

**BMU-Umweltinnovationsprogramm**

## **Abschlussbericht**

**zum Vorhaben:**

**Regenerative, thermische Abluftreinigung  
mit integrierter Prozesswärmerückgewinnung in der Textilveredlung**

UBA AZ: 70 441-5/33

Vorhaben Nr.: 20202

**Fördernehmerin:**

**Eing Textilveredlung und Handelsgesellschaft mbH & Co. KG**

**Umweltbereich:**

**Klimaschutz und Energieeffizienz**

**Laufzeit des Vorhabens**

**17.05.2011 bis 28.02.2012**

**Autoren:**

**Dipl. Ing. Karl-Heinz Orriens**

**Eing Textilveredlung und Handelsgesellschaft mbH & Co. KG**

**Dr. Monika Kohla, Dr. Markus Strauß**

**Verband der Nordwestdeutschen Textil- und Bekleidungsindustrie e. V.**

**Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit**

**25. April 2012**

## Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen: UBA ...	Vorhaben-Nr.: ...
<b>Titel des Vorhabens</b> Regenerative, thermische Abluftreinigung mit integrierter Prozesswärmerückgewinnung in der Textilveredlung	
<b>Autoren</b> Dipl. Ing. Karl-Heinz Orriens, Eing Textilveredlung und Handelsgesellschaft mbH & Co. KG Dr. Monika Kohla, Dr. Markus Strauß, Verband der Nordwestdeutschen Textil- und Bekleidungsindustrie e.V.	<b>Vorhabensbeginn</b> 17.05.2011
	<b>Vorhabensende</b> 28.02.2012
<b>Fördernehmer/-in</b> Eing Textilveredlung und Handelsgesellschaft mbH & Co. KG Stadtlohner Straße 71 48712 Gescher	<b>Veröffentlichungsdatum</b>  <b>Seitenzahl</b>
Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
<b>Kurzfassung</b> Die Eing Textilveredlung und Handelsgesellschaft mbH & Co. Co. veredelt textile Flächen und Garne für hochwertige Heim- und Haustextilien und für viele verschiedene technische Anwendungen (Funktionstextilien). In dem wachsenden Bereich der Funktionstextilien werden überwiegend thermische Prozesse in erhitzter Luft gefahren, bei denen große Abluftmengen anfallen. Diese Abluft ist mit organischen Stoffen belastet und muss gereinigt werden. Als geeignetes Verfahren kommt zurzeit nur die thermische Nachverbrennung in Frage, weil nur dieses in der Lage ist, alle organischen Stoffe vollständig zu eliminieren. Das Verfahren hat allerdings den Nachteil, dass für den Betrieb der Nachverbrennung zusätzliche Energie notwendig ist. Mit diesem Vorhaben wird eine Lösung umgesetzt, bei der die zusätzlich verbrauchte Energie ebenso wie vorhandene Energie in der Spannrahmenabluft über Luft-Wasser-Wärmetauscher zurückgewonnen, zwischengespeichert und zur Einsparung von Primärenergie in der Textilveredlung wieder verwendet wird. Durch die Einsparungen werden die Energie- und damit die CO <sub>2</sub> -Bilanz des Abluftreinigungsverfahrens wieder ausgeglichen.	
<b>Schlagwörter</b> Textilveredlung, Abluftreinigung, Regenerative Nachverbrennung, Energieeffizienz	
<b>Anzahl der gelieferten Berichte</b> - Papierform: - Elektronischer Datenträger:	<b>Sonstige Medien</b> Veröffentlichung im Internet geplant auf der Home-Page:

## **Kurzfassung**

Ziel war die Errichtung einer Anlage zur thermischen Nachverbrennung von belasteter Abluft, die bei der Appretur oder Beschichtung von Funktionstextilien anfällt, in Verbindung mit einem innovativen Wärmemanagement, um die für die Nachverbrennung aufzuwendende Energie vollständig in der Produktion wieder einzusetzen.

## **Beschreibung**

Bei der thermischen Behandlung von textilen Flächengebilden auf Spannrahmenanlagen werden große Abluftmengen mit Temperaturen zwischen 150 und 200°C freigesetzt, die mit organischen Schadstoffen belastet sind. Die Abluft wird durch eine neu errichtete regenerative Nachverbrennung (RNV) gereinigt. Diese Technologie garantiert bei allen Verfahren und Rezepturen in der Ausrüstung und Beschichtung eine weitgehende Eliminierung der organischen Schadstoffe in der Abluft. Nachteilig ist jedoch der zusätzliche Energieeinsatz, der nötig ist, um die Schadstoffe in der Abluft zu verbrennen.

In diesem Projekt wird aufgezeigt, dass die in der Abluft enthaltene Energie aus den Veredlungsprozessen und die zusätzlich für den Betrieb der RNV-Anlage benötigte Energie ein weiteres Mal in anderen energieintensiven Prozessen wieder eingesetzt werden kann und dort zu entsprechenden Einsparungen führt. Die bei RNV-Anlagen bisher als wesentlicher Nachteil angeführte negative CO<sub>2</sub>-Bilanz wird damit ausgeglichen.

In dem hierfür ausgearbeiteten und umgesetzten Wärmemanagementsystem wird die Wärmeenergie auf das Frischwasser für die Färberei übertragen und zwischengespeichert. Das Unternehmen hat bereits vor Umsetzung des Projektes Abwasser- und Abluft-Wärmerückgewinnungsanlagen für die Vorerwärmung des Frischwassers betrieben und verfügte über ausreichend Warmwasser in Temperaturbereichen zwischen 30 und 55°C. Die neuen Luft/Wasser-Wärmetauscher sind so ausgelegt, dass Frischwasser bei Bedarf auf bis maximal 90° erwärmt werden kann. Die höhere Temperatur des bereitgestellten Wassers erhöht die Verwendungs- und Einsparmöglichkeiten in den Färbereiabteilungen wesentlich.

Der Abruf des vorerwärmten Frischwassers erfolgt jeweils bei den Füllprozessen in den Färbereimaschinen über neu eingerichtete Temperaturmischstationen. Die Prozessprogramme wurden so geändert, dass die Starttemperaturen der Behandlungsbäder im Bereich zwischen 40 und 90°C soweit wie möglich schon beim Befüllen mit eingestellt werden. Der Bedarf an Dampf bzw. Primärenergie zum Beheizen der Bäder wird dadurch minimiert.

## **Anwendbarkeit der Technik**

Spannrahmen sind Kernanlagen für die Ausrüstung und Beschichtung von textilen Flächen. Das hier beispielhaft umgesetzte Verfahren ist prinzipiell für alle Textilveredlungsbetriebe einsetzbar, die funktionale Flächentextilien herstellen bzw. behandeln. Die überwiegende Zahl der Unternehmen betreiben parallel zu den Spannrahmen verschiedene Nassveredlungsanlagen zum Waschen, Vorbehandeln, Bleichen und/oder Färben. Für diese Betriebe wird mit diesem Projekt eine Lösung vorgestellt, um eventuell vorhandene Wärmerückgewinnungssysteme zu verbessern und eine wirksame Abluftreinigung mit ausgeglichener CO<sub>2</sub>-Bilanz zu betreiben.

## Wesentliche Vorteile

- Die Regenerative Nachverbrennung ist das zur Zeit wirksamste Verfahren um organische Luftschadstoffe, wie z. B. aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Fettalkohole, Fettsäureverbindungen, Formaldehyd oder Methanol wirkungsvoll aus der Abluft zu entfernen.
- Elimination von organischen Verbindungen (org. C<sub>ges</sub>): >98 %.
- Der Luft-Wasser-Wärmetauscher garantiert eine hohe Rückgewinnungsrate für die Energie aus der gereinigten Abluft.
- Das nachgeschaltete Wärmemanagementsystem verbessert generell die Nutzungsmöglichkeiten für Abwärme aus Textilveredlungsanlagen
- Energieeinsparung: Erdgas 1.600 MWh/a
- Netto-CO<sub>2</sub>-Einsparung: 290,8 t/a

## Referenzliteratur

- [1] Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg;  
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz:  
„Emissionsminderung bei Textilveredlungsanlagen - Teil II: Muster-Auflagenvorschläge zu Emissionsminderungsmaßnahmen bei Textilveredlungsanlagen“  
Stand September 2004
- [2] Universität Augsburg (Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, Schwerpunkt Produktions- und Umweltmanagement);  
Modern Testing Services (Germany) GmbH;  
Lufttechnik Bayreuth GmbH & Co. KG  
J.G. Knopf's Sohn GmbH & Co. KG:  
Endbericht zum Vorhaben EULV 27 „Beste Verfügbare Techniken (BAT) bei der Abluftreinigung in der Textilveredlung“,  
Stand Dezember 2008  
Erstellt für das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit
- [3] Sedlak, Dieter:  
„Integrierte und nachhaltige Emissionsminderung bei Textilveredlungsanlage“,  
Zeitschrift „Textilveredlung“ 5/6 2009, Seite 23-27

## Report Identification

Reference number: UBA ...	Project number: ...
<b>Title of the project:</b> Regenerative, thermal exhaust air purification with integrated process heating in textile finishing.	
<b>Authors</b> Dipl. Ing. Karl-Heinz Orriens, Eing Textilveredlung und Handelsgesellschaft mbH & Co. KG Dr. Monika Kohla, Dr. Markus Strauß, Verband der Nordwestdeutschen Textil- und Bekleidungsindustrie e.V.	<b>Start of the project</b> 17.05.2011
	<b>End of the project</b> 28.02.2012
<b>Grantee</b> Eing Textilveredlung und Handelsgesellschaft mbH & Co. KG Stadtlohner Straße 71 48712 Gescher	<b>Publishing date</b>  <b>Pages</b>
Subsidized in the frame of the environment-innovation-programme of the Federal Environment Ministry	
<b>Summary</b> Eing Textilveredlung und Handelsgesellschaft mbH & Co. Co. refined textile fabrics and yarns for high quality home textiles and for many different technical applications (functional textiles).  In the expanding area of functional textiles, there are predominate made thermal processes where a lot of exhaust air incurred. This exhaust air is contaminated by organic substances and has to be cleaned. At the moment, the only applicable procedure is a thermal oxidation process with regenerative heat recovery (regenerative thermal incineration), because this is the only way to eliminate all organic matter. This procedure has admittedly the downside that we need additional energy to keep up the combustion. The solution is, to rewin, storage and recycle the additional used energy and also the available energy in the exhaust air with the aid of an air/water heat exchanger and to substitute primary energy in other processes of textile finishing. The balance of energy and CO <sub>2</sub> of the air cleaning process will be compensated by the realised savings.	
<b>Keywords</b> textile finishing, exhaust air purification, regenerative thermal incineration, energy efficiency	
<b>Number of reports supplied</b> - in hardcopy: - electronic data carriers:	<b>Other Media</b> Publication in the internet planned web-site:

## Summary

The target was the construction of the plant for regenerative thermal incineration of exhaust air, which accrues by dressing or coating of functional textiles, in touch with an innovative thermal energy management, to re-use the expended energy for combustion complete.

## Description

By the thermal treatment of textile fabrics on stretcher, there is much exhaust air with temperature of 150-200°C released, which is contaminated with organic pollutants. The exhaust air will be cleaned by a thermal oxidation process with regenerative heat recovery (RTO). This technology ensured wide elimination of organic pollutants in the exhaust air, by all procedures and recipes by dressing and coating. Adversely is the additional energy, which is necessary to incinerate the air pollutants.

This project demonstrate, that in the exhaust air enclosed energy from the finishing processes and the added energy for the thermal incineration can be used in other energy-intensive processes and allow adequate savings of primary energy. So the before named negative CO<sub>2</sub>-Balance is compensated.

In the therefore developed and implemented heat management system, the energy will be carrying to and buffered in freshwater for the dye factory. Before realization this project, the company operated heat recovery to preheating fresh water with the energy from waste-water and waste air and command on ample hot water with temperature between 33-55°C. The new air/water heat exchangers are dimensioned, that fresh water can be heated to 90°C. This added much more possibilities for application and economy in the dye factory.

The recall of preheated fresh water happened each with the fill operation in the dyeing machine with aid of a new equipped temperature blending station. The process controlling programs have been changed, so the start temperature of the treatment bath between 40 and 90°C can be add by filling. The demand of damp and accordingly primary energy to obtain of the process temperature will be minimises thus.

## Use of technique

Stretchers are core facility to finish and coating textile fabrics. This exemplary developed and realized procedure can be transformed to all textile finishing companies, who produce respectively treats functional textiles. Most companies operate parallel different wet finishing machines for washing, pre-treatment, bleaching and/or dyeing. For these firms there is a result with the aid of this project maybe to upgrade available heat recovery systems and to actuate effective exhaust air purification with more even CO<sub>2</sub>-Balance.

## Basic pros

- At the moment, the regenerative thermal incineration is the most effective procedure to eliminate organic air pollutants like aliphatic and aromatic hydrocarbons, alcohol, fatty alcohol, fatty acid compounds, formaldehyde or methanol.
- Elimination of organic pollutants (org. Carbon): >98 %.
- The air/water heat exchanger ensures a high recovering-rate for the energy in he cleaned exhaust air.
- The downstream heat-management expand the possibilities of utilisation for waste heat of finishing machines

- Saving of Energy: Natural gas 1.600 MWh/a
- Reduction of CO<sup>2</sup>: 290,8 to/a

## Referee literature

- [1] Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg;  
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz:  
„Emissionsminderung bei Textilveredlungsanlagen - Teil II: Muster-Auflagenvorschläge zu Emissionsminderungsmaßnahmen bei Textilveredlungsanlagen“  
Stand September 2004
- [2] Universität Augsburg (Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, Schwerpunkt Produktions- und Umweltmanagement);  
Modern Testing Services (Germany) GmbH;  
Lufttechnik Bayreuth GmbH & Co. KG  
J.G. Knopf's Sohn GmbH & Co. KG:  
Endbericht zum Vorhaben EULV 27 „Beste Verfügbare Techniken (BAT) bei der Abluftreinigung in der Textilveredlung“,  
Stand Dezember 2008  
Erstellt für das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit
- [3] Sedlak, Dieter:  
„Integrierte und nachhaltige Emissionsminderung bei Textilveredlungsanlage“,  
Zeitschrift „Textilveredlung“ 5/6 2009, Seite 23-27

# Abschlussbericht

## Inhalt

1	Einleitung .....	9
1.1	Kurzbeschreibung des Unternehmens .....	9
1.2	Ausgangssituation.....	9
1.2.1	Spannrahmen .....	9
1.2.2	Färberei .....	13
2	Vorhabensumsetzung.....	18
2.1	Ziel des Vorhabens .....	18
2.2	Darstellung der technischen Lösung .....	18
2.2.1	Abluftreinigung.....	18
2.2.2	Wärmemanagement .....	20
2.3	Darstellung der Umsetzung des Vorhabens .....	22
2.4	Behördliche Anforderungen .....	23
2.5	Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	23
2.5.1	Betriebsdaten der RNV-Anlage und Abluftwärmerückgewinnung .....	23
2.5.2	Prozessdaten in der Färberei.....	24
3	Ergebnisse.....	25
3.1	Bewertung der Vorhabensdurchführung .....	25
3.2	Stoff- und Energiebilanz .....	25
3.3	Umweltbilanz.....	28
3.4	Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms .....	29
3.4.1	Abluft .....	29
3.4.2	Energiebilanz .....	30
3.5	Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	31
3.5.1	Betriebskosten.....	31
3.5.2	Kosteneinsparungen.....	32
3.5.3	Produktionsspezifische Kosten.....	33
3.5.4	Wirtschaftlichkeit .....	34
3.6	Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren.....	34
3.6.1	Abluftreinigung.....	34
3.6.2	Wärmenutzung.....	35
4	Empfehlungen.....	35
4.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	35
4.1.1	Abluftreinigung.....	35
4.1.2	Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung .....	36
4.2	Modellcharakter .....	36
4.3	Zusammenfassung.....	36
5	Literatur .....	37
6	Anhang.....	38
6.1	Erläuterungen zu Fachbegriffen aus der Textilveredlung .....	38
6.2	Berechnung der Wärmeverluste im Warmwassertank.....	39

# 1 Einleitung

## 1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Firma Eing Textilveredlung und Handelsgesellschaft mbH & Co. KG, ein mittelständisches Auftragsveredlungsunternehmen mit Sitz in Gescher, Nordrhein-Westfalen. Das Unternehmen betreibt Anlagen zum

- Herstellen von Webketten (Weberei-Vorwerk),
- Bleichen, Färben und Ausrüsten von Garnen und
- Bleichen, Färben, Bedrucken, Ausrüsten und Beschichten von textilen Flächen.

