

ZERIA 3  
Zero Emissions Research  
in Application

H. Schnitzer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**14/2007**

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# ZERIA 3

## Zero Emissions Research in Application

Prof. DI Dr. Hans Schnitzer, DI Mickael Planasch,  
DI Christian Zwatz  
TU Graz, Inst. f. Ressourcenschonende u. Nachhaltige Systeme

DI Christoph Brunner, DI Karin Taferner, DI Bettina Slawitsch  
Joanneum Research, Inst. f. Nachhaltige Techniken u. Systeme

Prof. DSc Ferenc Friedler  
Universität Veszprém Department of Computer Science

Otto Reiter  
Atrotech GmbH

Martina Gärtner  
Eybl International AG

DI Torsten Kriechbaum  
Joh. Pengg AG

Ing. Michael Schöffel, Robert Gampmayer  
Rotreat Abwasserreinigung GmbH & CO KG

Graz, Dezember 2006

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at) und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>KURZFASSUNG:</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>ENGLISH SUMMARY</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>AUSFÜHRLICHE KURZFASSUNG</b> .....	<b>10</b>
3.1	Zero Emissions als Weiterentwicklung des produktionsintegrierten Umweltschutzes .....	10
3.2	Zero Emissions als Idealität .....	10
3.3	Definitionen und Übereinkommen .....	11
3.4	<b>Anwendungsbereiche</b> .....	<b>13</b>
3.4.1	Einzelunternehmen .....	13
3.4.2	Unternehmenscluster und Industrieparks .....	14
3.4.3	Städte und Regionen .....	14
3.4.4	Zero-Emissions Systeme auf Basis erneuerbarer Rohstoffe .....	14
3.5	<b>Fallstudien</b> .....	<b>15</b>
3.5.1	Joh. Pengg AG .....	15
3.5.2	Eybl International AG .....	16
3.5.3	Sebring Auspuffanlagen GmbH .....	17
3.6	Ergebnisse und Folgerungen.....	18
<b>4</b>	<b>VOM „TECHNISCHEN UMWELTSCHUTZ“ ZU „ZERO EMISSIONS“</b> .....	<b>20</b>
4.1	Cleaner Production als Vorläufer zu Zero Emissions .....	20
4.2	Die Zero Emissions Idee .....	23
4.3	Die Geschichte von Zero Emissions.....	24
4.4	Zero Emissions als Idealität .....	26
4.5	Der Natur-wissenschaftliche Hintergrund zu Zero Emissions .....	28
<b>5</b>	<b>ZERO EMISSIONS GRUNDLAGEN</b> .....	<b>29</b>
5.1	<b>Definition des Begriffes „Zero“</b> .....	<b>29</b>
5.1.1	„ZERO“ als quantitative Null (absolut Null) .....	29
5.1.2	„ZERO“ als qualitative Null (analytische Nachweisbarkeit) .....	30
5.1.3	Zero Impact .....	30
5.1.4	Keine Beeinflussung der Größe natürlicher Stoffströme .....	30
5.1.5	Keine Stoffströme in bestimmte Umweltmedien .....	31
5.2	<b>Definition des Begriffes „Emission“?</b> .....	<b>31</b>
5.3	<b>Definition von Zero Emissions</b> .....	<b>32</b>
5.4	<b>Betriebswirtschaftliche Überlegungen zu Zero Emissions</b> .....	<b>32</b>
5.5	<b>Methoden zur Umsetzung von Zero Emissions:</b> .....	<b>33</b>
5.5.1	<i>Cleaner Production</i> .....	33

5.5.2	<i>Green Chemistry</i> / “Nachhaltige Chemie” .....	34
5.5.3	Industrielle Verwertungsnetzwerke – “ <i>Industrial Ecology</i> ” .....	34
5.5.4	Integrierte Biosysteme (IBS).....	34
5.5.5	Nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energieträger .....	35
5.5.6	Recycling .....	35
5.5.7	Upgrading – Upsizing .....	35
<b>5.6</b>	<b>Wechselwirkung der Methoden.....</b>	<b>35</b>
5.6.1	Die Wirkungsmatrix:.....	37
5.6.2	Die Wechselwirkungen .....	39
5.6.3	Wirkungsmatrix „Metall verarbeitende Industrie“ .....	40
5.6.4	Mikro-Ebene Wirkungsmatrix: .....	42
5.6.5	Meso-Ebene Wirkungsmatrix: .....	43
5.6.6	Makro-Ebene Wirkungsmatrix.....	45
5.6.7	Darstellung aller drei Ebenen:.....	45
5.6.8	Schlussfolgerung:.....	46
5.6.9	Grundsätze zur Erreichung von Zero Emissions:.....	48
<b>6</b>	<b>MEDIENBEZOGENE ANSÄTZE .....</b>	<b>51</b>
6.1	<b>Zero Waste in Produktionsbetrieben .....</b>	<b>51</b>
6.2	<b>Zero Waste Water.....</b>	<b>55</b>
6.3	<b>Zero Global Warming .....</b>	<b>57</b>
6.4	<b>Zero Waste im kommunalen Bereich.....</b>	<b>57</b>
6.5	<b>Biobasierte Zero Emissions Systeme.....</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>MÖGLICHE ANWENDUNGSGEBIETE FÜR „ZERO EMISSIONS“ .....</b>	<b>60</b>
7.1	Einzelunternehmen.....	60
7.2	Industrieparks und Unternehmenscluster .....	62
7.3	Region .....	64
<b>8</b>	<b>HILFSMITTEL ZUR UMSETZUNG VON ZERO EMISSIONS.....</b>	<b>67</b>
8.1	Environmental Management Accounting.....	67
8.2	Technologiedatenbank.....	72
8.3	<b>Laboranlage.....</b>	<b>76</b>
8.3.1	Ionenaustauscher.....	77
8.3.2	Membranfilterzelle.....	78
8.3.3	Vakuumrotovapor .....	79
8.4	<b>Aufbau mobiles Technikum im Pilotmaßstab .....</b>	<b>79</b>
8.4.1	Anlage zum Test von geeigneten Vorfiltern und adsorptiven Filtermedien: .....	80
8.4.2	Ionentauscheranlage:.....	81
8.4.3	Membrananlage: .....	81
8.4.4	Korbzentrifuge .....	82
8.4.5	Vakuumverdampfer .....	82
8.4.6	Messtechnik: .....	83
<b>9</b>	<b>FALLSTUDIEN .....</b>	<b>84</b>

<b>9.1</b>	<b>Fallstudie Pengg</b> .....	<b>84</b>
9.1.1	Kurzbeschreibung der Prozesse .....	84
9.1.2	Praktische Arbeiten .....	87
9.1.3	Ergebnisse .....	122
9.1.4	Weg zu Zero Emissions .....	122
<b>9.2</b>	<b>Fallstudie Sebring Auspuffanlagen GmbH</b> .....	<b>131</b>
9.2.1	Kurzbeschreibung des Verfahrens .....	131
9.2.2	Problemstellung .....	132
9.2.3	Implementierung von Zero Emissions Techniques .....	133
9.2.4	Ergebnisse .....	136
9.2.5	Bezüge zu Zero Emissions .....	139
<b>9.3</b>	<b>Fallstudie Eybl International AG:</b> .....	<b>141</b>
9.3.1	Produktionsprozesse.....	141
9.3.2	Einleitung und Problemstellung:.....	141
9.3.3	Ergebnisse .....	142
9.3.4	Membrananlage.....	148
9.3.5	Ansatzpunkte für „Zero Emissions“ Methoden.....	150
9.3.6	Methoden : .....	151
9.3.7	Schlussfolgerungen: .....	156
<b>10</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN ZUR UMSETZUNG VON ZERO EMISSIONS UND AUSBLICK</b> .....	<b>159</b>
<b>10.1</b>	<b>„Zero Emissions“ ist ein neuer ganzheitlicher Ansatz zu einer ressourceneffizienten Wirtschaftsentwicklung</b> .....	<b>159</b>
<b>10.2</b>	<b>Ein medienbezogener Zugang ist möglich und sinnvoll</b> .....	<b>159</b>
<b>10.3</b>	<b>Diskontinuitäten in der Wirtschaftlichkeitsrechnung eröffnen betriebswirtschaftlich neue Perspektiven</b> .....	<b>160</b>
<b>10.4</b>	<b>„Zero Emissions“ muss die betriebliche Ebene verlassen</b> .....	<b>160</b>
<b>10.5</b>	<b>Beitrag zu den Zielen der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“</b> .....	<b>160</b>
<b>10.6</b>	<b>Weiterführender Forschungsbedarf</b> .....	<b>160</b>
<b>11</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>161</b>
<b>11.1</b>	<b>Zitierte Literatur</b> .....	<b>161</b>
<b>11.2</b>	<b>Ausgewertete und weiterführende Literatur</b> .....	<b>162</b>
<b>12</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>165</b>
<b>13</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>168</b>
<b>14</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>169</b>
<b>14.1</b>	<b>Kick-Off-Meeting und 2. Projektworkshop</b> .....	<b>169</b>
14.1.1	Kick-Off-Meeting: .....	169
14.1.2	2. Projektworkshop: .....	169
<b>14.2</b>	<b>Öffentlichkeitsarbeit</b> .....	<b>171</b>

<b>14.3</b>	<b>Wissenschaftliche Veröffentlichungen .....</b>	<b>171</b>
<b>14.4</b>	<b>Weiterbildungsveranstaltungen.....</b>	<b>172</b>

## 1 Kurzfassung:

Das Projekt ZERIA 3 (Zero Emissions Research in Application) ist die Fortführung der beiden Vorgängerprojekte ZERIA (Zero Emissions Research in Austria) und ZERIA 2 (Zero Emissions Research in Austria 2), welche als Ressortforschung des Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr bzw. des Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie und des WIFI finanziert wurden.

ZERIA 3 wurde im Rahmen des Impulsprogramms „Nachhaltig Wirtschaften“ des BMVIT abgewickelt und drei umfasste die Bereiche

- Strategien zur Einführung abfall- und emissionsfreier Produktion
- Methoden zur Unterstützung der Einführung, und
- Fallstudien in mehreren Sektoren.

Als Wirtschaftspartner fungierten die **Atrotech GmbH** (Otto Reiter, Geschäftsführer), die die **Rotreat Abwasserreinigung GmbH & CO KG** (Ing. Michael Schöffel, Geschäftsführer) und die **STENUM GmbH** (Dr. Johannes Fresner, Geschäftsführer). Fallstudien wurden in der **Joh. Pengg AG** (Dipl. Ing. Torsten Kriechbaum, Umweltbeauftragter), bei **Eybl International AG** (Martina Gärtner, Umweltbeauftragte) und der Firma **Sebring Auspuffanlagen GmbH** durchgeführt.

Am Anfang des Projektes standen einige Hypothesen und Erfahrungen, die im Zuge der Arbeiten gestärkt, erweitert oder auch widerlegt wurden. Der „Zero-Emissions“ – Ansatz bedient sich zwar grundsätzlich ähnlicher Methoden wie der produktionsintegrierte Umweltschutz, geht aber strategisch einen anderen Weg. Ausgehend von der Beschreibung des „ZERO EMISSIONS ENTERPRISE - ZEE“ (abfall- und emissionsfreies Unternehmen) als ein ideales Endresultat werden in einer rückwärts gerichteten Analyse Zwischenlösungen erarbeitet, die machbar und wirtschaftlich sind. Hierdurch vermeidet man Sackgassenentwicklungen und Technologien, die keine weiteren Ressourceneffizienzen oder Emissionsminderungen zulassen.

Die Auswertung der Fallstudien sowie der neuen Literatur ergab folgende Erkenntnisse:

### **„Zero Emissions“ ist ein neuer ganzheitlicher Ansatz zu einer ressourceneffizienten Wirtschaftsentwicklung**

Die Erfahrungen der eigenen Projekte und die Aufarbeitung der Fachliteratur zeigte, dass mittels des Zero-Emissions – Ansatzes eine Weiterentwicklung des produktionsintegrierten Umweltschutzes möglich ist, der über die Ökoeffizienzmaßnahmen hinaus reicht. Bezüglich der angewandten Methoden kann auf die Erfahrungen und Vorarbeiten aus den Projekten des produktionsintegrierten Umweltschutzes aufgebaut werden.

### **Ein medienbezogener Zugang ist möglich und sinnvoll**

Zero Emissions muss nicht als Gesamtprojekt gestartet werden. Medienbezogene Zugänge wie

- kein Abwasser
- kein fester Abfall
- keine Emission von Treibhausgasen

können weitgehend unabhängig voneinander erarbeitet und umgesetzt werden.

**Diskontinuitäten in der Wirtschaftlichkeitsrechnung eröffnen betriebswirtschaftlich neue Perspektiven**

Der produktionsintegrierte Umweltschutz erbringt durch seine Effizienzansätze den Unternehmen Ersparnisse bei den Betriebskosten für Rohstoffe und Entsorgung. Diese Einsparungen gehen proportional mit den eingesetzten Mengen und unterliegen daher dem Gesetz des abnehmenden Grenznutzens. Durch Zero Emissions – Ansätze lassen sich zusätzlich Fixkosten einsparen. Dies eröffnet neue betriebswirtschaftliche Vorteile, wenn es möglich ist, Anlagen oder Anlagenteile vollständig still zu legen oder zu vermeiden. Dies gilt besonders für Abwasseranlagen und Kanalanschlüsse aber auch im Bereich der Entsorgung fester Abfälle.

**„Zero Emissions“ muss die betriebliche Ebene verlassen**

Zero Emissions setzt voraus, dass alle Materialflüsse, die ein Unternehmen verlassen so gestaltet sind, dass sie einen wirtschaftlichen Wert als Rohstoff für andere Produktionsprozesse haben. Diese Problematik kann nicht nur auf der Ebene des eigenen Betriebes behandelt werden, sondern erfordert eine Zusammenarbeit mit anderen Firmen. Nur bei einer gegenseitigen Abstimmung der erforderlichen Qualitäten kann eine vollständige und wirtschaftliche Verwertung aller Non-Product-Outputs erreicht werden.

Mit Vorliegen dieses Berichtes bestehen nun die Voraussetzungen „Zero Emissions“, als abfall- und abwasserfreies Produzieren in interessierten Unternehmen umzusetzen

## 2 English Summary

ZERIA 3 (Zero Emissions Research in Application) is a follow up project of ZERIA (Zero Emissions Research in Austria) and ZERIA 2 (Zero Emissions Research in Austria 2) which had been funded as departmental research by the Ministry for Science and Traffic (later the Ministry for Traffic, Innovation and Technology), the Ministry for Environment, Youth and Family and the WIFI respectively.

ZERIA 3 was funded by the Program “Factory of Tomorrow”, which is part of a research and technology Program on Technologies for Sustainable Development called “Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften”. It contained three main areas of research, which were

- strategies for the implementation of zero emissions production processes
- methods to support the implementation
- case Studies in different sectors

The project partners were on one hand academic research facilities, like Graz University of Technology and JOANNEUM RESEARCH and on the other hand consulting companies and technology providers, like **Atrotech GmbH** (Otto Reiter, CEO), **Rotreat Abwasserreinigung GmbH & CO KG** (Ing. Michael Schöffel, CEO) and **STENUM GmbH** (Dr. Johannes Fresner, CEO). Case studies were made at **Joh. Pengg AG** (Dipl. Ing. Torsten Kriechbaum, Environmental Officer), **Eybl International AG** (Martina Gärtner, Environmental Officer) and **Sebring Auspuffanlagen GmbH**.

The starting point were assumptions and both operating experiences and expert knowledge. All of them were either proved, expanded or disproved. The Zero Emissions Approach uses mainly similar methods as process integrated environmental protection action plans and technologies but chooses a completely different way to achieve its results. Where process integrated methods try to optimise existing processes and reduce existing emissions prospectively, the “Zero Emissions Enterprise – ZEE” is the result of backward oriented analysis. The ideal ZEE is defined as a company that produces no waste at all and interim solutions are developed that are technically feasible and economically reasonable. So actions are avoided that lead to a dead end and technologies are eliminated that lead to no further resource efficiency and reduction of emissions.

The analysis of Case Studies and new literature lead to the following perceptions:

- **“Zero Emissions” is a completely new approach to a sustainable and resource efficient economic development**

It is the authors conviction, developed in own Case Studies and the analysis of scientific literature, that the Zero Emissions Approach means a further development of the process integrated environmental protection approach that overtakes eco efficiency and leads far beyond it. The existing, well developed and documented methods of process integrated environmental protection actions are a very good starting point. Experiences and preliminary work may be used as source.

- **A media oriented access is feasible and reasonable**

The Zero Emissions Approach must not start as an overall project. A media oriented approach like

- No Waste Water
- No Solid Waste
- No Climate Change Emissions

is feasible. Companies can implement these independent from each other.

- **Discontinuities in economic calculations open new economic perspectives**

The main economic benefit of process integrated environmental protection actions are generated due to more efficiency in the use of raw materials and the reduction of disposal costs. The savings are proportional to the input material and are subject to the conditions of the law of diminishing marginal utility. The Zero Emissions Approach leads to further savings at the fixed costs side of calculations if it is possible to avoid or even shut down expensive production processes. This is mainly feasible at waste water treatment plants and channel interfaces but also at the disposal of solid waste.

- **Zero Emissions approaches have to go beyond company's borders**

All emissions that are produced in a Zero Emissions Enterprise have to be transformed into valuable goods, like secondary raw materials, for other production processes. It is hardly possible to convert all emissions of a company into raw materials for its own production but it may be feasible to create secondary raw materials for other companies in maybe other branches. Just by cooperating with other companies and adjusting the necessary quality and quantity it is possible to reduce all emissions down to zero.

This project report summarizes the necessary knowledge and conveys important skills to support interested companies in the implementation of Zero Emissions.

### 3 Ausführliche Kurzfassung

Der produktionsintegrierte Umweltschutz verfolgte in Industriebetrieben in den letzten Jahren das Ziel einer Reduktion der Emissionen durch die Steigerung der Effizienz. Dadurch konnte in vielen Unternehmen eine deutliche Verminderung des Ressourcenverbrauches und der entstehenden Emissionen erzielt werden. Während die ersten Reduktionen mit großen wirtschaftlichen Vorteilen verbunden waren, ließ das Interesse an weitergehenden Reduktionen wegen des „Gesetzes des abnehmenden Grenznutzens“ nach. Weder verringerte sich der Ressourceneinsatz des produzierenden Sektors insgesamt noch wurden Strukturen entwickelt, die in der Lage wären, eine Welt mit 6 Milliarden Bewohnern langfristig und nachhaltig mit Produkten und Dienstleistungen zu versorgen.

Eine wirklich nachhaltige Wirtschaftsentwicklung verlangt daher nach radikaleren Maßnahmen.

#### 3.1 Zero Emissions als Weiterentwicklung des produktionsintegrierten Umweltschutzes

Selbst Innovationen helfen nicht aus der Problematik, dass mit kontinuierlichen Verbesserungen die Wirtschaftlichkeit des produktionsintegrierten Umweltschutzes abnimmt.

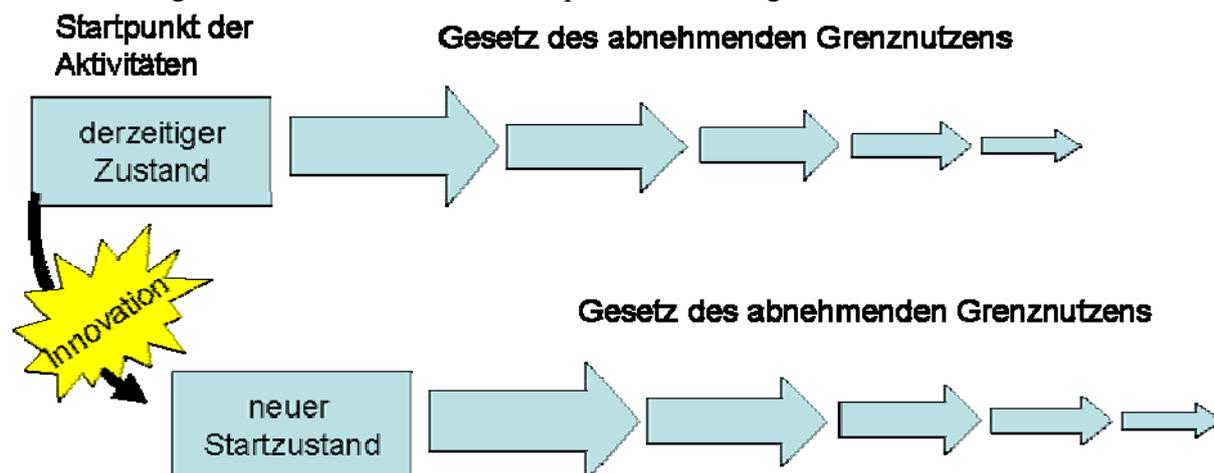


Abbildung 3.1: Wegen des Gesetzes des abnehmenden Grenznutzens sinkt der wirtschaftliche Anreiz zu weit reichenden Effizienzmaßnahmen.

Folgerichtig vermindert sich das Interesse der Unternehmungen an weiteren Einsparungen sobald der Verbrauch von Betriebsmitteln auf etwa 25% der ursprünglichen Menge (Faktor 4 Maßnahmen).

#### 3.2 Zero Emissions als Idealität

**Änderungen zu managen erfordert eine Art des Denkens, die für die meisten von uns ungewohnt ist<sup>1</sup>.** Dieser Ausspruch führte wesentlich zur Entwicklung des „Zero Emissions“ Ansatzes. Dieser bedient sich zwar grundsätzlich einer ähnlichen Methode wie der produktionsintegrierte Umweltschutz, verfolgt aber strategisch einen anderen Weg, da aus seiner Sicht „grundsätzliche Änderungen“ nie das Ergebnis kontinuierlicher Verbesserungen sind. Im Gegensatz zum industriellen Umweltschutz erfolgt die Beschreibung des „ZERO EMISSIONS ENTERPRISE - ZEE“ (abfall- und emissionsfreies Unternehmen) als ein *ideales Endresultat* in einer rückwärts gerichteten Analyse. Dabei werden Zwischenlösungen

<sup>1</sup> Tyre, J.T. (1994)

erarbeitet, die technisch umsetzbar und wirtschaftlich sinnvoll sind. Hierdurch vermeidet man Sackgassenentwicklungen und den Einsatz von Technologien, die keine weiteren Ressourceneffizienzen oder Emissionsminderungen zulassen.

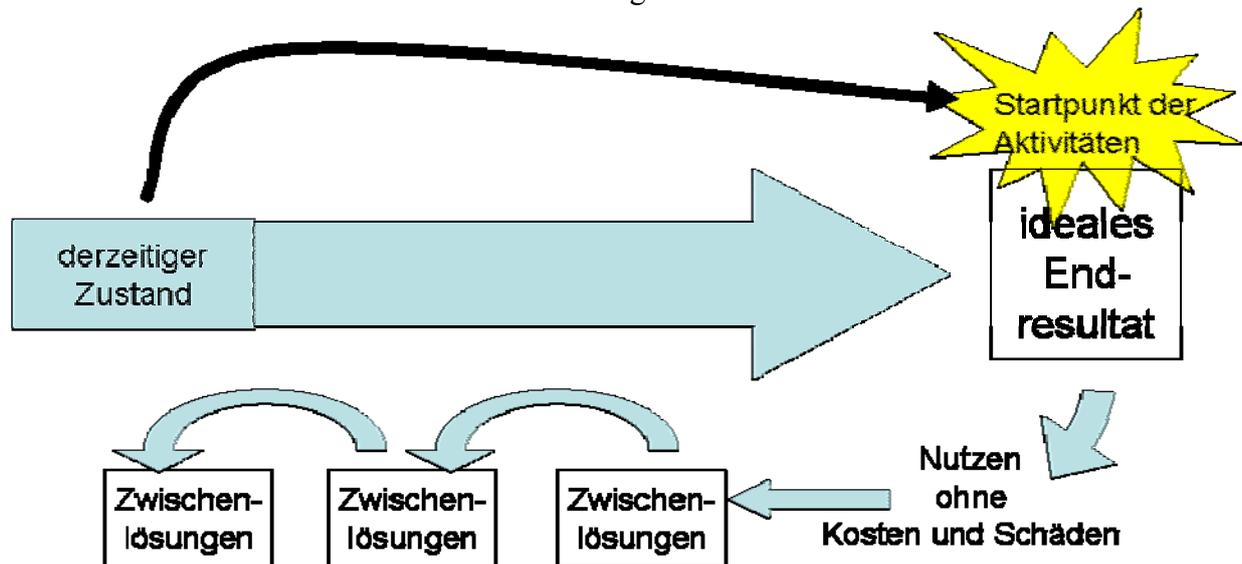


Abbildung 3.2: Das abfall- und emissionsfreie Unternehmen als ideales Endresultat der Entwicklung dient als Ausgangspunkt der Überlegungen<sup>2</sup>

### 3.3 Definitionen und Übereinkommen

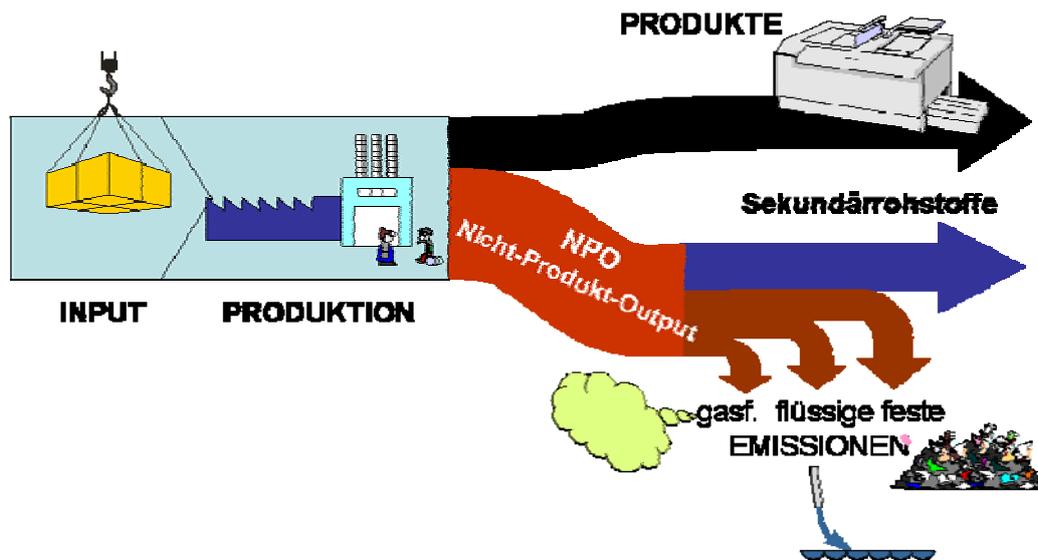
Um Zero Emissions klar und verständlich definieren zu können, müssen zunächst die beiden Begriffe „Zero – Null“ und „Emissions – Emissionen“ erklärt werden. Daraus leitet sich letztendlich die Definition von „Zero Emissions“ ab.

Emissionen können aus dem Blickwinkel eines Unternehmens mit einer einfachen mathematischen Gleichung beschrieben werden:

$$\text{Input} - \text{Produkt} - \text{verkaufbare Sekundärrohstoffe} = \text{Emission}$$

Emissionen sind demnach das Ergebnis von Ineffizienzen im Zuge der Produktionsprozesse. Alle Inputstoffe, wie Roh-, Betriebs-, Hilfsstoffe und Energie, werden im Rahmen der einzelnen Prozessschritte in ein (Zwischen-)Produkt umgewandelt. Letztendlich verlässt das fertige Produkt das Unternehmen. Zudem wurden flüssige, gasförmige, feste und energetische Emissionen produziert, die die Bilanzgrenze „Unternehmen“ verlassen (NPO = Nicht Produkt Output). Der Inhalt dieser Gleichung ist in der nachfolgenden Abbildung graphisch dargestellt.

<sup>2</sup> nach: Jantschgi J. (2005)



**Abbildung 3.3: Vom Input zu Emissionen**

Im Sinne eines abfall- und emissionsfreien Unternehmens versteht man unter einer Emission jeglichen Materialfluss aus einem Unternehmen hinaus, der

- nicht ein Produkt ist, oder
- nicht als Rohstoff für einen anderen Produktionsprozess verkauft werden kann.

Jeder Materialfluss, für dessen Abnahme bezahlt werden muss, ist eine Emission, selbst wenn dieser in einer stofflichen oder thermischen Weiterverwertung zugeführt wird.

In den einschlägigen Publikationen werden genauere Definitionen von „Null“ im Zusammenhang mit Emissionen weitestgehend vermieden, prinzipiell kann man sich allerdings auf fünf Wegen einer solchen Begriffsbestimmung annähern:

- Absolut Null
- Analytisch Null
- Null Beeinflussung der Umwelt (Zero Impact)
- Null Beeinflussung der Größe der natürlichen Stoffströme
- Keine Ströme in ausgewählte Medien

Für die praktische Arbeit sind die Definitionen „Zero Impact“ und „Keine Ströme“ von der größten Bedeutung. Sie sind einfach zu definieren und zu verstehen. In vielen Fällen ist es als erster Ansatz in der praktischen Umsetzung sinnvoll, ein Umweltmedium zu bestimmen, in welches das Auftreten von Stoffströmen vollständig vermieden wird:

- kein Abwasser
- keine festen Abfälle auf Deponien oder in die Verbrennung
- keine gefährlichen flüssigen oder festen Abfälle in Behandlungsanlagen
- keine Stoffströme in Boden oder Grundwasser

Bezüglich der Energie ist eine andere Definition notwendig, weil eine Produktion ohne Energieeinsatz nicht möglich ist. Da aus Gründen des Energieerhaltungssatzes diese eingesetzte Energie den Betrachtungsraum auch wieder verlassen muss, bietet es sich an, für energetische Emissionen die „Zero Impact“ Definition zu wählen. Die Hauptwirkung des Energieeinsatzes heute liegt in der Veränderung des Klimas durch treibhauswirksame Gase wie CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>. Der Zero Emissions Ansatz liegt daher im Energiebereich auf dem Einsatz CO<sub>2</sub>-neutraler Energieträger (keine Wirkung = klimaneutral). Energieeffizienz und das Vermeiden anderer Emissionen (Feinstaub), die bei einer Umstellung auftreten können sind natürlich zu betrachten.

Resultierend auf den beiden vorhergegangenen Definitionen ergibt sich die folgende für „Zero Emissions“:

- Ein „Zero Emissions System“ ist ein System, in dem alle Stoff- und Energieströme, welche die definierten Systemgrenzen überschreiten, ein Produkt sind, ein Rohstoff für eine andere Produktion oder zumindest keinen negativen Einfluss auf sowohl die ökologische, soziale oder ökonomische Umwelt ausüben. Dabei umfassen die Systemgrenzen entweder ein Einzelunternehmen, eine Gruppe von Unternehmen (Park oder Cluster) oder eine Region.
- „Zero Emissions Technologien“ sind Technologien, die die Emission von allen oder ausgewählten Substanzen vollkommen vermeiden oder auf eine nicht relevante Größe vermindern.

Die Systemgrenzen werden dabei um Produktionseinrichtungen und nicht entlang des Lebenszyklus eines Produkts oder einer Dienstleistung gezogen. Die Speicherung von Emissionen innerhalb der Systemgrenzen, z.B. eine Deponie, ist nicht gestattet. Auch die Übertragung eines Abfallstroms auf ein anderes Unternehmen, welches diesen dann entsorgt, wird nicht als Bestandteil von Zero Emissions verstanden. Eine derartige Übertragung von Emission erweitert die Systemgrenze um das andere Unternehmen und eröffnet ein Netzwerk, dessen Outputströme wiederum der Definition entsprechen müssen.

Die Auswertung von publizierten Fallstudien und Projektberichten, sowie die eigenen Erfahrungen weisen folgende Ansätze zu Zero-Emissions als die meist Erfolg versprechenden aus:

- abwasserfreie Produktion (Zero Waste Water)
- abfallfreie Produktion (Zero Waste)
- Produktion ohne Emission von Substanzen, die die Ozonschicht zerstören (Zero ODP-Gases)
- Energiesysteme ohne Emission von Treibhausgasen (Zero GHG-impact)

Für alle drei Ansätze gibt es erfolgreiche Konzepte und Beispiele.

### 3.4 Anwendungsbereiche

Zero-Emissions lässt sich in der obigen Definition auf unterschiedliche Betrachtungsräume anwenden.

#### 3.4.1 Einzelunternehmen

Ziel eines Zero Emissions Projektes auf Unternehmensebene ist es, alle eingesetzten Roh- und Hilfsstoffe in Produkte oder Sekundärrohstoffe umzuwandeln.

Die Reduktion der festen Abfälle eines Produktionsbetriebes ist am weitesten entwickelt, wobei vor allem in Japan und in weltweiten Produktionsanlagen japanischer Unternehmen das Ziel verfolgt wird, dass weniger als 1% der in das Unternehmen eintretenden Stoffströme, dieses als fester Abfall verlassen<sup>3</sup>. Um den „Nicht-Produkt“ – Output (NPO) eines Unternehmens nicht als Abfall bezeichnen zu müssen, werden natürlich andere Betriebe benötigt, die die Materialströme als Rohstoff einsetzen können.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes ZERIA3 wurde das Hauptaugenmerk auf eine abwasserfreie Produktion gelegt, wofür es ebenfalls internationale Vorarbeiten gibt<sup>4, 5, 6</sup>. Das Vermeiden von Treibhausgasemissionen wird in einem weiteren Projekt der „Wirtschaftsinitiative Nachhaltigkeit“ untersucht, bei dem es um die Anwendung von Solarenergie in Produktionsprozessen geht<sup>7</sup>.

---

<sup>3</sup> siehe z.B. Fujitsu Group (2004)

<sup>4</sup> Dannels, L. (2000)

<sup>5</sup> Lee, H.H.W. (2001)

<sup>6</sup> Fresner, J. (2006)

<sup>7</sup> Schnitzer, H. (2006)

### 3.4.2 Unternehmenscluster und Industrieparks

Das Finden von Verwendungsmöglichkeiten für den NPO wird wesentlich erleichtert, wenn potentielle Abnehmer in unmittelbarer Nähe sind, oder wenn die Mengen durch den Zusammenschluss mehrerer Betriebe größer sind. Ein Industriepark oder ein Zusammenschluss von Unternehmen in einem Cluster erweitert die Möglichkeiten und hilft wirtschaftliche Lösungen zu finden. Cluster- oder Parkmanagement haben hier in Zukunft verstärkt mit Aufgaben zu rechnen.

### 3.4.3 Städte und Regionen

Eine rasch wachsende Anzahl von Städten und Regionen verschreibt sich dem Zero Waste Ansatz. Die ersten Ansätze stammen aus Australien und Neuseeland wobei Nord Amerika rasch nachfolgt ([www.zerowasteamerica.org](http://www.zerowasteamerica.org)) hingegen europäische Kommunen eher nachhinken. Seit 1996 verfolgt Canberra, die Hauptstadt Australiens, ein „Zero Waste“ Programm mit dem Zieljahr 2010. Die meisten anderen Städte mit einem derartigen Programm streben diesen Status 2020 an.

- Neuseeland hat 2002 als erstes Land der Welt einen nationalen „Zero Waste Plan“ angenommen. 38 der 74 lokalen Regierungen haben bis 2003 die Ziele übernommen
- Toronto declares Zero Waste: Toronto, die größte Stadt Kanadas hat sich mit dem Zieljahr 2010 zu Zero Waste bekannt
- City of Palo Alto veröffentlicht im Oktober 2005 einen „Zero Waste Strategic Plan“ mit dem Ziel 2025 Zero waste im ganzen Bundesstaat Kalifornien umzusetzen<sup>8</sup>
- City of Oakland publiziert 2006 den “Strategic Plan To Achieve The City Council Goal Of Zero Waste By 2020”<sup>9</sup>

Besonders der Plan aus Oakland stellt die Vielfältigkeit des notwendigen Ansatzes. Kommunale und regionale Zero Emissions Pläne binden zwangsläufig auch Unternehmungen in das Zero Emissions Konzept ein.

### 3.4.4 Zero-Emissions Systeme auf Basis erneuerbarer Rohstoffe

Um die befürchteten vom Menschen verursachten Klimaänderungen möglichst gering halten zu können und um Stoffströme im Kreislauf zu führen, ist es notwendig, Ressourcen aus nachwachsenden Rohstoffen zu gewinnen (bio-based zero emissions system). Hierzu braucht man im Rahmen einer „biobased economy“ Bioraffinerien, in denen sowohl Chemikalien, Werkstoffe, Energieträger als auch Energie gewonnen werden. Die Rohstoffe für solche Bioraffinerien sind vielfältig, wie auch die Produkte.

---

<sup>8</sup> Liss, G. (2005)

<sup>9</sup> City of Oakland (2006)

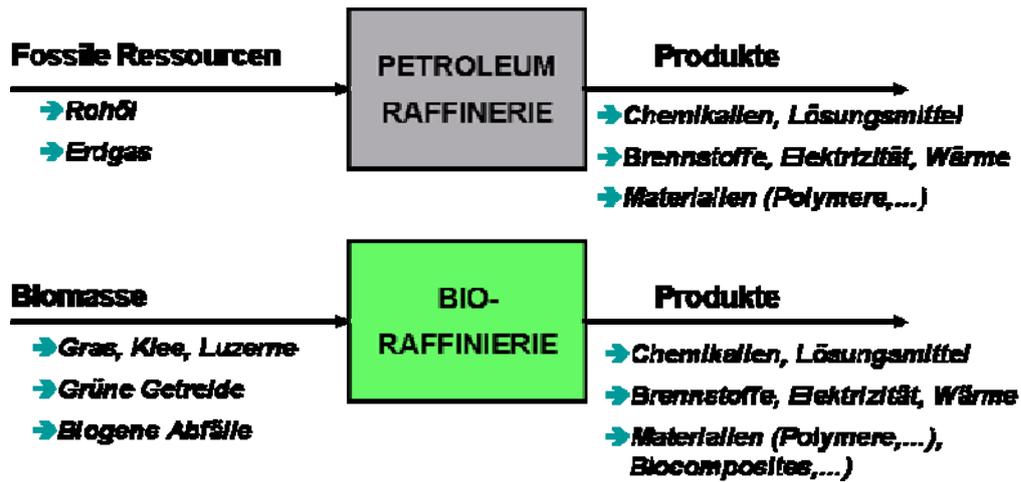


Abbildung 3.4: Prinzip einer Bio-Raffinerie

Bei den Einsatzstoffen kann es sich sowohl um Produkte spezifischer landwirtschaftlicher Kulturen handeln, als auch um Reststoffe von Land- und Forstwirtschaft oder um biogene Abfälle aus Industrie und Haushalten.

Entsprechend werden derzeit vier Arten der Bio-Raffinerie behandelt:

- Grüne Bio-Raffinerie auf der Basis von frischen, grünen Pflanzen<sup>10</sup>
- Bio-Raffinerien auf Basis Holz und Zellulosehaltiger Pflanzen<sup>11</sup>
- Bio-Raffinerien zur Nutzung von Ganzpflanzen
- Bio-Raffinerien auf Basis getrennter Nutzung von Früchten (Zucker, Stärke) und der Pflanzenmasse (Fasern,...)<sup>12</sup>

Das Zero Emissions Konzept der Bio-Raffinerien beinhaltet in Erweiterung der biogenen Rohstoffe abfall- und emissionsfreie Verfahren.

## 3.5 Fallstudien

Im Rahmen des Projektes wurden in einigen österreichischen Betrieben Fallstudien durchgeführt, wobei der Schwerpunkt auf dem Gebiet der abwasserfreien Produktion lag.

### 3.5.1 Joh. Pengg AG

Im Rahmen der beiden Vorprojekte ZERMEG I und ZERMEG II wurden die erstmals umweltbezogene Daten im Unternehmen erhoben und erste Optimierungen im Bereich der Spülwasserreduktion eingeleitet. Basierend auf den vorliegenden Ergebnissen sollte versucht werden, eine weitere Reduktion der Spülwasserströme zu erreichen an deren Ende der „abwasserfreie Betrieb“ steht. Darüber hinaus sollten die Voraussetzungen geschaffen werden einen Zero Emissions Betrieb umzusetzen.

Um die Dynamik der Produktion besser erfassen zu können wurden zwei Messserien über eine bzw. vier Wochen an zwei Produktionsanlagen durchgeführt. Dabei wurden die Leitfähigkeit, der pH-Wert und die Temperatur kontinuierlich sowie die chemische Zusammensetzung und Trockensubstanz entscheidender Bäder diskontinuierlich bestimmt.

Parallel dazu wurden im Labor Versuche mit Ionentauscherharzen, Membrantrennanlagen und Vakuumverdampfern gemacht, um die am besten geeignete Technologie für die Prozesswässer des Unternehmens zu ermitteln. Im Anschluss an diese wurden

<sup>10</sup> Wachter, B. (2004)

<sup>11</sup> Gravitis J. (1999)

<sup>12</sup> Ometto A. R. (2006)

Filtrationsversuche mit dem Spülwasser nach der Phosphatierung einer der beiden Produktionsanlagen im Pilotmaßstab durchgeführt.

Die Ergebnisse der beiden Messserien und der Versuche dienen als weitere Datengrundlage zur Spülwasserreduktion und Definition zweier möglicher Zero Emissions Prozessführungen. Unter Einbeziehung einer Ionentauscherkreislaufanlage, die zur Regeneration der Spülwässer einer hauseigenen Verkupferung dient, ist es möglich das Unternehmen mit Investitionen von etwa EUR 28.000.- abwasserfrei zu betreiben. Eine Reduktion der Spülwässer von zu Projektbeginn etwa 4.300 l/h auf etwa 1.710 l/h ist ohne Investitionen durch Good Housekeeping und Cleaner Production Maßnahmen zu erzielen. Um eine Standzeit von 24 Stunden für die Ionentauscherkreislaufanlage der Verkupferung zu erreichen, muss die Spülwassermenge auf 1.220.- l/h verringert werden. Dies ist am kostengünstigsten durch die Implementierung zweier Ionentauscheranlagen zur kontinuierlichen Reinigung der Spülbäder nach den Phosphatbädern möglich.

Das größte Problem bei der Umsetzung eines Zero Emissions Betriebs ist die Notwendigkeit der Deponierung der anfallenden Phosphat- und galvanischen Mischschlämme. Im Anschluss an die Suche nach Unternehmen, die eine stoffliche Verwertung galvanischer Schlämme vornehmen, wurden Grenzwerte des Schlamms für die stoffliche Verwertung ermittelt, welche ein Eisengehalt >30% und/oder ein Mindestphosphatgehalt von 8% sowie ein Kalkanteil <20% sind. Dies ist nur über die Bildung galvanischer Monoschlämme möglich.

Die zwei effektivsten Möglichkeiten zur Erreichung eines Zero Emissions Betriebs sind die Trennung der Salz- und Phosphorsäure Stoffsysteme oder der vollständige Umstieg auf einen reinen Phosphorsäurebetrieb. Die einzelnen Prozessbäder werden in beiden Verfahren über eine Kombination unterschiedlicher Regenerationssysteme kontinuierlich gereinigt und der anfallende galvanische Misch- oder Phosphatschlamm extern verwertet. Die notwendigen Investitionen zur Trennung der beiden Stoffsysteme betragen etwa EUR 217.000.-, wobei sich die Amortisationszeit auf etwa 1,8 Jahre beläuft und die interne Kapitalverzinsung über 10 Jahre 53% beträgt. Ein Umstieg auf einen reinen Phosphorsäurebetrieb benötigt Investitionskosten von etwa EUR 300.000.-, bei einer Amortisationszeit von etwa 2,6 Jahren und einer internen Kapitalverzinsung von 36% auf 10 Jahre.

### 3.5.2 Eybl International AG

Als Datengrundlage für die Untersuchungen bei Eybl International AG diente eine Diplomarbeit, welche im Jahr 2003 am Standort Krems durchgeführt wurde. Zudem war das Unternehmen im Vorläuferprojekt ZERIA 2 bereits Projektpartner, weshalb das Unternehmen den Mitarbeitern der TU Graz bereits bekannt war.

Es war das Ziel der Fallstudie die 2003 ermittelten Daten zu überprüfen, im Anschluss jene Prozesse zu definieren, in denen der größte betriebswirtschaftliche Nutzen bei der Umsetzung von Maßnahmen entsteht und letztendlich die technische Machbarkeit von Zero Emissions in der Textilindustrie zu bestätigen.

Eine Vielzahl prozessspezifischer Daten musste neu ermittelt werden, da entweder Änderungen stattgefunden haben oder die benötigten Daten nicht in der erforderlichen Genauigkeit vorlagen. So führte z.B. die Ausgliederung der Färberei zu einer Verringerung der Abwassermenge von etwa 50%. Im Anschluss an die notwendige Datenerhebung wurde ein EMA<sup>13</sup>-Workshop durchgeführt, im Zuge dessen die Schwachstellen im Unternehmen erkannt wurden<sup>14</sup>. Danach erfolgte eine detaillierte Energieanalyse sowie Pilotversuche mit MF-, UF- und NF-Membrantrennverfahren, mit dem Ziel einer Reduktion der CSB-Konzentration im Abwasser.

---

<sup>13</sup> EMA = Environmental Management Accounting

<sup>14</sup> Jasch C. (2002)

Als Ergebnis der Umweltkostenrechnung ergab sich ein Kostenanteil von 44% für feste Abfälle, 36% für Abwasser und 21% für Luftemissionen. Eine detaillierte Analyse der Prozesse ergab, dass ein großer Teil der festen Abfälle produktionsbedingt nicht eliminiert werden kann, wie z.B. Scherreste oder Kantenabschnitt nach den Spannrahmen. Deshalb sollte versucht werden, den CSB-Gehalt im Abwasser zu reduzieren, um dieses im Kreislauf fahren zu können bzw. der Energieverbrauch reduziert werden.

Die Energieanalyse erbrachte ein Einsparpotential von 1.455 MWh im Jahr durch den Einbau eines Wärmetauschers im Abwasserstrom und Nutzung dessen Wärmeinhalts. Die jährlichen Einsparungen betragen etwa EUR 80.000.- und die Amortisationszeit der notwendigen Investitionen weniger als 1 Jahr. Weiters wurden die drei Spannrahmen im Unternehmen untersucht und dabei bei einer Reduzierung des eingetragenen Feuchte durch bessere mechanische Trocknung an den Spannrahmen, einer Optimierung der Luftführung in den Spannrahmen und dem Einbau eines Wärmetauschers in einer Spannrahmenabgasleitung und Wärmenutzung im nahe gelegenen Heizungskreislauf jährliche Einsparungen von etwa EUR 65.000.-, bei einer Amortisationszeit von <3 Jahren, ermittelt. Weitere kleine Maßnahmen führen zu einem Einsparpotential von insgesamt EUR 155.000.- pro Jahr.

In weitere Folge wurden die Möglichkeiten der Abwasserreinigung mittels Membranverfahren analysiert, wobei zwei Mikrofiltrationsmodule, eine Ultrafiltration und eine Nanofiltration getestet wurden. Die Ultrafiltration (UF) und die Nanofiltration erreichten eine Reduktion des CSB von 55-86%, die Permeatflüsse lagen jeweils unter 12 (l/h)/m<sup>2</sup>bar. Das Permeat wies Reste (10-15%) von Tensiden auf, weshalb es zu Einsparungen des Tensideinsatzes kommt. Allerdings kann das Wasser bei einer Rückführung lediglich im Wasch- und nicht im Spülenteil verwendet werden. Als weiteres Problem konnte die Aufsalzung der Prozesswässer identifiziert werden.

Als Ergebnis zeigte sich, dass 81,5% des Abwassers und etwa 10% der Tenside in den Prozess zurückgeführt werden können, womit sich jährliche Einsparungen von EUR 91.000.- ergeben. Die Amortisationszeit für eine zweistufige UF/NF Anlage beträgt etwa 5,5 Jahre.

### 3.5.3 Sebring Auspuffanlagen GmbH

Zu Projektbeginn lagen keine Daten der galvanischen Prozesse vor, auf Grund derer diese optimiert hätten werden können. So war es das erste Ziel die notwendigen Daten zu ermitteln und im Anschluss eine Optimierung durchzuführen, deren Ziel einerseits die abwasserfreie Produktion und andererseits der Zero Emissions Betrieb war.

Der Schwerpunkt der Arbeit beschränkte sich auf die hauseigene Galvanik, welche als Kernelement über einen Elektropolierprozess verfügt.

Da alle Spülbäder einfache Standspülen sind, ist die Dynamik der Verschmutzung entscheidend für die Standzeit dieser Becken. Deshalb wurde in einem ersten Schritt versucht die Verschleppung der Prozesslösungen durch die Werkstücke an Hand des Anstiegs der Leitfähigkeit und des Absinkens des pH-Werts zu ermitteln. Die Geometrie der Werkstücke wurde erfasst und mittels der gemessenen Daten auf die spezifische Verschleppung der Bäder rückgerechnet.

Neben der Messung der Leitfähigkeit, des pH-Werts und der Temperatur in allen Spülbädern über zwei Wochen wurden in regelmäßigen Zeitabständen Proben gezogen und auf deren chemische Inhaltsstoffe hin untersucht. Nach der Messserie vor Ort wurde die Messanordnung im Labor nachgestellt und unter Laborbedingungen versucht dieselben Ergebnisse zu erzielen. Dadurch ergab sich eine sehr genaue Abbildung der realen Produktionsbedingungen im Unternehmen.

Als Ergebnis ergab sich eine spezifische Verschleppung der Elektrolyten von etwa 0,24 Liter/m<sup>2</sup>. Eine Standzeitverlängerung ist in der derzeitigen Verfahrensführung nur durch eine Reduktion der Ausschleppung möglich. Dies ist auf Grund vorgegebener Betriebsparameter, z.B. Konzentration der Säuren, nur durch eine Optimierung der Aufhängung möglich.

Während der Messserie wurden lediglich zylindrische Werkstücke – ohne schöpfende Komponenten – in der Galvanik behandelt, bei denen eine derartige optimierte Aufhängung jedoch nicht möglich ist.

Die Implementierung einer Fließspüle an Stelle der Standspülen führt hingegen zu einer Reduktion der benötigten Spülwassermenge von bis zu 50%. Die Implementierung einer 2-stufigen Fließspülkaskade würde den Spülwasserverbrauch auf 10% des Ausgangswerts reduzieren.

Um nach einer Reduktion der Spülwassermenge auf einen Zero Emissions Betrieb umzustellen, bedarf es einer Eliminierung der Mischschlammproduktion. Es wurden alternative Trenntechnologien zur Neutralisation mit anschließender Kammerfilterpresse untersucht, wobei auf Grund fehlender Pilotversuche vor Ort keine eindeutige Aussage getroffen werden kann, welche Verfahrensalternative zu Zero Emissions führen würde.

### 3.6 Ergebnisse und Folgerungen

Am Anfang des Projektes standen einige Hypothesen und Erfahrungen, die im Zuge der Arbeiten gestärkt, erweitert oder auch widerlegt wurden.

***„Zero Emissions“ ist ein neuer ganzheitlicher Ansatz zu einer ressourceneffizienten Wirtschaftsentwicklung***

Die Erfahrungen der eigenen Projekte und die Aufarbeitung der Fachliteratur zeigte, dass mittels des Zero Emissions – Ansatzes eine Weiterentwicklung des produktionsintegrierten Umweltschutzes möglich ist, der über die Ökoeffizienzmaßnahmen hinaus reicht. Bezüglich der angewandten Methoden (Cleaner Production, Green Chemistry,...) kann auf die Erfahrungen und Vorarbeiten aus den Projekten des produktionsintegrierten Umweltschutzes aufgebaut werden.

***Ein medienbezogener Zugang ist möglich und sinnvoll***

Zero Emissions muss nicht als Gesamtprojekt gestartet werden. Medienbezogene Zugänge wie

- kein Abwasser
- kein fester Abfall
- keine Emission von Treibhausgasen

können weitgehend unabhängig voneinander erarbeitet und umgesetzt werden.

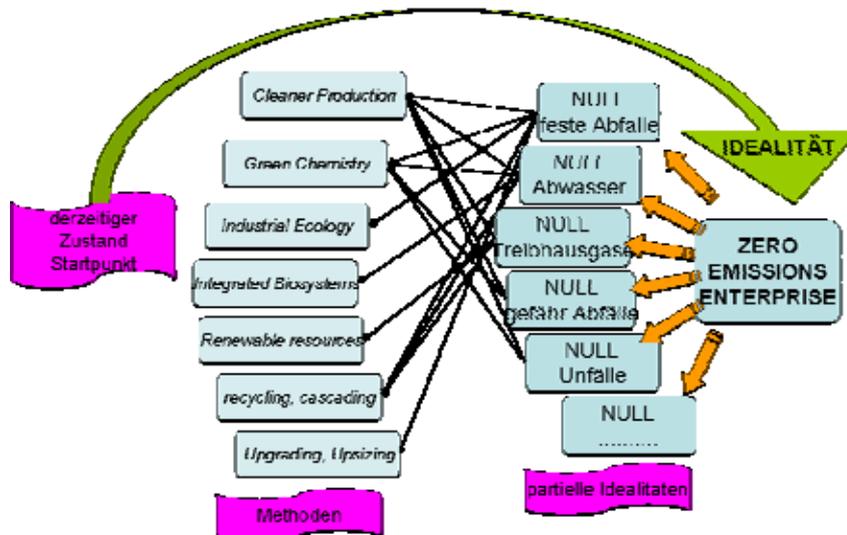


Abbildung 3.5: Rückschluss von der Idealität ZEE (Zero Emissions Enterprise) auf partielle Idealitäten und die einsetzbaren Methoden<sup>15</sup>

### ***Diskontinuitäten in der Wirtschaftlichkeitsrechnung eröffnen betriebswirtschaftlich neue Perspektiven***

Der produktionsintegrierte Umweltschutz erbringt durch seine Effizienzansätze den Unternehmungen Ersparnisse bei den Betriebskosten für Rohstoffe und Entsorgung. Diese Einsparungen gehen proportional mit den eingesetzten Mengen und unterliegen daher dem Gesetz des abnehmenden Grenznutzens.

Durch Zero Emissions – Ansätze lassen sich zusätzlich Fixkosten einsparen. Dies eröffnet neue betriebswirtschaftliche Vorteile, wenn es möglich ist, Anlagen oder Anlagenteile vollständig still zu legen oder zu vermeiden. Dies gilt besonders für Abwasseranlagen und Kanalanschlüsse aber auch im Bereich der Entsorgung fester Abfälle.

### ***„Zero Emissions“ muss die betriebliche Ebene verlassen***

Zero Emissions setzt voraus, dass alle Materialflüsse, die ein Unternehmen verlassen so gestaltet sind, dass sie einen wirtschaftlichen Wert als Rohstoff für andere Produktionsprozesse haben. Diese Problematik kann nicht nur auf der Ebene des eigenen Betriebes behandelt werden, sondern erfordert eine Zusammenarbeit mit anderen Firmen. Nur bei einer gegenseitigen Abstimmung der erforderlichen Qualitäten kann eine vollständige und wirtschaftliche Verwertung aller NPOs erreicht werden.

<sup>15</sup> adaptiert nach: Mann, D. (2002)

## 4 Vom „Technischen Umweltschutz“ zu „Zero Emissions“

### 4.1 Cleaner Production als Vorläufer zu Zero Emissions

Intensive anthropogene Tätigkeiten führten bereits früh in der Menschheitsgeschichte zu Belastungen der Umwelt und der Ökosysteme. Erst relativ spät – in den meisten europäischen Ländern Mitte der 80er Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts – reagiert man mit umweltschützenden Technologien. Ohne an den eigentlichen Ursachen etwas zu ändern wurden den „Verursachern“ (Industrieanlagen, Verbrennungskraftmotoren in Autos, Kanalisation der Ballungsräume,...) Umwelttechniken nachgeschaltet. Diese sind in der klassischen Bedeutung des Wortes „End-of-Pipe – Technologien“, da sie i.A. am Ende der bestehenden Rohre (Auspuff, Kanalrohre, Kamine,...) angekoppelt wurden.

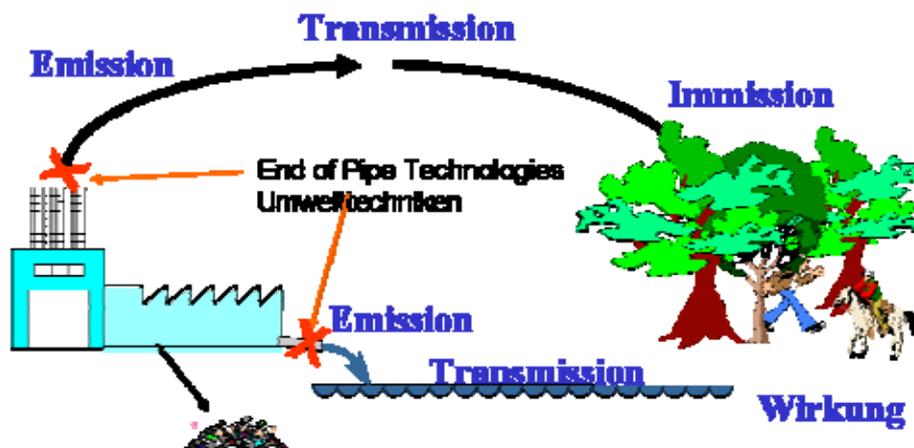


Abbildung 4.1: Erste Maßnahmen zum Umweltschutz durch End-of-Pipe – Technologien.

Diese Umwelttechniken führten zu einer signifikanten Reduktion der Umweltbelastung. Die Qualität der Fließgewässer und der Seen in Österreich besserte sich deutlich, die Luftqualität stieg und die Grundwasserbelastung durch Deponien ging wegen der fortschrittlichen Abfallbehandlung zurück.

Fast übersehen wurden bei diesen Erfolgen die Nachteile dieses Ansatzes:

- Umwelttechniken benötigen zusätzliches Material und Betriebsmittel für die Anlagen, führen also zu einem erhöhten Rohstoffverbrauch und widersprechen der Forderung nach einer Dematerialisierung der Wirtschaft
- Umwelttechniken erfordern zusätzliche Investitionen und ergeben erhöhte Betriebskosten. Somit ist kein wirtschaftlicher Anreiz zu deren Installationen gegeben, da erhöhter Umweltschutz die Produktionskosten steigert
- Der Ansatz ist ein regulativer (top→down); die Wirtschaft versucht ihn durch Verlagerung der Produktionsstandorte in Länder mit weniger strengen Grenzwerten und laxeren Vorschriften zu verlagern
- Das Ausmaß der Emissionsreduktionen<sup>16</sup> übersteigt wegen der hiermit verbundenen Kosten nicht das gesetzlich vorgeschriebene Maß.

Ausgehend von den USA entwickelte sich in den frühen 90er Jahren die Idee des produktionsintegrierten Umweltschutzes (CP = *Cleaner Production*, P2 = PP = *Pollution Prevention*, *Eco-Efficiency*, IPPC = *Integrated Pollution Prevention and Control*,...). Dieser weist gegen-

<sup>16</sup> Unter Emissionen werden in diesem Bericht gasförmige (Abgase) und flüssige (Abwässer, zu entsorgende Flüssigkeiten) wie auch feste (Abfälle) Stoffströme verstanden, die Produktionsbetriebe verlassen und kein Produkt sind.

über den nachgeschalteten Umwelttechniken einige grundsätzliche Änderungen auf (Tabelle 4.1).

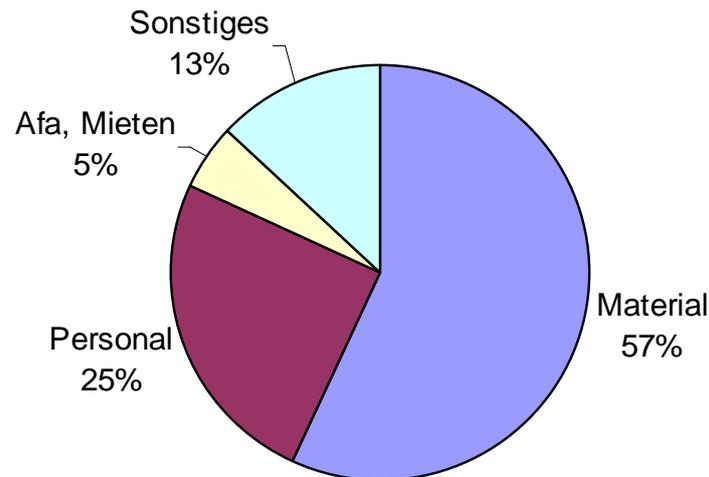
**Tabelle 4.1: Gegenüberstellung von Umwelttechniken und produktionsintegriertem Umweltschutz (eigene Zusammenstellung)**

Emissionen werden durch nachgeschaltete Rückhalte- und Behandlungstechniken vermindert	Emissionen werden an der Quelle durch produktionsintegrierte Maßnahmen vermieden
Emissionsminderung ist eine zusätzliche Problemstellung, wenn die Produktionsverfahren fertig entwickelt und Probleme entstanden sind	Emissionsminderung ist ein integrierter Teil der Verfahrens- und Produktentwicklung
Emissionsminderungen senken die Wirtschaftlichkeit der Produktionsverfahren und verteuern die Produkte	Abfälle und Emissionen sind verschwendete Rohstoffe und stellen somit einen wirtschaftlichen Verlust dar
Umweltprobleme werden von Umweltexperten behandelt	Umweltprobleme sind Probleme der Produktion und werden von den Betriebsingenieuren behandelt
Eine Verminderung der Umweltbelastung erfolgt durch geeignete Technologien	Die Verminderung der Umweltbelastung erfolgt durch technische und nicht-technische Maßnahmen
Die Verminderung der Umweltbelastung erfolgt in dem Maße, in dem die Behörde dies vorschreibt	Die Reduktion der Emissionen kann über das gesetzlich vorgegebene Maß hinaus erfolgen, da oftmals eine Wirtschaftlichkeit der Maßnahme gegeben ist
Das Hauptaugenmerk liegt auf der Einhaltung der Emissionsgrenzwerte	Die Maßnahmen berühren auch die Aspekte Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeiter

Der Erfolg des produktionsintegrierten Umweltschutzes liegt hauptsächlich darin, dass es nun einen wirtschaftlichen Anreiz für die Unternehmen gibt, ihre Emissionen zu vermindern. Die starke Konkurrenz, die mit der Globalisierung der Wirtschaft entstanden ist, führt zu einem verstärkten Wettbewerb. Dieser Wettbewerb wird von einem Preiskampf begleitet, welcher die Unternehmen dazu zwingt Einsparungspotentiale zu suchen und zu nutzen. Die hohen Personalkosten in vielen Regionen der EU werden oft als Erklärung für eine geringe Wettbewerbsfähigkeit gesehen und dienen als Begründung von Unternehmensabwanderungen in Staaten mit niedrigeren Lohnkosten.

Vor allem KMUs verfügen aber oftmals nicht über die Möglichkeit das Unternehmen von einem Ort an einen anderen zu transferieren bzw. wollen ihre Standorte aus verschiedenen Gründen nicht aufgeben. Vielfach führt die Suche nach Kostensenkungspotentialen zur Freistellung von Mitarbeitern, die mit den hohen Personalkosten begründet wird. Damit öffnet sich ein Teufelskreis, da Kündigungen zu einer Schwächung der Kaufkraft und Verarmung von Regionen in der EU führen können, welche wiederum die Firmen schwächt und zu weiteren Kündigungen führt.

In vielen Betrieben sind die Materialkosten viel höher als die Personalkosten. Abbildung 4.2 zeigt die Verhältnisse in der deutschen produzierenden Industrie. Die Materialeffizienz stellt somit ein größeres Optimierungspotential dar, als weitere Personalreduktionen.



**Abbildung 4.2: Verteilung der Kosten in der deutschen Automobilzulieferindustrie [N. N., 2003]**

Aus einer Analyse der Ergebnisse bisheriger *Cleaner Production* Projekte lassen sich folgende Folgerungen ziehen (Tabelle 4.2):

**Tabelle 4.2: Gegenüberstellung von Stärken und Schwächen des produktionsintegrierten Umweltschutzes (eigene Zusammenstellung)**

Stärken	Schwächen
Öko-effiziente Techniken können die Ressourceneffizienz (pro Produkt eingesetzte Menge) bis zum Faktor 4 erhöhen (Reduktion auf 25% des bisherigen Einsatzes)	Die gesamte eingesetzte Menge stieg wegen des Wachstums der Wirtschaft bzw. Des Marktanteiles oftmals trotzdem
Die Maßnahmen sind ein erster Schritt in Richtung Nachhaltigkeit, da es Auswirkungen auf die Input-Seite des Produktionsprozesse gibt	Höhere Reduktionsfaktoren als 4 wurden extrem selten erreicht
Es gibt Maßnahmen, die ökonomische und ökologische Vorteile vereinen (Win-Win – Situationen), da Emissionen also „Ineffizienzen“ der Produktion angesehen werden	Die Maßnahmen orientierten sich hauptsächlich an den „Besten Verfügbaren Techniken“ (BAT, BREF), was dazu führt, dass nur sehr selten eigene Forschungen und Entwicklungen durchgeführt wurden
Es gibt Reduktionsmaßnahmen, mit denen behördliche Grenzwerte deutlich unterschritten wurden.	Bei weit reichenden Maßnahmen kommt es wegen des gesetztes des abnehmenden Grenznutzens zu immer geringeren wirtschaftlichen Anreizen

Kontinuierliche Entwicklungen – das Verbessern bestehender Prozesse – führen nicht zu Verhältnissen, die eine Versorgung einer Weltbevölkerung von 6 bis 8 Milliarden Menschen auf dem Niveau des derzeitigen Wohlstandes der westlichen Welt ermöglichen. Hierzu sind radikalere Umstellungen der Produktionsverfahren und des Nutzungsverhalten erforderlich. Hierzu müssen intelligentere Lösungsansätze gesucht werden mit dem Ziel einer Reduktion der Ineffizienzen in der Produktion auf Null – „Null Ineffizienz“ bedeutet „Null Emissionen“ bedeutet „Zero Emissions“.

Der Ansatz soll auf den nächsten Seiten erklärt und im Anschluss Methoden und Hilfsmittel vorgestellt werden, um Unternehmen von Zero Emissions zu überzeugen und ihnen gleichzeitig einen Weg zur Umsetzung aufzeigen.

## 4.2 Die Zero Emissions Idee

Unter Nachhaltiger Entwicklung oder Nachhaltigkeit versteht man einen ganzheitlichen Entwicklungsansatz, der dafür Sorge tragen soll, dass sowohl die derzeitige Generation als auch alle zukünftigen einen gewissen Wohlstand erfahren sollen und die dafür notwendigen Güter zur Verfügung stehen. Sie steht dabei in Konflikt mit derzeit oft praktizierten Techniken, die auf die Ausbeutung von Ressourcen zur Gewinnmaximierung ausgelegt sind. Durch diese Ausbeutung natürlicher Ressourcen stehen diese den zukünftigen Generationen nicht mehr zur Verfügung und deren Wohlstand ist gefährdet.

