse (Note 5).

Sakkos und andere Oberbekleidung wurden über einen Garderobenfinisher vorgeglättet und anschließend an Revers, Taschen, Innenfutter, Knopfleisten und Kragen manuell nachgebügelt. Auch hier waren die erzielten Ergebnisse sehr gut (Note 5).

Wollmäntel werden auf einem Bügeltisch abgedämpft und in Form gezogen, was zu sehr guter Glättung führte. Das aufwändige manuelle Finishen durch Bügeln der Seidenblusen ergab ebenfalls sehr gute Ergebnisse, was in der ausschließlich manuellen Behandlung und der Erfahrung der Mitarbeiter begründet ist.

#### 4.5.4 Optimierungsvorschläge Reinigungsbetrieb D

Eine energetische Optimierung und daraus folgende Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Betriebes C ohne Verschlechterung der Reinigungs- und Wetclean-Performance sind durch die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Maßnahmen zu erzielen.

##### 4.5.4.1 Textilreinigungsmaschine (100-kg-TRM)

Nachdem die 30-kg-Maschine die geringsten, spezifischen Energieverbräuche benötigte, beschränken sich die Verbesserungsvorschläge auf die 100-kg-TRM.

- Senkung des Wärmeeinsatzes und der Verbrennungsgefahr:
  - Dämmen der Dampf- und Kondensatleitungen und der Destillationsblase

Bei einer angenommenen Fläche von ca. 1 m<sup>2</sup> und einer mittleren Temperatur von 55 °C (Wärmeübergangskoeffizient ca. 7 W/m<sup>2</sup>K) und einer Raumtemperatur von 25 °C beträgt das Einsparpotenzial ca. 0,4 kW/m<sup>2</sup> bzw. ca. 800 kWh/m<sup>2</sup>\*a

- Reduktion der Dampftemperatur auf max. 150 °C
- Senkung des Energieeinsatzes für **Kälte**:
  - Diffusionsdichtes Dämmen der Luftkanäle  
Bei angenommener Fläche von ca. 1 m<sup>2</sup>, einer mittleren Temperatur von 9 °C und einer Raumtemperatur von 25 °C beträgt das Einsparpotenzial ohne Kondensation ca. 0,1 kW<sub>th</sub> bzw. ca. 0,05 kW<sub>el</sub>  
Das entspricht einem Einsparpotenzial von ca. 100 kWh<sub>el</sub>/(m<sup>2</sup>\*a) (bei 2.000 Bh/a)

#### 4.5.4.2 Dampferzeugung und -verteilung

Aufgrund der besonderen Betriebssituation wurden dem Betreiber zwei Varianten vorgestellt.

##### Variante 1

- Druck- und Feuerungsleistungsanpassung an den Dampfbedarf
  - Nachrüsten eines Economisers ((Eco im 1. OG + Verzug des Abgasrohrs):
    - Absenkung der mittleren Abgastemperatur von 186 °C auf ca. 136 °C
    - mittlere Einsparung (Dauerleistung): ca. 7 kW - 18 kW, abhängig von der Nutzung der Abwärme
- Dämmen der
  - Dampf-/Kondensatleitungen
  - und der Komponenten

##### Variante 2

Energie- und Medien austausch zwischen den Wäscherei und Textilreinigung

- Versorgung der Wäscherei mit Kühlwasser der Textilreinigung
- Versorgung der Textilreinigung mit Dampf der Wäscherei
- ⇒ Verzicht auf Kühlturm-Nutzung: Wärmehalt 33 m<sup>3</sup>/h Kühlwasser ca. 69 kW – bei Ersatz von 10°C Trinkwasser durch 18°C Kühlwasser in Waschprozessen
- ⇒ Reduktion des Kühlwasserpumpenstroms durch Verzicht auf offene Verrieselung
- ⇒ Hygienegewinn – keine offenen Wasserströme wie am Kühlturm
- ⇒ Einsparung des Stroms der Lüftermotoren des Kühlturms (je Motor ca. 3 kW)
- ⇒ Wegfall der Oberflächen- und Abgasverluste des Kessels der Textilreinigung abzüglich der Verluste der Dampfleitung (Kondensatleitung könnte entfallen, wenn anfallendes Kondensat in der Textilreinigung für Nassreinigungsprozesse verwendet wird)
- ⇒ Der Kessel in der Textilreinigung bleibt als Kaltreserve für etwaige Notfälle
- ⇒ Bewertung bei 2.000 Betriebsstunden pro Jahr:
 

Σ Verluste Dampfkessel:	ca. 70 kW* (15 % des Erdgaseinsatzes)
Verlust Dampfleitung:	49,1 W/m <sup>3</sup> x 50 m = ca. 2,5 kW*
Einsparpotenzial:	135 MWh, ca. 6.750 € (Basis: 0,05€/kWh Erdgas)

\*Annahme: Dampfkessel mit 472 kW mittlerer Leistung, Nutzungsgrad 85%

\*Annahmen: Dampfleitung DN 50 (DIN 2448), 7 bar (rel.), 50 mm Dämmung Steinwolle

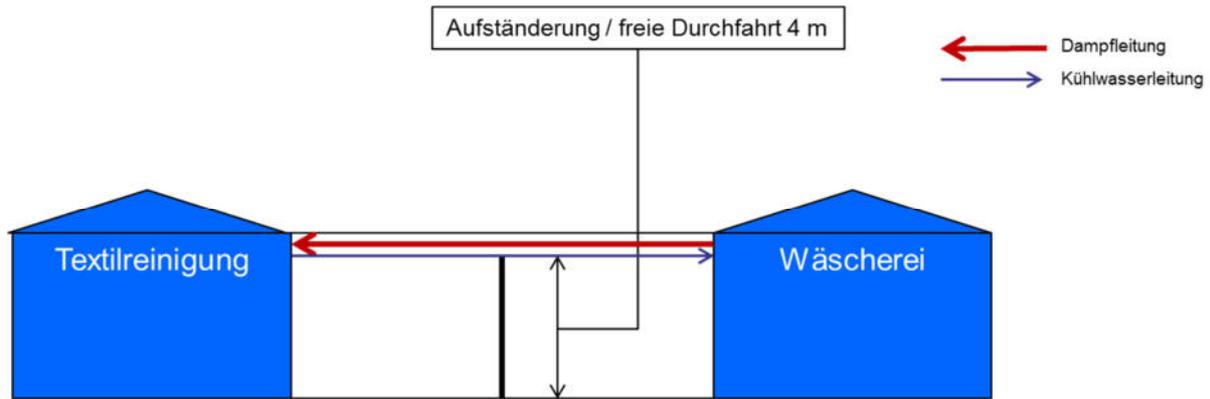


Abbildung 92: Dampf- und Kühlwasseraustausch Betrieb D

#### 4.5.4.3 Druckluftherzeugung und -verteilung

Der mittlere Druck von ca. 7,2 bar ist bereits gut und kann nach den Erfahrungen aus dem Wäschereiprojekt (AZ 28621/02) in der Regel nur auf einen Bereich von 6,5 bis 7 bar abgesenkt werden. Auch Verluste durch undichte Druckluftleitungen konnten akustisch nicht in großem Maß festgestellt werden.

Folgende Aspekte sollten jedoch geprüft werden:

- Verbesserung des Lastverhaltens – schneller Druckabfall im Teillastbetrieb –
  - Querschnitt der Hauptleitung zu den Finishmaschinen prüfen
  - Erhöhung des Speichervolumens an den Großverbrauchern zur Dämpfung des Lastverhaltens
- Bei Ersatzinvestition Einbindung der Abwärmenutzung. Dazu stehen zwei generelle Möglichkeiten zur Auswahl:
  - Luftvorwärmung für Trockenprozesse oder für die Gebäudeheizung
  - Wassererwärmung für Prozesswassererwärmung und Brauchwarmwasser sowie Gebäudebeheizung

## 5 Untersuchungen zur Energiereduzierung

### 5.1 Lösemittelauswahl

Die Bestimmung des Energieverbrauchs von Reinigungsmaschinen bei Einsatz unterschiedlicher Lösemittel wurde exemplarisch mit KW-Lösemittel durchgeführt. Zusätzlich wurden die Lösemittel Decamethylcyclpentasiloxan (Green Earth, Firma Seitz), HiGlo (Firma Christeys) und Sensene (Firma Safechem) untersucht.

**Tabelle 19** zeigt die physikalischen Eigenschaften der untersuchten Lösemittel.

**Tabelle 19: Physikalische Eigenschaften der untersuchten Lösemittel**

Merkmal	Dichte bei 25 °C in g/ml	Siedebereich/ Siedepunkt in °C	spez. Wärmekapazität bei Siedepunkt in kJ/kg*K	spez. Verdampfungsenthalpie in kJ/kg	Flammpunkt in °C	KB - Wert
Iso-Paraffine (KWL)	0,78	180 – 195	1,9 - 2,1	260 - 270	61 - 65	22 - 30
Perchlorethylen (PER)	1,62	121,1	0,9	209,8	keiner	90
Green Earth (D5)	0,95	210	keine Angabe	138,5	77	13
Sensene	0,84	180	keine Angabe	keine Angabe	65	161
HiGlo	0,82	184	keine Angabe	keine Angabe	62	45
<b>Wasser</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>4,21</b>	<b>2256,9</b>	keiner	-

**Tabelle 20** gibt die Daten des für die im Technikum des wfk–Cleaning Technology Institute e.V. eingesetzten Lösemittels und den verwendeten Reinigungsverstärker an.

**Tabelle 20: Eingesetzte Lösemittel und Reinigungsverstärker**

Chemikalien	Typ (Hersteller)	Inhaltsstoffe, Eigenschaften	Standarddosierung
<b>Lösemittel</b>	KWL; Firma BÜFA Isoparaffin TDC 2000 Art.Nr.-888-1450	Dichte 0,765 kg/l (bei 20 °C)	
<b>Reinigungsverstärker</b>	Benzapon Sanofresh; Firma BÜFA Art.Nr.-817-0020221	Dichte 0,9 kg/l (bei 20 °C) pH-Wert 7,5 anionisch mit 12,7 % Wasseranteil mischbar in Wasser	3 g/l

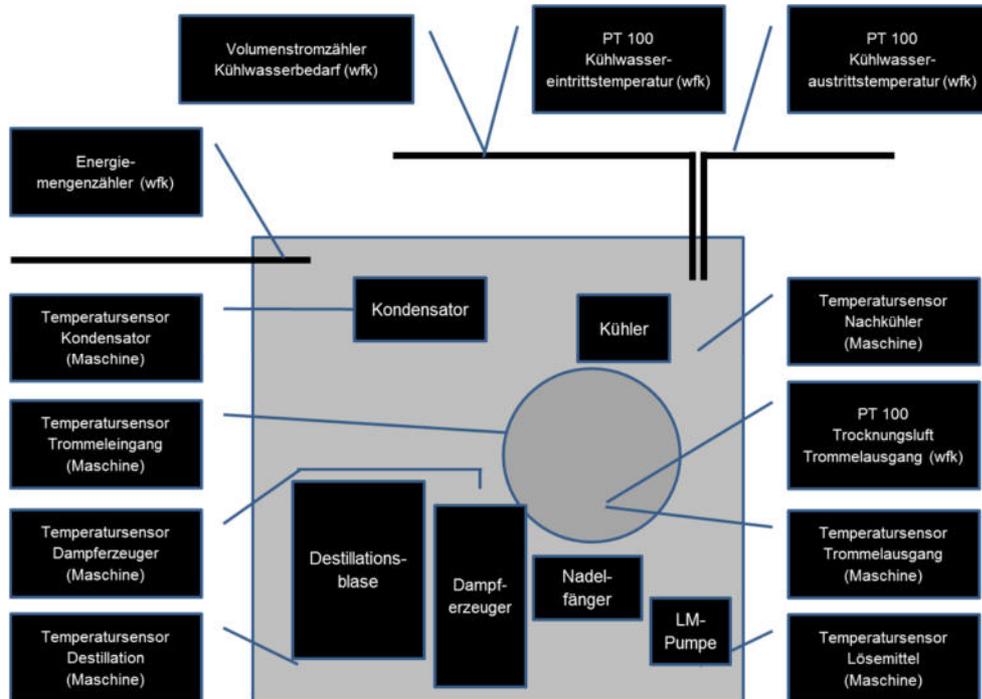
Auf eine Vordetachur wurde bei allen Untersuchungen verzichtet.

Für die Untersuchungen wurde eine elektrisch beheizte Reinigungsmaschine (Hersteller Böwe, Typ M15 Premium, Trommelvolumen 300 l) eingesetzt, die über einen eigenen elektrisch betriebenen Schnelldampferzeuger verfügte. Damit wurde der Heißdampf für das Heizregister zur Erzeugung warmer Luft für die Trocknung erzeugt.

Der Energieverbrauch der Destillationseinheit und der Kältemaschine zur Kondensation des bei der Trocknung verdampften Lösemittels wurde separat über Bestimmung der Kühlwassermengen und -temperaturen erfasst, um die beiden Maschinenkomponenten mit dem höchsten Leistungsbedarf separat erfassen zu können. Dies ermöglichte auch die Differenzierung zwischen dem Energieverbrauch des Reinigungsprozesses und dem Energiebedarfs zur Kondensation des Lösemittels.

Die Reinigungswirkung wurde im vom Hersteller vorgegebenen 2-Bad-Verfahren erfasst und bewertet. Dazu wurden zusätzlich die Temperaturen des Lösemittels der Destillation und der Prozessluft während der Trocknung kontinuierlich aufgezeichnet.

**Abbildung 93** zeigt die eingesetzten Sensoren zur Erfassung der benötigten Messgrößen.

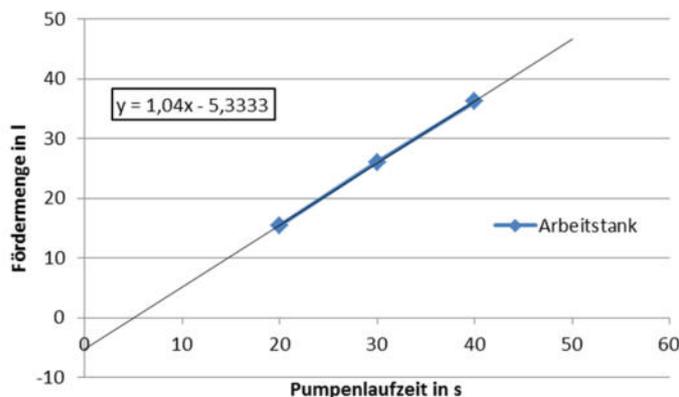


**Abbildung 93: Sensoren in Reinigungsmaschine**

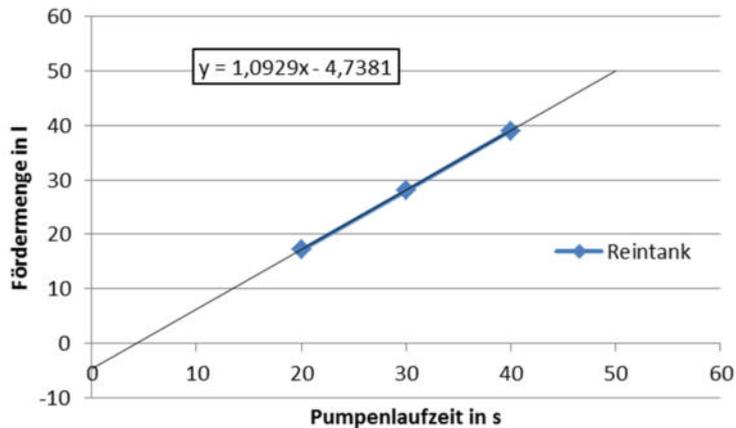
Zur Erzielung identischer Ausgangsbedingungen wurden vor jeder Verfahrensänderung (nach jeweils 5 Reinigungszyklen) die Schleuderfilter und die Destillationskammer gereinigt.

Zur Bestimmung des tatsächlichen Volumenstroms der Lösemittelpumpe wurden Kalibrationskurven erstellt, anhand derer die exakten Pumpenlaufzeiten zu Erzielung definierter Flottenverhältnisse eingestellt werden konnten. Dies war erforderlich, da die geförderten Lösemittelmengen davon abhängen, aus welchem Tank das Lösemittel angefordert wird.

Zur Einstellung exakter Flottenverhältnisse bzw. der dazu erforderlichen Pumpenlaufzeiten wurden die in **Abbildung 94** und **Abbildung 95** angegebenen Funktionen verwendet.



**Abbildung 94: Fördermenge Lösemittelpumpe bei Arbeitstank für dunkle Bekleidung**



**Abbildung 95: Fördermenge Lösemittelpumpe von Reintank**

Die Bestimmung der Reinigungswirkung erfolgte mit den speziell für das Projekt entwickelten Schmutzmonitoren (siehe **Kapitel 3.2.3.3, Abbildung 2**) im ersten, dritten und fünften Versuchslauf. Die Ermittlung der Vergrauung erfolgte an zwei unterschiedlichen Prüfgeweben (CO und PES/CO 65/35), die speziell für die Bewertung von Wasch- und Reinigungsprozessen eingesetzt wird. Zur Erzeugung einer Schmutzbelastung in der Flotte wurden allen Reinigungszyklen jeweils 128 g (etwa 10 g/kg Ware) Schmutzballastgewebe zugegeben.

**Abbildung 96** zeigt den schematischen Aufbau der eingesetzten Reinigungsmaschine. Die Maschine besitzt drei Lösemitteltanks: der Arbeitstank für dunkle Beladung (Tank 1), den Arbeitstank für helle Beladung (Tank 3) und den Reintank (Tank 2).