Hervorzuheben ist noch, dass die Firma Eing eine eigene Betriebskläranlage zur Behandlung ihrer Produktionsabwässer betreibt, die anschließend direkt in ein Gewässer eingeleitet werden.

Kunden sind in erster Linie Unternehmen der Textilindustrie, die sowohl in der näheren Umgebung als auch im europäischen Ausland ansässig sind.

Die behandelten Textilien werden schwerpunktmäßig im Bereich der Haus- und Heimtextilien (Frottierartikel und Bettwäsche) und in vielen technischen Anwendungen wie z. B. Black-Out, Perlglanz, Digitaldruck, Sonnenschutz, Arbeitsschutz, Automobil u.a. eingesetzt.

## 1.2 Ausgangssituation

Die Prozesse in der Textilveredlung sind sehr vielseitig und erfordern einen entsprechenden Maschinen – und Anlagenpark. Eine detaillierte Darstellung aller Maschinen und Verfahren würde hier zu weit führen. Für das Vorhaben sind zum einen die **Spannrahmen** für die Flächenveredlung und zum anderen die **Färberei-Aggregate** relevant, die in den nachfolgenden Abschnitten kurz beschrieben werden.

Die Textilveredlung benötigt große Mengen an Wasser, Textilhilfsmittel und Energie. Die Größenordnungen werden durch folgende Kennzahlen der Firma Eing umrissen:

- Produktionsmenge Textilien	7.000 to/a
- Wasserverbrauch	400.000 m <sup>3</sup> /a
- Erdgasverbrauch	30.000 MW/a
- Stromverbrauch	7.000 MW/a
- Basischemikalien	750 to/a
- Textilhilfsmittel	800 to/a
- Farbmittel	55 to/a

### 1.2.1 Spannrahmen

#### 1.2.1.1 Anlagenbeschreibung

Spannrahmen werden je nach Ausstattung zum Trocknen, Thermofixieren, Appretieren und Beschichten von textilen Flächen eingesetzt. Die Flächengebilde (Gewebe, Gewirke, Vliese) werden an den Längskanten auf zwei parallel laufenden Nadelketten aufgespannt und durch eine Trockenkammer mit erhitzter Luft geführt. Je nach Prozess dient dieser Schritt zum Verdampfen von Wasser (Trocknen), zum thermischen Fixieren von aufgetragenen Produkten (Kondensieren, Polymerisieren, Thermosolieren) oder zum Anschmelzen bzw. Erweichen und Fixieren von Flächen aus Synthefasern. Bei der Appretur oder Beschichtung werden unmittelbar vor dieser Passage Textilhilfsmittel in Form von wässrigen Lösungen (Flotten) oder Pasten aufgetragen, die dem Textil gewünschte Eigenschaften verleihen sollen (Knittererholung von Cellulosefasern, flammhemmende Eigenschaften, Wasser- und/oder Ölabweisung, Weichmachung, Versteifung, Lichtundurchlässigkeit usw.)

Die Luft in der Trockenkammer wird durch direkte Befeuerung mit Erdgasbrennern oder indirekt über eine erdgasbeheizte Thermoölanlage je nach Verfahren auf 150 bis 200 °C erhitzt und über Ventilatoren ständig umgewälzt. Um die Konzentration an Feuchtigkeit und Verunreinigungen im Spannrahmen gering zu halten, muss ein Teil der Umluft kontinuierlich als Abluft ausgeschleust werden.

#### Übersicht Spannrahmen

Nr.	Arbeitsbreite	Flächenleistung	Abluftvolumen	Verdampfungsleistung
<b>SP53</b>	262 cm	15.720 m <sup>2</sup> /h	34.000 m <sup>3</sup> /h	2.500 kg/h
<b>SP54</b>	340 cm	20.400 m <sup>2</sup> /h	24.000 m <sup>3</sup> /h	1.850 kg/h
<b>SP55</b>	280 cm	16.800 m <sup>2</sup> /h	25.000 m <sup>3</sup> /h	1.800 kg/h

#### 1.2.1.2 Umweltrelevanz der Verfahren auf den Spannrahmen

- **Energieverbrauch**  
Spannrahmenprozesse sind fast ausschließlich thermische Prozesse, wobei das vom Textil mitgeführte Wasser verdampft wird und bei der Thermofixierung, Appretur oder Beschichtung auch das Textilsubstrat mit den aufgetragenen Stoffen auf Temperaturen zwischen 150 und 200°C erhitzt werden muss. Bei der Firma Eing werden pro Jahr etwa 6.000 MW Erdgas für die Befeuerung der Spannrahmenanlagen verbraucht.
- **Abluft**  
Beim Betrieb der Spannrahmen sind in erster Linie die Abluftbelastungen signifikant. Die Verunreinigungen in der Spannrahmenabluft stammen je nach Verfahren aus den textilen Materialien, den verwendeten Textilhilfsmitteln und bei direkter Befeuerung auch aus den verwendeten Brennstoffen.  
Der mengenmäßig größte Teil dieser Schadstoffe in der Abluft fällt unter die Klassen III und II gemäß TA-Luft 5.2.5 (Organische Stoffe) und wird als organischer Kohlenstoff gemessen. Bei Textilveredlungsprozessen sind zum Beispiel aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Fettalkohole, Fettsäureverbindungen, Essigsäure relevant. Darüber hinaus fallen auch Stoffe an, die der TA Luft-Klasse I zugeordnet werden. Hinweise auf das Vorhandensein solcher Stoffe erhalten die Textilveredler von den Farb- und Hilfsmittellieferanten. Von den in der TA Luft unter 5.2.5 aufgeführten Stoffen sind zum Beispiel Ameisensäure, Butanonoxim, Buthylacrylat, Ethylacrylat, Formaldehyd, Methanol für die Textilveredlung von Bedeutung.
- **Abwasser**  
Abwasser fällt in der Regel nur bei der Reinigung von Auftragsaggregaten für Appreturflotten oder Beschichtungspasten an, die dem eigentlichen Spannrahmen vorgeschaltet sind.
- **Abfall**  
Appreturflotten und Beschichtungspasten, die als Restmengen anfallen, werden aufgefangen und soweit möglich für Folgeaufträge zurückgestellt. Nicht mehr einsetzbare Reste werden als Abfall entsorgt.

#### 1.2.1.3 Bisherige Maßnahmen zur Reduzierung der Umweltbelastung

- **Energieverbrauch**  
Vor der Umsetzung des Vorhabens konnte die Energie in der Spannrahmenabluft zum Teil über Energierückgewinnungssysteme zurück gewonnen und genutzt werden:
  - Gemeinsamer Luft-Wasser-Wärmetauscher für die Spannrahmen SP53 und SP54.  
Die Abluft wurde darin auf etwa 50-55 °C abgekühlt. Es konnte allerdings nur die

Abluftmenge aus einem Spannrahmen über diesen Wärmetauscher geführt werden.

- Luft-Luft-Wärmetauscher für den Spannrahmen SP55 (Wärmerad). Der Wirkungsgrad dieses Luft/Luft-Wärmetauschers ist allerdings geringer als bei den neu installierten Luft/Wasser-Wärmetauscher.

- Abluft

Vorgaben zum Schutz der Allgemeinheit vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen sind in der TA Luft beschrieben. Dort sind auch die Grenzwerte für die Beschaffenheit der Abluft aus den Spannrahmen festgelegt und geregelt. Für die textile Veredlung sind insbesondere die Grenzwerte der Abschnitte 5.2.5 und 5.2.7 ff. relevant.

Zur Reduzierung der Abluftbelastungen wurden bisher folgende Maßnahmen nach dem Stand der Technik durchgeführt:

- **Wartung der Spannrahmenanlagen**  
Durch regelmäßige Wartung der Brenner wird vermieden, dass die Abluft durch Anteile von unverbranntem Erdgas verunreinigt wird.
- **Vorwäsche von Rohware vor der Thermofixierung**  
Präparationen, die das Textil bei der Faser- und Flächenherstellung erhalten hat, verdampfen bei der Thermofixierung von Synthefasern und verschmutzen die Abluft in hohem Maße. Durch die Vorwäsche werden diese vorher entfernt.
- **Optimierung der Appreturrezepturen nach emissionsrelevanten Aspekten.**  
Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach den Methoden, wie sie in der TA Luft unter Abschnitt 5.4.10.23.1 („Anlagen zur Textilveredlung ...“ beschrieben sind. Hierzu müssen die Emissionsfaktoren zu den eingesetzten Farb- und Hilfsmitteln bekannt sein.
- **Auskondensation von hochsiedenden Stoffen in der Abluft**  
Bei der Energierückgewinnung kühlt sich die Abluft ab, so dass hochsiedende Stoffe zumindest teilweise auskondensiert werden.

- Abwasser

Die Rückhaltung von konzentrierten Klotzflotten und Restpasten aus der Appretur entspricht dem Stand der Technik. In der Gesamt-Abwasserbilanz fallen diese Mengen bei der Firma Eing allerdings kaum ins Gewicht, weil diese lediglich zu 0,5 – 1,5 % der Gesamt-CSB-Fracht im Abwasser beitragen würden. Diese Maßnahme erfolgt in erster Linie, um den Eintrag von speziellen Schadstoffen in das Abwasser zu vermeiden. Hier sind insbesondere Alkylphenoethoxylate (APEO) und Perfluorierte Tenside (PFT) zu nennen, die in einigen Produkten enthalten sind.

- Abfall

Restflotten bzw. Restpasten werden nur zur Entsorgung gegeben, wenn sie nicht mehr eingesetzt werden können. Vorrang hat die Wiederverwendung der zurückgehaltenen Ansätze für Folgeaufträge.

#### 1.2.1.4 Beurteilung der Abluftsituation an den Spannrahmen

Bei den Veredlungsverfahren für Artikel im Bereich der Haus- und Heimtextilien reichen die oben beschriebenen Maßnahmen in der Regel aus, um die geltenden Abluftgrenzwerte einzuhalten. Produktionsintegrierte Maßnahmen haben dabei immer Vorrang vor nachsorgenden Verfahren, weil hierdurch neben der Abluftbelastung vielfach auch der Ressourcenverbrauch minimiert wird. Dies kommt auch dem Bestreben entgegen, Textilien für Bedarfsgegenstände (Bettwäsche, Frottierwaren) möglichst schadstoffarm auszurüsten und den textilen Charakter der Waren zu erhalten.

Bei den so genannten Technischen Textilien steht die Funktion des Endproduktes im Vordergrund („Funktionstextilien“). Die für dieses Vorhaben relevanten Artikel erhalten ihre Eigenschaften maßgebend durch die aufgetragenen Appreturen und/oder Beschichtungen. Die dafür eingesetzten Rezepturen werden ausschließlich im Hinblick auf die Funktion entwickelt und eingestellt. Es ist nicht zu vermeiden, dass die Emissionswerte bei vielen Rezepturen um ein vielfaches höher liegen als bei denen für Haus- und Heimtextilien, auch wenn alle Möglichkeiten der Rezeptoptimierung ausgeschöpft sind. Aus diesem Grund müssen für solche Behandlungen geeignete Abluftreinigungsverfahren angewendet werden, um einen grenzwertkonformen Betrieb zu gewährleisten. Im Zuge der Neuausrichtung des Unternehmens auf die Produktion von Funktionstextilien muss daher die Frage nach einem geeigneten Abluftreinigungsverfahren geklärt werden.

#### 1.2.1.5 Verfahren zur Reinigung der Spannrahmenabluft

In der Textilindustrie sind mehrere Verfahren bekannt, die zur Reinigung von Schadstoffen in der Abluft der Ausrüstung eingesetzt werden. Nicht mehr als Stand der Technik anzusehen sind dabei biologische Verfahren, einfache Kondensationsverfahren, Adsorptionsverfahren an Aktivkohle oder Zeolithen und Ionisationsverfahren. Eher geeignet sind aufgrund der komplexen Verfahren und der Stoffgemische in der Abluft Kombinationen aus Wäscher mit Elektrofilter oder regenerative thermische Verfahren, auf beides wird im Folgenden eingegangen.

- **Abluftwäscher**

Die Abluftwäsche ist in der Textilindustrie das zurzeit am häufigsten verwendete Abluftreinigungsverfahren. Die Abluft wird mit feinem Wassernebel besprüht. Wasserlösliche Bestandteile der Abluft lösen sich in dem Wasser und gelangen über den Abwasserpfad in die Kläranlage, wo sie abgebaut werden. Weiterhin erfolgt über die Abkühlung im Wassernebel eine teilweise Kondensation von hoch siedenden Abluftbestandteilen, die ebenfalls ins Abwasser gelangen.

Als Nachteile dieses Verfahrens sind zunächst der hohe Wasserverbrauch und die Überführung der Schadstoffe in ein anderes Umwelt-Kompartiment zu nennen.

Des Weiteren muss festgestellt werden, dass viele für die Textilveredlung relevante Luftschadstoffe sich über dieses Verfahren nur unbefriedigend oder gar nicht entfernen lassen, da sie in Wasser kaum löslich und/oder zu leicht flüchtig sind. Hierzu gehört unter anderem das leicht flüchtige Methanol, einem Stoff der Ziffer 5.2.5, Klasse I, das in der Hochveredlungsabluft vorkommt. Auch die häufig eingesetzte Kombination mit einem Elektrofilter bringt keine wesentliche Verbesserung, da zwar Tröpfchen besser abgeschieden werden, aber gasförmige Abluftbestandteile unverändert passieren.

- **Thermische Verfahren**

Im Markt sind zwei Arten der Nachverbrennung bekannt, die sich prinzipiell in der Art der Brennkammer unterscheiden.

In der *Thermischen Nachverbrennung* (TNV) wird das Rohgas in einer Brennkammer bei ca. 800°C nachverbrannt und verlässt mit annähernd dieser Temperatur die Brennkammer. Eine Unterart ist dabei die katalytische Nachverbrennung, bei der durch den Katalysator das benötigte Temperaturniveau abgesenkt wird. Probleme bereitet hier allerdings die Vergiftung des Katalysators durch in der Textilindustrie verwendete Chemikalien. Aufgrund der hohen Kosten für den Verbrennungsvorgang (steigende Gaspreise) gibt es nur eine äußerst geringe Anzahl dieser Anlagen in der Textilindustrie.