Nach allgemeinem Konsens basiert die Nachhaltigkeit auf drei gleichberechtigten Säulen. Diese drei sind die ökonomische, ökologische und soziale Säule, weshalb es das erklärte Ziel der Nachhaltigkeit ist, negative Umweltauswirkungen zu reduzieren, soziale Spannungen abzuschwächen und gleichzeitig wirtschaftlich starke, langfristig überlebensfähige Unternehmen zu schaffen.

Zero Emissions trennt bei seiner Betrachtung von Unternehmen nicht zwischen ökonomischen und ökologischen oder sozialen Zielen. In vielen Fällen reagieren Unternehmen auf Grund eines äußeren ökologischen Drucks, z.B. dem Herabsetzen von Emissionsgrenzwerten. Mit Hilfe einer ganzheitlichen technischen, betriebswirtschaftlichen (in Bezug auf Investitionen und technische Maßnahmen) und organisatorischen Optimierung des Unternehmens ist es möglich nicht nur dem neuen Druck Folge zuleisten, z.B. die Grenzwerte einzuhalten, sondern dabei zusätzlich wirtschaftlichen Profit zu generieren. Durch diese Zielsetzung von Zero Emissions entspricht sie in ihren Grundprinzipien denen der Nachhaltigkeit.

Eine wichtige Maßnahme für die Bereitstellung von Ressourcen für zukünftige Generationen ist deren Schonung zum heutigen Zeitpunkt. Dabei gibt es drei Möglichkeiten zur Ressourcenschonung:

- Umstellung auf regenerative, z.B. nachwachsende Rohstoffe und Energieträger
- Schließung von Stoff- und Energiekreisläufen
- Effiziente und kaskadierte Nutzung von Stoff- und Energieströmen

Der zweite und dritte Punkt sind eindeutig technischer Prägung, solange die Umsetzung innerhalb eines Produktionsprozesses erfolgt. Die Schließung von Stoff- und Energiekreisläufen findet in Unternehmen immer stärkere Verbreitung. Durch die wiederholte Nutzung diverser Stoffströme reduzieren sich sowohl technische als auch betriebswirtschaftliche Probleme in Unternehmen. Eine wiederholte Nutzung führt zu einer Reduktion des notwendigen Inputs neuer Stoffe, wodurch gleichzeitig der gesamte Stoffstrom, der das System verlässt deutlich reduziert wird. Ein Beispiel ist die kontinuierliche Regeneration von Prozesslösungen. Statt die Prozesslösungen nach einmaliger Verwendung zu verwerfen und neue zu verwenden, können diese mittels geeigneter Trenntechnologien von Störstoffen gereinigt und wiedereingesetzt werden. Dies kann bis zu einer 95%igen Reduktion des notwendigen Inputs führen. Zusätzlich wird diese Reduktion zu einer Verringerung des Stoff- und Energiebedarfs in nachgeschalteten Behandlungsstufen, z.B. der Abwasserreinigung führen. Dadurch werden Kosten sowohl im Einkauf und im Betrieb als auch in der Entsorgung reduziert.

Durch die Schließung von Stoffkreisläufen kommt es meist zur Aufkonzentrierung von Störstoffen im Kreislauf. Deshalb ist immer eine Reinigung des Stoffstroms notwendig, wobei der technische Aufwand sehr stark variieren kann. Die Effektivität dieser Regeneration ist entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung derartiger Maßnahmen in einem Unternehmen.

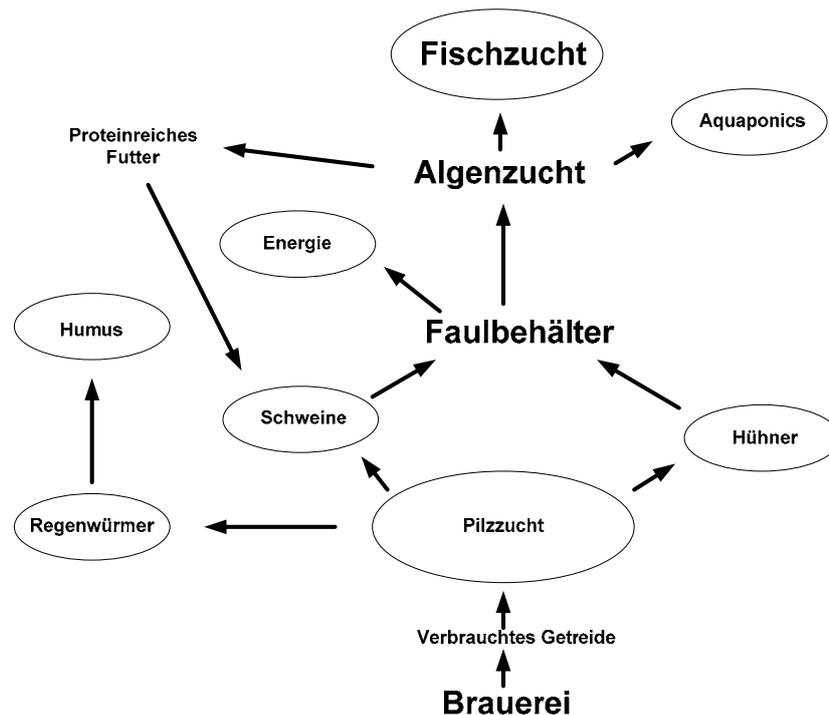
Die kaskadierte Nutzung von Stoff- und Energieströmen ist dort technisch einsetzbar, wo unterschiedliche Qualitätsstufen für denselben Rohstoff verwendet werden können. Dabei werden bereits eingesetzte und dadurch leicht verschmutzte Stoffe erneut mit minderer Qualität eingesetzt und erst nach mehrmaliger Nutzung verworfen. Eine Kombination mit der Schließung von Stoff- und Energiekreisläufen mit einer kaskadischen Nutzung ist möglich.

Ein Beispiel für die kaskadierte Nutzung von Betriebsstoffen ist die mehrfache Nutzung von Wasser. So erfolgt z.B. in Lebensmittelbetrieben die Reinigung von Behältern und Rohrleitungen in mehreren Schritten. Dabei wird die höchste Wasserqualität für die abschließende Reinigung benötigt. Das leicht verschmutzte Wasser aus der Endreinigung kann ohne Regeneration nicht erneut für eine Endreinigung verwendet werden, jedoch für eine Zwischenreinigung, oder für den Ansatz von Säuren, Laugen und Tensidlösungen. Weiters muss Kühlwasser für den Prozess nicht zwingend Trinkwasserqualität aufweisen. Hier kann ebenfalls bereits zuvor eingesetztes Wasser verwendet werden.

### **4.3 Die Geschichte von Zero Emissions**

Der Zero-Emissions-Ansatz wurde erstmals offiziell 1994 in Tokio im Headquarter der United Nations University definiert [Kühr, 2006]. Die ersten Umsetzungen basierten auf Aktivitäten zur Suche nach Nahrungsquellen und der Schaffung neuer Arbeitsplätze in Entwicklungsländern.[Pauli, 1998]. Als Startpunkt diente die so genannte „integrierte Landwirtschaft“, im Zuge welcher versucht wird, landwirtschaftliche Abfallstoffe als Rohstoff für neue Produkte oder Dünger zu verwenden. Erste Versuche mit der Zero Emissions Idee fanden auf den Fiji Inseln statt, auf welchen es eine große Zuckerindustrie mit erheblichen Abfallmengen, sowie eine gut organisierte Fischindustrie auf Basis von Fischfarmen, gibt, da sich herausstellte, dass Fischfarmen einen entscheidenden Faktor auf der Erreichung von Zero Emissions darstellten.

Nach den ersten Versuchen im Kleinstmaßstab kam es im März 1996 in Tsumeb, Namibia, zur ersten kommerziellen Umsetzung der Idee im Rahmen der Errichtung einer Zero Emissions Brauerei. Der Standort der Brauerei wurde verlegt, um den großen Platzbedarf decken zu können. Die Brauerei produziert Bier aus Hirse und war weltweit die erste ihrer Art, die Bier ohne jeglichen Abfall produzierte. In nachfolgender Abbildung ist schematisch das Fließbild dargestellt. Die grundsätzliche Idee entspricht jener bei den Startversuchen auf den Fiji Inseln. Der einzige Unterschied liegt darin, dass in den ersten Versuchen Fasern aus der Zuckerproduktion, und in der Großanlage Treber aus einer Brauerei verwendet wurde.



**Abbildung 4.3: Das Zero Emissions Konzept: Zero Emissions Brauerei [Pauli, 1998]**

Das Prinzip besteht darin, den zur Verfügung stehenden Rohstoff möglichst vollständig zu nutzen bzw. Abfallstoffe in einer Form aufzubereiten, dass diese als Rohstoff dienen können. Dabei ist es nicht das Ziel einen Prozessschritt möglichst optimiert zu gestalten, sondern einen möglichst effizienten Gesamtprozess zu schaffen.

In heutigen Brauereien wird der Treber als Futter zur Tiermast herangezogen. Somit stellt er keinen Abfallstoff dar, die Effizienz kann jedoch gesteigert werden. In der Zero Emissions Brauerei wird der Treber nicht direkt als Futter genutzt, sondern dient zunächst als Substrat zur Pilzzucht. Pilze sind Lebewesen, die in der Lage sind, Zellulose mit Hilfe eigener Enzyme aufzuspalten. Mit diesem Zwischenschritt steht der Treber in einer leichter verdaulichen Form zur Verfügung.

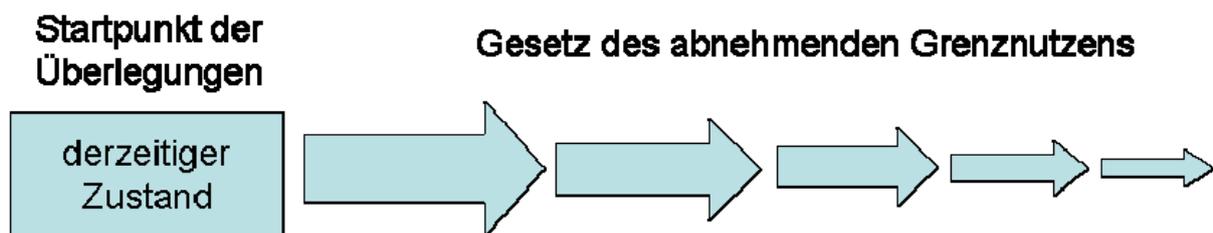
Im Pilzsubstrat werden Regenwürmer gezüchtet, die ihrerseits Humus produzieren, ein wichtiges Produkt in Ländern mit hohem Wüstenanteil. Der bearbeitete Treber dient dann wiederum als Futter für Schweine und Hühner, wobei deren Exkremente in einem Faulturm in Biogas umgewandelt werden. Der Schlamm aus der Biogasanlage enthält hohe Konzentrationen an Stickstoff und Phosphor und dient als Nährstoffbasis zur Algenzucht. Diese Algen können entweder direkt genutzt werden, dienen als proteinreiches Futter für Schweine oder Dünger. Plankton aus der Algenzucht dient als Futter in Fischfarmen.

Die ersten Versuche verliefen in Kleinstmaßstab in Kunststoffbehältern. Die Großanlage verfügt über zwei Fischteiche mit 3000 und 4000 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen. Das Abwasser aus der Brauerei wird direkt in die Fischteiche geleitet und weitere organische Abfälle dienen als Futter in der Fischfarm. Die Produktion beträgt etwa 10 Tonnen Fisch pro Hektar Wasserfläche. Durch die Biogasproduktion konnte die benötigte Eigenleistung voll aufgebracht und weiters 80% des Bedarfs einer angrenzenden Kleinstadt abgedeckt werden. Durch die gezielte Nutzung aller Rohstoffe entsteht eine Vielzahl von Produkten, entgegen der reinen Nutzung der Maische als Futter zur Schweinemast.

## 4.4 Zero Emissions als Idealität

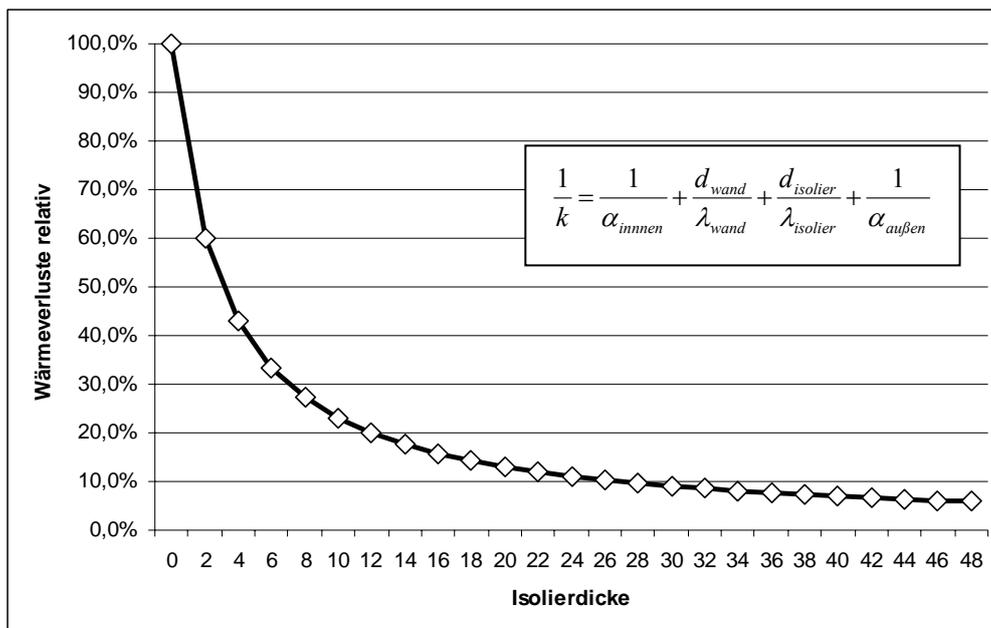
Während eine nachhaltige Wirtschaftsentwicklung eine Vision darstellt, beschreiben Zero Emissions Techniken und Systeme (ZETS) die Idealität. Ein abfall- und emissionsfreier Produktionsprozess ist ideal, da er:

- alle Rohstoffe in verkaufbare Produkte überführt
- keine Rohstoffe oder Betriebsmittel für nicht-produktive Prozessschritte benötigt
- keine Anlageninvestitionen in nicht-produktive (Umwelt-) Anlagen erfordert
- keine Arbeitskraft in nicht-produktive Bereiche verlagert
- keine Wartung und Service benötigt
- keine Umwelt- oder Gesundheitsbelastung darstellt und
- keine sozialen Ungleichheiten hervorruft



**Abbildung 4.4: Gesetz des abnehmenden Grenznutzens bei kontinuierlichen Verbesserungen**

Durch kontinuierliche Verbesserungen kommt man bei Effizienzmaßnahmen bald in den Bereich des abnehmenden Grenznutzens. Das heißt, dass bei einer weiteren gleich bleibenden (prozentuellen) Verbesserung der absolute Vorteil immer geringer wird. Dies lässt sich anhand zahlreicher Fallbeispiele nachweisen. Physikalisch offensichtlich dargestellt werden kann dies am Nutzen einer Dämmung von 2 cm, die auf einer nicht isolierten Wand einen hohen Effekt bringt, aber bei einer weiteren Zunahme der Isolierung einen abnehmenden Grenznutzen aufweist (Abbildung 4.5).



**Abbildung 4.5: Abnehmender Grenznutzen von 2 cm Dämmstoff**

In Abbildung 4.6 ist an der durchgezogenen Linie die Entwicklung des spezifischen Wasserverbrauchs der Obermurtaler Brauerei Murau ersichtlich. Auch hier wird deutlich, dass bei weiteren spezifischen Einsparungen der absolute Nutzen immer kleiner wird.

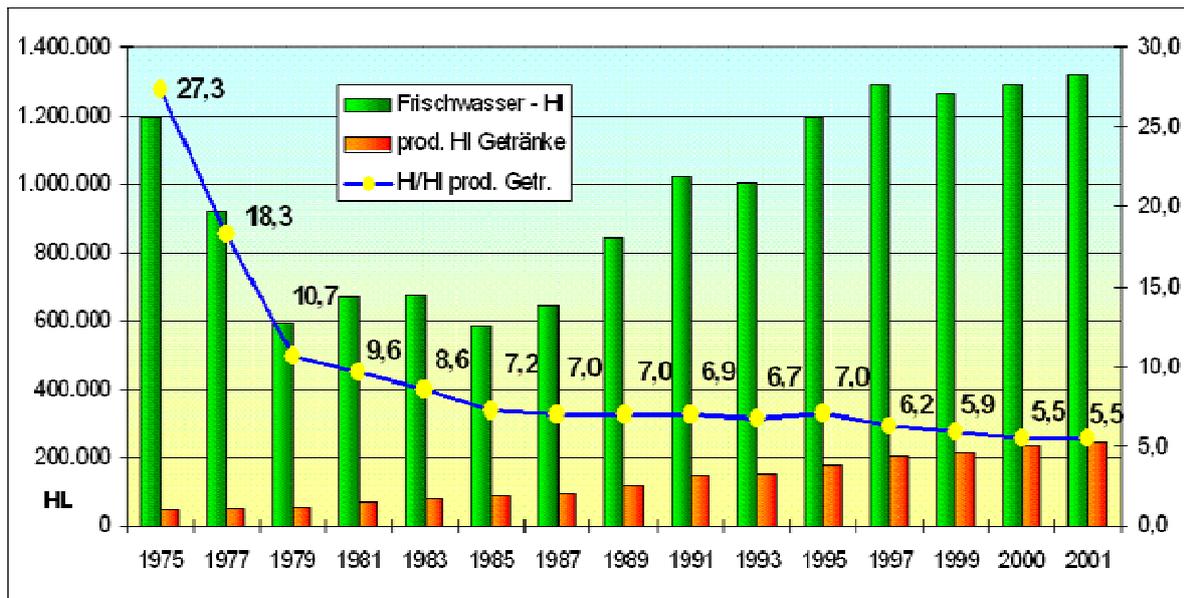


Abbildung 4.6: Spezifischer Wasserverbrauch der Brauerei Murau [Obermurtaler Brauereigenossenschaft, 2002]

Um diese Problematik zu umgehen, bietet es sich nun an, den Innovationsprozess vom anderen Ende her zu starten und zuerst das „ideale Endprodukt“ zu definieren [Mann, 2002].

$$IDEALITÄT = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Kosten} + \text{Schäden}}$$

Naturgemäß ist eine unendliche Idealität praktisch nicht erreichbar (ergäbe sich wenn Kosten+Schäden = 0). Sie stellt aber im Sinne der Innovationstheorien einen Zustand dar, an dem jeder reale Produktionsprozess gemessen werden kann. ZETS stellen für eine systematische Innovation das „ideal final result“ dar, von dem aus über Kompromisse Zwischenlösungen gefunden werden können.

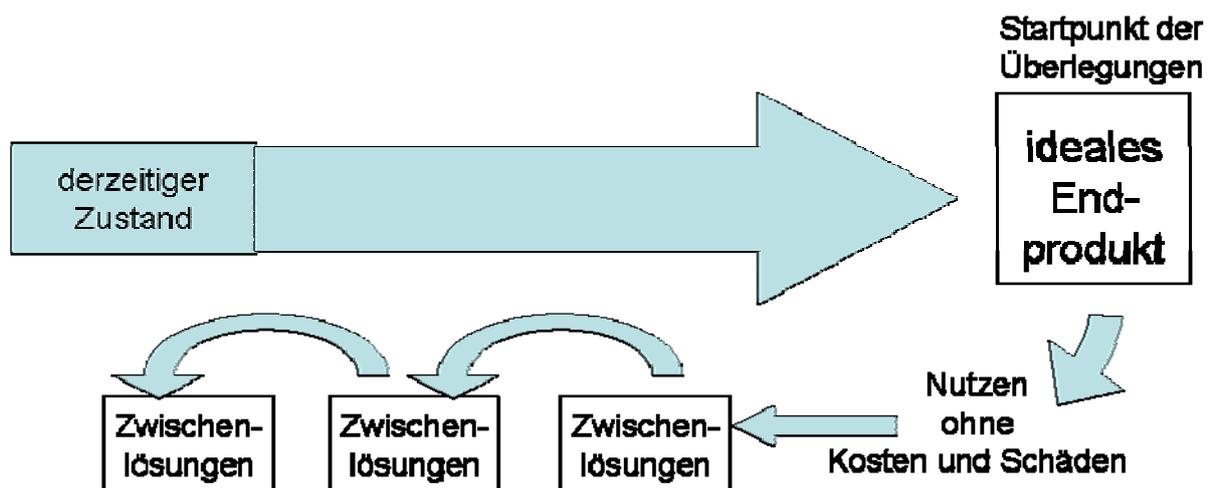


Abbildung 4.7: Problemlösung durch Definition des idealen Endproduktes

Die Vorgangsweise der rückwärtsgerichteten Analyse umfasst daher folgenden Schritte:

- Definition des idealen Produktionsprozesses (ZETS) = Produktionsprozess ohne Kosten und Schäden
- Aufzeigen der Tatsachen (Hindernisse), die einen Idealprozess unmöglich machen
- Auflisten der Gründe, wieso diese Tatsachen den Idealprozess unmöglich machen

- Auflisten der Möglichkeiten, diese Hinderungsgründe zu entkräftigen oder zu eliminieren
- Auflisten der Ressourcen die im Innovationsprozess hilfreich sein könnten

## 4.5 Der Natur-wissenschaftliche Hintergrund zu Zero Emissions

Die Notwendigkeit des nachhaltigen Wirtschaftens lässt sich naturwissenschaftlich untermauern.

Masse und Energie können nicht erzeugt und nicht vernichtet werden<sup>17</sup> (Massen- und Energieerhaltungssatz). Das ist die einfachste Definition des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik.

Die Menge an Elementen jeder Art auf der Erde ist vorgegeben<sup>18</sup> und alles was getan werden kann, ist das Umgruppieren der Atome auf verschiedene Moleküle. Für Moleküle gibt es keine Erhaltungssätze, sie können “gebildet” oder “verbraucht” werden. Letzteres entspricht meist einer Umwandlung in eine weniger wertvolle Form (z.B. Brennstoffe in CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O und Asche).

Auch für die Energie gilt der Erhaltungssatz. Im Gegensatz zur Masse, ist das Raumschiff Erde aber für Energieströme offen. Die von der Sonne eingestrahlte Energiemenge wird wieder in den Weltraum abgestrahlt. Die Speichermenge und die Menge der aus den globalen Energiespeichern entnommenen Energien sind vergleichsweise gering.

Qualität und Ordnung in der Welt der Materie werden durch Struktur und Reinheit beschrieben. Die meisten in der Natur vorkommenden Metalle und Mineralien haben eine geringe Konzentration und ihr Wert hängt von der Reinheit ab. Verarbeitungsprozesse sind darauf hin ausgelegt, durch Reinigungsschritte (Hochofen, Erdölraffinerie,...) die Konzentrationen zu heben und durch Formgebungsschritte (Produktionsprozesse) die Struktur zu verändern. Hiermit steigt auch der ökonomische Wert (Erz → Stahl → Blech → Karosserie; Eröl → Monomer → Polymer → Folie → Einkaufstüte; ...). All diese Umformungsprozesse sind mit einem Energieeinsatz verbunden. Der Zerstörungsprozess während oder nach der Nutzung (Rosten, Verrotten,...) ist wieder mit einer Verringerung der Reinheit und einem Verlust der Form gekoppelt. Grundsätzlich wird dabei wieder Energie freigesetzt, auch wenn sie selten nutzbar ist.

Hieraus folgt, dass ein langfristiges Fortbestehen der Menschheit ausschließlich mit den vorhandenen Materialressourcen und Solarenergie erfolgen kann.

---

<sup>17</sup> Masse und Energie können durch Kernreaktionen ineinander übergeführt werden. Dies ist aber nicht der gewöhnlichen industriellen Tätigkeit zuzurechnen.

<sup>18</sup> Die Größe des Stoffflusses von der Erde in den Weltraum und umgekehrt ist gegenüber dem Vorrat an Masse vernachlässigbar.

## 5 Zero Emissions Grundlagen

Bevor auf die Methode und die Fallstudien eingegangen wird, ist es notwendig, einige Grundlagen zu diskutieren.

### 5.1 Definition des Begriffes „Zero“

Um Zero Emissions klar und verständlich definieren zu können, müssen zunächst die beiden Begriffe „Zero – Null“ und „Emissions – Emissionen“ erklärt werden. Daraus leitet sich letztendlich die Definition von „Zero Emissions“ ab. In den einschlägigen Publikationen werden genauere Definitionen von „Null“ im Zusammenhang mit Emissionen weitestgehend vermieden, prinzipiell kann man sich allerdings auf fünf Wegen einer solchen Begriffsbestimmung annähern:

- Absolut Null
- Analytisch Null
- Null Beeinflussung der Umwelt (Zero Impact)
- Null Beeinflussung der Größe der natürlichen Stoffströme
- Keine Ströme in ausgewählte Umweltmedien

#### 5.1.1 „ZERO“ als quantitative Null (absolut Null)

Dies ist die härteste, zugleich aber die konkreteste Definition von Null. In diesem Fall hat „ZERO“ wirklich die mathematische Bedeutung Null. Der Vorteil dabei ist, dass Grenzwerte für chemische und physikalische Parameter nicht festgelegt werden müssen, da nichts außer dem Produkt und Koppelprodukte das Bilanzgebiet verlassen; d.h. alle potentiellen Emissionen werden in irgendeiner Weise wieder genutzt. Alle in Massenströmen enthaltenen Substanzen werden einer Verwertung zugeführt, nichts geht verloren. Diesem Ziel liegen in höherem Maße ökonomische als ökologische Motive zugrunde, wobei die Basis der ökonomischen Betrachtung die Produktivität der Rohstoffe ist [Pauli, 1997]. Gehen sämtliche Einsatzstoffe ins Produkt („Total Throughput“), fallen keinerlei stoffliche Emissionen an.

Praktisch erreicht man absolute „Null-Ströme“ auf drei Arten:

- Komplette geschlossene Produktionsanlagen bzw. Kreisläufe. Die technische Umsetzung ist teilweise mit Technologien, die dem Stand der Technik entsprechen, möglich, jedoch in den meisten Fällen teuer und in der Implementierung aufwendig. Ein Beispiel für „absolut Null Technologien“ sind gekapselte Waschanlagen auf Basis von FCKWs. Als ein Beispiel für diesen Ansatz kann die vollständige Vermeidung von Selen im Abwasser der Rejuvenation Inc. in Portland / Oregon gelten [Rejuvenation, 2006].
- Vollständiger Ersatz einer Substanz in einem Produktionsprozess. Dies ist immer dann von Vorteil, wenn durch diese Substitution weniger gefährliche, leichter abbaubare oder nachwachsende Substanzen zum Einsatz kommen. Beispiele sind die Umstellung von FCKW-Anlagen zur Metall- oder Textilreinigung auf wässrige Systeme. Auch der Ersatz von Blei im Benzing durch andere Antiklopfmittel ist eine Zero Emissions Maßnahme bezüglich des Bleis.
- In einigen, wenigen Fällen kann es durch technologische Änderungen zu einer vollständigen Elimination von Substanzen kommen. Ein Beispiel ist hier die Umstellung von der chemischen Filmentwicklung zum digitalen Photo. Der ganze chemische Entwicklungsprozess und alle damit verbundenen Emissionen fallen durch diese Umstellung weg. Die Digitalfotografie ist daher eine Zero-Emissions Maßnahme bezüglich der Fotochemikalien.

### 5.1.2 „ZERO“ als qualitative Null (analytische Nachweisbarkeit)

Um einen Inhaltsstoff in einem Strom zu finden, muss dieser eine Konzentration überschreiten, die analytisch nachgewiesen werden kann. Wird eine Substanz im Rahmen einer Analyse nicht nachgewiesen, so bedeutet dies nicht, dass sie nicht vorhanden ist, sondern dass die Konzentration unter der Nachweisgrenze liegt. Analytisch Null zielt auf diese Eigenschaft ab und definiert Null als „nicht nachweisbar“.

Das Problem mit dieser Definition besteht darin, dass die Nachweisgrenzen für Substanzen einem ständigen Wandel unterzogen sind, da laufend neue Detektionswege und Messverfahren entwickelt werden. Durch weitere Verbesserungen in der Analysetechnik, die in Zukunft zu erwarten sind, wird diese Grenze in Richtung Nullkonzentration verschoben, erreicht diese aber nie ganz. Um ein Zero Emissions Unternehmen umsetzen bzw. erhalten zu können, müsste die vorhandene Technologie ständig diesem Wandel der Messgenauigkeit angepasst werden, wodurch hohe Kosten und ein ständiger Anpassungsdruck entstehen. Diese Unsicherheit wird von Unternehmen nicht akzeptiert, weshalb diese Definition schwer umsetzbar erscheint.

### 5.1.3 Zero Impact

Unter Zero Impact versteht man die Elimination der negativen Auswirkungen von Stoff- und Energieströmen auf die Umwelt.

Praktisch alle Substanzen treten in der Umwelt in einer gewissen natürlichen - nicht schädlichen – Konzentration auf. Durch diese Definition werden diese natürlichen Schwankungsbreiten ausgenutzt und Unternehmen die Möglichkeit gegeben, Stoff- und Energieströme über ihre Unternehmensgrenze hinaus zu transportieren. Die Konzentrationen der Inhaltsstoffe sind dabei in ihrer Summe und ihrem punktuellen Auftreten stets unter der natürlichen Aufnahmekapazität des Ökosystems. Diese Definition wird von Unternehmen akzeptiert, da die Sinnhaftigkeit mit der schädlichen Wirkung gewisser Inhaltstoffe auf das Ökosystem leicht erklärt werden kann.

Diese Definition orientiert sich an der aus der Toxikologie bekannten Dosis- Wirkungsbeziehung. Erst ab einer gewissen Dosis wirkt eine Substanz und ab diesem Punkt steht die Stärke des Effektes in einem funktionalen Zusammenhang mit der zugeführten Dosis. Auf dieser theoretischen Grundlage beruhen die Immissionsgrenzwerte für Stoffe in der Luft, MIK (*maximale Immissionskonzentration*) und MAK (*maximale Arbeitsplatzkonzentration*) bzw. für die Konzentration eines Stoffes im Körper, die *Biologische Arbeitsstofftoleranz* BAT. Es gibt aber auch Substanzen, für die eine solche Dosis- Wirkungs- Beziehung nicht gilt, die bereits in kleinsten Mengen schädlich wirken können. In diese Klasse fallen zum Beispiel alle karzinogenen Stoffe. Für diese kann kein gesundheitlich unbedenklicher Grenzwert angegeben werden, man behilft sich mit der *Technischen Richtkonzentration* TR, die vom Stand der Technik der Reduktionsmaßnahmen ausgeht. In Anlehnung an diese humanbiologisch motivierten könnte man so ökotoxikologisch begründete Grenzwerte festsetzen, wobei in Anlehnung an den TR im Sinne der Nachhaltigkeit nur wirkliche Nullemission (analytische Nachweisbarkeit) in Frage kommt. Aufgrund der Stoffvielfalt, pro Jahr werden mehrere Duzend neue Substanzen synthetisiert, und unser Unwissenheit über die Toxizität, die Ökotoxizität, die Wechselwirkungen untereinander und mit der Umwelt, sowie über Anreicherungseffekte, stehen jedoch der wirkungsbezogenen Definition von „ZERO - Emissions“ große praktische Probleme entgegen.

### 5.1.4 Keine Beeinflussung der Größe natürlicher Stoffströme

Für viele technisch genutzte Substanzen, die im Allgemeinen als Emissionen bezeichnet werden, gibt es natürliche Quellen. Bekannte Beispiele dafür sind Kohlendioxid CO<sub>2</sub>, das durch

Verbrennung organischer Materie und der Atmung von Tieren und Menschen entsteht und Methan CH<sub>4</sub>, das Endprodukt anaerober Zersetzungsvorgänge. Auf die Größe dieser Stoffströme hat sich die Natur im Laufe von Jahrhunderten eingestellt, es gibt die entsprechende Quellen und Senken. Nachhaltigkeit erfordert, dass die Qualität und Quantität dieser Stoffströme sich im Laufe der Zeit nicht wesentlich ändern. Liegen nun die Emissionen eines Betriebes in der Größenordnung und der Zusammensetzung nahe bei diesen natürlichen Stoffflüssen, kann davon ausgegangen werden, dass auch der zusätzliche anthropogene Anteil von den vorhandenen natürlichen Systemen verarbeitet werden kann. Für nicht in der Natur vorkommende Stoffe muss allerdings weiterhin „Zero Emissions“ gefordert werden (absolut Null oder analytische Nachweisgrenze). Auch bei dieser Definition bestehen wegen der Vielzahl der zu betrachtenden Substanzen, den regionalen Unterschieden und dem Summeneffekt mehrerer Betriebe am selben Standort, große Schwierigkeiten bei der praktischen Anwendung. Im Gegensatz zu den wirkungsbezogenen Grenzwerten, muss man hier jedoch „nur“ die absolute Menge (Fracht) und die Konzentration der natürlich vorkommenden Stoffströme bestimmen, detaillierte toxikologische und ökotoxikologische Untersuchungen sind nicht notwendig.

### 5.1.5 Keine Stoffströme in bestimmte Umweltmedien

Beim Arbeiten mit Unternehmen erweist es sich oft als vorteilhaft, nicht Zero Emissions als Gesamtes zu verfolgen, sondern die Elimination einzelner Stoffströme in die Umwelt anzustreben. Hier bieten sich an:

- keine Abfallströme auf Deponien
- keine gefährlichen Abfälle
- abwasserfreies Produzieren
- keine Emissionen treibhauswirksamer Gase (CO<sub>2</sub>-neutral)
- keine Ströme in Grund- und Oberflächenwässer

Das „Institute for Local Self Reliance“ beschreibt Zero Waste so<sup>19</sup>:

*"Zero waste is a philosophy and a design principle for the 21st Century; it is not simply about putting an end to landfilling. Aiming for zero waste is not an end-of-pipe solution. That is why it heralds fundamental change. Aiming for zero waste means designing products and packaging with reuse and recycling in mind. It means ending subsidies for wasting. It means closing the gap between landfill prices and their true costs. It means making manufacturers take responsibility for the entire lifecycle of their products and packaging. Zero waste efforts, just like recycling efforts before, will change the face of solid waste management in the future. Instead of managing wastes, we will manage resources and strive to eliminate waste."*

## 5.2 Definition des Begriffes „Emission“?

Emissionen können aus dem Blickwinkel eines Unternehmens mit einer einfachen mathematischen Gleichung beschrieben werden:

$$\text{Input} - \text{Output} = \text{Emission}$$

Emissionen sind demnach das Ergebnis von Ineffizienzen im Zuge der Produktionsprozesse. Alle Inputstoffe, wie Roh-, Betriebs-, Hilfsstoffe und Energie, werden im Rahmen der einzelnen Prozessschritte in ein (Zwischen-)produkt umgewandelt. Letztendlich verlässt das fertige

<sup>19</sup> <http://www.ecocycle.org/zero/index.cfm> vom November 2006

Produkt das Unternehmen. Zudem wurden flüssige, gasförmige, feste und energetische Emissionen produziert, die die Bilanzgrenze „Unternehmen“ verlassen (NPO = Non Product Output). Der Inhalt dieser Gleichung ist in der nachfolgenden Abbildung graphisch dargestellt.

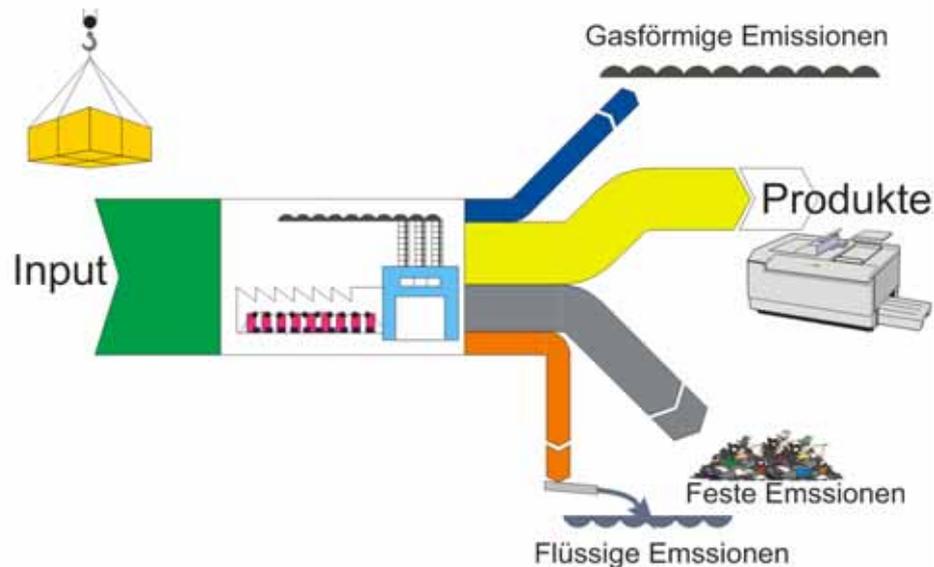


Abbildung 5.1: Vom Input zu Emissionen

### 5.3 Definition von Zero Emissions

Resultierend auf den beiden vorhergegangenen Definitionen ergibt sich folgende für „Zero Emissions“ (eigene Definition):

*Ein „Zero Emissions System“ ist ein System, in dem alle Stoff- und Energieströme, welche die definierten Systemgrenzen überschreiten, ein Produkt sind, ein Rohstoff für eine andere Produktion oder zumindest keinen negativen Einfluss auf sowohl die ökologische, soziale oder ökonomische Umwelt ausüben. Dabei umfassen die Systemgrenzen entweder ein Einzelunternehmen, eine Gruppe von Unternehmen (Park oder Cluster) oder eine Region.*

*„Zero Emissions Technologien“ sind Technologien, die die Emission von allen oder ausgewählten Substanzen vollkommen vermeiden oder auf eine nicht relevante Größe vermindern.*

Die Systemgrenzen werden dabei um Produktionseinrichtungen und nicht entlang des Lebenszyklus eines Produkts oder einer Dienstleistung gezogen. Die Speicherung von Emissionen innerhalb der Systemgrenzen, z.B. eine Deponie, ist nicht gestattet.

Die Übertragung eines Abfallstroms auf ein anderes Unternehmen, welches diesen dann entsorgt, wird nicht als Zero Emissions verstanden. Eine derartige Übertragung von Emission erweitert die Systemgrenze um das andere Unternehmen und eröffnet ein Netzwerk, dessen Outputströme wiederum der Definition entsprechen müssen.

Zero Waste heißt eigentlich, dass das Konzept des Abfallmanagement verworfen wird. Der Nicht-Produkt-Output von Produktionsprozessen wird vielmehr – sofern er nicht vermeidbar ist – als Ressource gesehen.

### 5.4 Betriebswirtschaftliche Überlegungen zu Zero Emissions

Emissionen fallen im Zuge unterschiedlicher Prozessschritte an, durchlaufen allerdings bis zur Ausschleusung als Emission oftmals weitere Behandlungsschritte oder überhaupt die gesam-

tem Produktion. Dadurch stecken in ihnen die Personal- und Betriebskosten bis zum Zeitpunkt der „Emissionsproduktion“ und auch die der weiteren Verarbeitungsschritte. Emissionen sind somit bedeutend teurer als allgemein angenommen. Diese Erkenntnis wurde schon im Zuge der *Cleaner Production* Projekte gewonnen und oftmals bestätigt [Jasch, 2002; Taferner, 2004]. Je geringer der Anteil der Emissionen ist, desto geringer sind die Gesamtkosten der Produktion.

Durch Zero Emissions wird jedoch eine Änderung nicht nur in den variablen Produktionskosten und kapazitätsabhängigen Investitionskosten erzielt, sondern ein sprunghafter Vorteil bei Anlageninvestitionen. Dieser entsteht beim Wegfall ganzer Anlagen einschließlich der erforderlichen Infrastruktur, die nicht der eigentlichen Produktion sondern der Behandlung von Nicht-Produkt Outputströmen dienen [Schnitzer, 2006].

Der wirtschaftliche Vorteil eines medienbezogenen Ansatzes liegt somit im vollständigen Verzicht auf Anlagen und Infrastruktur zur Entsorgung. Während die Verminderung der Betriebskosten bei sinkenden Verbrauchsmengen wegen des Gesetzes der abnehmenden Grenzkosten immer weniger lukrativ wird, bringt das vollständige Wegfallen von ganzen Anlagen wieder Vorteile. Eine ähnliche Beobachtung konnte man bei der Entwicklung von Passivhäusern machen: Eine zunehmende Isolation von Gebäuden bringt zwar weitere Einsparungen an Energiekosten, diese nehmen aber mit zunehmender thermischer Qualität der Gebäude ständig ab. Erst ein „neues Design“ - Passivhäuser ohne klassischem Heizungssystem – ergibt wieder wirtschaftlich Vorteile. Eine analoge Entwicklung kann bei Zero Emission Produktionsanlagen erwartet werden.

So bedeutet eine abwasserfreie Produktion nicht nur geringere Frischwasser- und Abwasserkosten sondern auch den Wegfall der Kosten für eine Abwasserbehandlungsanlage und den dazugehörigen Anschluss an das Kanalnetz einschließlich der hiermit verbundenen Personal- und Betriebskosten.

## 5.5 Methoden zur Umsetzung von Zero Emissions:

Zero Emissions Maßnahmen zielen in erster Linie darauf ab, das Problem mit Emissionen vor dessen Auftreten zu eliminieren. Sie werden produktionsintegriert, im Gegensatz zu nachgeschalteten End-of-Pipe Maßnahmen, gesetzt. Dabei wird das Ziel einer ganzheitlichen Lösung verfolgt und darauf geachtet, dass sich Probleme durch gesetzte Maßnahmen nicht auf andere Medien verlagern, z.B. verbesserte Reinigungsleistungen mit einer Wasserreduktion bei gesteigertem Energieverbrauch.

Um die Maßnahmen zur Erreichung von Zero Emissions zu kategorisieren, wurde folgende Systematik eingeführt:

- Cleaner Production
- Green Chemistry / “Nachhaltige Chemie”
- Industrielle Verwertungsnetzwerke – “Industrial Ecology”
- Integrierte Biosysteme (IBS)
- Erneuerbare Ressourcen
- Recycling
- Upgrading - Upsizing

Diese Methoden stellen Möglichkeiten dar, Zero Emissions in Unternehmen umzusetzen und sollen im Folgenden kurz beschrieben werden.

### 5.5.1 *Cleaner Production*

*Cleaner Production* soll als vorsorgender Ansatz verstanden werden, nach dem die Entwicklung eines Produktionssystems und Konsumverhaltens angestrebt wird, die Umweltprobleme

bereits in der Entstehung erkennen und vermeiden [Gorton-Hülgert, 1995]. Es geht also nicht darum, Abfall zu verwerten sondern die Entstehung von Abfall zu verhindern. Die drei Grundprinzipien von *Cleaner Production* können wie folgt definiert werden:

- Vorsicht (precaution)
- Vorbeugung (prevention)
- Integration (integration)

### 5.5.2 *Green Chemistry* / “Nachhaltige Chemie”

„Nachhaltige Chemie“ wird die Synthese von chemischen Produkten oder die Führung chemischer Prozesse genannt, wobei die Verwendung und/oder Bildung von gefährlichen und toxischen Substanzen reduziert oder völlig eliminiert wird. Das Ziel von sanfter Chemie ist es, langfristig gesehen sowohl mehr Gewinn zu erwirtschaften, als auch die Umwelt zu schonen und zu schützen [Hjeresen, 2002]. Es wird angestrebt, chemische Synthesen so zu gestalten, dass die Rohstoffe möglichst erneuerbar sind, bei der Umsetzung keine gefährlichen und toxischen Substanzen gebildet werden, die Ausbeute möglichst vollständig ist (das inkludiert auch die Verwendung bestmöglicher Katalysatoren) und der Prozess mit minimalem Energieaufwand (das heißt kleine Drücke und geringe Temperaturen) und mit geringsten Hilfsstoffen abläuft.

### 5.5.3 Industrielle Verwertungsnetzwerke – “*Industrial Ecology*”

Industrielle Prozesse können auch im Vergleich mit der Natur betrachtet werden. Dabei wird ein grundlegender Unterschied sichtbar: in natürlichen Systemen sind Abfälle und Emissionen zwar vorhanden, bilden aber entweder die Lebensgrundlage (Rohstoffe) für andere Prozesse, oder aber diese Emissionen werden in einer ungefährlichen Form gelagert. Industrielle Prozesse weichen von diesen Vorgaben mehr oder weniger ab. Industrielle Ökologie bedeutet, dass unterschiedliche Betriebe, in Nachahmung der Natur, jeweils Abfallströme des Anderen als Einsatzstoffe verwenden. Es geht nicht mehr um die absolute Effizienz eines einzelnen Betriebes (Produktionsprozesses), sondern vielmehr um das Zusammenwirken mehrerer Betriebe [Frosch, 1989].

Kritisch hinterfragt werden muss, ob eine Vermeidung bis zum Letzten ökologisch stets sinnvoller ist als eine geordnete Nutzung von weitestgehend reduzierten Abfallströmen. Eine Verwendung von gereinigten Abwässern zu Bewässerungszwecken stellt unter entsprechenden klimatischen Bedingungen eine durchaus nutzbringende Verwertung dar, während es in anderen Fällen als unerwünschte Verrieselung von Abwasser angesehen werden muss und in Konflikt mit wasserrechtlichen Regelungen stehen kann. Auch wenn man argumentiert, man gebe dem Fluss nur jenes Wasser zurück, welches man ihm zuvor entnommen habe, kommt man im Falle der Einleitung um Grenzwertregelungen nicht herum und benötigt somit Definitionen einer qualitativen Null. Gerade auch für die energetischen Emissionen, Abwärme und Lärm, ist die Definition einer qualitativen Null erforderlich, da in diesem Fall nach den geltenden Gesetzen der Natur eine „Nullemission“ im Sinne einer mathematischen Null nicht einmal theoretisch möglich ist.

### 5.5.4 Integrierte Biosysteme (IBS)

Das Konzept „Integrierte Biosysteme“ ist ein ähnlicher Ansatz wie Upsizing. Der Unterschied liegt darin, dass IBS ausschließlich für biogene Abfälle und Emissionen Anwendung finden. Auch hier werden die Abfälle zu anderen Produkten weiterverarbeitet und aufgewertet oder zur Energieerzeugung verwendet. Integrierte Biosysteme nutzen organische Überreste und Abwässer aus der Agrarproduktion und der Getränkeherstellung zur Erzeugung von organischem Dünger, Tierfutter, Agrarprodukten, Fischen etc. Dieses Konzept wurde in den Entwicklungsländern entwickelt. Die zusätzliche Nahrungsversorgung und die durch die Produk-

tionsstätten geschaffenen Arbeitsplätze sind in diesen Ländern von vorrangiger Bedeutung. Durch die Erzeugung von Biogas kann auch eine gewisse Autarkie in der Energieversorgung erzielt werden.

### 5.5.5 Nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energieträger

Als nachwachsende Ressourcen dienen Pflanzen, die als Rohstoff in der Industrie oder zur Energiegewinnung verwendet und extra für diesen Zweck kultiviert werden. Erneuerbare Energiequellen nutzen die Sonneneinstrahlung direkt (Solarthermie, Photovoltaik) oder indirekt (Wasserkraft, Windkraft etc.) zur Nutzung von Energie. Andere Möglichkeiten sind etwa die Verwendung der Gravitation (Gezeitenkraftwerke) oder der Erdwärme (geothermische Kraftwerke).

### 5.5.6 Recycling

Recycling bedeutet erneutes Nutzen von Materialien oder gebrauchten Produkten und eine Rückführung in den Produktions- oder Nutzungsprozessen [Bliefert, 1995]. Nach VDI [VDI, 1991] ist Recycling die erneute Verwendung oder Verwertung von Produkten oder Teilen von Produkten in Form von Kreisläufen. Weiter unterscheiden kann man:

- das Produktionsabfallrecycling
- das Produktrecycling
- das Altstoffrecycling

Außerdem ist eine Unterscheidung in Verwendung und Verwertung sinnvoll. Bei Verwendung wird das Produkt unter Beibehaltung seiner Produktgestalt in den Nutzungskreislauf wieder eingeführt. Verwertung findet dann statt, wenn das Produkt (die Produktgestalt) mit dem Ziel, Wertstoffe zurück zu gewinnen, aufgelöst wird. Eine ausschließliche Nutzung des Energieinhaltes (thermische Verwertung, Verbrennung) gilt nicht als Recycling.

### 5.5.7 Upgrading – Upsizing

In den meisten Produktionsprozessen gelangt nur ein gewisser Teil der eingesetzten Rohstoffe auch in das fertige Produkt. Der Rest der Rohstoffe fällt als Abfall oder Emission an. Upsizing ist ein Konzept, das versucht, den bisher ungenutzten Teil einer Produktion (Abfall) in zusätzliche Produkte umzuwandeln. Damit ist eine weitere Wertschöpfung („value added“) verbunden. Das Ziel ist es, eine vollständige, sinnvolle und profitable Nutzung aller eingesetzten Rohstoffe zu erreichen, ohne dass Rohstoffe ungenutzt den Prozess verlassen (vollständiger Stoffdurchsatz, „total throughput“).

## 5.6 Wechselwirkung der Methoden

Die beschriebenen Methoden sind ausgezeichnet dazu in der Lage entweder Einzel- oder Systemprobleme zu lösen. Auf Grund der beschriebenen Grenzen bzw. Einschränkungen und der unterschiedlichen Zielrichtungen ist jedoch keine allein dazu im Stande Zero Emissions zu erzielen. Um ein Zero Emissions System erfolgreich umzusetzen zu können, müssen die Stärken der einzelnen Methoden kombiniert werden. Teilweise zielen die Methoden in dieselbe Richtung ab, wodurch eine Kombination leicht fällt bzw. sich Synergieeffekte ergeben bzw. können Einschränkungen einer Methode entschärft werden. In anderen Fällen zielen Methoden auf andere Ergebnisse ab oder widersprechen sich sogar. Dann ist eine gemeinsame Umsetzung schwierig oder unmöglich.

Es ist wichtig derartige Probleme frühzeitig zu kennen und erkennen, um zukünftigen Schwierigkeiten rechtzeitig begegnen zu können bzw. Rahmenbedingungen zu schaffen, die die Wahrscheinlichkeit des Auftretens derartiger Probleme auf ein Minimum reduzieren.

Die Vielzahl verschiedener Methoden stellt bei der Definition potentieller Wechselwirkungen ein Problem dar, da kaum ein Unternehmen in der Lage ist alle Wechselwirkung auf allen Unternehmensebenen zu analysieren, um so die beste Lösungsstrategie zu entwickeln. Der ganzheitliche Ansatz zur Erreichung eines Zero Emissions Systems verlangt aber eine umfassende Betrachtung der unterschiedlichen Lösungen und eine Bewertung dieser. Deshalb ist es sinnvoll Zero Emissions Netzwerke in 3 Ebenen aufzubauen. Dies soll dabei helfen, die Wechselwirkungen auf den einzelnen Ebenen zu reduzieren und verständlicher zu machen.

Die drei Ebenen im Rahmen eines Zero Emissions Systems sind, in Anlehnung an das Industrial Ecology Konzept, das Mikro-, Meso- und Makro Level.



**Abbildung 5.2: Drei Ebenen in einem Zero Emissions System[Basu, 2006, Planasch, 2006]**

Das Mikro-Level oder die Prozessebene stellt die unterste Ebene dar. Sie entspricht im Unternehmen einzelnen Verfahren oder Prozessen, Teilprozessen größerer Einheiten oder sogar Einzelmaschinen. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Produktion, wodurch produktionsspezifische Fragestellungen im Mittelpunkt stehen. Oft ist die Optimierung eines Teilprozesses, z.B. Optimierung eines Reinigungsprozesses, oder die Reduktion von Ineffizienzen im Prozess, z.B. Erhöhung der Produktivität, das Ziel. Ansprechpartner sind Vorarbeiter, Schichtführer, einzelne Mitarbeiter, Spezialisten, wie z.B. Elektriker, Schlosser,... und beschränkt das Umweltmanagement. Oft verfügen diese Personen nicht über Entscheidungskompetenz, kennen aber die Prozesse und Probleme am besten und sind in der Umsetzung die führenden Personen.

Die zweite Ebene ist das Meso-Level. Darunter versteht man die Unternehmensebene, welche durch Prozesseinheiten, entweder parallel oder nach geschaltet definiert ist. Weiters sind hier technische und organisatorische Einheiten zusammengefasst. Von besonderer Bedeutung sind Infrastruktureinrichtungen, wie z.B. die Abwasserreinigung, Energiebereitstellung oder Abfallentsorgung. Ebenfalls zählen das Umweltmanagement sowie das mittlere und höhere Management dazu. Das Ziel dieser Ebene ist einerseits die Optimierung der Prozesse und Verfahren, aber neben technischen Fragestellungen ist die wirtschaftliche Komponente von großer Bedeutung. Die Ansprechpartner sind in ihrem Aufgabengebiet teilweise oder ganz Entscheidungsbefugt.

Diese Ebene ist für die finanzielle Entwicklung des Unternehmens verantwortlich, weshalb sie von besonderer Bedeutung für die Umsetzung von Zero Emissions Konzepten ist. Neben technischen und wirtschaftlichen fallen hier auch strategische Entscheidungen. Die Umsetzung wird oft bestenfalls an Hand von Kennzahlen überprüft.

Aktivitäten, die die Unternehmensgrenze überschreiten, sind im Makro-Level zusammengefasst. Es ist die höchste Ebene, die zur Erreichung eines Zero Emissions Konzepts notwendig ist. Die einfachste Form der Umsetzung ist die Unternehmenskooperation. Clustering oder die Zusammenarbeit in einem Park stellen weitere Formen dar, wobei Parks geographisch sehr eng gefasst sind. Cluster oder regionale Netzwerke sind Formen der Zusammenarbeit über mittlere Entfernungen, die vor allem für externes Recycling von Bedeutung sein können, da in einem kleinen Umfeld größere Emissionsströme leichter zusammengefasst werden können. Globale Zusammenschlüsse haben nur eine begrenzte Wirkung auf die Umsetzung eines Zero Emissions Konzepts. Sie entstehen meist auf Grund strategischer Entscheidungen und sind z.B. in der Forschungs- und Entwicklungszusammenarbeit interessant, bei denen Informationen und nicht Massen- oder Energieströme transportiert werden.

Die Entscheidungsträger für derartige Kooperationen befinden sich im Topmanagement, die ausführenden Parteien im mittleren und oberen Management. Sie verfügen meist über Entscheidungskompetenz und –befugnis. Cluster, Parks und regionale Netzwerke verfügen oft über ein eigenes Management, das vor allem der Vernetzung der Partner und für die Bereitstellung von Serviceleistungen zur Verfügung steht.

Nicht alle Methoden können auf allen drei Ebenen eingesetzt werden. So ist z.B. *Good Housekeeping*, welches auf eine Optimierung des Ressourcenverbrauchs in einem Prozess ausgerichtet ist, eine typische Maßnahme, die im Mikro- und Meso-Level eingesetzt wird, allerdings in Makro Systemen keinerlei Bedeutung hat. Andererseits ist *Industrial Ecology* ein interessantes Konzept für Makro-Systeme, welches nicht darauf ausgelegt ist, auf der Mikro-Ebene erfolgreich zu sein. Weiters sind nicht alle Maßnahmen in allen Branchen erfolgreich umzusetzen. Ein Beispiel hierfür ist, dass der Einsatz erneuerbarer Rohstoffe in der Metallverarbeitenden Industrie erfolgreich sein kann, das Einsatzgebiet jedoch sehr klein ist und z.B. auf Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen beschränkt. Deren Einsatzmöglichkeiten sind in der Lebensmittel verarbeitenden Industrie höher, da sie ev. als Sekundärrohstoff dienen können.

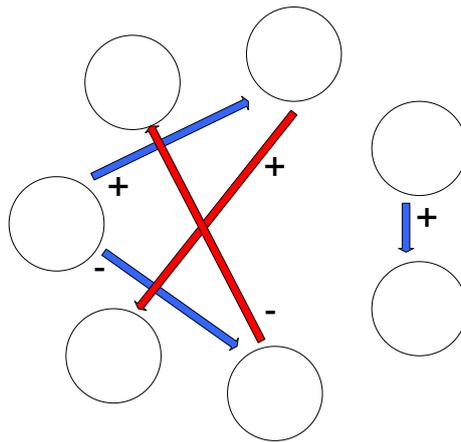
Es ist auch wesentlich zu bemerken, dass die Auswirkungen auf andere Maßnahmen sich nicht auf eine Ebene beschränken. Es treten häufig auch Wechselwirkungen zwischen den benachbarten sowie dem Mikro- und Makro-Level auf.

Im Folgenden seien kurz die Maßnahmen und ihre grundsätzliche Zugehörigkeit zu den Ebenen beschrieben. Im Anschluss werden die Wechselwirkungen am Beispiel der Metallverarbeitenden Industrie im Detail diskutiert.

### 5.6.1 Die Wirkungsmatrix:

Um darstellen zu können, wie eine Methode auf eine andere wirkt, ist eine Form der Präsentation zu finden, mit der Wirkungen gezeigt werden können. Dies ist möglich, wenn Wechselwirkungen zwischen den Methoden als Pfeil dargestellt werden. Die Richtung des Pfeils gibt an, welche Maßnahme auf welche andere Einfluss hat. Der Pfeil wird mit einem Plus oder Minus beschriftet, entsprechend einer positiven oder negativen Wirkung. Plus steht dabei für eine positive Wirkung, Minus für eine negative.

Die Kreise stellen Methoden, z.B. „*Cleaner Production*“ oder „*Green chemistry*“, dar.



**Abbildung 5.3: Wirkungsmatrix prinzipiell**

Massen- und Energieströme müssen getrennt betrachtet werden, da es vorkommen kann, dass positive Auswirkungen im einen und negative Auswirkungen im anderen Medium auftreten. In der oberen Abbildung sind die Ströme farblich blau bzw. rot gekennzeichnet, wobei blaue Pfeile für Massenströme stehen.

Es ist das Ziel der Wirkungsmatrix Wechselwirkungen zwischen den zur Verfügung stehenden Methoden zu finden. Dabei kann einerseits gezeigt werden, welche Wechselwirkungen grundsätzlich möglich sind und in einem zweiten Schritt werden praktische Erfahrungen in die Matrix einfließen, an Hand derer eine qualitative und quantitative Aussage über die eingesetzten Maßnahmen möglich ist. Dadurch wird einerseits ersichtlich, welche Kombinationen theoretisch möglich sind und andererseits welche bereits eine praktische Anwendung fanden. So wird Unternehmen die Möglichkeit geboten, alternative Lösungen zu suchen und über klassische Lösungsverfahren, -technologien hinwegzusehen. Dies bietet für Firmen die Chance bessere Lösungen für ihre Probleme zu finden.

Die Erstellung der Wirkungsmatrix ist in mehrere Schritte gegliedert. In einem ersten Schritt werden aus der Liste der für jede Ebene zur Verfügung stehenden Methoden, die für die Branche möglichen ausgewählt. Dies geschieht an Hand der eigenen Erfahrung und der Auswertung wissenschaftlicher Publikationen. Die Methoden werden in Form eines Kreises, siehe prinzipielle Darstellung, angeordnet. Nachdem die Methoden ausgewählt wurden, werden die positiven und negativen Wechselwirkungen gesucht. Dieser zweite Schritt erfolgt über eine intensive Literaturrecherche in wissenschaftlichen Publikationen, eigenen Erfahrungsberichten und praktischen Versuchs- bzw. Messergebnissen. Man erhält durch die ersten beiden Schritte ein Diagramm aller möglichen Methoden und der möglichen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen. Diese stellt die Basis für den dritten Schritt dar, in welchem die wissenschaftlichen mit realen Daten ergänzt und verglichen werden.

Im dritten Schritt erfolgt eine Literatur- und Internetrecherche sowie Befragung von Fachleuten und Firmen, um die reale Umsetzungssituation kennen zu lernen. Dabei wird in technischen Fachzeitschriften, Projektendberichten, u. dgl. nach Umsetzungsbeispielen in Unternehmen gesucht um Aussagen über Wirkungen zwischen Maßnahmen und div. Methoden zu finden<sup>20</sup>. Wenn dies zutrifft, wird die Wirkung durch einen Pfeil im Diagramm symbolisiert. Die Anzahl der gleichgerichteten Wirkungen verstärkt den Pfeil, womit die Stärke des Pfeils angibt, wie oft ein Umsetzungsbeispiel zu einer Art von Wirkung gefunden bzw. in Unternehmen umgesetzt wurde. Je dicker ein Pfeil, desto öfter wurde die Wirkung gefunden. Die Erwähnung in einem Projektendbericht, Branchenkonzept oder dgl. wird mit 5 Umsetzungen

<sup>20</sup> Der wesentliche Teil der betrachteten Literatur ist im Literaturverzeichnis unter der Überschrift „Weiterführende und vertiefende Literatur“ angegeben, da im Bericht nicht direkt darauf referenziert wird.

gewichtet, wenn derartige Berichte sich auf mehrere Fallbeispiele beziehen. Es müssen nicht alle Möglichkeiten, die in wissenschaftlicher Literatur gefunden wurden, auch bereits umgesetzt sein. Wenn dies der Fall ist, fallen die entsprechenden Wirkungen oder Methoden aus der Darstellung.

Wechselwirkungen zwischen einzelnen Ebenen werden gesondert betrachtet, da es sehr schwer ist diese übersichtlich darzustellen. Sie werden auf der Ebene, in der die Maßnahme gesetzt wurde, durch einen offenen Pfeil mit dem Ziel - der Methode auf einer anderen Ebene - beschrieben. Auf der Zielebene erfolgt die Kennzeichnung durch einen eintretenden Pfeil, der zur Methode führt, der ebenfalls mit dem Ausgangspunkt beschriftet ist.

Somit erhält man als Ergebnis drei Darstellungen der einzelnen Ebenen mit einer Gewichtung, wie oft Maßnahmen mit einer Wirkung auf eine andere Methode umgesetzt wurden.

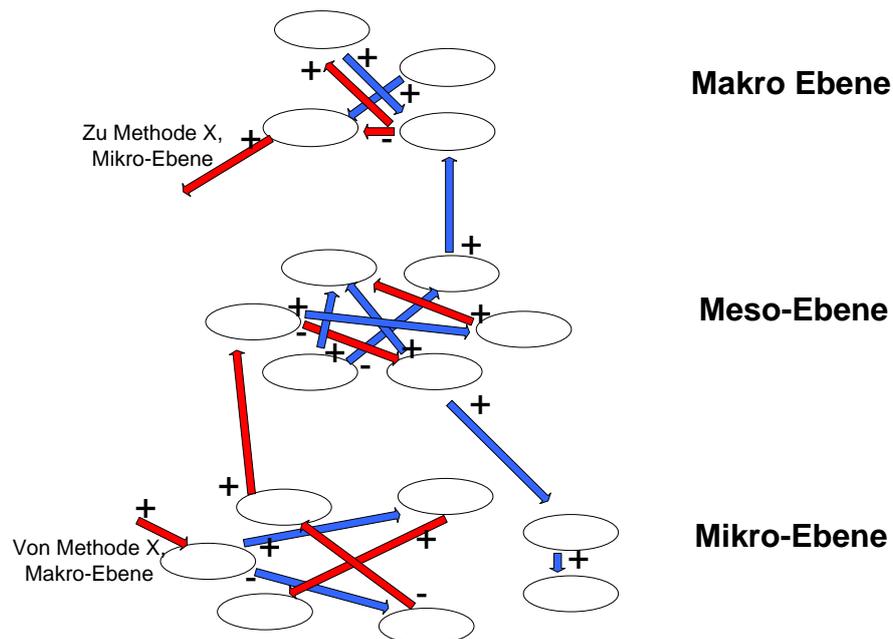


Abbildung 5.4: Ergebnis Schritt 1 und 2 der Wirkungsanalyse: wissenschaftliche Literatur

### 5.6.2 Die Wechselwirkungen

Die drei Ebenen mit den auf Grund ihrer Definition vorgegebenen Grenzen sind in Tabelle 5.1 aufgezeigt.

**Tabelle 5.1: Maßnahmen in den drei Ebenen**

<b>Mikro-Ebene</b>	<b>Meso-Ebene</b>	<b>Makro-Ebene</b>
Cleaner Production Good Housekeeping Upsizing Recycling Integrierte Biosysteme Pollution Prevention Green Chemistry Renewable Resources Eco-Efficiency Prozessumgestaltung /Neue Technologie	Cleaner Production Good Housekeeping Upsizing Recycling Integrierte Biosysteme Pollution Prevention Green Chemistry Renewable Resources Renewable Energy Eco-Efficiency Prozessumgestaltung /Neue Technologie	Upsizing Recycling Green Chemistry Repair Remanufacturing Industrial Ecology Renewable Resources Renewable Energy Reuse

Eine Maßnahme, die zuvor nicht besprochen wurde, muss hinzugefügt werden: Prozessumgestaltung bzw. „Neue Technologie“. Die Umgestaltung von Prozessen ist in *Cleaner Production* enthalten. Jedoch erscheint es für eine Analyse der Auswirkungen von Maßnahmen sinnvoll diesen Punkt herauszugreifen und dadurch stärker zu gewichten.

Des Weiteren zeigt es sich durch die Trennung in Energie- und Materialwirkungen als notwendig, den großen Bereich der Eco-Efficiency Maßnahmen in Material- und Energieeffizienzmaßnahmen aufzuteilen.

### 5.6.3 Wirkungsmatrix „Metall verarbeitende Industrie“

In einem ersten Schritt wurden wissenschaftliche Publikationen und Bücher nach Anwendungsbeispielen durchsucht. Darauf ergibt sich die nachfolgende Abbildung, in welcher alle möglichen Wirkungen dargestellt sind. Dabei stehen die blauen Pfeile für Massen- und die roten Pfeile für Energiewirkungen. Für die wissenschaftlichen Ergebnisse ist lediglich die Abbildung der Mikro-Ebene angegeben.

So kann sich z.B. ein „*Integriertes Biosystem*“ positiv auf die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen auswirken oder Maßnahmen, die „*Green Chemistry*“ zugeordnet werden, eine positive Wirkung auf „*Cleaner Production*“ Maßnahmen zeigen. Die vorliegenden Daten haben Stand April 2006. Es wurden deutschsprachige und englischsprachige wissenschaftliche Publikationen sowie für Teil 3 deutschsprachige Fachzeitschriften, Branchenkonzepte und Projektendberichte der letzten 6 Jahre ausgewertet.