- |    |                                |    |                                  |
|----|--------------------------------|----|----------------------------------|
| 1  | Luftschacht                    | 16 | Destillierbehälter               |
| 2  | Kühlregister                   | 17 | Schleusenbehälter                |
| 3  | Trommelgehäuse mit Trommel     | 18 | Lösemittelkühler                 |
| 4  | Kälteaggregat                  | 19 | Flashbehälter                    |
| 5  | Trommelantrieb                 | 20 | Vakuumpumpe                      |
| 6  | Dosiereinheit                  | 21 | Heizregister                     |
| 7  | Sprüheinheit *                 | 22 | ÖKO-Filter 1                     |
| 8  | Pumpe, Lösemittel              | 23 | ÖKO-Filter 2 *                   |
| 9  | Sicherheitswanne               | 24 | Filterantrieb                    |
| 10 | Tank 1 + 2                     | 25 | Kondensator                      |
| 11 | Elektr. Dampferzeuger*         | 26 | Kartuschen- Adsorptionsfilter 1* |
| 12 | Nadelfänger mit Flusenfilter   | 27 | Ventilator                       |
| 13 | Wasserabscheider               |    |                                  |
| 14 | Ausrüstank 3                   |    |                                  |
| 15 | Pumpe Destillationsentsorgung* |    |                                  |

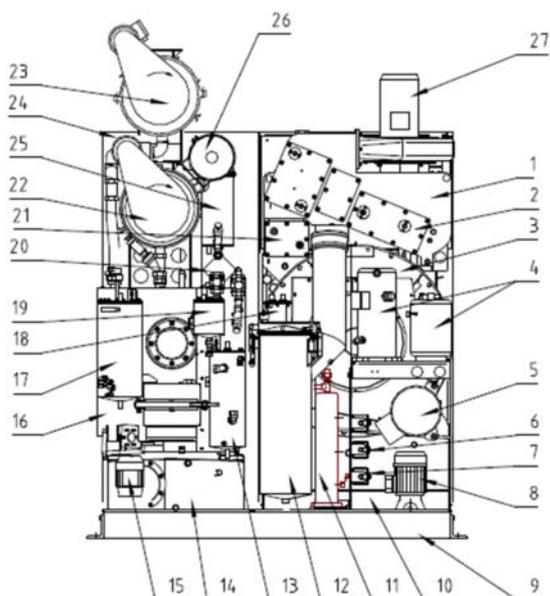


Abbildung 96: Aufbau Chemisch-Reinigungsmaschine

**Tabelle 21** zeigt die technischen Daten der eingesetzten Reinigungsmaschine.

**Tabelle 21: Technische Daten der Reinigungsmaschine**

Maschinendaten		
<u>Hersteller</u>		BÖWE
<u>Typ</u>		M15
<u>Trommel</u>		
Trommelvolumen		300 l
Durchmesser		820 mm
Tiefe		570 mm
Mantelfläche		1,47 m <sup>2</sup>
Lochfläche		0,12 m <sup>2</sup>
in % von Mantelfläche		8,6 %
Rippenzahl		3
Rippenhöhe		120 mm
in % vom Durchmesser		14,6 %
<u>Nennbeladung</u>		15 kg
Füllverhältnis		20 l/kg
<u>Trommelbewegung</u>		
Drehzahl	Reinigen	Stufenlos einstellbar, Standard: 33 min <sup>-1</sup>
	Schleudern	Stufenlos einstellbar, Standard: 600 min <sup>-1</sup>
g-Faktor	Reinigen	0,5 g
	Schleudern	165 g
Reversierung	Reinigen	Variabel einstellbar, 13/4
	Trocknen	Variabel einstellbar, 30/2/15
<u>Flottendaten</u>		
Temperatur		nicht geregelt; Kühlung beginnt bei T <sub>max</sub> von 25 °C
Flottendurchsatz		bis zu 175 l/min (lt. Herstellerangaben)
Filterart		Schleuderfilter
Filterfläche		2,4 m <sup>2</sup>
Filterhilfsmittel		keine
Filterdruck		0,6 bar (Minimum)
Destillierleistung		bis zu 80 l/h (Herstellerangaben)
<u>Anschlusswerte</u>		
Gesamt (vollständig elektrisch betrieben)		27 kW

### 5.1.1 Eingesetztes Reinigungsprogramm

Für die Untersuchungen wurde das vom Maschinenhersteller vorgegebene 2-Bad-Reinigungsprogramm für dunkle Bekleidung eingesetzt. Der Programmablauf ist in **Tabelle 22** dargestellt. Um reproduzierbare Untersuchungsbedingungen zu ermöglichen, wurde die Reinigungsmaschine wie folgt mechanisch und steuerungstechnisch modifiziert:

- Keine Nutzung der Niveausensoren, da nicht reproduzierbar.
  - Statt dessen Nutzung fest vorgegebener Pumpzeiten zur Erzielung reproduzierbarer Flottenverhältnisse
- Lösemitteltemperatur konstant bei 25 ± 2 °C

- Definierte Lösemittelvolumina aus Arbeits- und Reintank im 2. Bad

Tabelle 22: Programmablauf 2-Bad, dunkle Bekleidung

Programmschritt	Funktion	Dauer in s
Füllverhältnis nach Herstellerangaben 20 l/kg		
<b>1. Bad (Reinigen)</b>		
Umpumpen	2 bis 3 l von Arbeitstank „dunkel“ in Arbeitstank „dunkel“ (Auffüllen der Rohrleitungen und Vermeidung von Totvolumen)	30
Auffüllen	45 l von Arbeitstank „dunkel“ in Trommel	48
Umpumpen	von Wasserabscheider in Destillierblase	30
Reinigen	Lösemitteltemperatur $25 \pm 2$ °C mit Reversierung 13/4; 0,5 g; Flottenverhältnis: 3 l/kg	120
Abpumpen	in Destillierblase	60
Schleudern	in Destillierblase; g- Faktor: 73	90
Abpumpen	in Destillierblase Reversierung 13/4; 0,5 g	30
<b>Reinigungsdauer:</b>		<b>408</b>
<b>2. Bad (Spülen)</b>		
Umpumpen	Zum Auffüllen der Rohrleitungen und Vermeidung von Totvolumen 2 bis 3 l von Arbeitstank „dunkel“ in Arbeitstank „dunkel“	30
Aufpumpen A	17 l aus Arbeitstank „dunkel“	21
Aufpumpen B	50 l aus Reintank	66
	Filterkreislauf über Filter 1 (dunkel)	
Reinigen A	Filterkreislauf über Filter 1 (dunkel) Lösemitteltemperatur 22 bis 25 °C Reversierung 13/4; 0,5 g; Füllverhältnis: 5 l/kg	300
Reinigen B	Lösemitteltemperatur 22 bis 25 °C Dosierung von 150 ml Reinigungsverstärker Reversierung 13/4; 0,5 g	180 10
Abpumpen	in Arbeitstank „dunkel“ Reversierung 13/4; 0,5 g	90
Schleudern	in Arbeitstank „dunkel“; bei g- Faktor von 165	300

Abpumpen	in Arbeitstank „dunkel“	30
	Reversierung 13/4; 0,5 g	
Auflockern/Rollieren	Reversierung 13/4; 0,5 g	30
<b>Reinigungsdauer in s:</b>		<b>1057</b>
<b>Trocknen</b>		
Trocknen	10 m/s $\pm$ 1 Luftgeschwindigkeit	720
	Trommeleingangstemperatur: 75 °C	
	Reversierung 30/2/15 (rechts/Pause/links); 0,5 g	
	<i>danach Regelung über Trockenkontrollgerät</i>	
Desodorieren	5 m/s $\pm$ 1 Luftgeschwindigkeit	120
	Reversierung 13/4; 0,5 g	
<b>Trocknungsdauer in s:</b>		<b>840</b>
<b>Gesamtdauer in s:</b>	Reinigen + Trocknen	<b>2305</b>
		<b>38,42 min</b>

Die dosierte Menge an Reinigungsverstärker (Benzapon Sanofresh, Firma Büfa) wurde auf 150 ml pro Charge (entspricht 10 ml/kg<sub>Ware</sub>) eingestellt, da dies einer praxisüblichen Menge entspricht.

### 5.1.2 Ergebnisse

Nachfolgend sind der Energie- und Ressourcenbedarf für Versuchsreihen mit Variation der den Energiebedarf bzw. den Kühlwasserverbrauch bestimmenden Einflussgrößen dargestellt.

Um den Energiebedarf für die Trocknung der Ware und zur Lösemitteldestillation separat bestimmen zu können, wurde zunächst eine Versuchsreihe ohne Destillation (Destillationsanteil 0 %) durchgeführt. **Abbildung 97** und **Abbildung 98** zeigen die Ergebnisse für das vom Hersteller empfohlene Basisverfahren mit KWL für den Destillationsanteil von 100 % und 0 %.

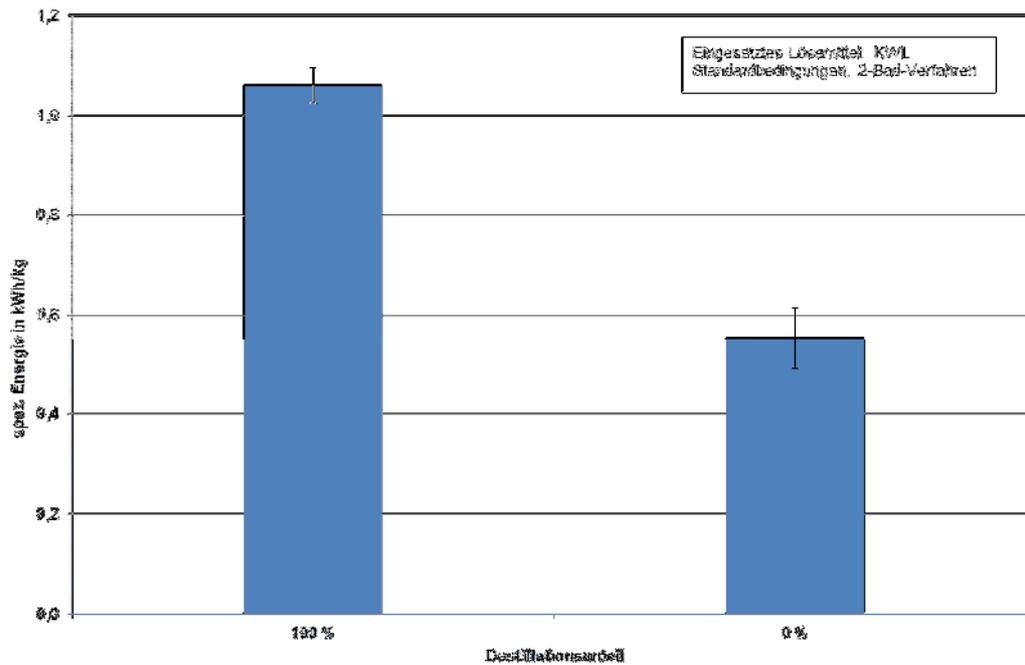


Abbildung 97: Spezifischer Gesamtenergiebedarf in Abhängigkeit vom Destillationsanteil

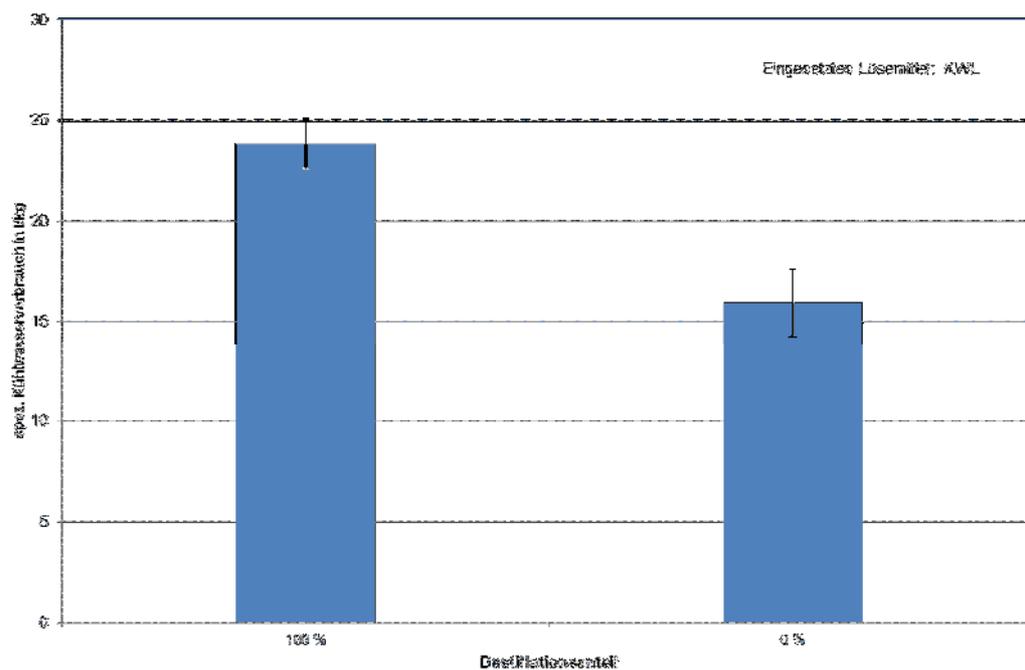
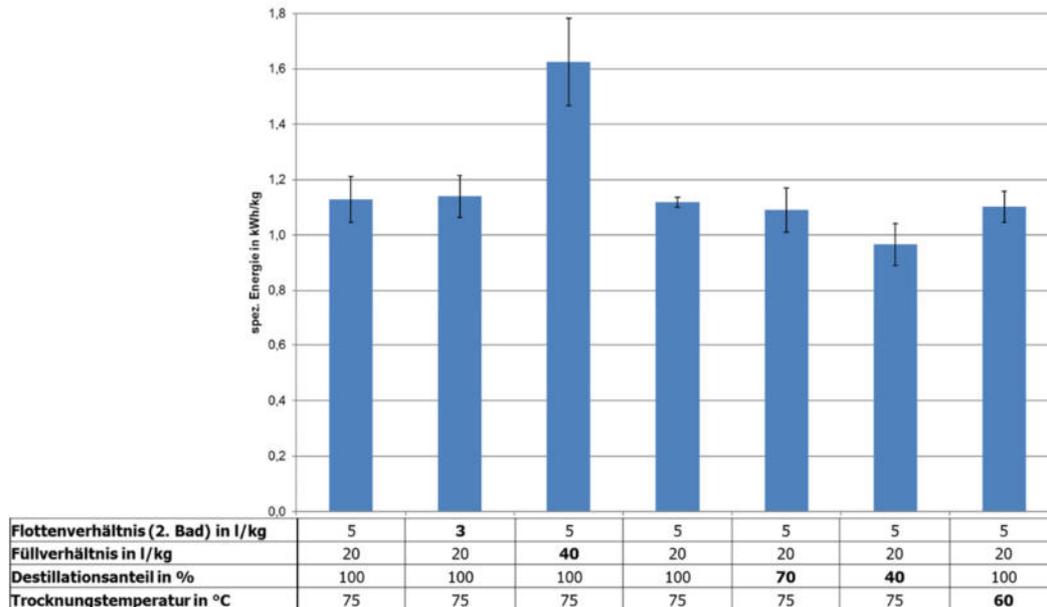


Abbildung 98: Spezifischer Kühlwasserbedarf in Abhängigkeit vom Destillationsanteil mit KWL

Kühlwasser dient zur Kondensation des Lösemittels aus der Destillationsblase und zur Rückgewinnung des Lösemittels in der Trocknungsluft. Danach werden erwartungsgemäß ohne Destillation verringerte Werte des Gesamtenergiebedarfs und des Kühlwasserbedarfs erzielt.

Abbildung 99 zeigt den spezifischen Energiebedarf bei Variation ausgewählter Reinigungsprozessparameter mit KWL, die Einfluss auf den Energiebedarf haben.



**Abbildung 99: Spezifischer Gesamtenergiebedarf unter Variation der Reinigungsparameter bei KWL**

Der geringste Energiebedarf wird danach beim Destillationsanteil von 40 % erzielt, der um 0,3 kWh/kg niedriger als beim Basisverfahren mit 100 % Destillationsanteil ist. Außerdem wird der negative Einfluss einer zu niedrigen Beladungsmenge (Füllverhältnis 40 l Trommelvolumen pro kg Beladung) auf den Energiebedarf deutlich. Er liegt bei halbierten Beladungsmenge (Füllverhältnis 40 l/kg) um etwa 50 % höher als beim Basisverfahren mit dem Füllverhältnis 20 l/kg.

Weitere Verfahrensänderungen des Flottenverhältnis, des Lösemittelverschmutzungsgrades oder Trocknungstemperatur zeigten unter den angewandten Untersuchungsbedingungen keinen signifikanten Einfluss auf den spez. Energiebedarf.

Weitere Untersuchungen zum spezifischen Energiebedarf mit anderen Lösemitteln wurden anlehnend an den in **Tabelle 22** angegebenen Bedingungen durchgeführt. Da die untersuchten Lösemittel unterschiedliche Temperaturen zur Trocknung und Destillation erfordern, wurden diese an die entsprechenden Lösemittel angepasst.

**Abbildung 100** zeigt den gemessenen spezifischen Energiebedarf der untersuchten Lösemittel im 2-Bad-Verfahren beim Destillationsanteil von 100 % im Basisverfahren mit angepassten Temperaturen für Trocknung und Destillation.