Bei der *Regenerativen Nachverbrennung* (RNV) wird die Abluft ebenfalls bei ca. 800 – 1000 °C nachverbrannt. Der größte Teil der hierfür benötigten Wärmeenergie ist innerhalb der Anlage in Keramik-Körpern gespeichert. Diese erhitzen die zuströmende Abluft ab und nehmen die Wärme nach der Verbrennung wieder auf. Die interne Wärmenutzung kann Wirkungsgrade bis zu 95 % erreichen. Die Konzentration der organischen Stoffe in der Abluft von

Spannrahmenanlagen reicht bei weitem nicht aus, um die Verbrennungstemperatur aufrecht zu erhalten bzw. die 5 % Energieverluste zu kompensieren (autothermer Betrieb). Daher muss zusätzlich Energie zugeführt werden, was als Nachteil dieses Verfahrens angeführt werden muss. Dieses und die hohen Anschaffungskosten sind die entscheidenden Gründe dafür, dass sich dieses effektive Verfahren zur Abluftreinigung in der Textilindustrie nicht allgemein eingeführt ist.

Von den in der Textilindustrie eingesetzten Abluftreinigungsverfahren, erreichen die thermischen Verfahren den höchsten Reinigungsgrad für die bei der Textilveredlung anfallenden Luftschadstoffe. Einschränkungen ergeben sich, wenn in der Abluft regelmäßig bestimmte Problemstoffe in größeren Mengen enthalten sind bzw. bei der Verbrennung gebildet werden. In der Textilveredlung sind hier folgende Stoffe relevant:

- Siloxane  
(Freisetzung bei Ausrüstungen mit Silikon-Weichgriffmittel oder bei der Thermofixierung von Polyurethan-Elastikartikeln. Bei der Verbrennung entstehen Silikate, die sich in den Keramik-Wärmespeicher ablagern können.)
- Organostickstoffverbindungen  
(Bildung von NO<sub>x</sub> bzw. Cyanwasserstoff, Problematisch, wenn z. B. stickstoffhaltige Lösemittel wie Dimethylformamid (DMF) oder Caprolactam in größeren Mengen freigesetzt werden )
- Fluorverbindungen, Chlorverbindungen oder Phosphorsäureester  
(Korrosionsprobleme, z. B. durch Fluorwasserstoff)

## **1.2.2 Färberei**

In den Färbereiabteilungen werden mehrere diskontinuierlich arbeitende Aggregate (Maschinen und Apparate) für die Behandlung (Waschen, Bleichen, Färben, Avivieren usw.) von Garnen und textilen Flächen betrieben. Die Gesamt-Produktionsmenge lag im Jahr 2011 bei etwa 2.000 to.

### 1.2.2.1 Anlagen- und Verfahrensbeschreibung

- Garnfärberei  
Die Garnbehandlungsapparate sind aufrecht stehende zylindrische Druckkessel, in denen Materialträger mit Garnen auf Wickelkörpern hinein gestellt werden. Bei den Prozessen werden die Kessel jeweils mit den Behandlungs- bzw. Spülbädern (Flotte) geflutet. Eine Pumpe sorgt für die Flottenumwälzung und die intensive Durchströmung des Garnmaterials.  
  
Für die Produktion stehen acht Apparate mit einer maximalen Beladungskapazität von jeweils 550 kg und eine Füllmenge von jeweils 4000 ltr., sowie drei Apparate mit max. 100 kg Beladung und einer Füllmenge von 1000 ltr. für die Behandlung von kleineren Losgrößen zur Verfügung.
- Stückfärberei  
In der Stückfärberei erfolgt die Behandlung von textilen Flächen überwiegend in Strangform. Die einzelnen Maschinen bestehen aus einem Bassin, in der sich die Behandlungsflotte und die textile Fläche (Ware) befinden. Bei der Beschickung der Maschine werden ein oder mehrere Warenstränge über eine höher liegende Haspel gelegt und an den Enden jeweils zusammengenäht. Durch die Haspel werden die Warenstränge ständig aus dem Bassin hochgezogen und dahinter wieder abgelegt. Gleichzeitig wird die Behandlungsflotte über Umwälzpumpen ständig umgewälzt und dabei so geführt, dass sie mit mehr oder weniger hohem Druck hinter der Haspel über die Warenstränge fließt. Dadurch wird einerseits der Warentransport unterstützt und zum anderen der Flottenaustausch intensiviert.  
  
Für die Produktion stehen 13 Färbemaschinen in verschiedenen Ausbaugrößen mit Beladungskapazitäten von 100 bis 600 kg und Füllmengen von 1000 bis 6000 ltr. zur Verfügung. Im Detail werden verschiedene Konstruktionsarten unterschieden, die jeweils auf

die Eigenschaften von unterschiedlichen Flächenkonstruktionen (Glattgewebe, Vliese, Florgewebe, Gestricke) und Fasersubstraten (Baumwolle, Synthefasern) abgestimmt sind.

- Verfahren

Die Behandlungsverfahren, die auf den Aggregaten in der Garn- und Stückfärberei durchgeführt werden, bestehen jeweils aus mehreren Schritten, z. B. Netzen und Vorspülen, Bleichen oder Färben, Spülen, Nachwaschen, Nachspülen und Avivieren. Viele dieser Schritte sind reine Spülbäder, für die große Mengen an warmen und heißen Wasser benötigt werden.

Die Prozesse werden elektronisch gesteuert und geregelt. Zu den einstellbaren Parametern zählen Anzahl Behandlungsbäder, Behandlungstemperaturen (Heizen/Kühlen), Behandlungszeiten, Flottenumwälzung, sowie die Zugabe von Chemikalien, Farb- und Hilfsmitteln.

Chemikalien, Farb- und Hilfsmittel werden über verschiedene Dosiervorrichtungen in den Flottenkreislauf eingeschleust. Die Zugabe von einigen häufig verwendeten Chemikalien und Hilfsmitteln erfolgt über vollautomatische Dosieranlagen.

Die Temperaturführung erfolgt mit Hilfe von Wärmetauschern, die beim Beheizen mit Dampf und beim Abkühlen mit Kaltwasser beschickt werden

#### 1.2.2.2 Umweltrelevanz der Verfahren in der Färberei

- Energieverbrauch

Die Prozesse in der Färberei sind energieintensiv. Die Behandlungsbäder werden je nach Verfahren und Veredlungsziel auf Temperaturen von 40 bis 95°C, bei Hochtemperaturanlagen auch bis 130°C aufgeheizt. Der Bedarf an Wärmeenergie betrug im Jahr 2011 rund 18.000 MWh bzw. 9 kWh/kg Textil und wurde zu 77,6 % mit Dampf (Primärenergie) und 22,4 % aus den Wärmerückgewinnungsanlagen gedeckt.

- Abluft

Die Emissionen in die Luft sind im Bereich der Färberei vernachlässigbar, da die Prozesse in geschlossenen Apparaten bzw. Maschinen ablaufen. Emissionen entstehen in geringer Menge höchstens beim Öffnen der Behälter in Form von Wasserdampf.

- Abwasser

Das Produktionsabwasser aus der Textilveredlung wird in einer betriebseigenen Kläranlage behandelt und direkt eingeleitet. Die Firma Eing besitzt dafür eine Einleiterlaubnis gemäß Wasserhaushaltsgesetz. Da es sich bei dem aufnehmenden Vorfluter um ein relativ kleines Gewässer handelt, gehen die Anforderungen an das gereinigte und eingeleitete Abwasser weit über die Mindestanforderungen des Anhangs 38 (Textilherstellung, Textilveredlung) zur Abwasserverordnung hinaus. Die in der Einleiterlaubnis festgesetzten Überwachungswerte werden bei der Firma Eing sicher eingehalten.

#### 1.2.2.3 Bisherige Maßnahmen zur Reduzierung der Umweltbelastung

- ERP-System mit integrierter Rezeptverwaltung

Der Begriff ERP-System (**Enterprise Resource Planning**) wird allgemein für Softwareprogramme zur EDV-basierten Planung und Verwaltung von Material- und Produktionskapazitäten verwendet. Sie unterstützen die Abwicklung der Prozesse in den Bereichen Wareneingang, Lager, Einkauf, Vertrieb, Auftragsabwicklung und Produktion. Die bei der Firma Eing eingesetzten Programme sind zu einem großen Teil im Hause selbst entwickelt worden. Ein besonderes herausstichendes Merkmal ist die darin integrierte Rezeptverwaltung in der Rezepturen und Arbeitsvorschriften für die Produktion durch Expertensysteme optimal an die jeweiligen Produktionsbedingungen angepasst werden. Das ERP-System vereinfacht die Zusammenfassung von vielen Kleinaufträgen zu optimalen Fertigungs-Losgrößen. Dies führt unter anderem zu einer Minimierung der spezifischen

Verbräuche von Wasser, Energie und Farb- und Hilfsmitteln.

Bei der Rezeptberechnung wird für jede Fertigungspartie ein individuelles Rezept generiert, bei dem die Anforderungen aus dem zu behandelnden Textilmaterial, den verwendeten Farb- und Hilfsmitteln zusammen mit den aggregatspezifischen Kenndaten mit berücksichtigt werden. Als Ergebnis erhält man angepasste Arbeitsanweisungen, Dosiervorgaben und Steuerungsparameter, bei denen weitgehend auf die sonst üblichen Sicherheitszuschläge verzichtet werden kann. Hierzu zählt auch die Anzahl der benötigten Spülbäder für die Farbnachbehandlung, welche auf die jeweiligen Farbtöne und Farbtiefen abgestimmt wird.

- **Wärmemanagement und Wasserversorgung**

Um den Einsatz an Primärenergie in diesem Bereich zu minimieren, wird bereits seit den 1980er Jahren ein innerbetriebliches Wasser- und Energiemanagement betrieben. Die Wasserversorgung der Färbeaggregate erfolgt aus drei Vorrattanks mit jeweils unterschiedlichem Temperaturniveau:

- Kaltwasser 8 - 15°C, 80m<sup>3</sup>
- Warmwasser 25 - 35°C, 1.000m<sup>3</sup>:
- Heißwasser 45 - 55°C, 15m<sup>3</sup>

Das **Heißwasser** wurde bisher mit der Wärme aus den Färbereiabwässern aufgeheizt. Das Wasser im **Warmwassertank** wurde mit der Energie aus der bisherigen Abluft-Wärmerückgewinnung der Spannrahmen erwärmt. Darüber hinaus fließt nicht benötigtes Heißwasser, sowie das Kühlwasser aus den Heiz- und Kühlregistern der Färbereiaggregate in den Warmwasservorrattank. Durch die Wärmerückgewinnungsanlagen wurden bislang bereits folgende Energiemengen in den Prozess zurückgeführt (Bilanz 2011):

- Heißwasser: 36.452 m<sup>3</sup>/a ( $\Delta t = 35 \text{ °C}$ ) entspr. 2.567.510 kWh/a
- Warmwasser: 147.065 m<sup>3</sup>/a ( $\Delta t = 15 \text{ °C}$ ) entspr. 1.484.913 kWh/a

Das entspricht einem Anteil von 22,4 % des Gesamt-Energiebedarfs in den Färbereiabteilungen.

#### 1.2.2.4 Beurteilung der Situation in der Färberei

Die Färbereiabteilungen hoben sich bereits vor Umsetzung des Vorhabens vom Stand der Technik ab. Die optimierte Verfahrensgestaltung und Prozessführung gewährleistet nach wie vor eine weitgehende Minimierung der Umweltbelastungen.

Bei der Abwärmenutzung in der bisherigen Form ließ sich allerdings feststellen, dass die Energie in dem aufgewärmten Frischwasser häufig nicht sinnvoll genutzt werden konnte.

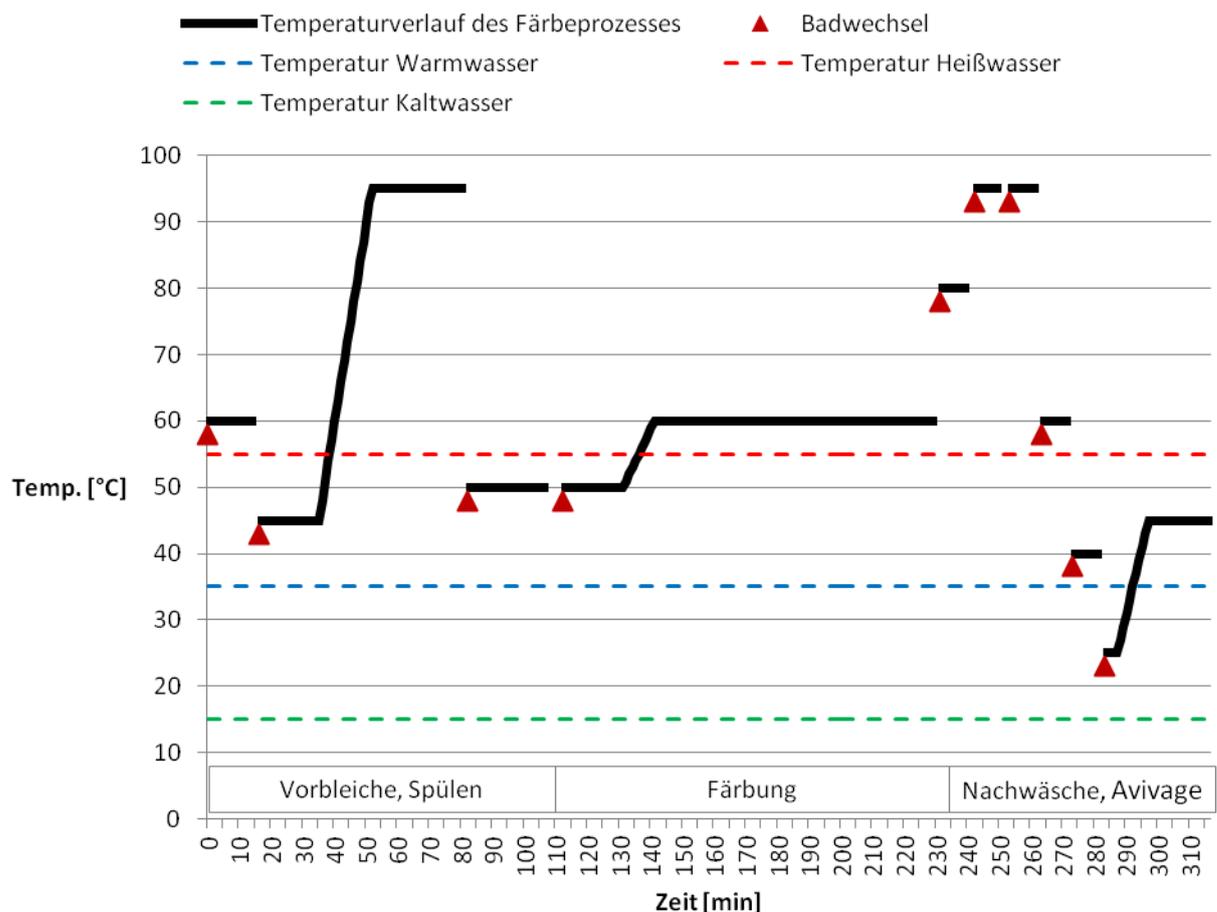


Abbildung 1: Zeit- Temperatur-Verlauf eines Färbeprozesses

In der Abbildung 1 ist der Verlauf eines Gesamt-Färbeprozesses dargestellt. Das bisher verfügbare Temperaturniveau der verschiedenen Wassersorten ist durch die gestrichelten waagerechten Linien angedeutet. Es ist zu erkennen, dass die Energie zur Erreichung der Start- oder Behandlungstemperatur bei einigen Bädern bereits durch den Wärmegehalt des Warm- oder Heißwassers gedeckt werden konnte.