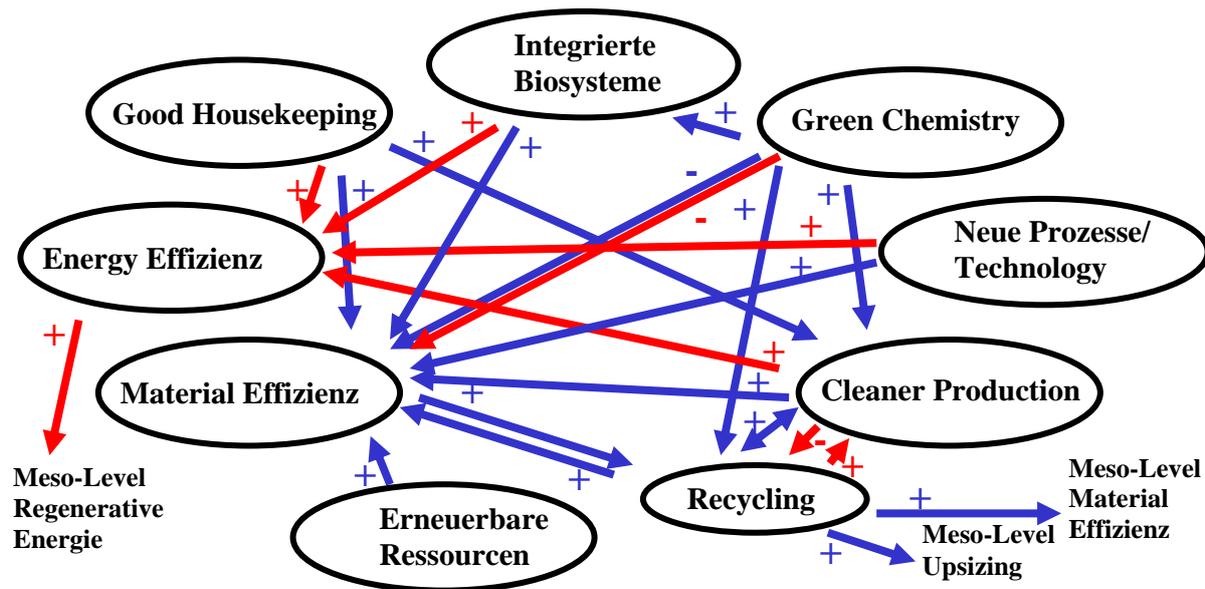


Abbildung 5.5: Ergebnis Schritt 1 und 2, Auswertung wissenschaftlicher Literatur

In den ersten beiden Schritten wurden neun Methoden gefunden, die in der Literatur publiziert wurden. Diese sind: *Renewable Resources*, *Material Efficiency*, *Energy Efficiency*, *Good Housekeeping*, *Integrated Biosystems*, *Green Chemistry*, *New Technology / Process*, *Cleaner Production*, *Recycling*. Wechselwirkung zu anderen Ebenen wurden mit dem Meso-, jedoch keine mit dem Makro-Level gefunden.

#### Erneuerbare Ressourcen:

Der Einsatz erneuerbarer Rohstoffe in der Produktion kann sich positiv auf die Umsetzung von *Materialeffizienz Maßnahmen* auswirken.

#### Materialeffizienz:

Durch die Implementierung von *Materialeffizienz Maßnahmen* kann sich eine bessere Recyclingfähigkeit des Materials ergeben. Dies ist die einzige aktive Wirkung derartiger Maßnahmen. Die Effizienz div. Materialeffizienzmaßnahmen wird jedoch durch *Recycling*, *Cleaner Production*, *Neuen Technologien* oder *Prozessen*, *Green Chemistry*, *Integrierten Biosystemen* und *Good Housekeeping* gesteigert. Ein Nachteil für die Anwendbarkeit von *Recycling* kann sein, dass die Mengen für effektives Recycling zu gering werden.

#### Energieeffizienz:

Es gibt auf der Mikro-Ebene keine direkte Wirkung auf andere Maßnahmen durch die Einführung von Energieeffizienzmaßnahmen. Auf dem Meso-Level kann allerdings die Einführung *erneuerbarer Energieträger* erleichtert werden. Die Wirkung von Energieeffizienzmaßnahmen wird aber ihrerseits sowohl durch *Cleaner Production*, *Green Chemistry*, *Integrierte Biosysteme* und *Good Housekeeping* verbessert.

#### Good Housekeeping:

Derartige Maßnahmen verbessern die Wirkung von Energie- und *Materialeffizienzmaßnahmen*. Weiters wird die Implementierung von *Cleaner Production* Technologien erleichtert. Dies ist auf Grund der engen Verwandtschaft zu *Cleaner Production* leicht verständlich.

### **Integrierte Biosysteme:**

Biosysteme sind in der Lage die Einbindung von Energie- und Materialeffizienzmaßnahmen zu erleichtern. Ihre Einführung wird ihrerseits durch die Verwendung der *Green Chemistry* Methode verbessert oder gar erst möglich gemacht.

### **Green Chemistry:**

*Integrierte Biosysteme* und *Cleaner Production* Maßnahmen können durch den Einsatz von *Green Chemistry* Grundsätzen deutlich verbessert werden. Diese können sich aber ihrerseits negativ auf die *Materialeffizienz* auswirken, weil teilweise der Gewinn in der Umweltfreundlichkeit durch *Green Chemistry* Grundsätzen entsprechenden Chemikalien durch einen notwendigen erhöhten Einsatz aufgewogen wird.

### **Neue Prozesse/Technologien:**

Die Einführung neuer Prozesse bzw. Verfahren wurde auf Grund der Vielzahl an Nennungen in unterschiedlichen wissenschaftlichen Publikationen aus dem *Cleaner Production* Konzept herausgenommen und als separater Punkt ausgegeben. Darunter versteht man neue, effizientere, umweltfreundlichere Verfahren bzw. neue Technologien. Es gelten für diesen Punkt die unter *Cleaner Production* geltenden Grundsätze.

Neue Verfahren sind vor allem in der Lage die Material- und Energieeffizienz zu steigern bzw. Eco-Efficiency Maßnahmen in deren Implementierung zu unterstützen. Ein überwiegender Anteil der wissenschaftlichen Literatur befasst sich mit Fragestellungen, die diesem Punkt zugerechnet werden können, z.B. neue Badzusammensetzungen in div. Beschichtungsverfahren, die entweder umweltfreundlicher, ungefährlicher, kostengünstiger oder sicherer sein sollen.

### **Cleaner Production:**

Das Feld von *Cleaner Production* Maßnahmen ist sehr groß, wird aber durch die Ausklammerung neuer Prozesse stark eingeschränkt. Materialeitig sind vor allem Wirkungen in Bezug auf den Einsatz weiterer *Materialeffizienzmaßnahmen* zu erkennen. Zu Recycling gibt es ein sich gegenseitig unterstützendes Verhältnis, welches sowohl für Material- als auch Energiemaßnahmen gilt.

### **Recycling:**

Unter *Recycling* versteht man hier vor allem externes Recycling. Es wechselwirkt stark mit *Materialeffizienz-* und *Cleaner Production* Maßnahmen. *Recycling* auf Mikro-Level unterstützt zudem den Einsatz von *Materialeffizienz-* und *Upsizingmaßnahmen* auf Unternehmensebene positiv.

#### **5.6.4 Mikro-Ebene Wirkungsmatrix:**

Es wurden publizierte Fallbeispiele für folgende Methoden gefunden:

*Renewable Resources, Material Efficiency, Energy Efficiency, Good Housekeeping, Integrated Biosystems, Green Chemistry, New Technology / Process, Cleaner Production, Recycling.*

Die Maßnahmen, die dabei gesetzt wurden, sind dabei in erster Linie *Good Housekeeping* und *Cleaner Production* Maßnahmen, gefolgt von der Implementierung neuer Prozesse oder Verfahren. Sie dienen vor allem dazu in den Unternehmen Material- und Energieeffizienzmaßnahmen zu unterstützen. *Cleaner Production* dient einer Optimierung des Recyclings, welches seinerseits wieder die *Materialeffizienz* unterstützt. Integrierte Biosysteme finden kaum

Eingang auf der Produktionsebene im Unternehmen. *Green Chemistry* kann sich positiv auf die Einführung von Materialeffizienzmaßnahmen auswirken, welche ihrerseits negative Auswirkungen auf *Green Chemistry* haben.

Typische *Good Housekeeping* Maßnahmen, die in den Unternehmen gesetzt wurden, sind die Messung div. Parameter, z.B. Konzentration von Prozesschemikalien und optimierte Steuerungen für Prozessbäder oder die Reduktion der Verschleppung durch eine Verlängerung der Abtropfzeit oder Abblase, Rotieren, Schleudern. Kreislaufschließung durch den Einbau von Membran- oder Vakuumverdampferanlagen zur Rückgewinnung von Prozesschemikalien in Prozessbädern als *Cleaner Production* Maßnahme haben eine positive Wirkung auf die Recycling-Fähigkeit von z.B. Edelmetallen. Ähnliche Technologien führen zur Reduktion des Spülwasserverbrauchs. Zu *Green Chemistry* Maßnahmen zählt z.B. der Umstieg von  $\text{Cr}^{\text{VI}+}$  auf alternative Hilfs- und Betriebsstoffe. Weiters kann z.B. die Beimischung von Oxalsäure in ein Chrombad zu einer Reduktion des Stromverbrauchs führen. Dies ist ein Beispiel für eine Maßnahme, bei der die ein neuer Prozess sich positiv auf Energieeffizienz auswirkt. Neue Prozesse, die implementiert werden, sind in den meisten Fällen mit dem Versuch der Reduktion der Toxizität verbunden, wodurch der Einsatz von *Green Chemistry* Maßnahmen erleichtert wird. *Integrierte Biosysteme* wurden nur für Entfettungsbäder gefunden. Dort können durch den Einbau eines Spülbades nach dem Entfettungsbad, dem Umstieg auf NaOH-Entfettung und dem Einsatz von Enzymen Bioreaktoren zur kontinuierlichen Reinigung eingesetzt werden. Derartige Maßnahmen sind aber kaum bei Unternehmen bekannt, obwohl die Amortisationszeit bei etwa 8 Monate liegt.

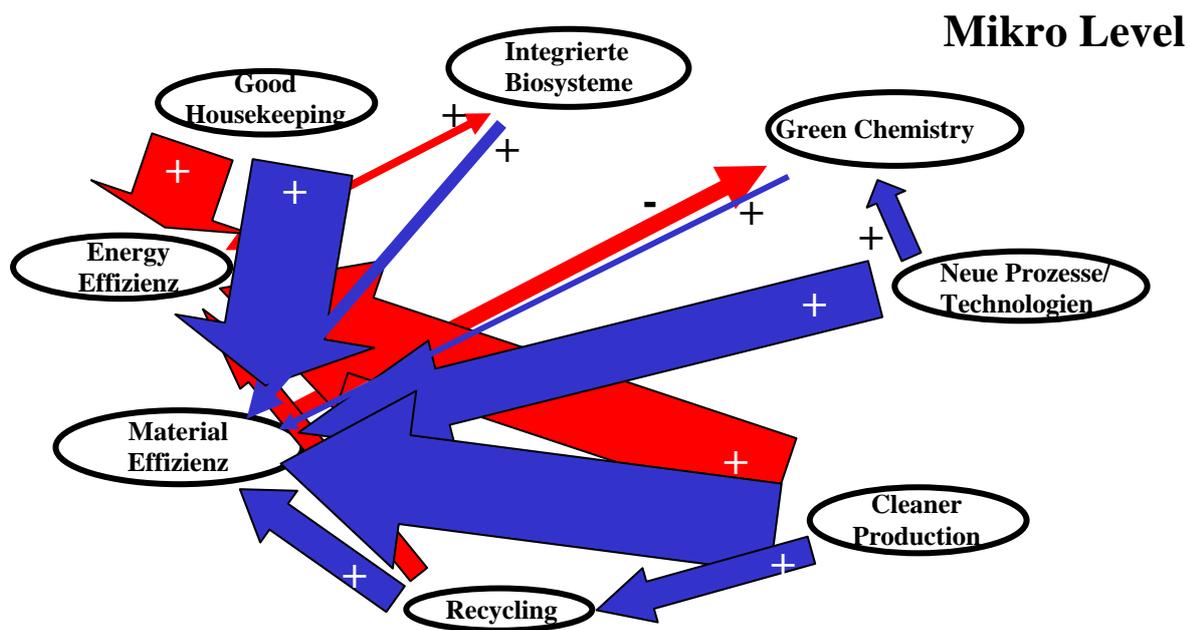


Abbildung 5.6: Wirkungsmatrix: Mikro-Level für die Metall verarbeitende Industrie

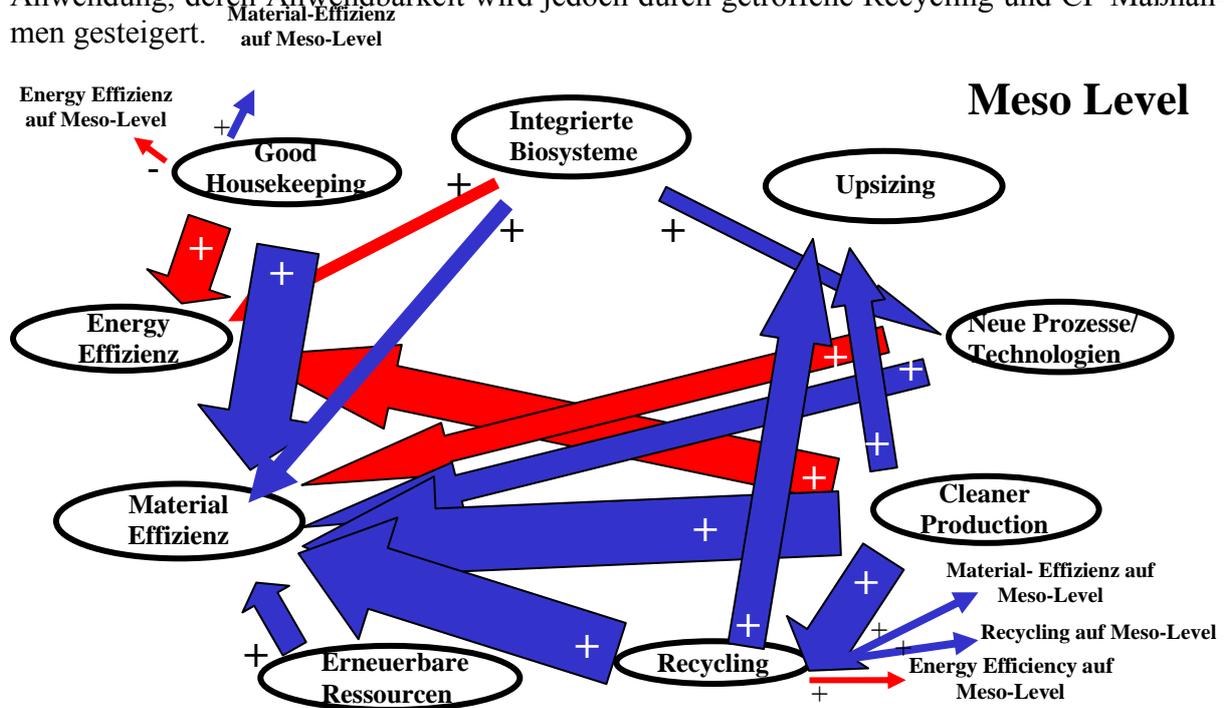
### 5.6.5 Meso-Ebene Wirkungsmatrix:

Die Methoden, die auf der Meso-Ebene Anwendung finden entsprechen jenen auf der Mikro-Ebene, ergänzt durch *Upsizing* und *Erneuerbare Rohstoffe*:

*Renewable Resources, Material Efficiency, Energy Efficiency, Good Housekeeping, Integrated Biosystems, Green Chemistry, New Technology / Process, Cleaner Production, Recycling, Upsizing.*

Der Fokus der Maßnahmen liegt noch immer in der Steigerung der Energie- und Materialeffizienz bzw. Unterstützung deren Umsetzung. Die Bedeutung von *Good Housekeeping* Maß-

nahmen sinkt auf Unternehmensebene. Die Wichtigkeit von *Cleaner Production* ist geringer, aber noch immer sehr groß und fällt vor allem nicht so stark, wie jene von *Good Housekeeping*. Die Bedeutung der Wirkung von Recycling auf die Materialeffizienz steigt. *Cleaner Production* Maßnahmen führen öfters zur Kombination mit Recycling. Neue Prozesse und Technologien werden seltener eingesetzt, da dies mit einer Änderung ganzer Produktionsabläufe verbunden ist. Allerdings finden integrierte Biosysteme Anwendung, die eine positive Wirkung auf die Einbindung neuer Prozesse haben. Es fand die Implementierung erneuerbarer Rohstoffe auf Unternehmensebene statt. Upsizingmaßnahmen finden zwar selbst keine direkte Anwendung, deren Anwendbarkeit wird jedoch durch getroffene Recycling und CP Maßnahmen gesteigert.



**Abbildung 5.7: Wirkungsmatrix: Meso-Level für die Metall verarbeitende Industrie**

*Neue Prozesse und Verfahren*, die eingesetzt werden sind z.B. neue Lackierverfahren, wie z.B. die Pulverlackierung, die zu einer 50%igen Einsparung des Lackbedarfs führen kann. Weiters ist der Umbau ganzer Prozesslinien, die auf Grund der Änderung der Prozesschemikalien erfolgen müssen (Umbau des Spülsystems,...), den neuen Prozessen zuzurechnen. *Cleaner Production* Maßnahmen auf Meso-Ebene unterscheiden sich von jenen auf Mikro-Level dadurch, dass sie sich Unternehmensweit eingebaut werden und sich nicht auf einen Teilprozess beschränken, z.B. nicht nur einen Spülkreislauf sondern ganze Spülsysteme oder die Spülwässer mehrerer Prozesslinien umfassen. Die Investitionskosten sind auf Grund größerer Volumenströme höher, aber die erzielbaren Einsparungen deutlich größer.

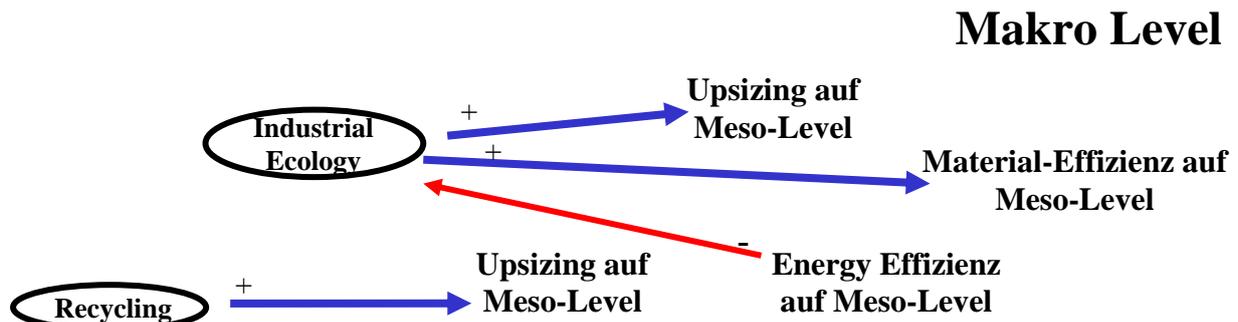
Die gesetzten Maßnahmen zählen zu *Cleaner Production* und *Good Housekeeping*. Die Reduktion der eingesetzten Chemikalien ist eine weitere *Good Housekeeping* Maßnahme. Dabei werden verschiedene Prozesschemikalien durch ein modulares System ersetzt. Dieses besteht aus z.B. drei verschiedenen Chemikalien, die in unterschiedlicher Kombination in den diversen Bädern eingesetzt werden. Dadurch wird die negative Wirkung von Ausschleppungen reduziert.

Der Einsatz von Regenwasser zum Nachdosieren in Spülbädern ist eine Möglichkeit regenerative Rohstoffe einzusetzen. Dies erfolgte lediglich in 3 dokumentierten Fallbeispielen in Deutschland. Durch eine optimierte Prozesstechnik, umgesetzt im Zuge von *Cleaner Production* in eventueller Kombination mit Recycling Maßnahmen, wird die Möglichkeit verbessert die Wertstoffe als (Sekundär-)Rohstoff zu nutzen und so Upsizing zu betreiben. Für Unternehmen ist es allerdings oft nicht rentabel Upsizing im eigenen Unternehmen umzusetzen

oder die Qualität des Rohstoffs entspricht nicht der geforderten Norm. Ein Unternehmen in Österreich verkupfert im Zuge seiner Produktion sein Halbzeug. Durch ein ausgeklügeltes Regenerationssystem ist das Unternehmen in der Lage einen großen Teil des Kupfers rück zu gewinnen. Es erfolgt in-house eine Elektrolyse, wobei die Qualität des abgeschiedenen Kupfers nicht den eigenen Produktionsstandards genügt. Deshalb wird das produzierte Kupfer als Sekundärrohstoff an Kupferhütten verkauft und Kupfer höherer Qualität eingekauft<sup>21</sup>.

### 5.6.6 Makro-Ebene Wirkungsmatrix

Es gab lediglich zwei Methoden, die in der Literatur gefunden wurden, die eindeutig dem Makro-Level zuordenbar sind. Die sind *Industrial Ecology* und *Recycling*.



**Abbildung 5.8: Wirkungsmatrix: Makro-Level für die Metall verarbeitende Industrie**

Dabei konnte keine ein- oder gegenseitige Beeinflussung dieser beiden Methoden erkannt werden. *Industrial Ecology* hat auf der Meso-Ebene einen positiven Einfluss *Upsizing* und *Recycling* Maßnahmen. *Energieeffizienzmaßnahmen* können sich negativ auf die Umsetzung von *Industrial Ecology* auswirken. *Recycling* wirkt auf Makro-Ebene ebenfalls positiv auf *Upsizing*. Somit stellt *Upsizing* das einzige Bindeglied zwischen dem Meso- und Makro-Level dar.

*Upsizing* auf der Makro-Ebene mit Beeinflussung durch die Meso-Ebene ist z.B. die Nutzung von Aluminiumhydroxid, das in einem Eloxalunternehmen anfällt, als Fällungsmittel in einer kommunalen Kläranlage. Dazu wurden der schwefelsaure und alkalische Spülkreislauf getrennt. Beide werden über Vakuumverdampfer eingedickt und das erhaltene Aluminiumhydroxidkonzentrat wird an die örtliche kommunale Kläranlage verkauft. So entfällt die teure Abwasserreinigung im Unternehmen und der ehemalige Galvanikschlamm wird als Produkt vermarktet.

Die Einbindung des *Industrial Ecology* Prinzips erfolgt über die Produktion von Monoschlamm in Firmen und dem Umschmelzen in einer Metallhütte. Um für Hütten interessant zu sein, müssen Unternehmen in der Lage sein, die Vielzahl von Schwermetallverunreinigungen in ihren Schlämmen zu reduzieren und Monoschlämme herzustellen. Dazu sind meist Investitionen und eine Änderung der Prozesswasseraufbereitung notwendig. Die Produktion von Monoschlamm stellt aber eine sehr gute Möglichkeit, ehemalige Schlämme aus Galvanikbetrieben in wertvolle Ressourcen umzuwandeln. Wirtschaftlich ist dies allerdings nur sinnvoll, wenn die Hütte diese Schlämme (oder Konzentrate) in entsprechender Menge bekommt, was bedingt, dass mehrere Unternehmen diesen Weg gehen müssen. In Deutschland gibt es Hütten, die Galvanikmonoschlämme entgegennehmen.

### 5.6.7 Darstellung aller drei Ebenen:

Nachfolgend sind die drei Ebenen in einer Darstellung zusammengefasst. Man erkennt die starken Wechselwirkungen innerhalb einer und zwischen den Ebenen.

<sup>21</sup> Persönliche Mitteilung, nicht veröffentlichte Firmendaten

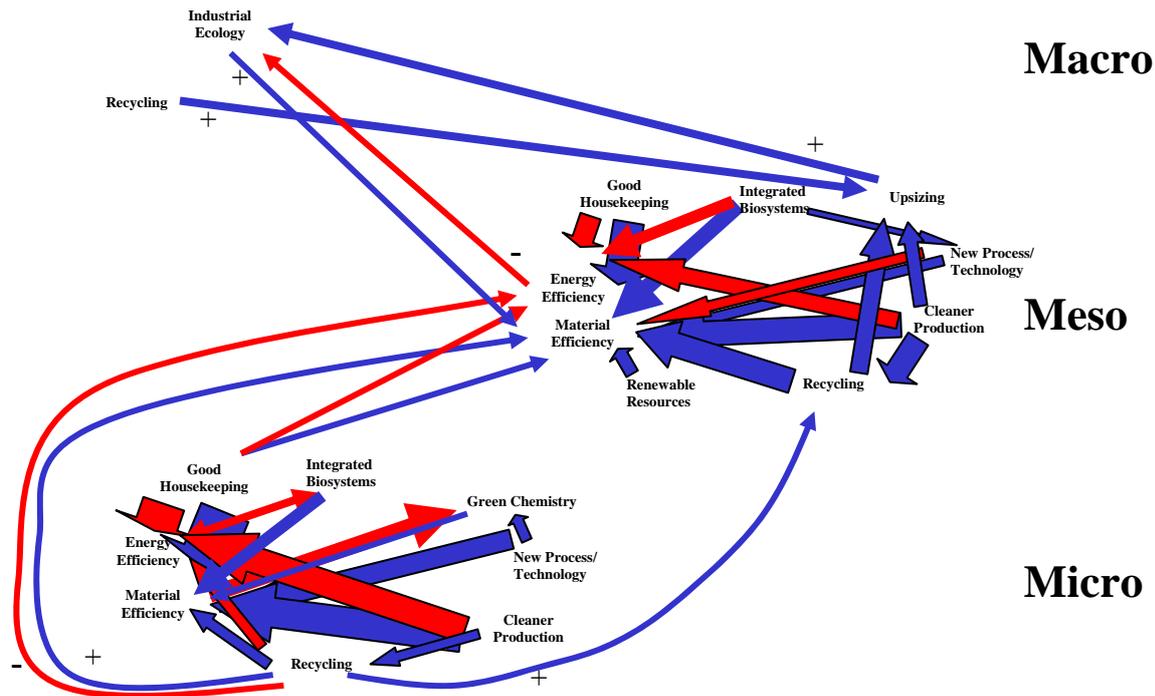


Abbildung 5.9: Wirkungsmatrix: Alle drei Ebenen mit Wechselwirkungen zw. den Ebenen für die Metall verarbeitende Industrie

### 5.6.8 Schlussfolgerung:

Man erkennt sehr gut, dass in den Unternehmen hauptsächlich Maßnahmen der Prozessebene getroffen werden und diese hauptsächlich auf Material- und Energieeffizienz ausgerichtet sind bzw. die Umsetzung derartiger Maßnahmen unterstützen sollen. Es werden dabei vor allem *Good Housekeeping* und *Cleaner Production* Maßnahmen gesetzt. Teilweise werden neue Technologien und Prozesse eingesetzt, die allerdings lediglich ein Prozessbad betreffen. Diese Vorgehensweise für in Unternehmen typisch, da sie kurzfristig messbare Erfolge bringt und am Verfahren nur wenig Grundsätzliches geändert werden muss. Das bedeutet, dass die Produktion während der Implementierung nicht unterbrochen werden muss bzw. die Maßnahmen in Stillstandzeiten eingebaut werden können. Diese Maßnahmen sind sehr stark von End-of-Pipe Denken geprägt: „Es gibt ein Problem und dieses wird gelöst“.

Der Vorteil ist, dass es für Technologien und Maßnahmen der Mikro-Ebene eine Vielzahl dokumentierter Fallstudien gibt. Dies fördert die Chance der Implementierung in Unternehmen. Meistens bieten Technologieanbieter und Consultants derartige Lösungen an, wodurch ein Preisdruck die Preise niedrig hält.

Die Bedeutung von *Recycling* wird auf Unternehmensebene größerer aber der Schwerpunkt liegt noch immer in der Schaffung der Voraussetzung für eine höhere Ressourceneffizienz. Die Bedeutung *integrierter Biosysteme*, in den meisten Fällen Bioreaktoren zur Aufbereitung unterschiedlicher organischer Ströme, nimmt zu und erste Upsizing-Aktivitäten werden auf Unternehmensebene umgesetzt. Die absolute Zahl der Maßnahmen auf Unternehmensebene ist geringer als jene der Prozessebene.

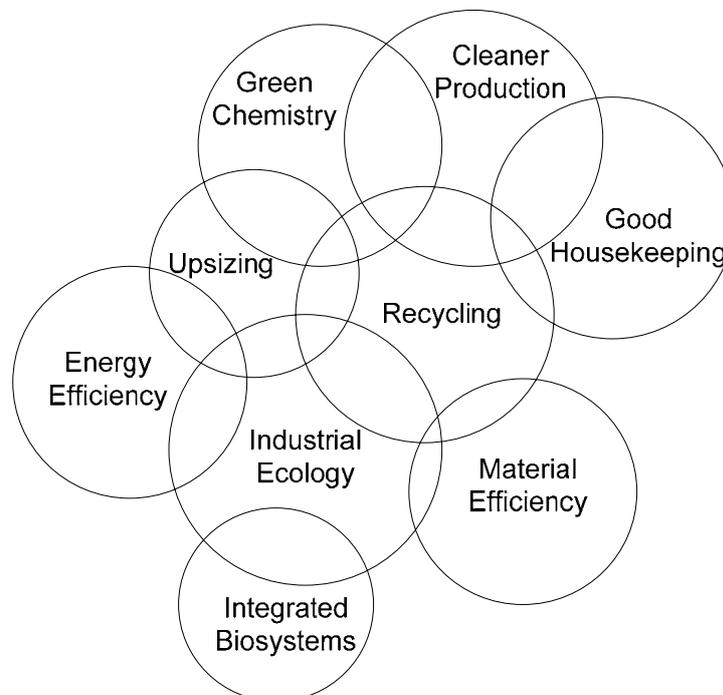
Der Nachteil auf Unternehmensebene ist, dass meist die Investitionskosten auf Grund größerer Volumenströme höher sind. Weiters ist die Umsetzung von Maßnahmen auf dieser Ebene mit tiefer greifenden Änderungen verbunden, die z.B. Schulungen des Personals benötigen.

Der Vorteil ist, dass nur auf Unternehmensebene grundsätzliche Mängel behoben werden können, da hier die entsprechende Entscheidungskompetenz liegt, z.B. Implementierung einer prozessintegrierten Prozesswasseraufbereitung zur Entlastung oder Eliminierung der Abwas-

serreinigungsanlage. Entscheidungen über z.B. die Art der Energiebereitstellung, nachwachsende fossile Rohstoffe, werden ebenfalls hier getroffen. Die Wirkung, die durch Maßnahmen auf Unternehmensebene erzielt wird, ist meistens deutlich größer als jene auf Prozessebene.

Maßnahmen bzw. deren Wirkung auf Makroebene sind in Unternehmen kaum bekannt. Die Ängste vor Liefer- und Qualitätsproblemen lässt Unternehmen davor zurückschrecken Sekundärrohstoffen anderer Firmen als Rohstoffquelle zu nutzen. Zudem ist es Firmen oft nicht bekannt, wie man den eigenen Abfall behandeln muss/kann, um ihn als Rohstoff für ein anderes Unternehmen interessant zu machen. Lediglich Recycling-Netzwerke haben in der Zwischenzeit eine allgemeine Akzeptanz bei Unternehmen gefunden.

Ein großes Problem bei der Definition der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Methoden ist die gegenseitige Überschneidung in der Zielsetzung und den dafür notwendigen Maßnahmen, wie dies in der nachfolgenden Abbildung dargestellt ist. Es ist bei manchen Maßnahmen schwer genau zu definieren, zu welcher Methode sie zu rechnen ist. So überschneiden sich etwa *Cleaner Production* Maßnahmen teilweise mit *Good Housekeeping* Maßnahmen, was dadurch erklärt werden kann, dass *Good Housekeeping* manchmal als Teil von *Cleaner Production* gesehen wird. Zudem gibt es Überschneidungen mit *Recycling* und *Green Chemistry* Ansätzen.



**Abbildung 5.10: Überschneidung zwischen den einzelnen Methoden**

Die zuvor beschriebene Vorgehensweise eignet sich ausgezeichnet, um eine exakte Detailanalyse durchzuführen, das Potential unterschiedlicher Maßnahmen besser abschätzen zu können und den Unterschied zwischen wissenschaftlich theoretischen Maßnahmen und bereits praktisch umgesetzten aufzuzeigen. Sie unterstützt ein Unternehmen bei der prinzipiellen Auswahl von Maßnahmen bietet jedoch keine klaren Richtlinien, mit denen ein Laie schnell zu einer Umsetzungsentscheidung kommt.

Aus diesem Grund wurde versucht wenige, klare, eindeutig definierte Maßnahmen aufzuzeigen, die, unabhängig von der Methode, eine Entwicklungsrichtung für Unternehmen vorgeben. Es war das Ziel, das vielfältige Wissen über die verschiedensten Methoden mit technischem und organisatorischem Praxiswissen zu verknüpfen, um auf diese Weise allgemein

gültige Richtlinien zu entwickeln, bei deren Anwendung Unternehmen Zero Emissions erreichen können.

### 5.6.9 Grundsätze zur Erreichung von Zero Emissions:

Als Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung von Zero Emissions gilt das Prinzip Vermeiden – Vermindern – Verwerten, welches im Kapitel „Anwendungsmöglichkeiten“ beschrieben wird. Ihm zu Folge soll stets in einem ersten Schritt versucht werden einen Strom derart zu verändern, dass Emissionen vermieden werden, da vermiedene Emissionen nicht im nach hinein behandelt werden müssen. Ist eine Vermeidung aus unterschiedlichen Gründen nicht möglich, sollte versucht werden, den Emissionsstrom zu vermindern. Durch eine Reduktion der Menge wird die Behandlung kostengünstiger, da die Investitionskosten für kleinere Anlagen in der Regel geringer sind, als für große. Zudem wird durch eine Reduktion der Menge die Konzentration im Strom höher, wodurch eine Behandlung effizienter wird. Ist eine Vermeidung nicht möglich bzw. das Potential bereits ausgeschöpft, sollt erst in einem letzten Schritt versucht werden, die Emissionen zu verwerten. Dabei ist die stoffliche Verwertung einer thermischen vorzuziehen, da diese einem *Downsizing* entspricht.

Als zweite Grundregel gilt, dass es einfacher ist Zero Emissions umzusetzen, wenn Maßnahmen auf mehr als einer Ebene des unternehmerischen Handelns gesetzt werden. Am effektivsten erfolgt eine Implementierung, wenn neben der Prozess- und der Unternehmensebene auch interunternehmerische Maßnahmen gesetzt werden. Dadurch können Kosten gesenkt und zuvor nicht vorhandene Potentiale ausgenutzt werden.

Maßnahmen sollten nach Möglichkeit produktionsintegriert umgesetzt werden, da eine Behandlung von Strömen umso effektiver ist, je näher am Prozess diese Behandlung stattfindet. Dabei unterstützen sechs prinzipielle Strategien die Reduktion von Emissionen und die Erreichung von Zero Emissions:

- Good Housekeeping – „Vermeiden“
- Reduktion der Zahl der eingesetzten Chemikalien
- Entkoppelung der Energie- und Stoffströme
- Entkoppeln unterschiedlicher Stoffsysteme
- Kontinuierliche Regeneration von Prozesschemikalien
- Einsatz Erneuerbarer Energieträger

#### Good Housekeeping – „Vermeiden“

*Good Housekeeping* wurde bereits im vorhergehenden Kapitel eingehend beschrieben. Es steht für den Versuch mit einfachen Mitteln, der Nutzung des „gesunden Hausverstands“, Emissionen und den Ressourcenverbrauch zu reduzieren. Dabei gibt es eine Vielzahl von Beispielen bei denen große Einsparungen bei keinerlei Investitionen erreicht wurden. *Good Housekeeping* kann bereits am Anfang eines Optimierungsprozesses als Teil einer Vermeidungs- und Verringerungsstrategie umgesetzt werden.

#### Reduktion der Zahl der eingesetzten Chemikalien

Durch eine Reduktion der Anzahl der eingesetzten Chemikalien wird einerseits die Auswirkung von Verschleppungen in andere Prozesse verringert sowie deren Regeneration erleichtert.

Verschleppungen bewirken vor allem deshalb Probleme in nachfolgenden Prozessen, weil es zu zwischen den eingeschleppten Chemikalien und jenen des aktuellen Prozesses zu unerwarteten Nebenreaktionen kommen kann. Diese können sich entweder negativ auf die Reaktion im Prozess auswirken, da sie z.B. Reaktionspartner binden und so den Umsatz reduzieren, oder schwerlösliche Verbindungen eingehen, die ausfallen und so zu Qualitätsproblemen am Produkt oder im Prozess führen. Möglichkeiten für die Reduktion sind z.B. der Umstieg

von mehreren auf ein Lösungsmittel, z.B. Verwendung einer Säure statt drei verschiedener, oder der Einsatz modular aufgebauter Chemikaliensysteme. Derartige Systeme bestehen aus z.B. 3 Grundkomponenten, die in verschiedenen Konzentrationen in den nach einander folgenden Prozessen eingesetzt werden. So werden z.B. im ersten Prozess 80% der Chemikalie A und je 10% B und C eingesetzt. Im zweiten Prozess hingegen werden nur 25% A bei 60% B und 15% C verwendet. Dadurch werden mögliche Nebenreaktionen vermieden oder verhindert.

Ein weiterer Vorteil besteht in der einfacheren Regeneration und Rückführung von Prozesschemikalien, da die Qualität der Aufbereitung nicht so genau erfolgen muss. Es können keine „falschen“ Chemikalien in den Prozess rückgeführt werden, die vielleicht aus technischen Gründen nicht eliminiert werden können, da in jedem Prozessschritt dieselben Chemikalien vorkommen.

#### Entkopplung der Energie- und Stoffströme

Die Kopplung von Energie- und Stoffströmen führt dazu, dass eventuell Stoffströme nicht reduziert werden dürfen, obwohl dies technisch möglich wäre. So ist es notwendig, dass, z.B. beim Kühlen, eine bestimmte Kühlwassermenge verwendet wird, um die im Prozess produzierte Energie aus dem System abzuführen. Obwohl es technisch möglich ist den Kühlwasserstrom, und damit einhergehend den Ressourcenverbrauch und die Emissionen, zu reduzieren, kann dies nicht erfolgen, da ansonsten der Prozess beeinträchtigt wird.

Eine Entkopplung durch den Einsatz geschlossener Kühlkreisläufe ermöglicht eine getrennte Optimierung der Energie- und Stoffströme.

#### Entkoppeln unterschiedlicher Stoffsysteme

Die Substitution primärer Rohstoffen durch Sekundärrohstoffe und die Rückführung regenerierter Stoffströme ist umso einfacher je geringer die Verunreinigungen und je höher die Konzentrationen der gewünschten Stoffe sind. So fallen z.B. für die Entsorgung von Galvanikschlamm hohe Kosten für Unternehmen an, wohingegen Monoschlämme ab einer Konzentration von >30% mancher Metalle finanziell von Verwertungsunternehmen abgegolten werden. Die Rückführung von regenerierten Prozesslösungen ist ebenfalls leichter, wenn diese nicht zuvor mit anderen Stoffströmen vermischt wurden. Deshalb sollte versucht werden, Prozesslösungen nach Möglichkeit ohne vorherige Vermischung zu regenerieren. Die Investitionskosten für die Anlagen sind auf Grund der geringeren Volumenströme vor einer Mischung geringer, aber insgesamt ist der Investitionsaufwand größer, da der Economy of Scale nicht ausgenutzt werden kann. Durch eine Entkopplung, die separate Regeneration und anschließende Produktion von Strömen mit hohen Konzentrationen weniger Inhaltsstoffe können allerdings Kostenvorteile generiert werden, die die Mehrkosten der Investitionen übersteigen.

#### Kontinuierliche Regeneration von Prozesschemikalien

Um Stoff- oder Energieströme im Kreislauf führen zu können müssen diese in den meisten Fällen von Störstoffen, die sich im Zuge vorhergehender Prozesse gebildet haben, gereinigt werden. Derartige Störstoffe entstehen durch Verschleppungen aus vorhergegangenen Prozessen, durch unbeabsichtigte Nebenreaktionen oder z.B. Unzulänglichkeiten eines Rohstoffs, z.B. Rost auf einer Metalloberfläche. Es stehen unterschiedlichste chemische, physikalische, elektrochemische oder mechanische Verfahren zur Verfügung. Die am besten geeignete Technologie muss dabei in den meisten Fällen im Lauf von Labor- und Pilotversuchen ermittelt werden.

Einsatz Erneuerbarer Energieträger

Der Einsatz erneuerbarer Energieträger ermöglicht es, die Energieversorgung, auf Grund der CO<sub>2</sub>-Neutralität dieser, auf Zero Emissions umzustellen. Durch den Einsatz direkter oder indirekter Sonnenenergie wird die Produktion von klimaschädlichem CO<sub>2</sub> für Heizzwecke durch das Unternehmen auf Null reduziert. Neben der Heizenergie müssen allerdings auch der Einsatz von Strom und Flüssigtreibstoffen für Kraftfahrzeuge mit berücksichtigt werden. Durch den Einsatz von PV und Windanlagen bzw. einer KWK kann der Wirkungsgrad deutlich gehoben werden.

## 6 Medienbezogene Ansätze

Der anschaulichste Ansatz Zero Emissions in Unternehmen zu positionieren, ist der medienbezogene. Die Grundsätze und Wirkungen von

- keine festen Abfälle ohne Verwertung
- kein Abwasser
- keine Emissionen in das Grund- oder Oberflächenwasser [Ekins, 2006]
- keine Emission treibhauswirksamer Gase

sind einfach darzustellen und zu argumentieren.

### 6.1 Zero Waste in Produktionsbetrieben

Das Abfallproblem ist eigentlich ein Rohstoffproblem. Bei einer entsprechend organisierten Stoffwirtschaft in Betrieben und bei einem konsequenten Getrennhalten nicht verträglicher Materialien kann praktisch alles recycelt werden, sei es schlussendlich durch eine energetische Verwendung und als Einsatz als Dünger in der Landwirtschaft. Das visionäre Ziel von „Zero Waste“ ist ein anderer Ausdruck für ein Wirtschaftssystem in dem alles wieder- oder weiterverwendet wird. Eine effektive Verwendung ist eine Vorbedingung hierfür.

Produzieren ohne Abfälle ist eine Bewegung, die vor allen in Japan zunehmend von großen Unternehmen umgesetzt wird. Fast alle Fabriken begannen ihre Aktivitäten als strategische Ansätze zur Verbesserung ihres Image<sup>22</sup>. Sie gingen dabei davon aus, dass die Produktionskosten steigen würden. Zero Waste Prozesse stellten sich aber bald als vergleichsweise wirtschaftlich heraus.

Die Definition von Zero ist hierbei durchaus unterschiedlich.

Nikon definiert Zero Emissions als den Zustand, bei dem weniger als 1% der festen Abfälle ohne Nutzung auf Deponien oder in die thermische Verwertung gehen [Nikon, 2004]:

### *Nikon Mito Plant Achieves Zero Emissions*

*October 9, 2002*

*Mito Plant of Nikon Corporation (Mito City, Ibaraki Prefecture, Japan) recently became the first Nikon plant to establish a zero emission system.*

*Since Mito Plant earned ISO14001 international standard related to environment preservation (April 1999), it has continued its efforts to reduce environmental loading and establish a zero emission system.*

*As a result, on September 30, 2002, it succeeded in achieving zero emission performance, when the landfill rate dropped to under 1% (0.55% for the year from October 1 2001 to September 30, 2002).*

*Nikon Corporation plans to achieve zero emissions at its Ohi, Yokohama and Sagami-hara plants in fiscal 2003, and Kumagaya Plant in fiscal 2004.*

*Note that within the Nikon Group, Sendai Nikon Co., Ltd. (Natori City, Miyagi Prefecture, Japan) was the first to establish a zero emission system, in February 2002.*

#### **Key activities leading to zero emissions at the Nikon Mito Plant:**

1. *Promotion of the three R's: Reduce, Reuse and Recycle.*
2. *Implementation of more precise sorting of waste metal, paper, wood and plastic, making possible waste material sale or conversion into refuse-derived fuel (RDF).*
3. *Recycling of machining sludge into cement material and material for copper refining.*

<sup>22</sup> [www.web-japan.org/trends00/honbun/](http://www.web-japan.org/trends00/honbun/)

4. *Utilization of crushers and pulverizers to minimize waste sizes and store space requirements, while reducing the number of transport vehicles necessary.*

*Nikon defines zero emissions as "landfill amounting to less than 1% of the total amount of waste generated". Under the Nikon Environmental Action Plan, we established as a priority goal the achievement of zero-emission systems at all manufacturing sites in fiscal 2005, and have been working to reduce waste and promote recycling through a variety of programmes. As a result, we were able to achieve our goal well in advance of our original target date. Nikon's total waste output for fiscal 2005 was about 3,000 tons, with a landfill rate of only 0.47%, representing a significant improvement from fiscal 2001.*

*In the Nikon Group, a zero-emission system was attained at Nikon Sendai in February 2002, followed by the Mito Plant in September of the same year. By fiscal 2003, the Ohi, Yokohama, Sagamihara and Kumagaya plants had also achieved zero emissions. In fiscal 2004, Tochigi Nikon and Kurobane Nikon completed their zero-emission systems, and Mito Nikon and Zao Nikon also completed in fiscal 2005.*

***Definition of zero emissions:***

*Less than 1% of total waste output is disposed of as landfill. Note that this excludes sewerage, household effluent and industrial waste water.*

Einer ähnlichen Definition folgt die Asahi Brauerei, die 1996 ihre erste Produktionsstätte in Ibaraki auf Zero Waste umstellte. Ihr folgten alle vier japanischen Großbrauereien mit ihren 37 Produktionsstätten<sup>23</sup>.

**Eliminating plant waste to keep the Earth clean**

*"Zero emissions" means eliminating waste completely by using the waste from one industry as a raw material in another. First put forth by the United Nations University in 1994, it is a concept that aims to reduce waste and byproducts from industry as a whole to an absolute minimum.*

*In November 1996, Asahi Breweries attained the goal of zero emissions at its plant in Ibaraki, which is very close to Tokyo. In November 1998, the company attained the zero-emissions goal at all of its plants. And this does not only mean that all industrial wastes produced at its plants are recycled, but that all types of waste, including ordinary items such as used fluorescent light bulbs and paper waste generated in offices, are recycled as well.*

*For years, Asahi had been making efforts to reuse industrial wastes, including using excess yeast in pharmaceuticals and foods-after processing it at pharmaceutical and food plants-and reprocessing cans. Through these efforts it had achieved an overall trash recycling rate of 98.5%. In order to attain the goal of zero emissions, it conducted studies to identify what plant wastes were not yet being recycled and then sought out a specialist to undertake the recycling of these wastes, by type of raw material, and contracted this work to them.*

*When processing wastes it is important to sort the wastes by type of raw material. Unless the sorting work can be performed simply, it is a meaningless effort since sorting must be performed by all employees. Asahi attained the goal of zero emissions by making the sorting process as thoroughgoing as possible by having wastes collected by type.*

*Considerable attention has been focused on environmental problems in Japan ever since December 1997, when the Third Session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP3) was held in Kyoto. In step with this, attention in Japan has come to focus on environmentally friendly zero-emission factories and now numerous factories and companies are working to achieve this goal.*

Fujitsu steckt sich Ziele, die über eine 99% Reduktion hinaus gehen.

<sup>23</sup><http://web-japan.org/atlas/technology/tec13.html>

### Fujitsu Group's zero emission concept

*Stepping up from zero emission to curbing generation, from manufacturing to non-manufacturing*

*All Fujitsu's manufacturing bases had achieved zero waste emission as of fiscal 2002. Among domestic Group companies, 3 sites had achieved zero waste emission by fiscal 2003, and our progress continues. We will promote activities aimed at reducing our waste generation volume, focusing on reexamination of packing materials in the procurement stage and improving our manufacturing processes. We have also extended the sphere of activity beyond manufacturing bases to non-manufacturing bases. The activities are directed by our own jurisdictional facilities at our nonmanufacturing bases.*

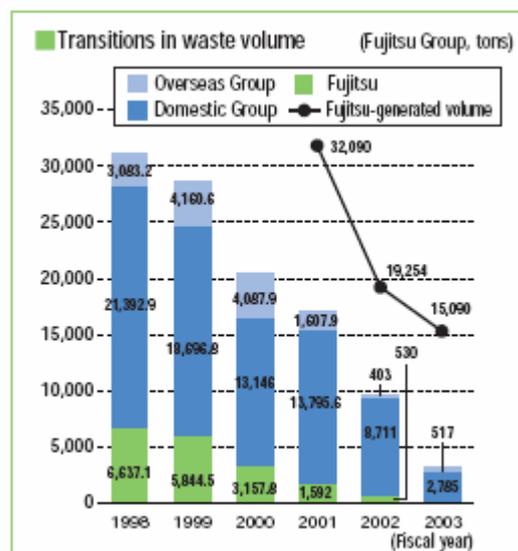
*Waste generation volume reduction*

- *Definition: Reduction of waste volume generated by sites*
- *Targeted waste: All waste (without monetary value)*

*Zero waste emission*

- *Definition: Zero landfill or simple incineration through 100% effective waste utilization*
- *Targeted waste: Sludge, waste acid/alkali, plastic waste, waste oil, metal waste, glass waste, wood waste, wastepaper, animal and plant residue (kitchen waste), purification tank sludge*

Fujitsu hat in einem fünfjährigen Programm seine Abfallmenge praktisch auf Null gebracht.



**Abbildung 6.1: Entwicklung der Abfallmengen in Betrieben von Fujitsu [Fujitsu, 2004]**

Die Konica Minolta Group in Japan hat einen zweistufigen Prozess in Richtung Zero Emissions gestartet<sup>24</sup>.

*Our zero emissions activities reflect our intention to minimize waste destined for landfill disposal, by promoting waste recycling. The Konica Minolta Group believes it essential to give proper consideration to real-world economics while reliably implementing risk management, so as to steadily continue our zero emissions activities. In our Level 1 zero emissions criteria, therefore, we include targets for recycling and final disposal (landfill) rates, as well as for cost-cutting. We have also established stricter Level 2 zero emissions criteria. To reach Level 2, we have to meet the reduction rate targets for externally discarded waste volumes, while also striving for greater reductions in cost and risk. Characteristically, Konica Minolta's zero emissions activities are integrated into management, from the perspective of both risk management and economy.*

*Level 1 criteria:*

- *Resource recovery rate: Over 90%*

<sup>24</sup> <http://konicaminolta.com/environment/activity/zeroemi/index.html>

- *Final disposal rate: Less than 5% (including secondary residue)*
- *Cost reduction: Over 90% reduction in external payments (from fiscal 1998 levels)*

Level 2 criteria:

- *Reduce volume of waste externally disposed of by 30% per sales unit (from fiscal 2001 levels)*

As a result, in fiscal 2005 the total waste volume from Group manufacturing sites worldwide was 36,330 tons, the volume of recovered resources (the volume recycled in-house and externally) was 34,750 tons and the landfill volume was 906 tons. Thus, the resource recovery rate was 95.7% and the final disposal rate (landfill rate) was 2.5%.

Total waste volume from Group manufacturing sites in Japan for fiscal 2005 was 28,403 tons, the volume of recovered resources was 27,667 tons and the landfill volume was 148 tons. Accordingly, the resource recovery rate was 97.4% and the final disposal rate (landfill rate) was 0.5%.

Panasonic wählte einen ähnlichen Ansatz<sup>25</sup>:

We started our zero emission activities in 1996. Our first effort was to change the way of thinking to all employees about the industrial waste. Members have tried persuasions many times that the industrial waste is not the waste but the resources. Since then, we have been seeking to segregate waste for complete recycling. A review of accounting documents demonstrated all such material to be recyclable. From such initial activities, we have attained 99.3% recycling rates of industrial waste in 2001, which means the achievement of "Zero Emissions" (Matsushita group consider "Zero Emissions" to imply a 98% recycling rate or above.).

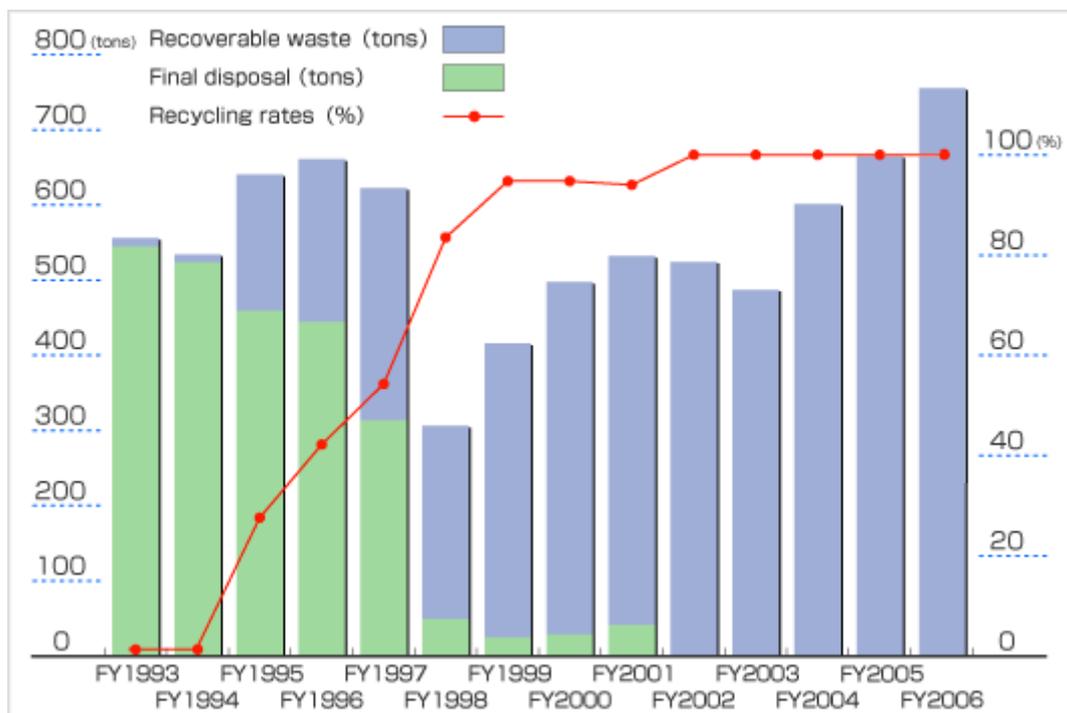


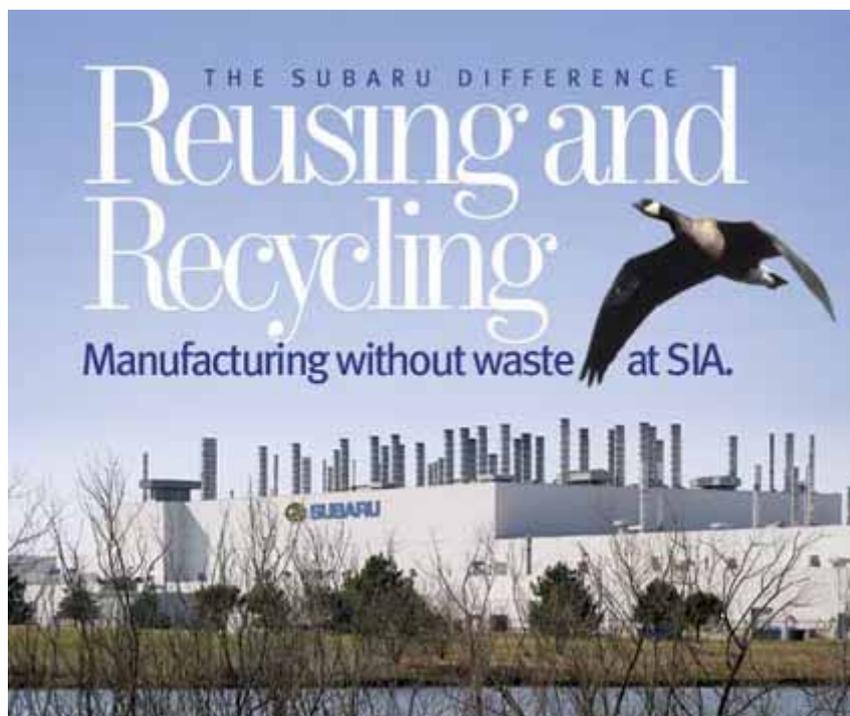
Abbildung 6.2: Recycling rates for Industrial Waste Matsumoto Plant

<sup>25</sup> [http://panasonic.co.jp/pas/environment/en/cf\\_0002.html](http://panasonic.co.jp/pas/environment/en/cf_0002.html)

**Tabelle 6.1: Entwicklung der Abfallmengen bei Panasonic**

Year	FY 1993	FY 1994	FY 1995	FY 1996	FY 1997	FY 1998	FY 1999	FY 2000	FY 2001	FY 2002	FY 2003	FY 2004	FY 2005	FY 2006
Recoverable waste (tons)	10	6	183	216	373	258	393	470	491	524	489	602	674	757
Final disposal (tons)	550	523	457	447	307	46	26	31	40	0	0	0	0	0
Recycling rates (%)	1.8	1.1	28.6	32.6	54.9	84.9	93.8	93.8	93	100	100	100	100	100

Die japanischen Firmen setzen auch in den USA ihre Zero Waste Strategien um. Subaru bekam im Oktober 2006 von der EPA den „Gold Achievement Award“ für seine Subaru of Indiana Automotive (SIA) plant in Lafayette, Indiana ([www.autobloggreen.com/2006/10/31/subaru-zero-waste-factory-wins-epa-award/](http://www.autobloggreen.com/2006/10/31/subaru-zero-waste-factory-wins-epa-award/)). Der Wahlspruch dazu lautet: „Raw materials go in, Subarus – and nothing else – come out of zero-landfill factory“. Die Anlage bringt 97% der festen Abfälle wieder in den Wirtschaftskreislauf für eine Wieder- oder Weiterverwendung. Die restlichen 3% landen in einer Verbrennungsanlage mit Wärmenutzung.

**Abbildung 6.3: Werbung von Subaru für seine abfallfreie Produktion<sup>26</sup>**

In Europa gibt erst vereinzelt Ansätze für Zero Waste Strategien in Unternehmen. Siemens / VAI sieht das Schließen interner Kreisläufe als einen der wichtigsten Aspekte ihrer Zero Waste Philosophie [Siemens/VAI, 2006].

## 6.2 Zero Waste Water

Während die Ansätze für eine abfallfreie Produktion stark auf einer unternehmensexternen Nutzung durch Recycling beruhen und nur teilweise auf produktionsintegrierter Vermeidung basieren, beruht der Ansatz zu einer abwasserfreien Produktion rein auf innerbetrieblichen

<sup>26</sup>[WWW.autobloggreen.com/2006/10/31/subaru-zero-waste-factory-wins-epa-award/](http://WWW.autobloggreen.com/2006/10/31/subaru-zero-waste-factory-wins-epa-award/)

Maßnahmen. Praktisch immer handelt es sich um eine Kombination von organisatorischen und technischen Verminderungsmaßnahmen und technischen Kreislaufschließungen.

Die abwasserfreie Produktion ist durch zwei grundsätzlich unterschiedliche Methoden erzielbar, wobei einerseits das zentrale Element der Umstieg auf ein wasserfreies Alternativverfahren ist und andererseits die Kreislaufschließung bestehender Wasserströme vorangetrieben wird. Im zweiten Fall unterscheidet man wiederum zwischen Kreislaufschließungen, die in bestehende Prozesse integriert werden, und dem Wechsel auf gekapselte Teilprozesse mit interner Kreislaufführung.

Jede Form der Kreislaufschließung von Wasserströmen ist nur über die Abtrennung von Verschmutzungen über geeignete Technologien möglich und daher stets mit der Bildung eines „neuen“ Abfallstroms verbunden. Bevor eine Kreislaufschließung implementiert wird, sind stets Wasservermeidungs- und Wassersparmaßnahmen zu setzen, um einerseits die Ressource Wasser zu schonen und andererseits die Investitionskosten für Regenerationsanlagen zu reduzieren.

Die größte Verbreitung haben Produktionsprozesse, die auf Grund einer gekapselten Prozessführung, Abwasserfreiheit erlangen. Beispiele dafür sind abwasserfreie Reinigungs-, Spül- oder Lackierverfahren. Sie sind jederzeit nachrüstbar und ersetzen bestehende Prozesse. In den meisten Fällen sind derartige Anlagen leicht handhabbar, verfügen über eine automatische Dosiervorrichtung und manuelle Entsorgung stichfester Abfälle.

Eine Kreislaufschließung, die in bestehenden Anlagen, Prozesse und Verfahren, implementiert werden soll, ist stets mit einem hohen Aufwand verbunden und schwieriger umzusetzen, als die Anschaffung gekapselter Neuanlagen. Nachteile bestehen in höheren Investitionskosten und längeren Zeiträumen zur Implementierung. Vorteile bietet die Möglichkeit auf bewährte Technologien und Prozesse zurückgreifen zu können. Weitere Gründe für den Umstieg auf eine abwasserfreie Produktion sind die Schaffung einer Unabhängigkeit äußerer Umwelt- und Politikeinflüsse, wie z.B. lange Trockenperioden, die mit einem Absenken des Grundwasserspiegels einhergehen oder Verschärfungen der Einleitbestimmungen. Zudem entfallen die Kosten für eine Abwassereinleitung (nahezu) vollständig.

Diese Vorteile führten dazu, dass in den letzten Jahren mehrere Unternehmen auf eine abwasserfreie Produktion umgestiegen sind. Beispiele sind das Volkswagenwerk Salzgitter/Deutschland<sup>27</sup>, die Vestischen Hartsteinwerke Schencking in Haltern/Deutschland<sup>28</sup>, Foster Chemicals GmbH, Jüchen/Deutschland<sup>29</sup>, VDT Vakuumdichttechnik GmbH, Leichlingen/Deutschland<sup>30</sup> oder die Malmar Werke in Gent/Desteldonk/Ost-Flandern [Danneels, 2000]. CONTAG GmbH in Berlin/Deutschland war das erste Werk weltweit, welches über eine abwasserfreie Leiterplattenproduktion verfügt<sup>31</sup>.

Weiters wurden Konzepte für die abwasserfreie Erzeugung von weiß gedeckten Wellpappenrohropapieren ohne Qualitäts- und Produktivitätsverlust oder die abwasserfreie Fischproduktion über Kreislaufanlagen erarbeitet [Dietz, 2006]<sup>32</sup>.

Das Volkswagenwerk Salzgitter war weltweit das erste Automobilwerk mit einer mechanischen Fertigung, das keine Abwässer aus der Produktion in eine Kläranlage abgibt. Mit der Umstellung auf die "abwasserfreie" Produktion werden durch die Wiederverwendung der wässrigen Phase pro Jahr rund 50.000 Kubikmeter Trinkwasser eingespart. Die Kosten für

---

<sup>27</sup> [http://www.volkswagen-umwelt.de/buster/buster.asp?i=\\_content/aktuelles\\_128.asp](http://www.volkswagen-umwelt.de/buster/buster.asp?i=_content/aktuelles_128.asp)

<sup>28</sup> [http://www.ea-nrw.de/\\_infopool/info\\_details.asp?InfoID=1769](http://www.ea-nrw.de/_infopool/info_details.asp?InfoID=1769)

<sup>29</sup> [http://www.foster-chemicals.de/unternehmen/firmengeschichte/index\\_ger.html](http://www.foster-chemicals.de/unternehmen/firmengeschichte/index_ger.html)

<sup>30</sup> <http://www.efanrw.de/?sid=285>

<sup>31</sup> [http://www.contag.de/index.php?I=Unternehmen&C=c\\_u\\_oekologie.html](http://www.contag.de/index.php?I=Unternehmen&C=c_u_oekologie.html)

<sup>32</sup> <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2004/pd04-060.htm>

Chemikalien und Trinkwasser sowie die Abwassergebühren konnten damit um jährlich 75.000 Euro gesenkt werden. Kernstück ist eine Verdampferanlage. Insgesamt wurden 4,7 Millionen Euro dafür investiert.

Das Textilwerk Kalff Vliesstoffe GmbH war in der Lage mit einem Investitionsvolumen von EUR 1.000.- sowie etwa 350 Stunden Eigenleistung eine abwasserfreie Produktion zu erreichen. Das Spülwasser wird im Kreislauf geführt, ausgeschwemmte Faserstoffe werden der Produktion wieder zugeführt [Die Effizienzagentur, 2003]. Dadurch spart KALFF rund 250 m<sup>3</sup> pro Jahr an hochbelasteten Abwässern mit einer Einsparung von etwa EUR 80.000.- pro Jahr<sup>33</sup>. Zum Erzielen einer vollkommenen Abwasserfreiheit in der Textilbranche sind vermutlich Kombinationen aus chemische, biologischen und mechanischen Wasserreinigungen erforderlich [Lee, 2001].

### 6.3 Zero Global Warming

Obwohl sowohl Masse als auch Energie einem Erhaltungssatz unterliegen, sind sie bei Betrachtungen zu Zero Emissions verschieden zu behandeln. Eine Produktion ohne Energieeinsatz ist unmöglich, daher hat sich der Zero Emissions Ansatz auf die Wirkung der Emissionen zu beschränken. Im Sinne der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes sind neben toxischen Emissionen aus den Feuerungsanlagen, besonders die treibhauswirksamen Gase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) zu beachten. Eine Umstellung der betrieblichen Energieversorgung auf erneuerbare Energien ist somit ein unverzichtbarer Aspekt eines Zero Emissions Ansatzes.

Betriebliche Nutzungen von erneuerbaren Energien sind auf mehreren Ebenen möglich:

- Biomasse in Verbrennungsanlagen als Ersatz fossiler Energieträger ohne Umstellung des Wärmeversorgungssystems mit oder ohne Wärme-Kraft - Koppelung
- Solarwärme im Niedertemperaturbereich
- Biogas aus eigenen oder zugekauften biogenen Abfällen
- Windenergie und Photovoltaik für Elektrizität

Viele alte Industriestandorte in Österreich wurden ursprünglich an Flüssen angesiedelt, um die Wasserkraft nutzen zu können. Hier liegt ein weiteres Potential durch die Revitalisierung der alten Anlagen.

Wesentlich ist eine Erhöhung der Energieeffizienz als Beitrag zu Zero Emissions aus der Sicht der treibhauswirksamen Gase [Schnitzer, 2006].

### 6.4 Zero Waste im kommunalen Bereich

Eine rasch wachsende Anzahl von Städten und Regionen verschreibt sich dem Zero Waste Ansatz. Die ersten Ansätze kommen aus Australien und Neuseeland; Nord Amerika folgt rasch ([www.zerowasteamerica.org](http://www.zerowasteamerica.org)), europäische Kommunen hinken eher nach. Canberra, die Hauptstadt Australiens, übernahm das „Zero Waste“ Programm 1996 mit dem Zieljahr 2010.