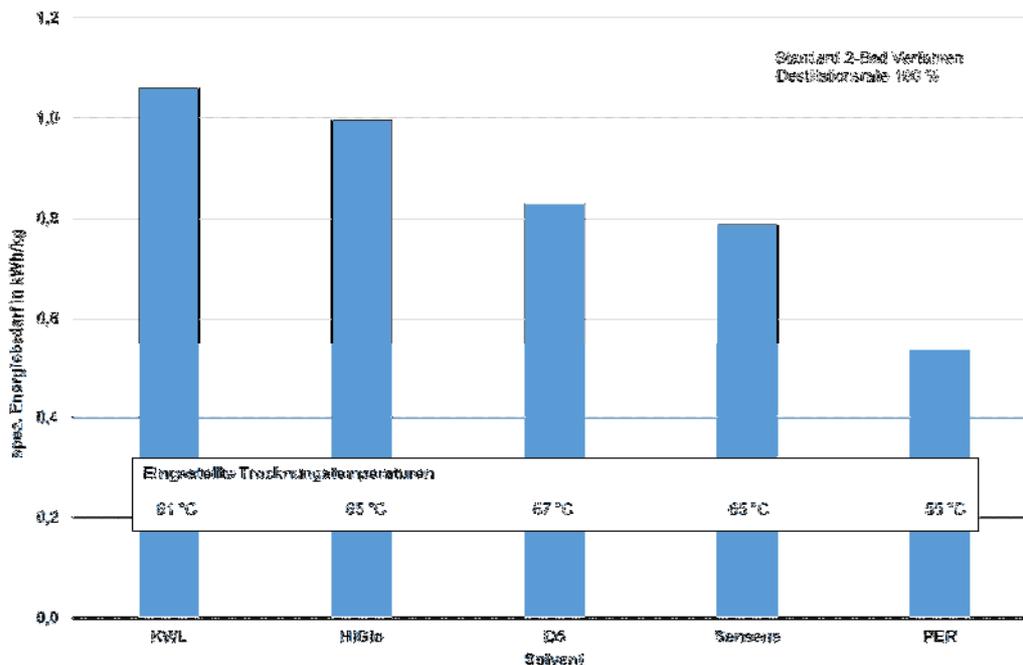


Abbildung 100: Spezifische Gesamtenergiebedarf unterschiedlicher Lösemittel, Basisverfahren

## 5.2 Reduzierung des Destillationsanteils

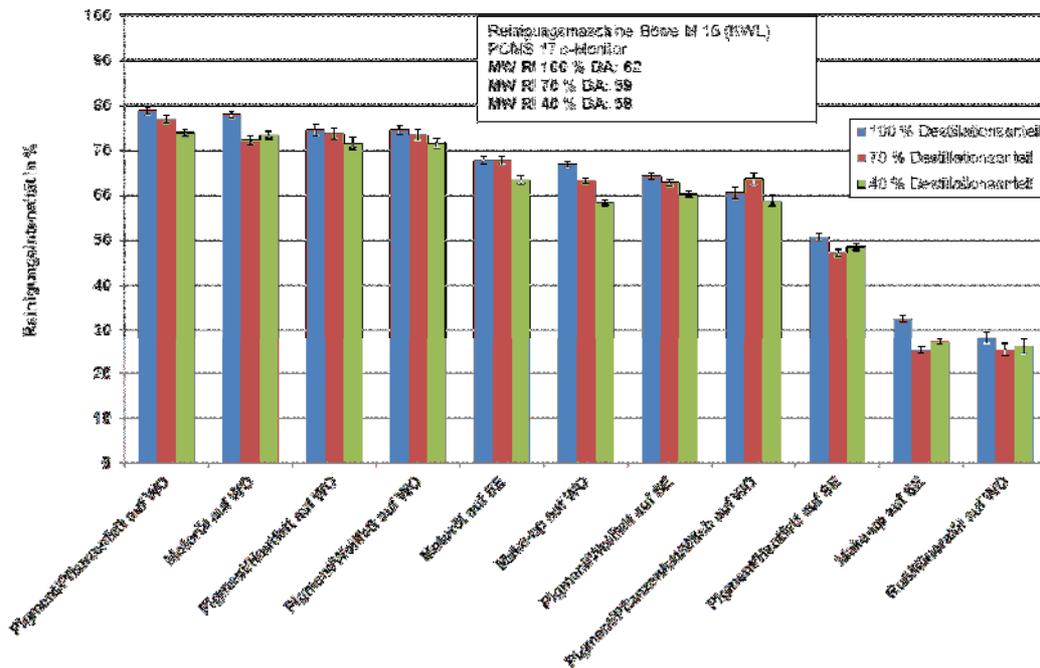
Einige Maschinenhersteller bieten Reinigungsmaschinen ohne Destillation an. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Schmutzbestandteile in der Flotte über das üblicherweise vorhandene Filtersystem, ggf. durch Verwendung spezieller Filtersysteme, aus der Flotte ausreichend entfernt werden. Neben reduzierten Maschinenanschaffungskosten haben Verfahren ohne Destillation einen deutlich reduzierten Energiebedarf (siehe Kapitel 5.2). Um das Lösemittel nicht zu stark zu verschmutzen, wird in diesen Maschinen zudem oft auf die Bearbeitung von bestimmten Artikeln (dunkle, stark mit Pigmentschmutz behaftete Teile) verzichtet.

Idealerweise wird beim Arbeiten mit Destillation das erste, verschmutzte Reinigungsbad (insbesondere bei dunkler schwerer Ware) der Destillation zugeführt und das zweite Bad (Spülbad), gespeichert im „Arbeitstank“, für die nächste Reinigung als erstes Bad eingesetzt. Als Spülflotte wird destilliertes, „sauberes“ Lösemittel eingesetzt. Aus Energieeinsparungsgründen sollte der Destillationsanteil möglichst niedrig eingestellt werden, wobei allerdings hohe Schmutzbelastung der Flotte zu ungenügender Schmutzentfernung und Vergrauung führt.

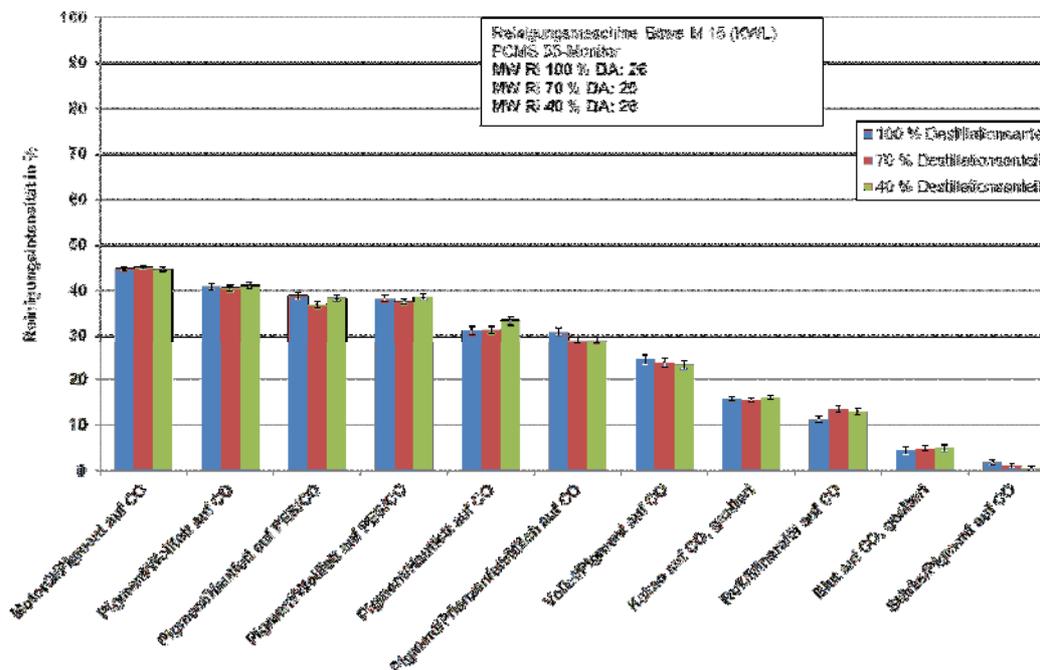
Aus diesem Grund wurde neben der Messung des Energieverbrauchs bei verändertem Destillationsanteil auch die dabei erzielbare Schmutzentfernung und Vergrauung bewertet (**Abbildung 97, Abbildung 98** und **Abbildung 99**).

Für die Untersuchungen wurde unter Laborbedingungen das vom Hersteller vorgegebene 2-Bad-Programm (Basisverfahren) mit dem Lösemittel KWL durchgeführt, wobei der Destillationsanteil schrittweise von 100 % des Lösemittels aus dem ersten Bad auf 0 % reduziert wurde (siehe **Abbildung 97, Abbildung 98**). Der nicht zu destillierende Anteil des Lösemittels wurde direkt in den Arbeitstank zurückgepumpt. Die Schmutzentfernung und Vergrauung wurden nach bis zu 5 Reinigungszyklen bestimmt. Dabei wurde in jeden einzelnen Reinigungszyklus eine definierte Menge an Schmutzfracht in das erste Bad eingebracht, wodurch sich die Belastung des Lösemittels schrittweise erhöhte.

Die erzielten Ergebnisse zur Schmutzentfernung und Vergrauung bei Variation des Destillationsanteils zeigen **Abbildung 101**, **Abbildung 102** und **Abbildung 103**.



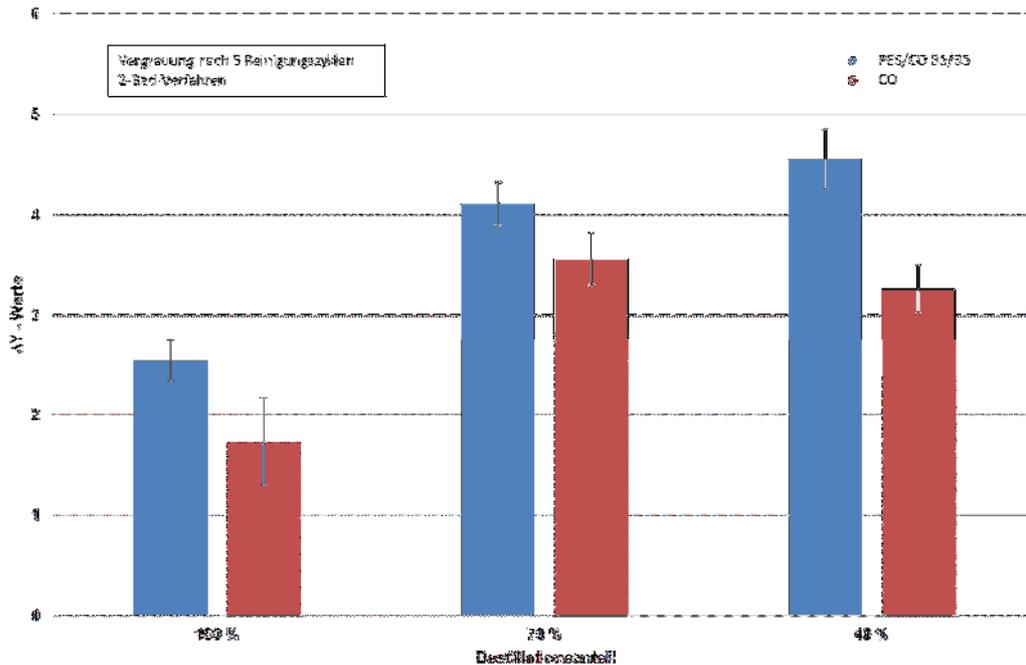
**Abbildung 101: Schmutzentfernung unter Variation des Destillationsanteils auf PCMS 17c Monitor, Basisverfahren, KWL**



**Abbildung 102: Schmutzentfernung unter Variation des Destillationsanteils auf PCMS-55 Monitor, Basisverfahren, KWL**

Danach ist tendenziell erkennbar, dass die Schmutzentfernung mit sinkendem Destillationsanteil abnimmt.

**Abbildung 103** zeigt die Vergrauung der sauberen Monitore nach fünf Reinigungszyklen.



**Abbildung 103: Vergrauung nach 5 Reinigungszyklen unter Variation des Destillationsanteils, KWL, Basisverfahren**

Nach **Abbildung 103** führt bereits die Reduzierung des Destillationsanteils um 30 % zu sichtbarer Vergrauung. Mischgewebe (PES/CO 65/35) weist stärkere Vergrauung auf als Baumwolle (CO).

### 5.3 Sprühreinigungsverfahren

Beim Sprühreinigungsverfahren wird das Lösemittel KWL oder Cyclosiloxan anstatt im Reinigungsbad über eine Düse auf die in der Trommel befindlichen Textilien aufgebracht. Die reversierende Trommel wird dabei kontrolliert vorgewärmt. In definierten Intervallen wird mit und ohne Unterstützung durch erwärmte Luft das Lösemittel in die Trommel auf die Ware gesprüht. Zwischen den einzelnen Sprühintervallen soll nach Herstellerangaben durch wechselnde Trommeldrehzahlen der mechanische Reinigungseffekt verstärkt werden. Die Lufteindüsung oberhalb der Beladetür in die Trommel soll nicht nur eine schnelle und intensive Trocknung gewährleisten, sondern auch wesentlich das Reinigungsergebnis bestimmen. Bei der Reinigung in diesem dynamischen Sprühprozess mit hoher Luftwechselrate soll das Lösemittel die Ware vollständig durchdringen. Es wird weder geschleudert, noch destilliert. Dies soll nach Herstellerangaben stark reduzierten Verbrauch an Energie und Kühlwasser zur Folge haben. Der im Lösemittel gelöste Schmutz gelangt in den Tank. Die parallel zur Trocknung verlaufende Tank-Lösemittelfiltration soll dafür sorgen, dass die gelösten Schmutzsubstanzen und Fremdstoffe von dem eingesetzten speziellen Farbstoff-Filter aufgenommen werden. Der nicht im Lösemittel gelöste Schmutz wird vom Nadelfänger und insbesondere vom Luftfiltersystem zurückgehalten. Diese beiden Bauteile müssen daher nach jeder Charge gereinigt werden. Geringere Schmutzmengen fallen im Wasserabscheider an und werden täglich mit dem Ablassen des Kontaktwassers entnommen. Verunreinigungen im Trommelgehäuse werden nach 25 Chargen durch ein computergesteuertes Trommelspülprogramm in den Nadelfänger gespült und dort entnommen ([6], [11], [19], [20]).

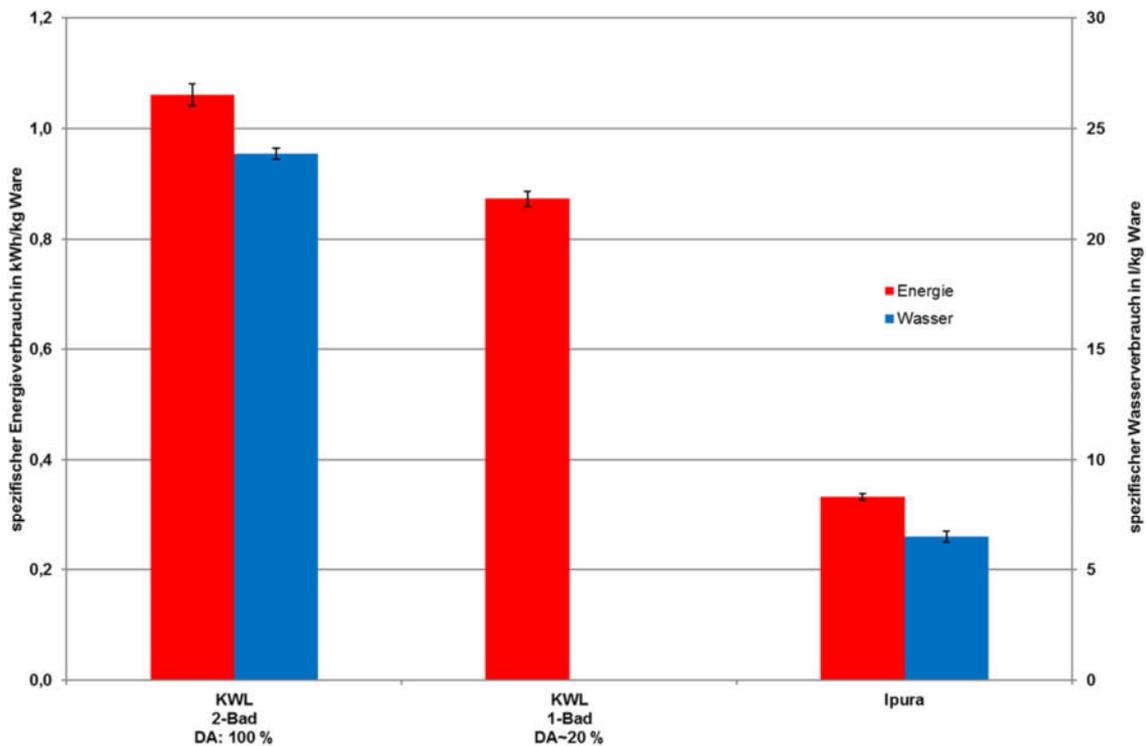
Im Rahmen der hier vorgenommenen Untersuchungen wurden die erzielbaren Einsparungen an Energie und Wasser sowie die erzielbare Reinigungswirkung und Vergrauung im Vergleich

zu herkömmlichen Reinigungsverfahren unter definierten, praxisüblichen Bedingungen ermittelt. Dazu wurde das vom Hersteller vorgegebene 2-Bad-Basisverfahren, das lt. Umfrage das am häufigsten verwendete Reinigungsverfahren darstellt (siehe auch Tabelle 22) – , ein Einbad-Verfahren und das Sprühreinigungsverfahren miteinander verglichen. Während das Sprühreinigungsverfahren in der Maschine Ipura durchgeführt wurde, sind das Ein- und Zweibadverfahren in einer Reinigungsmaschine der Firma Böwe M15 (siehe Tabelle 21) untersucht worden. **Tabelle 23** zeigt den Programmablauf des Einbadverfahrens.