Eine gezielte Einstellung der Starttemperaturen beim Befüllen durch Mischung der verschiedenen Wassersorten war bisher allerdings nicht möglich. Es konnten lediglich eine oder mehrere Wassersorten (Heiß-, Warm- und/oder Kaltwasser) fest angewählt werden.

Wenn die erforderliche Behandlungstemperatur mit Heißwasser nicht mehr erreicht werden kann, muss im Prozess mit Dampf nachgeheizt werden. Das gleiche gilt für solche Behandlungsschritte, die zwingend bei niedrigen Starttemperaturen beginnen müssen.

Diese Situation ist in vielen Färbereien anzutreffen, die bereits Wärmerückgewinnungsanlagen betreiben. Wenn darüber hinaus Verfahren durchgeführt werden, bei denen mehrere Prozessschritte bei niedrigen Temperaturen beginnen müssen, ist sogar mehr Warmwasser vorhanden, als sinnvoll eingesetzt werden kann.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde das Wärmemanagement für die Färberei dahingehend weiter entwickelt, dass die Energie im Frischwasser effektiver genutzt und der zusätzliche Energiebedarf zum Aufheizen der Bäder verringert werden. Die Energie aus der Wärmerückgewinnung hinter der RNV-Anlage wird hierfür mit verwendet.

Die häufig empfohlene Rückhaltung und Wiederverwendung von Bädern in der diskontinuierlichen Färberei ist mit vielen organisatorischen und qualitativen Problemen verbunden. Schon geringste Mengen an Inhaltsstoffen aus den Behandlungen, wie zum Beispiel Farbstoffreste oder Reste an

optischen Aufhellern, beeinträchtigen den Ausfall des Folgeprozesses erheblich und führen zwangsläufig zu Fehlproduktionen. Bei der Betriebs- und Auftragsstruktur der Firma Eing mit ständigen Farbwechseln kann diese Methode nicht nutzbringend angewendet werden.

Das System der Firma Eing verwendet daher nur die Energie der Bäder, jedoch nicht das Wasser mit den problematischen Inhaltsstoffen.

Das Prinzip des neu konzipierten Wärmemanagements basiert auf folgenden Überlegungen:

- Das Frischwasser muss auf höhere Temperaturen erwärmt werden, so dass sich der Bedarf an Primärenergie zum Aufheizen von heißen Behandlungsbädern verringert. Die hohen Temperaturen in der gereinigten Abluft der RNV-Anlage bieten sich hier an, um Frischwasser auf bis zu 90°C aufzuwärmen.
- Für den Transport, die Zwischenspeicherung und die Verteilung der Wärmeenergie mussten geeignete technische und programmtechnische Lösungen entwickelt werden
- Der energetische Aufwand (Stromverbrauch) zum Betrieb der Anlagen zur Rückgewinnung, Speicherung und Verteilung der Wärmeenergie bzw. des Energieträgers muss so gering wie möglich gehalten werden.

## **2 Vorhabensumsetzung**

### **2.1 Ziel des Vorhabens**

Um die Möglichkeiten für die Herstellung von innovativen Funktionstextilien weiter auszubauen, war die Installation einer effektiven Abluftreinigungsanlage erforderlich. Der Stand der Technik zur Abluftreinigung in der Textilveredlung ist bisher eine Kombination aus Wäscher und Elektrofilter. Die Reinigungsleistung dieser Technologie reicht jedoch in vielen Fällen nicht aus, um die gesetzlich vorgegebenen Abluftgrenzwerte einzuhalten. Das einzige Verfahren, das bei allen Verfahren und Rezepturen in der Ausrüstung und Beschichtung eine weitgehende Eliminierung der organischen Schadstoffe in der Abluft garantieren kann, ist die Nachverbrennung. Der Nachteil des zusätzlichen Energieeinsatzes und der damit verbundenen Verschlechterung der CO<sub>2</sub>-Bilanz sollte durch ein verbessertes Wärmemanagement kompensiert werden.

Für den Lösungsansatz war die Tatsache maßgebend, dass die Färbereiabteilungen einen sehr hohen Wärmebedarf haben. Die Möglichkeiten der Abwärmerückgewinnung und Wärmenutzung waren allerdings begrenzt. Das verfügbare Potential der Abwärmenutzung an den Spannrahmen konnte dort nicht sinnvoll genutzt werden, obwohl der Wärmebedarf in der Färberei in der Summe ungleich höher ist.

Mit diesem Vorhaben wurden die Möglichkeiten zur Rückgewinnung, Speicherung und Nutzung der Wärmemenge soweit verbessert, dass sogar die zusätzlich eingesetzte Energie für den Betrieb der RNV-Anlage durch Einsparungen in der Färberei mehr als kompensiert wird.

Durch die Anlagenkombination wird gezeigt, dass die erforderliche energieintensive Nachverbrennung betrieben werden kann, ohne dass sich die CO<sub>2</sub>-Bilanz insgesamt verschlechtert. Mit diesem Projekt wird dadurch der Stand der Technik für die Textilindustrie fortgeschrieben.

### **2.2 Darstellung der technischen Lösung**

#### **2.2.1 Abluftreinigung**

Für die Reinigung der Abluft wird eine Anlage zur regenerativen Nachverbrennung installiert. Bei der Auslegung der RNV-Anlage wurde berücksichtigt, dass die Spannrahmen in der Praxis nicht voll ausgelastet sind und zum Teil auch Prozesse gefahren werden, bei denen keine Abluftbehandlung notwendig ist, z. B. reine Trocknungsprozesse. Die Ausbaugröße der RNV ist daher für die Abluftmenge von zwei Spannrahmen ausgelegt, obwohl alle drei bestehenden Spannrahmen daran angeschlossen sind. Die Abluft jedes Spannrahmens kann je nach Art des Behandlungsverfahrens direkt in den Abluftkamin oder über die RNV gelenkt werden. Die entsprechenden Vorgaben für die Produktion und Planungshilfen für die Disposition werden durch die Rezeptverwaltung automatisch generiert.

Die Spannrahmen arbeiten jeweils unabhängig voneinander und liefern unterschiedlich große Abluftmengen mit jeweils unterschiedlichen Temperaturen zwischen 150 und 200°C. Die Steuerung und den Transport der Abluftmengen übernehmen nach wie vor die Abluftventilatoren an den Spannrahmen.

Über eine Sammelleitung gelangt die Abluft in die RNV-Anlage, in der die organischen Schadstoffe bei 820°C verbrannt werden. Der größte Teil (ca. 95 %) der Energie zum Aufheizen der Abluft ist in den internen Keramik-Wärmespeichern der RNV-Anlage enthalten. Nach der Verbrennung wird die Wärme dort auch wieder abgegeben. Die Temperatur der gereinigten Abluft liegt daher nur etwa 30°C über dem Rohgas auf der Eingangsseite.

Hinter der RNV-Anlage wird die Restwärme aus der Abluft an einen Luft-Wasser-Wärmetauscher abgegeben. Die Austrittstemperatur im Kamin wird im Bereich um den Taupunkt bei 50°C eingestellt. Ein drehzahl geregelter Ventilator zwischen dem Wärmetauscher und dem Abluftkamin sorgt für einen konstanten Unterdruck in den Abluftleitungen, der RNV und dem Wärmetauscher.

### 2.2.1.1 Funktionsweise der RNV-Anlage

Die RNV-Anlage besteht im Kern aus einem rechteckigen Raum (ca. 6,5 × 3 × 2 m) und ist zu etwa 2/3 seiner Höhe mit keramischen Formteilen gefüllt, die als Wärmespeicher dienen. Im oberen Drittel ist der eigentliche Verbrennungsraum. Der Bereich mit den keramischen Wärmespeichern ist in drei senkrecht geteilte Kammern (1 2 und 3) unterteilt. (siehe nachfolgendes Schema)

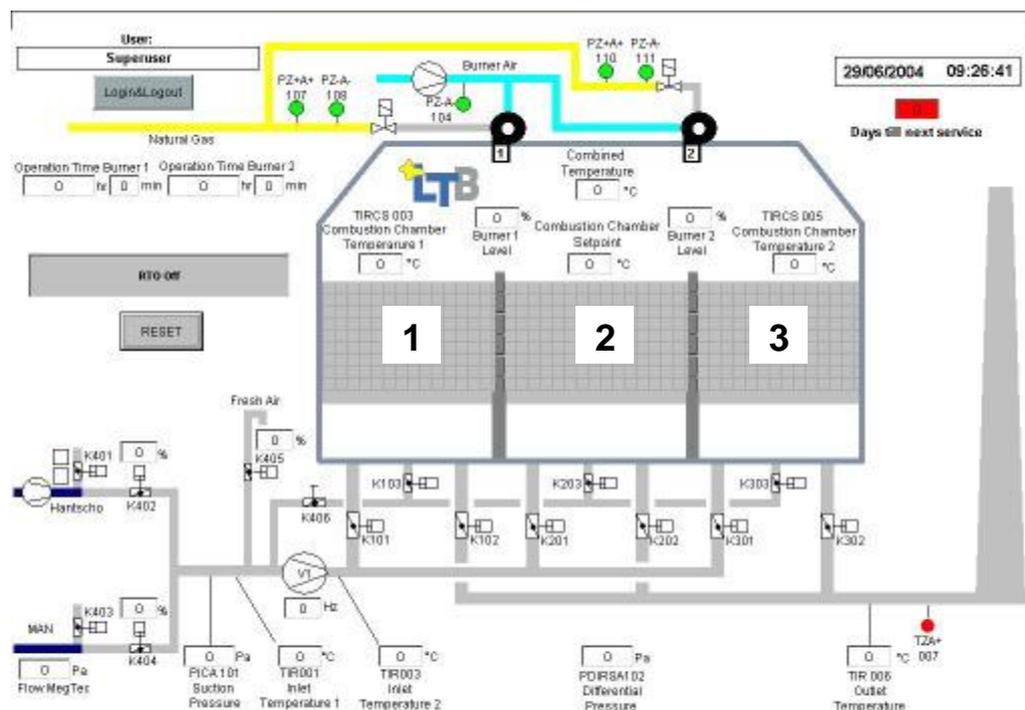


Abbildung 2: Prozessleitbild der RNV-Anlage (Fa. Lufttechnik Bayreuth)

Die Betriebsweise unterteilt sich in 3 Phasen:

- Phase 1**  
 Die Abluft aus den Spannrahmen (Rohgas) wird von unten in die Anlage geführt und strömt durch Kammer 1 nach oben. Die aufgeheizten Wärmespeicher erwärmen die Abluft soweit auf, dass die Schadstoffe verbrennen. Oben in der Brennkammer wird nach Bedarf mit Erdgas nachgeheizt, wenn die Energie in Keramikspeichern und in den Luftschaadstoffen nicht ausreicht, um die Temperatur von 820°C zu aufrecht zu erhalten. Die so gereinigte Abluft (Reingas) strömt durch Kammer 3 nach unten ab und gibt die Wärme dort an den Wärmespeicher ab. Sie gelangt über den nachgeschalteten Luft/Wasser-Wärmetauscher (im Schema nicht eingezeichnet) in den Kamin. Nach etwa 2 Minuten wird die Strömungsrichtung in der RNV-Anlage geändert (Phase 2)
- Phase 2**  
 Die Spannrahmenabluft gelangt jetzt von unten durch Kammer 3 in die Brennkammer und wird durch Kammer 2 zurückgeführt. Kammer 3 ist aus dem vorherigen Zyklus aufgeheizt und erwärmt das Rohgas. Die Kammer 2 nimmt die Wärme aus dem Reingas wieder auf. Das Reingas darf nach einem Phasenwechsel nicht unmittelbar durch Kammer 1 gefahren werden, weil sich dort noch unbehandeltes Rohgas befindet. Kammer 1 wird nach dem Phasenwechsel zunächst mit einem Teil des Reingases von unten nach oben „gespült“, bis das

darin enthaltene Rohgas vollständig nach oben in die Brennkammer verdrängt worden ist. Das Spülen dauert etwa 30 Sekunden. Zum Ende dieser 2. Phase ist Kammer 3 abgekühlt und Kammer 2 aufgeheizt.

- **Phase 3**

Die Spannrahmenabluft strömt durch die aufgeheizte Kammer 2 in die Brennkammer und von dort abwärts durch die gespülte Kammer 1; Kammer 3 wird gespült. Beim nächsten Phasenwechsel ist die Luftführung wieder wie in Phase 1.

### **2.2.2 Wärmemanagement**

Die bestehenden Anlagen zur Abwasserwärmerückgewinnung werden weiterhin betrieben. Die Änderungen und Erweiterungen des Wärmemanagements umfassen neben dem neuen Wärmetauscher hinter der RNV-Anlage, Einrichtungen zum Transport, zur Zwischenspeicherung und zur Verteilung des aufgewärmten Wassers. Darüber hinaus fiel ein nicht unerheblicher Programmieraufwand an den Steuerungen (SPS, Programmsteuergeräte) und Rezeptverwaltungsprogrammen an.

- In dem neuen Luft/Wasser-Wärmetauscher hinter der RNV kann das Frischwasser auf bis zu 90°C erhitzt werden. Einflussgrößen sind neben der Temperatur in der gereinigten Abluft die durchgeschleusten Wassermengen zur Abkühlung der Abluft. Die Wassermengen werden so vorgegeben, dass in den Heißwassertanks eine möglichst hohe Temperatur resultiert und die übrige Wärmemenge soweit wie möglich im Warmwasservorratstank aufgefangen wird.
- Als Energie- bzw. Wasserspeicher konnten die vorhandenen Warm- und Heißwassertanks weiter verwendet werden. Um die zusätzlich anfallenden Heißwassermengen aus der Wärmerückgewinnung hinter der RNV-Anlage aufnehmen zu können, wurde das Speichervolumen für Heißwasser durch einen zusätzlichen Tank erweitert. Die Heißwassertanks sind isoliert und haben an den Außenwänden einen Wärmedurchgangskoeffizient von etwa  $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$ .
- Der vorhandene Warmwassertank aus beschichteten Stahlplatten hatte keine Wärmedämmung. Bei einer durchschnittlichen Warmwassertemperatur von 30°C ergab sich bis dahin ein jährlicher Wärmeverlust von etwa 262 MWh/a. Durch die Anhebung des Temperaturniveaus auf > 50°C wären die Verluste auf mindestens 612 MWh/a angestiegen, so dass auch hier die Anbringung einer Wärmedämmung geboten war. Durch die Dämmung reduzierte sich der Wärmeverlust auf etwa 39 MWh/a. (Die Berechnung der Wärmeverluste im Anhang 6.2 ausführlich dargestellt.)  
In der ursprünglichen Planung war vorgesehen, die Wärmedämmung direkt an der Außenwand des Tanks zu befestigen. Es wurde jedoch keine Möglichkeit gefunden, geeignete Befestigungsmöglichkeiten an dem Tank anzubringen, ohne die Beschichtung auf der Innenseite zu zerstören. Stattdessen ist um den Tank ein selbsttragender Isoliermantel angebaut worden, wodurch sich der Aufwand erhöhte.
- Die Befüllung der Apparate bzw. Maschinen in den Färbereiabteilungen mit Frischwasser, erfolgt über neu zu installierende Mischventile, an die jeweils drei Wassersorten Kaltwasser (15°C), Warmwasser (50°C) und Heißwasser (80-90°C) angeschlossen sind. Beim Befüllen wird eine Solltemperatur vorgegeben, die soweit möglich durch Mischung der drei Wassersorten eingestellt wird.
- Für die Prozesssteuerungen wurden zusätzliche Funktionen für die Mischung der Wassersorten nach Temperaturvorgaben programmiert. Hierbei muss auch die Temperatur des textilen Substrates und des darin zurückgehaltenen Wassers aus dem jeweils vorherigen Bad mit berücksichtigt werden.
- Des Weiteren kann in niedrigen Temperaturbereichen Heißwasser anstelle von Dampf für die indirekte Erwärmung der Behandlungsbäder verwendet werden.