- Neuseeland hat 2002 als erstes Land der Welt einen nationalen „Zero Waste Plan“ angenommen. 38 der 74 lokalen Regierungen haben bis 2003 die Ziele übernommen [Snow & Dickinson, 2003]
- Toronto declares Zero Waste: Toronto, die größte Stadt Kanadas hat sich mit dem Zieljahr 2010 zu Zero Waste bekannt [Disero, 2006]

---

<sup>33</sup> [http://www.pius-info.de/dokumente/docdir/efa/proj\\_in\\_untern/EFA\\_1204\\_RKB\\_117\\_Kalff.html](http://www.pius-info.de/dokumente/docdir/efa/proj_in_untern/EFA_1204_RKB_117_Kalff.html)

- City of Palo Alto veröffentlicht im Oktober 2005 einen „Zero Waste Strategic Plan“ mit dem Ziel 2025 Zero Waste im ganzen Bundesstaat Kalifornien umzusetzen [Liss, 2005].
- City of Oakland publiziert 2006 den “Strategic Plan To Achieve The City Council Goal Of Zero Waste By 2020” [City of Oakland, 2006]

Besonders der Plan aus Oakland stellt die Vielfältigkeit des notwendigen Ansatzes dar (Abbildung 6.4). Kommunale und regionale Zero Emissions Pläne binden zwangsläufig auch Unternehmungen in das Zero Emissions Konzept ein.



Abbildung 6.4: Aspekte des Zero Emissions Planes von Oakland [City of Oakland, 2006]

## 6.5 Biobasierte Zero Emissions Systeme

Um Stoffströme im Kreislauf halten zu können ist es auf überbetrieblicher Ebene notwendig, auch die Ressourcen aus nachwachsenden Rohstoffen zu gewinnen. Hierzu braucht man im Rahmen einer „biobased economy“ Bioraffinerien (Abbildung 6.5), in denen sowohl Chemikalien, Werkstoffe, Energieträger als auch Energie gewonnen werden. Die Rohstoffe für solche Bioraffinerien sind vielfältig wie auch die Produkte (Abbildung 6.6).

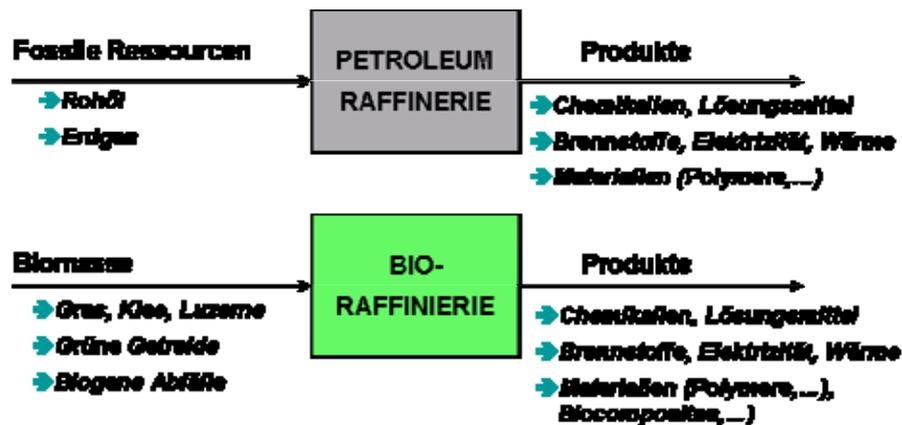


Abbildung 6.5: Prinzip einer Bio-Raffinerie

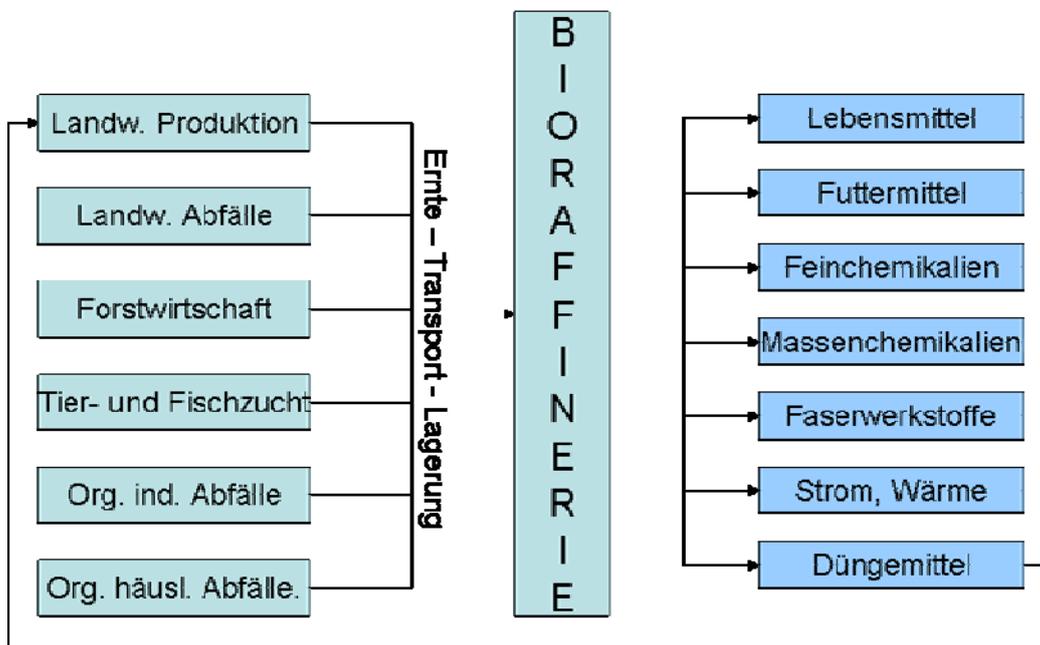


Abbildung 6.6: Mögliche Rohstoffe und Produkte von Bio-Raffinerien

Bei den Einsatzstoffen kann es sich sowohl um spezifische landwirtschaftliche Kulturen handeln, als auch um Reststoffe von Land- und Forstwirtschaft oder um biogene Abfälle aus Industrie und Haushalten.

Entsprechend werden derzeit vier Arten der Bio-Raffinerie behandelt:

- Grüne Bio-Raffinerie auf der Basis von frischen, grünen Pflanzen
- Bio-Raffinerien auf Basis Holz und Zellulosehaltiger Pflanzen
- Bio-Raffinerien zur Nutzung von Ganzpflanzen
- Bio-Raffinerien auf Basis getrennter Nutzung von Früchten (Zucker, Stärke) und der Pflanzenmasse (Fasern,...)

Das Zero Emissions Konzept der Bio-Raffinerien beinhaltet in Erweiterung der biogenen Rohstoffe abfall- und emissionsfreie Verfahren (Gravitis, 1999; Ometto, 2006).

## 7 Mögliche Anwendungsgebiete für „Zero Emissions“

Bei der Umsetzung von Maßnahmen sollte stets die Reihenfolge Vermeiden – Verringern – Verwerten eingehalten werden, wobei die Implementierung sowohl technisch als auch organisatorisch erfolgen kann.

In einem ersten Schritt muss daher versucht werden eine bestehende Emission am Ort der Entstehung zu vermeiden. Dies kann z.B. durch eine Prozess- oder Verfahrensoptimierung, eine Änderung im Prozess oder eine Substitution eines Inhaltsstoffes erfolgen. Oftmals ist es möglich mit einfachen Mitteln eine Vermeidung zu erreichen, woraus sich der Vorteil ergibt, dass die Emission nicht in einem späteren Schritt aufwendig behandelt werden muss. Die Kosten für die Vermeidung sind oft geringer als die nachträgliche Behandlung des Abfalls. Beispiele sind das Abdecken eines Wasserbades zur Vermeidung der Verdunstungsverluste oder die Substitution von FCKWs durch alternative Stoffe.

Ist eine vollständige Vermeidung technisch oder organisatorisch nicht möglich, muss in einem nächsten Schritt versucht werden, die Emission zu verringern. Auch derartige Maßnahmen sollten am Ort der Entstehung umgesetzt werden, um zusätzliche Kosten, z.B. Transport in Rohrleitungen oder Personalkosten beim Handling, zu minimieren. Die Investitionskosten für Anlagen zur Behandlung des Abfalls sind umso kleiner, je geringer der Mengenstrom ist. Aus diesem Grund ist es das Ziel den anfallenden Strom auf sein notwendiges Minimum zu reduzieren.

Abfälle, die nicht vermieden werden können und deren Reduktion an ein technisches oder betriebswirtschaftlich sinnvolles Maximum gestoßen sind, müssen verwertet werden. Um eine stoffliche Verwertung, z.B. durch Rückführung der beinhaltenen Stoffe (Kreislaufschließung) oder mehrfache Nutzung (Kaskadierung), zu ermöglichen, ist es zweckmäßig Monoabfälle zu produzieren. Darunter versteht man Stoffströme, die eine hohe Konzentration eines Inhaltsstoffes aufweisen, entgegen geringer Konzentrationen mehrerer unterschiedlicher Stoffe. Die Produktion sekundär verwertbarer Rohstoffe wird erleichtert, wenn Stoffströme nicht vermischt, sondern getrennt behandelt werden. Ist eine stoffliche Verwertung nicht möglich, stellt die thermische Nutzung die letzte Alternative zur Deponierung dar.

Wie bereits erwähnt wurde kann Zero Emissions sowohl im Einzelunternehmen, als auch im Unternehmensverbund oder einer Region erreicht werden. Dabei unterscheidet sich die sowohl die technische Ausprägung als auch Vorgehensweise zur Umsetzung. Im Folgenden sollen diese Unterschiede im Einzelnen erläutert werden.

### 7.1 Einzelunternehmen

Der Schwerpunkt in der Umsetzung von Zero Emissions in einem Einzelunternehmen liegt auf technischen Maßnahmen zur Reduktion von Emissionen und der Behandlung von Abfallströmen. Organisatorische Maßnahmen treten in den Hintergrund.

Ein Einzelunternehmen, das Zero Emissions umsetzt, entspricht in seinem äußeren Erscheinungsbild einer „autarken Unternehmensinsel“, wobei lediglich der Verbrauch in der Produktion „nachgeschärft“ bzw. ersetzt werden muss. Es steht mit seiner Umwelt durch die Belieferung mit Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie diverser Energieträger und der Auslieferung fertiger Produkte in Wechselwirkung. Negative Auswirkungen auf die ökologische und soziale Umwelt treten nicht auf. Dies ist nur möglich, wenn das Unternehmen einer abgeschlossenen Insel entspricht.

Der Grund dafür, dass vorrangig technische Maßnahmen Anwendung finden, liegt in der Tatsache, dass in Einzelunternehmen verhältnismäßig kleine Stoff- und Energieströme auftreten. Da keine Emissionsströme das Unternehmen verlassen, beschränken sich organisatorische

Maßnahmen auf eine Optimierung des internen Materialhandlings, der (Zwischen)Lagerung und auf weitere abfalllogistische Fragestellungen. Da keine störenden Emissionen auftreten, erübrigt sich eine abfallrelevante Kommunikation mit externen Gruppen, wie z.B. Anrainern, Entsorgungsunternehmen oder Behörden.

Für ein Einzelunternehmens, das es sich zum Ziel gesetzt hat, Zero Emissions umzusetzen, ist es von essentieller Bedeutung alle Abfallströme in verwertbare Roh-, Hilfs-, Betriebsstoffe oder Energie umzuwandeln. Neben Methoden, wie z.B. *Good Housekeeping* und *Cleaner Production*, die dazu dienen die Ströme zu vermeiden oder verringern, liegt ein Schwerpunkt vor allem auf der Optimierung des internen Recyclings. Für eine Verbesserung der Produktion von Sekundärrohstoffen, ist es notwendig die Stoffströme bewusst nicht zu vermischen, um Verunreinigungen, die mit erhöhtem Reinigungsbedarf und damit Kosten verbunden ist, zu vermeiden.

Die Verringerung der Anzahl der eingesetzten Chemikalien fördert die Möglichkeit des internen Recyclings, wie sie z.B. durch modular aufgebaute Betriebsstoffe, erreicht werden kann. Dabei werden für einen Prozess baukastenartig in jedem Prozessschritt dieselben Chemikalien, allerdings in entsprechenden anderen Konzentrationen eingesetzt. Weiters erfolgt im Zuge eines internen Recyclingschritts die Rückgewinnung aller eingesetzten Chemikalien – sowie ev. div. Roh- und Hilfsstoffe. Die Bestimmung der Konzentrationen der einzelnen Stoffe im rückgeführten Strom ermöglicht die zielgerichtete Dosierung fehlender Komponenten. Dadurch wird einerseits die Ressourceneffizienz erhöht und andererseits der Wirkungsfaktor des internen Recyclings erhöht.

Das Recycling von Stoff- oder Energieströmen kann entweder für einzelne Prozessschritte oder mehrere Teilprozesse erfolgen. Ein Beispiel für ein gezieltes Recycling eines Prozesses ist z.B. der Einsatz gekapselter Anlagen zur Entfettung von Metalloberflächen auf Basis chlorierter Kohlenwasserstoffe. In diesem Fall werden die FCKWs vollständig im Kreis gefahren und lediglich kleine Verluste nachdosiert. Die kontinuierliche Regeneration und somit Kreislaufschließung jedes einzelnen Prozessschrittes ist mit sehr großen Investitionskosten verbunden und deswegen in den seltensten umzusetzen. Ein Vorteil liegt allerdings in der Möglichkeit der Auswahl der optimierten Technologie für den entsprechenden Prozess, womit der Wirkungsgrad der einzelnen Regeneratoren erhöht wird.

Der Einsatz von Regeneratoren für mehrere Prozessschritte ist vor allem dann möglich, wenn dieselben Stoffe eingesetzt werden, wie es bereits zuvor beschrieben wurde. Wenn allerdings verschiedene Chemikalien und Lösungsmittel eingesetzt und gemischt werden, ist dies kaum möglich bzw. sehr aufwendig, z.B. Säuren und Laugen.

Es muss das Ziel sein, Stoffe nach Möglichkeit in ihrem Urzustand zu regenerieren und rück zu führen. Dies ist nahe am Prozess einfacher als nach der abgeschlossenen Produktion, da es sehr schwer sein kann, Teile fertiger Produkte in den Prozess rückzuführen. Die Rückführung von Halbprodukten bzw. die von Begleitstoffe, Lösungsmitteln ist meistens wesentlich einfacher. So ist es z.B. einfacher reinen Stahl vor einer eventuellen Oberflächenbehandlung wieder als Rohstoff einzusetzen als danach. Die Verunreinigungen durch andere Metalle, z.B. Zink bei verzinkten Blechen, kann die Kosten einer Rückführung wesentlich erhöhen bzw. unmöglich machen. Ein weiteres Beispiel ist der Schnittverlust bei Textilwaren, der kaum eine interne Verwendung finden. Hingegen kann die Rückführung von Wasser, Säuren, Laugen, Tensiden, Farbstoffen oder Metallionen möglich sein.

Die Vor- und Nachteile in der Umsetzung von Zero Emissions in Einzelbetrieben gegenüber Industriekomplexen oder Regionen sind zusammengefasst die Folgenden:

- Die Stoff- und Energieströme, die rückgeführt werden können bzw. müssen, sind in Einzelunternehmen kleiner, wodurch die Investitionskosten für Behandlungsanlagen

geringer sind. Maßnahmen zur Vermeidung von Emissionen sind am effektivsten, wenn sie produktionsintegriert umgesetzt werden.

- Da Maßnahmen zum internen Recycling nahe am Prozess getroffen und die Regeneration im Urzustand der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe erfolgen kann, kann die Regeneration eine höhere Effizienz aufweisen, als z.B. in einem Entsorgungsunternehmen, in welchem alle Stoffströme gemischt vorliegen. Zudem fallen keine Transportkosten zu Dritten an.
- Die Entscheidung in einem Einzelunternehmen fällt meist schneller, da keine Absprachen getroffen oder Verträge geschlossen werden müssen.
- Die Investitionskosten für einzelne Anlagen sind zwar geringer, als in einem Industriekomplex oder einer Region, da die Ströme kleiner sind, der Investitionsbedarf kann allerdings die wirtschaftlichen Fähigkeiten eines Einzelunternehmens übersteigen. Fehlendes Fachpersonal in der Technologiewahl führt dazu, dass externe Fachleute hinzugezogen werden müssen, wodurch die Kosten erhöht werden. Die Bedienung der Anlagen muss oft auch von geschultem Personal durchgeführt werden, welches nicht vorhanden ist. Dadurch fallen entweder Schulungskosten oder ein erhöhter Investitionsbedarf durch die Anschaffung vollautomatischer Anlagen an.
- Abfälle, die spät in der Produktion anfallen, sind oft intern nicht zu recyceln, wodurch die Umsetzung von Zero Emissions für Einzelunternehmen oft sehr schwer ist.

## 7.2 Industrieparks und Unternehmenscluster

Durch den Zusammenschluss von Einzelunternehmen zu einem Park oder Cluster<sup>34</sup> wird der Handlungsspielraum bei der Verminderung oder Verwertung von Emissionen dadurch erhöht, dass technische, organisatorische und logistische Vorteile der teilnehmenden Einzelunternehmen im Rahmen einer Kooperation gezielt genutzt werden können, um gemeinsam effektiver und kostengünstiger Zero Emissions zu erreichen. Es ist nicht das Ziel ein einzelnes Unternehmen, sondern den Unternehmensverbund emissionsfrei zu machen. Die Gewichtung der Maßnahmen verändert sich von technischen zu Gunsten organisatorischer.

Dabei liegen einerseits entscheidende Vorteile der Kooperation darin, dass einzelne Emissionsströme von einem anderen Unternehmen übernommen und dort behandelt werden können sowie weiters in einer Kostenreduktion für Investitionen durch die Ausnutzung des Economy of Scale bei Behandlungsanlagen für ähnliche Emissionen in verschiedenen Einzelunternehmen. Andererseits kann das Fachwissen einzelner Mitarbeiter für Fragestellungen in anderen Unternehmen genutzt bzw. z.B. Fachpersonal unternehmensübergreifend beschäftigt werden. Es ist nicht das Ziel des Zusammenschlusses Emissionsprobleme an andere Unternehmen zu outsourcen und auf diese Weise Kosten zu reduzieren bzw. sich eines Problems zu entledigen.

Es ist wichtig festzustellen, dass der Schwerpunkt der Maßnahmen nach wie vor auf der Vermeidung und Verringerung von Emissionen liegt und derartige Maßnahmen umso effektiver sind, je näher am Prozess sie implementiert werden. Die produktionsintegrierte Umsetzung technischer Maßnahmen findet daher im Einzelunternehmen statt, weshalb die Bedeutung des Einzelunternehmens in der Erreichung von Zero Emissions unverändert groß ist. Nach Ausnutzung aller technischen Möglichkeiten zur Vermeidung und Verringerung im Einzelunternehmen, können sowohl technische als organisatorische Maßnahmen in Kooperation mit anderen Unternehmen durchgeführt werden.

---

<sup>34</sup> Industrieparks sind Unternehmenscluster in räumlicher Nähe

Um eine Verringerung von Emissionen unternehmensübergreifend durchzuführen, gelten dieselben Grundsätze, wie für ein Einzelunternehmen und beinhalten vor allem die Mehrfachnutzung sowie Kreislaufschließung von Stoff- und Energieströmen.

Oft fallen in Unternehmen Stoff- oder Energieströme an, die intern nicht mehrfach genutzt werden können sowie keinen externen Nutzer finden, jedoch ein großes Potential zur weiteren Verwendung aufweisen. Die Gründe könnend dabei eine mangelnde Notwendigkeit oder zu hohe Kosten auf Grund der großen Distanz zu potentiellen Abnehmern sein. Derartige Ströme können in einem Unternehmensverbund von anderen Betrieben, die sich im Park in unmittelbarer Nähe befinden, genutzt werden. Die Möglichkeiten umfasst dabei vor allem die Nutzung von Prozess- und Kühlwässern z.B. als Wasser für Reinigungszwecke, zur Bewässerung von Grünanlagen oder zur Straßenreinigung. Ströme mit hoher Energiedichte, deren Nutzung im Einzelunternehmen nicht möglich ist, können im Park z.B. zur Raumheizung oder Prozessstromvorwärmung in anderen Firmen genutzt werden.

Eine Kreislaufschließung mit integrierter Regeneration des Stroms ist nur möglich, wenn mehrere Unternehmen dieselben Roh-, Hilfs- oder Betriebsstoffe verwenden sowie bei Energieströmen. Wenn die Unternehmen im Park reine Produktionsbetriebe sind, wobei die Versorgung mit Inputströmen zu nahezu 100% extern erfolgt, bietet die Schaffung einer zentralen Regeneration sowie einer Ringleitung zu den Unternehmen, die diese Stoff benötigen, eine Möglichkeit der Kreislaufschließung. Dadurch können Kostenvorteile auf Grund verhältnismäßig geringerer Investitionskosten größerer Anlagen für die Einzelunternehmen (Economy of Scale) generieren werden. Eine zentrale Kühlanlage, die kontinuierliche Regeneration von Säuren, Laugen, Lösungsmitteln oder Wasser stellen Möglichkeiten dar. Die Anlagen müssen in Bezug auf den Volumenstrom und die Konzentrationen möglichst variabel ausgeführt und über ein weites Spektrum einsetzbar sein, da der Wegfall eines Abnehmers oder eine geplante Produktionssteigerung bei einem Unternehmen zu mittelfristig stark wechselnden Anforderungen führen können. Durch den Einsatz modular aufgebauter Systeme kann dem Rechnung getragen werden.

Im Einzelunternehmen führte internes Recycling dazu, dass keine Stoffströme die Unternehmensgrenze überschreiten, die eine negative Auswirkung auf die Umwelt haben. Dadurch boten sich kaum Möglichkeiten der Verwertung von Emissionen. Durch die Erweiterung der Grenzen im Park auf andere Unternehmen bietet sich nun die Möglichkeit, dass Recycling über die Unternehmensgrenze hinaus, noch immer als „internes Recycling“ angesehen werden kann. Die Behandlung im Unternehmen kann entfallen oder beschränkt sich auf eine Aufbereitung, um gewisse Standards als Sekundärrohstoff einzuhalten.

Vor allem Industrieparks, die einen Fokus auf eine Branche aufweisen, z.B. Metallverarbeitende- oder Lebensmittelindustrie, profitieren davon. So besteht die Möglichkeit für ein Metall bearbeitendes Unternehmen, z.B. eine Gießerei, seine Eisen- oder Aluminiumabfälle im Park zu recyceln und Zero Emissions anzustreben. Für eine Gießerei als Einzelunternehmen ist dies kaum möglich.

Im Bereich der Lebensmittelindustrie sind Kooperationsmöglichkeiten mehrfach gegeben. So können Produktionsabfälle, wie z.B. Schalen und Kerne oder minderwertige Fleischabfälle, als Rohstoff für die Gewinnung von Vitaminen, Geschmacksstoffen oder Aminosäuren dienen. Neben dieser stofflichen Verwertung bietet sich die Möglichkeit der thermischen Nutzung über z.B. eine Biogasanlage, die den Park mit Strom und Wärme versorgt.

Durch die Umsetzung von Zero Emissions in einem Park oder Cluster ergeben sich neben direkten technischen Maßnahmen im Einzelunternehmen Vorteile weitere organisatorische und betriebswirtschaftliche durch die Kooperation mit anderen Unternehmen.

Wie bereits erwähnt wurde, bietet sich die Möglichkeit Investitionen unter den beteiligten Firmen aufzuteilen, wodurch sich Anteilskosten für die Einzelunternehmen reduzieren. Zudem können logistische Vorteile genutzt werden, wie z.B. ein gemeinsamer Fuhrpark, oder (Zwischen)Lagerflächen. Es ergeben sich Vorteile im Einkauf durch größere Abnahmemengen und dadurch erhaltene Preisnachlässe. Consultingdienstleistungen und Fachpersonal können zentral in Auftrag gegeben werden, wodurch ebenfalls die anteiligen Kosten sinken.

Um eine möglichst effiziente Nutzung von Sekundärrohstoffen und eine weitgehende Schließung von Stoff- und Energiekreisläufen bzw. deren Mehrfachnutzung effizient umzusetzen, müssen diese Maßnahmen und jene in den Einzelunternehmen aufeinander abgestimmt sein. Dies wird durch ein zentrales Management am einfachsten gewährleistet. Das Parkmanagement übernimmt dabei eine neutrale Rolle, die dazu dient die Kommunikation zwischen den Unternehmen zu verbessern und neue Firmen für den Standort zu gewinnen. Personalintensive- und Supportaufgaben werden als Dienstleistung für die Unternehmen im Park übernommen, wie z.B. Sicherheit oder Analysen. Ein weiterer Schwerpunkt des Parkmanagements liegt in der Übernahme der Abfalllogistik und -behandlung. Abfälle werden dabei zentral gesammelt und entsprechend ihrer Zusammensetzung und Mengen behandelt, verwertet oder entsorgt. Dies stellt den Grundstein für eine effektive Nutzung und die Basis für die Erreichung von Zero Emissions dar. Jedoch müssen entgegen der jetzigen Praxis Maßnahmen der Sammlung und Behandlung bzw. Entsorgung auf Parkebene mit Maßnahmen im Einzelunternehmen abgestimmt werden, da ansonsten die Gefahr besteht unbeabsichtigt gegeneinander, contraproduktiv vorzugehen. So kann z.B. die Substitution einer Chemikalie wesentliche Vorteile für das Einzelunternehmen auf dem Weg zu Zero Emissions bieten, jedoch negative Auswirkungen auf die Möglichkeiten einer stofflichen Verwertung der Restabfälle auf Parkebene aufweisen. Weiters kann z.B. durch eine interne Kreislaufschließung ein Strom derart verringert werden, dass eine Mehrfachnutzung in einem anderen Unternehmen nicht mehr sinnvoll ist, welches sich dann selbst versorgen muss. Addiert man die beiden Ströme können diese deutlich größer sein, als es bei einer Mehrfachnutzung der Fall wäre.

Vor allem potentielle Probleme einer sowohl qualitativen als auch quantitativen Versorgungssicherheit erschweren die Umsetzung intensiver Kooperationen zwischen Unternehmen mit dem Ziel einer Emissionsreduktion. Unternehmen wollen weiters nicht ihre Eigenständigkeit verlieren bzw. sich in ihrer Entscheidungsfreiheit einschränken lassen. Diesen Vorbehalten kann mit Regelungen und Verträgen entgegengewirkt werden. Die beste Absicherung ist jedoch gegenseitiges Vertrauen und eine offene Kommunikation, wie dies auch in der Fachliteratur bestätigt wird.

Um die Übervorteilung oder Benachteiligung eines Unternehmens in dem Kooperationsnetzwerk möglichst auszuschließen, bietet sich ein Parkmanagement als neutraler Vermittler ideal an, da dieses nicht das Ziel einer eigenen Gewinnmaximierung, sondern der Maximierung des Erfolgs der Einzelunternehmen hat. Somit ist auch das Parkmanagement ideal dafür geeignet Zero Emissions in einem Park oder Cluster voranzutreiben und umzusetzen.

### **7.3 Region**

Die Erreichung von Zero Emissions in einem Einzelunternehmen oder einem Park bzw. Cluster entspricht der Umsetzung in einem verhältnismäßig kleinräumigen Bereich. Dieser Raum wird durch die Erweiterung auf eine Region deutlich ausgeweitet. Die Anzahl der Firmen und potentieller Partner vergrößert sich in einer Region (gegenüber einem Park), wodurch die Chance der technischen Umsetzung erhöht wird. Gleichzeitig führt die Erweiterung zu Schwierigkeiten, wie z.B. einer Verlängerung der Transportwege oder einer Erhöhung des Kommunikationsaufwands, wodurch Zero Emissions eventuell nicht mehr betriebswirtschaftlich sinnvoll implementiert werden kann.

In der Umsetzung von Zero Emissions spielt das Einzelunternehmen weiterhin als Verursacher der Emissionen die entscheidende Rolle, wobei produktionsintegrierte Maßnahmen auf Prozessebene und technische sowie organisatorische Maßnahmen im Unternehmen die größte Bedeutung haben. Auf regionaler Ebene treten technische Fragestellungen allerdings in den Hintergrund und die Bedeutung organisatorischer Maßnahmen nimmt deutlich zu.

Es gelten für die Region, wie auch für den Park und das Einzelunternehmen grundsätzlich die gleichen Prinzipien, wie z.B. die Kreislaufschließung bzw. Mehrfachnutzung von Rohstoffen. Durch die größere Anzahl an potentiellen Kooperationspartnern, die alle unterschiedliche Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe mit unterschiedlicher Qualität und Quantität benötigen, sinkt jedoch die strikte Notwendigkeit des Vermischungsgebots der Stoffströme.

Eine separate Behandlung der Stoffströme ohne vorherige Vermischung erleichtert das Potential eines internen Recyclings für ein Einzelunternehmen. Auf dies wurde bereits zuvor hingewiesen. Die Erhöhung der Anzahl von Firmen durch die Erweiterung auf eine Region führt zur Steigerung der Bedeutung des externen Recyclings bzw. Upsizings. Es besteht eine weitaus größere Wahrscheinlichkeit, dass Abfallströme als Sekundärrohstoff in einem anderen Unternehmen eingesetzt werden können. Die Zusammensetzung und Menge muss dabei im Einzelfall betrachtet werden, da Substanzen, die für ein Unternehmen als Störstoffe gelten, in einem Unternehmen eventuell keine Probleme verursachen. In den meisten Fällen ist eine vorhergehende Aufbereitung zur Einhaltung gewisser Mindeststandards jedoch zwingend erforderlich. Der Wert des Abfallstroms entscheidet dabei, ob sich ein Unternehmen grundsätzlich ein internes oder externes Recycling bevorzugt bzw. es überhaupt sinnvoll ist einen Stoffstrom extern zu recyceln. Ströme, die Stoffe mit geringem und sehr hohem Wert beinhalten, werden eher innerbetrieblich aufbereitet, jene „mittlerer“ Preislage extern. Im Fall geringerer Stoffkosten überwiegen die Transportkosten und ein externes Recycling wird zu teuer. Außerdem werden wertvolle Stoffströme, z.B. Edelmetalle oder teure Katalysatoren, weitgehend intern behandelt. Eine Vorbehandlung und externes Recyclings sind bei vielen Stoffen oft kostengünstiger als die Aufbereitung auf Ausgangszustandsqualität für ein internes Recycling. Das eine externe Behandlung in vielen Fällen kostengünstiger als eine innerbetriebliche Aufbereitung ist, zeigt sich in der Tatsache, dass viele Unternehmen auf die Dienste externer Entsorgungsunternehmen zurückgreifen.

Die weitergehende externe Nutzung eines Abfallstroms erfolgt entweder direkt oder indirekt. Wird ein Strom innerbetrieblich derart aufbereitet, dass dieser in einem anderen Unternehmen als Rohstoff eingesetzt werden kann, spricht man von einer direkten Nutzung. Bei einer Aufbereitung durch einen Dritten, z.B. einen Rohstoffproduzenten oder einem Entsorgungsunternehmen, spricht man von indirekter Nutzung. Der Vorteil eines direkten Einsatzes liegt in der Minimierung des Transportaufwands und der Aufbereitungskosten. Dadurch wird der Sekundärrohstoff kostengünstiger und die Wahrscheinlichkeit eines Einsatzes steigt. Als Nachteil muss eine potentielle mindere Qualität angeführt werden.

Ein externer Dritter kann jedoch verschiedene, chemisch ähnliche, Abfallströme mehrerer Unternehmen entgegennehmen, wodurch sich die spezifischen Investitionskosten für Behandlungsanlagen reduzieren. Dies ist heute die Rolle der Entsorgungsunternehmen, die sich jedoch dahingehend verändern müssen, dass die stoffliche Verwertung und die Wiedereingliederung der Sekundärrohstoffe in den Wirtschaftskreislauf entgegen einer Endlagerung im Vordergrund stehen.

Neben dem betriebswirtschaftlichen Vorteil des Economy of Scale sind die Zwischenlagerung und Homogenisierung einzelner Abfallfraktionen, um die Behandlung zu erleichtern, der Aufbau bzw. die Nutzung von Expertenwissen und Fachkräften sowie eine aufgebaute Sammel- und Behandlungslogistik von Vorteil. Ein Nachteil einer zentralen Entsorgungslogistik sind die erhöhten Transportkosten für Abfälle und Sekundärrohstoffe.

Die Erweiterung auf eine Region bietet die Möglichkeit öffentliche Partner, wie z.B. Gemeinden, Schulen, Freizeitanlagen in das Netzwerk einzubinden. Vor allem die Abwärme aus Industriebetrieben kann dort genutzt werden, indem entweder eine Einspeisung in ein Fernwärmenetz, die Umwandlung in Strom und dessen Einspeisung in das öffentliche Netz, oder die direkte Beheizung einzelner Gebäude stattfindet. Die Nähe der Anlage bzw. die durch die Distanz entstehenden Verluste sowie die zur Verfügung stehende Nutzenergie, bezogen auf die maximale Energieentnahme, sind die wichtigsten Parameter, die über eine derartige Umsetzung entscheiden.

Eine Stärke der regionalen Ausprägung ist die hohe Anzahl der zur Verfügung stehenden Partner. Wenn ein Partner als Abnehmer eines Abfallstroms oder Lieferant für einen (Sekundär)Roh-, Hilfs- oder Betriebsstoff ausfällt, durch z.B. Betriebsschließung, Produktumstellung oder Kapazitätsreduktion, besteht eine größere Wahrscheinlichkeit, dass ein anderes Unternehmen die frei gewordene Position übernimmt als in einem Park. Vor allem eine große Anzahl von KMUs, die sich schnell auf neue Vorgaben und Lieferbestimmungen einstellen, stellt eine Stabilisierung des Netzwerkes dar. Dadurch erhöht sich die Attraktivität der Umsetzung von Zero Emissions, gleichzeitig aber der organisatorische Aufwand, vor allem der Kommunikationsaufwand. Es ist zudem eine gute Kenntnis der in der Region vorkommenden Partner notwendig. Unternehmen sind in den seltensten Fällen bereit Informationen über Abfallströme oder Prozesse, die Menge, Inhaltsstoffe und Konzentrationen, weiterzugeben. Deshalb ist die Erstellung einer derartigen datenbankähnlichen Struktur sehr schwierig. Ähnlich einem Parkmanagement kann die Schaffung eines neutral agierenden Vermittlers und Koordinators hilfreich sein, die Hürde des Misstrauens und die Angst vor dem Verlust von Unternehmens Know-How zu überwinden. Dabei sind Kommunikation und Vertrauensbildung die vornehmlichste Aufgabe in der Schaffung eines regionalen Zero Emissions Netzwerkes.

Ein weiterer Nachteil sind die langen Zeiträume, die auf dem Weg zur Entscheidungsfindung und Umsetzung vergehen. Es muss ein Konsens über die Vorgehensweise herrschen, da ansonsten die Gefahr eines Zusammenbruchs des Netzwerkes besteht. Ein großer Teil der technischen Maßnahmen wird im Einzelunternehmen umgesetzt. Dabei erfolgen die Implementierungen allerdings in Abstimmung mit anderen Unternehmen des Netzwerkes, da diese von der Qualität und Quantität der Umsetzung abhängig sein können, z.B. der Verfügbarkeit eines Sekundärrohstoffs. Durch diese Abhängigkeit wird die tatsächliche Erreichung von Zero Emissions hinausgezögert und es bedarf langwieriger Verhandlungen zwischen den einzelnen Partnern. In einem Einzelunternehmen können Entscheidungen hingegen schnell getroffen werden, da diese lediglich das Unternehmen selbst und keine externen Dritten betreffen.

Die Stabilität des Netzwerkes wird somit durch den Nachteil einer langwierigen Umsetzungsphase erkauft.

## 8 Hilfsmittel zur Umsetzung von Zero Emissions

### 8.1 Environmental Management Accounting

Die Umweltkostenrechnung stellt die Verknüpfung technischer und betriebswirtschaftlicher Daten eines Unternehmens dar, mit deren Hilfe jene Medien, Anlagen und Kostenkategorien identifiziert werden können, die für die meisten umweltrelevanten Kosten verantwortlich sind. Dadurch wird einer Firma die Möglichkeit eröffnet, gezielt dort Maßnahmen zur Optimierung und Umweltschutzverbesserung zu setzen, wo diese den höchsten betriebswirtschaftlichen Nutzen erzielen.

Environmental Management Accounting (EMA) [Jasch, 2001; Jasch, 2002] dient dabei als Werkzeug, um Schwächen im Unternehmen zu erkennen. Durch die Verknüpfung technischer und betriebswirtschaftlicher Daten wird neben Stoff- und Energieströmen die neue Ebene der Kostenströme generiert. Es wird schnell ersichtlich in welchen Bereichen einer Firma hohe Kostenströme bewegt werden. Somit dient EMA – als eine Art der Kostenrechnung – als internes Informationsinstrument. Es erfordert deshalb sowohl gezielte Prozesskenntnis als auch eine gut aufbereitete Datengrundlage und schärft durch diese detaillierte Betrachtung das Bewusstsein für umweltrelevante Kosten im Unternehmen. Die Kosten, die während der Produktion von Abfällen anfallen, werden dabei den drei nachfolgend aufgelisteten Kategorien zugeordnet:

- Abschreibungen für umweltrelevante Anlagen und Kosten für deren Betrieb (inkl. allen Materials und Personals, das dafür nötig ist)
- Kosten für Material, das nicht in ein Produkt umgewandelt wurde (alle Verluste an Roh-, Hilfs-, und Betriebsmitteln, Ausschussware) und
- Anteilige Kosten für die Nutzung der Anlagen zur Erzeugung des Nicht-Produkt- Outputs (NPO) und den anteiligen Personaleinsatz

Folgende Kosten werden dabei erfasst:

1. von Anlagen, die zur Gänze oder zum Teil aus umweltrelevanten Gründen angeschafft wurden,
2. von Materialien, die nicht in das eigentliche Produkt eingegangen sind, und
3. von Personal und Geldmittel für die Vorsorge und das Handling unerwünschter Produkte (Emissionen, Abfälle)

Die Zuordnung der Kosten nach vorgegebenen Kostenstellen erfolgt detailliert zu den einzelnen Prozessen. Die Positionen des Kostenerfassungsbogens, sind im Folgenden kurz beschrieben:

#### Abfall und Emissionsbehandlung

Zu den Umweltkosten zählen Abschreibungen von Anlagen, die umweltrelevant sind (Anlagen des Umweltschutzes; anteilsweise Anlagen, die aus Umweltgründen teurer ausgeführt wurden; Kosten von Anlagen bei NON-BAT Technologien<sup>35</sup>), die zugehörigen Instandhaltungskosten, Personalkosten, sowie Steuern, Gebühren und Abgaben. Ebenso müssen bei diesen Anlagen die Positionen Strafen und Kompensationsleistungen, Versicherungen gegen Umweltschäden und Risiken sowie Rückstellungen für Sanierung, Rekultivierung etc. berücksichtigt werden.

#### Vorsorge und Umweltmanagement

Neben den Kosten der umweltrelevanten Anlagen sind auch Kosten der Vorsorge und des Umweltmanagements mit einzubeziehen. Dazu gehören externe Dienstleistungen für das

---

<sup>35</sup> Das sind Anlagen, die unnötiger Weise Emissionen verursachen und Rohstoffe nicht ausreichend nutzen

Umweltmanagement, interner Personalaufwand für Umweltschutz, Forschung und Entwicklung, Zusatzkosten für integrierte Technologien oder andere Umweltmanagementkosten.

#### Materialeinkaufswert des NPO (Non Product Outputs)

Der dritte zu erfassende Punkt sind die Kosten des Materialeinkaufswertes des „Nicht Produkt Outputs“. Dazu zählen all jene Materialkosten, die mit dem Abfall, das heißt als Nicht-Produkte, den Betrieb verlassen. Hier werden die Positionen Rohstoffe, Verpackungsmaterial, Hilfsmittel, Betriebsmittel, Energie und Wasser betrachtet.

#### Herstellungskosten des NPO (Non Product Outputs)

Als Herstellungskosten können die Kosten der Prozesse erfasst werden, die zur Entstehung der Abfälle und Emissionen beitragen. Inwieweit diese Prozesskosten dem Non Product Output zugerechnet werden können, liegt in der Abschätzung der (Firmen)Experten. Die gesamten Herstellungskosten, beispielsweise Energiekosten, werden in einen Anteil für die Produkt-erstellung und einen Kostenanteil für die Nicht-Produkt-Erstellung (Abfall, Emissionen) geteilt.

#### Umwelterträge

Schließlich dürfen auch Umwelterträge, wie etwa Erträge verkaufter NPOs usw., als positive Werte in diese Berechnung einfließen.

in EURO		Übersicht über die Umweltkosten in €									
Umweltmedien	Luft + Klima	Abwasser	Abfall	Boden, Grundwasser	Lärm + Vibration, Strahlung	Biodiversität + Landschaftspflege	Sonstige	Summe	Vermeidungs- potential in %		
<b>Umweltkosten-/aufwandskategorien</b>											
<b>1. Abfall- und Emissionsbehandlung</b>											
1.1. Abschreibung für zugeh. Anlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2. Instandhaltung und Betriebsmittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3. zugehöriger Personalaufwand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.4. Steuern, Gebühren, abgaben	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5. Strafen und Kompensationsleist.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.6. Vers. g.U. Schäden + –risiken	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.7. Rst.f. Sanierung, Rekultivierung, etc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>2. Vorsorge und Umweltmanagement</b>											
2.1. Externe Dienstleistungen f. UM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.2. Intern. Personalaufw. Allg.U.-schutz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.3. Forschung und Entwicklung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.4. Zusatzko f.integr. Technologien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5. Andere Umweltmanagernerkosten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>3. Materialeinkaufswert des NPO</b>											
3.1. Rohstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2. Verpackungsmaterial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.3. Hilfsstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.4. Betriebsmittel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5. Energie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.6. Wasser	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>4. Herstellungskosten des NPO</b>											
<b>Summe Umweltaufwendungen/-kosten</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>5. Umwelterträge</b>											
5.1. Subvent. Invest.ko-zusch. Preise	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.2. Andere Erträge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Summe Umwelterträge/-erlöse</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Saldo Kosten/Erträge</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Abbildung 8.1: Erfassungsmatrix für EMA Workshops [Jasch, 2001]

Ergebnisse:

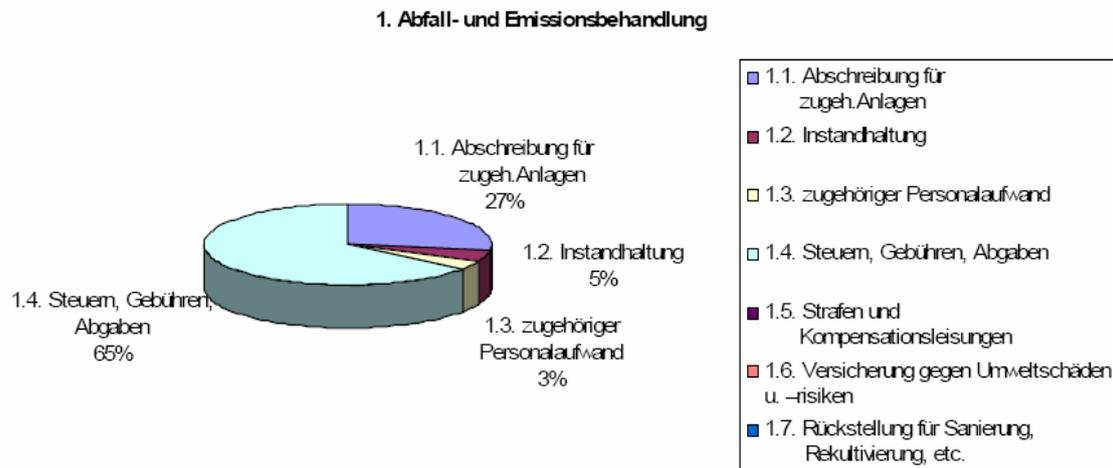
Als Ergebnis einer EMA-Analyse erhält man eine Zuordnung, der im Unternehmen anfallenden Kosten, nach Medium und Kostenkategorie, wie es in der nachfolgenden Abbildung dargestellt ist.

Umweltmedien	Luft + Klima	Abwasser	Abfall	Lärm + Vibration, §	Summe
<b>Umweltkosten- /aufwandskategorien</b>					
<b>1. Abfall- und Emissionsbehandlung</b>					
1.1. Abschreibung für zugeh.Anlagen	0	4	0	0	4
1.2. Instandhaltung und Betriebsmittel	1	0	0		1
1.3. zugehöriger Personalaufwand		1			1
1.4. Steuern, Gebühren, Abgaben		10	0		11
1.5. Strafen und Kompensationsleist.					
1.6. Vers. g.U.schäden + –risiken					
1.7. Rst.f. Sanierung, Rekultivierung, etc.					
<b>2. Vorsorge und Umweltmanagement</b>					
2.1. Externe Dienstleistungen f. UM	0	0			0
2.2. Intern. Personalaufw. Allg.U-schutz					
2.3. Forschung und Entwicklung					
2.4. Zusatzko f.integr.Technologien					
2.5. Andere Umweltmanagementkosten			4		4
<b>3. Materialeinkaufswert des NPO</b>					
3.1. Rohstoffe		0	21		21
3.2. Verpackungsmaterial			18		18
3.3. Hilfsstoffe					
3.4. Betriebsmittel			13		13
3.5. Energie	20	4			25
3.6. Wasser		3			3
<b>4. Herstellungskosten des NPO</b>					
<b>Summe Umweltaufwendungen/-kosten</b>	21	35	43	0	100
<b>5. Umwelterträge</b>					
5.1. Subvent. Invest.ko-zusch. Preise					
5.2. Andere Erträge					
<b>Summe Umwelterträge/-erlöse</b>					
<b>Saldo Kosten/Erträge</b>	<b>21,1</b>	<b>35,5</b>	<b>43,4</b>	<b>0</b>	<b>100</b>

Abbildung 8.2: Ergebnis-Sheet EMA-Workshop: Fallstudie Eybl International AG [Slawitsch, 2005]

Das Medium „Abfall“ (fester Abfall) wird in diesem Fallbeispiel mit 43,4% aller anfallenden umweltrelevanten Kosten als bedeutendster Kostenfaktor identifiziert. Der Erkenntnisgewinn, den man dadurch erhält, ist das Wissen in welchem Medium Maßnahmen am effektivsten eingesetzt werden können, um die Kosten zu reduzieren.

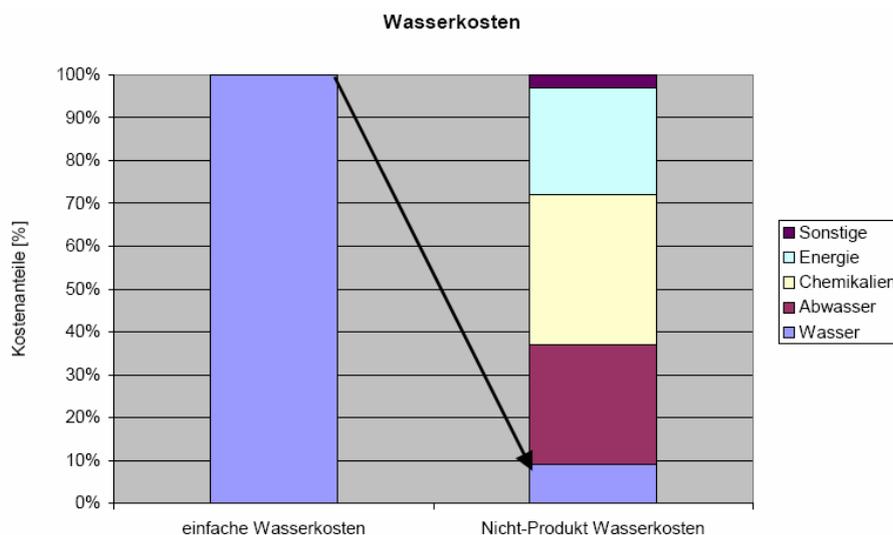
Durch die nähere Betrachtung der einzelnen Umweltkostenkategorien erkennt man zudem, wofür diese Kosten aufgewendet werden müssen.



**Abbildung 8.3: Aufteilung der wahren Kosten für die Abfall- und Emissionsbehandlung [Slawitsch, 2005a]**

Am Beispiel „Abfall- und Emissionsbehandlung“ wird ersichtlich, dass Steuern, Gebühren und Abgaben in diesem Unternehmen die Kosten dominieren. Weder Instandhaltung noch Personalkosten für umweltrelevante Anlagen sind annähernd so hoch, wie jene für diverse Abgaben.

Auf Basis der ermittelten Daten können weitergehende detaillierte Fragestellungen beantwortet werden, wie z.B. die Frage nach den „wahren“ Abwasserkosten (vgl. auch [Taferner, 2004]). Abwasserkosten beinhalten neben Entsorgungskosten, auch die Kosten für den Frischwassereinsatz, die Aufbereitung des Wassers, die eingesetzte Energie, Chemikalien und Hilfsmittel etc.. Natürlich ist das Wasser dennoch notwendiges Einsatzprodukt, man erkennt aber den relativen Wert des produzierten Abwassers und eventuelle Ansatzpunkte für Optimierungen. Die folgende Abbildung zeigt so eine Berechnung der Abwasserkosten für eine Waschmaschine in einem Textilbetrieb [Slawitsch, 2005].



**Abbildung 8.4: Aufteilung der wahren Wasserkosten [Slawitsch 2005]**

Der Kostenblock „Chemikalien“ ist in diesem Fallbeispiel der höchste. Für Maßnahmen, die das Ziel einer Kostenreduktion der Abwasserkosten haben, ist es somit sinnvoll zu versuchen, den Aufwand an Chemikalien zu reduzieren, da ein größerer Hebel als z.B. bei Energiekosten zur Verfügung steht.

Es ist an Hand der anschaulichen Ergebnisse zu erkennen, dass eine EMA Analyse den wesentlichen Vorteil bietet, Stoff- und Energieströme mit Kosten zu kombinieren und dadurch Kostenströme zu generieren. Umweltrelevante Maßnahmen können dadurch leichter an jenen Stellen im Unternehmen gesetzt werden, an denen sie den größten finanziellen Vorteil bringen. Zudem wird der betriebswirtschaftliche Nutzen technischer und/oder organisatorischer Maßnahmen ersichtlich und eine Argumentationsgrundlage für kostenintensive Optimierungsmaßnahmen geschaffen.

## 8.2 Technologiedatenbank

Im Zuge des Projektes wurde mit der Entwicklung eines Tools begonnen, das zur raschen Entscheidungsfindung bei der Auswahl der geeigneten Behandlungsverfahren für Prozessabwässer dient. Dieses Tool in Form einer Matrix soll den Anwender darin unterstützen das beste Verfahren in Bezug auf Abtrennbarkeit von definierten Inhaltsstoffen und Wassereffizienz zu finden. Die Basis dieses Systems ist eine Datenbank, die sämtliche verfügbare Informationen der aufgelisteten Trenntechnologien enthält. Ausgehend von diesen Daten wird über ein Abfragesystem eine Analyse von Prozesswässern (verfahrenstechnisch, chemisch) im Hinblick auf ihre Trennbarkeit entwickelt.

Die einzelnen Trenntechnologien werden in die Zeilen der Matrix geschrieben und nach Selektivität der Methode, Arbeitsweise und Material weiter unterteilt. Zum Beispiel unterscheidet man bei der Membranfiltration zwischen Mikrofiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration, und Umkehrosmose. Die Membranen besitzen unterschiedliche Porengrößen und können beginnend bei der Mikrofiltration immer kleinere Partikel abscheiden. Die nächste Unterteilung wird als die Arbeitsweise bezeichnet. Hier unterscheidet man zwischen Rohr- und Plattenmodulen. Schließlich ist noch das Membranmaterial von Bedeutung, das je nach Anforderung (z.B. Resistenz gegen bestimmte Inhaltsstoffe) ausgewählt werden kann.

Für diese Trennoperationen wurden einerseits im Zuge einer Literaturrecherche die wichtigsten Parameter recherchiert und andererseits in Laborversuchen wichtige Kenngrößen ermittelt. Ein Ausschnitt der Trenntechnologien mittels Membranen ist in Abbildung 8.5 dargestellt.

Für die gleichen Prozesse werden parallel auch Laborversuche durchgeführt, mit Ausnahme der Zentrifuge, da ein Scale-up von einer Laborzentrifuge auf eine großtechnische Anlage nicht möglich ist. Die Umdrehungsgeschwindigkeiten sind bei Laboranlagen viel höher und in den meisten Fällen besitzen große Anlagen einen Klassierer, d.h. die Schleuderschleuderzahl wird von Stufe zu Stufe immer höher, wodurch der Klassiereffekt entsteht.

## Membrantrennverfahren

		Testsubstanzen	pH-Wert		Temperatur °C		Molekulargewicht (kDa)	Fluxrate (l/m <sup>2</sup> h)	Material	Druck (bar)	Temperatur (°C)
			min	max	min	max					
Mikrofiltration (MF)											
	Plattenmodule										
		XF357									
	Rohrmodule										
Ultrafiltration (UF)											
	Flachmembran										
		Nadir FM U1G1	0	14			95	10	permanent hydrophilisiertes Polyethersulfon		
		PVP 12 PE (2%)						>150	3	20	
		PVP K17 (2%)						>150	3	20	
		Nadir FM U1H1	0	14			95	20	permanent hydrophilisiertes Polyethersulfon		
		PVP K30 (2%)						>200	3	20	
		β-Lactoglobulin (0,05%)						>200	3	20	
		Nadir UF-PES-030H	0	14			95	30	permanent hydrophilisiertes Polyethersulfon		
		PVP K30 (2%)						>100	3	20	
		Dextran T500 (0,05%)						>100	3	20	
		β-Lactoglobulin (0,05%)						>100	3	20	

Abbildung 8.5: Ausschnitt aus der Tabelle „Membrantrennverfahren“

Die Ergebnisse von Laborversuchen fließen ebenfalls in die Datenbank ein. Gleichzeitig kann mit Hilfe der Versuche überprüft werden ob die Parameter und die Inhaltsstoffe, die zuvor aus der Literatur herausgefiltert wurden, tatsächlich den Trennvorgang beeinflussen bzw. limitieren.

Von folgenden Branchen standen Abwasserproben zur Verfügung:

- Textilindustrie
- Getränkehersteller
- Metallverarbeitende Industrie

In einem nächsten Schritt wurden die Eigenschaften und die Inhaltsstoffe von Abwässern, die die Separation beeinflussen herausgefiltert, wie z.B. pH-Wert, Temperatur, Öle, Phenole, Feststoffkonzentration, Anionen und Kationen.

Die Parameter der Trennprozesse und des Abwassers werden in die Spalten der Matrix eingetragen. Die verschiedenen Membranen, Ionentauscher oder Verdampfer haben einen unterschiedlichen Arbeitsbereich. Die Membranen arbeiten bei unterschiedlichen pH-Werten und Temperaturen und Ionentauscherharze können nur bestimmte Ionenarten austauschen. Deshalb wird zum Beispiel für den pH-Wert, oder die Temperatur ein Minimum und ein Maximum in die Matrix eingetragen.

Die vorher beschriebenen Parameter werden für eine zu reinigende Flüssigkeit (zB Prozesswasser) in einem eigenen Tabellenblatt eingetragen.

3						
4	Abwasserparameter	Temperatur suchen				
5						
6						
7		Wert		Einheiten	Reduktion AUF erforderlich	Einheiten
8						
9		pH Wert	1,7	-		
10		Temperatur	20	°C		
11		CSB	13500	mg/l	10	%
12		BSB5		mg/l	20	mg/l
13		IC		mg/l		mg/l
14		TOC		mg/l		mg/l
15		Leitfähigkeit		µS/cm		µS/cm
16		Molekulargewicht		kDa		kDa
17		AOX		mg/l Chlorid		mg/l Chlorid
18		CN		mg/l		mg/l
19		LSKW		µg/l		µg/l
20		Dichte		kg/m³		kg/m³
21		Phenol-Index		mg/l		mg/l
22		Öle	Auswahl	-		-
23	Feststoffe	Korngröße		µm		µm
24		Feststoffkonzentration		%		%
25						
26						
27						
28	Anorganische Stoffe					
29		Kationen (mg/l)	Fe			
30			Cu			
31			Pb			
32			Zn			
33		Anionen (mg/l)	Cl			
34			NO3			
35			SO4			
36						

Abbildung 8.6: Technologiedatenbank: Eingabe-Sheet

Anschließend wird die Abfrage gestartet und das Programm (in Excel VBA) vergleicht nun die eingetragenen Werte mit den zuvor definierten Werten der Matrix. Liegt nun zum Beispiel der pH-Wert des Abwassers in dem definierten pH-Bereich einer bestimmten Membran, so bekommt dieses Membranverfahren für den pH-Wert einen grünen Punkt. Liegt der Wert knapp außerhalb des Bereiches zwischen Minimum und Maximum erhält der Prozess einen gelben Punkt und einen roten wenn der Wert weit außerhalb liegt. Analog erfolgt die Abfrage für die anderen Parameter.

The screenshot shows a spreadsheet with columns A through AX. Column A is 'Verfahrensgruppe', B is 'Untergruppe', C is 'Bauform', and D is 'Bezeichnung der Einheit'. Columns AA through AX are labeled 'Kationen (mg/l)' and contain various chemical symbols like Ca, Cr, Cu, Ni, Pb, etc. The rows list different treatment processes such as 'Anionentauscher', 'Kationentauscher', and 'Vorfiltration'. Each cell in the matrix is colored either green or red, representing the compatibility of the process with the specific ion.

Abbildung 8.7: Technologiedatenbank: Auswahlverfahren

Die Verfahren werden nun nach der Anzahl der grünen Felder gereiht. Das Verfahren mit der größten Anzahl an grünen Feldern sollte das Beste für die Behandlung des entsprechenden Abwassers sein.

The screenshot shows a spreadsheet with columns A through O. Column A is 'Verfahrensgruppe', B is 'Untergruppe', C is 'Bauform', and D is 'Bezeichnung der Einheit'. Columns E through O are labeled with various parameters: 'pH-Wert', 'Temperatur [°C]', 'CSB', 'BSEs', 'IC', 'TOC', 'Leitfähigkeit', 'Molekulargewicht', and 'ADX'. The rows list different treatment processes. Each cell in the matrix is colored either green or red, representing the compatibility of the process with the specific parameter.

Abbildung 8.8: Technologiedatenbank: Ordnung nach Priorität

Die Matrix ist so aufgebaut, dass sie ohne Schwierigkeiten erweitert werden kann, denn vor allem auf dem Sektor der Membranfiltration hat es in den letzten Jahren viele neue Entwicklungen gegeben. Diese Entwicklungen betreffen weniger die Arbeitsweise sondern vor allem die Membranmaterialien.

Eine schnelle und trotzdem sichere Prozesswasserklassifizierung hinsichtlich der anzuwendenden Trennoperationen ist das angestrebte Ergebnis des Arbeitspakets, für das eine Diplomarbeit vergeben wurde. Die Klassifizierung soll soweit wie möglich nur auf solchen Daten basieren, die aufgrund allgemeiner, bekannter Prozessparameter der Branche, des Einzelprozesses und schnell zu messenden Parametern verfügbar sind. Die Beurteilung der Prozesswässer soll aufgrund von hier zu entwickelnden Schnelltests passieren, die die bekannten Daten ergänzen bzw. verifizieren können.

Insgesamt soll die Datenerhebung eine Know-how-Basis für weitere wissenschaftliche Arbeiten und Analysen sein, um eine zielsichere Analyse von Prozesswässern in verfahrenstechnischer, chemischer und biologischer Hinsicht zu ermöglichen. Im Hinblick auf die Minimierung der Prozesswässer, Kreislaufführung und Cleaner Production-Technologien soll so eine Wahl der richtigen Verfahren ermöglicht werden, welche sich nicht auf die geeigneten Verfahren zur Behandlung eines bestimmten Abwasserstromes beschränkt, sondern auch eine Optimierung in umwelttechnischer Hinsicht darstellt. Behandlungsverfahren, die einen hohen Abscheidegrad erzielen, sind nur dann nachhaltig und effizient, wenn sie keine End-of-Pipe-Technologie darstellen.

Die Prozesswasserklassifizierung soll nach Fertigstellung der Abfrage Teil des Expertensystems werden und die derzeitige Abfrage nach passenden Trennoperationen ergänzen.

### 8.3 Laboranlage

Zur prinzipiellen Überprüfung der Trennbarkeit von Prozesswässern im Sinne einer Kreislaufführung wurden die relevanten Wässer in Labor- und Technikumsanlagen untersucht. Die Anlagen stehen um Laborzentrum des JOANNEUM RESEARCH in Graz.

Die geplanten Laborversuche zur Trennbarkeit von Industrieabwässern im Rahmen des Projekts ZERIA III wurden mit Prozesswässern von Betrieben aus den Branchen

- Metallverarbeitende Industrie (Galvanikanlage)
- Lebensmittelindustrie und
- Textilindustrie

durchgeführt werden.

Die chemischen Zusammenhänge in der Textilindustrie, vornehmlich das Gleichgewicht und Reaktionsverhalten zwischen Tensiden (Waschmittel) und Schmutzfracht (z.B. Präparationen) stellten sich auf Grund der Vielzahl der unterschiedlichen Stoffe als zu aufwendig und kostspielig heraus. Dieses bedarf weitergehender Analysen, wie z.B. chromatographischer Verfahren, welche mit den zur Verfügung stehenden Mitteln in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht mit ausreichender Genauigkeit untersucht werden konnten. Aus diesem Grund konzentrierten sich die ersten Untersuchungen auf die metallverarbeitende Industrie.

Zur Analyse der Proben vor und nach den Trennversuchen stehen im Labor ein elektronisches **pH-Meter** und ein **Leitfähigkeitsmessgerät** zur Verfügung. Weitere Parameter zur Abwasseranalytik (CSB, Phosphatgehalt, Nitratgehalt etc.) werden mit einem **Spektralphotometer** bestimmt.

Bei allen Proben wurden zuerst der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit gemessen. Nach einer Vorfiltration mit einem Membranfilter wurden die Proben mit weiteren Trenntechnologien untersucht.

Die zur Verfügung stehenden Trenntechnologien sind

- Ionenaustauscher
- Membrananlagen
- Verdampfer

### 8.3.1 Ionenaustauscher



**Abbildung 8.9: Ionenaustauscheranlage für Versuche im Labormaßstab**

Die Anlage besteht aus drei Glassäulen, die mit verschiedenen Ionenaustauscherharzen gefüllt werden können. Eine Membranpumpe fördert die zu behandelnde Flüssigkeit durch alle Säulen. Je nach Anforderungen kann das zu reinigende Wasser einzelne Säulen durchlaufen, wobei die Zu- und Abläufe, sowie Hähne in der Weise angeordnet sind, dass jegliche Durchlauf-Kombinationen möglich sind (jede Säule einzeln, Säule 1+2 oder 1+3 etc.). Die Flexibilität der Anlage ermöglicht ein sehr breites Spektrum an Versuchen und verspricht eine hohe Selektivität der Ergebnisse.

Die drei oben beschriebenen Säulen können mit bis zu fünf verschiedenen Harzen gefüllt werden. Diese Harze werden einzeln und in Serie geschaltet nacheinander getestet. Bei den Harzen handelt es sich um Adsorberharze, stark- und schwachsauren Kationenaustauscher, und stark- und schwachbasischen Anionenaustauscher.

In einer ersten Versuchsreihe werden das Adsorberharz, das schwachsaure Harz und das starkbasische Harz einzeln getestet. Die erhaltenen Ergebnisse dienen als Anhalt für weitere Versuche mit Harzkombinationen.

### 8.3.2 Membranfilterzelle



**Abbildung 8.10: Membranfilterzelle für Versuche im Labormaßstab**

Die Labortrennzelle MTC ist für Mikro- und Ultrafiltration konzipiert, optional auch im Bereich der Nanofiltration. Die Flüssigkeit wird im Querstrom geführt (Cross-Flow), was eine Verblockung der Membran vor allem bei niedrigeren Trenngrenzen (Ultra-, Nanofiltration) und höheren Drücken vermindert. Die Anlage wird mit einer Membranpumpe mit bis zu 6 bar betrieben. Als Filtermaterial können nahezu alle gängigen Membranen in Form von Flachware eingesetzt werden. Unter Verwendung entsprechender Filtermaterialien können mit geringem Aufwand wesentliche Parameter für die gegebene Aufgabenstellung ermittelt werden. Die Anlage kann sowohl zur Charakterisierung der Parameter

- geeignete Filtermaterialien und
- Trenngrenze

eingesetzt werden, als auch zur Probenvorbereitung für weitere Behandlungsschritte. Die Zelle zeichnet sich neben dem breitem Leistungsspektrum durch ihre gute Reinigbarkeit, den einfachen Filterwechsel und die geringen Fördermengen (nur kleine Probenmengen sind erforderlich) aus.

Bei den Versuchen wird aus einem Vorlagebehälter wird mit der Membranpumpe das Wasser im zuvor beschriebenen Cross-Flow Verfahren über die Membran gepumpt. Das Permeat wird durch die Membran gefiltert, aufgefangen und analysiert. Das Retentat wird im Kreis geführt und fließt wieder in den Vorlagenbehälter zurück. Der Druck beträgt bis zu 6 bar.

### 8.3.3 Vakuumrotovapor



**Abbildung 8.11: Rotovapor für Verdampfungsversuch im Labormaßstab**

Die Untersuchung der Proben auf Trennbarkeit mittels Abdampfen einer Komponente wird mit einem Vakuumrotovapor durchgeführt. Eine Vakuumpumpe erzeugt einen Druck bis zu 50 mbar wodurch der Siedepunkt der Lösung herabgesetzt wird. Bei den Versuchen wurden die Sumpftemperatur und die Dauer der Destillation variiert. Dabei kann mit Hilfe des pH-Wertes und der Leitfähigkeit die Qualität der Verdampfung festgestellt werden. Zur genaueren Definition der Prozessbedingungen können chemische Analysen der Proben durchgeführt werden.

## 8.4 Aufbau mobiles Technikum im Pilotmaßstab

Zeitgleich mit dem Aufbau der Versuchsanlage im Labormaßstab wurde damit begonnen eine Technikumsanlage für Versuche im Pilotmaßstab aufzubauen. Diese besteht zum Teil aus neu errichteten Anlagenteilen, geeigneter Messtechnik und teilweise Leihanlagen von Projektpartnern. Die Anlagen wurden dabei so aufgebaut, dass sie auf so genannte Europaletten passen, um sie leicht zu den Unternehmen transportieren zu können. Bei der Auswahl der Messtechnik wurde darauf geachtet, dass die Daten über ein Datenerfassungssystem aufgezeichnet werden können, um die Auswertung schneller und effizienter durchzuführen. Die Anlage steht im Technikum des Institutes für Ressourcenschonende und Nachhaltige Techniken der Technischen Universität Graz.

Die zur Verfügung stehenden Anlagen sind:

- Anlage zum Test von geeigneten Vorfiltern und adsorptiven Filtermedien
- Ionentauscheranlage
- Membrananlage
- Korbzentrifuge
- Vakuumverdampfer

#### 8.4.1 Anlage zum Test von geeigneten Vorfiltern und adsorptiven Filtermedien:



**Abbildung 8.12 und Abbildung 8.13: Filteranlage zum Testen unterschiedlicher Vorfilter und adsorptiver Filtermedien**

Mit Hilfe dieser Anlage können folgende Filtertypen getestet werden:

- Kerzenfilter
- Beutelfilter
- Sandfilter
- Aktivkohlefilter
- Filterschläuche
- Befüllbare Filterpatronen (z.B. Kieselgur, Zeolithe,...)