**Tabelle 23: Programmablauf 1-Bad, dunkle Bekleidung**

Programmschritt	Funktion	Dauer in s
Füllverhältnis nach Herstellerangaben 20 l/kg		
<b>1. Bad (Reinigen)</b>		
Umpumpen	2 bis 3 l von Arbeitstank „dunkel“ in Arbeitstank „dunkel“ (Auffüllen der Rohrleitungen und Vermeidung von Totvolumen)	30
Auffüllen	Aus Arbeitstank „dunkel“ in Trommel	90
Kontaktwasser leeren	Kontaktwasserbehälter vollständig in Trommel pumpen	30
Auffüllen	Aus Reintank in Trommel (auf hohes Niveau)	60
Reinigen	Im Filterkreislauf; Flottenverhältnis: 5 l/kg	300
Reinigen 2	Pumpenkreislauf ohne Filter Dosierung von Reinigungsverstärker (10 ml/kg)	180
Abpumpen	in Arbeitstank „dunkel“	90
Schleudern	in Destillierblase; g- Faktor: 73	315
Abpumpen	in Destillierblase Reversierung 13/4; 0,5 g	30
<b>Reinigungsdauer:</b>		<b>1125</b>
<b>Trocknen</b>		
Trocknen	10 m/s $\pm$ 1 Luftgeschwindigkeit Trommeleingangstemperatur: 75 °C Reversierung 30/2/15 (rechts/Pause/links); 0,5 g	720
<i>danach Regelung über Trockenkontrollgerät</i>		
Desodorieren	5 m/s $\pm$ 1 Luftgeschwindigkeit Reversierung 13/4; 0,5 g	120
<b>Trocknungsdauer in s:</b>		<b>840</b>
<b>Gesamtdauer in s:</b>	Reinigen + Trocknen	<b>1965</b>
		<b>32,75 min</b>

**Abbildung 104** zeigt den spezifischen Energie- und Wasserverbrauch der drei untersuchten Verfahren.



**Abbildung 104: Spezifischer Energie- und Wasserverbrauch von Ein- und Zweibadverfahren im Vergleich zum Sprühreinigungsverfahren (Ipura), alles KWL (\*DA = Destillationsanteil)**

Es wird deutlich, dass das Sprühreinigungsverfahren im Vergleich zum 2-Bad-Verfahren etwa 73 % niedrigeren Energiebedarf aufweist. Der spezifische Wasserverbrauch von etwa 24 l/kg<sub>Ware</sub> im 2-Bad-Verfahren (100 % Destillationsanteil) beträgt bei der Sprühreinigung lediglich etwa 6,5 l/kg<sub>Ware</sub> (Reduzierung ebenfalls um 73 %). Das Sprühreinigungsverfahren stellt demnach eine gute Möglichkeit dar, Ware energetisch günstig aufzubereiten. Das Einbad-Verfahren (20 % Destillationsanteil) zeigte im Vergleich zum 2-Bad-Verfahren zum Zeitpunkt der Untersuchungen lediglich einen um 20 % geringeren Energiebedarf.

Weitere Vorteile des Sprühreinigungsverfahrens liegen in der Maschinenkonstruktion, die im Vergleich zu herkömmlichen Badmaschinen bauartbedingt deutlich kleiner ist und eine wesentlich geringere Masse aufweist. Das bietet Reinigungsbetrieben die Möglichkeit, in den oftmals kleinen und verwinkelten Betrieben ohne großen Aufwand eine solche Maschine aufzustellen. Außerdem können die geringeren Anschaffungskosten der Maschine genutzt werden, um die Maschinenteknik kostengünstig zu modernisieren.

Diesen Vorteilen entgegen steht die verringerte Reinigungswirkung. **Abbildung 105** zeigt die erzielte Schmutzentfernung an Prüfmonitoren, die speziell zur Bewertung der Reinigungsperformance von Reinigungsmaschinen entwickelt wurden. **Abbildung 106** zeigt die Ergebnisse an Prüfmonitoren für Waschverfahren.

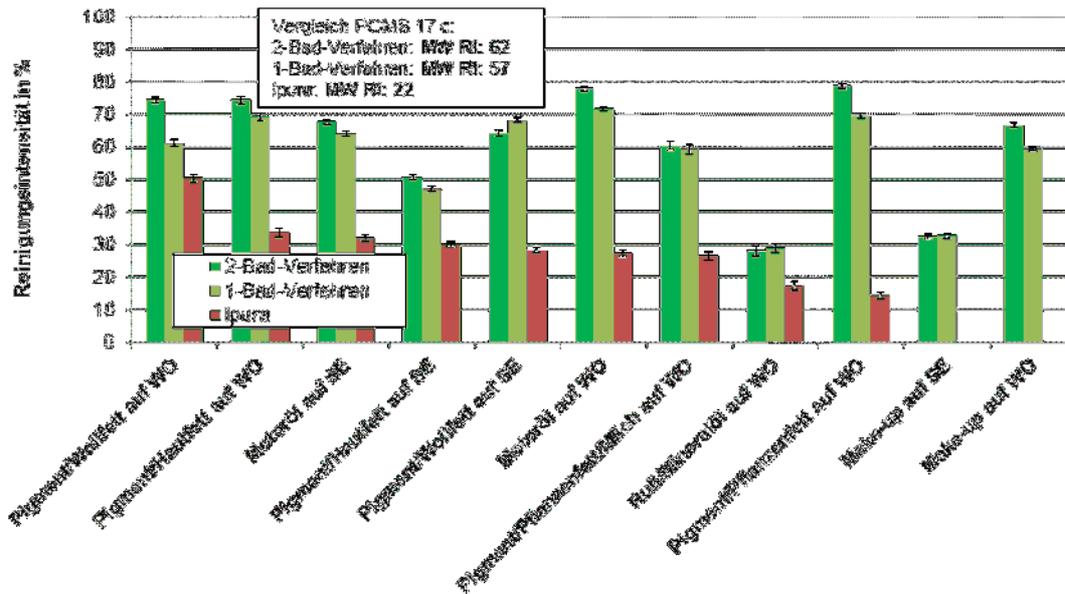


Abbildung 105: Schmutzentfernung (RI-Werte) auf Standard-Prüfgewebe (PCMS 17-c) für Reinigungsmaschinen

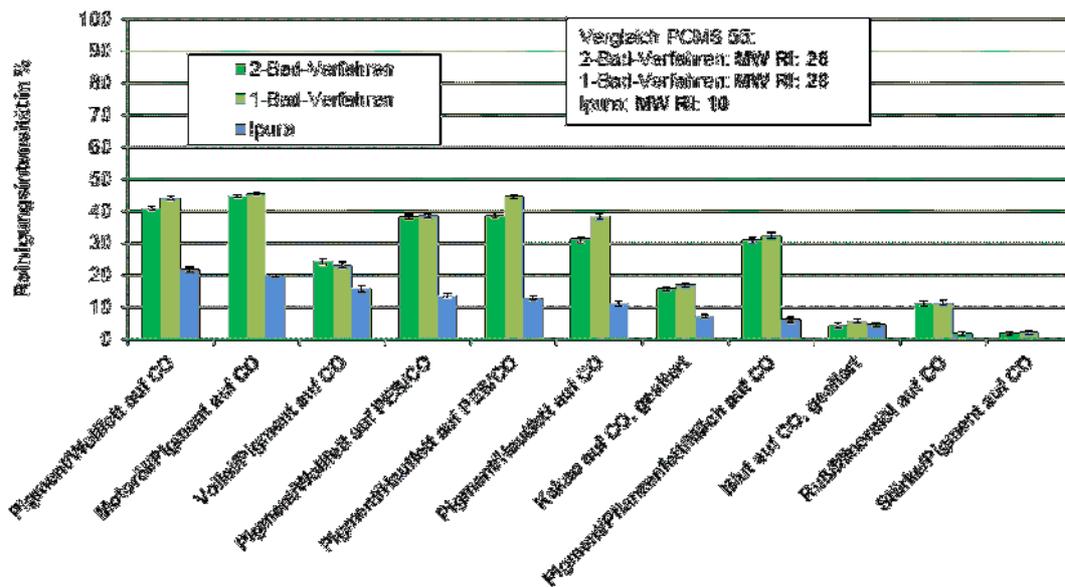


Abbildung 106: Schmutzentfernung (RI-Werte) auf Standard-Prüfgewebe (PCMS-55) für Waschmaschinen

Abbildung 107 zeigt die erzielten Vergrauungswerte der unterschiedlichen Reinigungsverfahren.

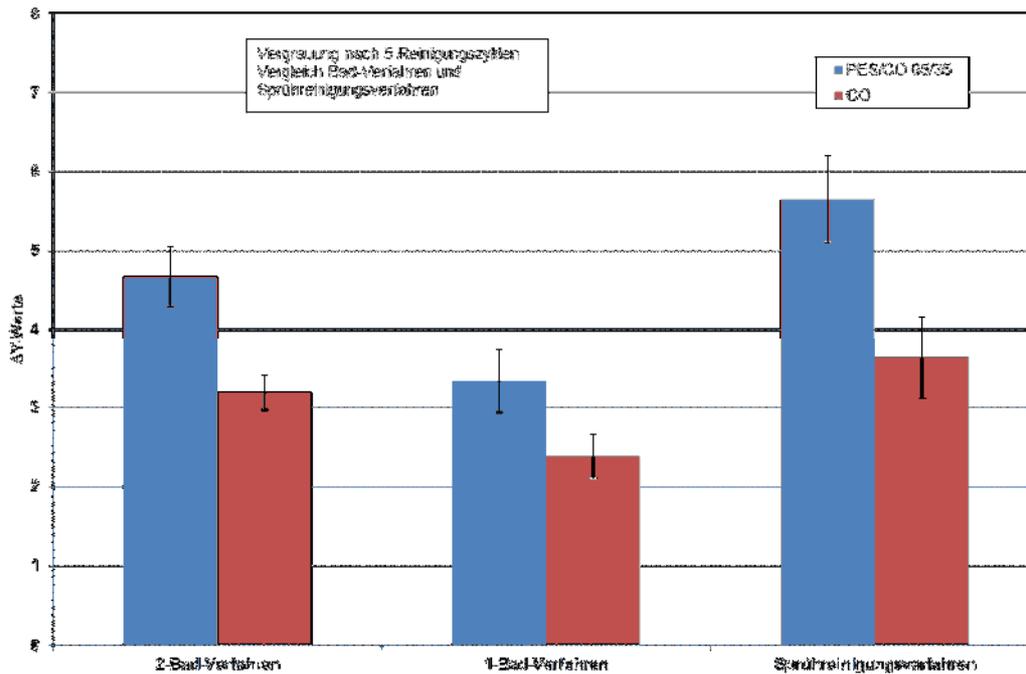


Abbildung 107: Vergrauung ( $\Delta Y$ -Werte) auf Standard-Prüfgewebe (CO und PES/CO 65/35)

Diese Untersuchungen wurden unter Laborbedingungen mit sauberer Ware und definierter Menge an Schmutzballast durchgeführt. Es wird deutlich, dass synthetische Fasermaterialien bekanntermaßen stärker zur Vergrauung neigen als Baumwollfasern. Ansonsten ist der Grad der Vergrauung bei allen Verfahren als gering einzustufen.

#### 5.4 Zentrale/Dezentrale Beheizung von Einzel-Finishgeräten

Zur Ermittlung des ökologischen und ökonomischen Grenzfalles wurde ein Szenario auf Basis der in Betrieben ermittelten Daten erstellt.

Tabelle 24: Übersicht Dampferzeugung dezentral / zentral

	Kleindampferzeuger	Schnelldampf- erzeuger
<b>Energieformen</b>	Elektrische Energie	Erdgas
<b>Energiekosten [€/kWh]</b>	0,20	0,06
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen [kg/kWh]</b>	0,535	0,22
<b>Nutzungsgrad</b>	95%	90%/60%
<b>Leistungsdimension Dampf</b>		DN 20 mit 20 mm Dämmung (45 W/m)
<b>Leistungsdimension Kondensat</b>		DN 15 mit 15 mm Dämmung (26 W/m)
	Anbindeleitungen (Panzerschlauch von Dampfleitung zum Verbraucher entfallen, da in beiden Fällen vorhanden)	
<b>Betriebsstunden</b>	4 h/d, 200 d/a → 800 h/a	
<b>Dampfeigenschaften</b>	6 bar (abs), 159 °C, 2755 kJ/kg, ( -0,77 kWh/kg)	

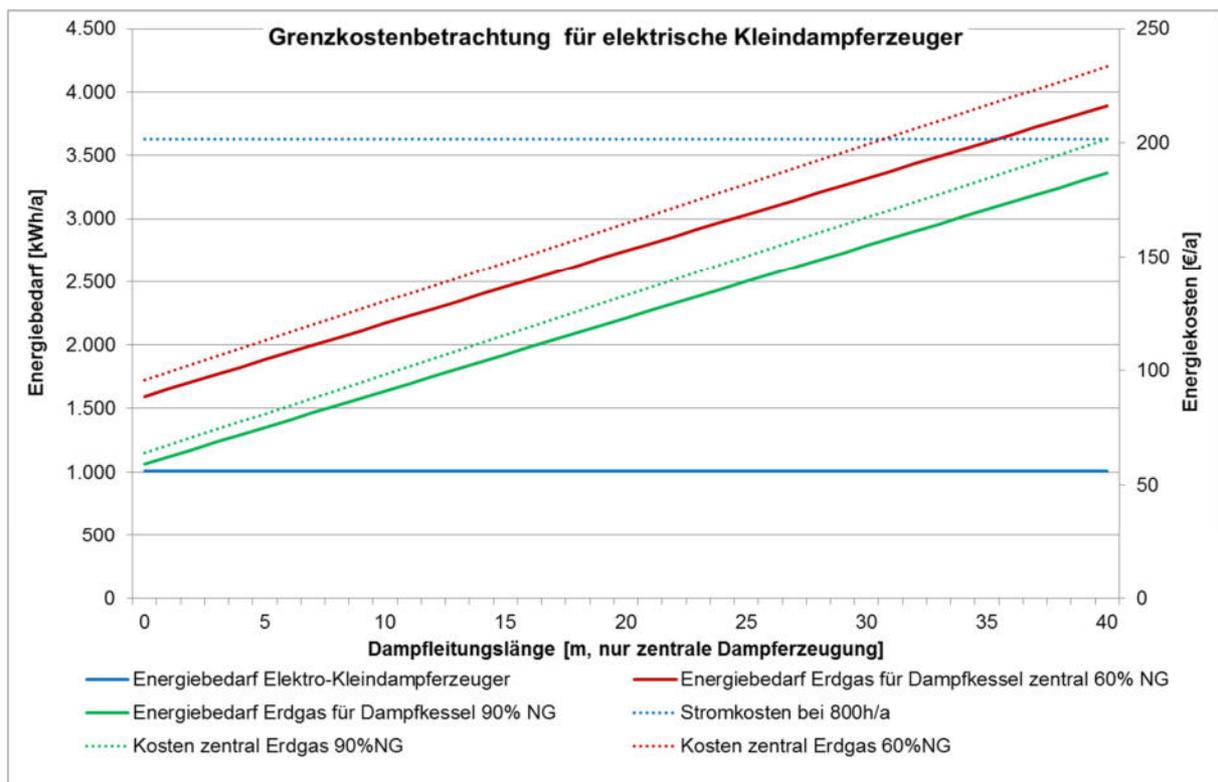
Wie in **Tabelle 24** zu sehen ist, wurden ein elektrisch beheizter Kleindampferzeuger und ein erdgasbeheizter Schnelldampferzeuger mit zwei unterschiedlichen Nutzungsgraden definiert. Für alle drei Dampfversorgungen gelten die gleichen Nutzungszeiten und Dampf Eigenschaften.

Zur Beantwortung der Frage, ab wann eine dezentrale Dampfversorgung mit elektrischer Energie wirtschaftliche Vorteile hat, wurde iterativ der ökonomische Grenzfall auf eine Leitungslänge von 40 m gesetzt, um die dabei mögliche Dampfleistung zu bestimmen (Schnittpunkt Stromkosten zu Erdgaskosten bei 90% Nutzungsgrad). Dieser Schnittpunkt wurde bei einer Dampfleistung von 1,6 kg/h erreicht.

Wie in **Abbildung 108** zu sehen ist, verkürzt sich die maximale wirtschaftliche Dampfleitungslänge mit sinkendem Nutzungsgrad des erdgasbeheizten Schnelldampferzeugers. Bei 60% Nutzungsgrad des Schnelldampferzeugers beträgt die gerade noch wirtschaftliche Leitungslänge ca. 32 m.

Betrachtet man jedoch den CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Dampfversorgungen und wieder den Grenzfall bei einer Dampfleistung von 1,6 kg/h, so liegen die maximalen Leitungslängen für die zentrale Dampfversorgung deutlich niedriger.

**Abbildung 109** zeigt, dass bei einem Nutzungsgrad von 90% der zentralen Dampfzeugung ein Gleichstand der CO<sub>2</sub>-Emissionen (bei 1,6 kg/Dampfleistung) bei 24 m liegt. Diese Leitungslänge reduziert sich mit sinkendem Nutzungsgrad und beträgt nur noch ca. 15 m bei einem Nutzungsgrad von 60%.