In dem folgenden Fließschema ist die Funktion dargestellt:

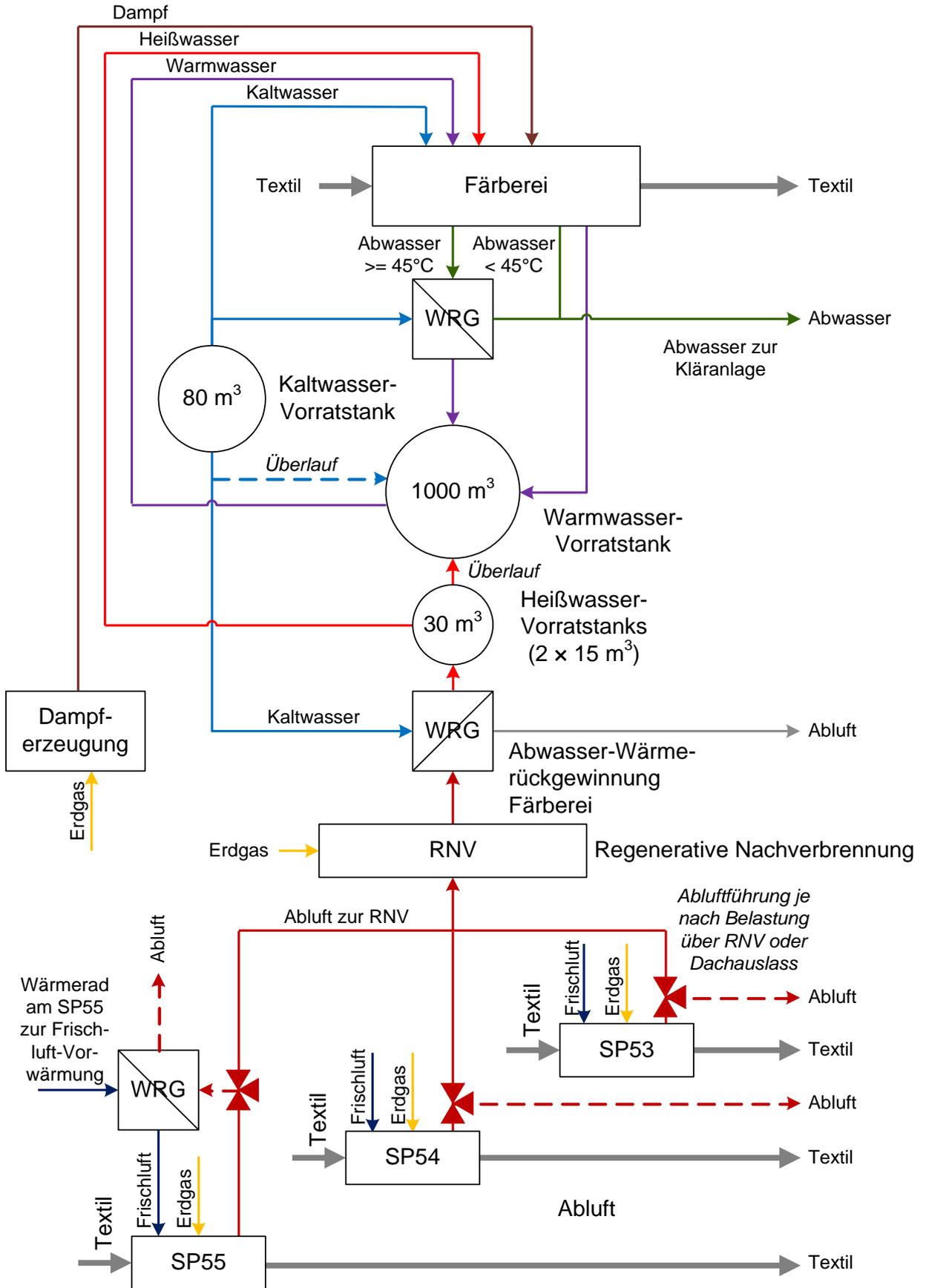


Abbildung 3: Fließschema zum Wärmemanagement

### **2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens**

Für die Umsetzung wurde das gesamte Vorhaben in mehrere Teilprojekte aufgeteilt, die unabhängig voneinander vorbereitet werden konnten:

- 1 RNV-Anlage einschließlich Montage und Inbetriebnahme
- 2 Demontage alte Adsorberanlage
- 3 Bau- und Fundamentarbeiten
- 4 Abluftkamin
- 5 Abluftleitungen von den Spannrahmen zur RNV-Anlage
- 6 Pumpen und Leitungen von der WRG zu den Tanks
- 7 Heißwasserpuffer 15m<sup>3</sup>
- 8 Wärmedämmung Warmwassertank
- 9 Anbindung Färbereien – Wärmerückgewinnung
- 10 Update der Programmsteuerungssoftware Orgatex
- 11 SPS-Programmierung Füllroutine Mischwasser
- 12 Erweiterung Programm- und Rezeptverwaltung
- 13 Anbindung Heiz-/Kühlregister an Heißwasser

- 05/2010 bis 11/2010:
  - Ausarbeitung des Konzeptes
  - Planungen für die zeitliche Umsetzung
  - Information der Genehmigungsbehörde, Klärung der genehmigungsrechtlichen Verhältnisse
- 12/2010
  - Vorstellung des Konzeptes und Beantragung von Fördermitteln beim BMU
- 06/2011
  - Bewilligung der Fördermittel durch das BMU
- 07/2011
  - Auftragsvergabe RNV-Anlage und der übrigen Gewerke
- 07/2011 bis 11/2011
  - Ausführungsplanung für die RNV-Anlage
  - Anzeige der Änderungen gemäß § 15 BImSchG bei der Genehmigungsbehörde
  - Vorbereitende Arbeiten, Demontage der Altanlagen, Fundamentarbeiten, Bauarbeiten
  - Anbindung der Färbereiabteilungen
  - Verlegung von Abluftleitungen, Isolierungen
  - Programmierungen
- 12/2011 bis 02/2012
  - Montage und Inbetriebnahme der RNV-Anlage
  - Einfahren der Anlage
  - Umstellung der Prozessprogramme in den Färbereiabteilungen
- 02/2012 bis 04/2012
  - Erprobung und erste Optimierungen
  - Restarbeiten

#### Anmerkungen

- Aufgrund von Terminproblemen bei Zulieferern verzögerte sich die Lieferung und Montage der RNV-Anlage (Position 1) um einige Wochen. Da die Errichtung der RNV ein zeitbestimmender Schritt war, musste der Projektplan angepasst werden. Die Inbetriebnahme ist daher von Dezember 2011 auf den Februar 2012 verschoben werden. Davon abgesehen, war das Projekt vom Anlagenlieferanten sehr ausführlich und detailliert geplant und wurde auch entsprechend zuverlässig umgesetzt.

- Die Demontage der Altanlagen (Position 2) erfolgte in mehrere Schritte. Während die nicht mehr benötigten Adsorberanlagen (Aktivkohlefilter) frühzeitig entfernt wurde, um den Bereich für die Aufstellung der RNV-Anlage herzugereichen, musste die bestehende Wärmerückgewinnung für die Spannrahmenabluft weiter in Funktion bleiben. Letztere wurde erst kurz vor Lieferung der neuen Anlagen außer Betrieb genommen und demontiert.
- Die Fundament- und Bauarbeiten (Position 3) verteilten sich über den gesamten Umsetzungszeitraum, weil es sich vielfach um begleitende Maßnahmen handelte, z. B. das Verschließen von Maueröffnungen nach Verlegung von Wasser- oder Abluftleitungen.
- Die Teilprojekte 9 (Anbindung Färbereien – Wärmerückgewinnung) und 11 (Programmierung Füllroutine für Mischwasser) konnten nur während des Betriebsurlaubs umgesetzt werden. Das Gleiche galt zum Teil für die Position 12 (Erweiterung Programm- und Rezeptverwaltung), die während der arbeitsfreien Zeit zum Jahreswechsel angegangen wurde. Alle anderen Teilprojekte konnten dagegen während des laufenden Betriebes abgearbeitet werden.
- SPS-Programme, Prozesssteuerungen und die Softwareprogramme für die Rezeptverwaltung sind überwiegend Eigenentwicklungen der Firma Eing und sind daher von betriebseigenen Technikern erweitert und angepasst worden. Hierzu mussten zunächst die bis dahin unterschiedlichen Versionen der Prozesssteuerungs-Software in der Garn- und Stückfärberei auf einen einheitlichen aktuellen Stand gebracht werden. Die Anpassungen und Erweiterungen erfolgten auf mehreren Ebenen (SPS-Steuerung, Prozesssteuerung, Prozessprogramme, Rezeptverwaltung)
- Nach der reibungslosen Inbetriebnahme und Einfahrphase, wird der Betrieb der Gesamtanlage (Abluftreinigung, Wärmerückgewinnung, Füllroutinen mit Temperaturvorgaben) weiter beobachtet und optimiert.

## **2.4 Behördliche Anforderungen**

Die Spannrahmenanlagen sind gemäß Anhang 4. BImSchV Ziffer 10.23, Spalte 2 („Anlagen zur Textilveredlung durch Sengen, Thermofixieren, Thermosolieren, Beschichten, Imprägnieren, Appretieren einschl. der zugehörigen Trockenanlagen“) genehmigt. Die im Rahmen des Vorhabens geplanten Änderungen wurden gemäß § 15 BImSchG der Genehmigungsbehörde angezeigt. Eine Genehmigung nach § 16 BImSchG war nicht erforderlich.

## **2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten**

### **2.5.1 Betriebsdaten der RNV-Anlage und Abluftwärmerückgewinnung**

Die Betriebs- und Verbrauchsdaten der RNV-Anlage werden kontinuierlich aufgezeichnet. Hierzu gehören insbesondere Werte zu

- Erdgasverbrauch
- Stromverbrauch
- Temperaturverläufe
- Alarmer und andere definierte Ereignisse
- Wasserdurchsatz bei der Wärmerückgewinnung

Die in der Wärmerückgewinnung zurückgehaltene Energiemenge wird durch die Multiplikation aus Wasserdurchsatz und erreichte Temperaturdifferenz errechnet und aufsummiert.

### **2.5.2 Prozessdaten in der Färberei**

Sämtliche Aggregate in der Färberei sind mit modernen Prozesssteuerungen ausgestattet. Diese zeichnen während der Behandlungen die Istwerte für die wesentlichen Prozessparameter kontinuierlich auf. Dazu gehören insbesondere folgende Werte:

- Temperaturverlauf
- Stromverbrauch
- Dampfverbrauch
- Wasserverbräuche
- Alarme und andere definierte Ereignisse

Die Energieverbräuche ergeben sich zum einen aus dem Dampfverbrauch und zum anderen über die zugeführten Warm- und Heißwassermengen, deren Energiegehalte jeweils über die Temperaturdifferenz zum Kaltwasser berechnet werden. Für die Auswertung stehen verschiedene Reportfunktionen zur Verfügung.

### **3 Ergebnisse**

#### **3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung**

Die Arbeiten zum Aufbau und zur Inbetriebnahme der neu zu errichtenden Anlagen verliefen dank sorgfältiger Vorplanung insgesamt zufriedenstellend. Da viele Teilschritte unabhängig voneinander in Angriff genommen werden konnten, wirkten sich einige Verzögerungen, die sich aufgrund von Lieferproblemen oder witterungsbedingten Umständen ergaben, nicht wesentlich auf den Fortschritt des Gesamtvorhabens aus. Lediglich die Anbringung der Wärmedämmung für den bestehenden Warmwassertank erforderte mehr Aufwand als ursprünglich geplant (siehe Abschnitt 2.2.2).

In den Wochen nach der Inbetriebnahme der RNV-Anlage und der Wärmerückgewinnung im Februar 2012 wurden einige Regelparameter unter Betriebsbedingungen nach und nach angepasst:

- Der drehzahlregelte Ventilator zwischen Wärmetauscher und Abluftkamin sorgt für einen stets gleichbleibenden Unterdruck in der Abluftreinigungsanlage und den Abluftleitungen. Der vorgegebene Unterdruck muss so eingestellt sein, dass die von den Spannrahmen gelieferte Abluft vollständig in die RNV-Anlage gelangt, unabhängig davon wie viele Spannrahmen gerade an die Abluftreinigung angeschlossen sind und wie viel Abluft diese jeweils liefern. Die Feinjustierung der Druck Vorgabewerte erfolgte unter Betriebsbedingungen in den ersten Wochen nach der Inbetriebnahme.
- Im praktischen Betrieb hat sich gezeigt, dass größere Mengen an Falschluff über die Abluftleitungen in das System gelangten, wenn ein oder mehrere Spannrahmen komplett abgestellt waren. Um dies zu vermeiden sind nachträglich Absperrklappen an den Spannrahmenanschlussstellen eingebaut worden.
- Der Wasserdurchsatz in dem Luft/Wasser-Wärmetauscher hinter der RNV-Anlage wird ausschließlich über die vorgegebene Wassertemperatur gesteuert. Die Regelung war in den ersten Wochen sehr sprunghaft, so dass die Austrittstemperaturen bis zu +/- 15 °C über bzw. unter der vorgegebenen Temperatur schwankte. Durch Veränderung von Regelparametern wurde das Verhalten der Anlage nach und nach verbessert.

Seit Juni 2012 läuft die gesamte Anlage praktisch störungsfrei.

#### **3.2 Stoff- und Energiebilanz**

Für die Bewertung dieses Vorhabens werden vorrangig die Energiebilanzen in der RNV-Anlage mit der nachgeschalteten Wärmerückgewinnung sowie in den Färbereiabteilungen herangezogen. Um einen Vergleich mit den Planwerten vornehmen zu können wird der Zeitraum der ersten zwölf Monate nach endgültiger Anpassung der Regelparameter im Juni 2012 betrachtet.

- Regenerative Nachverbrennung und Wärmerückgewinnung

Die RNV-Anlage geht zunächst als Energieverbraucher in die Bilanz mit ein. Durch den nachgeordneten Luft/Wasser-Wärmetauscher wird die Energie als Wärme zurückgewonnen. Bei den Istwerten handelt es sich um die aufsummierten Werte aus dem Zeitraum vom 1. Juli 2012 bis 30. Juni 2013.