Die Anlage ist so konzipiert, dass die einzelnen Filtermodule sowohl in Reihen- als auch Parallelschaltung in beliebiger Reihenfolge angefahren werden können. Dadurch ist jede Kombination von Filtermedium zu testen und es kann sehr schnell die geeignete Filterauswahl getroffen werden.

Die Anlage verfügt über Druck-, Differenzdruck- und Durchflussmessung. Weiters können sowohl Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit oder andere kompatible Sonden (z.B. Redox, Sauerstoff,...) eingesetzt werden. Es besteht die Möglichkeit der Probenahme vor und nach jedem Modul.

### 8.4.2 Ionentauscheranlage:



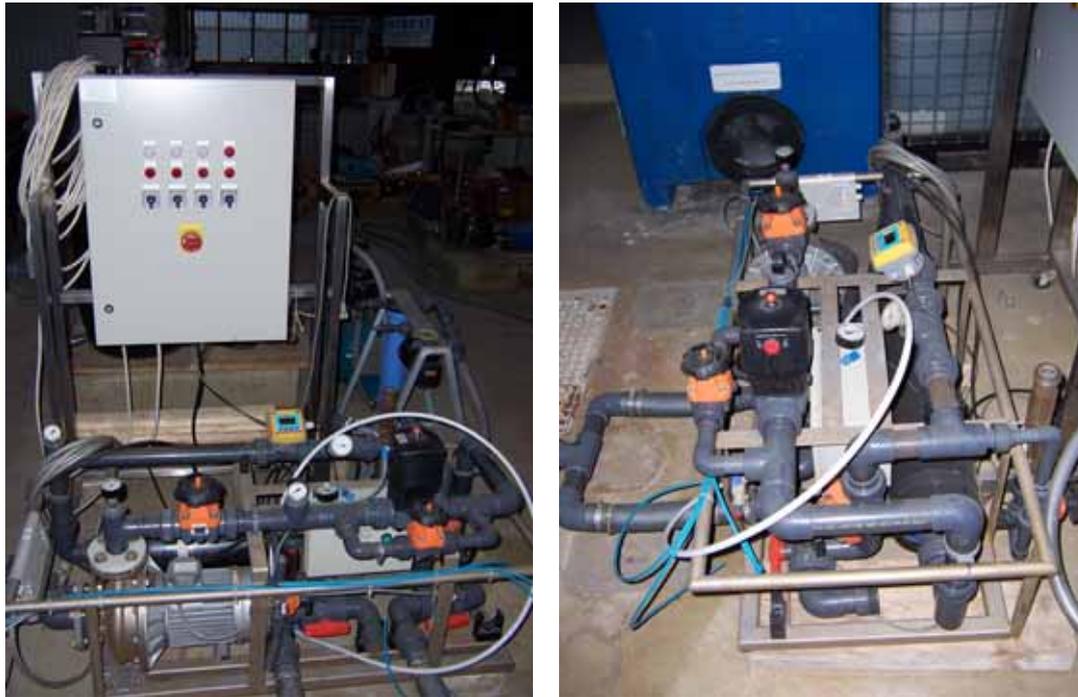
**Abbildung 8.14: Mobile Ionenaustauscheranlage**

Die Ionentauscheranlage verfügt über zwei getrennte Säulen mit einem Fassungsvermögen von jeweils 6 Litern. Die beiden Säulen können entweder in Reihe oder Parallel geschaltet werden. Die Anlage wird z.B. genutzt, um Schwermetalle aus Prozesswässern selektiv zu entfernen. Dazu ist es notwendig, dass sowohl Leitfähigkeit, als auch pH-Wert und Temperatur gemessen werden.

Um auf eine Großanlage upscalen zu können, kann eine Durchflussmessung eingebaut werden. Die genannten Parameter sind, unter Einbehaltung einer definierten Fließgeschwindigkeit in der Ionentauschersäule, und in Abhängigkeit von harzspezifischen Rahmenbedingungen, z.B. der Quellung des Harzes, geeignet, um eine Großanlage zu berechnen.

### 8.4.3 Membrananlage:

Die Membrananlage wird von einem Projektpartner zur Verfügung gestellt. Dabei stehen uns sowohl Mikro-, Ultra- als auch Nanofiltrations- und Umkehrosmoseanlagen bei Bedarf zur Verfügung.



**Abbildung 8.15 und Abbildung 8.16: Mobile Membrananlage; zur Verfügung gestellt von Rotreat Abwasserreinigungs GmbH & Co KG, Graz**

Die Abbildung zeigt eine Anlage zum Test von Mikro- und Ultrafiltrationsmembranen. Sie wurde für vier Monate für Versuchszwecke zur Reduktion der organischen Fracht im Abwasser bei Eybl International AG am Standort Krems eingesetzt.

Die Anlage kann bis zu einem Druck von 8 bar betrieben werden. Die Rückspülung erfolgt zeitgesteuert mit Permeat oder Reinigungslösung. Zur Steigerung der Effizienz des Spülvorgangs kann Druckluft eingeblasen werden.

Die Anlage kann als Durchlaufanlage verwendet werden, wobei der Feed in ein Konzentrat und ein Permeat verarbeitet wird, welche entsorgt bzw. eingeleitet werden können. Weiters kann das Konzentrat in einen Vorlagebehälter rückgeführt werden, um im Kreislauf zu fahren und eine weitere Aufkonzentration zu erzielen.

Die Anlage ist mit Durchfluss-, Druck-, Temperatur- und pH-Messung ausgestattet. Es besteht die Möglichkeit im Feed, Konzentrat und Permeat Proben für weiterführende chemische Analysen zu entnehmen.

#### 8.4.4 Korbzentrifuge

Ein Projektpartner stellt dem Projektteam bei Bedarf eine Korbzentrifuge zur Verfügung. Es wurden noch keine Großversuche mit einer Einsatzmöglichkeit für Zentrifugen durchgeführt, weshalb die Anlage noch nicht genutzt wurde.

#### 8.4.5 Vakuumverdampfer

Ein Projektpartner stellt dem Projektteam bei Bedarf einen entsprechenden Vakuumverdampfer (Durchsatz, Werkstoff) zur Verfügung. Es wurden noch keine Großversuche mit einer Einsatzmöglichkeit für Vakuumverdampfer durchgeführt, weshalb die Anlage noch nicht genutzt wurde.

#### 8.4.6 Messtechnik:

Zur kontinuierlichen Messdatenerfassung wurden zwei Messumformer (Orion On - Line Conductivity Monitor) für die Messung der Leitfähigkeit angeschafft und eine pH - Messkette mit zwei 2 - Wire Transmitter (Omega) gebaut. Leitfähigkeit und pH - Wert werden mit Sensoren, die für ein weites Spektrum von Prozesswasser geeignet sind erfasst. Mit den Leitfähigkeitsensoren ist es auch möglich die Temperatur zu bestimmen. Sensoren und Transmitter sind über ein 10 Meter langes Kabel verbunden. Die eingesetzten Messwertumformer verfügen über ein Ausgangssignal von 4 - 20 mA. Der Spannungsabfall über einen zwischen geschalteten Widerstand im Ausgangssignal wird mit einem Keithley Data Logger in definierten Zeitabständen erfasst und gespeichert. Die gespeicherten Messwerte werden über eine geeignete Software geladen und mittels Excel ausgewertet. Zur kontinuierlichen Datenerfassung für Leitfähigkeit und pH - Wert stehen außerdem zwei Handmessgeräte (WTW) zur Verfügung.



Abbildung 8.17: Messaufbau vor Ort im Einsatz

## 9 Fallstudien

Im Rahmen des Projektes wurden mehrere Fallstudien in enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern bearbeitet. Dabei war es das Ziel einerseits die Unternehmen bei der Umsetzung von Maßnahmen zu unterstützen und begleiten sowie andererseits Möglichkeiten für die Implementierung von Zero Emissions in den Firmen zu erarbeiten. Der Schwerpunkt der Kooperation mit Unternehmen lag in der Metallverarbeitenden Industrie. Weiters wurde eine Fallstudie mit einem Textilunternehmen durchgeführt. Eine Fallstudie in der Lebensmittelindustrie musste leider kurzfristig auf Grund innerbetrieblicher Probleme abgesagt werden.

### 9.1 Fallstudie Pengg

Die Joh. Pengg AG hat sich als Hersteller von Draht auf Produkte spezialisiert, die in verschiedensten Anwendungen von der Automobil-, Elektro- und Maschinenbauindustrie verarbeitet werden. Höchste Maßhaltigkeit und Präzision der mechanisch-technologischen Parameter sowie genaue Kenntnis der metallurgischen Vorgänge sind nur einige der Anforderungen, denen man sich dabei stellen muss. Als einziger österreichischer Hersteller von ölschlussvergütetem Draht hat sich die Joh. Pengg AG weltweit Anerkennung erworben. Die ständig steigenden Anforderungen an technische Drähte können nur durch ein hohes Qualitätsniveau und die beständige Verbesserung der Produktionsverfahren erfolgreich bewältigt werden. Die Zertifizierung des Qualitätsmanagementsystems sowohl nach VDA 6.1, als auch ISO 9001 zeichnet die Fa. Joh. Pengg AG als einen der führenden Drahthersteller der Welt aus. Anwendungsorientierte Entwicklung und modernste Fertigung, getragen von jahrhundertelanger Erfahrung, stellen die Basis dar, auch den Anforderungen nach QS 9000 gerecht zu werden. Die Joh. Pengg AG hat schon in vorangegangenen Projekten zur Emissionsminderung teilgenommen [Fresner, 2004; Fresner, 2006].

Die Produktion der Drähte erfolgt in mehreren Schritten, wovon drei galvanischer Natur sind und im Rahmen des Projektes analysiert wurden. Dabei handelt es sich um die Standbeize, Anlage 4 (Grobdrahtproduktion) und Anlage 1 (Feindrahtproduktion).

#### 9.1.1 Kurzbeschreibung der Prozesse

In der ersten Anlage, der Standbeize, wird der Draht in Salzsäure (HCl) gebeizt und anschließend in einer zweistufigen Kaltwasser-Fließspülenkaskade gespült. Danach folgt eine Heißwasserspülung, wonach die Drähte in ein Phosphatierbad gelangen, um dann abermals heiß gespült zu werden. Im letzten Bad erfolgt schließlich die Seifung. In der darauf folgenden Trocknung und dem Vorziehen des Drahtes folgt die Wärmebehandlung des Stahls. Dabei wird das Gefüge des Drahtes in einem Ofen bei etwa 900 °C umgewandelt, um die gewünschten Eigenschaften zu erhalten.

Der Draht wird in diesem Prozessschritt als Rolle, auf einem Gestell montiert, im Batch-Verfahren 1-schichtig durch den Prozess geführt. Der erste Schritt in der Behandlung ist ein Beizverfahren. Als Beizmedium dient Salzsäure. Die verbrauchte Beize wird aus dem Vorbeizebecken in einem Altsäuresammelbehälter gesammelt und extern entsorgt. Den Beizbädern der Standbeize wird ein Inhibitor zugesetzt. Mehrmals täglich wird dort ein Teil der Beize ausgeschleust. Die Beizen sind so ausgelegt, dass Stillstandzeiten während der Entsorgung der Altsäure vermieden werden.

Nachdem der Draht gebeizt wurde, wird er in einer 2-stufigen Fließspüle gespült. Die Fließspüle wird dabei mit Frischwasser gespeist. Die Heißwasserspüle dient als weitere Spülstufe und ist als Standspüle ausgeführt. Weiters dient sie der Erwärmung des Drahtes, damit dieser mit einer geeigneten erhöhten Temperatur in das nachfolgende Phosphatbad eingebracht wird.

Sie wird mit im Bereich 60 – 80 °C betrieben; das Becken ist nicht abgedeckt. Die Heißwasserspüle wird im Prozess mehrfach verwendet. Neben der Spülung vor dem Eintauchen in das Phosphatbad wird es auch nach dem Phosphatbad bzw. vor dem Seifenbad als Spülbad genutzt.

Als Phosphatbad dient eine herkömmliche Phosphatierung. Im Phosphatbad kommt es zum Aufbau einer Phosphatschicht auf den Draht. Diese dient einerseits als Korrosionsschutz, andererseits als Grundlage für gute Gleiteigenschaften während der weiteren Ziehprozesse. Das Bad arbeitet im selben Temperaturbereich wie die Heißwasserspüle.

Wie bereits oben erwähnt, wird der Draht nach dem Phosphatbad in der Heißwasserspüle gespült und danach in den letzten Prozessschritt der galvanischen Behandlung, das Seifenbad, eingebracht. Die Behandlungstemperatur liegt im selben Temperaturbereich wie die Heißwasserspüle bei einem basischen pH-Wert. Die Ausschleppungen aus dem Phosphatbad darf einen bestimmten Grenzwert nicht überschreiten. Die Prozesse laufen, sofern nicht anders erwähnt, bei Raumtemperatur ab.

Entgegen dem Batch-Verfahren in der Standbeize werden die weiteren beiden Anlagen als kontinuierliche Durchlaufanlage im 3-Schicht Betrieb gefahren. Dort wird, nach der thermischen Nachbehandlung des Drahtes aus der Standbeize und einem ersten Ziehprozess, der Draht abermals oberflächenbehandelt. Der Draht gelangt direkt aus der Wärmebehandlung in den galvanischen Prozess. Zunächst wird er mittels zweier Wasservorhänge abgekühlt, wobei das Wasser in diesen beiden Vorhänge im Kreislauf gefahren wird. Frischwasser wird nur zugesetzt, wenn die Temperatur zu hoch ist und die Abkühlung des Drahtes nicht mehr gewährleistet ist. Im Anschluss an die Spülbäder erfolgt das Beizen. Mehrmals täglich wird ein Teil der Beizlösung ersetzt. Die Temperatur der Beize beträgt 20 - 50 °C, die Verweildauer der Drähte hängt von der Drahtgeschwindigkeit ab. In beiden Anlagen werden keine Inhibitoren eingesetzt. Danach erfolgt das Spülen. Alle Drähte durchlaufen zunächst eine 3-stufige Fließspülkaskade, die mit Frischwasser beaufschlagt wird. Ein Teil der Drähte, abhängig vom Durchmesser, durchläuft noch eine 4. Spülstufe, die wiederum mit Frischwasser gespeist wird. Dieses Wasser wird in die 3-stufige Spülkaskade weitergeleitet.

Dem Fließbild ist zu entnehmen, dass es sich bei den Spülbädern um Kaltwasserspülen handelt. Darunter versteht man die Beaufschlagung mit „nicht vorgewärmtem“ Frischwasser. Während des Spülvorgangs kommt es allerdings zur Erwärmung der einzelnen Bäder. Im Anschluss an die Spülbäder erfolgt die Aktivierung der Drähte. Dieser Prozessschritt ist im Gegensatz zur Standbeize bei den beiden Durchlaufanlagen notwendig. Dabei wird auf die Oberfläche der Drähte ein Hilfsstoff aufgebracht, welcher die Qualität des anschließenden Phosphatierens verbessert. Nach der Aktivierung erfolgt die Behandlung im Phosphatbad. Es erfüllt denselben Zweck, wie in der Standbeize. Nach dem Phosphatbad wird der Draht in einer 1-stufigen Fließspüle mit Frischwasser gereinigt und gelangt danach in das abschließende Seifenbad. Die Anlage ist abgedeckt, um Verdunstungsverluste zu minimieren.

Auch die dritte Anlage arbeitet kontinuierlich. Zwischen diesen beiden werden die Drähte wärmebehandelt und gezogen. Die dritte Anlage entspricht in ihrem Aufbau im Wesentlichen der vorhergegangenen.

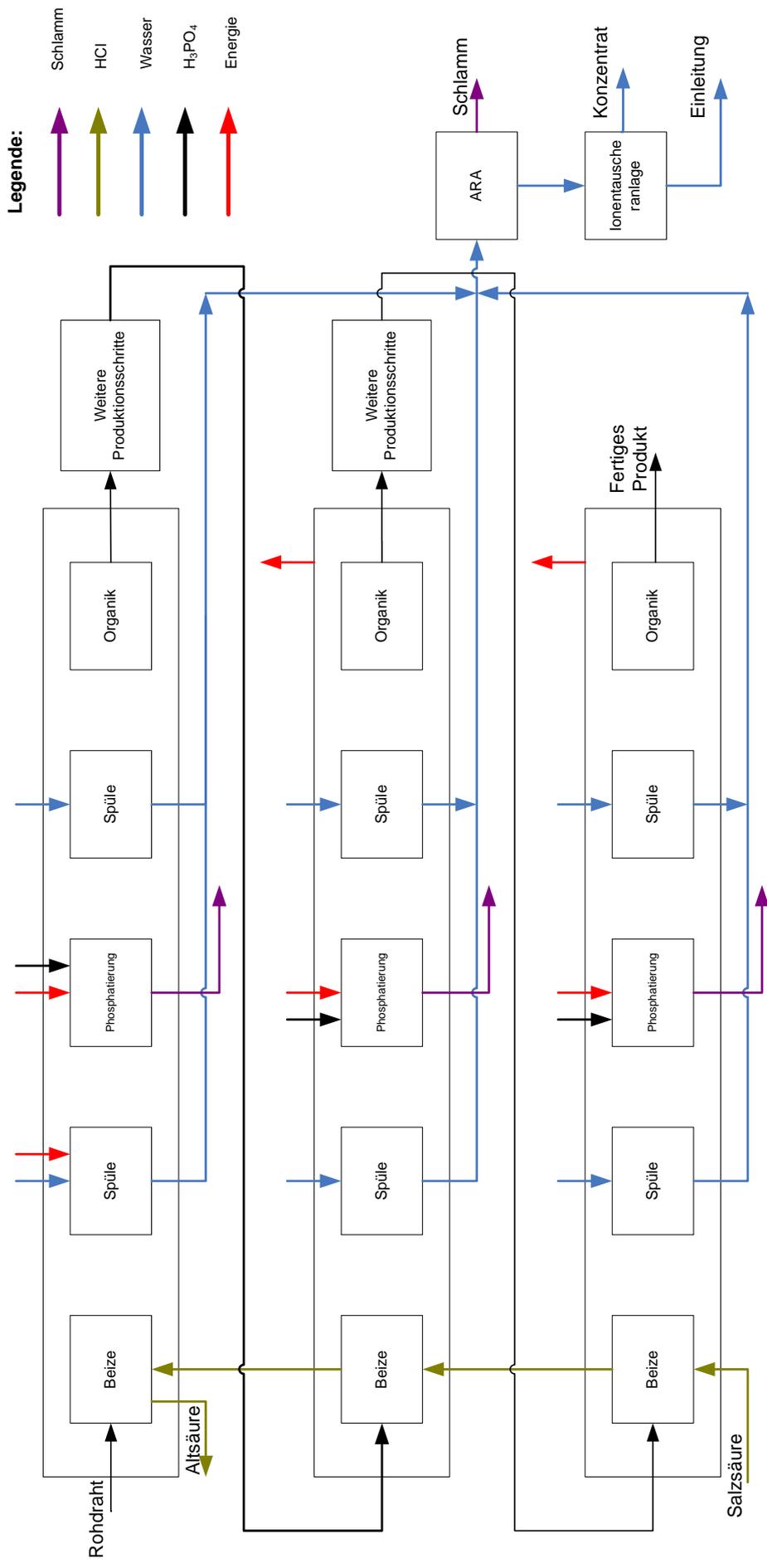


Abbildung 9.1: Fließbild Ausgangszustand Fallstudie Metall verarbeitende Industrie

## 9.1.2 Praktische Arbeiten

### **Labormaßstab:**

Da im Unternehmen bisher keinerlei Vorversuche zur kontinuierlichen Regeneration der Spül- oder Prozesswässer durchgeführt wurden, musste im Rahmen einer Serie von Laborversuchen erste Daten ermittelt werden, die im Anschluss einer Auswahl geeigneter Technologien sowie der ersten Abschätzung von Betriebsparametern dienen sollten. Dabei war es das vorrangige Ziel die Spülwassermenge so stark zu reduzieren, dass mit Hilfe betriebseigener Anlagen eine Kreislaufschließung der Prozesswässer erfolgen kann.

Es wurden neun Prozesswasserproben an verschiedenen Stellen im Unternehmen gezogen und deren Verhalten bei der Behandlung mit Ionentauscherharzen, Vakuumverdampfer und Membrantrenntechnologie untersucht.

### **Pilotmaßstab:**

Als Ergebnis der Laborversuche wurde der Einsatz von Vakuumverdampfern ausgeschlossen und jener von Membrantrennanlagen als kritisch bewertet. Einer Verwendung von Ionentauscherharzen wurde hingegen sehr positiv bewertet. Da das Unternehmen bereits über zwei Ionentauscheranlagen verfügt, wurde diese Technologie auch vom Unternehmen positiv aufgenommen.

Es war das Ziel einer Serie von Versuchen im Pilotmaßstab die Anwendbarkeit und das Langzeitverhalten der Technologien zu überprüfen und die notwendigen Daten für ein Scale Up auf eine Großanlage zu ermitteln. Der Schwerpunkt der Versuche wurde, entsprechend den Ergebnissen aus den Laborversuchen, auf die Regeneration der Phosphatspüle gelegt, weil eine Reduktion der Spülwassermenge nach der Phosphatierung am schwersten ist und den größten Effekt erzielt. Die Versuche wurden lediglich in Anlage 4 durchgeführt, da nur eine beschränkte Zeit zur Verfügung stand und Transport, Adaption und Umbau der Anlage auf die jeweiligen spezifischen Bedingungen zu viel Zeit gekostet hätte.

Zur Elimination der Schwermetalle und Phosphate in der ersten Phosphatspüle wurden Ionentauscherharze und zur Vorfiltration Beutel-, Kerzen- und Sandfilter eingesetzt. Es wurden der Druckverlust über die Filter, der pH-Wert und die Temperatur kontinuierlich gemessen. Zudem wurden regelmäßig Proben gezogen und darin der Zink- und Eisengehalt sowie die Leitfähigkeit und vereinzelt die Trockensubstanz bestimmt. Die eingesetzten Anlagen sind im Kapitel „Labor- und Technikumsanlagen“ im Detail beschrieben.

### **Messungen:**

Um die Zusammenhänge in den einzelnen galvanischen Prozessen leichter darstellen zu können, wurden Messung der Temperatur, Leitfähigkeit sowie des pH-Werts durchgeführt und mittels Datenerfassungssystem aufgezeichnet. In einem ersten Schritt wurde über eine Woche die Datengrundlage für eine verbesserte Bilanzierung der Anlagen 4 und 1 geschaffen. In einer zweiten Versuchsreihe wurden dieselben Messungen über vier Wochen in Anlage 4 durchgeführt, um das Langzeitverhalten und zyklische Änderungen im Prozess besser abschätzen zu können. Weiters wurden Proben genommen und diese auf ihre Inhaltsstoffe analysiert.

#### **9.1.2.1 Laborversuche**

Für die Laborversuche standen neun unterschiedliche Abwasserproben von drei verschiedenen Anlagen der Firma Pengg zur Verfügung:

- 1 Probe Sammelgrube vor der Neutralisation
- 3 Proben von Anlage 1 (Beizspüle, Phosphatspüle, Sammelbecken 1)
- 2 Proben von Anlage 4 (Phosphatspüle, Sammelbecken 2)
- 3 Proben von der Standbeize (Kaltwasserspüle, Heißwasserspüle, Sammelgrube)

Wie oben bereits erwähnt, wurden drei Trennverfahren auf ihre Einsatzfähigkeit überprüft werden. Mit folgenden Technologien wurden Versuche durchgeführt:

- Ionenaustauscher
- Vakuumverdampfer
- Membranfiltration

Zur Analyse der Proben vor und nach den Trennversuchen standen im Labor ein elektronisches pH-Meter und ein Leitfähigkeitsmessgerät zur Verfügung. Weitere Parameter zur Abwasseranalytik werden durch ein Spektralphotometer bestimmt. Die folgenden Messwerte wurden größtenteils innerhalb der Diplomarbeit von Dipl. Ing. Jürgen Prammer erarbeitet [Prammer, 2006]. Die Proben wurden auf folgende Inhaltsstoffe untersucht:

- Eisen (Fe)
- Kupfer (Cu)
- Blei (Pb)
- Zink (Zn)
- Phosphat (P)
- Chlorid (Cl)

### **Ionenaustauschanlage**

Es wurden drei Versuchsserien durchgeführt, deren Aufgabe es war die Wirkung verschiedener Ionenaustauscherharze auf die Prozesswässer zu untersuchen. Daraus wurden die am besten geeigneten Harze ermittelt. Im Anschluss daran wurden drei weitere Serien zur Bestimmung des Langzeitverhaltens der Harze, über die Ermittlung der Durchbruchkurven, durchgeführt.

#### Versuchsserie 1:

In einer ersten Versuchsreihe wurde die Säule 1 mit dem Adsorberharz Lewatit OC 1064, Säule 2 mit dem schwachsauren Harz Lewatit TP 207 und die dritte Säule mit dem starkbasischen Harz Lewatit MONO Plus 500 gefüllt. Das Adsorberharz besitzt laut Produktinformation des Herstellers die Fähigkeit anionische und kationische Tenside und chlorierte Kohlenwasserstoffe zu entfernen. Das schwachsaure Harz kann zur selektiven Entfernung von gelösten Schwermetallen verwendet werden und das starkbasische Harz besitzt die Fähigkeit Anionen auszutauschen. Nach der Vorfiltration der Probenlösung mit einem Membranfilter (0,45 µm) wurde der pH-Wert und die Leitfähigkeit gemessen. Die Probelösung wurde mit der Membranpumpe durch die Säulen gepumpt. Es wurde von allen möglichen Kombinationen eine Probe gezogen und abermals der pH-Wert und die Leitfähigkeit gemessen. Um bei allen Kombinationen die gleiche Basis zu haben wurden die Harze, wenn erforderlich, mit entionisiertem Wasser gespült.

Analog zu diesem Versuchsablauf sind alle neun Abwasserproben behandelt worden. Als Beispiel ist hier die Probe aus der Sammelgrube der Standbeize dargestellt.

**Tabelle 9.1: Laborversuche Ionenaustauscher, Standbeize Sammelgrube 1**

Probennr.	Entnahmeort	Datum	Probenmenge (ml)	pH		Leitfähigkeit (µS/cm)		Temperatur (°C)
				vorher	nachher	vorher	nachher	
9	Standbeize - Sammelgrube		1000	1,18		30800		20,7
	Säule 1	14.09.2005	150		1,99		5130	21
	Säule 1+2	14.09.2005	150		11,12		5100	21
	Säule 1+2+3	14.09.2005	200		7,11		7810	21
	Säule 2	14.09.2005	150		10,93		5520	21
	Säule 2+3	14.09.2005	150		7,66		5950	20,8
	Säule 3	14.09.2005	200		2,60		3480	20,8

Die Spalten pH vorher und Leitfähigkeit vorher geben die gemessenen Werte der Ausgangslösung an, nachher gibt die Werte nach dem Durchlauf durch das entsprechende Harz an.

Aus dieser Tabelle wird ersichtlich, dass die Kombination aus Säule 2+3, das heißt das schwachsaure Harz in Kombination mit dem starkbasischen, das beste Ergebnis lieferte. Bestes Ergebnis heißt in diesem Fall neutraler pH-Wert mit möglichst geringer Leitfähigkeit. Ein weiteres Beispiel ist die Sammelgrube vor der Neutralisation.

**Tabelle 9.2: Laborversuche Ionentauscher, Sammelgrube**

Entnahmeort	Versuchsdatum	Probenmenge [ml]	pH-Wert		Leitfähigkeit [µS/cm]	
			vorher	nachher	vorher	nachher
<i>Sammelgrube 2</i>		<b>400</b>	<b>1,65</b>		<b>11310</b>	
Säule 2	19.09.2005	200		10,92		2940
Säule 2+3	19.09.2005	200		4,31		3300

In einer nachfolgenden Analyse wurden die gereinigten Proben auf Kupfer, Eisen, Blei, Zink, und Phosphat untersucht.

**Tabelle 9.3: Versuchsergebnisse Ionentauscheranlage: chemische Analyse**

Stoff	Probe	Gereinigte Probe
Fe [mg/L]	177 ± 2	< 0.1
Cu [mg/L]	0.094 ± 0.002	< 0.01
Pb [mg/L]	37.5 ± 0.3	0.045 ± 0.004
Zn [mg/L]	62.4 ± 0.9	0.57 ± 0.01
P [mg/L]	41.8 ± 0.4	23.2 ± 0.4

Zusätzlich wurde im Zentrallabor der JOANNEUM RESEARCH GmbH noch eine Analyse für Nickel und Chlorid mit Hilfe eines Spektralfotometers durchgeführt. Der Wert für Nickel in der Ausgangslösung konnte nicht ermittelt werden, da der Eisengehalt der Lösung ist für die Schnelltestmethode zu hoch und den Wert verfälschen würde.

**Tabelle 9.4: Laborversuche Ionentauscher: Laboranalysen**

Stoff	Ausgangslösung	Gereinigte Probe
Ni [mg/L]	nicht gemessen	< 0.1
Cl [mg/L] Verdünnung 1:10	125	101

Die Analyse lässt erkennen, dass die Metalle gut entfernt werden konnten, vor allem das Eisen. Der Phosphatanteil wurde ebenfalls verringert, wenn auch nicht in demselben Ausmaß wie die Metalle, der Chloridanteil konnte kaum entfernt werden.

#### Versuchsreihe 2:

Für die zweite Versuchreihe wurden die Harze ausgetauscht und die Säulen folgendermaßen befüllt:

Säule1: Starksaures Kationenaustauscherharz (Dowex G-26 H-Form)

Säule2: Schwachbasisches Anionenaustauscherharz (Lewatit MP 62)

Säule3: Starkbasisches Anionenaustauscherharz (Lewatit MONO Plus 500)

Das starksaure Gelharz hat eine hohe Affinität gegenüber Metallionen und besitzt eine gute chemische Beständigkeit. Das schwachbasische Harz mit einer tertiären Aminogruppe als austauschaktive Gruppe, hat allgemein eine hohe totale Kapazität, gute chemische Beständigkeit und osmotische Belastbarkeit. Der Ablauf ist der gleiche wie bei der ersten Versuchs-

durchführung. Es wurde ebenfalls herausgefiltert mit welchem Harz bzw. mit welcher Harz-kombination sich die beste Reduktion erzielen lässt. Als die beste Kombination hat sich die Kombination aus starksaurem- und schwachbasischem Harz herausgestellt, wie folgendes Beispiel von der Probe 1 zeigt:

**Tabelle 9.5: Laborversuche Ionentauscher: Messserie 2**

Entnahmeort	Versuchsdatum	Probenmenge [ml]	pH-Wert		Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	
			vorher	nachher	vorher	nachher
<i>Sammelgrube 2</i>		<i>600</i>	<i>1,63</i>		<i>11280</i>	
Säule 1	21.09.2005	200		1,57		12250
Säule 1+2	21.09.2005	200		6,55		6,9
Säule 2	21.09.2005	200		9,77		287

Die Analyse der Probe von Säule 1+2 zeigt die Übereinstimmung von pH- und Leitfähigkeitswert und Reduktion. Weiters sieht man aus den Ergebnissen, dass mit dieser Harzkombination eine größere Anzahl an Ionen ausgetauscht werden konnte als mit der Harzkombination der ersten Versuchsreihe. Das starksaure Kationenaustauscherharz besitzt eine höhere Affinität zu den Metallen in der Lösung als das schwachsaure Harz und hat deshalb eine bessere Austauschfähigkeit.

**Tabelle 9.6: Laborversuche Ionentauscher: Messserie 2 Analyseergebnisse**

Stoff	Probe	Gereinigte Probe
Fe [mg/L]	$177 \pm 2$	$< 0.1$
Cu [mg/L]	$0.094 \pm 0.002$	$< 0.01$
Pb [mg/L]	$37.5 \pm 0.3$	$< 0.01$
Zn [mg/L]	$62.4 \pm 0.9$	$< 0.1$
P [mg/L]	$41.8 \pm 0.4$	$0.11 \pm 0.2$

Die Analyse im Labor ergab im Gegensatz zum ersten Ionenaustauscher eine gute Reduktion des Chlorids, das sich mit der besseren Affinität des schwach basischen Anionenaustauscherharzes als das des stark basischen erklären lässt.

**Tabelle 9.7: Laborversuche Ionentauscher: Messserie 2 Analyseergebnisse**

Stoff	Ausgangslösung	Gereinigte Probe
Ni [mg/L]	nicht gemessen	$< 0.10$
Cl [mg/L]	1250	$< 5$

### Versuchsreihe 3:

In einer dritten Versuchsreihe wurden die Harze, die bei Pengg bereits im Einsatz sind getestet.

Säule1: Schwach saures Kationenaustauscherharz (Amberlite IRC 748)

Säule2: Stark saures Kationenaustauscherharz (Amberlite 52 RF H-Form)

Säule3: Schwach basisches Anionenaustauscherharz (Amberlite IRA 96 RF)

Der zu den vorigen Versuchsreihen analoge Ablauf ergab folgendes Ergebnis. In der Tabelle sind die Werte der Probe 1 dargestellt.

**Tabelle 9.8: Laborversuche Ionentauscher: Messserie 3**

Probennr.	Entnahmeort	Datum	Probenmenge (ml)	pH		Leitfähigkeit ( $\mu\text{S/cm}$ )		Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )
				vorher	nachher	vorher	nachher	
1	Sammelgrube 2 (Neutro)		650	1,62		11580		20,8
	Säule 1	25.11.2005	150		11,68		3030	20,9
	Säule 2	25.11.2005	150		1,51		13950	21
	Säule 1+3	25.11.2005	150		9,25		2040	20,9
	Säule 2+3	25.11.2005	200		8,01		232	20,9

Die Analyse in unserem Labor zeigt ähnlich gute Ergebnisse wie sie der Ionentauscher 2 lieferte:

**Tabelle 9.9: Laborversuche Ionentauscher: Messserie 3 Analysenergebnisse**

Stoff	Ausgangslösung	Gereinigte Probe
Fe [mg/L]	177 $\pm$ 2	0,5
Cu [mg/L]	0.094 $\pm$ 0.002	< 0.05
Pb [mg/L]	37.5 $\pm$ 0.3	0.05
Zn [mg/L]	62.4 $\pm$ 0.9	nicht gemessen
Ni [mg/L]	nicht gemessen	< 0.10
Cl [mg/L]	1250	13

#### Ergebnisse:

Die pH-Wert- und Leitfähigkeitsmessungen sowie die Analysen zeigen, dass die Trenntechnologie mittels Ionenaustausch eine brauchbare Lösung ist, die Metallionen und auch die Anionen aus dem Abwasser zu entfernen. Die Auswahl der Harze und deren Affinität zu den Inhaltstoffen tragen maßgeblich zur Qualität des Austausches bei. Eine erste Auswahl kann man anhand der Informationen aus den Datenblättern der Harze und deren funktionalen Gruppen treffen. Den optimalen Einsatzbereich findet man nur durch Labortests heraus. Die Analysen haben gezeigt, dass die beste Kombination für alle neun Abwasserproben das stark saure Kationenaustauscherharz (Dowex G-26 H-Form) mit einem nachfolgenden schwach basischen Anionenaustauscherharz (Lewatit MP 62) darstellt und deshalb für die Behandlung der Abwässer am geeignetsten ist.

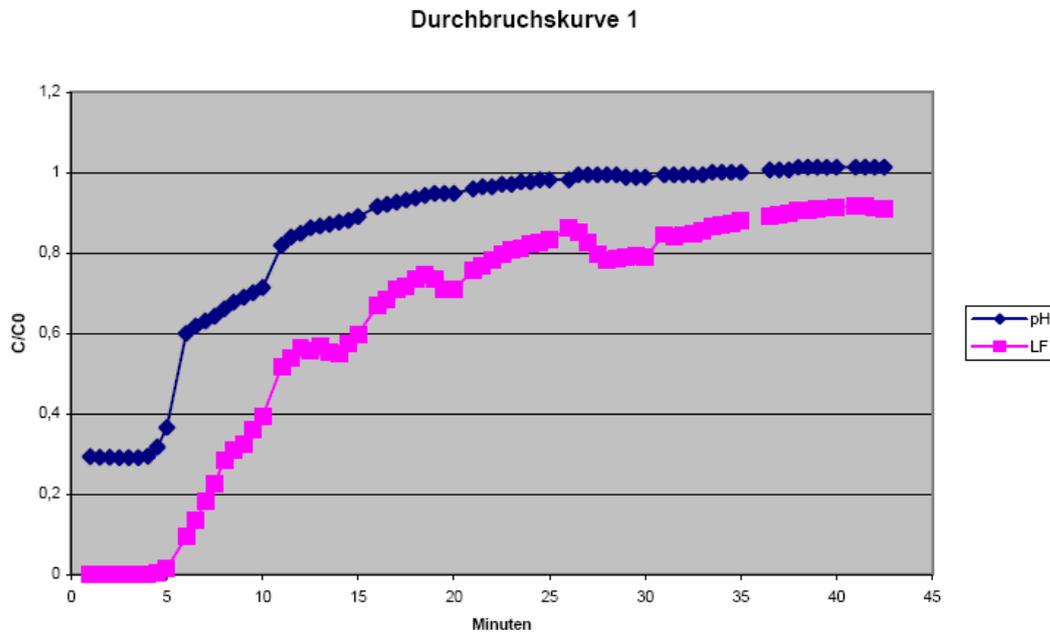
#### Versuchsserie 4:

In der ersten Versuchsreihe wurden 6,7 g Lewatit MP62 in die Glasröhre eingefüllt. Das entspricht bei einer Dichte von 670 g/l einer Betthöhe von 10 cm. Das wiederum entspricht einem Bettvolumen von ca. 10 ml. Darüber wurden 4 g Dowex G-26 (H) eingefüllt, das einer Betthöhe von 5 cm oder einem Bettvolumen von ca. 5 ml gleichkommt.

Die unterschiedlichen Mengen an Harz kommen durch die verschiedenen Konzentrationen von Kationen und Anionen in der Ausgangslösung zustande. Das Verhältnis von stark saurem zu schwach basischem Harz wurde mit Hilfe der Kapazität der Harze, die aus den Datenblättern entnommen wurde, und der Analyse der Inhaltsstoffe der Ausgangslösung berechnet. Die Gesamtkonzentration der analysierten Kationen (Fe, Cu, Pb, Zn) beträgt 278 mg/l, das entspricht mit Hilfe der spezifischen Gewichte der einzelnen Inhaltsstoffe umgerechnet 0,00432 mol/l.

Die Konzentration der Anionen (Cl, P) ist mit 1292 mg/l oder umgerechnet 0,0374 mol/l sehr viel höher, daraus resultiert bei ungefähr gleicher Kapazität der Harze die größere Menge an basischem Austauscherharz. Der Durchfluss der Pumpe wurde kalibriert und auf 20 ml/min eingestellt. Der pH-Wert und der Leitfähigkeitswert wurden im Abstand von 30 Sekunden

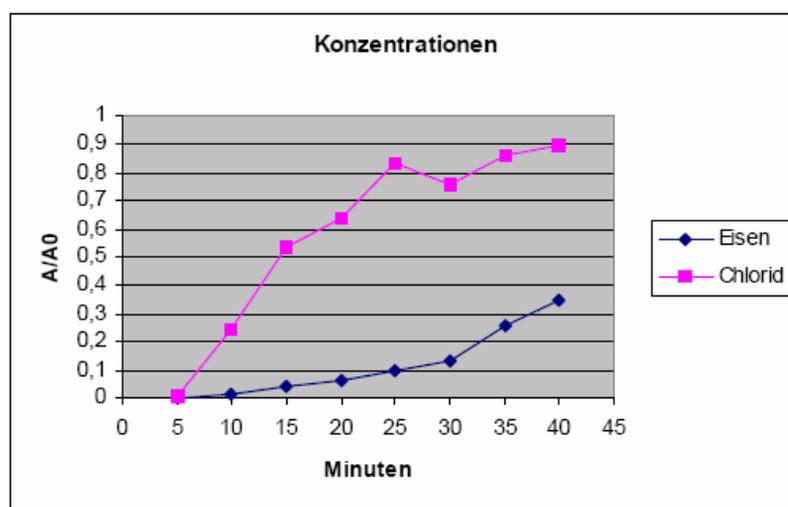
gemessen. Alle fünf Minuten wurde eine Probe gezogen und analysiert. Nach 40 Minuten wurde der Versuch abgebrochen, da sich die Werte nicht mehr änderten und den Ausgangswerten der Probelösung entsprachen. Im folgenden Chart sind auf der x-Achse die Zeit und auf der y-Achse das Verhältnis  $C/C_0$  aufgetragen, wobei  $C_0$  der pH- und Leitfähigkeitswert der Ausgangslösung ist und C der aktuelle Messwert. Dadurch ergibt sich eine S-Kurve.



**Abbildung 9.2: Laborversuche Ionentauscher: Durchbruchskurve 1**

Aus den Analysen der Ausgangslösung erkennt man, dass Eisen mit 177 mg/l die größte Konzentration der Kationen aufweist. Den größten Anteil an Anionen stellt Chlorid mit 1250 mg/l dar. Daher wurden die Proben auf Eisen- und Chloridgehalt untersucht.

Das nächste Chart zeigt die Eisen- und Chloridkonzentrationen aufgetragen über die Zeit. Ermittelt sind die Konzentrationen gleich wie beim vorigen Chart:



**Abbildung 9.3: Ermittlung Durchbruchskurve 1: Fe- und Cl-Konzentration**

#### Ergebnisse:

Die Durchbruchskurve lässt erkennen, dass der pH-Wert nach 25 Minuten den Wert der Ausgangslösung erreicht, die Leitfähigkeit liegt nach dieser Zeit bei ca. 80 %. Die steilere

Kurve für den pH-Wert gegenüber der Leitfähigkeitskurve bedeutet einen schlechteren Austausch der Anionen und einen früheren Durchbruch des Anionenaustauscherharzes. Eine Bestätigung dieser Feststellung zeigen die Konzentrationskurven der Eisen- und Chloridionen. Während die Probe, die nach 40 Minuten gezogen wurde, ca. 35 % der Ausgangskonzentration an Eisen enthält, liegt die Konzentration der Chloridionen bereits nach 25 Minuten bei 80 %.

#### Versuchsserie 5:

Der zweite Versuch unterscheidet sich vom ersten im geringeren Durchsatz. Zuerst wurde eine Menge von 4 g Lewatit MP62 und darüber dann 6,7 g Dowex G-26 (H) eingefüllt. Der verringerte Durchsatz beträgt nun durchschnittlich 6,5 ml/min. Der Ablauf ist analog zur Versuchsreihe A, allerdings wurde hier nicht nach fünf Minuten jeweils eine Probe gezogen, da der Zeitraum zu kurz ist für eine signifikante Änderung der pH- und Leitfähigkeitswerte. Wann die Proben genommen wurden ist im Chart für die Konzentrationen der Eisen- und Chloridionen zu sehen. Die folgenden Abbildungen stellen die Kurven für pH- und Leitfähigkeitsänderung und die Eisen- und Chloridanalysen der Versuchsreihe B dar:

Durchbruchskurve 2

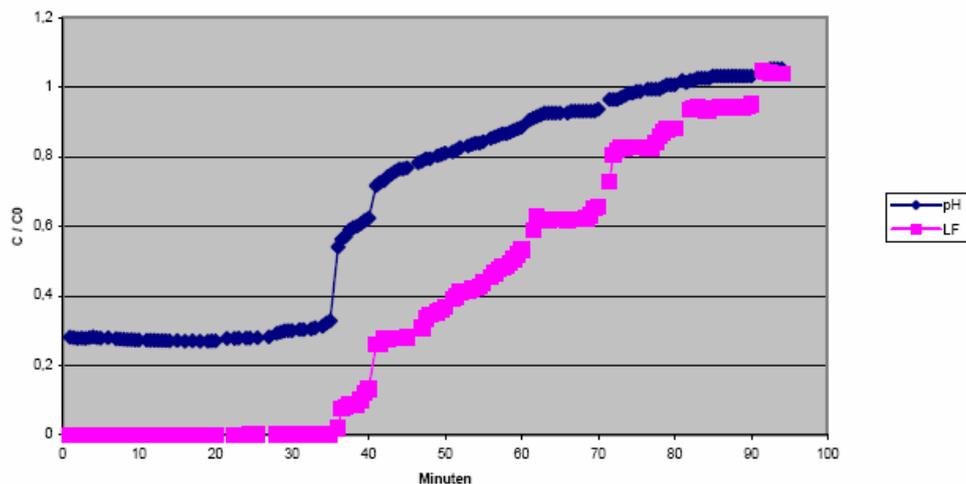


Abbildung 9.4: Laborversuche Ionentauscher: Durchbruchskurve 2 [Prammer, 2006

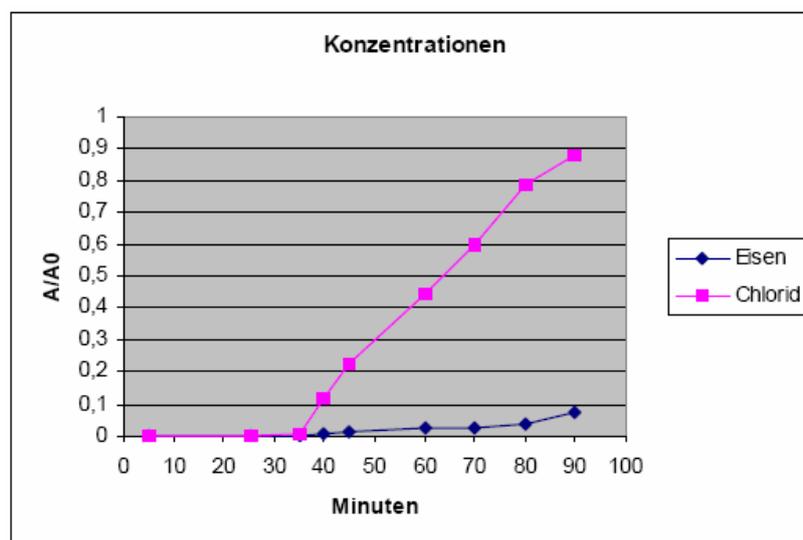


Abbildung 9.5: Ermittlung Durchbruchskurve 2: Fe- und Cl-Konzentration

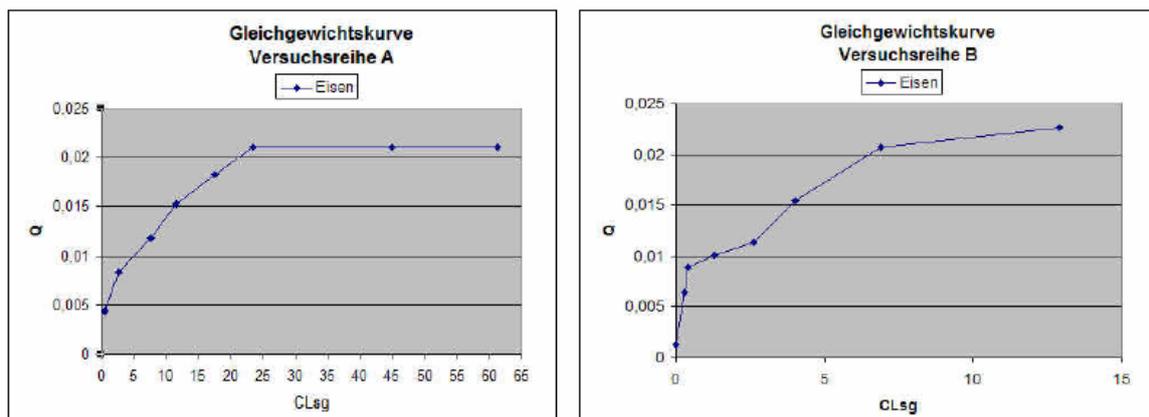
Ergebnisse:

Der Austausch der Metall- und Chloridionen funktioniert bei dieser Reihe länger als bei der Reihe A, aufgrund des geringeren Durchsatzes. Nach 35 Minuten beginnt die pH-Kurve stärker zu steigen. Etwas zeitlich nach hinten verschoben und flacher steigt die Leitfähigkeitskurve an.

Die vorherige Abbildung zeigt die Konzentrationen für Eisen und Chlorid. Die Chloridkurve beginnt bei 35 Minuten anzusteigen, das den Anstieg der pH-Kurve zum selben Zeitpunkt erklärt. Der Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Austausch der Eisenionen ist auch ersichtlich, allerdings wird die Leitfähigkeitskurve nicht nur von Eisen bestimmt, wie vorher erwähnt.

Vergleich Messserie 4 und 5:

Die Durchbruchkurve soll nun einen Aufschluss darüber geben, wie effizient die Trennung ist und wie lange die Harze in der Lage sind die entsprechenden Ionen auszutauschen. Der Austausch der Eisenionen hat bei beiden Versuchsreihen sehr gut funktioniert, vor allem bei der Versuchsreihe B da hier weniger Probelösung durchgesetzt wurde. Nach 90 Minuten betrug der Eisengehalt der Probe mit 12,9 mg/l nur 7 % des Gehaltes der Ausgangslösung. Die folgenden Abbildungen zeigen die Gleichgewichtskurven zu den Versuchen. Links Versuchsreihe A und rechts Versuchsreihe B:



**Abbildung 9.6: Verlauf Fe-Konzentration**

Auf der x-Achse sind die gemessenen Konzentrationen aufgetragen und auf der y-Achse ist die Gleichgewichtsmenge Q am Austauscher in mgFe/mgHarz dargestellt. Q wird mit nachstehender Gleichung berechnet:

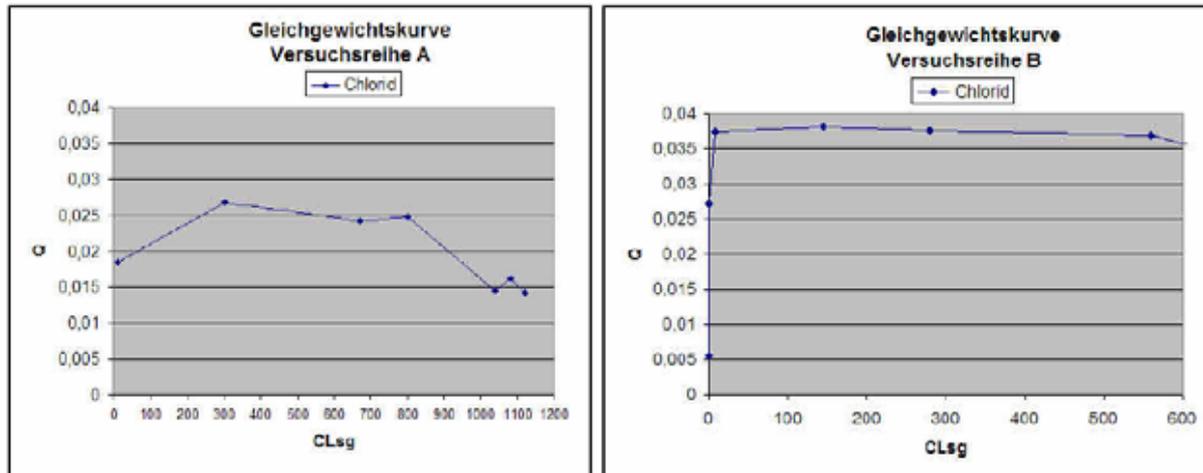
$$Q = (c_0 - c_{\text{gemessen}}) \cdot \frac{V_{\text{Lsg}}}{m_{\text{Harz}}}$$

Q	Gleichgewichtsmenge Q [mg <sub>Fe</sub> /mg <sub>Harz</sub> ]
C <sub>0</sub>	Ausgangslösung 177 [mg/l]
C <sub>gemessen</sub>	gemessene Menge der verbleibenden Fe-Ionen in der Lösung
V <sub>Lsg</sub>	eingesetztes Volumen
m <sub>Harz</sub>	Masse des Harzes

In der linken Abbildung (Versuchsreihe 4) steigt die Kurve an und beginnt ab einem Zeitpunkt von 30 Minuten abzuflachen, d.h. das Harz ist vollständig erschöpft und es können keine weiteren Ionen aufgenommen werden. Die Gleichgewichtskurve für die Versuchsreihe

5 (rechtes Chart) steigt stetig an, flacht gegen Ende hin ab, zeigt aber keinen Trend abzufallen.

Weniger gut funktionierte die Entfernung der Chloridionen, vor allem für den ersten Versuch. Hier steigt bereits nach fünf Minuten die Chloridkonzentration stark an und erreicht nach 25 Minuten 83 % der Ausgangskonzentration. Ähnlich nur etwas zeitversetzt nach hinten, verläuft der zweite Versuch. Die Gleichgewichtskurven bestätigen die rasche Erschöpfung der Aufnahmefähigkeit des Austauscherharzes.

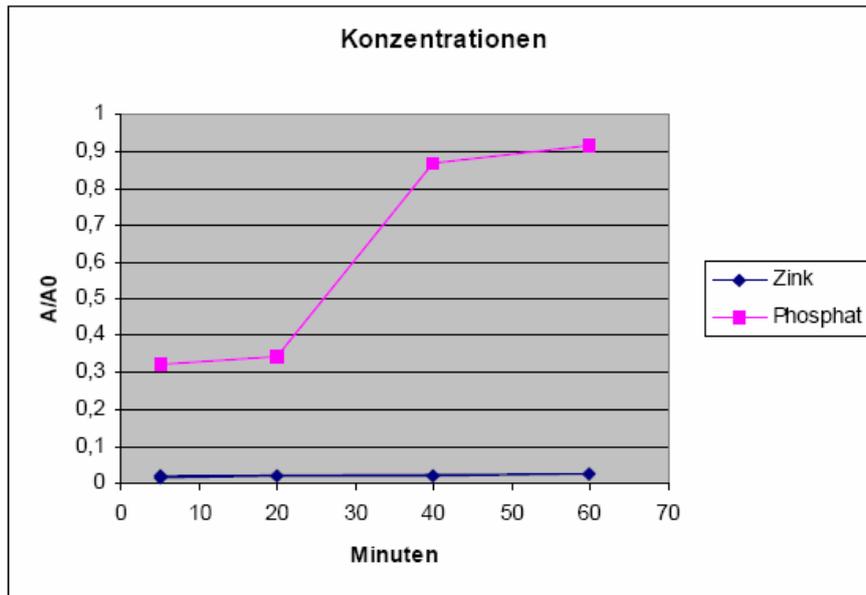


**Abbildung 9.7: Verlauf Cl-Konzentration**

Im Chart sieht man, dass bereits ab dem ersten (Reihe 4) bzw. nach dem zweiten (Reihe 5) Probennamepunkt die Kurve nach unten zeigt. In einer dritten Versuchsserie wurde die Harzmenge erhöht. Diese wurde aber abgebrochen und verworfen, da die Menge an Harz für den Durchmesser unserer Säule zu groß war und nach einiger Zeit fast kein Durchsatz mehr messbar war.

#### Versuchsserie 6:

In der zweiten Versuchsserie wurde das Spülwasser der Phosphatpüle der Anlage 4 gereinigt. Die Säule wurde mit 5 g Lewatit MP 62 (entspricht ca. 7,5 ml Bettvolumen), einem schwach sauren Anionenaustauscher befüllt. Darüber wurden ebenfalls 5 g Lewatit TP 207 (ca. 6,6 ml) gefüllt. Dieses Harz wurde ausgewählt, weil es eine sehr gute Selektivität besitzt, um Schwermetalle auszutauschen. Die Probelösung wurde mit einem Durchsatz von 10 ml/min durch die Harze geleitet. Der pH-Wert und der Leitfähigkeitswert wurden im Abstand von zehn Sekunden gemessen. In unterschiedlichen Abständen wurden Proben gezogen und auf Zink und Phosphat untersucht. Zink weist mit 24,3 mg/l die größte Konzentration der Kationen auf, den größten Anteil an Anionen stellt Phosphat mit 43 mg/l. Das folgende Chart zeigt den Verlauf der Konzentrationen, wobei A der zu diesem Zeitpunkt gemessene Wert ist und A0 stellt den Wert der Vorlage dar.



**Abbildung 9.8: Ermittlung Durchbruchskurve: Zn- und Phosphatkonzentration**

Die nachstehende Tabelle listet die pH- und Leitfähigkeitswerte und die Werte der gemessenen Inhaltsstoffe, von der Vorlage sowie von den genommenen Proben auf:

**Tabelle 9.10: Ermittlung Durchbruchskurve: Versuchsergebnisse [Prammer]**

	Vorlage	P1 (nach 5 Min)	P3 (nach 20 Min)	P5 (nach 40 Min)	P7 (nach 60 Min)
pH	4,98	11,2	10,41	9,82	9,42
LF [ $\mu$ S/cm]	823	1110	1022	943	901
Zn [mg/l]	24,3	0,35	0,47	0,51	0,65
Fe [mg/l]	0,19	nicht gemessen	nicht gemessen	nicht gemessen	0,1
PO4-P [mg/l]	43	13,9	14,8	37,2	39,25

#### Ergebnisse:

Aus dem Chart und aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die Entfernung der Schwermetalle sehr gut funktioniert hat. Der Restgehalt an Zink liegt nach einem Durchlauf von 60 Minuten nur bei 0,65 mg/l. Der Grenzwert für das Einleiten in den Vorfluter liegt für Zink bei 1 mg/l, das heißt das Harz ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht durchgebrochen und könnte noch länger beaufschlagt werden. Die Reduktion von Phosphat lag nach 20 Minuten bei 66 %, dann beginnt das Harz durchzubrechen und nach 40 Minuten erreicht der gemessene Wert 86,5 % des Ausgangswertes.

## Membrananlage

Aus einem Vorlagebehälter wird mit der Membranpumpe das Wasser im zuvor beschriebenen Cross-Flow Verfahren über die Membran gepumpt. Das Permeat wird durch die Membran gefiltert, aufgefangen und analysiert. Das Retentat wird im Kreis geführt und fließt wieder in den Vorlagenbehälter zurück. Der Druck beträgt 6 bar. Die Membran besteht aus permanent hydrophilisiertem Polyethersulfon mit 10 kDa und gehört zu den Ultrafiltrationsmembranen. Diese Membran wurde deshalb ausgewählt, da sie für diese Anlage den kleinstmöglichen Cut-Off-Wert besitzt.

Nach 60 Minuten und nach 120 Minuten wurde die Permeatmenge gemessen und weiters der pH-Wert und die Leitfähigkeit bestimmt. Der pH-Wert und der Wert für die Leitfähigkeit änderten sich kaum gegenüber der Ausgangslösung. Daraus wurde geschlossen, dass die Membran zu große Poren besitzt, um die Metallionen zurückzuhalten.

**Tabelle 9.11: Versuchsergebnisse Membrantrennanlage**

Entnahmeort	Datum - Versuch	Versuchsbedingungen			pH		Leitfähigkeit (µS/cm)	
		Druck (mbar)	Probenvolumen (ml)	Zeit (min)	vorher	nachher	vorher	nachher
<b>Sammelgrube 2 (Neutro)</b>			<b>300</b>		<b>1,66</b>		<b>11300,0</b>	
Permeat 1	27.09.2005	100%	55	0 - 60		1,76		9430
Permeat 2	27.09.2005	100%	51	60 - 120		4,79		10970
Retentat	27.09.2005		194			1,72		11120
<b>A1 Beizspüle</b>			<b>200</b>		<b>7,43</b>		<b>383,0</b>	
Permeat 1	23.09.2005	100%	150	0 - 45		7,15		279
Retentat	23.09.2005		50			7,75		370
<b>A1 Phosphatspüle</b>			<b>300</b>		<b>5,95</b>		<b>730,0</b>	
Permeat 1	27.09.2005	100%	53	0 - 60		3,5		811
Permeat 2	27.09.2005	100%	52	60 - 120		6,4		705
Retentat	27.09.2005		195			6,51		713,0

### Ergebnisse:

Die Werte zeigen, dass sich der pH-Wert und der Wert für die Leitfähigkeit kaum gegenüber der Ausgangslösung änderten. Es ist daraus zu schließen, dass die Membran zu große Poren besitzt, um die Metallionen zurückzuhalten. Geeignete Technologien wären Nanofiltration oder sogar die Umkehrosmose. Diese Technologien sind aber mit dieser Filterzelle nicht möglich und konnten daher im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden. Die Ergebnisse aller Proben sind im Anhang zu finden.

### **Vakuumverdampfer**

Eine Vakuumpumpe erzeugt einen Unterdruck bis zu 50 mbar wodurch der Siedepunkt der Lösung herabgesetzt wird. Bei den Versuchen wurden die Badtemperatur und die Dauer der Destillation variiert. Dabei konnte mit Hilfe der pH-Werte und Leitfähigkeitswerte festgestellt werden, dass eine Badtemperatur über 60 °C nicht sinnvoll ist. Die Proben, die bei dieser Temperatur destilliert wurden weisen eine höhere Leitfähigkeit und einen geringeren pH-Wert auf als jene bei niedrigerer Temperatur. Ähnlich verhält es sich mit der Dauer der Destillation. Je länger die Proben erhitzt wurden, desto schlechter war die Destillatqualität.

Folgendes Beispiel zeigt wieder das Probenwasser der Sammelgrube vor der Neutralisation:

**Tabelle 9.12: Versuchsergebnisse Membrantrennanlage**

Entnahmeort	Datum Versuch	Versuchsbedingungen					pH		Leitfähigkeit (µS/cm)	
		Druck (mbar)	Siedetemp. (°C)	Badtemp. (°C)	Probenmenge (ml)	Zeit, ab Sieden (Min.)	vorher	nachher	vorher	nachher
<b>Sammelgrube 2 (Neutro)</b>					<b>200</b>		<b>1,66</b>		<b>11380,0</b>	
Destillat	29.08.2005	75	37	55	130	0 - 60		<b>5,02</b>		<b>18,1</b>
Konzentrat	29.08.2005				70			<b>1,21</b>		<b>33900,0</b>
<b>A1 Beizspüle</b>					<b>200</b>		<b>7,43</b>		<b>383,0</b>	
Destillat 1	29.08.2005	55 - 80	34	40	15	0 - 30		6,05		13,3

Die Analyse der Proben brachte ähnlich gute Ergebnisse wie beim Ionentauscher.

**Tabelle 9.13: Versuchsergebnisse Membrantrennanlage, chemische Analyse**

Stoff	Probe	Gereinigte Probe
Fe [mg/L]	177 ± 2	< 0.1
Cu [mg/L]	0.094 ± 0.002	0.010 ± 0.001
Pb [mg/L]	37.5 ± 0.3	< 0.01
Zn [mg/L]	62.4 ± 0.9	0.10 ± 0.04
P [mg/L]	41.8 ± 0.4	0.24 ± 0.02

#### Ergebnisse:

Mit Hilfe der pH- und Leitfähigkeitswerte konnte festgestellt werden, dass eine Badtemperatur über 60 °C nicht sinnvoll ist. Die Proben, die bei dieser Temperatur destilliert wurden weisen eine höhere Leitfähigkeit und einen geringeren pH-Wert auf als jene bei niedrigerer Temperatur. Daraus kann man schließen, dass bei dieser Temperatur mehr Metallionen ins Destillat übergegangen sind als bei z.B. 40 °C. Ähnlich verhält es sich mit der Dauer der Destillation. Je länger die Proben erhitzt wurden desto schlechter die Destillatqualität. Die Ergebnisse aller Proben sind im Anhang zu finden.

#### **9.1.2.2 Pilotversuche:**

Alle Versuche, die im Technikumsmaßstab durchgeführt wurden, wurden in der ersten Spüle nach dem Phosphatbad der Anlage 4 gefahren. Folgende Parameter wurden gemessen:

- Druckdifferenz über die Filter (insg. Bis zu 5 Messungen)
- Durchfluss
- Temperatur
- pH-Wert des Feeds kontinuierlich
- pH-Wert der gereinigten Mediums in regelmäßigen Zeitabständen
- Leitfähigkeit des Feeds und gereinigten Mediums in regelmäßigen Zeitabständen
- Regelmäßige Probennahme und Bestimmung der Konzentrationen von Zn und Fe
- dem Spülwasser gefilterte Schlammmenge

Die Messdatenerfassung erfolgte über ein Datenerfassungssystem, wobei beim Einfahren und Einstellen der Versuchsparameter eine Auflösung von 1-2 Sekunden und für den eigentlichen Versuch ein Zeitintervall von 2 – 10 Minuten gewählt wurde. Die Versuche wurde bei einem Druckanstieg über 1,6 bar bzw. einer Reduktion des Durchflusses um 50% eingestellt. Zwischen den einzelnen Versuchen wurde die Anlage jeweils mit Frischwasser gründlich gereinigt.

Die Ergebnisse der Laborversuche dienten als Ausgangspunkt für eine Versuchsserie, die vor Ort mit einer Pilotanlage durchgeführt werden sollte. Im Kapitel „Mobiles Technikum“ ist die Anlage im Detail beschrieben. Dabei war es das Ziel geeignete Ionentauscherharze in einem

Bypass-Strom der Großanlage zu testen und zudem die ideale Vorreinigung zu ermitteln, damit die Harze eine möglichst lange Standzeit aufweisen.

Diese Versuche wurden parallel zur zweiten Messserie an der Anlage 4 durchgeführt, wobei über einen Zeitraum von 4 Wochen auch die Zinkkonzentration im ersten Spülbad gemessen wurde. Dabei stellte sich heraus, dass die Messergebnisse für  $Zn^{2+}$  in der Phosphatspüle großen Schwankungen unterlagen. Es ergab sich über einen Zeitraum von 4 Wochen ein Mittelwert von etwa 200 mg/l, wobei der Maximalwert bei 264 mg/l und der Minimalwert bei <40 mg/l gelegen waren. Damit liegt der Mittelwert deutlich über dem Wert, der als Vorlage für die Ionentauscherversuche, welcher etwa 6 mg/l betrug, diente. Aus diesem Grund war es nicht möglich die Ergebnisse der Laborversuche direkt zu übertragen und es wurde in einem ersten Schritt versucht, den Unterschied des Zn-Gehalts zwischen Vorlage und 4-wöchigen Messungen zu erklären.

Wie sich herausstellte, ergab sich die Konzentrationsdifferenz durch die Probennahme und Analyse, wobei sich große Unterschiede ergaben, wenn der Feststoff in der Probe mitanalysiert wurde oder nicht. Im Spülwasser wurde ein hoher Feststoffanteil festgestellt. Nach der Probennahme wurden die Proben mit Säure stabilisiert, wobei der Feststoff durch die Zugabe in Lösung ging. Abhängig vom Feststoffanteil, der sich im Probenbehälter befand, ergaben sich im Anschluss in der Analyse die stark unterschiedlichen Zn-Werte. So wurde festgestellt, dass die Zinkkonzentration in der Lösung einen Durchschnittswert von etwa 5,7 mg/l aufweist und der Feststoff fast ausschließlich aus Zinkphosphat besteht.

Da es das Ziel war einen möglichst großen Anteil des Zink zu eliminieren, um das Spülwasser gegebenenfalls im Kreislauf fahren zu können, wurde nach einem Ionentauscherversuch, bei welchem die Einsetzbarkeit bestätigt wurde, aus wirtschaftlichen Gründen davon Abstand genommen, einen Ionentauscher einzusetzen. Es wurde stattdessen versucht den Feststoffanteil mit einfachen drucklosen Filtern zu entfernen, um so möglichst kostengünstig die Standzeit des Beckens zu verlängern, die Abwasserreinigung zu entlasten und das Spülwasser deutlich zu minimieren.