**Abbildung 108: Grenzkostenbetrachtung für elektrische Kleindampferzeuger**

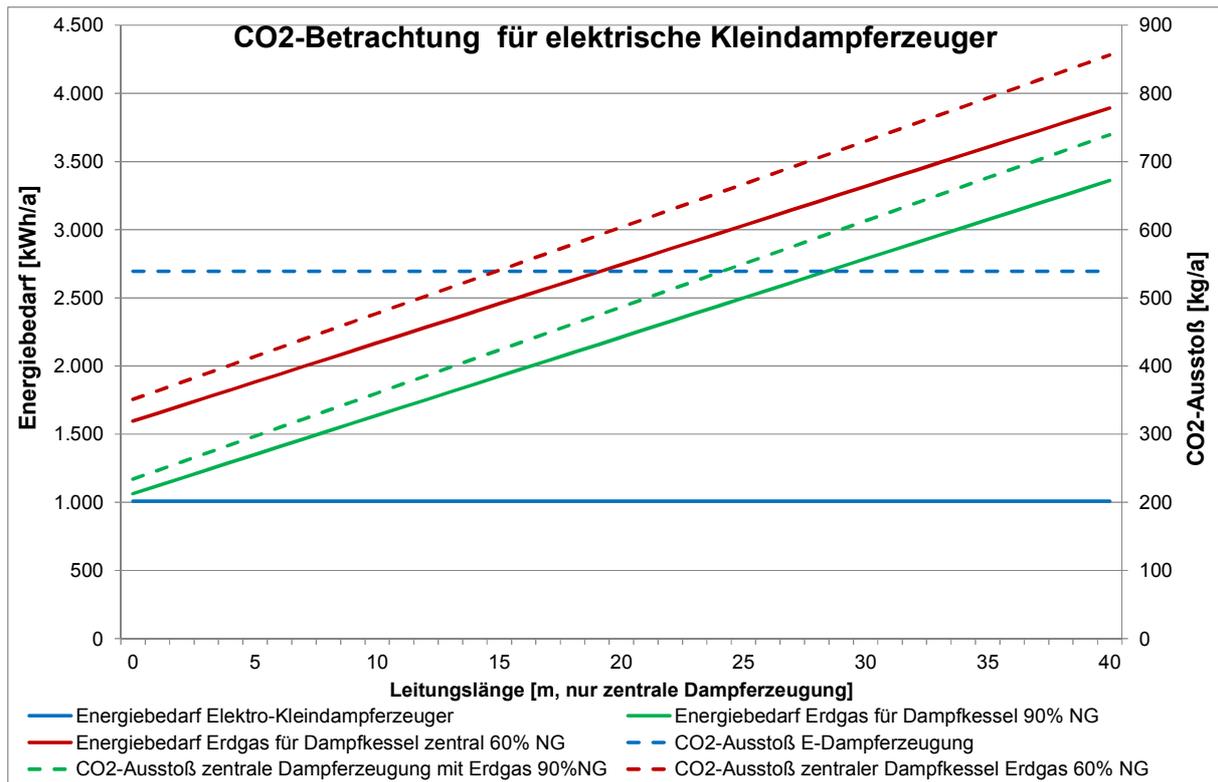


Abbildung 109: CO2-Betrachtung zentrale/dezentrale Dampferzeugung

Zusammenfassend kann der sinnvolle Einsatz von elektrischen Kleindampferzeugern wie folgt definiert werden:

- Geeignet für Sonderanwendungen
  - Geringe Dampfmengen (<1,6 kg/h)
  - Geringe Betriebsstundenzahl (< 800h/a)
  - Wahlweise kann bei geringeren Betriebsstunden die Dampfmenge höher bzw. bei höherer Betriebsstundenzahl die Dampfmenge geringer sein
- Messung der Dämpfdauer oder Dampfmengenmessung vor Umstellung bzw. Einbau eines elektr. Kleindampferzeugers sehr empfehlenswert
- Wirtschaftlichkeit abhängig von der Differenz zwischen Strompreis und Erdgas- bzw. Heizölpreis
  - Je höher die Differenz, desto unwirtschaftlicher der Umstieg auf elektrische Dampferzeugung
  - Derzeitiger Preisunterschied ca. 12 Ct/kWh, jedoch bis zu 20 Ct/kWh (netto) möglich
  - Weitere Kostenvorteile durch Wegfall eines zentralen Dampferzeugers in der Praxis nicht gegeben.
- Der Wechsel zu elektr. Kleindampferzeugern kann technische Änderungen erfordern:
  - Ab 11 kW elektr. Leistung angepasste Absicherung größer 16 Ampere bei 400 Volt Versorgungsspannung nötig
  - Leitungsdimensionierung
  - Hausanschlusswert
  - Ggfs. Vertragsanpassung mit EVU

- Mit steigendem Anteil der erneuerbaren Energie an der Stromerzeugung könnte der Kohlendioxidausstoß bei der Dampferzeugung gegenüber Erdgas gesenkt und ein ökologischer Vorteil generiert werden.
- Ohne Ausgleich der Kostennachteile ist ein Umstieg auf elektrische Dampferzeuger derzeit nicht darstellbar.

### 5.5 Reduzierung des Sprühdampfeinsatzes beim Finishen

Zur Ermittlung einer möglichen Energieeinsparung bei Einzelplatzfinishern durch reduzierten Sprühdampfeinsatz wurden für die Untersuchungen unter Technikumsbedingungen exemplarisch drei typische Arten von Finishern eingesetzt:

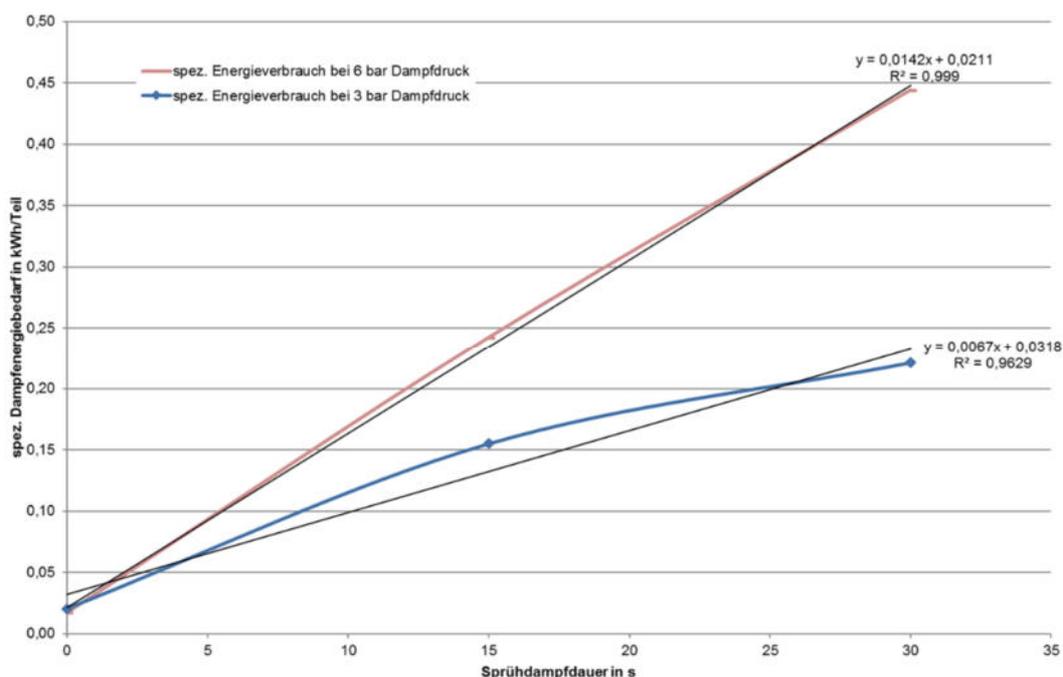
- Hemdenfinisher (Hersteller: Firma Veit, dampfbeheizt)
- Garderobenfinisher (Hersteller: Firma Veit, dampfbeheizt)
- Hosentopper (Hersteller: Firma Veit, dampfbeheizt, mit elektrischer Erzeugung von Heißluft)

Bei allen drei Geräten handelte es sich um übliche Geräte neueren Baujahrs (2014 - 2016).

Die benötigte Dampfmenge für den Sprühdampfeinsatz wurde mittels in die Zuleitung eingebauten Dampfmenzähler erfasst. Zur Quantifizierung der Dampfmenge in Abhängigkeit der eingestellten Sprühdampfdauer wurden unter Variation des Dampfdrucks (3 und 6 bar Sprühdampf) die Dampfmenzen ermittelt. Anschließend wurde die Energiemenge in kWh aus der gemessenen Dampfmenge berechnet.

Die Untersuchungen zur Bestimmung der Dampfverbräuche wurde ohne Textilien durchgeführt.

**Abbildung 110** bis **Abbildung 112** zeigen die spezifischen Dampfenergiebedarfe der drei Finisher bei unterschiedlicher Sprühdampfdauer bei 3 und 6 bar.



**Abbildung 110: Spezifischer Dampfenergiebedarf, Garderobenfinisher**

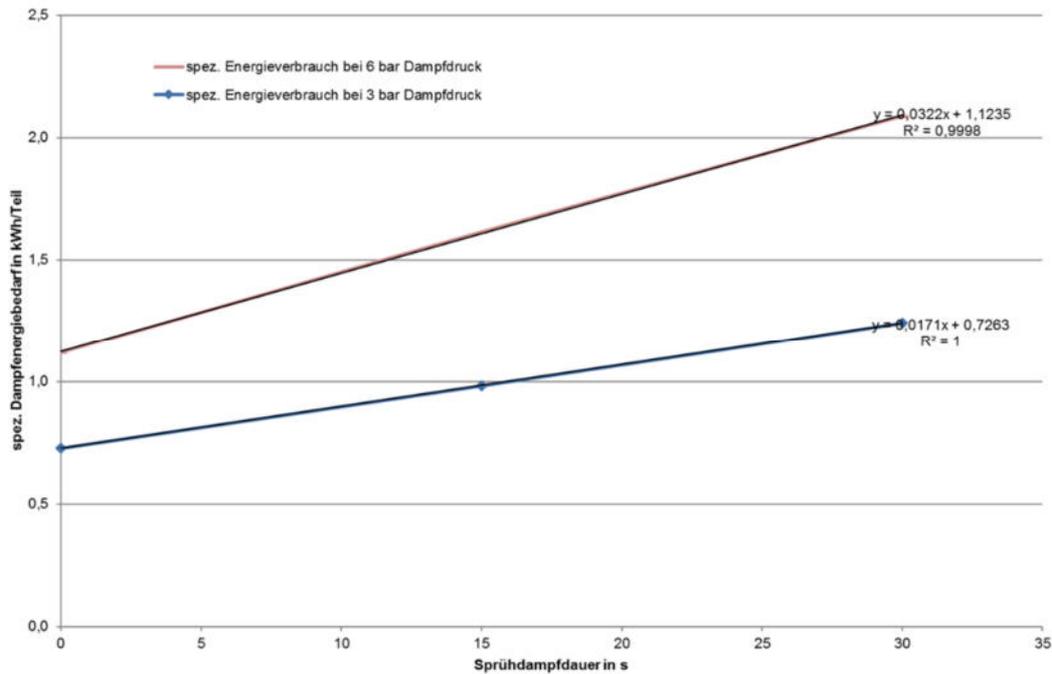


Abbildung 111: Spezifischer Dampfenergiebedarf, Hemdenfinisher

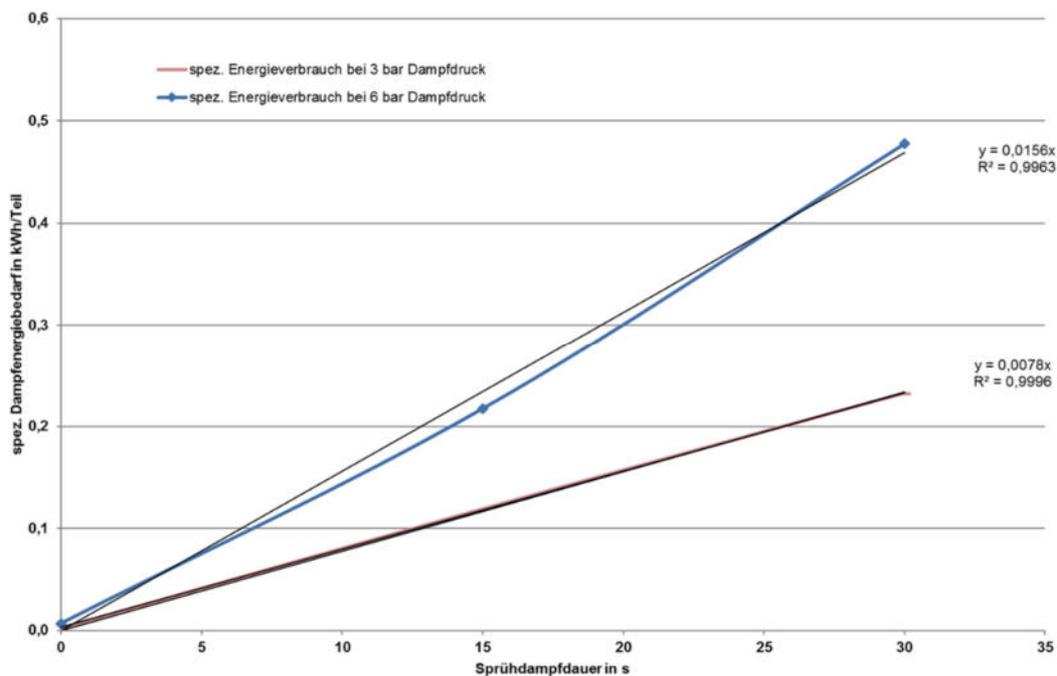


Abbildung 112: Spezifischer Dampfenergiebedarf, Hosentopper

Basierend auf den ermittelten Funktionen zwischen Sprühdampfdauer und Dampfverbrauch wurden die Energiemengen für die vom Hersteller empfohlenen Dämpfzeiten bei 3 und 6 bar Dampfdruck für die drei Finishgeräte berechnet.

**Tabelle 25** zeigt die variierten Versuchsparmeter bei den Energieverbrauchsmessungen. Dabei wurde die Heißluftdauer zum Trocknen der Ware immer konstant gehalten. Die Dämpfdauer wurde von den empfohlenen Standardwerten um 50 und 100 % (ohne Sprühdampfeinsatz) reduziert.

**Tabelle 25: Variierte Finishparameter**

	Standard		Reduzierung um 50 %		Reduzierung um 100 %	
	Dämpfdauer in s	Heißluftdauer in s	Dämpfdauer in s	Heißluftdauer in s	Dämpfdauer in s	Heißluftdauer in s
Garderoben- finisher	8	15	4	15	0	15
Hosen- finisher	5	15	3	15	0	15
Hemden- finisher	4	40	2	40	0	40

Daraus ergaben sich die in **Tabelle 26** angegebenen spezifischen Energieverbrauchswerte.

**Tabelle 26: Spez. Energiebedarf unter Variation der Dämpfdauer bei 3 und 6 bar Dampfdruck**

	Standardbedingungen			Reduzierung um 50 %			Reduzierung um 100 %		
	Garderoben- finisher	Hosen- topper	Hemden finisher	Garderoben- finisher	Hosen- topper	Hemden finisher	Garderoben- finisher	Hosen- topper	Hemden- finisher
Spez. Energie- bedarf bei 3 bar in kWh/Teil	0,08	0,04	0,79	0,04	0,02	0,4	0	0	0
Spez. Energie- bedarf bei 6 bar in kWh/Teil	0,13	0,08	1,25	0,07	0,04	0,63	0	0	0

Es wird deutlich, dass von den ausgewählten Finishern der Hemdenfinisher mit Abstand den größten Dampfenergiebedarf aufweist und somit eine Reduzierung der Dämpfdauer an diesem Gerät die größten Einspareffekte zur Folge hätte. Die erzielbaren Einsparungen nehmen linear mit der Dämpfdauer zu.

Dieser potenziellen Einsparung entgegen steht die erzielbare Finishqualität. Eine ausreichende Entfernung von Knittern ist nach bisherigen Erkenntnissen nur bei Dampfeinsatz bzw. ausreichender Wassermenge in den Textilien möglich. Um dies zu klären, wurden zusätzliche Untersuchungen zur Finishqualität durchgeführt. Die Ermittlung der Glätte wurde nach dem im **Kapitel 4.2.3.5** beschriebenen Verfahren durchgeführt. Zur Bewertung wurden folgende Textilien eingesetzt:

⇒ **Für Wetclean-Verfahren**

- ✓ Hemd weiß; 65/35 PES/CO
- ✓ Hemd blau; CO
- ✓ Hemd weiß, 100 % LI
- ✓ Hose; schwarz; 75/25 PES/CV
- ✓ Hose braun; 100 % LI

➤ **Für die Reinigung in KWL Lösemittel**

- ✓ Sakko grün; 100% WV
- ✓ Sakko blau 1; 100 % LI
- ✓ Sakko blau 2; 100 % LI
- ✓ Hose grün; 100% WV
- ✓ Hose grau; 65/35 PES/CO, Innenfutter 82/18 CA/PA

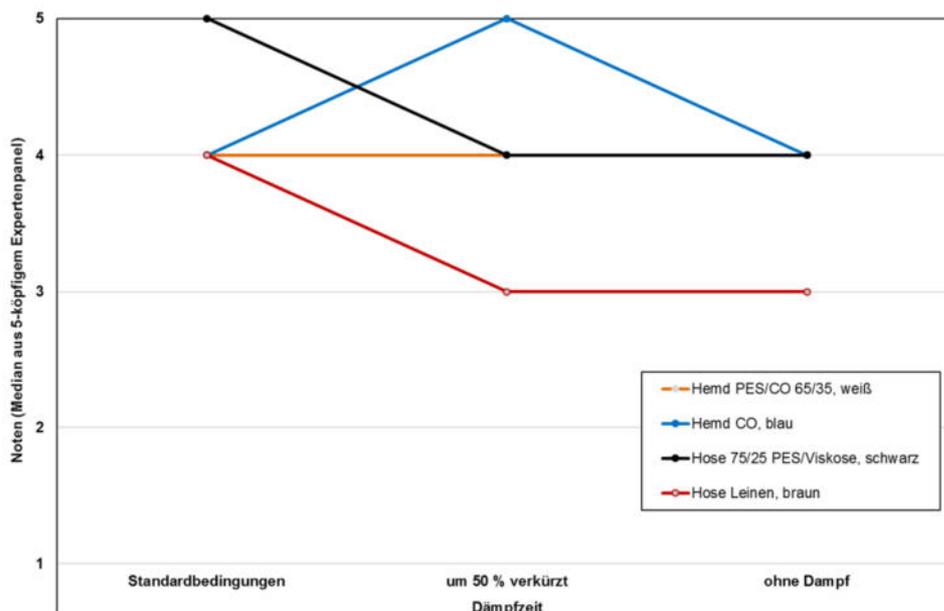
Um Ausgangsknitter vor dem Finishen zu erhalten, wurden diese Textilien reproduzierbar durch Wasch- bzw. Reinigungsbehandlungen verknittert. **Abbildung 113** zeigt als Beispiel das eingesetzte Sakko (100 % LI) direkt nach dem Reinigungsprozess.



**Abbildung 113: Definiert verknittertes Sakko (LI) nach Reinigungsprozess**

Nach der Behandlung mit dem entsprechenden Finisher unter definierten Bedingungen wurde die erzielte Knitterentfernung entsprechend **Kapitel 4.2.3.5** bewertet (Note 5 sehr glatt; Note 1 sehr stark verknittert).