<b>Energiebilanz der RNV-Anlage</b>	<b>Einheit</b>	<b>Planung</b>	<b>Istwerte</b>
Erdgasverbrauch für die RNV-Anlage	[kWh/a]	1.077.120	743.977
Stromverbrauch für die RNV-Anlage	[kWh/a]	137.088	54.570
Wärmerückgewinnung hinter der RNV	[kWh/a]	-2.851.858	- 1.584.626
<b>Summe Energieverbrauch</b>	<b>[kWh/a]</b>	<b>-1.637.650</b>	<b>- 786.079</b>

*Tabelle 1: Energiebilanz der RNV-Anlage*

Trotz der ungünstigen Auslastung wird insgesamt mehr Energie zurück gewonnen, als an Erdgas und Strom für den Betrieb der Anlage eingesetzt worden ist. Der Mehrgewinn resultiert aus der Wärme, die in der Spannrahmenabluft vor der RNV schon enthalten war. Die Differenz zu den Planzahlen wurde in erster Linie durch längere Stillstände der RNV verursacht. Ideal wäre dagegen ein kontinuierlicher Betrieb.

- Wärmenutzung in der Färberei

In der nachfolgenden Tabelle sind die monatlichen Werte für den Energiebedarf und die Energiezufuhr in den Färbereiabteilungen aufgelistet:

Zeitraum	Absolute Energieverteilung			Relative Energieverteilung		
	Warmwasser	Heiß-Wasser	Dampf	Warmwasser	Heiß-Wasser	Dampf
Einheit:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]	[%]	[%]
Januar 2012	112.695	143.434	776.920	10,9	13,9	75,2
Februar 2012	115.141	132.030	642.771	12,9	14,8	72,2
März 2012	121.936	211.027	544.989	13,9	24,0	62,1
April 2012	129.928	244.376	571.729	13,7	25,8	60,4
Mai 2012	211.002	261.788	716.025	17,7	22,0	60,2
Juni 2012	210.336	230.313	485.268	22,7	24,9	52,4
Juli 2012	176.822	330.850	652.347	15,2	28,5	56,2
August 2012	93.687	118.524	289.330	18,7	23,6	57,7
September 2012	192.107	266.703	600.064	18,1	25,2	56,7
Oktober 2012	172.557	272.279	551.448	17,3	27,3	55,4
November 2012	213.051	379.055	686.943	16,7	29,6	53,7
Dezember 2012	134.285	283.354	480.478	15,0	31,5	53,5
Januar 2013	200.539	401.586	685.428	15,6	31,2	53,2
Februar 2013	242.459	351.368	753.928	18,0	26,1	55,9
März 2013	173.260	153.072	553.409	19,7	17,4	62,9
April 2013	182.231	160.054	499.816	21,6	19,0	59,4
Mai 2013	258.049	174.808	472.684	28,5	19,3	52,2
Juni 2013	246.175	172.017	539.909	25,7	18,0	56,4

*Tabelle 2: Energiebedarf und die Energiezufuhr in der Färberei*

Aufsummiert ergeben sich für den Zeitraum Juli 2012 bis Juni 2013 folgende Jahressummen und -Mittelwerte:

Zeitraum	Absolute Energieverteilung			Relative Energieverteilung		
	Warmwasser	Heiß-Wasser	Dampf	Warmwasser	Heiß-Wasser	Dampf
Einheit:	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]	[%]	[%]
Juli `12– Juni `13	2.285.222	3.063.670	6.765.784	18,9	25,3	55,8

*Tabelle 3: Energiebedarf und die Energiezufuhr in der Färberei - Jahressumme*

Die Zufuhr an Wärmeenergie erfolgt zu unterschiedlichen Anteilen aus Warm- und Heißwasser sowie in Form von Dampf. Die Summe aller Anteile ergibt den Gesamt-Energiebedarf. Der Erfolg des Wärmemanagementsystems zeigt sich nicht in der Veränderung des Energiebedarfs

sondern in der Verteilung der Energiezufuhr. An den Tabellenwerten ist zu entnehmen, dass der Anteil an Dampfenergie von ca. 75,2 % im Zeitraum vor der Inbetriebnahme am 24. Februar auf 55,8 % im Zeitraum Juni 2012 bis Juli 2013 gesunken ist.

Die Energiemenge im Warm- und Heißwasser liegt dabei erheblich über der zurückgewonnenen Menge aus der RNV-Anlage. Der größte Energieanteil stammt nach wie vor aus der Abwasser-Wärmerückgewinnung der Färberei-Abteilungen. Die Erhöhung des regenerativen Anteils wird jedoch erst durch die verbesserten Möglichkeiten des Wärmemanagementsystems erreicht. Die RNV-Anlage trägt dazu bei, in dem sie höhere Frischwassertemperaturen liefert als die Abwasser-Wärmerückgewinnung.

Für den Zeitraum vom Juli 2012 bis Juni 2013 errechnet sich der Gesamt-Wärmeverbrauch in den Färbereiabteilungen aus den Jahressummen für Warmwasser, Heißwasser und Dampfenergie:

$$2.285.222 \text{ kWh} + 3.063.670 \text{ kWh} + 6.765.784 \text{ kWh} = 12.114.676 \text{ kWh}$$

Dieser Wärmebedarf ergibt sich aus den verfahrenstechnischen Vorgaben in der Färberei und hat sich durch das hier beschriebenen Vorhaben nicht verändert. Der Erfolg ergibt sich aus der Verschiebung der Mengenanteile für regenerative Wärmeenergie und Dampfenergie. Würde man zur Deckung dieses Energiebedarfs einen Dampfenergie-Anteil von 75,2 % zugrunde legen, wie er vor der Inbetriebnahme notwendig war, errechnet sich ein Bedarf von

$$12.114.676 \text{ kWh} \times 75,2 \% = 9.110.236 \text{ kWh}$$

Durch die Senkung des Dampfenergieanteils von 75,2 % auf 55,8 % ermöglicht das hier umgesetzte Anlagenkonzept eine Einsparung an Primärenergie von

$$6.765.784 \text{ kWh} - 9.110.236 \text{ kWh} = -2.344.452 \text{ kWh}$$

Im Projektantrag wurde davon ausgegangen, dass bei einem Gesamtwärmebedarf von 15.128.478 kWh/a der Dampfenergieanteil in den Färbereiabteilungen von 75,74 % auf 49,77 % gesenkt werden könnte. Dieses Ziel wurde demnach noch nicht erreicht. Eine der Ursachen ist die relativ schwache Auslastung in den Spannrahmenabteilungen, erkennbar an dem relativ geringen Erdgasverbrauch in der RNV-Anlage. Ein Vergleich mit den Werten aus den Hochrechnungen im Projektantrag ist daher nicht aussagekräftig. Für das Anlagenkonzept spricht die Tatsache, dass die Energiebilanz trotz der ungünstigen Auslastung noch positiv ist.

Energiebilanz RNV + Färberei	Einheit	Planung	Istwerte
Erdgasverbrauch für die RNV-Anlage	[kWh/a]	1.077.120	743.977
Eingesparte Dampfmenge in der Färberei	[kWh/a]	-3.928.978	-2.344.452
<b>Summe Energieverbrauch</b>	<b>[kWh/a]</b>	<b>-2.851.858</b>	<b>-1.600.475</b>

*Tabelle 4: Energiebilanz RNV-Anlage und Färberei*

Darüber hinaus werden die Laufzeiten bei einem Teil der Prozesse in der Färberei etwas verkürzt, weil die Aufheizzeiten entfallen. Hierdurch verringert sich der Verbrauch an elektrischer Energie bei den Färbeaggregaten, insbesondere für die Flottenumwälzpumpen. Es gibt jedoch keine verlässlichen Daten, um die Höhe dieser Einsparungen zu berechnen.

### **3.3 Umweltbilanz**

- Die organischen Verunreinigungen in der Spannrahmenabluft werden durch die Nachverbrennung vollständig eliminiert. Es findet keine Verlagerung in andere Umweltbereiche (Abwasser, Abfall) statt.

- Der Nachteil des zusätzlichen Energieeinsatzes wird durch die Abwärmenutzung wieder kompensiert.

CO <sub>2</sub> -Bilanz	Einheit	Planung	Istwerte
Netto-Energieeinsparung (Erdgas)	[kWh/a]	-2.851.858,0	-1.600.476,0
Stromverbrauch für die RNV	[kWh/a]	137.088,0	54.570,0
CO <sub>2</sub> -Einsparung Erdgas (0,202 kgCO <sub>2</sub> /kWh)	[toCO <sub>2</sub> /a]	-576,1	-323,3
CO <sub>2</sub> - Anfall Strom (0,596 kgCO <sub>2</sub> /kWh)	[toCO <sub>2</sub> /a]	81,7	32,5
<b>Netto CO<sub>2</sub>-Einsparung</b>	<b>[toCO<sub>2</sub>/a]</b>	<b>-494,4</b>	<b>-290,8</b>

Tabelle 5: CO<sub>2</sub>-Bilanz RNV-Anlage und Färberei

Anmerkung:

Im Projektantrag wurde die CO<sub>2</sub>-Einsparung für Erdgas über das äquivalente Erdgasvolumen (10,249 kWh/m<sup>3</sup>) berechnet. Das Volumen wurde jedoch versehentlich mit dem Wert des Faktors 0,056 kgCO<sub>2</sub>/MJ multipliziert, woraus ein falscher und unsinniger Wert resultierte. Leider wurde dieser Fehler bei allen Überprüfungen nicht bemerkt.

### 3.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

#### 3.4.1 Abluft

Um eine vollständige Verbrennung der organischen Schadstoffe bei möglichst geringem Energieverbrauch zu gewährleisten muss die Temperatur im Brennraum lt. Hersteller auf 820°C gehalten werden. Die Erdgaszufuhr in der RNV wird auf diese Temperatur hin geregelt.

Die Betriebsdaten zur RNV-Anlage werden kontinuierlich aufgezeichnet und archiviert. Für den Nachweis des ordnungsgemäßen Betriebes werden insbesondere die Temperaturganglinien in der Brennkammer festgehalten. .

Die Abluftreinigungsleistung wurde in einem mit dem Umweltbundesamt abgestimmten Messprogramm ermittelt. Das Messprogramm umfasste folgende Punkte:

- Kontinuierliche Messung des Gesamtkohlenstoff<sub>(org)</sub> im Roh- und Reingas über den Zeitraum von 48 Stunden jeweils vor und nach der RNV-Anlage (Roh- und Reingas)
- Bestimmung von drei Halbstundenmittelwerten für die Parameter Formaldehyd und Methanol im Reingas
- Detektion weiterer Stoffe im Roh- und Reingas durch ein Screening

Die Reingasmessstelle befand sich im Abluftkamin hinter der RNV-Anlage und der Wärmerückgewinnung. Das Rohgas wurde in der Sammelleitung vor der RNV-Anlage gemessen. Während der kontinuierlichen Messungen sind der RNV-Anlage entweder die Abluft aus einem Thermofixierprozess an dem Spannrahmen SP53 oder aus Appretur und Beschichtungsprozessen auf den Spannrahmen SP54 und SP55 behandelt worden.

Datum	Uhrzeit		Angeschlossene Aggregate und Prozesse		
	von	bis	Spannrahmen SP53	Spannrahmen SP54	Spannrahmen SP55
22.04.13	12:00	24:00	Thermofixieren PES	-	-
23.04.13	00:00	12:00	Thermofixieren PES	-	-
23.04.13	12:15	13:53	-	Beschichtung	Trocknen
23.04.13	13:53	19:23	-	Beschichtung	Vernetzerausrüstung
23.04.13	19:23	20:35	-	Beschichtung	Fluorcarbonausrüstung
23.04.13	20:35	22:24	-	Thermofixieren PAC	Fluorcarbonausrüstung

23.04.13	22:24	24:00	-	Thermofixieren PES gew.	Fluorcarbonausrüstung
24.04.13	00:00	02:38	-	Thermofixieren PES gew.	Fluorcarbonausrüstung
24.04.13	02:38	03:39	-	Thermofixieren PES gew.	Thermofixieren PES roh
24.04.13	03:39	06:01	-	-	Thermofixieren PES roh
24.04.13	06:01	11:15	-	Beschichtung	Thermofixieren PES roh

Tabelle 6: Prozesse während der Emissionsmessungen

Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst:

Kontinuierliche Messung von C <sub>ges</sub> im Roh- und Reingas – Übersicht Messergebnisse										
Datum	Uhrzeit		Prozesse	Rohgas [mgC <sub>ges</sub> /Nm <sup>3</sup> ]			Reingas [mgC <sub>ges</sub> /Nm <sup>3</sup> ]			Elim. in [%]
	von	bis		min	max	MW	min	max	MW	
22.04.13	12:00	24:00	Thermofixieren PES	18,7	84,6	54,8	<0,3	<0,3	<0,3	>98,0
23.04.13	00:00	12:00	Thermofixieren PES	50,6	85,9	66,5	<0,3	<0,3	<0,3	>98,0
23.04.13	12:15	13:53	Beschichtung + Trocknen	46,8	186,1	116,5	<0,3	<0,3	<0,3	>98,0
23.04.13	13:53	19:23	Beschichtung + Vernetzer *	73,3	104,0	86,8	<0,3	<0,3	<0,3	>98,0
23.04.13	19:23	20:35	Beschichtung + Fluorcarbon	36,1	73,3	54,7	<0,3	<0,3	<0,3	>98,0
23.04.13	20:35	22:24	Thermofix. PAC + Fluorcarbon	10,4	18,3	14,4	<0,3	<0,3	<0,3	>98,0
23.04.13	22:24	24:00	Thermofix. PES + Fluorcarbon	34,9	62,7	48,8	<0,3	<0,3	<0,3	>98,0
24.04.13	00:00	02:38	Thermofix. PES + Fluorcarbon	43,3	68,4	55,9	<0,3	<0,3	<0,3	>98,0
24.04.13	02:38	03:39	Thermofix. PES gew. + roh	54,6	54,6	54,6	<0,3	<0,3	<0,3	>98,0
24.04.13	03:39	06:01	Thermofix. PES roh (1 Spann.	149,6	308,3	226,9	<0,3	<0,3	<0,3	>98,0
24.04.13	06:01	11:15	Beschgt. + Thermof. PES roh	41,6	89,0	62,1	<0,3	<0,3	<0,3	>98,0

Tabelle 7: Messergebnisse für C<sub>ges</sub> im Roh- und Reingas (Kontinuierliche Messung)

- \* Die Proben für die Ermittlung der Einzelwerte wurden am 23.04.2013 in der Zeit von 14:42 bis 16:12 Uhr genommen

Einzelwerte im Reingas in [mg/Nm <sup>3</sup> ]**								
Datum	Uhrzeit		Prozesse	C <sub>ges</sub> methan-frei	C <sub>ges</sub> inkl. Methan	Methan als C <sub>ges</sub>	HCHO	Methanol
	von	bis						
23.04.13	14:42	15:12	Beschichtung + Trocknen	2,6	3,7	0,9	<0,3	<0,9
23.04.13	15:12	15:42	Beschichtung + Vernetzer	2,5	4,6	2,1	<0,4	<0,7
23.04.13	15:42	16:12	Beschichtung + Vernetzer	1,3	3,1	1,8	1,7	<0,9

Tabelle 8: Messergebnisse für Einzelstoffe im Reingas

- \*\* Angaben bezogen auf Normbedingungen (1013 hPa und 273 K) und einem Luft-Waren-Verhältnis von 20 Nm<sup>3</sup>/kg

Das Screening ergab für das Rohgas keine nennenswerten Konzentrationen der untersuchten Komponenten. Im Reingas konnte keine weitere Komponente detektiert werden.