### **Bestimmung Trockensubstanz:**

Um die Filterwirkung definieren zu können, wurden die Trockensubstanz des Phosphatbades und der ersten Spüle danach, mit deren Wasser die Versuche durchgeführt wurden, bestimmt. Dies erfolgte über eine Probennahme, Trocknung und anschließende gravimetrische Bestimmung. Es wurden jeweils 4 Proben gezogen, wobei sich für die Konzentration des Phosphatbades ein Mittelwert von 1,9 g/l und für das Spülwasser 0,2 g/l ergaben. Die Konzentration im Spülwasser entspricht somit nur etwa 10% jener im Bad zuvor.

**Tabelle 9.14: Feststoffkonzentration Phosphatbad**

	<b>Feststoffkonzentration [g/l]</b>
Probe 1	1,7149
Probe 2	1,7648
Probe 3	2,1639
Probe 4	1,8093
Mittelwert	1,8632

**Tabelle 9.15: Feststoffkonzentration Spülwasser**

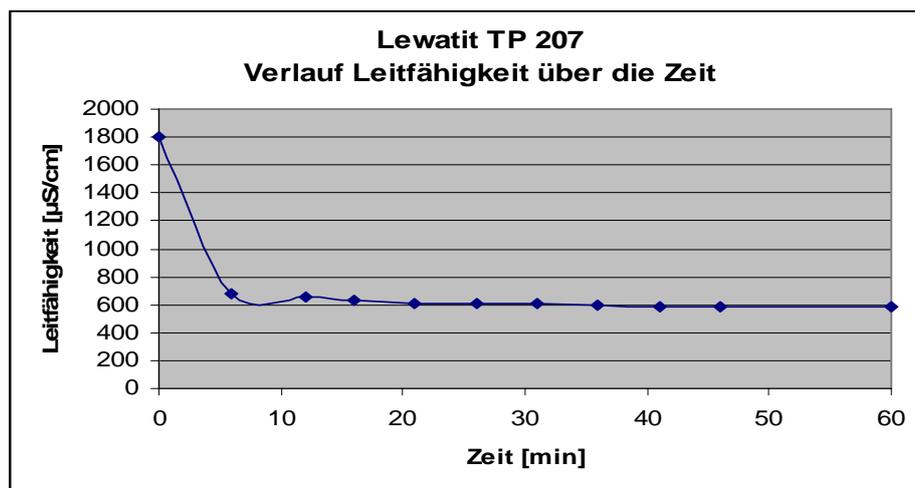
	<b>Feststoffkonzentration [g/l]</b>
Probe 1	0,1571
Probe 2	0,1913
Probe 3	0,2415
Probe 4	0,2294
Mittelwert	0,2048

**Ionenaustauscher:**

Es sollte lediglich die Reduktion von Zink über einen Zeitraum von 1 Stunde untersucht werden. Dazu wurden die Parameter aus den Laborversuchen hochgerechnet und es ergaben sich für den Versuch folgende Parameter:

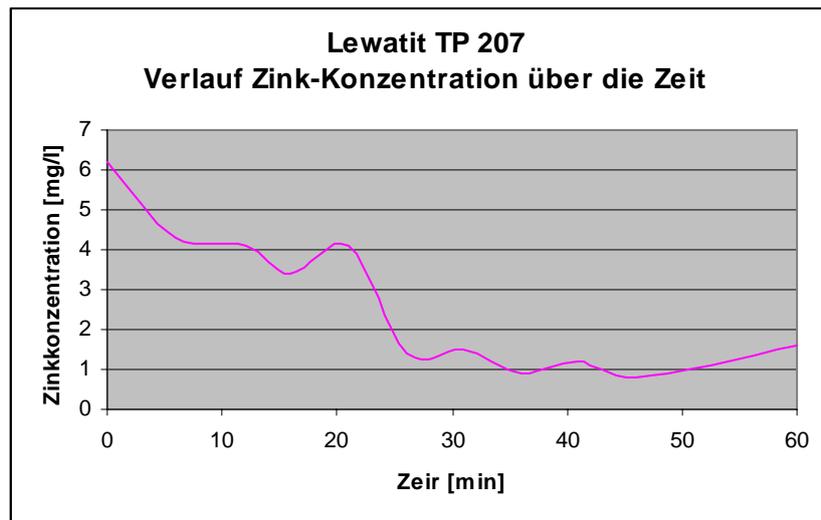
- 367 g Kationenaustauscherharz Lewatit TP 207
- Durchfluss 20 Liter/Stunde.

Als Vorfilter wurde ein Beutelfilter mit 50 $\mu$ m Porenweite verwendet. Die Versuchsergebnisse sind in den beiden nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

**Abbildung 9.9: Pilotversuche: Verlauf Leitfähigkeit über die Zeit**

Es zeigte sich, dass die Leitfähigkeit bereits nach kurzer Zeit vom Ausgangswert 1797  $\mu$ S/cm auf etwa 600  $\mu$ S/cm reduziert werden konnte und während der gesamten Versuchsdauer konstant blieb.

Die Messungen der Zinkkonzentration in der gereinigten Flüssigkeit zeigten keine so guten Ergebnisse. Es konnte der Ausgangswert von 6,2 mg/l sehr schnell gesenkt werden, jedoch ergab sich erst nach 25 Minuten ein annähernd konstanter Zinkgehalt, der über die Versuchszeit gehalten werden konnte. Dieser betrug aber weiterhin etwa 1 mg/l, was zwar einer Reduktion auf 1/6 des Ausgangswerts entspricht, jedoch hinter den Erwartungen zurückblieb.



**Abbildung 9.10: Pilotversuche: Verlauf Zn-Konzentration über die Zeit**

### **Sandfilter:**

Da Sandfilter oft als Vorfilter für Ionentauscheranlagen verwendet werden, sollte die Wirkung eines Sandfilters auf das Spülwasser untersucht werden. Dabei wurden folgende Versuchsparameter als Startwert festgelegt:

- Korngröße des Sands: 1-2 mm
- Durchfluss:
  - 60 l/h
  - 150 l/h
  - 300 l/h

Der Differenzdruck am Beginn der Versuche betrug bei einem Durchfluss von 60 l/h etwa 0,13 bar, bei 150 l/h etwa 0,22 bar, und bei 300 l/h etwa 0,23 bar. Das bedeutet, dass der Durchfluss von 60 Liter/Stunde bereits so gering ist, dass nur der halbe Differenzdruck am Beginn aufgebaut wird und das Wasser somit deutlich weniger verlustbehaftet durch den Filter strömen kann.

In den folgenden beiden Diagrammen sind die Druckverluste für einen Startdurchfluss von 300 Liter/Stunde und 150 Liter/Stunde aufgezeichnet. Die Ausrisse nach unten sind auf die Probenahme zurückzuführen, da der Filter kurzzeitig aus der Strömung genommen werden musste, um möglichst nahe vor dem Filter eine Probe von Feedstrom entnehmen zu können. Nachdem der Filter wieder durchströmt wurde, dauert es etwa 5 Minuten bis die Strömung wieder voll ausgebildet und der Druckverlust wieder erreicht war.

Man erkennt allerdings in beiden Diagrammen, dass mit Fortdauer der Versuche der ursprüngliche Druckverlust immer stärker unterschritten wurde nicht mehr so stark anstieg, wie kurz vor der Probenahme. Dies ist grundsätzlich sehr positiv, weil die Verluste geringer werden, deutet aber auf der anderen Seite darauf hin, dass im Endbetrieb eine regelmäßige Entspannung stattfinden muss, um die Betriebskosten zu optimieren. Dies ist nur mit erheblichen Mehraufwand möglich.

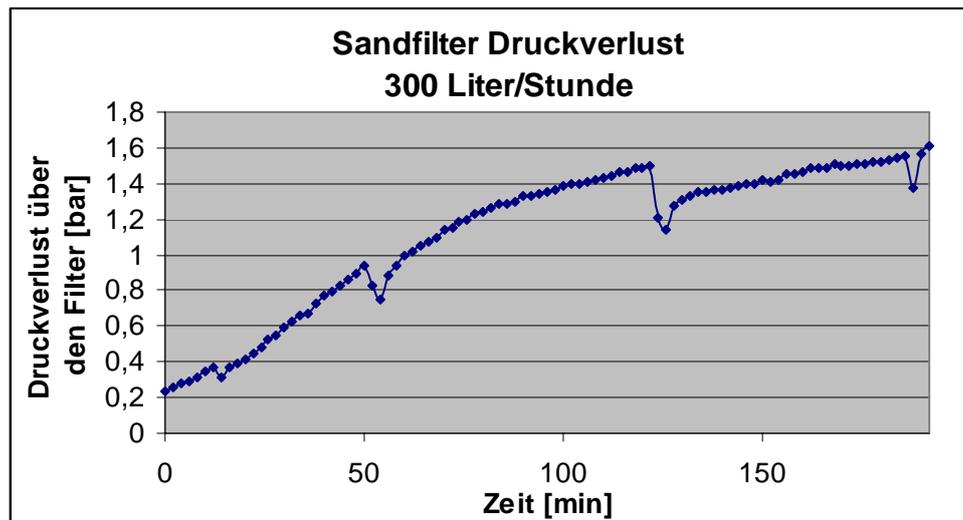


Abbildung 9.11: Sandfilter: Verlauf Druckverlust bei 300l/h

Für den Versuch mit 300 Liter/Stunde Durchfluss hat sich der Druckverlust nach 3 Stunden von 0,2 auf 1,6 bar verachtfacht. Bei einem Durchfluss von 150 Liter/Stunde hatte sich der Druckverlust nach 2 ½ Stunden etwa verdreifacht.

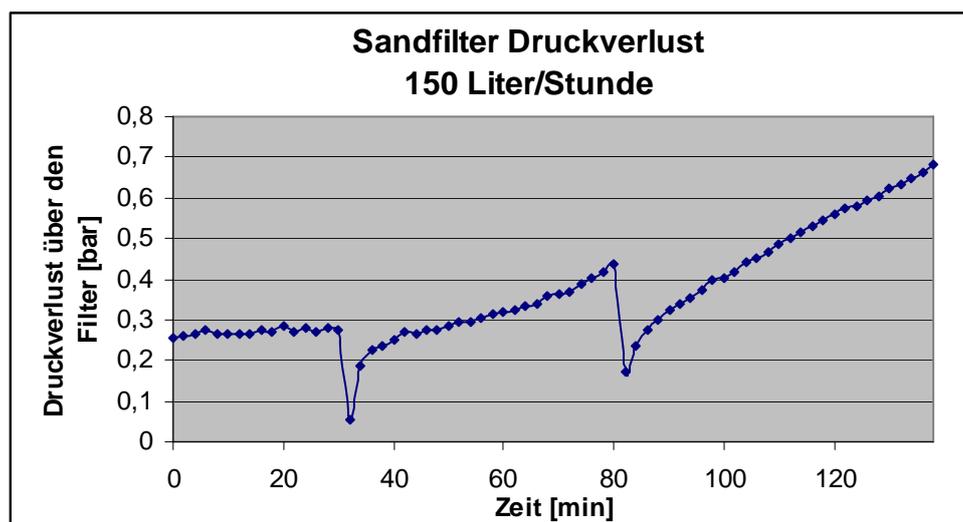
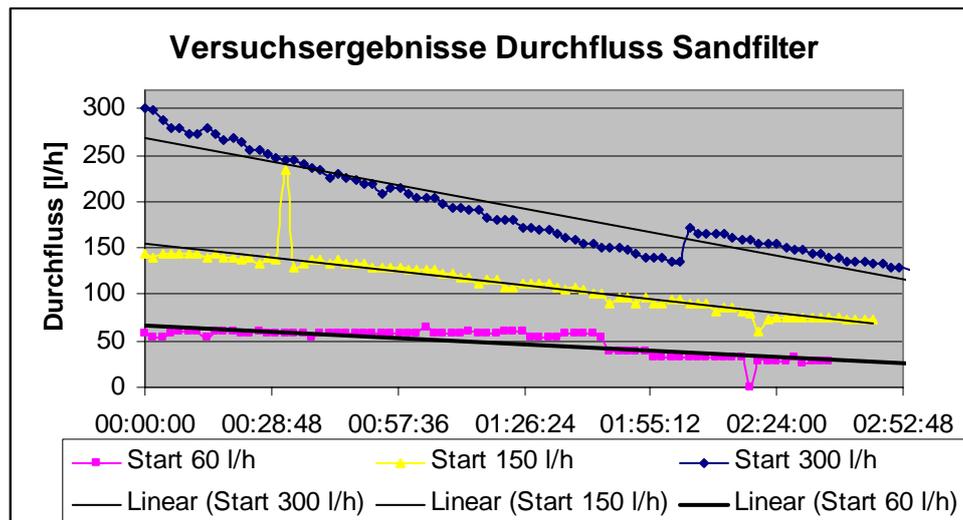


Abbildung 9.12: Sandfilter: Verlauf Druckverlust bei 150l/h

In der nächsten Abbildung sind die Verläufe der Durchflüsse für alle drei Versuche dargestellt. Man erkennt, dass der Durchfluss in allen drei Versuchen bereits nach etwa 3 Stunden auf die Hälfte gesunken ist. Je größer der Durchfluss ist, desto stärker sinkt der Durchfluss, da mehr Partikel im Filter verbleiben und dieser schneller verbraucht wird.



**Abbildung 9.13: Sandfilter: Versuchsergebnisse Reinigung Phosphatspüle**

Sowohl sinkender Durchfluss als auch Druckverlust führen zu einer geringen Standzeit. Weiters scheint die Korngröße zu groß gewählt zu sein, da das Filtrat eine mit dem Auge deutlich wahrnehmbare Resttrübung aufwies. Würde man kleinere Sandkörner wählen, würde der Druckverlust noch größer werden, weshalb ein Sandfilter nicht zur Filterung dieses Prozesswasser als geeignet erscheint.

#### Beutel- und Kerzenfilter, sowie Kombinationen:

Es wurden mehrere Versuche mit Beutel- und Kerzenfiltern sowie verschiedenen Kombinationen mit dem Ziel gemacht, den Feststoff möglichst vollständig aus dem Prozesswasserstrom zu entfernen. In der nachfolgenden Tabelle sind die getesteten Filter aufgelistet.

**Tabelle 9.16: Versuchsaufstellung Pilotversuche Phosphatspüle**

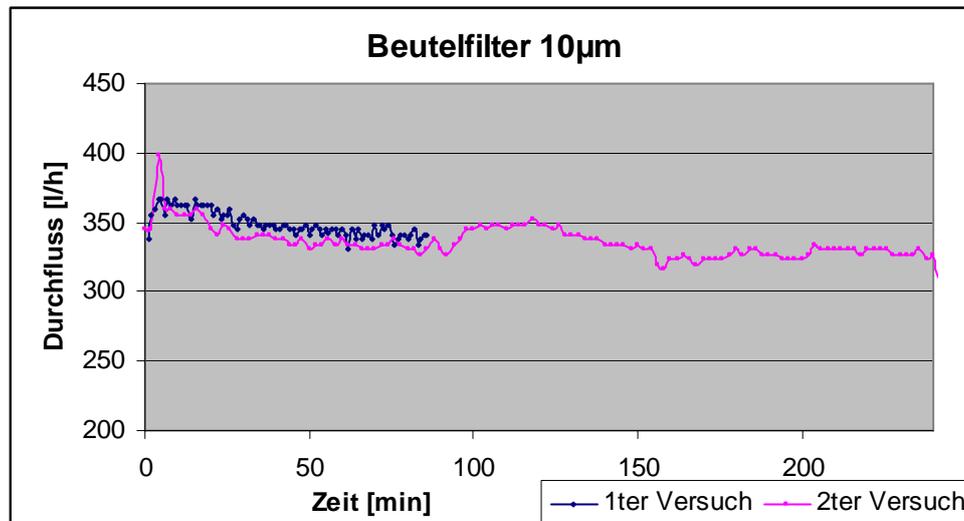
Beutelfilter	100 $\mu\text{m}$
Beutelfilter	50 $\mu\text{m}$
Beutelfilter	10 $\mu\text{m}$
Kerzenfilter	10 $\mu\text{m}$
Kerzenfilter	1 $\mu\text{m}$
Beutelfilter + Kerzenfilter	10 $\mu\text{m}$ + 1 $\mu\text{m}$
Beutelfilter + 2x Kerzenfilter	50 $\mu\text{m}$ + 10 $\mu\text{m}$ + 1 $\mu\text{m}$

#### Beutel- und Kerzenfilter 10 $\mu\text{m}$ :

Der erste Filter, der getestet wurde, war ein Kerzenfilter mit einer Porengröße von 10  $\mu\text{m}$ . Es war geplant, dass der Filter über die Nacht durchlaufen sollte, um dessen Langzeitverhalten abschätzen zu können. Das Filtrat unterschied sich weder optisch (Trübung), noch in pH-Wert oder Leitfähigkeit wesentlich vom Feedstrom, weshalb der Versuch nach etwa 3 Stunden abgebrochen wurde.

Im Anschluss daran wurde ein Beutelfilter mit 10  $\mu\text{m}$  getestet, wobei der Durchfluss höher gewählt wurde. Es war geplant, dass der Versuch über 24 Stunden laufen sollte, wegen eines technischen Problems fiel die Messung in der Nacht allerdings aus und es lagen nur Daten der ersten 3 Stunden vor. Die letzte Probe wurde nach etwa 2 ½ Stunden, also kurz vor Abbruch, gezogen, und es konnte, dem Kerzenfilterversuch entsprechend, kaum eine Änderung in pH-Wert, Leitfähigkeit und Trübung erkannt werden. Als Konsequenz wurde in der Früh mit

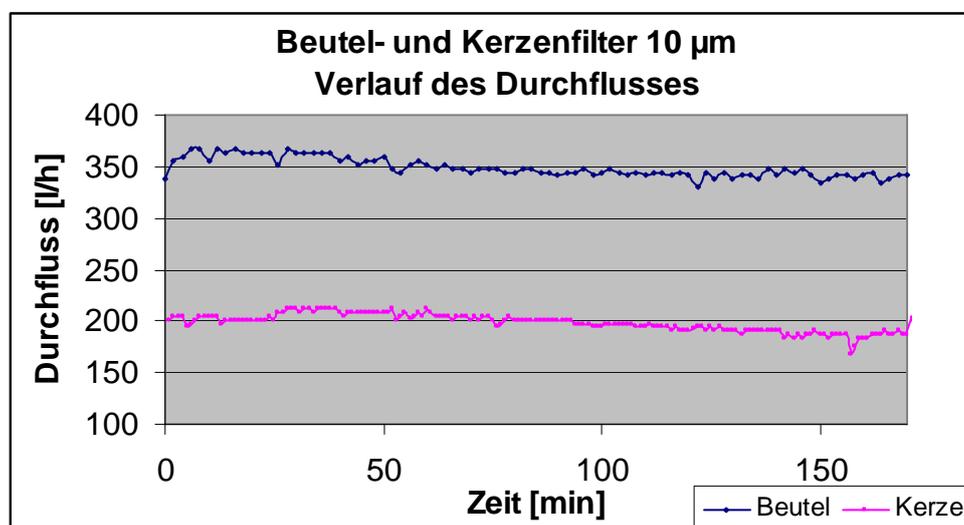
einem neuen Beutelfilter der Versuch wiederholt. In der nachfolgenden Abbildung erkennt man die Verläufe des Durchflusses für beide Versuche mit Beutelfiltern.



**Abbildung 9.14: Beutelfilter: Versuchsergebnisse 10µm**

Man erkennt kaum einen Unterschied im Verlauf des Durchflusses.

Die Ergebnisse für den Kerzen- und den ersten Versuch mit einem Beutelfilter mit jeweils 10µm sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Man erkennt, dass es kaum eine nennenswerte Verringerung des Durchflusses gab. Nachdem bei keinem Parameter eine deutliche Verbesserung erzielt werden konnte, wurden die Versuche mit Filtern der Größe 10µm vorerst eingestellt.



**Abbildung 9.15: Kombination Beutel- und Kerzenfilter (je 10µm): Verlauf Durchfluss über die Zeit**

#### **Kombination Kerzenfilter 10µm und Kerzenfilter 1µm:**

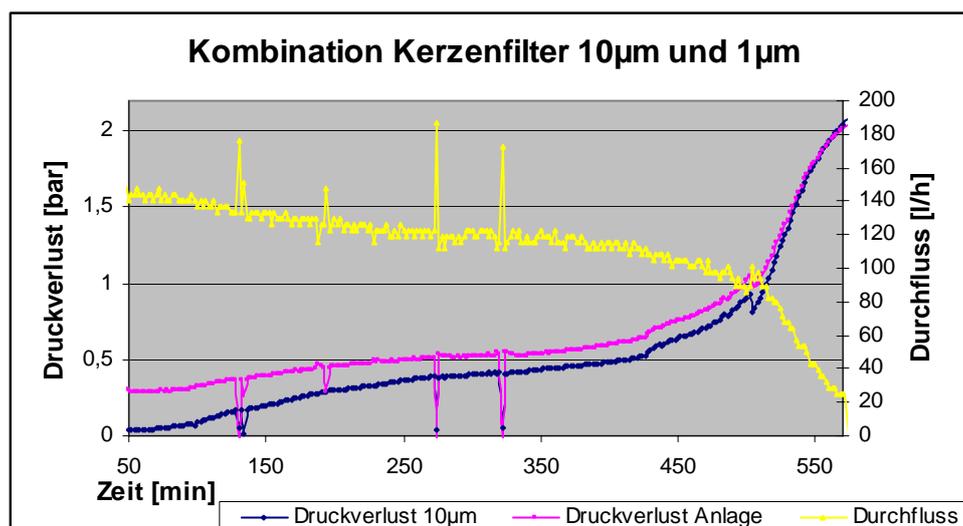
Die Versuchsergebnisse mit einem 10µm Filter waren unbefriedigend, weshalb der 10µm eine zweite 1µm Filterkerze nach geschaltet wurde.

Wie aus der nächsten Abbildung zu erkennen ist, war das Filtrat (links) klar. Eine Probe des Feedstrom ist rechts daneben dargestellt.



**Abbildung 9.16: Kombination Beutel- (10 $\mu$ m) und Kerzenfilter (1 $\mu$ m): Feed rechts, Filtrat links**

Die Messungen ergaben den Verlauf, der im nachfolgenden Diagramm dargestellt ist. In den ersten etwa 8 Stunden kam es zu einer Reduktion des Durchflusses von 140 l/h auf 100 l/h. Der Druckverlust steigt in derselben Zeit für die Anlage von 0,3 auf 0,8 bar.



**Abbildung 9.17: Kombination Beutel- (10 $\mu$ m) und Kerzenfilter (1 $\mu$ m): Druckverlust und Verlauf Durchfluss über die Zeit**

Ab diesem Zeitpunkt begann allerdings der Filter sich vollständig zu schließen, woraufhin es in der darauf folgenden Stunde zum kompletten Zuwachsen kam, wie im nachfolgenden Foto zu sehen ist. Der Durchfluss fiel innerhalb kurzer Zeit auf 20 Liter/Stunde und danach weiter auf 0. Der Druck stieg auf etwa 2 bar Verlust an.



**Abbildung 9.18: Kombination Beutel- (10µm) und Kerzenfilter (1µm): Filterpatrone komplett zugewachsen**

Der Verlauf der Zinkkonzentration über Zeit ist in der nächsten Tabelle zusammengefasst. Die Konzentration gelösten Zinks im Spülwasser war zu Beginn 8,3 mg/l. Es wurde zum Start der Versuchsreihe auch eine repräsentative Probe mit Feststoffanteil analysiert, die eine Gesamtzinkkonzentration von 1.827mg/l aufwies.

Die Konzentration gelösten Zinks lag zwischen 5,9 und 7,6mg/l, wobei der Wert mit Fortdauer des Versuchs abnahm. Vermutlich kommt es zu einer Adsorption gelösten Zinks an bereits gefälltem Schlamm, der die Wirkung der Filtration unterstützt.

**Tabelle 9.17: Kombination Beutel- (10µm) und Kerzenfilter (1µm): Verlauf der Zn-Konzentration**

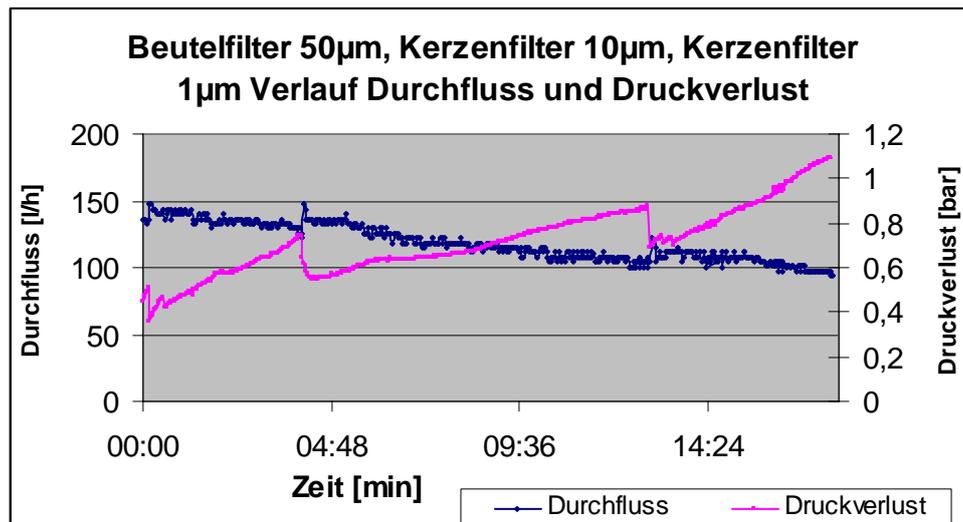
Zeit [min]	Feed [mg/l]	Filtrat [mg/l]
0	8,3	7,6
60	7,6	7
200	7,9	6,3
400	7,8	5,9

#### **Kombination Beutelfilter 50µm, Kerzenfilter 10µm und 1µm:**

Um die Standzeit bei gleichen Resultaten zu verlängern, wurde in einer weiteren Messung ein 50µm Beutelfilter vorgeschaltet, um grobe Partikel abzuscheiden, bevor diese den Kerzenfilter verstopfen.

Der Versuch lief über 18 Stunden und wurde bei einer Reduktion des Durchflusses von 150 Liter/Stunde auf 96 Liter/Stunde abgebrochen. Der Druckverlust stieg während der Messungen von 0,45bar auf 1,1bar.

Nach etwa 4 und ein weiteres Mal nach etwa 13 Stunden wurde die Anlage kurz abgeschaltet, um optisch zu überprüfen, ob die Filter bereits verbraucht waren. Nachdem die Filter nicht sehr stark belegt waren, wurden sie wieder eingebaut und der Versuch fortgeführt. Die beiden Zeitpunkte erkennt man in den Graphen durch den Einbruch im Druckverlust bzw. der Erhöhung des Durchflusses, der daher entsteht, dass der Druck von der Anlage genommen wird und es zu einer Entspannung in der Anlage kommt.



**Abbildung 9.19:** Kombination Beutelfilter 50 $\mu$ m, Kerzenfilter 10 $\mu$ m und 1 $\mu$ m: Verlauf des Druckverlust und Durchfluss

Die drei verwendeten Filter sind im nachfolgenden Foto dargestellt. Durch den Einsatz des groben Beutelfilters, konnten die beiden Filterkerzen entlastet werden. Man erkennt eine unterschiedliche Färbung der drei abgeschiedenen Schlämme, wobei man den größten Unterschied zwischen den beiden Kerzen erkennt. Der Unterschied ergibt sich durch eine unterschiedliche chemische Zusammensetzung der abgeschiedenen Schlämme.



**Abbildung 9.20:** Filtermodule aus Filterkombination, Phosphatspüle

Das Gewicht der abgeschiedenen Schlämme wurde gravimetrisch bestimmt und dadurch der Abscheidegrad ermittelt. Das Ergebnis ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

**Tabelle 9.18: Schlammanfall Filtermodule**

Filter	Schlammanfall [g]
Beutel 50 µm	205
Kerze 10 µm	72
Kerze 1 µm	62

Während der Versuchszeit wurden etwa 2.125 Liter Spülwasser behandelt. Mit einer durchschnittlichen Feststoffkonzentration von 0,2048g/l im Spülwasser ergibt sich ein Abscheidegrad von 79,8% bei einer Standzeit von etwa 18 Stunden.

### 9.1.2.3 Messungen:

Um die Zusammenhänge in den einzelnen galvanischen Anlagen leichter darstellen zu können, wurden Messung vor Ort durchgeführt. Dazu wurden der pH-Wert, die Leitfähigkeit und die Temperatur an verschiedenen Punkten der Anlagen in einem ersten Schritt über den Zeitraum einer Woche und in einer zweiten Messserie über 1 Monat gemessen. Die Ergebnisse wurden mittels Datenerfassungssystem aufgenommen und ausgewertet. Ziel war es zu bestimmen, ob die mathematischen Berechnungen der Spülkriterien den tatsächlichen gemessenen entsprechen und die notwendige Datenstruktur zu schaffen, um in weiterer Folge eine Steuerung der Frischwasserzufuhr in die Spülbäder zu implementieren.

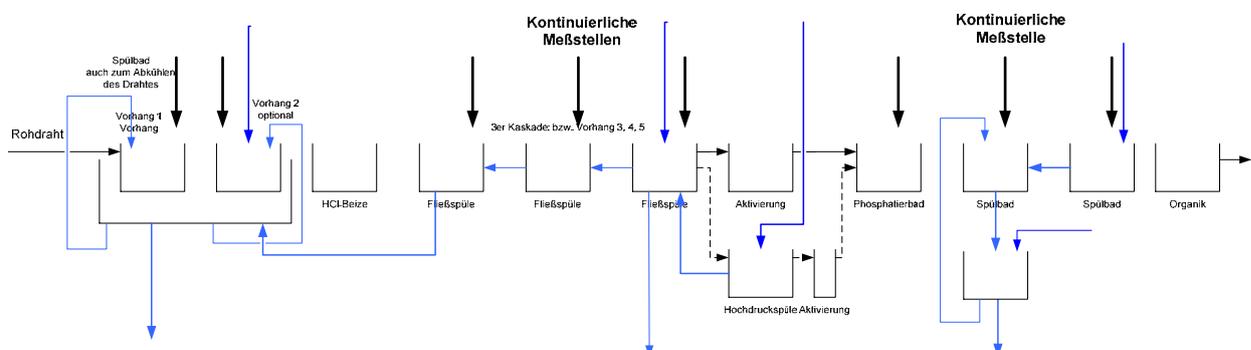
### Durchführung:

Es standen vier pH-, drei Leitfähigkeits- und vier Temperaturmessungen zur Verfügung. Zudem wurden weitere Messungen der Leitfähigkeit und Temperatur mit einem Handmessgerät durchgeführt, wobei sowohl an Anlage 4 als auch Anlage 1 gemessen wurde.

### Messpunkte:

Die Messstellen sind jeweils in der nachfolgenden Grafik dargestellt und darauf folgend aufgelistet. Je Punkte an denen die Daten mittels kontinuierlicher Datenerfassung gemessen wurden sind mit der Beschriftung „Kontinuierliche Messpunkte“ markiert. An den Stellen, die lediglich durch einen Pfeil gekennzeichnet sind, wurden zu regelmäßigen Zeitpunkten, allerdings mit einem Handmessgerät, die Messwerte ermittelt.

### Anlage 4:

**Abbildung 9.21: Anlagenschema Anlage 4**

Kontinuierliche Messpunkte:

- 3er Fließspülkaskade nach der Beize
- Erste Spüle nach dem Phosphatbad

Diskontinuierliche Messpunkte:

- Vorhang 1 und 2 vor der Beize
- Phosphatbad
- Zweite Spüle nach dem Phosphatbad



Abbildung 9.22: Messstellen für Handmessung: Vorhang 1 und 2 vor der Beize



Abbildung 9.23: 3-stufige Fließspülkaskade nach der Beize mit Messaufbau



Abbildung 9.24: Rechts: 1. Spülbad nach der Phosphatierung mit Leitfähigkeits- und pH-Temperatursonde, links: 2. Spülbad

#### Anlage 1:

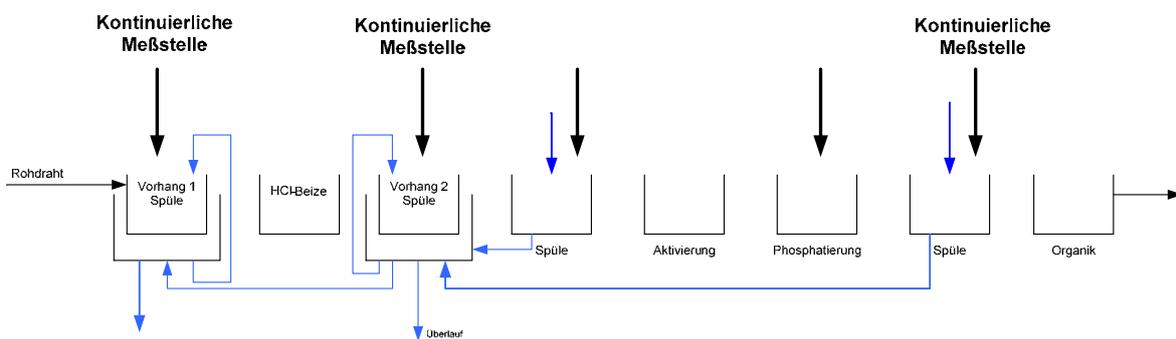


Abbildung 9.25: Anlagenschema Anlage 1

#### Kontinuierliche Messpunkte:

- Vorhang 1 vor der Beize
- Vorhang 2 nach der Beize
- Erste Spüle nach dem Phosphatbad

#### Diskontinuierliche Messpunkte:

- 3er Fließspülkaskade nach der Beize
- Phosphatbad



Abbildung 9.26: Vorhang nach der Beize, Messstelle für pH-Wert, Leitfähigkeit- und Temperatur

### Ergebnisse der ersten Messserie

#### Anlage 4:

Im Folgenden sind die Ergebnisse für die 3-stufige Fließspülkaskade nach der Beize der Anlage 4 im Detail erklärt und die Erkenntnisse beschrieben. Die Ergebnisse der anderen Messungen sind im Anschluss auszugsweise beschrieben.

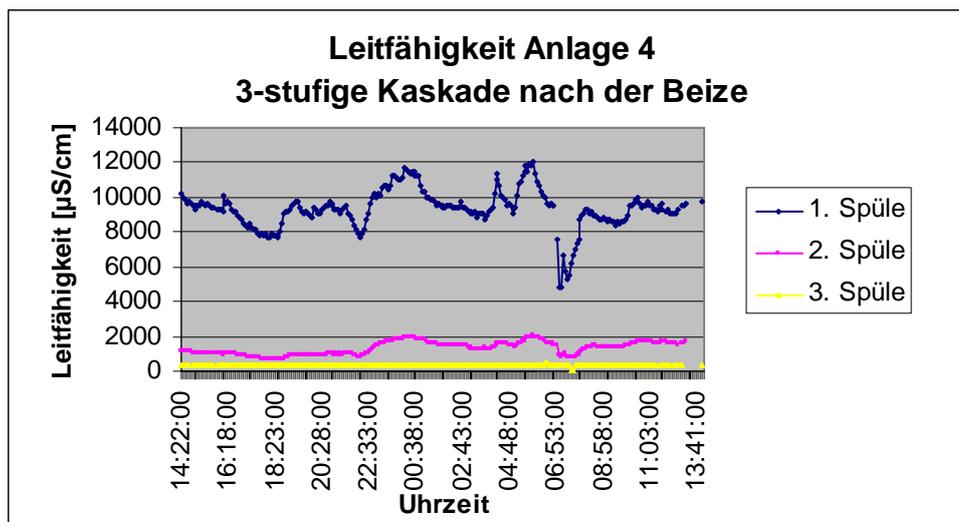
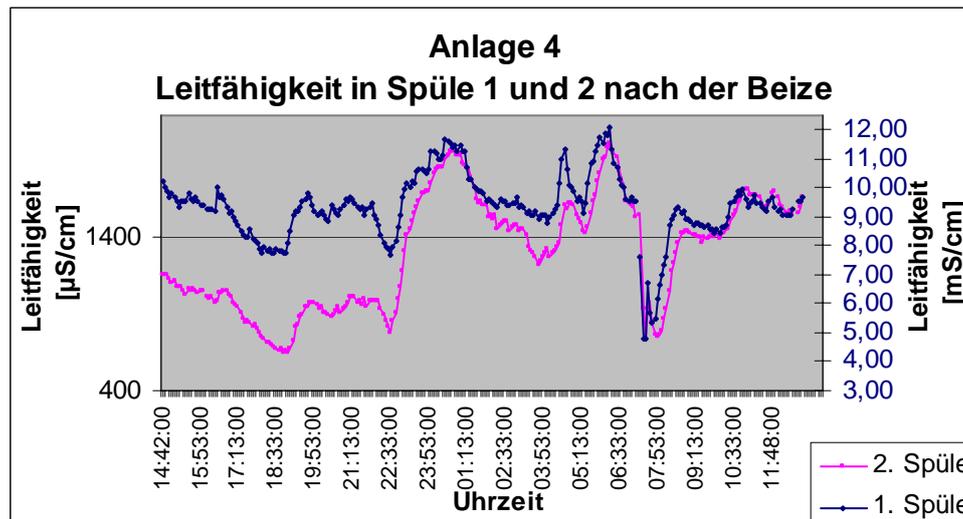


Abbildung 9.27: Anlage 4: Verlauf der Leitfähigkeit in den 3 Bädern der Fließspüle

Das vorherige Diagramm zeigt den Verlauf der Leitfähigkeit in den drei Bädern der Fließspülkaskade über 1 Tag kontinuierlich gemessen. Das Messintervall betrug 10 Minuten. Die Schwankungen im ersten Bad sind am stärksten und bewegen sich zwischen 7.900 µS/cm und 12.000 µS/cm. Damit ergibt sich eine Schwankungsbreite von etwa 4.000 µS/cm oder 50% des unteren Wertes. Der arithmetische Mittelwert liegt bei 9.230 µS/cm. Nach etwa 16 Stunden kam es zu einem Produktionsausfall, wodurch keine Säure mehr in das Spülbad ausgeschleppt wurde und die Leitfähigkeit deutlich zu sinken begann. Unmittelbar nach dem Neustart der Produktion stieg die Leitfähigkeit wieder auf den Mittelwert. Der Abfall der Leitfähigkeit ist im Diagramm deutlich zu erkennen. Die Leitfähigkeit im zweiten Bad schwankt deutlich schwächer zwischen 750 und 2.100 µS/cm, bei einem Mittelwert von 1.289 µS/cm. Jene im dritten Bad liegt annähernd konstant bei 376 µS/cm, was annähernd der Leitfähigkeit des Frischwassers entspricht.

Wenn die Leitfähigkeit in allen drei Bädern auf äußere Einflüsse, z.B. die Erhöhung des Massenstroms und damit auf den vermehrten Eintrag von Säure, gleich reagiert, kann darauf geschlossen werden, dass die Bäder gut durchmischt sind und ausreichend kommunizieren. Wenn dies nicht der Fall wäre, würden Berechnungen sinnlos sein, da diese auf Grund baulicher Mängel nie die Realität widerspiegeln würden.

Deshalb wurde die Leitfähigkeit des ersten und zweiten Bades im nächsten Diagramm gemeinsam dargestellt. Man erkennt sehr gut, dass alle Schwankungen im ersten Bad direkt im zweiten Bad wieder gefunden werden. Deshalb kann man davon ausgehen, dass die Kommunikation der Wässer in den ersten beiden Bädern sehr gut funktioniert.



**Abbildung 9.28: Anlage 4: Vergleich des Verlaufs der Leitfähigkeit in Spüle 1 und 2**

Die sehr niedrige Leitfähigkeit im dritten Bad, die fast Frischwasserqualität aufweist, deutet aber darauf hin, dass die Frischwassermenge viel zu groß ist. Neben der Leitfähigkeit wurde auch der pH-Wert gemessen. Das Ergebnis der drei Spülen ist gemeinsam in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Der pH-Wert in der ersten Spüle ist am niedrigsten, wobei die Schwankungen sehr gering sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der pH-Wert durch eine logarithmische Funktion wiedergegeben wird und Konzentrationsschwankungen bei niedrigen pH-Werten eine geringere Auswirkung haben, als bei höheren pH-Werten. Der pH-Wert der ersten Spüle schwankt zwischen 1,75 und 1,88 und hat einen Durchschnittswert von 1,82. Jener der zweiten Spüle liegt im Mittel bei 2,98 und bewegt sich zwischen 2,63 und 3,59. Die dritte Spüle liegt im Mittel bei 7,37, schwankt sehr gering und entspricht wieder annähernd einer Frischwasserqualität.

Entsprechend der Leitfähigkeit wurden auch die Werte der pH-Werte in den ersten beiden Bädern gegeneinander aufgetragen, um zu erkennen, ob Änderungen äußerer Einflüsse sich in beiden Bädern visualisieren lassen. Dies ist auch beim pH-Wert sehr gut möglich.

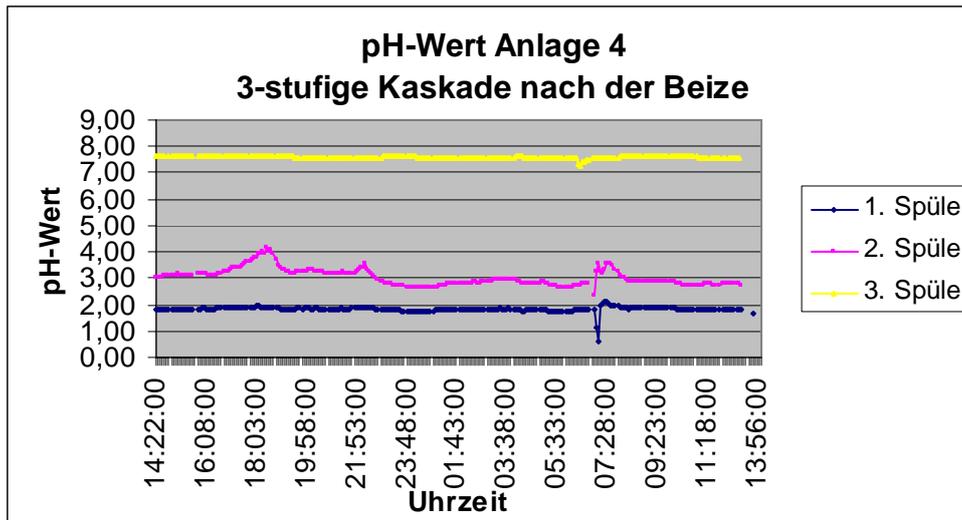


Abbildung 9.29: Anlage 4: Verlauf des pH-Werts in den 3 Bädern der Fließspüle

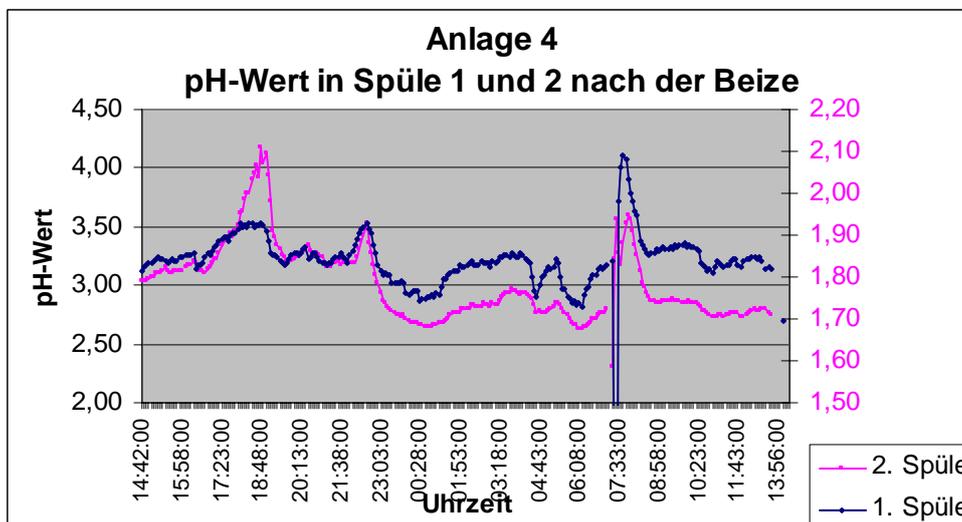
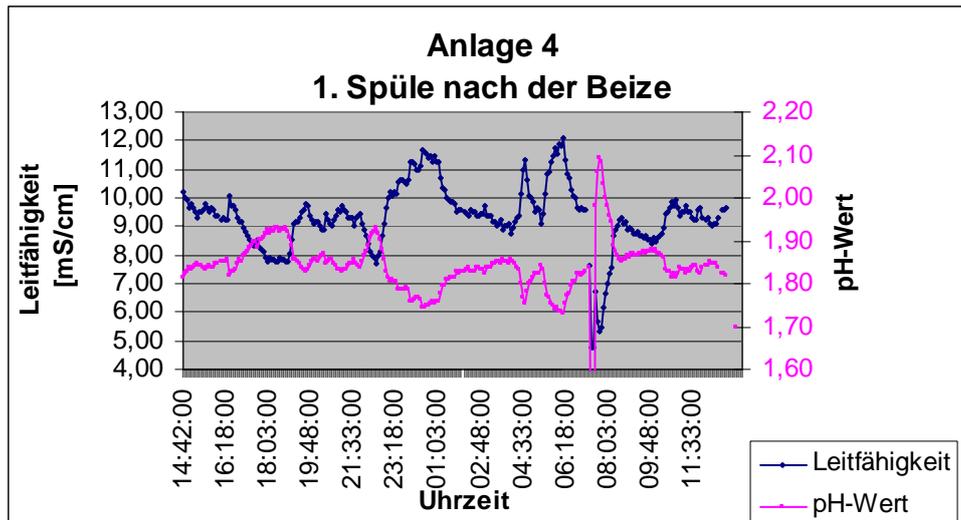


Abbildung 9.30: Anlage 4: Vergleich des pH-Werts in Spüle 1 und 2

Um den Aufwand für zukünftige Messungen zu verringern, z.B. Reduktion der Anzahl der Messparameter, ist es wichtig zu wissen, ob aus den Ergebnissen der Leitfähigkeit und des pH-Werts gleiche Schlüsse gezogen werden können. Deshalb wurde die Leitfähigkeit und pH-Wert gegeneinander aufgetragen, und man erkennt, dass jede Änderung der Leitfähigkeit direkt im pH-Wert wieder zu finden ist. Somit ist klar, dass es in Zukunft genügt, einen der beiden Parameter zu messen und direkt auf den Verlauf des anderen rückgeschlossen werden kann.

Der plötzliche Abfall des pH-Werts kurz vor 08:03 Uhr ist auf einen Produktionsausfall zurückzuführen, durch den bedingt, die Frischwasserzufuhr unterbrochen wurde.



**Abbildung 9.31: Anlage 4: Verlauf der Leitfähigkeit und des pH-Werts**

Die Durchschnittswerte der Messungen aus allen Bädern sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst.

**Tabelle 9.19: Anlage 4: Versuchsergebnisse Vorhang 1 und 2**

Vorhang vor der Beize					
Vorhang 1			Vorhang 2		
Leitfähigkeit [mS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [mS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]
5,38	1,97	48,4	5,46	1,94	49,0

**Tabelle 9.20: Anlage 4: Versuchsergebnisse 3-stufige Fließspülkaskade nach der Beize**

3-stufige Kaskade nach Beize								
1. Spüle			2. Spüle			3. Spüle		
Leitfähigkeit [mS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]
9,23	1,82	14,8	1288,84	2,98	12,7	376,25	7,37	10,3

**Tabelle 9.21: Anlage 4: Versuchsergebnisse Phosphatbad und Spülen**

Phosphatbad			1. Spüle			2. Spüle		
Leitfähigkeit [μS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [μS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]
62300	1,53	80,1	1247	4,74	17,1	632	5,72	14,3

Man erkennt, dass die beiden Vorhänge vor der Beize, die zum Abkühlen des hereinkommenden Drahtes dienen, dieselben Messwerte aufweisen. Dies ist auf Grund der Tatsache, dass beide Vorhänge aus demselben Vorlagebehälter bedient werden, leicht verständlich. Das Wasser der ersten Spüle nach der Beize rinnt in denselben Vorlagetank, weist jedoch einen deutlich niedrigeren pH-Wert und höhere Leitfähigkeit auf. Aus den Messwerten des Vorhangs und der ersten Spüle, sowie den dazugehörigen Mengenangaben, kann der Frischwasserzustrom zu Kühlzwecken berechnet werden.

Unter Annahme eines linearen Leitfähigkeitsverlaufs, der experimentell nachgewiesen wurde (siehe Fallstudie Sebring), ergibt sich, mit einem Volumenstrom der ersten Spüle von 1.100 Liter/Stunde, eine Frischwasserdosierung von etwa 750 Liter/Stunde zu Kühlzwecken. Im Anschluss sind an die bereits beschriebenen Daten der 3er Fließkaskade nach der Beize sind die Durchschnittswerte des Phosphatbades und der beiden anschließenden Spülen abgeführt. Dabei wurde das Phosphatbad und die zweite Spüle nur in regelmäßigen Zeitabständen und nur die erste Spüle kontinuierlich bemessen.

Eine Berechnung, der auf den Messdaten beruhenden tatsächlichen Spülkriterien, ergab folgende Ergebnisse:

#### 3er Fließkaskade nach der Beize:

- Gesamtpülkriterium: 118.000.000
- Zwischen Beize und 1. Spüle: 335
- Zwischen 1. und 2. Spüle: 24
- Zwischen 2. und 3. Spüle: 14.547

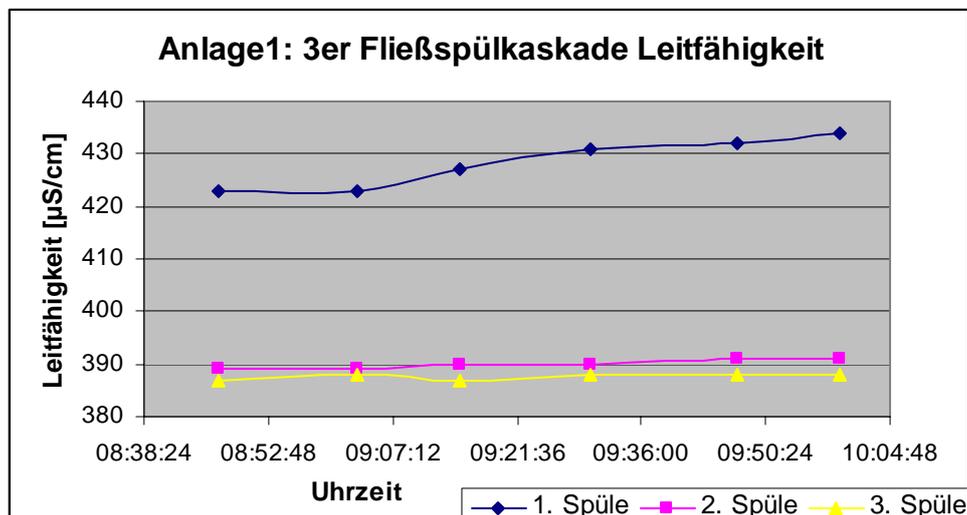
#### Phosphatbad:

- Gesamtpülkriterium: 6.310

Vor allem das Spülkriterium der 3er Kaskade nach der Beize, und dabei im Besonderen das Spülkriterium zwischen der zweiten und dritten Spüle, sind viel zu hoch. Auf Basis der Messungen ergibt sich eine Reduktion der derzeitigen Spülwassermenge auf unter 1% des derzeitigen Verbrauchs. Dies ist allerdings nicht umsetzbar, da die technischen Voraussetzungen, z.B. Pumpen, nicht dafür ausgelegt sind.

#### **Anlage 1:**

Es war geplant, die 3er Fließspülkaskade nach der Beize kontinuierlich zu vermessen. Es ergaben sich bei einer ersten Testmessung zur Abschätzung und Feineinstimmung der Messdatenerfassung folgende Ergebnisse.

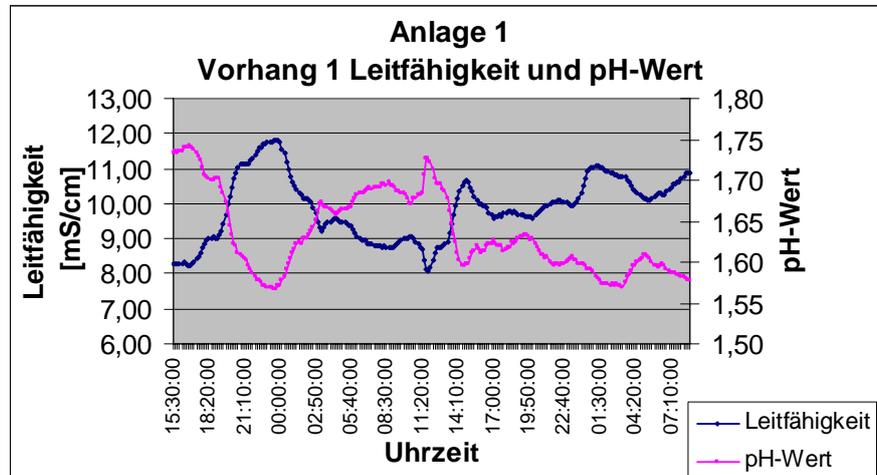


**Abbildung 9.32: Anlage 1: Verlauf der Leitfähigkeit in den 3 Bädern der Fließspüle**

Man erkennt, dass bereits die erste Spüle eine sehr niedrige Leitfähigkeit von etwa 425 µS/cm aufweist. Im zweiten und dritten Spülbad ist die Leitfähigkeit etwa gleich hoch auf etwa 388µS/cm. Der pH-Wert in der ersten Spüle betrug zwischen 7,51 und 7,53. Damit hat bereits das erste Wasser der 3-stufigen Fließspülkaskade fast die Qualität von Frischwasser, die beiden Folgenden weisen Frischwasserqualität auf. Nachdem sich die Messwerte drei Fließspülen im Laufe einer Woche nicht änderten, wurde darauf verzichtet diese

kontinuierliche zu vermessen und nur noch in Stichproben die Leitfähigkeit, pH-Wert und Temperatur notiert.

Statt der 3er Fließkaskade nach der Beize wurden der Vorhang vor und jener nach der Beize kontinuierlich vermessen. Die Ergebnisse sind in den folgenden beiden Abbildungen zusammengefasst.



**Abbildung 9.33: Messergebnisse Anlage 1: Vorhang 1, Leitfähigkeit und pH-Wert**

Im Vorhang vor der Beize schwankt der pH-Wert zwischen 1,57 und 1,74. Die Leitfähigkeit verhält sich entgegengesetzt und pendelt zwischen  $8.000\mu\text{S}/\text{cm}$  und  $11.950\mu\text{S}/\text{cm}$ . Die beiden Werte sind voneinander abhängig, von einem kann direkt auf den anderen geschlossen werden, vgl. Anlage 4. Die starken Schwankungen basieren hier, wie auch bei Anlage 4, auf stark variierenden Produktionsmengen, die durch die Anlage gefahren wurden. Bei einer geringeren Auslastung nimmt die Einschleppung ab und somit verändert sich der pH-Wert und die Leitfähigkeit.

Vorhang 2 nach der Beize zeigt dasselbe Verhalten, wie Vorhang 1. Die Schwankungsbreite ist ähnlich groß, liegt bei der Leitfähigkeit zwischen  $6.950\mu\text{S}/\text{cm}$  und  $11.350\mu\text{S}/\text{cm}$ , und ist somit etwas nach unten verschoben. Der pH-Wert befindet sich zwischen 1,71 und 1,86, wobei ein Ausreißer auf Grund einer Produktionsstörung im Diagramm bei etwa 10:10:00 zu erkennen ist. Der etwas höhere pH-Wert und die etwas niedrigere Leitfähigkeit sind darauf zurück zu führen, dass in den Vorhang 2 die Spülwässer der 3er Fließkaskade eingeleitet werden und das Wasser somit etwas verdünnt wird. Die starke Unregelmäßigkeit im Kurvenverlauf ergibt sich durch eine variable Durchmischungsqualität der beiden Wässer, da die Mischung nicht immer gut funktioniert.

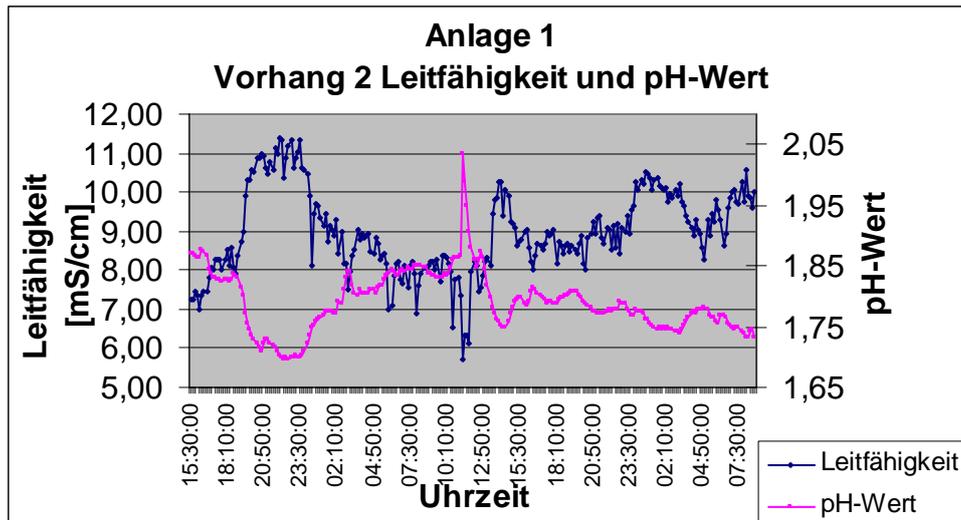


Abbildung 9.34: Anlage 1: Vorhang 2: Verlauf Leitfähigkeit und pH-Wert

Die Durchschnittswerte der Messungen sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst:

Tabelle 9.22: Anlage 1: Messergebnisse: Vorhänge vor und nach der Beize

Vorhang vor/nach der Beize								
Überlauf vor Vorhang 1			Vorhang 1			Vorhang 2		
Leitfähigkeit [mS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [mS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [mS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]
11,02		45,9	9,91	1,64	41,6	9,02	1,79	23,4

Tabelle 9.23: Anlage 1: Messergebnisse: 3-stufige Fließspülkaskade nach der Beize

3-stufige Kaskade nach Beize								
1. Spüle			2. Spüle			3. Spüle		
Leitfähigkeit [µS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH-Wert	Temperatur [°C]
421,6	7,51	32,7	390,7	8,03	28,3	388,8	7,92	23,6

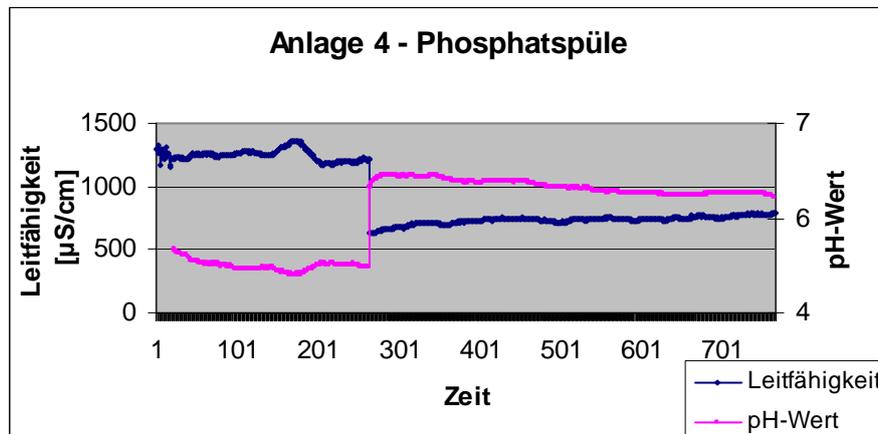
Tabelle 9.24: Anlage 1: Messergebnisse Phosphatierung und Spülen

Aktivierung		Phosphatierung					
Leitfähigkeit [mS/cm]	Temperatur [°C]	Phosphatbad vorne		Phosphatbad hinten		Spüle	
		Leitfähigkeit [mS/cm]	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [mS/cm]	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	Temperatur [°C]
4,3	46,4	62,3	80,1	61,6	80,1	791,4	19,0

Die Ergebnisse der beiden Vorhänge, sowie der 3er Kaskade wurden bereits besprochen. Das Phosphatbad wurde auf Grund der großen Länge an zwei Stellen vermessen, um aussagekräftigere Daten zu erhalten. Die Werte sind so ähnlich, dass von einem homogenen Bad ausgegangen werden kann. Dabei sind die Daten aus den Phosphatbädern der Anlagen 4 und 1 ebenfalls sehr ähnlich.

Die Aussagekraft der Messung der Leitfähigkeit der Spüle nach dem Phosphatbad muss allerdings hinterfragt werden, da dieser Wert sehr stark vom Alter des Bades abhängt. In der

nachfolgenden Abbildung ist der Verlauf der Leitfähigkeit und des pH-Wertes über eine Produktionspause mit Reinigung des Bades, allerdings für Anlage 4 (!), aufgetragen.



**Abbildung 9.35: Anlage 4: Phosphatspüle: Verlauf der Leitfähigkeit und des pH-Werts**

Man erkennt, dass durch die Reinigung des Phosphatbades und der anschließenden Spüle ein starker Sprung in den beiden Messwerten auftritt. Die Leitfähigkeit sinkt von etwa  $1.350\mu\text{S}/\text{cm}$  auf  $630\mu\text{S}/\text{cm}$  und der pH-Wert steigt von 4,72 auf 6,18. Damit kann durch eine einmalige Messung bzw. die Bildung eines Mittelwertes ein stark verfälschtes Bild entstehen.

#### **Ergebnisse der zweiten Messserie:**

Im Rahmen einer 4-wöchigen Messphase sollten die ersten Ergebnisse verifiziert werden sowie die Basis dafür geschaffen werden, dass Langzeiteffekte der Produktion besser abschätzbar werden können.

Die Messungen wurden nur in Anlage 4 durchgeführt, wobei folgende Messstellen genutzt wurden:

##### Kontinuierliche Messpunkte:

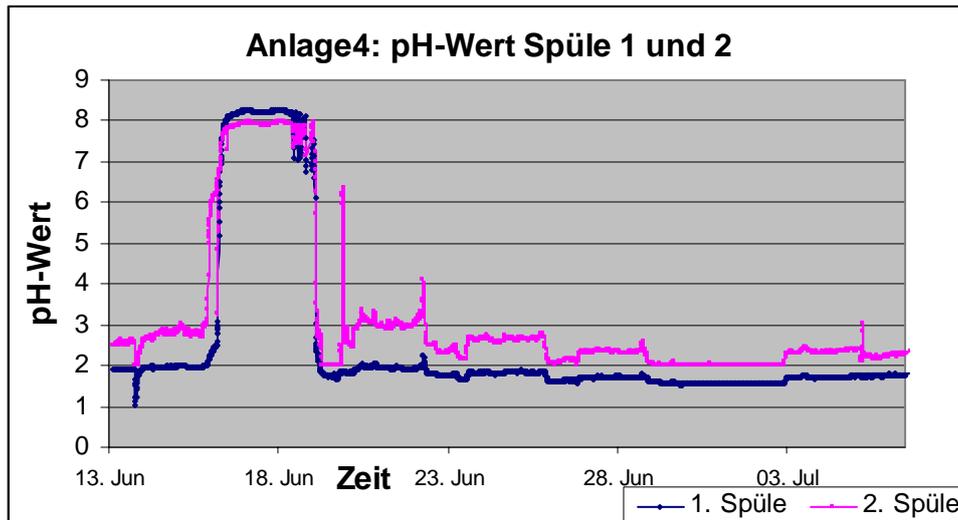
- 1 und 2. Bad der 3er Fließspülkaskade nach der Beize
- Erste Spüle nach dem Phosphatbad

##### Diskontinuierliche Messpunkte:

- Vorhang 1 und 2 vor der Beize
- 3. Spülbad der 3er Fließspülkaskade nach der Beize
- Phosphatbad
- Zweite Spüle nach dem Phosphatbad

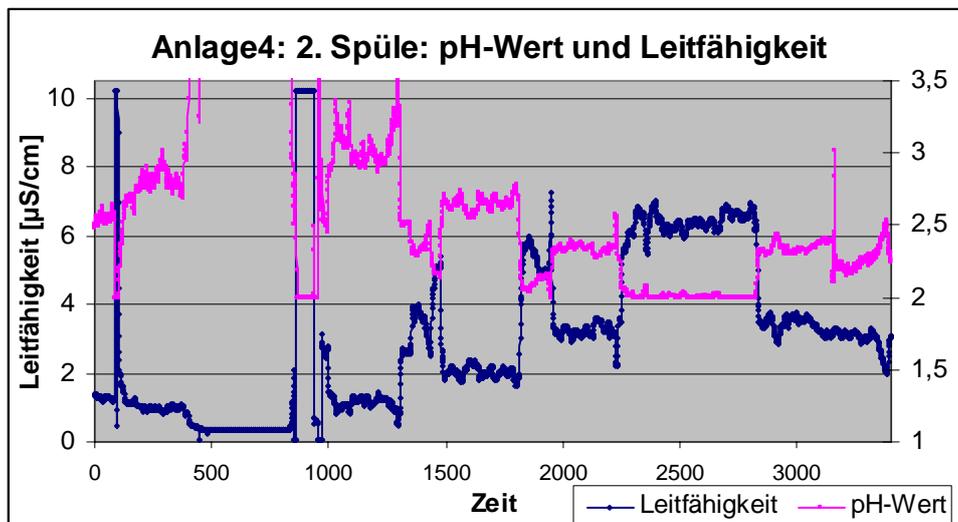
Die dritte Spüle der 3er Fließspülkaskade wurde nicht kontinuierlich vermessen, weil sich in der ersten Messserie ergeben hatte, dass sie annähernd Frischwasserqualität aufweist. Es wurden daher nur Kontrollmessungen in regelmäßigen Zeitabständen durchgeführt. Das Messintervall für die kontinuierlichen Messungen betrug 10 Minuten.

Die Messergebnisse des pH-Werts in der ersten und zweiten Spüle nach der Beize sind im nachfolgenden Diagramm dargestellt. Während eines Produktionsstillstands von 3 Tagen lief das Frischwasser weiter, was man am starken Anstieg auf einen pH-Wert von 8 in beiden Spülen erkennt. Nachdem die Produktion wieder aufgenommen wurde, fiel der pH-Wert wieder niedrigere Werte.