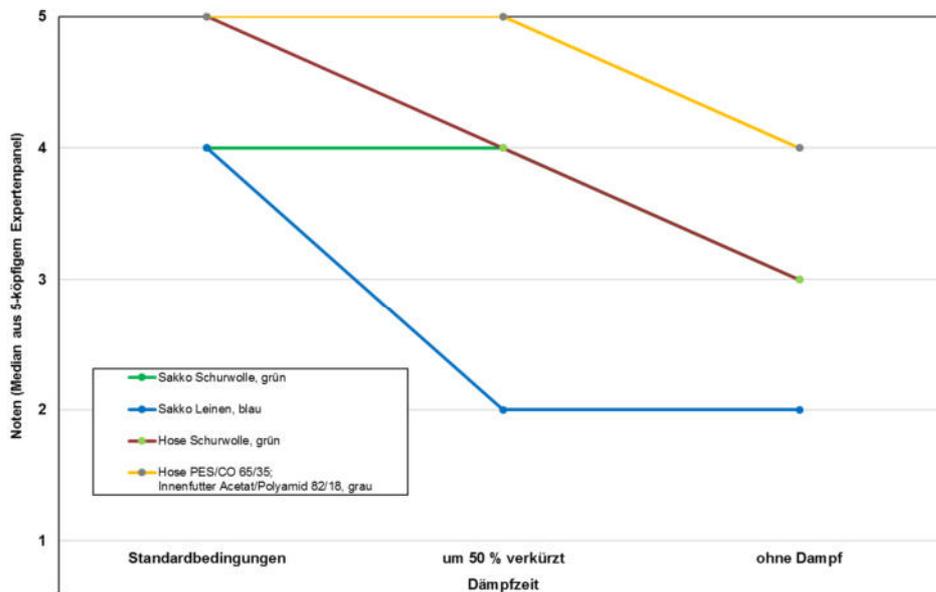
**Abbildung 114** zeigt die erzielte Knitterentfernung (Monsantonote nach dem Finishen) nach Wetclean-Behandlung, im jeweils für die Textilart geeigneten Finisher, bei unterschiedlichen Dämpfdauern.



**Abbildung 114: Knitterbild (Monsantonote) von nassgereinigten Teilen (schleuderfeucht) nach Finishen mit Hemdenfinisher bzw. Hosentopper**

Es wird deutlich, dass die Reduzierung der Dämpfdauer nur geringen Einfluss auf die Knitterentfernung zeigt. Dies ist offenbar darin begründet, dass die nach dem Schleudern in den Textilien befindliche Wassermenge ausreichend hoch ist, um eine ausreichende Entknitterung bei Heißluftwirkung zu erzielen. Zusätzliches Einbringen von Sprühdampf bei Textilien mit ausreichender Textilfeuchte (hier schleuderfeucht) hat hier eine untergeordnete Bedeutung.

Vergleichend dazu zeigt **Abbildung 115** die erzielte Knitterentfernung von Ware, die in Lösemittel gereinigt wurde.



**Abbildung 115: Knitterbild (Monsantonote) von in Lösemittel gereinigten Teilen (trockene Ware) nach Finishen mit Garderobenfinisher bzw. Hosentopper**

**Abbildung 115** zeigt deutlich, dass beim Finishen bereits getrockneter Ware eine Reduktion des Sprühdampfanteils eine signifikant geringere Knitterentfernung und somit starke Beeinträchtigung des optischen Erscheinungsbildes der Teile zur Folge hat.

Energieeinsparung durch Einsatz einer reduzierten Sprühdampfmenge ist stark warenartabhängig. Prinzipiell lassen sich feuchte, in Wasser behandelte Textilien leichter finishen als trockene Teile, die vorher in Lösemittel behandelt wurden. Die Untersuchungen zeigen, dass mit den vom Maschinenhersteller vorgegebenen Empfehlungen der erforderlichen Sprühdampfzeiten (siehe **Tabelle 25**) sehr gute Knitterentfernung bei möglichst geringem Dampf- und damit auch Kosteneinsatz zu erzielen sind. Eine weitere Verkürzung dieser Dämpfzeiten wird auf Grund deutlicher Qualitätseinbußen und damit verbundenem Mehraufwand für das manuelle Nachbügeln oder starker Beeinträchtigung der Kundenzufriedenheit nicht empfohlen.

## 5.6 Verwendung von Reinigungsmaschinenkühlwasser zum Waschen

Die Untersuchung der vier Textilreinigungsbetriebe zeigte starke Unterschiede in Art und Umfang der Verwendung von Kühlwasser aus Textilreinigungsmaschinen für Waschprozesse. Wie **Tabelle 27** zeigt, wird in Reinigungsbetrieb A Kühlwasser keiner Nutzung zugeführt. Als Kleinbetrieb mit nur geringsten Wäschemengen ist hier eine wirtschaftliche Nutzung nur schwer darstellbar.

Unter den verbleibenden drei Betrieben fällt das bereits fortschrittliche Kühlwassernutzungskonzept von Betrieb B auf. Als einziger Betrieb wird zur Kühlung der TRM direkt Weichwasser mit Netzleitungsdruck ohne Pumpaufwand eingesetzt. Gleichzeitig wurde das Wasserreguliertventil deutlich stärker eingedrosselt, so dass das Kühlwasser bereits fast auf dem Temperaturniveau für Waschprozesse aus der Textilreinigungsmaschine austritt.

**Tabelle 27: Gemessene Temperaturen Kühlwasser an den Textilreinigungsmaschinen**

Reinigungs- betrieb	Nutzung Kühlwasser für Wasch- prozesse	Mittlere Kühl- wasserum- laufmenge [l/Posten]	Spez. Kühl- wasserum- laufmenge [l/kg]	Mittlere Tempera- tur Kühlwasser- eintritt TRM	Mittlere Tem- peratur Kühl- wasseraustritt TRM	Mittlere Temperatur-dif- ferenz Kühlwas- ser
A	nein	1.668	111,2	22,6 °C	26,2 °C	3,6 °C
B	ja	546	30,0	19,5 °C	37,0 °C	17,5 °C
C	ja	974	64,9	16,0 °C	19,0 °C	3,0 °C
D (P30)	ja	1.443,15	57,7	17,9 °C	21,2 °C	3,3 °C
D (Induline)		11.240,6	132,2	15,8 °C	18,4 °C	2,6 °C

Da die Werte zu unterschiedlichen Jahreszeiten ermittelt wurden, wird das Einsparpotenzial auf Basis eines „synthetischen“ Reinigungs- und nachfolgendem Waschprozess beschrieben.

### **Annahmen**

- Textilreinigungsprozess
  - Kühlwassermenge 450 l/Posten
  - 5 Posten pro Tag
  - Kühlwassermenge pro Tag: 2.250 l
  - Eintrittstemperatur Kühlwasser: 20 °C
  - Austrittstemperatur Kühlwasser: 25 °C
  - Energieabfuhr über Kühlwasser: 13 kWh/d
  - Jährliches Energieeinsparpotenzial: ca. 2619 kWh/a bei 200 Arbeitstagen/a
- Waschprozess
  - Spez. Wasserbedarf: 10 l/kg Wäsche
  - Temperatur Trinkwasser: 10 °C
  - Prozesszieltemperatur: 60 °C (für Klarwaschwasser, 4 l/kg)
  - Mittlere Abwassertemperatur: 30 °C (gesamt, 10 l/kg)
  - Energiezufuhr Dampf: ca. 0,23 kWh/kg Wäsche

### **Szenario 1: Waschprozess mit direkter Kühlwassernutzung**

- Nacherwärmung des Kühlwassers von 25 °C auf 60°C
- Heizenergiebedarf: ca. 0,16 kWh/kg Wäsche
- Energieeinsparung im Waschprozess: ca. 0,07 kWh/kg Wäsche
- Prozentuale Energieeinsparung: ca. 30 %
- Begrenzung auf ca. 225 kg Wäsche pro Tag
- Ungenutzter Energieinhalt im Abwasser: ca. 0,45 kWh/kg Wäsche

### **Szenario 2: Keine Kühlwassernutzung, dafür Einsatz eines Abwasserwärmetauschers**

- Vorwärmung des Waschwassers (Trinkwasser) von 10°C auf 20 °C mittels Wärmetauscher
- Mittlere Abwassertemperatur vor Wärmetauscher: 30 °C
- Mittlere Abwassertemperatur nach Wärmetauscher: 20 °C
- Heizenergiebedarf: ca. 0,19 kWh/kg Wäsche
- Energieeinsparung durch Wärmerückgew.: ca. 0,05 kWh/kg Wäsche
- Mögliche Energieeinsparung von Wäschemenge unabhängig
- Ungenutzter Energieinhalt im Abwasser: ca. 0,23 kWh/kg Wäsche

## Ergebnis der Szenarien

In Übereinstimmung mit drei der vier untersuchten Betrieben bietet sich die direkte Nutzung von Kühlwasser immer dann an, wenn bei den Waschprozessen Temperaturen unter 60°C eingesetzt werden. Je geringer der Unterschied zwischen Waschsolltemperatur und Kühlwasser, desto größer der Deckungsanteil der Abwärme. Bei Nassreinigungsverfahren mit Temperaturen unter 40°C ist eine vollständige Wärmeversorgung aus Kühlwasser möglich.

Die direkte Nutzung von Kühlwasser ist mit geringem technischen Aufwand wirtschaftlich möglich. Die Energieverluste aus energetisch ungenutzt ablaufendem Abwasser sind geringer als der mittlere Energieinhalt des Kühlwassers.

Ab einer Waschtemperatur von ca. 60°C und höherem Waschwasserbedarf als vorhandenem Kühlwasserangebot kann eine Nutzung der Abwärme aus Abwasser effizienter sein.

Nach Angaben der Firma Böwe kann eine Temperatur bis 60°C beim Kühlwasser durch Drosselung des Wasserregulierventils erreicht werden. Eine Prüfung auf Einflüsse auf den Prozess (Destillationsdauer, Ablagerungen am Wärmetauscher) wurde nicht durchgeführt.

Bei der Nutzung des Kühlwassers bei gleichzeitigem Betrieb eines Kühlturms ist der Einfluss der Kühlwasserqualität auf das Waschergebnis zu beachten. Schmutzeintrag und Aufkonzentrierung von Wasserinhaltsstoffen können die Waschwirkung negativ verändern.

## 6 Zusammenfassung und Kennzahlen

### 6.1 Kennzahlen Textilreinigungsmaschine

Die umfangreichen Messungen in den Betrieben und in Laboren der Hersteller und des wfk zeigen ein enormes Einsparpotenzial für die ca. 4.500 Textilreinigungsmaschinen in Deutschland [29] für den eigentlichen Textilreinigungsprozess.

Nicht alle Einsparungsmöglichkeiten sind zielführend. Die Destillationsrate zu reduzieren bringt nur unterproportionale Energieeinsparungen, vollständig auf die Destillation zu verzichten senkt die Qualität der Reinigungsleistung und kann nicht empfohlen werden.

**Abbildung 116** zeigt die großen Unterschiede zwischen den spezifischen Dampfverbräuchen. Als Hauptursachen für erhöhten Dampfverbrauch konnten folgende Faktoren festgestellt werden:

- Unterbeladung
- Rückkühltemperatur (Kühlwassereintrittstemperatur an der TRM)
- Wärmeverluste an den Maschinenoberflächen
- Lösemittelart

Als Ergebnis wurden aus den Messungen folgende Kennwerte für 2-Badverfahren mit Destillation ermittelt:

- Zielwert für Dampf „gut“: kleiner 0,5 kWh-Dampf/kg Textilien
- Zielwert für Dampf „mittel“: größer 0,5 und kleiner 1,0 kWh-Dampf/kg Textilien
- Zielwert für Dampf „schlecht“: größer 1,0 kWh-Dampf/kg Textilien

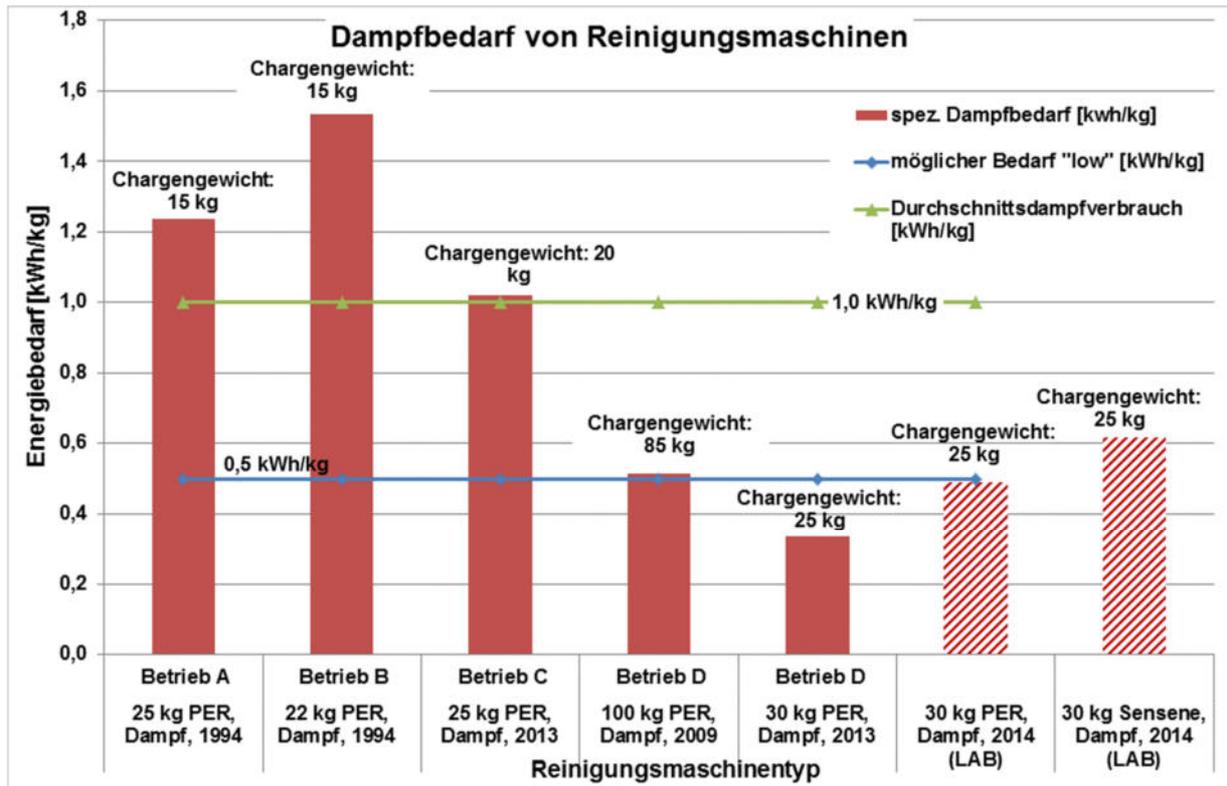


Abbildung 116: Dampfbedarf der Textilreinigungsmaschinen

**Abbildung 117** zeigt die großen Unterschiede zwischen den spezifischen Stromverbräuchen. Die grauen Balken zeigen rein strombeheizte Textilreinigungsmaschinen. Kennwerte aus Labormessungen sind schraffiert dargestellt.

Als Hauptursachen für erhöhten Stromverbrauch konnten folgende Faktoren festgestellt werden:

- Unterbeladung
- Rückkühltemperatur
- Thermische Verluste über Oberflächen (Wärmeeintrag und Wärmeverluste)
- Lösemittelart
- Anlagen- und Regelkonzept

Ein erhöhter Strombedarf ist bei einzelnen Altanlagen festzustellen, die mit veralteter Steuerungstechnik im Stand-By-Betrieb unnötigen Energieverbrauch verursachen. Ebenso erhöhte Werte wurden bei Anlagen mit hohem Automationsgrad ermittelt. Der Energieaufwand für die zusätzlichen Antriebe erhöht den spezifischen elektrischen Energiebedarf.

Als Ergebnis wurden aus den Messungen folgende Kennwerte ermittelt:

- Zielwert für elektr. Energie „gut“: kleiner 0,15 kWh-el/kg Textilien
- Zielwert für elektr. Energie „mittel“: größer 0,15 und kleiner 0,3 kWh-el/kg Textilien
- Zielwert für elektr. Energie „schlecht“: größer 0,3 kWh-el/kg Textilien
- Maximale elektrische Leistungsaufnahme für Maschinen bis 30 kg Postengröße:
  - Dampfbeheizte Textilreinigungsmaschine: kleiner 12 kW-el
  - Elektrisch beheizte Textilreinigungsmaschine: kleiner 20 kW-el

Die rein elektrisch beheizten Geräte - als Bad- und Sprühmaschinen - wurden nur in Laboren untersucht. Hier kann nur für die elektrische Leistung eine Aussage getroffen werden.

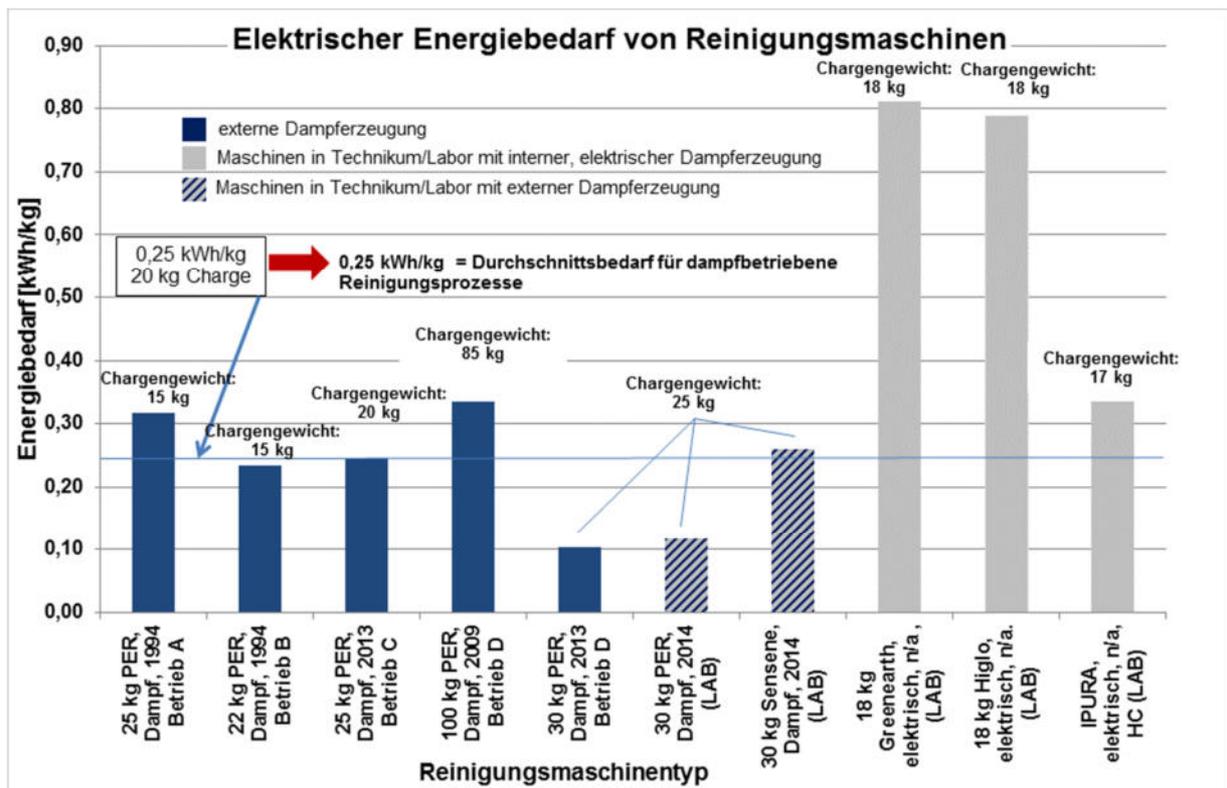


Abbildung 117: Elektrischer Energiebedarf der Textilreinigungsmaschinen

## 6.2 Kennwerte Wäschetrockner

Im Rahmen des Projekts wurden nur einzelne Wäschetrockner gemessen, aus dem Projekt DBU AZ 28612/2 sind jedoch aus zahlreichen Messungen Daten vorhanden, die dem Handbuch zugutekommen.