### 3.4.2 Energiebilanz

- Energieverbräuche und die wieder zurückgewonnen Wärmeenergiemengen werden über Zählerstände kontinuierlich erfasst und archiviert. Die Auswertungen erfolgen in der Regel monatlich.
- Ein Vergleich der Energieverbrauchsdaten mit den Produktionskennzahlen und die damit ermittelten produktionsspezifischen Energieverbräuche in kWh/kg Textil können nur bedingt zur Bewertung des Wärmemanagementsystems herangezogen werden. Aufgrund der ständig

wechselnden Verfahren sind diese sehr unterschiedlich und schwanken je nach Auftragslage. Sinnvoller ist eine Ermittlung des Ist-Bedarfs in der Färberei über den Verbrauch an Warmwasser, Heißwasser und Dampf. Es wird dabei vorausgesetzt, dass der Energiebedarf in der Färberei vorgegeben und nicht beeinflussbar ist. Eine Verringerung des Gesamt-Energiebedarfs war auch nicht das Ziel dieses Vorhabens.

Die über Warm- und Heißwasser zugeführte Wärmemenge wird dabei über die jeweilige Temperaturdifferenz zum Kaltwasser errechnet. Die Bewertung des Wärmemanagementsystems erfolgt aus dem Anteil an regenerierter Wärme am Gesamtbedarf. Die Erhöhung dieses Anteils bewirkt zwangsläufig eine Reduzierung des Anteils für Dampf und damit für Primärenergie.

### 3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

#### 3.5.1 Betriebskosten

Die jährlichen **Fixkosten** ergeben sich wie folgt:

Berechnung der Fixkosten	Einheit	Planung	Istwerte
Investitionsvolumen	[€]	783.700,00	795.991,00
Abschreibungszeitraum	[a]	10,00	10,00
Zinssatz (Finanzierungskosten)	[%]	6,50	6,50
Wartungsaufwand (Basis Investitionsvol.)	[%]	1,20	1,20
Betreuungsaufwand	[h/a]	220,00	220,00
Kostensatz Personalbetreuung	[€/h]	26,00	26,00
Abschreibungen (AfA)	[€/a]	78.370,00	79.599,10
Zinsen	[€/a]	50.940,50	51.739,42
Wartung und Reparatur	[€/a]	9.404,40	9.551,89
Personal	[€/a]	5.720,00	5.720,00
<b>Summe der jährlichen Fixkosten</b>	<b>[€/a]</b>	<b>144.434,90</b>	<b>146.610,41</b>

*Tabelle 9: Übersicht Fixkosten*

Die **variablen Kosten** ergeben sich in erster Linie aus dem Energieaufwand zum Betrieb der RNV-Anlage. Diese variieren je nach Auslastung der Produktionsanlagen und damit auch der RNV-Anlage. Ein bisher nicht bestimmter Erdgasverbrauch fällt jedoch unabhängig von der Auslastung an, weil die Temperatur in der Brennkammer an Arbeitstagen auch dann aufrechterhalten wird, wenn die Spannrahmen keine Abluft liefern. Die nachfolgenden Berechnungen wurden auf Basis der Betriebsdaten aus dem Zeitraum Juli 2012 bis Juni 2013 (siehe Abschnitt 3.2) erstellt. Die Betriebskosten für die Wärmerückgewinnungsanlagen (Wasserpumpen, Steuerungen, Personal) bleiben hier unberücksichtigt, weil sich diese gegenüber den alten Anlagen nur unwesentlich verändert haben.

Zusammenstellung der Betriebskosten	Einheit	Planung	Istwerte
Erdgasverbrauch für die RNV-Anlage	[kWh/a]	1.077.120,00	743.977,00
Stromverbrauch für die RNV-Anlage	[kWh/a]	137.088,00	54.570,00
Bezugspreis für Erdgas	[ct/kWh]	2,33	2,33
Bezugspreis für Strom	[€/kWh]	0,12	0,12
Jährliche Fixkosten für die RNV-Anlage	[€/a]	144.434,90	146.610,41
Erdgaskosten für die RNV-Anlage	[€/a]	25.096,90	17.334,66
Stromkosten für die RNV-Anlage	[€/a]	16.450,56	6.548,40
<b>Summe Betriebskosten</b>	<b>[€/a]</b>	<b>185.982,36</b>	<b>170.493,47</b>

Tabelle 10: Zusammenstellung der Betriebskosten (ohne Einsparungen)

### 3.5.2 Kosteneinsparungen

Die Kosteneinsparungen basieren auf den Werten der Stoff- und Energiebilanz und sind ebenso wie diese noch nicht repräsentativ. Auch hier müssen zwei Aspekte berücksichtigt werden:

1. die Energiebilanz der RNV-Anlage
2. die Auswirkungen des Wärmemanagementsystems auf die Färberei-Abteilungen.

In beiden Fällen wurden die bisher ermittelten Werte für einen Zeitraum vom Juli 2012 bis Juni 2013 zugrunde gelegt.

- Kosteneinsparungen durch die Wärmerückgewinnung aus der RNV  
Die zurückgewonnene Wärmeenergie wird im Luft/Wasser-Wärmetauscher auf Frischwasser für die Färberei übertragen, so dass dort der Einsatz von Dampf als Wärmeenergieträger reduziert werden kann.

Netto-Betriebskosten – Variante 1	Einheit	Planung	Istwerte
Energieeinsparungen	[kWh/a]	-2.851.858,00	-1.584.626,00
Kostensatz Dampferzeugung	[€/MWh]	23,30	30,00
Einsparung Energiekosten	[€/a]	-66.448,29	- 47.538,78
Summe der jährlichen Fixkosten	[€/a]	144.434,90	146.610,41
Summe der Energiekosten	[€/a]	41.547,46	23.883,06
<b>Summe Betriebskosten (1)</b>	<b>[€/a]</b>	<b>119.534,07</b>	<b>122.954,69</b>

Tabelle 11: Zusammenstellung der Betriebskosten einschl. der Einsparungen (Variante 1)

- Kosteneinsparungen durch die RNV mit Einbindung des Wärmemanagementsystems  
Im Abschnitt 3.2 wurde aufgezeigt, dass durch das neu eingeführte Wärmemanagementsystem nicht nur die Wärmeenergie aus der RNV-Anlage sondern auch die bisher schon zurückgewonnene Wärmeenergie aus dem Färbereiabwasser in die Gesamtbilanz mit eingeht. Die zur Verfügung stehende Wärme kann jedoch effektiver genutzt werden und führt zu weiteren Energieeinsparungen in der Färberei. Für den Zeitraum Juli 2012 bis Juni 2013 betrug die erzielte Energieeinsparung 2.344.453 kWh (siehe Abschnitt 3.2)

Netto-Betriebskosten – Variante 2	Einheit	Planung	Istwerte
Energieeinsparungen	[kWh/a]	-2.851.858,00	-2.344.452,00
Kostensatz Dampferzeugung	[€/MWh]	23,30	30,00
Einsparung Energiekosten	[€/a]	-66.448,29	-70.333,56
Summe der jährlichen Fixkosten	[€/a]	144.434,90	146.610,41
Summe der Energiekosten	[€/a]	41.547,46	23.883,06
<b>Summe Betriebskosten (2)</b>	<b>[€/a]</b>	<b>119.534,06</b>	<b>100.159,88</b>

Tabelle 12: Zusammenstellung der Betriebskosten einschl. der Einsparungen (Variante 2)

### 3.5.3 Produktionsspezifische Kosten

Bei der Bestimmung der produktspezifischen Kosten werden die ermittelten Betriebskosten auf die Produktionsmenge des zu betrachteten Zeitraums verglichen. Im Zeitraum Juli 2012 bis Juni 2013 wurden auf den Spannrahmen folgende Mengen gefahren

Produktion Spannrahmen	Länge	Fläche	Gewicht
	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[kg]
Gesamtproduktion auf den Spannrahmen	9.227.775	18.942.219	2.999.030
- davon emissionsrelevant	6.459.050	13.890.407	2.141.236

Tabelle 13: Übersicht Produktionsmengen auf den Spannrahmen

Bei dieser Aufstellung sind alle einzelnen Arbeitsgänge auf den Spannrahmen eingezählt. Artikel, die mehrmals über einen Spannrahmen gefahren werden, sind entsprechend mehrmals gezählt. Die Division der Betriebskosten durch die Produktionsmenge ergibt daher einen Kostenfaktor pro Spannrahmenarbeitsgang. Bei Artikeln mit mehreren Spannrahmenarbeitsgängen muss dieser Kostenanteil entsprechend mehrfach mit eingerechnet werden.

Der emissionsrelevante Anteil beinhaltet nur Arbeitsgänge, bei denen die über die RNV-Anlage gefahren werden müssen. Es handelt sich überwiegend um Beschichtungs-, Appretur- und Thermofixierarbeitsgänge. Reine Trocknungsprozesse sind darin z. B. nicht enthalten.

- Produktspezifische Kosten ohne Berücksichtigung der Energierückgewinnung  
Bei dieser Betrachtung werden die produktspezifischen Kosten mit den summierten Betriebskosten aus Abschnitt 3.5.1 berechnet.

#### Jährliche Betriebskosten: 170.493,47 €

Produktspezifische Kosten	Länge	Fläche	Gewicht
Bezugseinheit:	[€/m]	[€/m <sup>2</sup> ]	[€/kg]
Gesamtproduktion auf den Spannrahmen	0,018	0,009	0,057
- davon emissionsrelevant	0,026	0,012	0,080

Tabelle 14: Produktionsspezifische Kosten ohne Energierückgewinnung

Beim Vergleich mit Abluftreinigungsanlagen in anderen Betrieben ist zu beachten, dass in den Betriebskosten auch Aufwendungen für das Wärmemanagementsystem enthalten sind. Die damit erzielten Energieeinsparungen kommen dabei nicht den Prozessen auf den Spannrahmen zugute, sondern den Färbereiabteilungen. Die exakte Zurechenbarkeit der Fixkosten auf die zu

betrachtenden Anlagen ist schwierig. Für die projektbezogene Kostenrechnung werden die dort erzielten Energieeinsparungen in der nachfolgenden Tabelle auf die Spannrahmenproduktion verteilt. Diese Betrachtung ist jedoch rein theoretisch, weil die Artikel der Färbereiabteilungen nicht oder nur zum Teil mit denen in der Ausrüstung und Beschichtung vergleichbar sind.

- Produktspezifische Kosten mit Berücksichtigung der Energierückgewinnung  
Die Berechnung erfolgt mit den Netto-Betriebskosten aus Abschnitt 3.5.2 (Variante 2) Jährliche Betriebskosten: 100.159,88 €

<b>Produktspezifische Kosten (2)</b>	<b>Länge</b>	<b>Fläche</b>	<b>Gewicht</b>
Bezugseinheit:	[€/m]	[€/m <sup>2</sup> ]	[€/kg]
Gesamtproduktion auf den Spannrahmen	0,011	0,005	0,033
- davon emissionsrelevant	0,016	0,007	0,047

*Tabelle 15: Produktionsspezifische Kosten mit Energierückgewinnung*

### **3.5.4 Wirtschaftlichkeit**

Bei der Frage nach der Wirtschaftlichkeit dieses Vorhabens muss zunächst beachtet werden, dass nachsorgende Umweltmaßnahmen – wie zum Beispiel Anlagen zur Abluftreinigung – fast immer zu Mehrkosten führen, weil Investitions- und Betriebskosten entstehen, die nicht zur Wertschöpfung beitragen. Die Errichtung und der Betrieb einer RNV-Anlage ist vom Prinzip her eine nachsorgende Umweltschutzmaßnahme. Die Verfahren an den Produktionsanlagen ändern sich durch dieses Vorhaben nicht.

Durch die Einbindung der RNV-Anlage in das neue Wärmemanagementsystem werden allerdings Einsparungseffekte ermöglicht, die ohne das hohe Temperaturniveau in der gereinigten Abluft nicht erreicht werden. Die höheren Temperaturen in der gereinigten Abluft sind ein spezifisches Verfahrensmerkmal der RNV-Technologie. Innovativ an diesem Verfahren ist die Verknüpfung der Steuerung der RNV-Anlage mit der nachgeschalteten Wärmerückgewinnung.

Mit den Einsparungen werden die Betriebskosten der neuen Anlage allerdings nicht kompensiert. Die Entscheidung für das RNV-Verfahren war jedoch von wichtiger strategischer Bedeutung, denn dadurch können jetzt Produktionsverfahren zur Herstellung von Funktionstextilien durchgeführt werden, die bisher aus immissionsrechtlichen Gründen wegen der höheren Abluftbelastungen nicht machbar waren. Die mit der RNV erzielten Reinigungseffekte wären mit anderen Technologien nicht erreicht worden (siehe Abschnitt 3.6)

## **3.6 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren**

### **3.6.1 Abluftreinigung**

Die beste verfügbare Technik bei der Abluftreinigung in der Textilindustrie ist mit Bericht vom Dezember 2008 im Rahmen eines vom Bayerischen Umweltministerium geförderten Projektes durch die Universität Augsburg, Modern Testing Services, Lufttechnik Bayreuth und KNOPFSOHN [2] dargestellt worden.

Ziel des dort beschriebenen Projektes war es, verschiedene Abluftreinigungssysteme auf ihre Eignung zur grenzwertkonformen Reinigung typischer Emissionen von Textilveredlungsanlagen zu untersuchen. Hierbei wurden Verfahren betrachtet, die bereits in der Praxis eingesetzt werden oder die aufgrund ihrer Wirksamkeit für den Einsatz in der Textilindustrie besonders geeignet sind. Hierzu gehören insbesondere

- Wäscher mit und ohne Elektrofilter
- Kondensation Luft-Luft-Wärmetauscher und Luft-Wasser-Wärmetauscher
- Regenerative Nachverbrennung

Neben technischen und emissionsorientierten Kriterien wurde insbesondere auch die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Verfahren anhand von Beispielanlagen untersucht und bewertet. Die in [2] beschriebenen Untersuchungen haben gezeigt, dass allein mit der thermischen Nachverbrennung unabhängig von den verwendeten Einsatzstoffen Abluftreinigungseffekte > 95% erreicht werden, während die anderen Verfahren für manche Schadstoffe ungeeignet sind. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Umweltbelastungen nicht in den Abwasser- oder Abfallbereich verlagert werden. Es wird allerdings auch darauf hingewiesen, dass die RNV sich nur dann rechnen kann, wenn eine Nutzung der Abwärme der RNV nachgeschaltet ist.

### **3.6.2 Wärmenutzung**

Verfahren zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung werden in der energieintensiven Textilveredlungsindustrie bereits angewendet und sind Stand der Technik. Bei gut arbeitenden Wärmerückgewinnungsanlagen ist allerdings häufig mehr Wärme vorhanden als in der Produktion genutzt werden kann (siehe auch Abschnitt 1.2.2.4). Dies führt zum Beispiel dazu, dass Abwärme zur Raumheizung genutzt wird, was jedoch nur in kalten Wintermonaten wirklich zu Einsparungen führt.