**Abbildung 9.36: Anlage 4: Verlauf des pH-Werts in Spüle 1 und 2 nach der Beize über 4 Wochen**

Unter Ausnahme der Stillstandperiode, ergibt sich ein Schwankungsbereich des pH-Werts für die erste Spüle zwischen 1,57 und 2,11 mit einem Durchschnittswert von 1,77. Die Werte für die zweite Spüle sind 2,15 bis 3,99 mit einem Durchschnittswert von 2,48. Damit liegen die Durchschnittswerte etwas niedriger als in der einwöchigen Messung, jedoch in derselben Größenordnung, wodurch die Ergebnisse als bestätigt angesehen werden können.



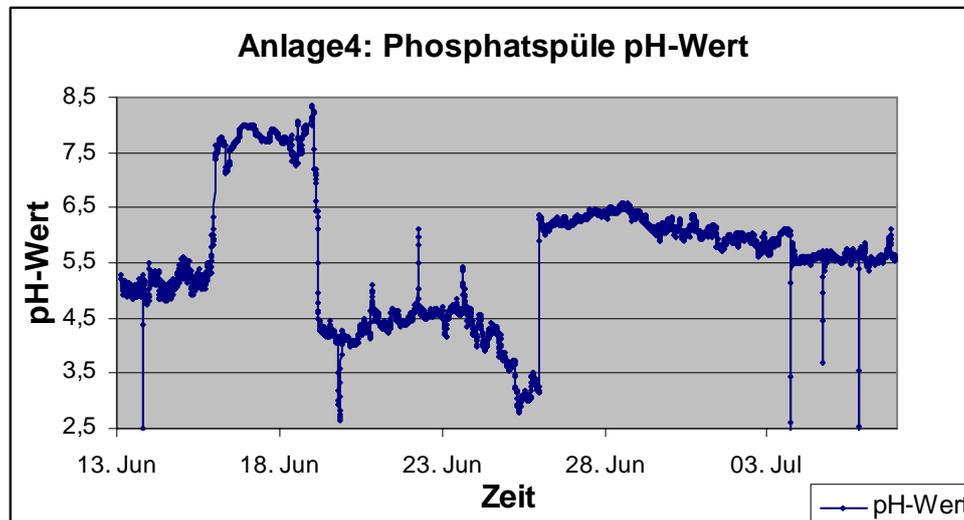
**Abbildung 9.37: Anlage 4: Verlauf des pH-Werts und der Leitfähigkeit von Spüle 2 über einen Monat**

Wenn man die Leitfähigkeit und den pH-Wert gegeneinander aufträgt, erkennt man wieder den typischen Zusammenhang. Je höher die Leitfähigkeit ist, desto niedriger wird der pH-Wert, wobei die Änderungen exakt einander entsprechen und von einem Wert auf den anderen geschlossen werden kann.

Die Messung der Werte für die dritte Spüle ergab keine Änderungen in der Schwankungsbreite und dem Durchschnittswert gegenüber jenen der einwöchigen Versuchsreihe.

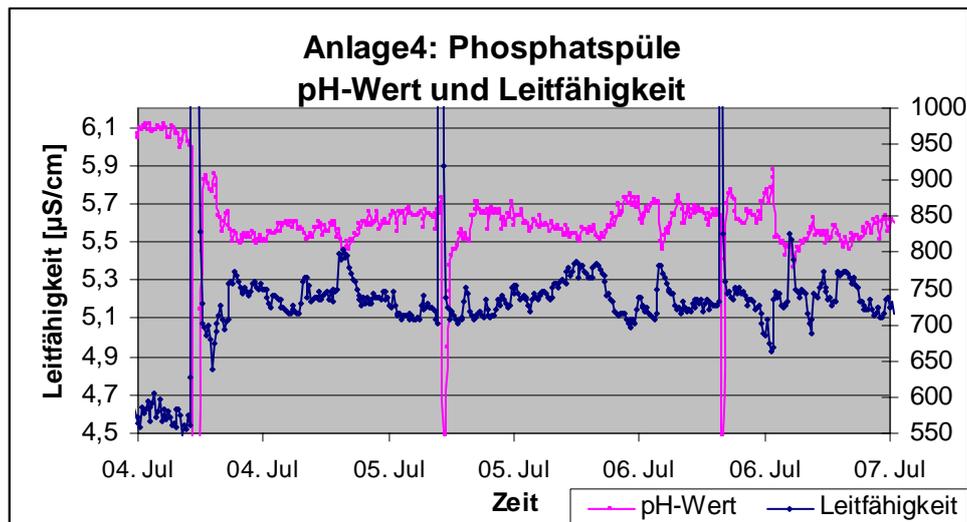
Bei den Messungen in der Spüle nach dem Phosphatbad ergab sich eine Vielzahl von Problemen. Zwei Mal fiel die Messung aus, da ein Mitarbeiter der Firma versehentlich am Ausschaltknopf der Leitfähigkeitsmessung angekommen war, wodurch die Daten von 6

Tagen verloren gingen. Das Spülbad wird regelmäßig mit Säure versetzt, um das starke Ausfallen des Phosphatschlammes zu unterdrücken. Im Zuge dessen wurden die Sonden gewartet. Auf Grund eines Krankheitsfalls im Unternehmen wurde eine Woche lang das Bad nicht gereinigt und die Leitfähigkeitssonde wuchs vollständig mit Phosphatschlamm zu. Dies führte zu einem Datenverlust von weiteren 4 Tagen. Aus diesem Grund war keine durchgängige Messung möglich.



**Abbildung 9.38: Anlage 4: Verlauf des pH-Werts in der Phosphatspüle über 3 Wochen**

In der vorhergehenden Abbildung ist der pH-Wert in der Phosphatspüle über die gesamte Versuchszeit dargestellt. Entsprechend den Messungen in den Spülen nach der Beize erkennt man auch hier, dass das Frischwasser trotz Produktionsstillstands von 3 Tagen weiter lief. Dieser Zeitperiode entspricht der erste hohe, konstante Anstieg auf einen pH-Wert von 7,5. Danach sinkt der pH-Wert stark ab auf unter 3,5. Der Grund dafür war, dass die Phosphatspüle bereits stark mit Phosphatschlamm zugewachsen war und die Spülwirkung deshalb nachgelassen hatte. Nachdem die Spüle wieder gereinigt war, stieg der pH-Wert sprunghaft auf etwa 6,4 an. Dieser Wert entspricht einem neu eingelassen und gereinigtem Phosphatspülbad. Mit fortlaufendem Betrieb sammelt sich der Schlamm wiederum im Becken an und verschlechtert die Durchmischung und damit Spülqualität. Der pH-Wert sinkt. In der Phase des steten Sinkens wurden auch Leitfähigkeitsmessungen durchgeführt. Der pH-Wert und die Leitfähigkeit ab dem 4. Juli sind im nächsten Diagramm dargestellt. Man erkennt, dass entsprechend den Beizspülbädern, es auch beim Phosphatbad einen direkten Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und pH-Wert gegeben ist, der durch keinerlei Pufferwirkung im Becken eliminiert wird. Deshalb ist es auch in der Phosphatspüle möglich mit einer Messung auf den anderen Wert rückzuschließen. Dadurch kann auch hier eine Steuerung für die Frischwasserzufuhr basierend auf einem Messwert eingesetzt werden.



**Abbildung 9.39: Anlage 4: Verlauf der Leitfähigkeit und des pH-Werts der Phosphatspüle über 4 Wochen**

#### Ergebnisse:

Produktionsbedingte Schwankungen überstiegen in dem einen Monat nicht jene der einwöchigen Messreihe. Hingegen konnten Schwankungen aufgedeckt werden, die sich auf Grund von Produktionsstops ergaben. So konnte eindeutig gezeigt werden, dass das Frischwasser im Falle eines Produktionsstillstands nicht abgeschaltet wird. Die Ergebnisse aus den beiden Messreihen, dienen zur Einstellung von Kriterien für eine Steuerung der Frischwasserzufuhr sowohl in den Spülen nach der Beize als auch jener nach dem Phosphatbad. Weiters konnte gezeigt werden, dass eine alleinige mathematische Berechnung der Spülkriterien nicht ausreichend ist. Durch die Messungen konnte gezeigt werden, dass der Spülwasserverbrauch in allen Spülbädern, vor allem aber jenen nach der Beize in Anlage 4, viel zu hoch sind. Es konnte weiters in Anlage 4 die Kommunikation zwischen dem zweiten und dritten Bad als Schwachstelle definiert werden. Das dritte Bad weist fast Frischwasserqualität auf und das Spülkriterium zwischen den beiden Bädern ist  $>24.000$ . Dies dürfte auf Grund technischer Mängel in der Anlage zustande kommen.

### 9.1.3 Ergebnisse

Durch die Messungen konnten Spülwasserreduktionen ermittelt werden, die jenen in der nachfolgenden Tabelle entsprechen.

**Tabelle 9.25: Zusammenstellung der Wasserreduktionsmaßnahmen**

<b>Anlage</b>		<b>Vor Beginn</b>		<b>implementiert</b>	<b>geplant</b>
		<b>[l/h]</b>		<b>[l/h]</b>	<b>[l/h]</b>
Standbeize	Kaltwasserspüle	1.500	3er Fließspüle	1.000	170
	Heißwasserspüle	800	Phosphatspüle		350
	Gaswäscher	500		500	500
Anlage 2	Beizspüle	1.500	Beizspüle	900	200
	Phosphatspüle	800	Phosphatspüle	800	140
	Abkühlspüle	100	Abkühlspüle	100	100
Anlage 3	Beizspüle	800	3er Fließspüle	100	10
	Phosphatspüle	800	Phosphatspüle	800	140
	Phosphatbad	100	Phosphatbad	100	100
<b>Gesamt</b>		<b>6.900</b>		<b>4.300</b>	<b>1.710</b>

Die Verringerung der Beizwässer basiert auf einer einfachen Reduktion der eingesetzten Wassermenge. Die Einsparungen bei den Phosphatwässern hingegen kann nur unter der Voraussetzung erfolgen, dass die Feststoffe im Bad über geeignete Filteranlagen, z.B. Beutel- und Kerzenfilter, entfernt werden.

Derzeit sind Maßnahmen mit einer Reduktion von etwa 38% umgesetzt. Geplant sind weitere Maßnahmen, die zu einer Verringerung des Spülwasseraufkommens um etwa 75% auf 1.710 Liter/Stunde führen.

### 9.1.4 Weg zu Zero Emissions

Wie im Kapitel „Zero Emissions...“ beschrieben, ist der Unterschied zwischen klassischer Produktionsoptimierung und dem Zero Emissions Konzept die rückwärtsgerichtete Betrachtungsweise der einzusetzenden Maßnahmen. Man sucht zunächst nach einem Idealzustand für das Unternehmen, welcher definiert wird, die Rahmenbedingungen zur Erreichung dieses bestimmt werden und im Anschluss Technologien und Verfahren gesucht werden, mit denen dieser Idealzustand erreicht werden kann. Im Rahmen der Firma Pengg ist der limitierende Faktor zur Umsetzung von Zero Emissions der anfallende Galvanik- und Phosphatschlamm sowie die Altsäure. Aus diesem Grund wurde versucht die Produktion dieser Emissionen zu hinterfragen und eine neue Verfahrensführung zu finden, mit welcher diese Ströme eliminiert werden.

Es wurden mehrere Unternehmen gefunden, die galvanische Schlämme stofflich verwerten, wobei eine Firma eisenhaltige Monoschlämme und eine weitere Phosphatschlämme entgegennehmen. Die Vorgaben, die ein potentieller Eisenschlamm erfüllen muss, sind dabei wie folgt:

## Anforderungen an die Abfälle:

1. Mindestmenge 5 t pro Anlieferung.
2. keine Störstoffe in Form von artfremden Materialien wie z.B. Folien, Holz, Schrotte.
3. stichfeste Konsistenz, feinkörnig, jedoch ohne Staubprobleme.
4. optimale Gehalte:

Fe	30	-	100 %		
C	0	-	20 %		
SiO <sub>2</sub>	0	-	20 %	oder	70 - 100 %
CaO	0	-	20 %		
MgO	0	-	5 %		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	-	5 %		
P	0	-	0,06 %	oder	3 - 30 %
Cr	0	-	0,1 %	oder	3 - 30 %
Cu	0,01	-	0,1 %	oder	3 - 30 %
Zn	0	-	3 %		
Pb	0	-	0,5 %		
As, Sb	0	-	0,05 %		
Cd		<	0,1 %		
Hg		<	0,0001 %		
u.a					

**Abbildung 9.40: Anforderungen an die Qualität zur stofflichen Verwertung galvanischer Schlämme [Kersting, 2003]**

Reine Phosphatschlämme müssen zudem einen Mindestphosphatgehalt von 8-15% beinhalten. Diese Vorgaben sind mit herkömmlichen Galvanikmischschlammungen nicht zu erzielen, weshalb eine Umstellung auf die Produktion von Monoschlammungen erfolgen muss. Zwei verfahrenstechnische Lösungen wurden gefunden, die im Folgenden beschrieben werden sollen.

1. Trennung der Stoffsysteme HCl – H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>
2. Eliminierung der HCl und Umstellung auf eine H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-Beize

Je höher der Gehalt an Wertstoffen ist, desto geringer sind die Kosten für die Verwertung. Bei Überschreiten gewisser Gehalte, allerdings vor allem diverser Edelmetalle, kann es zu einer Rückvergütung und dem Abkauf des Schlammes kommen, wodurch für ein Unternehmen ein finanzieller Erlös generiert wird.

### Trennung der Stoffsysteme HCl – H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

Das Fließbild stellt das Zero Emissions Konzept für die Trennung der Systeme HCl-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dar. Mit Hilfe der ermittelten Daten, aus den eigener Erfahrung, einer Literaturrecherche und Gesprächen mit Fachleuten wurden aus den zur Verfügung stehenden Technologien, die am besten für den Einsatzfall geeigneten, ermittelt.

#### Spülwässer:

Die Heißwasserspüle der Standbeize wird mit der 2er Fließkaskade kombiniert und eine 3er Fließspülkaskade geschaffen. Weiters wird in der Standbeize eine Fließspüle nach der Phosphatierung implementiert, wodurch die Prozessführung erleichtert und das System HCl und H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> getrennt wird.

Die Spülwässer nach den Beizen aller drei Anlagen werden wie bisher über die Neutralisation mit anschließender Kammerfilterpresse geführt. Entsprechend dem heutigen Stand wird

dieses Wasser über die bestehende Ionentauscheranlage endgereinigt. Dieses Wasser wird zudem zusammen mit den Spülwässern nach der Phosphatierung über die Ionentauscheranlage, die derzeit als Kreislaufanlage der Verkupferung dient, geleitet, wodurch eine Qualität erreicht wird, dass diese Wässer im Kreislauf gefahren werden können. Damit wird Frischwasser nur zum Ausgleich von Verlusten (Verdunstung, Schlamm) benötigt. Die Spülwässer nach der Phosphatierung werden vor Eintritt in den Ionentauscher über einfache Filtersysteme (Kombination Beutel- und Kerzenfilter) geführt, um die festen Bestandteile zu eliminieren. Diese weisen dieselbe Zusammensetzung, wie der Phosphatschlamm, auf.

Die Halbkonzentrate aus der Rückspülung werden ebenfalls über die Neutralisation gereinigt.

Die Spülwasserreduktion der einzelnen Spülsystemen wird zuvor beschrieben umgesetzt.

#### **Phosphatbäder:**

Die drei Phosphatbäder werden jeweils über eine Zentrifuge kontinuierlich gereinigt. Dabei fällt Phosphatschlamm an, der den Vorgaben entspricht. Die drei Zentrifugen müssen neu angeschafft werden.

#### **Salzsaure Beizen:**

Für die Regeneration der salzsauren Beizbäder werden Retardationsanlagen verwendet, wobei die Beizbäder der Anlage 2 und 3 über dieselbe gefahren werden. Für die Standbeize wird eine eigene Anlage angeschafft, da dort die Verschmutzung durch die frisch gelieferten Drähte am größten ist und zudem eine zweistufige Beize betrieben wird. Die gereinigte Prozesslösung wird im Kreislauf gefahren.

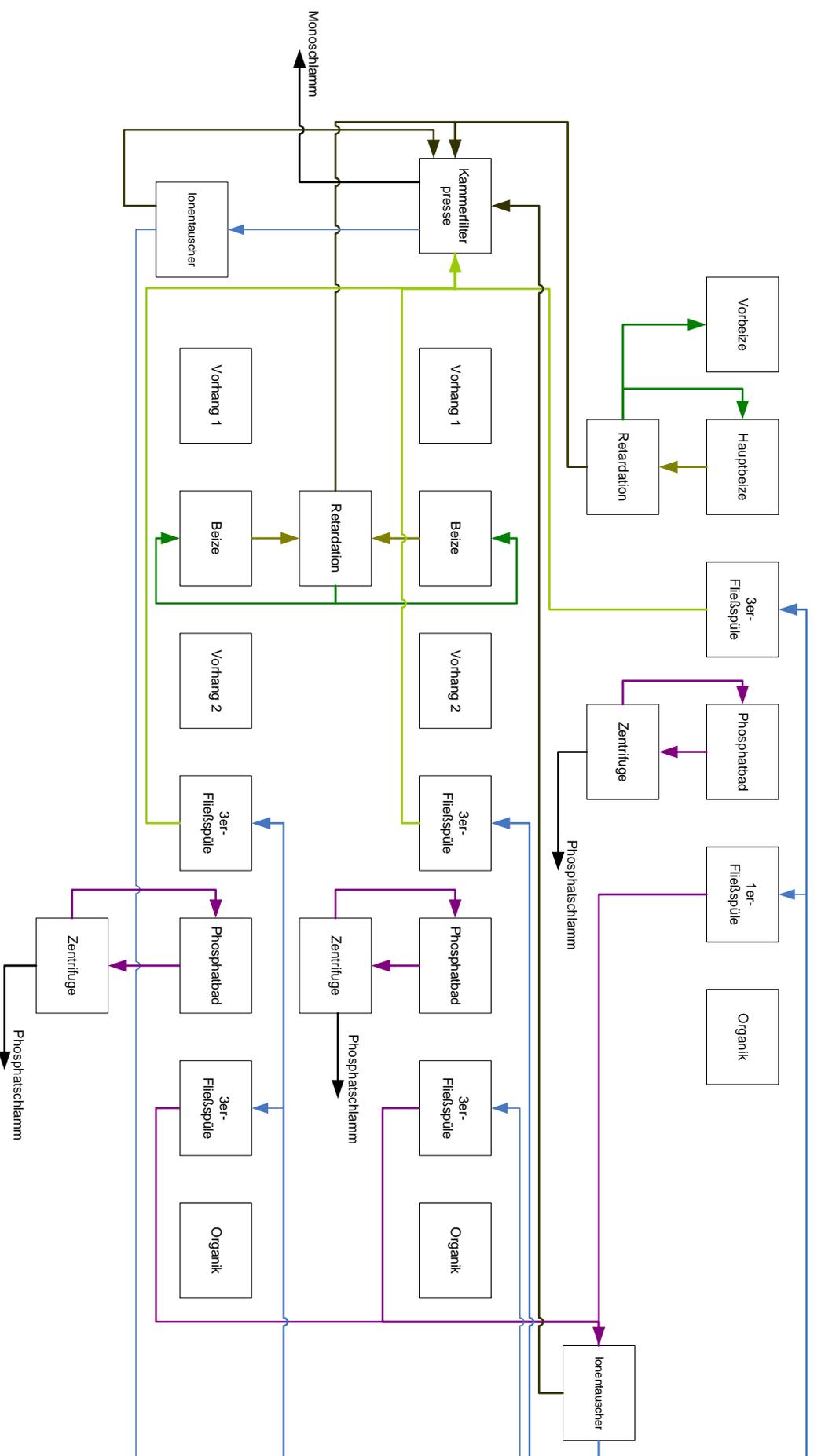
Im Zuge der Rückspülung erhält man eine 6-7%ige salzsaure Lösung, die über die Neutralisation und Kammerfilterpresse behandelt wird.

#### **Allgemeines:**

Die Neutralisation wird von Kalkmilch auf Natronlauge umgestellt, um den geforderten maximalen Kalkgehalt nicht zu überschreiten.

#### **Ergebnisse:**

Durch die beschriebenen Maßnahmen wird der Anfall der Altsäure vollständig eliminiert. Durch den Einsatz der Retardation wird der galvanische Mischschlamm durch einen Monoschlamm, der über 30% Eisen enthält, ersetzt. Der Einsatz der Zentrifugen zur kontinuierlichen Reinigung der Phosphatbäder kann die Standzeit dieser Bäder von einem Monat auf etwa 1 Jahr verlängern. Dieser Schlamm erfüllt die Kriterien für eine stoffliche Verwertung.

Zero Emissions Konzept: Trennung HCl -H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>Abbildung 9.41: Fließbild: Metall verarbeitendes Unternehmen, Zero Emissions Konzept für die Trennung von HCl und H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

## **Eliminierung der HCl und Umstellung auf eine H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-Beize**

Eine Alternative zur Trennung der beiden Stoffsysteme ist der Verfahrensumstieg von einer Beize auf Salzsäurebasis auf eine Phosphorsäurebasierte. Durch diese Änderung verlieren Verschleppungen ihre Bedeutung, weil es zu keiner Vermischung unterschiedlicher Prozesschemikalien kommt.

### **Spülwässer:**

Sowohl die Spülwässer nach der Beize als auch nach der Phosphatierung werden über die bereits bestehende Ionentauscheranlage – derzeit nach der Neutralisation – kontinuierlich im Kreislauf gefahren. Vor Eintritt in den Ionentauscher werden die im Wasser befindlichen Feststoffe über einfache Beutelfilter entfernt. Dadurch wird eine Kreislaufschließung aller Anlagen erreicht. Frischwasser muss nur noch nachgesetzt werden, um Verluste durch z.B. Verdunstung oder Schlammaustrag, zu ersetzen. Das Wasser muss nicht über die zweite Ionentauscheranlage – derzeit nach der Verkupferung – geführt werden, weil die Qualität nach der ersten Anlage ausreichend ist, wie Laborversuche ergeben haben.

### **Phosphatbäder.**

Das Phosphatbad der Anlage 2 und 3 werden über Zentrifugen kontinuierlich gereinigt. Dadurch wird die Standzeit auf etwa 1 Jahr verlängert. Der Phosphatschlamm kann stofflich verwertet werden.

### **Beizen:**

Eine Möglichkeit der Regeneration derartiger Beizen ist die Verwendung einer Ionentauscheranlage. Dabei wird nach erfolgter Abscheidung ausgefallener Partikel, über einen z.B. Kerzenfilter, die Prozesslösung über ein stark saures Kationentauscherharz geführt. Das Eisen, das in der Beize anfällt, liegt als Eisen(II)-Ion vor, welches selektiv entfernt werden kann. Die Rückspülung erfolgt, abhängig vom eingesetzten Harz, z.B. mit 10%iger Salzsäure, wobei sich eine FeCl<sub>2</sub>-Lösung ergibt, die extern verwertet werden kann. [94,97] Das Rückspülwasser wird über die bestehende Neutralisation gefahren und die Feststoffe ebenfalls in der Kammerfilterpresse abfiltriert.

Retardationsanlagen zur Reinigung von H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-Beizen entsprechen dem Stand der Technik.

### **Allgemeines:**

Die Rückspülwässer der Ionentauscheranlagen für die Beizbäder und jener der Spülwässer werden über eine Neutralisation behandelt und im Anschluss über die Kammerfilterpresse gereinigt.

Das Rückspülkonzentrat aus dem Ionentauscher der Beize wird zunächst chemisch oxidiert, um Fe(II) in Fe(III) umzuwandeln und Phosphatschlamm bilden zu können, der in einer Kammerfilterpresse abgeschieden werden kann. Das Reinwasser aus der Kammerfilterpresse wird über den Ionentauscher geführt und in den Spülkreislauf eingebracht. [89]

Der produzierte Phosphatschlamm aus der Kammerfilterpresse entspricht den Vorgaben zur stofflichen Verwertung.

### **Ergebnisse:**

Als Abfallprodukt fällt aus allen Prozessen Phosphatschlamm an, der geringe Menge Chlor aus dem Rückspülwasser der Ionentauscher enthält. Dadurch weist er eine etwas geringere Qualität auf, die jedoch keine Auswirkung auf eine stoffliche Verwertung hat, wie von Seiten der Verwertungsunternehmen bestätigt wurde. Der Phosphatgehalt im Schlamm kann durch

diese Maßnahmen zuverlässig auf 8-15% gehalten werden bzw. wird sogar erhöht, wodurch die Entsorgung günstiger wird.

Die Neutralisation muss von Kalkmilch auf Natronlauge umgestellt werden, um den maximal geforderten Kalkgehalt nicht zu überschreiten.

### Zero Emissions Konzept: Umstellung auf eine $H_3PO_4$ -Beize

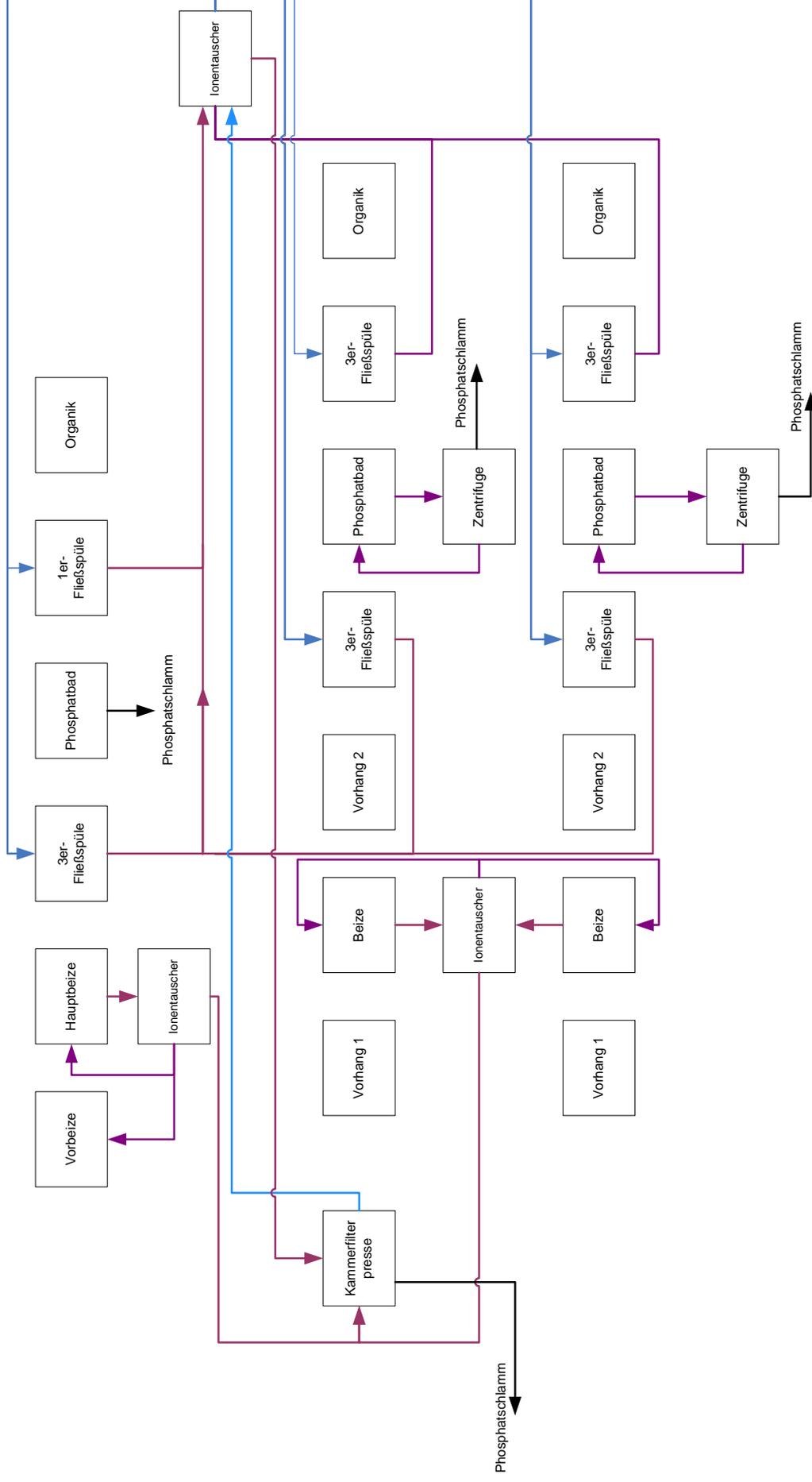
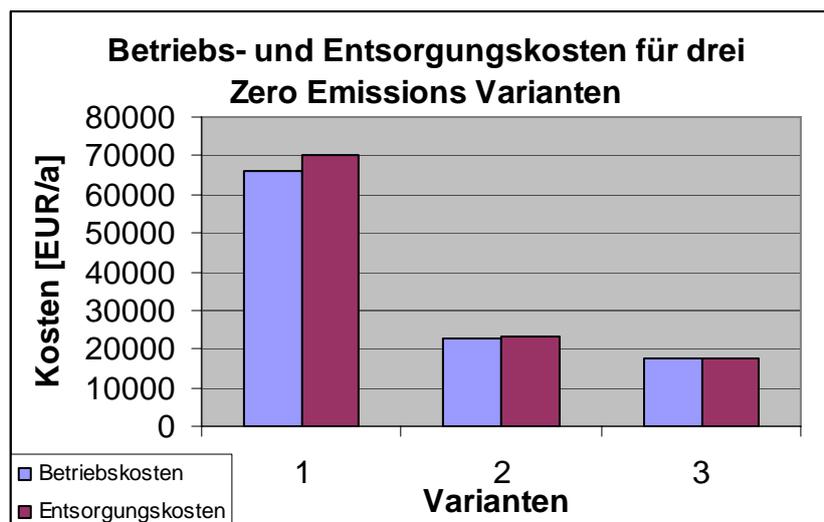


Abbildung 9.42: Fließbild Metall verarbeitende Industrie: Zero Emissions Konzept für die Umstellung einer HCl-Beize auf eine  $H_3PO_4$ -Beize

### 9.1.4.1 Kostenvergleich:

Auf der folgenden Seite sind für beide Zero Emissions Konzepte die Investitionskosten, die Amortisationszeit und die Kapitalverzinsung angegeben. Man erkennt, dass für eine Trennung der Systeme HCl und H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Investitionskosten in der Höhe von EUR 216.900.- anfallen. Die Amortisationszeit beträgt etwa 3,7 Jahre bei einer Kapitalverzinsung von 37% auf 10 Jahre. Die zweite Variante erfordert weit höhere finanzielle Aufwendungen von EUR 302.150.-, womit sich die Amortisationszeit auf 5,1 Jahre verlängert. Die Kapitalverzinsung auf 10 Jahre beträgt etwa 31%.

Vor allem die Betriebs- und Entsorgungskosten sinken im Fall einer Umsetzung eine der beiden Konzepte, wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt ist.



**Abbildung 9.43: Entsorgungs- und Betriebskosten für drei Zero Emissions Varianten**

Die Entsorgungskosten nehmen in Variante 2 von EUR 70.000.- im Ist-Stand auf etwa EUR 23.000.- pro Jahr ab und sinken bei Variante 3 weiter auf etwa EUR 17.500.- pro Jahr. Die Einsparungen ergeben sich durch den Wegfall der Kosten für die Altsäure und einer 50%igen Reduktion der Kosten bei der Verwertung des Monoschlammes und der Phosphatschlammes. Die Reduktion der Betriebskosten erfolgt ähnlich stark, wobei in erster Linie eine Reduktion der Personalkosten der Abwasserreinigung dafür zu Buche schlagen. Zudem sinken die Energie- und Chemikalienkosten proportional mit durch den verringerten Volumenstrom. Die lange Amortisationszeit ergibt sich vor allem durch die hohen Investitionen, die getätigt werden müssen. Die große Verringerung der Entsorgungskosten wird vor allem dadurch hervorgerufen, dass für die stoffliche Verwertung von Phosphatschlamm lediglich zwischen EUR 100.- und EUR 130.- pro Tonne anfallen, wohingegen derzeit etwa 200.- EUR/t bezahlt werden. Durch die Regeneration der Salzsäuren Beizen entfällt die Entsorgung der Altsäure, die etwa EUR 40.000.- pro Jahr kostete.

Die Amortisationszeiten verringern sich, wenn positive Effekte der Maßnahmen monetär bewertet werden. So werden durch die kontinuierliche Regeneration der Phosphatbäder zwischen 12 und 18 Produktionstage pro Jahr gewonnen, da die Standzeit auf etwa 12 Monate steigt. Eine monetäre Bewertung war auf Grund fehlender Daten nicht möglich.

Tabelle 9.26: Amortisationsrechnung der betrachteten Zero Emissions Varianten

	IST-Stand	Trennung HCl-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Umstieg H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> -Beize
<b>Investitionskosten</b>	0,-	<b>HCl-Linie</b>	
		Retardation	Adaption Kammerfilterpresse 2500,-
		<b>H3PO4-Linie</b>	
		Umbau Spülen	Umbau Spülen 7500,-
		Ionentauscher	Ionentauscher
		Spülwasser	Beizbad 220000,-
		3x Zentrifugen	2x Zentrifuge 35000,-
		Phosphatbad	Bauliche Maßnahmen 2000,-
		Bauliche Maßnahmen	<b>267000,-</b>
<b>Zwischensumme</b>		<b>176000,-</b>	
<b>Betriebskosten</b>			
Personal	35280,-		7600,-
Energie	20000,-		6750,-
Chemikalien	10800,-		3300,-
<b>Zwischensumme:</b>	<b>66080,-</b>	<b>22900,-</b>	<b>17650,-</b>
<b>Entsorgungskosten</b>			
Galvanikschlamm	24000,-	Mono schlamm	0,-
Phosphatschlamm, -konzentrat	6000,-		17500,-
Konzentrate	40000,-		0,-
<b>Zwischensumme</b>	<b>70000,-</b>	<b>18000,-</b>	<b>17500,-</b>
Gesamtkosten im Jahr der Investition	<b>202160,-</b>	<b>216900,-</b>	<b>302150,-</b>
<b>Amortisationszeit</b>		<b>1,8 a</b>	<b>2,6 a</b>
<b>Kapitalverzinsung 10 Jahre</b>		<b>53%</b>	<b>36%</b>

## 9.2 Fallstudie Sebring Auspuffanlagen GmbH

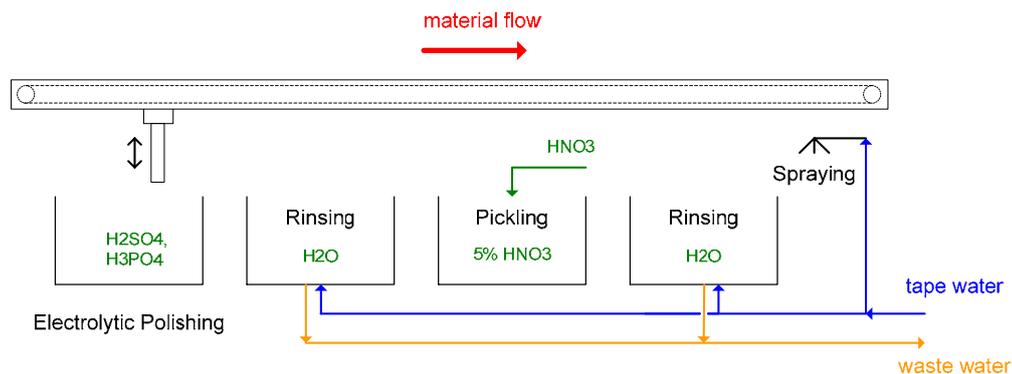
Die Firma Sebring in Voitsberg beweist seit Jahren ihre Kompetenz in umweltverträglicher Auspufftechnik. Für die hervorragende Qualität, Oberflächengüte und Beständigkeit ihrer Produkte ist vor allem der Verfahrensschritt des Elektropolierens entscheidend. Daher ist unser Augenmerk in erster Linie auf diesen Prozess gefallen.

### 9.2.1 Kurzbeschreibung des Verfahrens

Das Elektropolieren ist ein elektrochemisches Behandlungsverfahren. Dabei kommt es zu der Abtragung einer Oberfläche als Folge eines elektrischen Ladungsaustausches zwischen einem metallischen Werkstückes und einem flüssigen Medium – dem Elektrolyten. Das zu behandelnde Werkstück liegt dabei am Pluspol einer Gleichstromquelle. Im Prinzip handelt es sich um die Umkehrung eines galvanischen Prozesses. Unter der Einwirkung des Gleichstromes löst das Elektrolyt Teile der Werkstoffoberfläche auf, die Oberfläche wird dabei geglättet und eingeebnet. Dadurch erfährt das Werkstück eine glänzende Oberfläche, die Bauteile werden entgratet und der Reibungskoeffizient herabgesetzt. Ein wesentlicher Vorteil von elektropolierten Oberflächen ist auch ihre verbesserte Korrosionsbeständigkeit.

Grundsätzlich unterteilt man dem Elektropolierprozess in folgende Verfahrensschritte:

- Metallvorbehandlung – Entfettung
- Elektropolieren
- Nachbehandlung - Dekapieren



**Abbildung 9.44 Prozessflussbild**

In Abbildung 9.44 sind die Prozessschritte der teilautomatisch arbeitenden elektrochemischen Polieranlage zur Polierung von Edelstahlauspuffen (1.4301) der Firma Sebring dargestellt. Die Werkstücke werden vor dem Elektropolieren in einer Teilewaschanlage (siehe nachfolgende Abbildung) gereinigt und entfettet. Für einzelne Teile ist zur Entfettung auch eine HCL – Beize vorgesehen (nicht dargestellt).



**Abbildung 9.45: Teilwaschanlage und ungereinigte Teile**

Die entfetteten Teile werden in einem Elektrolyt aus Phosphor- und Schwefelsäure ca. 8 min poliert und anschließend in einer Standspüle von dem anhaftenden Elektrolyt gereinigt (siehe Abbildung 9.46). Im zweiten Schritt erfolgt die Dekapierung in einer 5%igen Salpetersäure. Dieser Prozessschritt dient zur Entfernung von dünnen Oxiden, Oxydhydraten und anderen Passivierungsschichten. Nach der Dekapierung erfolgen eine weitere Spülung in einer Standspüle und das Abspritzen der Teile, um sie schließlich gänzlich von den Säureresten zu befreien.



**Abbildung 9.46 Elektropolierprozess und Spülen**

### 9.2.2 Problemstellung

Durch das Ziehen der Werkstücke und der Aufhängung durch den Prozess erfolgt eine Verschleppung von Säureresten in die Spülbäder. Das so kontaminierte Spülwasser ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ , Fe, Ni, Mo) wird nach visueller Beurteilung des Bedienpersonals ohne Einhaltung des vorgegebenen Spülkriteriums in ein Sammelbecken abgelassen.

Der Elektropolierprozess ist gekennzeichnet durch einen hohen Verbrauch und Kosten für das Elektropolierelektrolyt. Zur Abwasserreinigung dient eine nach geschaltete Neutralisationsanlage bei der hohe Entsorgungskosten für Kalkschlamm und ein hoher Verbrauch an Chemikalien anfallen (siehe Abbildung 9.47).

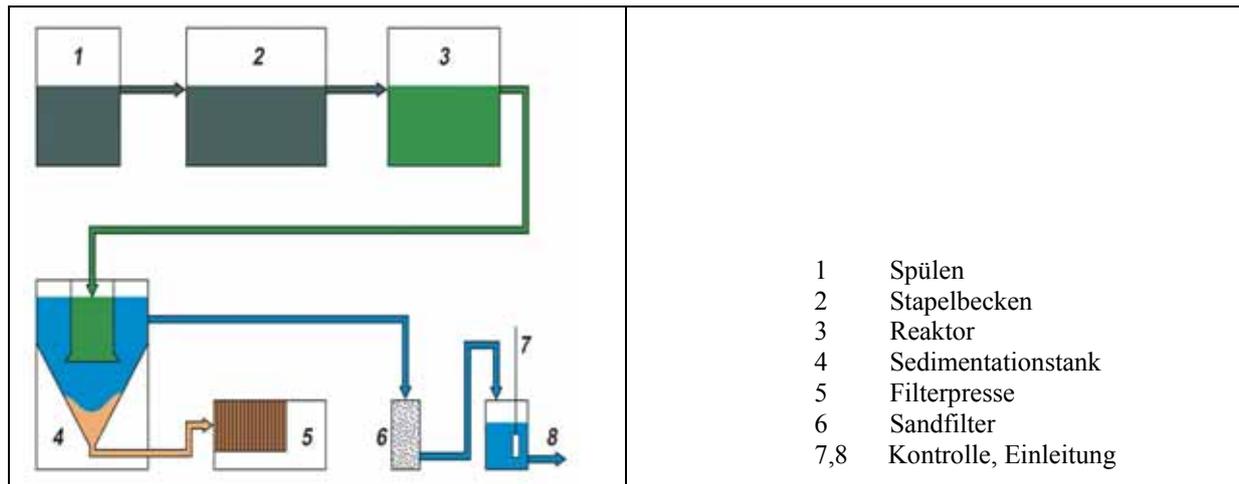


Abbildung 9.47 Neutralisationsanlage

### 9.2.3 Implementierung von Zero Emissions Techniques

Bei der Implementierung von Zero Emissions Techniques wurde das Hauptaugenmerk in 1. Linie auf die Elektropoliererei gelegt. Nach einer Prozessdatenerfassung über einigen Wochen Vorort im Unternehmen wurde im Labor das Prozessbad und die Spülwässer analysiert und die Ausschleppung in Abhängigkeit der Leitfähigkeit und pH-Wert untersucht. Mit Hilfe eines Bilanzierungsprogrammes wurden Möglichkeiten zur internen Kreislaufschließung und mögliche alternativen zur Prozesswasseraufbreitung gesucht und im Sinne von Zero Emissions Techniques ein Maßnahmenkatalog für das Unternehmen erstellt.

#### 9.2.3.1 Prozessdatenerfassung

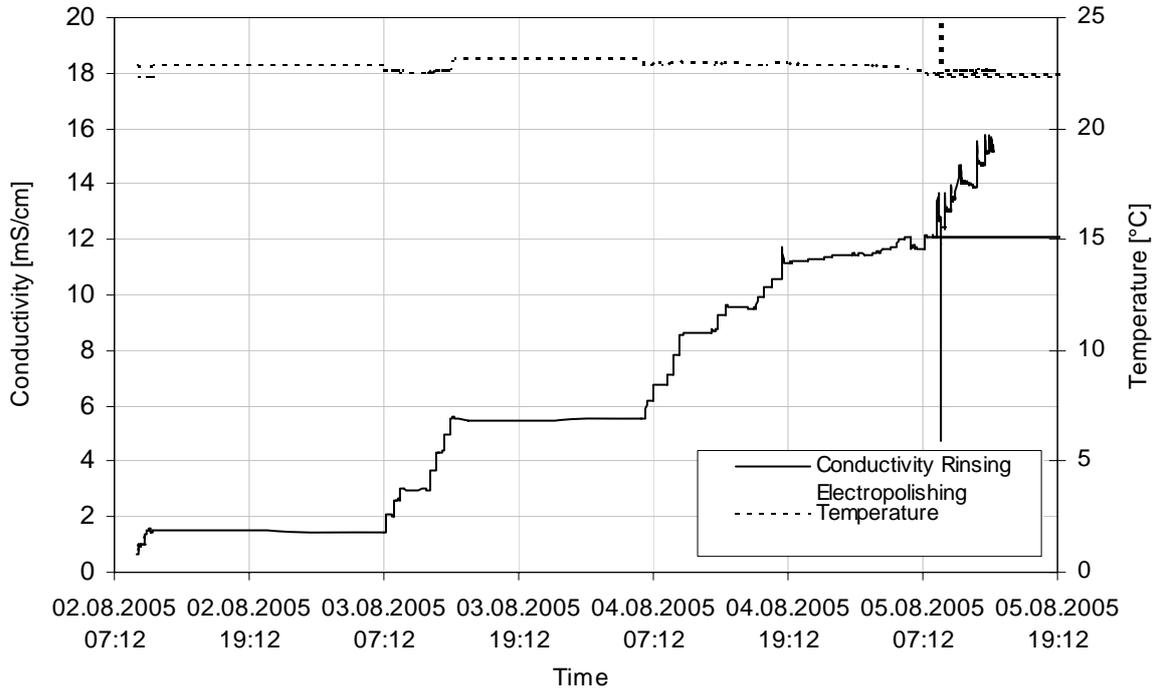
Für die Optimierung und Reduktion des Wasserverbrauches in galvanischen Prozessen hat sich aus vorangegangenen Arbeiten gezeigt, dass eine sorgfältige Datenerfassung, die Bestimmung der Verschleppung sowie die Bestimmung des Spülkriteriums unerlässlich sind. Für die Prozessdatenerfassung wurden die Messgrößen: pH - Wert, Temperatur und Leitfähigkeit gewählt und geeignete Messwertaufnehmer zur kontinuierlichen Bestimmung angeschafft (siehe Abbildung 9.48).



Abbildung 9.48 Messwertsensor im Spülbad - Prozessdatenerfassung

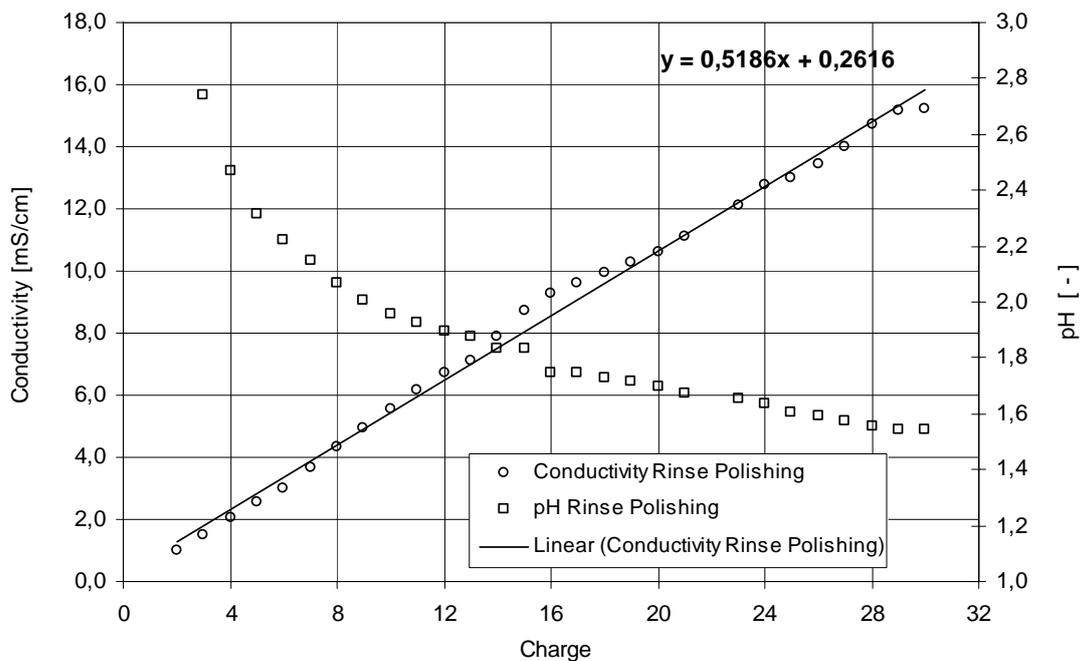
Um die geforderte Qualität der polierten Bauteile zu gewährleisten, muss die Spüle nach dem Elektropolierbad im Regelfall jede Woche und die Spüle nach dem Dekapierbad jede zweite Woche gewechselt werden. Dieser Wechsel der Spülbäder war unter anderem das Kriterium für die Messabfolge und die Bestimmung des Ist – Zustandes des Elektropolierprozesses. Im Zeitraum zwischen den Badwechseln wurde in definierten Zeitabständen der pH - Wert, die Leitfähigkeit und die Temperatur der Bäder bestimmt, über einen Daten Logger - Keithley

eingelassen, im Excel graphisch dargestellt und ausgewertet. Abbildung 9.49 zeigt den Verlauf für Leitfähigkeit und Temperatur.



**Abbildung 9.49 Prozessdatenerfassung**

Mit zunehmender Betriebszeit und polierter Bauteile steigt bei relativ konstanter Temperatur die Leitfähigkeit an. Der pH - Wert sinkt hingegen. Trägt man die die Leitfähigkeit über die bearbeitenden Chargen auf, so erhält man einen linearen Zusammenhang (Abbildung 9.50). Damit besteht die Möglichkeit, die Verschleppung an Elektrolyt aus den Prozessbädern abzuschätzen.



**Abbildung 9.50 Leitfähigkeit und pH – Wert**

Zur Verifizierung der Ergebnisse aus der Prozessdatenerfassung wurde das kontaminierte Spülwasser der Standspüle (nach dem Elektropolierbad) abgelassen, mit frischem Spülwasser befüllt und die Messungen wiederholt. Abbildung 9.51 zeigt den Vergleich zweier Messreihen.

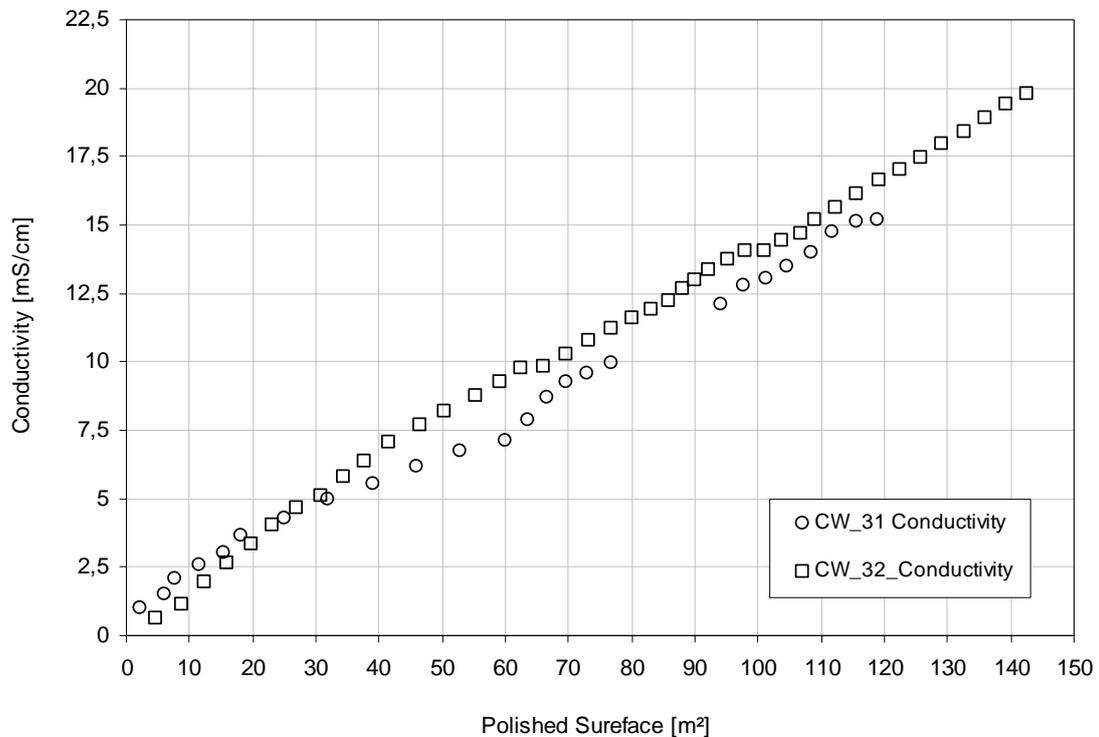


Abbildung 9.51 Vergleich zweier Messreihen

### 9.2.3.2 Laborversuche

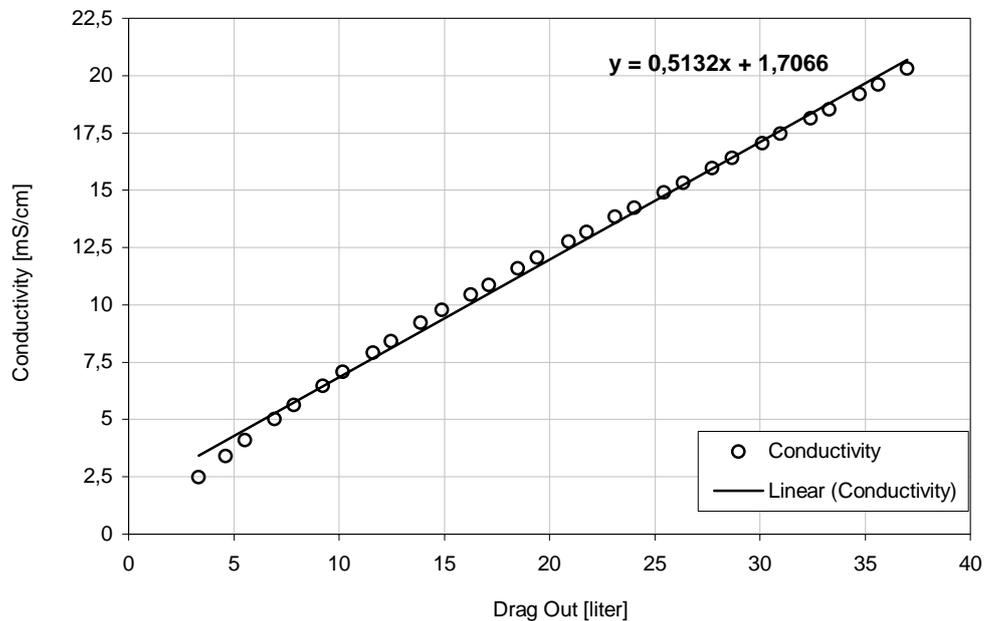
Zur Bestimmung der verschleppten Menge an Elektropolier – Elektrolyt aus dem Prozessbad wurde im Labor eine Verdünnungsreihe hergestellt. Dazu wurde in ein Becherglas, gefüllt mit 1 l Wasser, Elektrolyt aus dem Elektropolierbad in definierten Mengen zutitriert und die Leitfähigkeit sowie der pH – Wert bei konstanter Temperatur bestimmt. In Abbildung 9.52 ist der Versuchsaufbau dargestellt.



Abbildung 9.52 Versuchsaufbau für die Verdünnungsreihe im Labor

Mit den Ergebnissen der Verdünnungsreihe und den Ergebnissen aus dem Prozess kann die Verschleppung von Elektrolyt aus dem Prozessbad über die gesamte Prozessdauer in

Abhängigkeit der Leitfähigkeit bestimmt werden. Abbildung 9.53 zeigt den Zusammenhang von Leitfähigkeit und Verschleppung aus dem Elektropolierbad in die nachfolgende Standspüle.

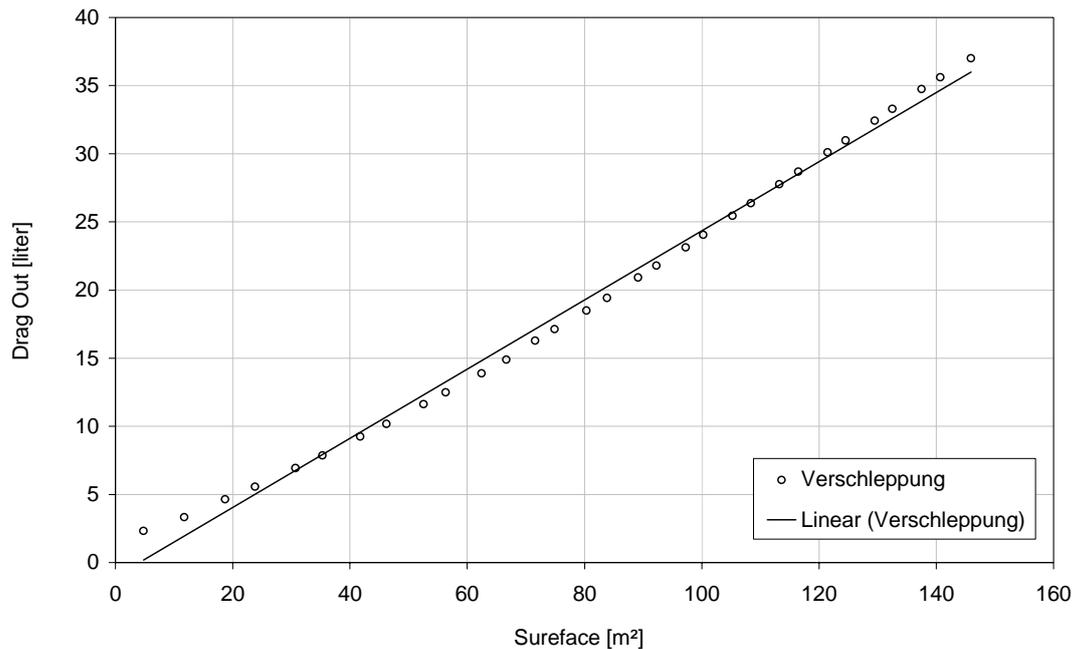


**Abbildung 9.53 Abschätzung der Verschleppung in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit**

## 9.2.4 Ergebnisse

### 9.2.4.1 Verschleppung

Die Verschleppung von Elektrolyt in die Spüle bezogen auf die zu polierende Fläche beträgt ca. 0,24 liter/m<sup>2</sup>. Dieses Ergebnis ist für zähflüssige Elektrolyte bei schöpfenden Teilen und unter Beachtung der Abtropfzeit von ca. 60 Sekunden über dem Prozessbad mit Literaturwerten vergleichbar. Abbildung 9.54 zeigt den Zusammenhang zwischen Verschleppung und polierter Werkstückoberfläche.



**Abbildung 9.54 Verschleppung in Abhängigkeit der polierten Werkstückoberfläche**

#### 9.2.4.2 Spülkriterium

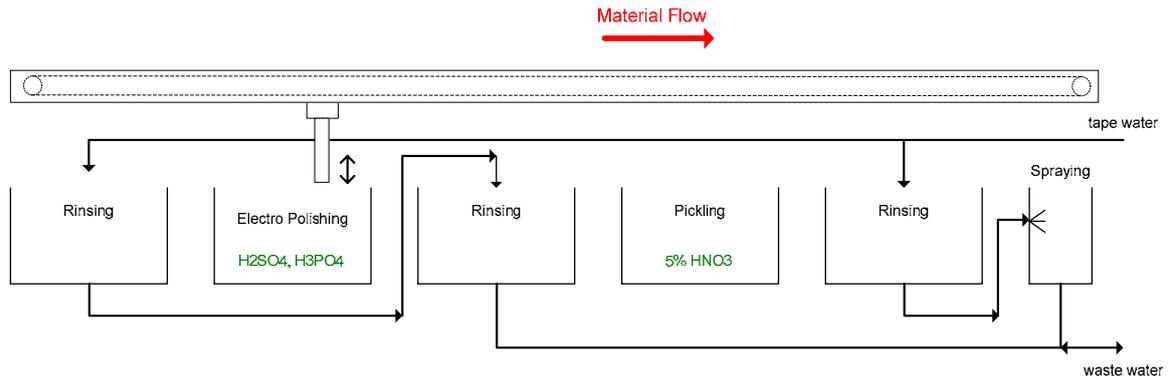
Das Spülkriterium lt. Prozesskontrollblatt des Unternehmens ist für beide Standspülen mit einem pH – Wert  $>2$  definiert. Im Betrieb wird dieses Kriterium nach einer Elektropolierleistung von 122 bis 142m<sup>2</sup> bereits überschritten. Zur Ermittlung des vorhandenen Spülkriteriums, das noch eine ausreichende Qualität der Bauteile gewährleistet, wurden die Spülbäder auf ihre Zusammensetzung analysiert. Bezogen auf den Ni – Gehalt wurde ein Spülkriterium 116 für die die Standspüle nach dem Elektropolierbad ermittelt.

#### 9.2.4.3 Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch beim Elektropolieren entsteht durch das Ablassen der Spülbäder, durch das Abspritzen der Bauteile am Ende jeder Charge und durch das Reinigen. Das Spülwasser der Standspüle nach dem Elektropolierbad wird jede Woche erneuert, die Dekapierspüle nur alle 2 Wochen. Bei einer Anlagenleistung 0,39 Chargen/h (3,5-4 m<sup>2</sup>/Charge), ergibt sich ein Wasserverbrauch von insgesamt 14 m<sup>3</sup> (54 liter/m<sup>2</sup> polierter Fläche).

#### 9.2.4.4 Bilanzierung und Kreislaufschließung

Die ermittelten Prozessdaten bilden die Grundlage für das Bilanzierungsprogramm Zepira. Die Bilanzierung ergab ein bemerkenswertes Potential zur Einsparung des Wasserverbrauches. Bereits die Abänderung der bestehenden Standspüle in eine 1 - stufige Fließspüle würde ohne erhebliche Investitionskosten an der Anlage eine Reduktion des Wasserverbrauches bis zu 50% bedeuten. Der Umbau der Anlage in eine 2 – stufige Fließspüle bis zu 90%. In (Abbildung 9.55) ist diese mögliche Kreislaufschließung dargestellt.

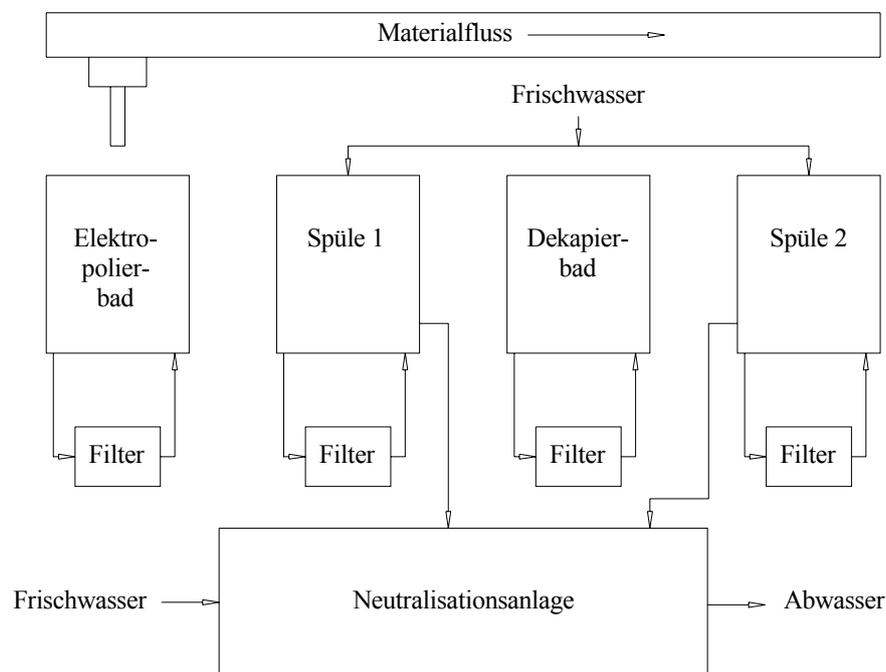


**Abbildung 9.55 Fließspüle**

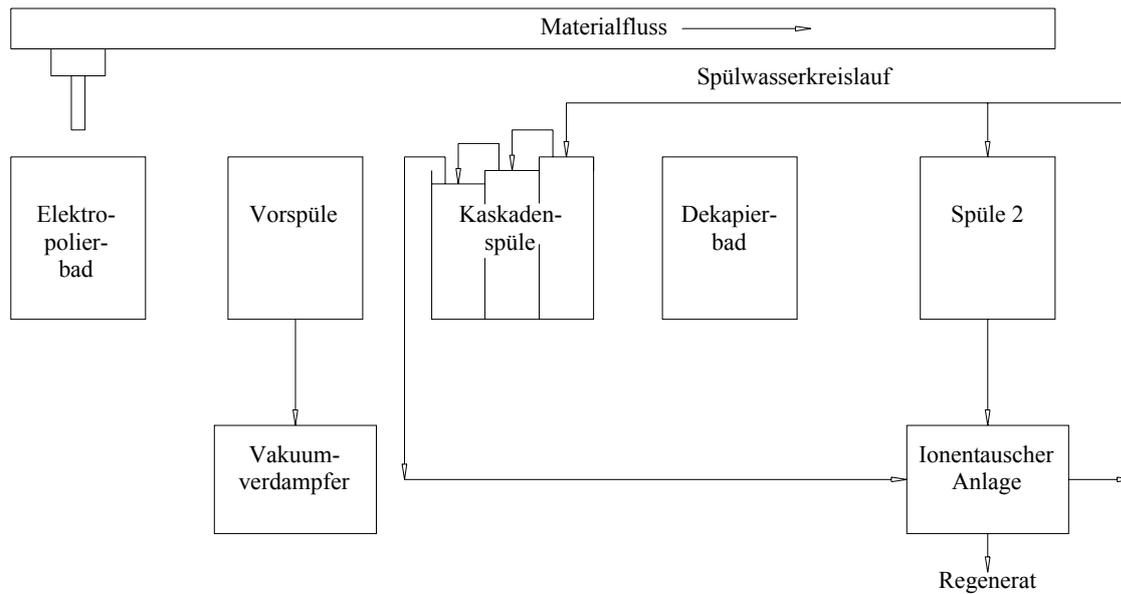
Die Reduktion des Wasserverbrauches bedeutet eine deutliche Einsparung von Chemikalien in der Neutralisationsanlage und bildet die Grundlage für die Wirtschaftlichkeit einer möglichen Substitution durch alternative Trenntechnologien.

#### 9.2.4.5 Beurteilung von alternativen Trenntechnologien

Die Prozess- und Spülbäder können durch den Einbau von Filtern, wie sie in (Abbildung 9.56) dargestellt sind, zu einer deutlichen Standzeitverlängerung führen. Diese Maßnahme würde auch eine weitere Minimierung von Chemikalien und Wasserverbrauch in der Neutralisationsanlage bedeuten.



**Abbildung 9.56 Badpflege**



**Abbildung 9.57 Alternative Trenntechnologien**

Mit der Kreislaufführung des Prozesswassers in Form einer Kaskadenspüle und mit dem Einsatz des vorhandenen Vakuumverdampfers kann die Abwassersituation des Unternehmens mit der Implementierung eines Ionenaustauschers neu überdacht werden und sich auch wirtschaftlich rechnen (Abbildung 9.57).

### 9.2.5 Bezüge zu Zero Emissions

Der Elektropolierprozess des Unternehmens ist sehr wasserintensiv und die Prozessführung der Anlage ist bei weitem nicht optimal. Durch die Optimierung des Prozesses nach Zero Emissions Prinzipien kann ein bedeutender Schritt zur Emissionsfreiheit im Unternehmen getan werden und durch diesen vor allem auch Kosten eingespart werden. Zur Minimierung des Wasserverbrauchs und der Einsparung von Chemikalien wurden dem Unternehmen zusammenfassend folgende Maßnahmen nahe gelegt:

Eine Reduktion der Verschleppung beeinflusst direkt den Einsatz von Ressourcen und die Kosten für: Polierelektrolyt, Chemikalienbedarf für Neutralisation, Abwasser, Frischwasser sowie den Entsorgungskosten für Kalkschlamm.

- Behebung des Programmfehlers für die Steuerung des Materialflusses
- Aufhängung der zu polierenden Teile überdenken - Schöpffähigkeit
- Abtropfzeiten verlängern wenn es die Produktion zulässt

Durch eine interne Kreislaufschließung kann der Wasserverbrauch im Bereich Elektropoliererei deutlich bis zu 90% gesenkt werden (Abbildung 9.55).