Es wurden folgende, auch für kleinere Trockner erreichbare Zielwerte für das Handbuch formuliert:

Zielwert Erdgasbedarf: kleiner 1,0 kWh-Ergas/kg Textilien

Zielwert elektrische Energie: kleiner 0,06 kWh-el/kg Textilien

Weitere Werte wurden für den Trocknungsprozess nicht definiert.

## 6.3 Kennwerte Finishprozesse

Die Energieverbrauchsspannen und spezifischen Energieverbräuche sind nur begrenzt vergleichbar, weil der Warendurchsatz vom einzelnen Mitarbeiter und der Warenart abhängt. Die in **Tabelle 28** aufgeführten Zielwerte aus Laboruntersuchungen haben deshalb mehr orientierenden Charakter bei einem vorgegebenen Dampfdruck von 3 bar. Der Dampfdurchsatz ist nicht nur vom Druck, sondern auch von der eingesetzten Maschinenteknik abhängig. Moderne Finishmaschinen verfügen heute bereits über Komponenten zur Wärmerückgewinnung und verbesserter Regelung für eine energieoptimierten Betriebsweise.

Tabelle 28: Zielwerte für Finisher

Maschine	Zielwert	Anmerkung
Hemdenfinisher	0,7 kWh-Dampf/Teil	3 bar Dampfdruck
Garderobenfinisher	0,10 kWh-Dampf/Teil	3 bar Dampfdruck
Hosentopper	0,06 kWh-Dampf/Teil	3 bar Dampfdruck

#### 6.4 Kennwerte Gesamtbetriebe

Aus den Messdaten und den Angaben der Betriebe zu den Wasch- und Reinigungsmengen und vorliegenden Energieabrechnungen wurden spezifische Energie- und Medienverbräuche ermittelt, die in **Tabelle 29** aufgelistet sind. Soweit keine Abrechnungen vorlagen wurden Hochrechnungen auf Basis der gemessenen Verbrauchsdaten durchgeführt. Lediglich bei Betrieb D konnten keine vollständigen Daten ermittelt werden.

Die Bestwerte von Betrieb B bei Strom und Erdgas sind durch einen Wäschereianteil von 75% begründet. Dort wird Abwärme und Kühlwasser aus der Textilreinigung weitgehend vollständig genutzt. Durch den Wasserbedarf der Waschschleudermaschinen ist der spezifische Wasserbedarf jedoch erhöht.

Betrieb A hingegen wäscht wenig Wäsche und hat darüber hinaus fast nur Wasserbedarf für die Nachspeisung des Dampferzeugers und des Kühlsystems.

Tabelle 29: Spezifische Verbräuche Gesamtbetriebe

Betrieb	Spez. Verbrauch elektrische Energie [kWh <sub>el</sub> /kg <sub>Textil</sub> ]	Spez. Verbrauch Heizöl/Erdgas [kWh <sub>Erdgas</sub> /kg <sub>Textil</sub> ]	Spez. Verbrauch Trinkwasser [l/kg <sub>Textil</sub> ]	Anmerkung
Kleinbetrieb mit einer Reinigungsmaschine und Finishbereich (A)	1,4	6,3	2,7	Hochrechnung Wäschemenge,
Mittlerer Reinigungsbetrieb mit 2-3 Reinigungsmaschinen, Wetclean und Finishbereich (B)	0,17	2,1	18,5	Bezug Gesamtbetrieb 2013
Kleinbetrieb mit Wetclean, ein bis zwei kleinen Waschmaschinen und Finishbereich (C)	0,36	4,1	17,8	
Großbetrieb mit mehreren Reinigungsmaschinen, mehreren Wetcleanmaschinen und Finishbereich, zusätzlich Aufbereitung von Industrietextilien (D)	k.A.	3,3	k.A.	Hochrechnung Messdaten soweit über Gesamtbetrieb vorhanden

## 7 Erarbeitung Handbuch

Zur Erarbeitung des für die Reinigungsbranche geeigneten Handbuches wurden mögliche Energieeinsparpotentiale in Textilreinigungsbetrieben unter Berücksichtigung von Energieeinsatz, Wärmeenergieerzeugung und -verteilung, Maschinenteknik, Aufbereitungsverfahren und Lösemiteleinsatz in Textilreinigungen unterschiedlicher Größe und Struktur als Lösungsansatz zur Reduzierung des Gesamtenergieeinsatzes unter Gewährleistung der Reinigungsqualität ermittelt.

Dabei wurden ermittelt:

- Energiebedarf von Textilreinigungsbetrieben unter Berücksichtigung von Gesamtbetrieb sowie der eingesetzten Energieerzeugung und Maschinenteknik mit zugehörigen Größenordnungen der Kosten,
- Energieeinsparmaßnahmen, die sich nur auf Einzelaspekte (z.B. Energieerzeugung, Finishgeräte, Reinigungsmaschine) ohne Berücksichtigung des Gesamtenergiebedarfs des Betriebes beziehen,
- Möglichkeiten zum Ersatz der herkömmlichen zentralen Wärmeenergieerzeugung mittels Schnelldampferzeuger (öl-, gas-, elektrisch beheizt) durch dezentral beheizte Maschinen (elektrisch),
- Energiesparende Reinigungsverfahren ohne Lösemitteldestillation (teilweise ohne Flottenfiltration und Reinigungsverstärker) und sogenannten „Sprühreinigungsverfahren“, bei denen der Lösemiteleinsatz auf das Besprühen der Textilien mit Flotte begrenzt ist und damit zusammenhängend die erzielbaren Reinigungseffekte,
- Energieeinsparungen in Finishern durch reduzierten Sprühdampfeinsatz unter Berücksichtigung der Finishqualität und
- Energieeinsparungen durch Weiterverwendung von Reinigungsmaschinen-Kühlwasser für Wasch- oder Wetcleanverfahren.

Basierend auf den durchgeführten Untersuchungen (**Kapitel 4-6**) wurde mit den Projektteilnehmern Aufbau und didaktische Aufbereitung des Handbuches diskutiert. Dabei wurde folgendes festgelegt:

- ⇒ Das Handbuch wird als pdf Datei erstellt und publiziert.  
Zusätzlich wird eine Online-Version des Handbuches erstellt, die es ermöglicht, von PC, Tablet oder Smartphone aus auf die wichtigsten Inhalte einfach und schnell zuzugreifen zu können. Das Handbuch wird unter [www.energiesparhandbuch.de](http://www.energiesparhandbuch.de) zu erreichen sein.
- ⇒ Das Handbuch ist einfach strukturiert und enthält keine eher theoretisch orientierten Inhalte. Stattdessen werden Schaubilder und Skizzen erstellt, um die Kernaussagen wiederzugeben.
- ⇒ Im Handbuch wird eine leicht verständliche Sprache verwendet. Die Aussagen werden durch praxisnahe Beispiele veranschaulicht.
- ⇒ Um den Erfolg der Öffentlichkeitsarbeit um das Handbuch zu messen, müssen User vor dem Herunterladen des Handbuchs Fragen beantworten, die einen Rückschluss darauf zulassen, woher der User von der Veröffentlichung des Handbuchs erfahren hat.

Um das Handbuch benutzerfreundlich und klar strukturiert aufzubauen, wurde folgende Gliederung mit den projektbeteiligten Firmen und Projektpartnern abgestimmt:

## 1 VORWORT

Im Vorwort wird die **Motivation** und das **Ziel** des Handbuches dargestellt.

## 2 EINFÜHRUNG IN DIE ENERGIEEFFIZIENTZBETRACHTUNG VON TEXTILREINIGUNGSBETRIEBEN

Hier wird dargestellt, dass sich die im Handbuch angegebenen Hinweise zur Energieeinsparung auf ganzheitliche Lösungsansätze beziehen.

## 3 MASCHINEN UND VERFAHREN BEIM REINIGEN

In diesem Kapitel werden, untergliedert in weitere Unterkapitel, Grundlagen zur energieeffizienten Reinigung dargestellt. Des Weiteren werden für einzelne Maschinen und Prozesse Möglichkeiten zur Kontrolle der eingestellten und gewünschten Verfahrensparameter vorgestellt und Empfehlungen zur Verbesserung des Energiebedarfs unter Beibehaltung der Reinigungs- und Finisheffekte benannt.

Untergliedert wird dieses Kapitel zunächst nach üblichen Lösemitteln und der damit verbundenen Maschinenteknik und Reinigungsbedingungen. Anschließend wird der Bereich Nassreinigung vorgestellt und auf mögliche Optimierungspotenziale hingewiesen. Im Bereich Finish- und Bügeltechnik wird detailliert auf die unterschiedlich eingesetzten Geräte eingegangen und mögliche Einsparpotentiale aufgezeigt.

## 4 MASCHINEN UND VERFAHREN BEIM WASCHEN

Da viele Reinigungsbetriebe auch Waschmaschinen nutzen, werden in diesem Kapitel insbesondere Möglichkeiten zur Energiereduzierung im Bereich der Waschtechnik dargestellt. Dabei wird bei Waschschleudermaschinen auf Möglichkeiten zur Optimierung von Waschverfahren eingegangen. Außerdem werden Grundlagen zu üblichen Waschmittelarten dargestellt. Darauf folgt ein Abschnitt, der sich mit dem nach dem Waschen erforderlichen Trocknen der Wäsche beschäftigt. Dabei wird neben Grundlagen der Trocknungstechnik und dem Aufbau von Wäschetrocknern detailliert auf Optimierungsmöglichkeiten für den Trocknungsprozess eingegangen. Außerdem werden Hinweise für die Neuanschaffung von Trocknern gegeben.

## 5 ENERGIE UND GEBÄUDE

In diesem Kapitel werden neben den oftmals begrenzten Möglichkeiten (da Mietobjekte) zur Energieeinsparung durch Änderung der Gebäudespezifikationen (Fensterdämmung, Klimatisierungsmöglichkeiten etc.) insbesondere auf die Bedeutung von Wärmeerzeugung und -verteilung eingegangen. Als weiterer Aspekt werden Möglichkeiten zur Einsparung elektrischer Energie dargestellt. Dabei wird ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt, um insbesondere die effektiveren, prozessübergreifenden Einsparmöglichkeiten darzustellen.

## 6 UMGANG MIT WASSER UND BETRIEBSSTOFFEN

Hier wird die Bedeutung der Wasserqualität für Waschverfahren, insbesondere jedoch für Dampfkesselanlagen dargestellt. Dabei wird auf Möglichkeiten der Wasseraufbereitung eingegangen. Anschließend wird auf die Lagerung und Entsorgung von Verbrauchsmaterial und Betriebsstoffen (z.B. Lösemittelrückstände, Reinigungsverstärker, Waschchemie etc.) eingegangen.

## 7 GANZHEITLICHE MASSNAHMEN (über Prozessgrenzen hinweg)

Dieses Kapitel zeigt ganzheitliche Maßnahmen zu Einsparung von Energie, Wasser und Betriebsstoffen in Textilreinigungsbetrieben.

## **8 ENERGIEDATENMANAGEMENT**

Nur wer Prozesse kennt, kann diese optimieren und nachhaltig Energie und Ressourcen einsparen. Deshalb wird in diesem Kapitel der Weg zur Betriebsbilanz, die Ermittlung von Verbrauchsdaten und Empfehlungen zum Aufbau eines Energiedatenmanagements dargestellt. Außerdem wird auf das Branchentool hingewiesen, das es den Betrieben ermöglicht, anonym und einfach über das Internet eigene Energie- und Ressourcenverbräuche mit anderen Betrieben zu vergleichen.

## 8 Durchführung eines Wettbewerbs

Die in der Projektbewilligung geforderte Durchführung eines Wettbewerbs wird wie folgt realisiert.

Über den DTV-Newsletter und über die beiden Fachzeitschriften der Branche, wird zur Teilnahme an einem Wettbewerb aufgerufen. Hierfür haben die teilnehmenden Textilreinigungsbetriebe die Möglichkeit, ihre Energieverbräuche des Jahres 2017 und die Anzahl der gereinigten Textilien mitzuteilen. Als Nachweis dienen die Jahresabrechnung des Energieversorgers sowie die Lösemittelbilanz, aus der hervorgeht, wie viele Teile gereinigt wurden. Die Betriebe haben nun die Möglichkeit innerhalb der Jahre 2018 und 2019 ihre Einsparungen mit Hilfe des Energiesparhandbuchs zu realisieren und müssen dies Anfang 2018 mit der Jahresabrechnung und der Lösemittelbilanz belegen. Als Wert für den Energieverbrauch dient der Verbrauch pro gereinigtes Teil, bzw. pro kg gereinigte Ware.

Die drei ersten Plätze erhalten folgende Preise:

1. Platz: kostenfrei Teilnahme am DTV-Verbandstag 2020
2. Platz: Einen Gutschein über die Teilnahme an einem DTV Seminar
3. Platz: Ein Exemplar des 2018 erscheinenden Fachbuchs „Fachwissen Professionelle Textilpflege“

Die drei Erstplatzierten werden auf der Samstagabend-Veranstaltung des DTV-Verbandstages 2020 geehrt werden.

## **9 Danksagung**

Für die Förderung des Forschungsvorhabens DBU 32093/01-24/2 danken wir der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). Ferner danken wir den Firmen Multimatic iLSA Deutschland GmbH & Co. KG aus Melle, der Firma BÖWE Textile Cleaning GmbH aus Sasbach (beide Maschinenhersteller) und der Firma BÜFA Reinigungssysteme GmbH & Co. KG aus Oldenburg (Chemikalienhersteller) für die Bereitstellung von Versuchsmaterialien und die Begleitung der Arbeiten mit Beratung und Hilfe beim Transfer.

## 10 Literaturverzeichnis

- [1] Deutscher Textilreinigungsverband e.V., „Der DTV-Branchenbericht - Zahlen, Daten, Fakten,“ DTV, Bonn, 2011.
- [2] Energie-Effizienz-Agentur NRW, „Benchmarkingprojekt „Oekobench““.
- [3] N.N., Erdgas in der Textilreinigung, Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2007.
- [4] Verband Textilpflege Schweiz (VTS/ASET), *Ressourceneffizienz in Textilreinigungen und Wäschereien*, Bern: VTS, 2013.
- [5] N.N., „Wirtschaftliches Reinigen mit guter ökologischer Bilanz,“ *WRP Wäscherei + Reinigungspraxis*, 2014.
- [6] N.N., „Innovative und energiesparende Reinigungsmaschinen,“ *WRP Wäscherei + Reinigungspraxis*, 2014.
- [7] N.N., „Durchdachte Reinigungsmaschinen,“ *R+WTextilservice*, 2013.
- [8] Forschungsinstitut Hohenstein, „Reinigungsmaschinen - Destillation oder Adsorption: Ergebnisse eines FRT-Forschungsvorhabens,“ *R+WTextilservice*, 1997.
- [9] N.N., „Vielfältig Ressourcen sparen,“ *R+WTextilservice*, 8 2013.
- [10] N.N., „Verschiedene Lösungen zum Einsparen von Energie,“ *WRP-Textilpflege*, 2014.
- [11] N.N., „Verschiedene Lösungen zum Einsparen von Energie,“ *WRP Wäscherei + Reinigungspraxis*, 2013.
- [12] Deutscher Textilreinigungs Verband, „Ganzheitliche energetische Betrachtung von Wäschereien (DBU-Projekt AZ 28612),“ DTV, Bonn, 2015.
- [13] Chemische Fabrik Kreussler & Co GmbH, pers. Mitteilung, Wiesbaden, Mai 2014.
- [14] D. N. Brooke, M. J. Crookes, D. Gray, S. Robertson, Decamethylpentasiloxane Environmental Risk Assessment Report, 2009.
- [15] Chemische Fabrik Kreussler & Co. GmbH , *Textilpflege in Lösemitteln - CLIP - Reinigungsverstärker*, Wiesbaden, 2005.
- [16] F. Schambil, W. Buchmeier, B. Glösen, J. Bohnen, H.-G. Hloch und A. Ophüls, „Will detergents disappear? An Evaluation of Alternative Wash Technologies,“ in *Proceedings des 55. SEPAWA Kongress und der European Detergents Conference*, Würzburg, 2008.
- [17] N.N., „Wasser und Energiesparen,“ *R+WTextilservice*, 2014.
- [18] Forschungsinstitut Hohenstein, „Reinigungsmaschinen - Destillation oder Adsorption: Ergebnisse eines FRT-Forschungsvorhabens,“ *R+ WTextilservice*, 50/1997.
- [19] wfk-Cleaning Technology Institute e.V., „Untersuchungen zur Optimierung der Verfahrenstechnik der Chemischreinigung in Kohlenwasserstoff-Lösemitteln unter besonderer Berücksichtigung der Reinigungsmechanik,“ wfk, Krefeld, 2004.
- [20] D. Freitag, „The Greener Cleaner,“ in *Proceedings 46th International Detergency Conference*, Düsseldorf, 2013.
- [21] Veit GmbH, „Bügeltische,“ 12 06 2014. [Online]. Available: <http://buegeltisch24.de/>. [Zugriff am 17 01 2018].