Bei diesem Vorhaben wurde ein aufwendigeres Wärmemanagementsystem für die Energieversorgung der Färbereiabteilungen mit der RNV-Anlage kombiniert. Der Vorteil liegt darin, dass die Temperatur des Frischwassers gezielter auf den tatsächlichen Bedarf in der Färberei abgestimmt werden kann. Die Kombination mit der RNV-Anlage bietet sich dafür an. Die Nutzung der Gesamtabwärme aus dem Färberei-Abwasser und der Abluft aus der RNV-Anlage führt zu weiteren Einsparungen an Primärenergie.

## **4 Empfehlungen**

### **4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung**

#### **4.1.1 Abluftreinigung**

Investitionen in nachsorgender Umwelttechnologie führen in der Regel immer zu Mehrkosten. Bei der Lösung von Umweltproblemen sollten daher zunächst mögliche Vermeidungsstrategien in Betracht gezogen werden.

Für die Anlagen in der Textilveredlung sollte daher am Anfang eine Analyse der Abluftsituation erfolgen. Aufgrund der Vielzahl der Rezepturen und der daraus resultierenden unterschiedlichen Abluftbelastung wären entsprechende Messprogramme zu aufwendig. In der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) sind daher im Abschnitt 5.4.10.23.1 für die Anlagen zur Textilveredlung spezielle Regelungen zur Reduzierung der Abluftbelastung und zur Einhaltung der Grenzwerte beschrieben. Dies ermöglicht den Betreibern von Spannrahmen, die Emissionen anhand der Rezepturen und den substanzspezifischen Emissionsfaktoren zu berechnen. Eine Reihe von Rezepturen (z. B. Griffappreturen) lassen sich durch Einsatz von emissionsarmen Produkten oder ggf. auch durch Reduzierung von Einsatzmengen soweit optimieren, dass die Grenzwerte der TA-Luft eingehalten werden. Bei Appreturen und Beschichtungen mit hohen Hilfsmittelkonzentrationen und/oder Einsatz von Vernetzern stößt man hier allerdings an Grenzen, so dass die Abluft behandelt werden muss.

Wenn mehrere Spannrahmen betrieben werden, ist zu überlegen, ob mehrere Aggregate zusammen an einer Abluftbehandlungsanlage angeschlossen werden können. Mit Hilfe der rezeptbezogenen

Emissionsberechnungen und der jeweils gefahrenen Produktionsmengen kann auch ermittelt werden, welche emissionsrelevanten Rezepturen über die RNV-Anlage gefahren werden müssen.

#### **4.1.2 Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung**

Die Auswahl und Auslegung von Anlagen zur Rückgewinnung und Nutzung von Abwärme muss auf die individuelle Situation eines Betriebes abgestimmt werden. Es ist zu klären, wo ein Wärmebedarf besteht, der ausreicht, um die zurückgewonnene Wärme vollständig aufzunehmen. Der Einsatz sollte zu einer entsprechenden Einsparung auf der Primärenergieseite führen.

Das hier angewendete Verfahren des Luft/Wasser-Wärmetauschers weist eine höhere Effizienz auf, als die Luft/Luft-Wärmeübertragung. Die Erwärmung von Wasser bietet zudem bessere Voraussetzungen zur Zwischenspeicherung der Wärmeenergie, was die Einsatzmöglichkeiten zur Nutzung der Wärme erweitert.

#### **4.2 Modellcharakter**

Die deutsche Textilindustrie befindet sich seit vielen Jahren in einem Umstrukturierungsprozess. Die Herstellung von Textilien für die klassischen Bereiche Bekleidung, Haus- und Heimtextilien hat sich zu einem großen Teil in Schwellen- und Entwicklungsländer verlagert. Viele der in Deutschland verbliebenen Produktionsbetriebe konzentrieren sich verstärkt auf die Herstellung von innovativen Funktionstextilien für verschiedenste Bereiche, häufig auch als „Technische Textilien“ bezeichnet. In der Textilveredlung sind hierfür vielfach Appreturen (Imprägnierungen) und/oder Beschichtungen erforderlich, die bei der Produktion zu erhöhten Abluftbelastungen führen. Um die gesetzlich vorgeschriebenen Emissionswerte einhalten zu können, ist eine effektive Abluftreinigung notwendig, für die nach heutigem Stand nur die Regenerative Nachverbrennung in Frage kommt.

Spannrahmen sind Kernanlagen für die Ausrüstung und Beschichtung von textilen Flächen. Das hier beispielhaft umgesetzte Verfahren ist prinzipiell für alle Textilveredlungsbetriebe einsetzbar, die funktionale Flächentextilien herstellen bzw. behandeln. Die überwiegende Zahl der Unternehmen betreiben parallel zu den Spannrahmen verschiedene Nassveredlungsanlagen zum Waschen, Vorbehandeln, Bleichen und/oder Färben. Für diese Betriebe ist die hier vorgestellte Lösung eine gute Möglichkeit, um die Energie in der gereinigten Abluft weitgehend wiederzuverwenden und die CO<sub>2</sub>-Bilanz in der Veredlung zu verbessern.

Das Gesamtkonzept ist dazu geeignet, den Stand der Technik in der Textilindustrie weiter zu entwickeln und zu beweisen, dass der Betrieb einer RNV-Anlage auch unter ökonomischen Aspekten eine sinnvolle Alternative darstellt.

Das Projekt wurde von Verband der Norddeutschen Textil- und Bekleidungsindustrie e. V. begleitet, der als Multiplikator in Nordwestdeutschland fungiert. Das Projekt wurde unter anderem im Rahmen der Sitzungen des Arbeitskreises Umweltschutz vorgestellt, an dem ein Großteil der produzierenden Betriebe im Verbandsbereich regelmäßig teilnehmen. Im Jahresbericht des Verbandes 2012/13 wurde das Projekt in einem eigenen Beitrag unter dem Titel „Energieeffizienz in der Textilveredlungsindustrie – Demonstrationsvorhaben zur innovativen Abluftreinigung“ veröffentlicht.

#### **4.3 Zusammenfassung**

In dem für die deutsche Textilindustrie wichtigen Bereich der Funktionstextilien werden überwiegend thermische Prozesse in erhitzter Luft gefahren, bei denen große Abluftmengen anfallen. Diese Abluft ist mit organischen Stoffen belastet und muss gereinigt werden. Als geeignetes Verfahren kommt zurzeit nur die thermische Nachverbrennung in Frage, weil nur dieses in der Lage ist, alle organischen Stoffe vollständig zu eliminieren. Das Verfahren hat allerdings den Nachteil, dass für den Betrieb der Nachverbrennung zusätzliche Energie notwendig ist.

Mit diesem Vorhaben wird eine Lösung umgesetzt, bei der die zur Verbrennung der Abluft zusätzlich verbrauchte Energie ebenso wie die bereits vorhandene Energie in der Spannrahmenabluft über Luft-Wasser-Wärmetauscher zurückgewonnen, zwischengespeichert und in der Textilveredlung wieder verwendet wird. Bereits vorhandene Wärmerückgewinnungsanlagen sind in dem Konzept mit einbezogen worden. Energieeinsparungen werden durch eine verbesserte Nutzung der zurückgewonnenen Wärmeenergie in den Färbereiabteilungen erreicht.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

- Elimination von organischen Verbindungen (org. C) in der RNV: >98 %
- Erdgasverbrauch für die RNV-Anlage: 744 MWh/a
- Stromverbrauch für die RNV-Anlage: 55 MWh/a
- Einsparung Primärenergie (Erdgas) in der Färberei 2.344 MWh/a
- Netto-Energieeinsparung 1.600 MWh/a
- CO<sub>2</sub>-Einsparung (einschl. Stromverbrauch für die RNV) 290,8 to/a

Der Energieverbrauch für den Betrieb der RNV-Anlage wird mit diesem Anlagenkonzept mehr als kompensiert.

## 5 Literatur

- [1] Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg;  
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz:  
„Emissionsminderung bei Textilveredlungsanlagen - Teil II: Muster-Auflagenvorschläge zu Emissionsminderungsmaßnahmen bei Textilveredlungsanlagen“  
Stand September 2004
- [2] Universität Augsburg (Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, Schwerpunkt Produktions- und Umweltmanagement);  
Modern Testing Services (Germany) GmbH;  
Lufttechnik Bayreuth GmbH & Co. KG  
J.G. Knopf's Sohn GmbH & Co. KG:  
Endbericht zum Vorhaben EULV 27 „Beste Verfügbare Techniken (BAT) bei der Abluftreinigung in der Textilveredlung“,  
Stand Dezember 2008  
Erstellt für das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit
- [3] Sedlak, Dieter:  
„Integrierte und nachhaltige Emissionsminderung bei Textilveredlungsanlage“,  
Zeitschrift „Textilveredlung“ 5/6 2009, Seite 23-27

## 6 Anhang

### 6.1 Erläuterungen zu Fachbegriffen aus der Textilveredlung

Appretur	Teilbereich in der Ausrüstung. Bei der Appretur werden die Textilien mit Textilhilfsmitteln imprägniert, um bestimmte Effekte zu erzeugen, z. B. Weichgriff, Knitterfreiheit, Flammschutz, Wasserabweisung). Die Produkte werden als wässrige Lösungen (Flotten) angesetzt.
Ausrüstung	Sammelbegriff für mechanische und nasschemische Verfahren, um den Textilien Eigenschaften zu verleihen, die sie aufgrund ihrer Faserzusammensetzung und Konstruktion nicht haben.
Beschichten	Aufbringen von Streichmassen (Pasten) auf textilen Flächen.
Flotte	Sammelbegriff für wässrige Lösung mit Farbstoffen und/oder Textilhilfsmitteln, mit denen das Textil behandelt wird oder die auf das Textil aufgebracht werden. Je nach Art der Behandlung ziehen die Stoffe aufgrund ihrer Affinität aus der wässrigen Lösung auf das Textilmaterial auf (Ausziehverfahren) oder werden gezielt aufgetragen (Auftragsverfahren). Zu den Ausziehverfahren gehören auch alle Waschprozesse; zu den Auftragsverfahren zählen zum Beispiel die Appreturen.
TA Luft	Kurzbezeichnung für die „Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz“ (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) Als Verwaltungsvorschrift enthält sie Regelungen und Grenzwerte zur Abluftüberwachung für die Vollzugsbehörden.

## 6.2 Berechnung der Wärmeverluste im Warmwassertank

### Hinweise

- Der zylindrische aufrecht stehende Behälter hat einen Stahlmantel und steht im Freien.
- Bei den Faktoren Außentemperatur ( $t_{\text{Luft}}$ ), Windgeschwindigkeit ( $w$ ), Füllmenge ( $V$ ) und Warmwassertemperatur ( $t_{\text{WW}}$ ) werden geschätzte Jahresmittelwerte eingesetzt.
- Die Berechnung Wärmeübergang erfolgt nur für die Mantelfläche des Tanks. Die Oberfläche des Mantels abhängig vom Füllstand des Wassers im Tank. Über der Wasseroberfläche befindet sich ein Luftpolster. Der Wärmeverlust nach oben und unten wird nicht betrachtet.
- Die Wärmeübergangszahl des Stahlmantels kann bei der Berechnung des Wärmestroms für den isolierten Behälter unberücksichtigt bleiben.
- Bei der Berechnung der Kosten wird vorausgesetzt, dass Warmwasser ausschließlich in den Färbereibereitungen eingesetzt wird und die Verluste dort ausschließlich mit Dampfenergie kompensiert werden.

### Angewendete Gleichungen

(1) Wärmestrom in [W]	$Q = k \times A \times \Delta t$
(2) Wärmedurchgangskoeffizient Behälterwand in $[W/(m^2 \times K)]$	$k = 1 / [(s_i / \lambda_i) + (1 / \alpha_a)]$
(3) Temperaturdifferenz Warmwasser - Luft in $[^\circ C]$	$\Delta t = t_{\text{WW}} - t_{\text{Luft}}$
(4a) Wärmeübergangskoeffizienten an der Außenfläche bei Luftgeschwindigkeiten $w \leq 0,5$ m/s:	$\alpha_a = 6,2 + 4,2 \times w$
(4b) Wärmeübergangskoeffizienten an der Außenfläche bei Luftgeschwindigkeiten $w > 0,5$ m/s:	$\alpha_a = 7,6 \times w^{0,8}$

### Konstanten und Vorgabewerte

$c_p$	[J/(kg × K)]	Spez. Wärmekapazität des Mediums	4.181,0
$f_{\text{CO}_2}$	[gr/kWh]	CO <sub>2</sub> -Äquivalent für Erdgas	202,0
$K_D$	[€/MWh]	Kostensatz Dampferzeugung	30,0
$Z$	[d/a]	Tage pro Jahr	300,0
$w$	[m/s]	Luftgeschwindigkeit der Umgebungsluft	2,0
$t_{\text{Luft}}$	[ $^\circ C$ ]	Umgebungslufttemperatur	15,0
$d$	[m]	Durchmesser des Behälters	12,0
$V$	[m <sup>3</sup> ]	Masse des Behältermediums, Wassermenge	500,0
$H$	[m]	Behälterwandhöhe (halbe Füllmenge)	4,4
$A$	[m <sup>2</sup> ]	Oberfläche der Isolierung - mittlere Isolierdicke	166,7

Wärmeverlust unter verschiedenen Bedingungen		30°C ohne Isolierung	30°C ohne Isolierung	50°C ohne Isolierung	50°C mit Isolierung	
<i>Definition der zu vergleichenden Bedingungen</i>						
$s_{\text{isol}}$	[mm]	Schichtdicke der Wärmedämmung	5,0	50,0	5,0	50,0
$\lambda_{\text{isol}}$	[kW/(m×K)]	Wärmeleitfähigkeit der Außenwand	50.000,0	50,0	50.000,0	50,0
$t_{\text{WW}}$	[ $^\circ C$ ]	Temperatur des Warmwassers	30,0	30,0	50,0	50,0
<i>Berechnung des Wärmestroms</i>						
$\alpha_a$	[W/(m <sup>2</sup> × K)]	Wärmeübergangskoeffizient (Gl. 4a, 4b)	14,6	14,6	14,6	14,6
$k$	[W/(m <sup>2</sup> × K)]	Wärmedurchgangskoeffizient Behälter (Gl. 2)	14,6	0,9	14,6	0,9
$\Delta t$	[ $^\circ C$ ]	Temperaturdifferenz Warmwasser - Luft (Gl. 3)	15,0	15,0	35,0	35,0
$Q$	[W]	Wärmestrom (Gl. 1)	36.446,8	2.339,7	85.042,5	5.459,4
	[Wh]	Entsprechende Energie-Verlust pro Stunde	36.446,8	2.339,7	85.042,5	5.459,4
<i>Hochrechnungen für den Zeitraum eines Jahres</i>						
	[kWh/a]	Energie-Verlust pro Jahr	262.416,9	16.846,2	612.306,0	39.307,7
	[t/a]	CO <sub>2</sub> -Mehrausstoß durch den Energieverlust	53,0	3,4	123,7	7,9
	[€/a]	Kosten durch den Mehrverbrauch an Dampf	7.872,5	505,4	18.369,2	1.179,2
	[kWh/a]	Energie-Einsparung durch Wärmedämmung	-245.570,7		-572.998,3	
	[t/a]	CO <sub>2</sub> -Einsparung durch Wärmedämmung	-49,6		-115,7	
	[€/a]	Kosteneinsparung durch Wärmedämmung	-7.367,1		-17.190,0	