- [22] H.-G. Hloch, H. Krüssmann, „"Untersuchungen zum Tunnelfinishen, Teil IV: Möglichkeiten zur Verbesserung des Glättergebnisses," *R+WTextilservice*, 1995.
- [23] H.-G. Hloch, H. Krüssmann, Untersuchungen zum Einfluss der Reinigungsmechanik auf Schmutzentfernung und Textilveränderungen bei der Trockenreinigung, Forsch.ber. S10 (Stiftung für die gewerbliche Wirtschaft e.V.), 1976.
- [24] H.-G. Hloch, H. Krüssmann, H. Morgenstern, „Untersuchungen zur Verfahrenstechnik der Chemischreinigung, Teil XVI: Verfahrenstechnische Konsequenzen," *R+WTextilservice*, 12 1990.
- [25] H. G. Hloch, H. Krüssmann,, „Untersuchungen zum Einfluss der Prozessführung in der Chemischreinigung auf die Retention und Redeposition von Pigmenten und wasserlöslichen Schmutzkomponenten," Forschungsbericht Nr. S28 (Stiftung für die gewerbliche Wirtschaft), 1978.
- [26] H.-G. Hloch, H. Krüssmann, „Möglichkeiten zur Verbesserung des Glättergebnisses," *R+WTextilservice*, 1995.
- [27] H.-G. Hloch, H. Krüssmann, „Untersuchungen zur Optimierung des Finishens von Formteilen bei kontinuierlicher Textilbehandlung in Tunnelfinishern," AiF-Forschungsvorhaben 8418, Krefeld, 1993.
- [28] Bundesministerium für Gesundheit (BMG), *TrinkV2013*, Berlin: BMG, 2013.
- [29] Ziermann GmbH, „DBU-Abschlussbericht AZ 23455," 28 08 2008. [Online]. Available: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-23455.pdf>. [Zugriff am 16 01 2018].
- [30] Viessmann GmbH, *Planungshandbuch Dampfkessel*, Allendorf: Viessmann, 2011.

## 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lösemittleigenschaften.....	9
Tabelle 2: Eingesetzte Messgeräte .....	16
Tabelle 3: Eingesetzte Sensoren .....	17
Tabelle 4: Versorgungsanlagen Reinigungsbetrieb A.....	24
Tabelle 5: Maschinenpark Reinigungsbetrieb A .....	24
Tabelle 6: Aufstellung der wichtigsten Stromverbraucher .....	33
Tabelle 7: Wasserparameter Kühlturm; Betrieb A .....	37
Tabelle 8: Versorgungsanlagen Reinigungsbetrieb B.....	47
Tabelle 9: Maschinenpark Reinigungsbetrieb B .....	47
Tabelle 10: Wichtigste Stromverbraucher Betrieb B .....	55
Tabelle 11: Versorgungsanlagen Reinigungsbetrieb C.....	70
Tabelle 12: Maschinenpark Reinigungsbetrieb C .....	71
Tabelle 13: Wasserverbrauch Wetclean Betrieb C.....	77
Tabelle 14: Wichtigste Stromverbraucher Betrieb C .....	83
Tabelle 15: Analysewerte untersuchter Wasserproben, Reinigungsbetrieb C .....	87
Tabelle 16: Versorgungsanlagen Reinigungsbetrieb D.....	103
Tabelle 17: Liste Maschinen Reinigungsbetrieb D .....	104
Tabelle 18: Analysewerte untersuchter Wasserproben, Reinigungsbetrieb D .....	116
Tabelle 19: Physikalische Eigenschaften der untersuchten Lösemittel.....	125
Tabelle 20: Eingesetzte Lösemittel und Reinigungsverstärker .....	125
Tabelle 21: Technische Daten der Reinigungsmaschine .....	129
Tabelle 22: Programmablauf 2-Bad, dunkle Bekleidung .....	130
Tabelle 23: Programmablauf 1-Bad, dunkle Bekleidung .....	137
Tabelle 24: Übersicht Dampferzeugung dezentral / zentral .....	140
Tabelle 25: Variierte Finishparameter .....	145
Tabelle 26: Spez. Energiebedarf unter Variation der Dämpfdauer bei 3 und 6 bar Dampfdruck .....	145
Tabelle 27: Gemessene Temperaturen Kühlwasser an den Textilreinigungsmaschinen.....	148
Tabelle 28: Zielwerte für Finisher .....	152
Tabelle 29: Spezifische Verbräuche Gesamtbetriebe .....	152

## 12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: PCMS-55 Monitor zur Bewertung von Wasch- und Wetcleanverfahren .....	20
Abbildung 2: PCMS-17c Monitor zur Bewertung von Reinigungsverfahren.....	20
Abbildung 3: Grundriss EG Reinigungsbetrieb A.....	25
Abbildung 4: Grundriss KG Reinigungsbetrieb A .....	25
Abbildung 5: Kühlwassermanagement Betrieb A.....	26
Abbildung 6: Thermische Leistung Kühlturm, Betrieb A.....	27
Abbildung 7: Dampferzeugung und Wasserversorgung Reinigungsbetrieb A .....	28
Abbildung 8: Dampfmassenstrom Betrieb A.....	29
Abbildung 9: Elektrische Leistungsaufnahme TRM Reinigungsbetrieb A.....	30
Abbildung 10: Elektrische Leistungsaufnahme Adsorptionsanlage Reinigungsbetrieb A.....	30
Abbildung 11: Ausschnitt elektrische Leistungsaufnahme Adsorptionsanlage Betrieb A.....	31
Abbildung 12: Diagramm elektrische Leistungsaufnahme Kühlwasserpumpe.....	32
Abbildung 13: Elektrische Leistung Bügelbetrieb Betrieb A.....	33
Abbildung 14: Energiebilanz Textilreinigungsprozess Reinigungsbetrieb A.....	35
Abbildung 15: Temperaturverlauf in der Reinigungsmaschine, dunkle und helle Ware .....	38
Abbildung 16: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Reinigungsmaschine (15 kg Beladung) mit PER-Lösemittel und dunkler Bekleidung mit PCMS 55 Monitor.....	39
Abbildung 17: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Reinigungsmaschine (15 kg Beladung) mit PER-Lösemittel und dunkler Bekleidung mit PCMS17-c Monitor.....	39
Abbildung 18: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Reinigungsmaschine (15kg Beladung) mit PER-Lösemittel und heller Bekleidung mit PCMS55 Monitor.....	40
Abbildung 19: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Reinigungsmaschine (15 kg Beladung) mit PER- Lösemittel und heller Bekleidung mit PCMS17-c Monitor.....	40
Abbildung 20: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Reinigungsmaschine, Reinigungsbetrieb A.....	41
Abbildung 21: Thermografieaufnahme Destillation TRM Betrieb A.....	42
Abbildung 22: Thermografie und Foto einer ungedämmten Dampfleitung in Betrieb A .....	43
Abbildung 23: Empfehlung Umbau Speisewasserversorgung, Betrieb A .....	44
Abbildung 24: Kühlwasserkreislauf optimiert, Betrieb A.....	45
Abbildung 25: Grundriss Textilreinigungsbereich Betrieb B .....	48
Abbildung 26: Kühlwassermanagement Betrieb B.....	49
Abbildung 27: Thermische Leistung Kühlwasser, Betrieb B.....	50
Abbildung 28: Temperaturverlauf und Volumenstrom Warmwasser WCM1 .....	50
Abbildung 29: Wrasendampfrohr mit Schwadenbildung .....	51
Abbildung 30: Dampfmassenstrom Textilreinigungsmaschine Betrieb B .....	52
Abbildung 31: Elektrische Leistungsaufnahme TRM 1 Betrieb B .....	53
Abbildung 32: Elektrische Leistungsaufnahme TRM 2 Betrieb B .....	53
Abbildung 33: Leistungsaufnahme WCM/WSM-Versorgung Warmwasser Betrieb B .....	54
Abbildung 34: Elektrische Leistung Bügeleinheit Betrieb B .....	55
Abbildung 35: Druckluftherzeugung Kompressor Betrieb B .....	56
Abbildung 36: Energiebilanz Textilreinigungsbetrieb B .....	58
Abbildung 37: Temperaturverlauf Reinigungsmaschine 2 (identisches Reinigungsprogramm) 61	
Abbildung 38: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Reinigungsmaschine 1 mit PER- Lösemittel und dunkler Bekleidung mit PCMS 55 Monitor.....	61
Abbildung 39: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Reinigungsmaschine 1 mit PER- Lösemittel für dunkle Bekleidung mit PCMS17-c Monitor.....	62

Abbildung 40: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in Reinigungsmaschine 2 mit PER- Lösemittel für helle Bekleidung mit PCMS55 Monitor .....	62
Abbildung 41: Schmutzentfernung (RI-Wert $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine 2 mit PER- Lösemittel für helle Bekleidung mit PCMS17-c Monitor .....	63
Abbildung 42: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Nassreinigungsmaschine mit PCMS55 Monitor .....	64
Abbildung 43: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in der Nassreinigungsmaschine mit PCMS17-c Monitor .....	64
Abbildung 44: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in Reinigungsmaschinen, Reinigungsbetrieb B .....	65
Abbildung 45: Thermografieaufnahme und Bild TRM Betrieb B .....	66
Abbildung 46: Temperaturverlauf an der Oberfläche der Destillation .....	67
Abbildung 47: Gebäudeplan Erdgeschoss, Reinigungsbetrieb C (nicht maßstabsgetreu) .....	72
Abbildung 48: Gebäudeplan Keller, Reinigungsbetrieb C (nicht maßstabsgetreu) .....	73
Abbildung 49: Kühlwassermanagement Betrieb C .....	75
Abbildung 50: Thermische Leistung Kühlwasser Betrieb C .....	76
Abbildung 51: Kühlwasservolumenstrommessung an der TRM, Betrieb C .....	77
Abbildung 52: Temperaturverlauf Nassreinigung Betrieb C .....	78
Abbildung 53: Leistung Brenner am Dampfkessel, Betrieb C .....	79
Abbildung 54: Dampfmassenstrom Textilreinigung des Betrieb C .....	80
Abbildung 55: Wirkleistung Textilreinigungsmaschine (helle Ware) .....	81
Abbildung 56: Wirkleistung Textilreinigungsmaschine Programm 21 (dunkle Ware) .....	81
Abbildung 57: Leistung Bügeleisen Betrieb C .....	82
Abbildung 58: Energiebilanz Textilreinigungsprozess Betrieb C .....	85
Abbildung 59: Temperaturverlauf Reinigungsmaschine, dunkle Ware .....	88
Abbildung 60: Temperaturverlauf Reinigungsmaschine, helle Ware .....	89
Abbildung 61: Flottentemperaturverlauf in Wetcleanmaschine beim Waschen von Oberhemden, Waschprogramm 400 (40 °C hell) .....	91
Abbildung 62: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine mit PER- Lösemittel für dunkle Bekleidung mit PCMS 55 Monitor .....	92
Abbildung 63: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine mit PER- Lösemittel für dunkle Bekleidung mit PCMS17-c Monitor .....	92
Abbildung 64: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine mit PER- Lösemittel für helle Bekleidung mit PCMS55 Monitor .....	93
Abbildung 65: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine mit PER- Lösemittel für helle Bekleidung mit PCMS17-c Monitor .....	94
Abbildung 66: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten im Waschverfahren für Oberhemden mit PCMS55 Monitor .....	94
Abbildung 67: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten im Waschverfahren für Oberhemden mit PCMS17-c Monitor .....	95
Abbildung 68: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Reinigungsmaschine, helle Ware, Reinigungsbetrieb C .....	95
Abbildung 69: Thermografie Destillation TRM Betrieb C .....	97
Abbildung 70: Thermografie Frontplatte Dampfkessel Betrieb C .....	97
Abbildung 71: Optimierter Zustand Kühlwasseranlage Variante 1, Betrieb C .....	100
Abbildung 72: Optimierter Variante 4 Kühlwasseranlage, Betrieb C .....	101
Abbildung 73: Gebäudeplan Reinigungsbetrieb D (nicht maßstabsgetreu) .....	105

Abbildung 74: Thermische Leistung Kühlturm Betrieb D .....	106
Abbildung 75: Thermografie Speisewasserbehälter und Thermografie Dampfkessel Betrieb D .....	107
Abbildung 76: Abgastemperatur Dampfkessel, Betrieb D .....	107
Abbildung 77: Dampfbezug 100-kg-TRM, Betrieb D .....	108
Abbildung 78: Elektrische Leistung 100-kg-Textilreinigungsmaschine, Betrieb D.....	109
Abbildung 79: Thermografie Luftkanal 100-kg-TRM, Betrieb D.....	110
Abbildung 80: Elektrische Leistung der 30-kg-Textilreinigungsmaschine, Betrieb D .....	111
Abbildung 81: Druck und Temperatur Kompressor Betrieb D .....	112
Abbildung 82: Energiebilanz 100-kg-Textilreinigungsmaschine, Betrieb D.....	113
Abbildung 83: Energiebilanz 30-kg-TRM, Betrieb D .....	114
Abbildung 84: Spezifischer Energiebedarf 100-kg-Maschine (Induline) zu 30 kg-Maschine (P30) .....	115
Abbildung 85: Temperaturverlauf Reinigungsmaschine Induline, dunkle Sitzbezüge.....	117
Abbildung 86: Flottentemperaturverlauf in Wetcleanmaschine bei der Nassreinigung Waschprogramm 15 (25 °C, hell) .....	119
Abbildung 87: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine mit PER- Lösemittel für dunkle Bekleidung mit PCMS 17-c Monitor.....	119
Abbildung 88: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten in einer Reinigungsmaschine mit PER- Lösemittel für dunkle Bekleidung mit PCMS 55 Monitor.....	120
Abbildung 89: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten im Wetcleanverfahren bei 27 °C Flottentemperatur auf PCMS 55 Monitor.	121
Abbildung 90: Schmutzentfernung (RI-Werte $\pm$ Vertrauensbereich) unterschiedlicher Schmutzarten im Wetcleanverfahren bei 27 °C Flottentemperatur auf PCMS 17-c Monitor	121
Abbildung 91: Vergrauung (Y-Wertabnahme) von CO und PES/CO 65/35 Gewebe in der Reinigungsmaschine, dunkle Ware, Reinigungsbetrieb C .....	122
Abbildung 92: Dampf- und Kühlwasseraustausch Betrieb D .....	124
Abbildung 93: Sensoren in Reinigungsmaschine .....	126
Abbildung 94: Fördermenge Lösemittelpumpe bei Arbeitstank für dunkle Bekleidung .....	126
Abbildung 95: Fördermenge Lösemittelpumpe von Reintank.....	127
Abbildung 96: Aufbau Chemisch-Reinigungsmaschine .....	128
Abbildung 97: Spezifischer Gesamtenergiebedarf in Abhängigkeit vom Destillationsanteil ...	132
Abbildung 98: Spezifischer Kühlwasserbedarf in Abhängigkeit vom Destillationsanteil mit KWL .....	132
Abbildung 99: Spezifischer Gesamtenergiebedarf unter Variation der Reinigungsparameter bei KWL.....	133
Abbildung 100: Spezifische Gesamtenergiebedarf unterschiedlicher Lösemittel, Basisverfahren.....	134
Abbildung 101: Schmutzentfernung unter Variation des Destillationsanteils auf PCMS 17c Monitor, Basisverfahren, KWL .....	135
Abbildung 102: Schmutzentfernung unter Variation des Destillationsanteils auf PCMS-55 Monitor, Basisverfahren, KWL .....	135
Abbildung 103: Vergrauung nach 5 Reinigungszyklen unter Variation des Destillationsanteils, KWL, Basisverfahren .....	136
Abbildung 104: Spezifischer Energie- und Wasserverbrauch von Ein- und Zweibadverfahren im Vergleich zum Sprühreinigungsverfahren (Iapura), alles KWL (*DA = Destillationsanteil) .	138
Abbildung 105: Schmutzentfernung (RI-Werte) auf Standard-Prüfgewebe (PCMS 17-c) für Reinigungsmaschinen .....	139
Abbildung 106: Schmutzentfernung (RI-Werte) auf Standard-Prüfgewebe (PCMS-55) für Waschmaschinen .....	139

<b>Abbildung 107: Vergrauung (<math>\Delta Y</math>-Werte) auf Standard-Prüfgewebe (CO und PES/CO 65/35) ...</b>	<b>140</b>
<b>Abbildung 108: Grenzkostenbetrachtung für elektrische Kleindampferzeuger .....</b>	<b>141</b>
<b>Abbildung 109: CO<sub>2</sub>-Betrachtung zentrale/dezentrale Dampferzeugung .....</b>	<b>142</b>
<b>Abbildung 110: Spezifischer Dampfenergiebedarf, Garderobenfinisher .....</b>	<b>143</b>
<b>Abbildung 111: Spezifischer Dampfenergiebedarf, Hemdenfinisher.....</b>	<b>144</b>
<b>Abbildung 112: Spezifischer Dampfenergiebedarf, Hosentopper.....</b>	<b>144</b>
<b>Abbildung 113: Definiert verknittertes Sakko (LI) nach Reinigungsprozess .....</b>	<b>146</b>
<b>Abbildung 114: Knitterbild (Monsantonote) von nassgereinigten Teilen (schleuderfeucht) nach Finishen mit Hemdenfinisher bzw. Hosentopper .....</b>	<b>146</b>
<b>Abbildung 115: Knitterbild (Monsantonote) von in Lösemittel gereinigten Teilen (trockene Ware) nach Finishen mit Garderobenfinisher bzw. Hosentopper .....</b>	<b>147</b>
<b>Abbildung 116: Dampfbedarf der Textilreinigungsmaschinen .....</b>	<b>150</b>
<b>Abbildung 117: Elektrischer Energiebedarf der Textilreinigungsmaschinen .....</b>	<b>151</b>