- Verwendung des Spülbeckens nach dem Beizbad
- Umbau auf eine 2 – stufigen Fließspüle mit minimalen Investitionskosten
- Installierung einer Spritzspüle am Ende der Prozessbäder
- Verwendung von Prozesswässern aus andern Abteilungen prüfen
- Implementierung des Vakuumverdampfers zur Badpflege bzw. Kreislaufführung
- Einsatz von Zentrifuge oder Filtertechnik zur Standzeitverlängerung von Prozess- und Spülbad

Die Entsorgung von Kalkschlamm ist mit hohen Kosten verbunden. Eine genaue Analyse des Kalkschlammes könnte mögliche Verwertungsmöglichkeiten der Inhaltsstoffe aufzeigen und zusätzlich Erlöse anstatt Kosten einbringen.

Zur Gewährleistung von Betriebssicherheit und Produktqualität kann zur Prozessüberwachung die Leitfähigkeit herangezogen werden.

### 9.3 Fallstudie Eybl International AG:

Die Firma Eybl International AG ist ein Textilbetrieb der Automobilzulieferindustrie, welcher in mehreren Segmenten arbeitet. Zum einen ist dies die Flächenbildung, die Herstellung von Gewebe für die Autoinnenausstattung, welche zu einem großen Teil an den österreichischen Standorten Krems und Gmünd produziert wird. Zum anderen sind dies die Konfektion, d.h. die Verarbeitung des Stoffe oder des Leders zu fertigen einbaubaren Halbfertigprodukten, und der Bereich des Interieurs, welcher sich hauptsächlich mit der Entwicklung neuer Trends und Produkte beschäftigt. Bei Autotextilien bietet Eybl International Rundstrick-, Kettwirk- und Webware vor allem für PKWs an, die als Stoffe für Sitzbezüge, Tür- und Seitenverkleidungen, Hutablagen, Autohimmel etc. eingesetzt werden. Die Stoffe werden als Rollenware direkt an Autowerke oder deren Zulieferfirmen geliefert bzw. als Sitzbezugsstoffe in den konzern eigenen Konfektionsbetrieben weiterverarbeitet.

Krems ist Sitz der Konzernzentrale und gleichzeitig bedeutendster Produktionsstandort für Autotextilien (Automotive Fabrics) sowie Sitz für Entwicklung und Vertrieb von Automotive Components.

#### 9.3.1 Produktionsprozesse

Am Standort werden mit Hilfe von Strickmaschinen Textilien für die Autoindustrie hergestellt. Der textile Rohstoff ist das Garn, dass auf Spulen angeliefert wird. Auf die Garne werden vom Hersteller Präparation aufgebracht. Diese Garne werden in den Strickmaschinen zu einem Schlauch gestrickt.<sup>36</sup>

Grobe Einteilung der wesentlichen Produktionsprozesse :

- Garnanlieferung
- Verarbeitung auf den Strickmaschinen
- Oberflächenbearbeitung der Stoffe
- Waschen/Färben
- Verbinden verschiedener Stoffe (Flammkaschierung)
- Zuschnitt
- Konfektion

Diese prinzipiellen Arbeitsschritte gilt es weiter zu untersuchen, und die Potentiale für emissionsfreie Methoden auszuloten. Die Lederverarbeitung, die auch am Standort in Krems erfolgt, wird in diesem Fall nicht näher betrachtet, da sie auf Grund der Menge nicht so stark ins Gewicht fällt.

#### 9.3.2 Einleitung und Problemstellung:

Gezielte Problemstellung und daher konkreter Notwendigkeit an Forschungsmaßnahmen war die Abwasserreinigung im Bereich der Flächenbildung am Standort Krems. Das Abwasser der Firma wird zum Großteil von der Breitwaschmaschine in der Ausrüstung verursacht, in welcher Garnpräparationen sowie Spul- und Nadelöle aus den Polyesterfasern der Stoffe entfernt werden sollen. Im Waschprozess werden daher die auf dem Stoff befindlichen Kohlenwasserstoffen emulgiert und gelangen in das Abwasser. Die Konzentrationen an Gesamt-Kohlenwasserstoffen des Abwassers liegen dabei so hoch, dass der Grenzwert der Indirekteinleitervereinbarung nicht eingehalten werden kann. Erschwert wurde diese

---

<sup>36</sup> Bei der Präparation handelt es sich um eine Mischung von (genauere Informationen leider nicht vorhanden) langkettigen Kohlenwasserstoffen, die das Garn während der Verarbeitung schützen soll. Gleichzeitig steigt die Verarbeitbarkeit des Garns.

Problematik durch die Schließung der Färberei am Standort, welche bis dahin zur Verdünnung der Wasserströme maßgeblich beigetragen hatte.

In dem vorgehenden Projekt ZERIA II wurden Maßnahmen der Abwasserreinigung diskutiert und als Ergebnis der Einsatz einer Membrananlage empfohlen. Als Weiterführung dieser Empfehlung war es nun Aufgabe der Arbeit praktische Versuche zur Wasserreinigung durchzuführen um die technischen Möglichkeiten, die Wirtschaftlichkeit und das Potential für Wasser- und Chemikalienrückführung analysieren zu können.

Da eine ganzheitliche Betrachtung des Prozesses wesentlich erschien und um auch allgemeine Optimierungspotentiale im Bereich der Energie- und Materialeffizienz zu identifizieren, war im ersten Schritt vor der detaillierten Behandlung der Abwasserproblematik die Erstellung von Stoff- und Energiebilanzen aller einzelnen Produktionsschritte notwendig. Grundlegende Bilanzen wurden in einer vorgehenden Diplomarbeit für das Jahr 2002 erarbeitet. Diese mussten aufgrund der Änderungen der Prozessführung jedoch erneut erstellt werden und wurden gleichzeitig vertieft, durch das Durchführen begleitender Messungen um fehlende Daten zu ergänzen.

Für einen Maßnahmenkatalog an Optimierungsmöglichkeiten, der die Potentiale einer Zero-Emission Produktion abschätzen kann und durch ökologisch sinnvolle Maßnahmen wirtschaftliche Vorteile erzielt, ist es zusätzlich notwendig die betriebswirtschaftlichen Daten in die Überlegungen einzubeziehen. Es ist daher in Forschungsarbeiten der Identifizierung von Optimierungspotentialen unablässig die Daten der Kostenrechnung mit den technischen Daten zu verknüpfen um ein ganzheitliches Bild der Ergebnisse im Sinne der Wirtschaftlichkeit darstellen zu können.

Zusammenfassend ist die Problemstellung der vorliegenden Case Study die Material- und Energieeffizienz eines Textilbetriebes zu analysieren um mit detaillierter Prozesskenntnis und ganzheitlicher Betrachtung die konkrete Abwasserproblematik und die Möglichkeiten der Null-Emission wissenschaftlich zu untersuchen.

### 9.3.3 Ergebnisse

#### 9.3.3.1 Effizienzanalyse

Durch die genaue Bilanzierung aller Prozesse des Betrachtungsumfanges konnten die Schwachstellen und notwendigen Ansatzpunkte für Optimierungen identifizieren werden. Die für die Energie- und Materialeffizienz zentralen Prozesse bilden das Kesselhaus, die Waschmaschine und der Spannrahmen am Standort, deren Verbesserungsvorschläge auch Schwerpunkt des erstellten Maßnahmenkataloges bilden. Als Zusammenfassung der Ergebnisse der Berechnungen werden in Folge die Optimierung der Wärmerückgewinnung der Waschmaschine als Beispiel einer Prozessbetrachtung kurz erläutert und die Ergebnisse der wirtschaftlichen Betrachtung im Environmental Management zusammengefasst. Schließlich konnte als Folge der technischen und wirtschaftlichen Analysen ein Maßnahmenkatalog erstellt werden.

#### 9.3.3.2 Beispiel Wärmerückgewinnung Waschmaschine

Für das Erstellen der Energiebilanz über den Waschprozess ist ein detailliertes Verständnis für den Prozess notwendig, das erstellte Fließschema der Anlage bildet daher die Grundlage für die Berechnung der Energiebilanz. Die Waschmaschine stellt einen sehr komplexen Prozess dar, und erfordert Berechnungen jedes einzelnen Prozessschrittes um die notwendigen Wärmeleistungen und die entstehenden Abwasserströme genau zu untersuchen. Die folgende Bilanz zeigt nur die Gesamtbetrachtung des Prozesses (vgl. Abbildung 2 und Tabelle 17). Das

Abwasser beinhaltet noch über 55% der austretenden Wärme. Dieser große Wärmehalt des Abwassers lässt trotz dem bisher installierten Wärmetauscher auf Verbesserungsmöglichkeiten der Wärmerückgewinnung schließen.

**Tabelle 9.27: Energiebilanz Waschmaschine**

ENERGIEBILANZ WASCHMASCHINE					
INPUT [kJ/s]			OUTPUT [kJ/s]		
		% von Input			% von Output
Strom	<b>34,10</b>	<b>4,44</b>	<b>Verbrauchte Energie (Strom)</b>	<b>34,10</b>	4,52
Dampf	<b>570,1</b>	74,21	<b>Abwasser heiß/Wärmeabgabe</b>	<b>476,6 / 58,0</b>	
Frischwasser	<b>154,1</b>	20,08	<b>Abwasser</b>	<b>418,6</b>	55,52
Wasservorwärmung/ Warmwasser	<b>58,0 / 212,1</b>		<b>Restfeuchte</b>	<b>3,48</b>	0,46
Stoff	<b>9,91</b>	1,29	<b>Stoff</b>	<b>9,91</b>	1,31
			Verluste (Abwasser und in Abteilen)	188,13 + 70,30	34,27
			Kondensat	29,49	3,91
<b>INPUT [kJ/s]</b>	<b>768,21</b>		<b>OUTPUT [kJ/s]</b>	<b>754,01</b>	
Fehler (bezogen auf Input) -1,8%					

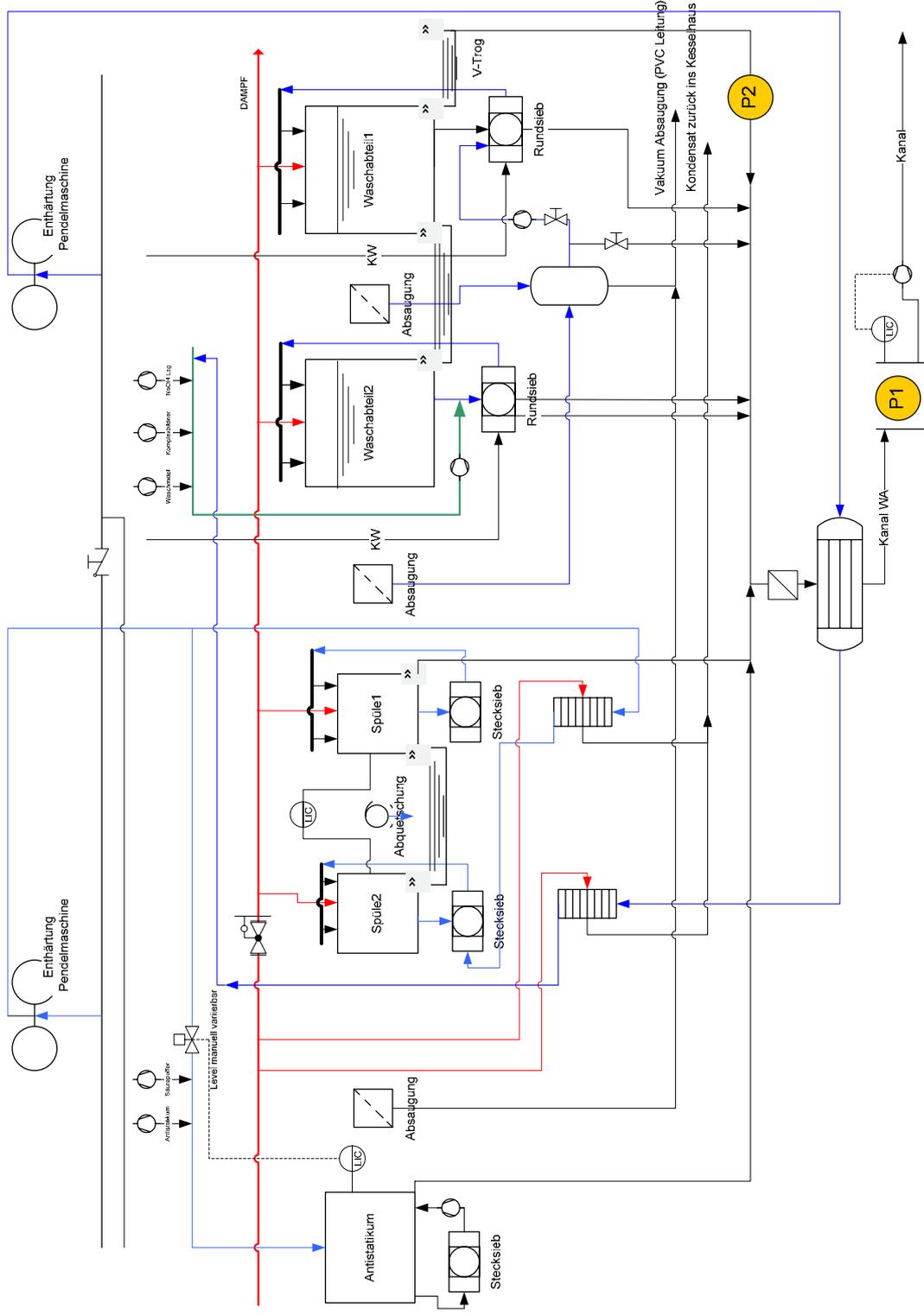


Abbildung 9.58: Fließbild der Waschmaschine

Das Fließbild verdeutlicht die Abwassersituation. Das Abwasser aller Abteile sammelt sich unter der Waschmaschine in einem großen, niedrigen Becken und fließt von dort über den Abwasserwärmetauscher in ein kleines Kanalbecken mit 2 m<sup>3</sup> Inhalt. Sobald der obere Füllstand dieses Beckens erreicht ist, wird das Abwasser endgültig in den Firmenkanal gepumpt. Durch diese Wasserführung vermischen sich heiße und kalte Abwasserströme und das entstehende Mischabwasser kühlt durch die große offene Oberfläche zusätzlich stark ab.

Eine Nutzung der Abwasserteilströme aus den verschiedenen Abteilen für die Erwärmung der jeweiligen Frischwasserströme wurde als Optimierung der Wasserströme vorgeschlagen und kann nach den Berechnungen Einsparungen von 130 kW Dampfergie, entsprechend über 80.000 Euro im Jahr, erreichen.

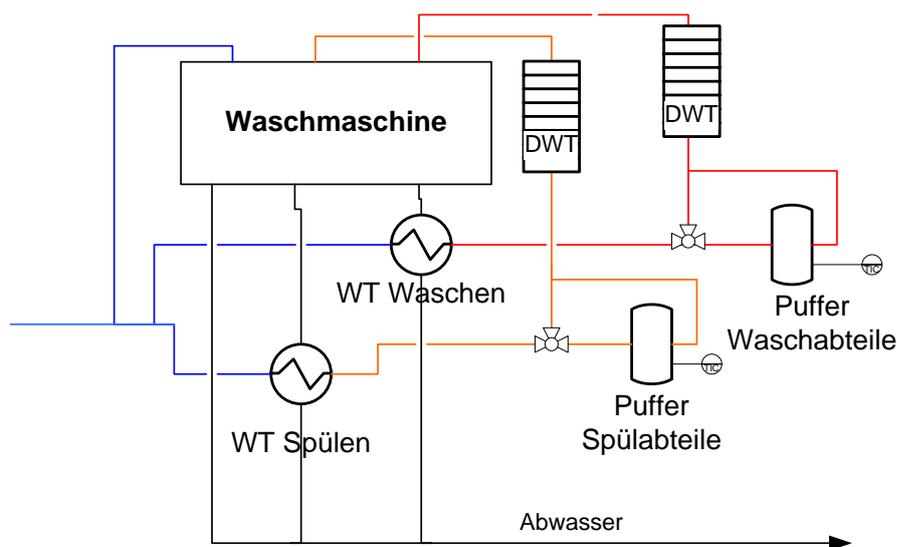
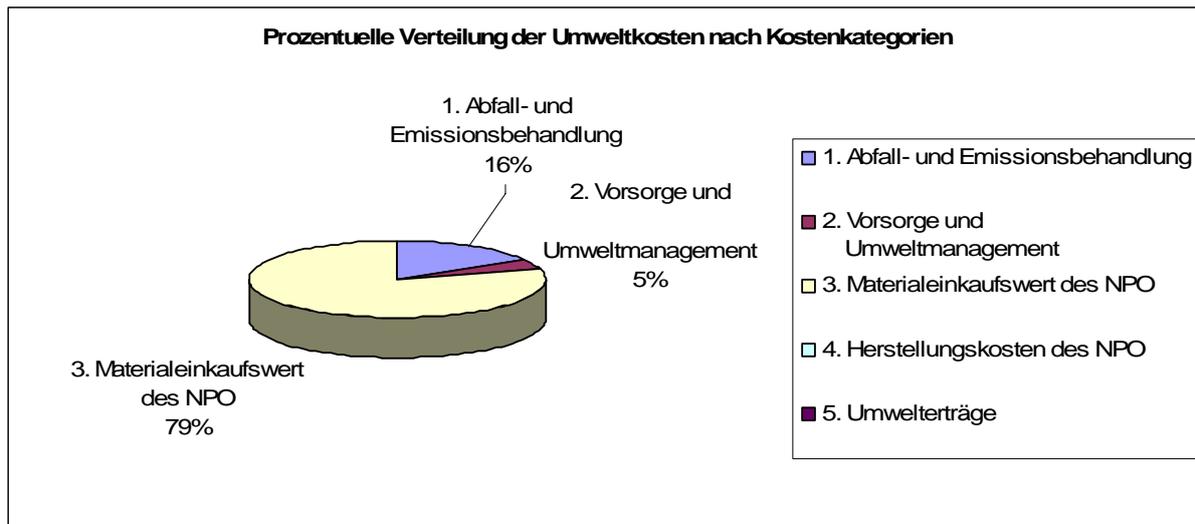


Abbildung 9.59: Optimierte Wärmetauscheranordnung der Waschmaschine

### 9.3.3.3 Environmental Management Accounting

Das Werkzeug „Environmental Management Accounting“ wurde auf den wichtigsten Produktionsabschnitt angewandt, um die Umweltkosten in den Prozessen darzustellen und auch wirtschaftliche Aspekte in die Diskussion zu integrieren.

Um einen Überblick über die Größenverhältnisse aller erfassten Kostenblöcke zu geben, gibt nachstehende Grafik eine Zusammenfassung aller Kategorien.



**Abbildung 9.60: Prozentuelle Verteilung der Umweltkosten nach Kostenkategorien**

Man erkennt anhand dieser Darstellung, dass bei weitem die größten Kosten in den eingesetzten Materialien versteckt sind, die als Non Output Product, also Abfall, Emission und Abwasser, den Betrieb verlassen. Daher zeigt sich die Bedeutung einer genauen Analyse der Material- und Energieeffizienz des Unternehmens.

Allerdings zeigen diese Kostenbetrachtungen noch nicht, welche Non Output Products eigentlich am meisten Kosten in Anspruch nehmen. Die berechneten Umweltkosten werden dazu während der Erhebung jeweils dem Umweltmedium zugeteilt, in welches sie letztendlich eingehen. Ist eine Kostenposition für mehrere Medien relevant, so werden die Kosten mit einem Relevanzfaktor gewichtet. Aus der Liste der Umweltmedien waren bei der vorliegenden Berechnung nur 4 Medien relevant:

- Luft und Klima
- Abwasser
- Abfall
- Lärm und Vibrationen<sup>37</sup>

Diese Zuordnung der Kosten hilft nun diejenigen Medien zu erkennen, welche starke Umweltkostenverursacher sind und zeigt gleichzeitig die relevanten Kostenkategorien auf. Der Abfall ergibt sich als jenes NPO, welches die meisten Kosten beinhaltet, diese entstehen fast ausschließlich aus Rohstoff- und Verpackungskosten. Als zweitwichtigster Kostenträger erscheint das Abwasser, hier sind einerseits die Betriebsmittel, aber auch die Abwassergebühren die größten Kostenbeiträge. Luft und Klima sind immerhin für ein Fünftel der Umweltkosten verantwortlich, dieser Kostenblock besteht zu fast 100% aus Energiekosten.

Aus den Kostenaufstellungen könnte man schließen vorrangig Maßnahmen im Bereich der Abfälle vorzuschlagen und Überlegungen im Bereich Emissionen zurückzustellen. Allerdings dürfen hier auch die absoluten Zahlen nicht vergessen werden, immerhin ergeben sich die (vermeidbaren) Energiekosten zu über 30.000 Euro im Monat, die hauptsächlich den Emissionen zugerechnet werden. Außerdem ist es auch entscheidend die technische Machbarkeit an Einsparungen zu diskutieren, bevor ein Vermeidungspotential angegeben werden kann.

<sup>37</sup> Letzteres Medium ist allerdings nur mit so geringen Kosten belastet, sodass der Prozentsatz der Kostenrelevanz Null ergibt.

Es ist unumstritten, dass ein sehr großer Geldwert in den Abfällen vorhanden ist. Einen großen Teil machen hier die Abfälle des Spannrahmens und der Faserstaub aus, deren Vermeidung allerdings technisch sehr beschränkt ist. Bei den Schermaschinen fällt zwangsläufig Faserstaub als Abfall an, schließlich liegt darin auch der produktionstechnische Sinn der Maschine. Ein diskutierter Ansatzpunkt ist auch die Reduzierung der Spannrahmenabschnitte. Hier entsteht aber eine Limitierung des Spielraums durch die vorgegebenen Stoffbreiten der Strickmaschinen und andererseits den zu erzielenden Dehnwerten an den Spannrahmen. Projekte zu optimalen Abfallverwertung werden am Standort durchgeführt.

In der Position Abwasser sind hauptsächlich Wasser und Chemikalienkosten enthalten, wie auch Abwassergebühren. Bei den Waschmittel und Chemikalieneinsatz sind die Werte von Eybl im internationalen Vergleich relativ gering und nicht bedenkenswert im Hinblick auf unbedingt notwendige Einsparungsmaßnahmen. Trotzdem ist der Stoffstrom an belastetem Wasser sehr groß und die Kosten der Abwassergebühren liegen in der gleichen Größenordnung wie die Chemikalienkosten. Die Gebühren sind trotzdem relativ gering pro m<sup>3</sup> Abwasser, da sie sich auf Abwasser ohne Überschreitung der Einleitergrenzwerte beziehen. Daher muss man hier auch die zukünftig eventuell wirksamen Strafen der Behörde bedenken, wenn die Kohlenwasserstoffbelastung nicht gesenkt werden kann. Daher besteht dennoch dringender Handlungsbedarf, in Geldwerten wurden über 45.000 Euro an Umweltkosten für das Abwasser erhoben. Eine Membrananlage würde Wasser und Chemikalien zum Teil einsparen bzw. recyceln können.

Betreffend das Umweltmedium Luft, im Grunde kann man die Diskussion hier auf Energie beschränken, wurde zuvor schon angesprochen, dass auch hier ein großer Geldwert vorhanden ist. Zusätzlich soll hier betont werden, dass von den Energiekosten wirklich nur die theoretisch vermeidbaren Kosten angesetzt wurden. Diese Kosten sind durch technische Verbesserungen, Wärmerückgewinnungssystemen und organisatorischen Maßnahmen teilweise leicht zu reduzieren.

### 9.3.3.4 Maßnahmenkatalog

Als Folge einer detaillierten technischen und wirtschaftlichen Betrachtung aller Prozesse konnte ein Maßnahmenkatalog erstellt werden. Basierend auf der Zusammenführung aller Ergebnisse des technischen Potentials der Verbesserungen und des wirtschaftlichen Nutzens, liegen die Schwerpunkte des Maßnahmenkatalogs auf der Verbesserung der Energieeffizienz. Bei der Waschmaschine wird außerdem –als logische Folge der Diskussion und der Aufgabenstellung – auch die Wassereffizienz genau untersucht.

Als Beispiel ist in Folge der Ausschnitt des Maßnahmenkatalogs für die Waschmaschine dargestellt.

- Einsatz von einer optimierten Softwareoberfläche zur Sicherstellung der Prozesssicherheit
- Installation von Dampfdurchflussmessungen um Effizienz und Verbrauch zu überprüfen und optimieren
- Schließen der Dampfventile bei Maschinenstillstand
- Regelmäßige Wartung der Ventile in den Dampfleitungen, rascher Austausch bei sichtbaren Verlusten
- Optimierung der Auslegungen der Dampfwärmetauscher
- Bessere Nutzung des Abwassers durch optimierte Wärmerückgewinnung von Teilströmen
- Nutzung des Heißwassers bei Wasserwechsel der Maschine zur Vorwärmung für später notwendiges Wasser für die Maschinenbefüllung über Puffersysteme

- Wiedereinsatz von recyceltem Wasser aus der Membranbehandlung
- Awareness Building der Mitarbeiter

Ähnliche Aufstellungen wurden für den Spannrahmen und das Kesselhaus erstellt und zusätzlich für allgemeine Maßnahmen zur Strom- und Druckluftverwendung und Ähnlichen. Die wichtigsten identifizierten Maßnahmen für den gesamten Prozess fasst nachfolgende Tabelle zusammen:

**Tabelle 9.28: Maßnahmen und Amortisationszeit Eybl International AG**

Maßnahmen	Potential	Amortisation
AbwasserWT	80.000 €/Jahr	< 1 Jahr
Spannrahmen Luftreduktion	35.000	~ 1
Spannrahmen WRG	16.000	< 3 Jahre
KH Economizer	11.000	< 3 Jahre
<i>Membrananlage</i>	<i>50.000</i>	<i>~ 5 Jahre</i>

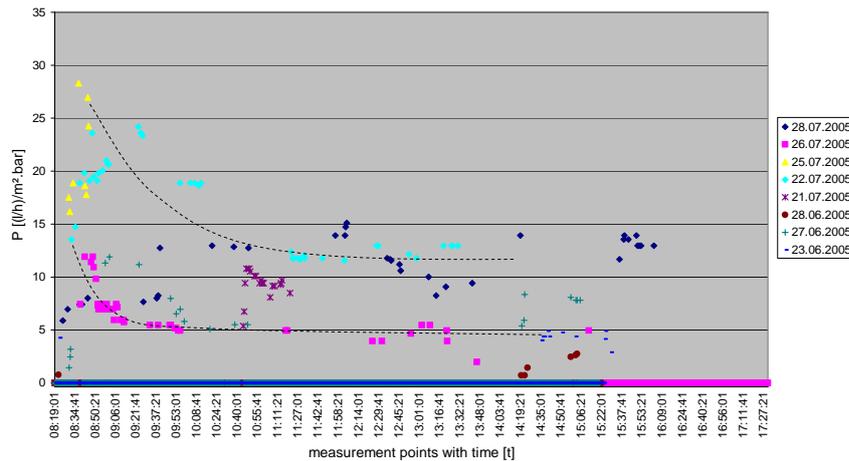
Wie erwähnt befassen sich alle Maßnahmen mit der Verbesserung der Energieeffizienz, bis auf die Optimierung der Wasser- und Chemikalieneffizienz durch eine Membrananlage. Dieser Einsatz einer Membrananlage war Ziel der Forschungsarbeit im zweiten Teil dieser Case Study und wird in Folge näher diskutiert.

#### 9.3.4 Membrananlage

Wie in der Einleitung beschrieben ist es Ziel dieser Arbeit die Belastung der Gesamtkohlenwasserstoffe des Abwassers mittels Membrananlage zu reduzieren und gleichzeitig die Wiedereinsatzmöglichkeiten des Wassers zu diskutieren.

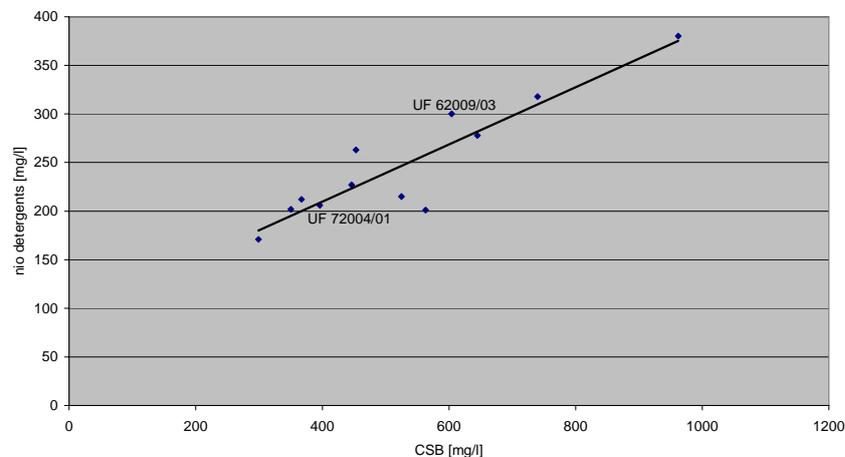
Für einen Probetrieb mit einer Pilot Scale Membrananlage wurde eine Anlage von der Fa. Rotreat zur Verfügung gestellt, welche mit verschiedenen Membranmodulen verwendet werden konnte. Für dieses Reinigungsproblem wurden 2 Mikrofiltrationsmodule, 1 Ultrafiltrationsmodul und 1 Nanofiltrationsmodul eingesetzt. Während der Versuche wurden mehrmals täglich Proben genommen und analysiert. Analyseparameter waren dabei pH, Leitfähigkeit, Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) und Trübung, einige Proben wurden zusätzlich auf Gesamtkohlenwasserstoffe und nichtionogene Tenside analysiert. Da CSB Tests direkt vor Ort im Labor durchgeführt werden konnten, wurden diese Ergebnisse für eine Abschätzung der Reinigungseffizienz der Module herangezogen und nur einige Proben an externe Stellen für die Analyse der Gesamtkohlenwasserstoffe vergeben.

Die Ergebnisse der Mikrofiltrationsmodule zeigten recht rasch, dass die Trenngrenze dieser Module für eine effiziente Wasserreinigung zu hoch war. Das Ultrafiltrationsmodul hingegen konnte den CSB der Abwässer bei stabilen Bedingungen zwischen 55-80% reduzieren mit einem spezifischen Permeatfluss von ungefähr 5 – 12 (l/h)/m<sup>2</sup>bar. Bei Reinigung mit dem Nanofiltrationsmodul wurden CSB Reduktionen zwischen 60 und 86% erreicht, allerdings war der spezifische Permeatfluss hier deutlich geringer.



**Abbildung 9.61: Spezifischer Permeatfluss der Ultrafiltration**

Reinwasserproben wurden zusätzlich auf Tensidgehalte analysiert um die Herkunft der noch im Reinwasser enthaltenen CSB Konzentrationen zu analysieren. Die Versuche ergaben einen eindeutigen Zusammenhang zwischen den Gehalt an Tensiden und den CSB Konzentrationen und zeigten, dass ca. 10% der eingesetzten Tenside noch im Abwasser vorhanden waren. Diese Ergebnisse lassen auf ein großes Potential der Rückführung des Wassers als Waschwasser vermuten, wobei gleichzeitig Tenside recycelt werden könnten. Eine derartige Wasserbehandlung würde Wasser und Tenside zu einem großen Teil wiederverwerten können und gleichzeitig enorme Kosten sparen.



**Abbildung 9.62: Zusammenhang der Tensidkonzentrationen im Reinwasser und dessen CSB Konzentration**

Allerdings wurde mit keinem der Module (weder Ultra- noch Nanofiltration) die Leitfähigkeit kontinuierlich zu hohen Prozentsätzen reduziert. Der Einfluss der verbleibenden Salze im Reinwasser auf den Waschprozess und die Stabilität der Emulsion während des Waschvorgangs muss für eine potentielle Rückführung daher noch untersucht werden.

Weiterer Betrachtungspunkt der Versuchsergebnisse war die Analyse verfahrenstechnischer Parameter. Durch die großen Unterschiede der Wasserparameter und die unzureichende Homogenisierung des Abwassers im Kanal der Waschmaschine, konnten erwartete Trends der Betriebsbedingungen – Abnahme der CSB Reduktion mit steigender Temperatur, Anstieg des Permeatflusses mit steigendem Druck – nicht immer deutlich erkannt werden. Hingegen

schien der gewaschene Artikel und damit die speziell Öl-Tensid-Wasseremulsion den größten Einfluss auf die Betriebsparameter zu besitzen.

Im Allgemeinen schien Fouling und die Abnahme des Permeatflusses mit der Betriebszeit eindeutig mit der Feed-Konzentration in Zusammenhang zu stehen. CSB Reduktionen wurden stark von der Tensidkonzentration (und der sich ändernden Emulsion) beeinflusst und konnten nicht immer sichergestellt werden, wenn die Konzentrationen der Waschmittel weit über den normalen Betriebsbedingungen lagen.

Zusammenfassend ergaben die Versuche ein großes Potential der Membranreinigung von textilen Abwässern. Basierend auf den Ergebnissen wäre eine Rückführung des Wassers in den Prozess möglich, wobei gleichzeitig Tenside regeneriert werden können und das Wasser so als Waschwasser eingesetzt werden könnte. Wie schon angesprochen gibt es hier jedoch noch Forschungsbedarf bezüglich des Einflusses der Salzkonzentrationen des Wassers.

Zusätzlich muss die Entsorgung des Konzentrats sichergestellt werden. Ersten Abschätzungen zu Folge bleiben ungefähr 10% des Abwassers für die Entsorgung zurück. Externe Entsorgungskosten für die thermische Behandlung würden die Wirtschaftlichkeit der Membrananlage stark negativ beeinflussen, weshalb andere Möglichkeiten derzeit überlegt werden. Eine Entsorgung in Faultürmen wäre hier eventuell eine günstige Methode, Versuche dazu sollen in nächster Zeit durchgeführt werden.

### 9.3.5 Ansatzpunkte für „Zero Emissions“ Methoden

In folgenden Bereichen erscheint eine Suche nach neuen Methoden in Hinblick auf „Zero Emissions“ Erfolg versprechend :

- Abwasser
- Abluft
- Energieeffizienz
- Feste Abfälle

#### 9.3.5.1 Abwasser

Das Abwasser kommt in erster Linie aus den Teilbereichen Waschmaschine und Färberei. 1/6 der Produktion wird in der Färberei verarbeitet, während die restlichen 5/6 nicht gefärbt, sondern nur gewaschen werden. Der spezifische Wasserverbrauch (L/lfm) in der Färberei ist so groß, dass die Abwasserströme der Waschmaschine denen der Färberei beinahe gleichen. Während des Waschprozesses wird das Waschwasser bis auf 50 °C erwärmt und mit Additiven sowie Waschchemikalien (Natronlauge) und der Präparation beladen.

Im Bereich **Abwasser** besteht aus unserer Sicht die größte Möglichkeit zur Optimierung in Hinblick auf Zero Emissions. Dies begründet sich einerseits auf der einsetzbaren Technik und andererseits auf den anschließend (schematisch) dargestellten Non Product Output Kosten.

- |          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| Säule 1: | Reine Entsorgung                     |
| Säule 2: | Entsorgung und andere direkte Kosten |
| Säule 3: | Gesamte Non Product Output Kosten    |

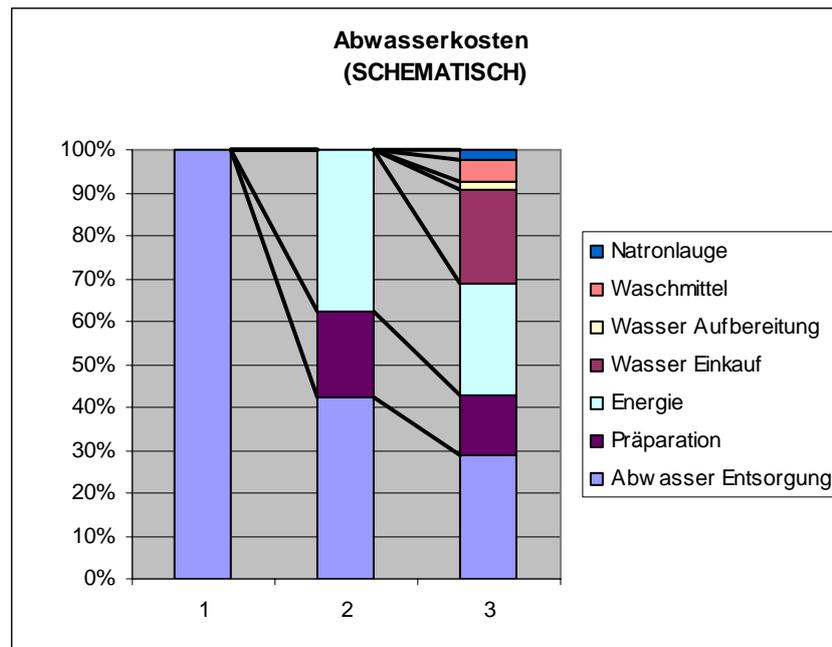


Abbildung 9.63: Relative Abwasser- und Non-Productkosten (Schematisch) <sup>38</sup>

### 9.3.5.2 Abluft

In der mit Gas befeuerten Kaschieranlage werden verschiedene Stoffe (Polyethylen/Polyamid) und die Schaumstoffunterlage mit einander verbunden. Für diesen Bereich wird als Hauptproblematik die Belastung der Abluft durch Kohlenstoff und Staub wahrgenommen. Dafür werden einige Methoden vorgeschlagen, die allerdings auf Grund mangelnder Daten nicht bewertet werden können.

### 9.3.5.3 Energie

Als Energieträger werden Strom und Gas verwendet. Prinzipiell wird die Wärmezufuhr für das Warmwasser mittels eines Dampfleitungssystems und eines separaten Kesselhauses gewährleistet. Um im Bereich Energie genaue Aussagen über das Optimierungspotential treffen zu können, ist eine Energie Bilanzierung (und vorhergehende Stoffbilanzierung) unbedingt notwendig.

### 9.3.5.4 Feste Abfälle

Da die Stoffe entsprechend der jeweiligen Anforderungen des Kunden zugeschnitten werden müssen, ergibt sich ein relativ großer Abfallstrom an festen (Textilen) Abfällen (der zu einem großen Teil wiederverwertet werden kann) und ein nicht unwesentlicher Anteil an nicht textilen Abfällen der in einem ähnlichen Ausmaß wiederverwertet werden kann.

## 9.3.6 Methoden :

### 9.3.6.1 Abwasser

Um den Prozess besser analysieren zu können, wurde das Fließbild der Abwasseranlage neu gezeichnet. Im Zuge einer Literaturrecherche wurden Methoden zur Abwasserbehandlung gesucht und bezüglich ihrer Praxistauglichkeit bewertet.

<sup>38</sup> Aus Datenschutzgründen wurden die Daten verändert

Folgende Varianten der Abwasserbehandlung wurden gefunden:

- Ölabscheider
- Flotationsanlagen
- Emulsionsspaltanlage
- Verdampfungsanlagen
- Membrananlagen

### **Ölabscheider (Gravity Separation and Skimming)**

Diese Varianten stellen eine kostengünstige Möglichkeit dar, das Abwasser zu behandeln. Sie entfernen allerdings nur das frei Öl und sind nicht in der Lage das als Mikroemulsion vorliegende Öl abzutrennen. Im Zusammenhang mit diesen Anlagen werden auch Sedimentationsanlagen eingesetzt, um feste Partikel vor einer weiteren Behandlung abzutrennen.

- Vorteil :*       • *Investitionen gering, Betrieb kostengünstig*  
*Nachteil :*      • *Enfernt nur freies Öl und Feststoffe*

### **Flotationsanlagen (Dissolved Air Flotation)**

Flotationsanlagen verwenden eingeblasene Luft um den Auftrieb kleinerer Öltröpfen zu erhöhen und auf diese Weise einen Trenneffekt zu erzielen. Als Emulsion vorliegendes Öl wird durch Zusatz von Chemikalien und Energie de-emulgiert d.h. der Trenneffekt wird durch den Zusatz von Chemikalien, und die damit verbundene Koagulation vergrößert.<sup>39</sup>

- Vorteil :*       • *Investitionen gering, Betrieb kostengünstig, wenn keine Chemikalien eingesetzt werden müssen*  
*Nachteil :*      • *Wenn Chemikalien eingesetzt werden müssen, hohe Kosten und zusätzliche Abwasserbelastungen.*

### **Emulsionsspaltanlage**

Hier wird durch Zugabe von Chemikalien ein „cracken“ der Emulsion hervorgerufen, d.h. die Öl und Wasserphase trennen sich.

- Nachteil :*      • *Durch Chemikalieneinsatz ergibt sich eine zusätzliche Abwasserbelastung*  
                   • *Zusätzliche Kosten durch die Menge an Chemikalien*  
                   • *Keine zukunftssträchtige Technologie*

### **Verschiedene Physikalische Trennmethode**

Dazu zählen Verdampfer, Zentrifugen, Filtration und elektrochemische Methoden.

- Vorteil :*       • *Filtration als Vorbehandlungsmethode geeignet*  
*Nachteil :*      • *Verdampfer und Zentrifugen auf Grund der Kosten nur für kleine Abfallströme gebräuchlich*

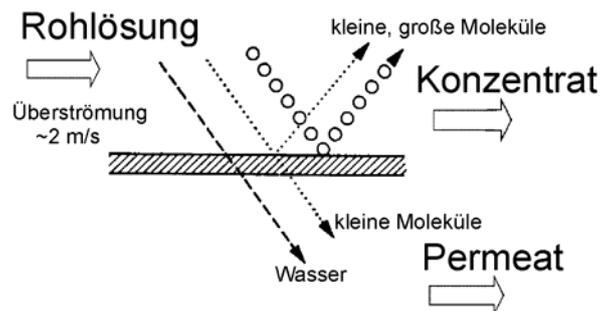
---

<sup>39</sup> Das Abwasser wird erhitzt um die Viskosität zu verringern, Dichteunterschiede zu erhöhen und die Phasengrenzfläche welche die Ölphase stabilisiert zu schwächen. Anschließend wird gesäuert und kationischen Polymeren / Alum werden, um die negative Ladung der Öltröpfen zu neutralisieren, hinzu gegeben. Danach wird der pH in den alkalischen Bereich angehoben. Die resultierenden Flocken mit dem adsorbierten Öl werden getrennt und aufkonzentriert. Um die Kosten für den Prozess möglichst gering zu halten, ist die Auswahl der Chemikalien von großer Bedeutung.

## Membrananlage:

Membranen können wie eine Art Filter betrachtet werden und wie bei der normalen Filtration entsteht ein Trenneffekt dadurch, dass mindestens eine Komponente des zu trennenden Gemisches die Membran passieren kann, während andere Komponenten mehr oder weniger stark zurückgehalten werden<sup>40</sup>.

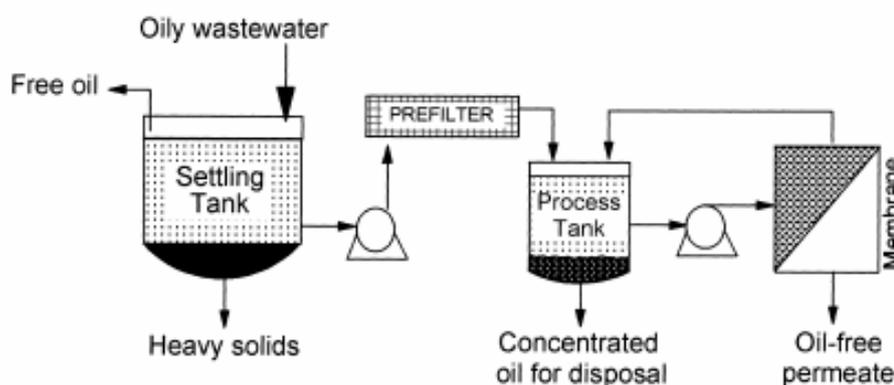
Mit Hilfe dieser Technik ist es möglich ölhaltige Abwässer zu behandeln. Meistens ist eine Vorbehandlung des Abwassers, um große Partikel und freies Öl zu entfernen, notwendig. Die Membraneinheit wird normalerweise in einem Semibatch Recycling Verfahren betrieben.



**Abbildung 9.64: Darstellung des Trennprinzips**

D.h. das Abwasser wird im selben Ausmaß dem Prozesstank hinzugefügt, wie das Permeat entnommen wird, um ein konstantes Level zu gewährleisten. Das Retentat, welches das Öl enthält, wird in den Prozesstank zurückgeführt. Ist eine bestimmte Konzentration erreicht, wird die Anlage gestoppt. Das führt normalerweise zu einem konzentrierten Volumen, das nur 3-5 % des ursprünglichen beträgt. Diese Menge an Abwasser kann in einem weiteren Prozessschritt weiterbehandelt/aufkonzentriert werden.

Anschließend wird das System gereinigt und danach wieder wie oben beschrieben verwendet. (Semibatch Verfahren).



**Abbildung 9.65: Schematische Darstellung eines Membranprozesses zur Behandlung von ölhaltigen Abwässern.**

<sup>40</sup> Im Gegensatz zur Filtration wird die Membran allerdings nicht orthogonal sondern quer angeströmt. Dadurch ergeben sich zwei Produktströme : Das Permeat und das Konzentrat (Retentat).

*Vorteile :*

- *Bei Änderungen des Abwasserstromes ist in erster Linie mit einer Änderung des Durchflusses durch die Membran und nicht mit einer Qualitätsänderung des Outputstromes zu rechnen.*
- *Keine zusätzlichen Chemikalien sind notwendig.*
- *Membranen können innerhalb eines bestehenden Prozesses eingesetzt werden.*
- *Durch das Aufkonzentrieren kann das Volumen des Abwasserstromes um bis zu 90 % reduziert werden.*
- *Membrananlage benötigen kleinere Stellflächen.*
- *Energiekosten sind, verglichen mit Thermischen Verfahren, geringer.*
- *Die Anlage kann einen hohen Automatisierungsgrad aufweisen, d.h. kein hoch qualifiziertes Bedienungspersonal ist notwendig.*

Speziell für die Anwendung im Textilbereich ergeben sich weitere Vorteile :

- *Abtrennung von Farbstoffen und Additiven in einem weiteren Prozessschritt möglich.*
- *Energieeinsparung durch Kreislaufführung des Permeats.*
- *Einsparung von Waschchemikalien, die regeneriert werden können*

*Nachteile :*

- *Die Investitionskosten können im Vergleich zu den Preisen für die Abwasserreinigung der kommunalen Kläranlagenbetreiber relativ hoch sein.*

Es wurde eine Literaturrecherche bezüglich der verschiedenen Methoden durchgeführt (Literatur die am Institut vorhanden war, im Internet gefunden werden konnte oder über Datenbanken der wissenschaftlichen Literatur [Science Direct] zugänglich ist). Darüber hinaus wurde noch mit Herstellern und Betreibern von Membrananlagen Kontakt aufgenommen.

- Osmonics Inc.
- P+V GmbH

Das Ergebnis dieser Erhebungen war, dass eine Abwasserbehandlung mit Hilfe von Membrananlagen im Bereich Textilindustrie z.B. in der Schweiz teilweise vorgeschrieben ist und deswegen bereits durchgeführt wird, und daher bereits gute Erfahrungswerte in diesem Bereich vorhanden sind. Aus diesem Grund wurde entschieden, dass eine Membrananlage die sinnvollste Möglichkeit zur Abwasserbehandlung darstellt.

### **9.3.6.2 Vorgehensweise**

Folgende Vorgehensweise bezüglich des Abwassers werden vorgeschlagen:

**Schritt 1** : Vorarbeiten für den Einsatz einer Membrananlage :

- Erstellen der Stoff und Energiebilanzen explizit für den Wasch und Färbereich
- Erfassen der Zusammensetzungen aller Teilströme
- Optimieren des Prozesses

**Schritt 2** : Feststellen der Membrananlagentauglichkeit

- Entnahme einer Probe all derjenigen Ströme die in einer Membrananlage behandelt werden sollen (u.U. mehrmals um eine repräsentative Probe zu erhalten).
- Schicken dieser Proben an eine Firma / Institut zur Ermittlung des Typs und der Betriebsdaten einer Membrananlage

**Schritt 3** : Testphase vor Ort

- Aufstellen einer mobilen Membrananlage vor Ort
- Erfassen der Betriebsdaten

- Erstellung eines Leistungskatalogs und damit verbunden einen Kostenvoranschlag

Die Unterteilung in diese drei Phasen der Entscheidungsfindung gewährleistet ein Minimum an Kosten, da nach den ersten beiden Schritten abgebrochen werden kann, ohne dass bereits investiert worden ist. Nach Schritt 3 ist zwar bereits ein Test vor Ort durchgeführt worden, aber auch diese Kosten sind im Allgemeinen relativ gering.

Im Anhang befinden sich die Kurzbeschreibung der Firmen bezüglich der Membrananlagen für die Behandlung von ölhaltigen Abwässern, bzw. Abwässern aus einem Textilbetrieb.

### 9.3.6.3 Abluft

Folgende Abluftreinigungssysteme entsprechen je nach Anforderung an das System dem Stand der Technik und werden in der Textilindustrie eingesetzt.

- Abluftwäscher
- Abluftreinigungssysteme durch Kühlen und Filtern (Kondensation)
- Thermische Nachverbrennung
- Biofiltration

#### Abluftwäscher

Die Abluft wird in intensiven Kontakt mit dem Waschmedium gebracht (Absorption). Dabei werden die löslichen Schadstoffe von den Wassertropfen absorbiert.

Die nichtlöslichen Schadstoffe bilden mit dem Waschmedium eine Emulsion. Damit ein gutes Reinigungsergebnis erreicht wird, sollte die Ablufttemperatur vor der Wäsche auf eine Temperatur knapp oberhalb der Taupunkttemperatur abgesenkt werden. Dadurch kann während der Wäsche eine möglichst vollständige Kondensation der Schadstoffe erreicht werden.

- Vorteile :*
- *Geringe Investitionskosten*
  - *Teilweises Abscheiden von Geruchsstoffen*
  - *Entfernung von Schadstoffen*
  - *Wasserlösliche Substanzen (Formaldehyd) können abgeschieden werden*
- Nachteile :*
- *Es werden die Schadstoffe von der Luft ins Wasser verlagert !*

Muss nun dieses entstehende Abwasser aufwendig nachbehandelt werden, so sind die geringen Investitionskosten nicht mehr vorhanden.

#### Abluftreinigung durch Kühlen und Filtrieren

Die Abluft wird in diesem Verfahren bis knapp über die Taupunkttemperatur heruntergekühlt. Anschließend wird in einem Kondensator weitergekühlt, sodass die meisten Schadstoffe auskondensieren. Im günstigsten Fall (abhängig von der Abgaszusammensetzung) erfolgt dies bereits bei 60 °C. Schadstoffe die mit der Luft ein Aerosol bilden müssen über eine Filteranlage (Mechanisch oder Elektrofilter) geführt werden. Die kondensierten Schadstoffe werden in Auffangbecken gesammelt, bzw. vom Wärmetauscher abgewaschen und müssen anschließend entsorgt werden.

- Vorteile :*
- *Geringe Investitionskosten*
  - *Entfernung von Schadstoffen*
  - *Kühlung der Abluft im Zuge einer Wärmerückgewinnungsanlage*
- Nachteile :*
- *Es werden die Schadstoffe von der Luft ins Wasser verlagert*

- Geruchsstoffe und wasserlösliche Stoffe können nur zum Teil entfernt werden
- Probleme mit Flusen möglich/wahrscheinlich

### Thermische Nachverbrennung

Die Abluft wird für ca. 0.5 s auf ca. 750 °C erwärmt. Bei dieser Temperatur verbrennen praktisch alle Schadstoffe einschließlich der Geruchsstoffe zu Kohlendioxid und Wasser.

- Vorteile :
- Alle Schadstoffe entfernt und beseitigt
  - Wärme rückführbar, dann auch wirtschaftlich (autothermer Betrieb)

- Nachteile :
- Entstehung von Verbrennungsabgasen
  - Bildung von Dioxin möglich (abh. von der Produktion)
  - Wenn Wärme nicht rückführbar, dann hohe Betriebskosten

Die Katalytische Nachverbrennung wird in der Textilindustrie wegen ihres Staub und Flusenanteils nicht gerne verwendet.

### Biofiltration

Bei Biofiltern wird das Abgas auf eine Temperatur von ca. 35 °C abgekühlt. Dadurch kondensieren die meisten Schadstoffe. Nicht erreicht wird meistens ein vollständiges Entfernen der Geruchsstoffe. Im Allgemeinen werden die Bedingungen für die Abgase durch den Einsatz von Biofiltern eingehalten, allerdings müssen die Schadstoffe durch Kulturen abbaubar sein.

- Vorteile :
- Geringe Investitionskosten
  - Abgasnormen können eingehalten werden
- Nachteil :
- Wechselnde Zusammensetzung schwierig für die Biologie
  - Betriebssicherheit sinkt mit steigender Filterfläche
  - Stillstandzeiten durch Filteraustausch (bis zu mehreren Tagen)

### Auswahl der passenden Methode

Um Aussagen darüber treffen zu können, welches dieser Systeme in Frage kommt, ist vor allem eine Energiebilanzierung der Anlage notwendig. Ohne diese Daten ist eine Entscheidung nur mit Vorbehalten zu treffen, da beispielsweise eine mehrstufige Wärmerückgewinnung möglich wäre. Damit verbunden wäre die Problematik der Flusen in der Abluft. Es muss mit den Herstellern solcher Anlagen erst abgesprochen werden, inwieweit dies ein Hindernis für den Betrieb der jeweiligen Anlage darstellt.

#### 9.3.6.4 Energieeffizienz

Maßnahmen im Bereich Energieeffizienz setzen eine eingehende Analyse der Energie und deswegen auch der Stoffbilanzen voraus. Erst dann kann das Optimierungspotential abgeschätzt werden.

#### 9.3.7 Schlussfolgerungen:

##### 9.3.7.1 Der Weg Richtung Zero für Eybl International

Welche Emissionen müssen reduziert werden um aus Eybl einen Zero Emission Betrieb zu machen ?

- Feste Abfälle

- Abluft
- Abwasser

### **Feste Abfälle**

Im Bereich nicht textiler Abfälle, die nicht wiederverwertet werden, auf Zero zu kommen, wirft Branchenübergreifende Probleme auf. Diese Abfälle werden sortiert, und entsprechend den Verordnungen getrennt entsorgt. Gerade für diese Stoffe wäre ein eigenes Projekt notwendig, da dies tatsächlich eine sehr allgemeine Problematik darstellt, die nicht spezifisch für Eybl International ist.

Die textilen Abfälle werden zum Teil von anderen Firmen als Rohstoffe abgekauft und zu Produkten weiterverarbeitet (Upsizing). Diese Möglichkeit beschränkt sich im Moment auf trockene textile Abfälle. Bei nassen Abfällen ist dies nicht möglich. Um ein Produktupsizing (die textilen Eigenschaften bleiben erhalten) zu erweitern ist die Suche nach neuen Abnehmern in der textilverarbeitenden Industrie notwendig.

Ein Recycling durch Umwandlung des Materials (Polyester) in einen Rohstoff ist, laut Aussage von Herrn Krämer (Lurgi Zimmer AG), in den nächsten Jahren nicht wirtschaftlich.

### Der Weg Richtung Zero :

- Suchen einer Behandlungsmethode für nasse textile Abfälle um ein Produktupsizing zu ermöglichen. (Produkt Upsizing)
- Möglichst viele Partner gewinnen, die aus den Abfällen textile Produkte gewinnen können (Produkt Upsizing)
- Die Preisentwicklung für Polyester sowie die technische Entwicklung im Bereich Kunststoffrecycling beobachten, denn die Einführung neuer Technologien oder das Ansteigen des Preises für Polyester könnte ein Recycling sinnvoll machen. (Recycling)

### **Abluft/Energie**

Der Weg Richtung Zero im Bereich Abluft verläuft in 3 verschiedenen Teilbereichen.

Zum einen muss die Abluft aus den Dampfbehandelten Maschinen gereinigt werden. Dies realisiert man am besten durch eine Reinigungsanlage, die durch Abkühlung in einem Wärmetauscher die kondensierbaren Schadstoffe entfernt, und auf diese Weise auch die Wärme rückgewinnt. Die gereinigte Abluft kann nun ohne nennenswerte Belastung für die Umwelt in die Umgebung abgeführt werden. Die Kondensierten Schadstoffe müssen hinsichtlich der Zusammensetzung untersucht und in Hinblick auf eine Verwertung beurteilt werden.

Die Abluft der Flammkaschieranlage beinhaltet Kohlenwasserstoffe, die auf Grund ihrer Konzentration entfernt werden müssen. Da es im Moment keine Alternativen zur Flammkaschierung gibt, sollte eine Nachverbrennungsanlage verwendet werden, die autotherm betrieben wird. Dies ist möglich, wenn genügend Kohlenwasserstoffe in der Abluft vorhanden sind. Durch die kurzzeitige Erwärmung auf ca 750 °C sollten sämtliche Kohlenwasserstoffe zu CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O umgesetzt werden. Dies widerstrebt zwar den Grundprinzipien für nachhaltiges Produzieren (Produkt aus fossilen Rohstoffen wird thermisch umgesetzt), allerdings gibt es dazu im Moment keine Alternativen.

Die Reduktion der CO<sub>2</sub> Emissionen auf nahe zu Null kann nur in Teilbereichen erreicht werden. Da in großen Bereichen der Anlage Wasser mit mittlerer Temperatur (< 80 °C ) benötigt wird, empfiehlt sich mit Hilfe von Solaranlagen die Warmwasserbereitstellung durchzuführen. Um die restlichen CO<sub>2</sub> Emissionen auf nahezu Null zu reduzieren wäre eine auf Biomasse basierende Dampferzeugungsanlage notwendig.

Der Weg Richtung Zero:

- Einbau einer Abluftreinigungsanlage für die Dampfbeladenen Abgasströme incl. Wärmerückgewinnung (Cleaner Technologie)
- Einbau einer autothermen Nachverbrennungsanlage (Cleaner Technology)
- Kombination Solaranlage und/oder Biomasseverfeuerung zur Reduktion der CO<sub>2</sub> Emissionen Richtung Null (Regenerierbare Energieträger)

**Abwasser**

Durch die vorgeschlagene Membrananlage sind 90 % des Abwassers einzusparen und darüber hinaus würde sich auch eine erhebliche Energieeinsparung ergeben. Die 10 % verbleibenden Abwasserstromes (aufkonzentriert) müssen noch nachbehandelt werden. Eine Möglichkeit wäre die Auftrennung der Inhaltsstoffe (in erster Linie Präparation und Waschmittel) und Untersuchung in wie weit eine Wiederverwendung dieser Stoffe möglich erscheint.

Der Weg Richtung Zero:

- Einbau einer Membrananlage zur Minimierung des Abwassers. (Cleaner Technology und Prozesswasserkreislaufführung)
- Untersuchung der Rückstände auf Nachbehandlung und Wiederverwertung (Recycling)

## 10 Schlussfolgerungen zur Umsetzung von Zero Emissions und Ausblick

Am Anfang des Projektes standen einige Hypothesen und Erfahrungen, die im Zuge der Arbeiten gestärkt, erweitert oder auch widerlegt wurden.

### 10.1 „Zero Emissions“ ist ein neuer ganzheitlicher Ansatz zu einer ressourceneffizienten Wirtschaftsentwicklung

Die Erfahrungen der eigenen Projekte und die Aufarbeitung der Fachliteratur zeigte, dass mittels des Zero-Emissions – Ansatzes eine Weiterentwicklung des produktionsintegrierten Umweltschutzes möglich ist, der über die Ökoeffizienzmaßnahmen hinaus reicht. Bezüglich der angewandten Methoden (Cleaner Production, Green Chemistry,..., vgl Abbildung 10.1) kann auf die Erfahrungen und Vorarbeiten aus den Projekten des produktionsintegrierten Umweltschutzes aufgebaut werden.

### 10.2 Ein medienbezogener Zugang ist möglich und sinnvoll

Zero Emissions muss nicht als Gesamtprojekt gestartet werden. Medienbezogene Zugänge wie

- kein Abwasser
- kein fester Abfall
- keine Emission von Treibhausgasen

können weitgehend unabhängig voneinander erarbeitet und umgesetzt werden. Querverbindungen

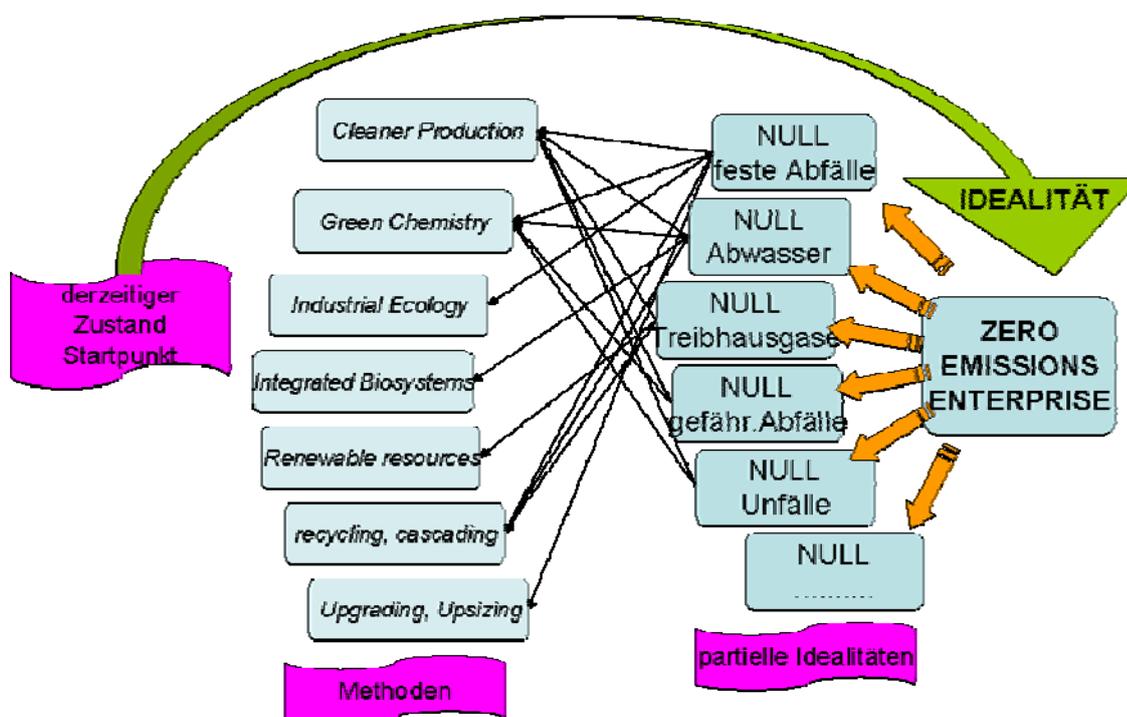


Abbildung 10.1: Rückschluss von der Idealität ZEE auf partielle Idealitäten

### **10.3 Diskontinuitäten in der Wirtschaftlichkeitsrechnung eröffnen betriebswirtschaftlich neue Perspektiven**

Der produktionsintegrierte Umweltschutz erbringt durch seine Effizienzansätze den Unternehmungen Ersparnisse bei den Betriebskosten für Rohstoffe und Entsorgung. Diese Einsparungen gehen proportional mit den eingesetzten Mengen und unterliegen daher dem Gesetz des abnehmenden Grenznutzens.

Durch Zero-Emissions – Ansätze lassen sich zusätzlich Fixkosten einsparen. Dies eröffnet neue betriebswirtschaftliche Vorteile, wenn es möglich ist, Anlagen oder Anlagenteile vollständig still zu legen oder zu vermeiden. Dies gilt besonders für Abwasseranlagen und Kanalanschlüsse aber auch im Bereich der Entsorgung fester Abfälle.

### **10.4 „Zero Emissions“ muss die betriebliche Ebene verlassen**

Zero Emissions setzt voraus, dass alle Materialflüsse, die ein Unternehmen verlassen so gestaltet sind, dass sie einen wirtschaftlichen Wert als Rohstoff für andere Produktionsprozesse haben. Diese Problematik kann nicht nur auf der Ebene des eigenen Betriebes behandelt werden, sondern erfordert eine Zusammenarbeit mit anderen Firmen. Nur bei einer gegenseitigen Abstimmung der erforderlichen Qualitäten kann eine vollständige und wirtschaftliche Verwertung aller NPOs erreicht werden.

### **10.5 Beitrag zu den Zielen der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“**

Schwerpunkt der Arbeiten im Projekt ZERIA3 waren die Leitprinzipien

- Effizienzprinzip
- Nutzung erneuerbarer Rohstoffe.

Produzieren ohne Abfälle und Emissionen bedeutet eine 100%ige Effizienz der Ausnutzung der eingesetzten Rohstoffe im eigenen Produktionsbetrieb oder im Verbund mit anderen Unternehmen.

Im Sinne eine möglichst geringen Wirkung der Nicht-Produkt – Outputströme ist die Verwendung nachwachsender Rohstoffe und erneuerbarer Energieträger Bestandteil der Zero Emissions Strategien.

Dieses Projekt zeigt auf, dass eine vollständige Nutzung knapper Ressourcen möglich und sinnvoll ist und untermauert die strategischen Ansätze des Impulsprogramms „Nachhaltig Wirtschaften“.

### **10.6 Weiterführender Forschungsbedarf**

Die Fallstudien in Rahmen des Projektes haben gezeigt, dass weiterer Forschungsbedarf auf mehreren Ebenen besteht:

- Ermittlung des minimal möglichen Energiebedarfes von Produktionsprozessen
- Kombination von chemischen, mechanischen und biologischen Verfahren der Prozesswasserbehandlung in verschiedenen Branchen
- Methodische und strategische Techniken zur Motivation von Mitarbeitern auf allen Ebenen

Vor allem aber wird es notwendig sein weitere Fallstudien mit Umsetzungen in möglichst allen Bereichen (Wasser, Abfall, Luft,...) zu generieren und bekannt zu machen.

## 11 Literaturverzeichnis

Dieses Literaturverzeichnis ist zweigeteilt. Unter der „zitierten Literatur“ sind jene Publikationen aufgeführt, auf die direkt in der Arbeit verwiesen wird. In der zweiten Liste befindet sich Literatur, die für den methodischen Teil ausgewertet wurde, aber nicht direkt zitiert wird.

### 11.1 Zitierte Literatur

Basu A. J., van Zyl D. J. A. (2006): Industrial ecology framework for achieving cleaner production in the mining and minerals industry: *Journal of Cleaner Production*, 14(3-4), 299-304.

Bliefert C (1995): *Umweltchemie*, VCH Verlag Weinheim, 500 pp, 1995

City of Oakland (2006): Resolution Adopting A Strategic Plan To Achieve The City Council Goal Of Zero Waste By 2020 For The City Of Oakland. Agenda Report

Danneels L. (2000): Abwasserfreie Produktion durch Kombination neuer Umwelttechnologien, *Galvanotechnik* 91(2000) Nr.7, pp. 2010-2015

Die Effizienzagentur NRW (2003): EFA Forum 4

Dietz W., Mannert C., Bierbaum S., Schramm S. (2006): Abwasserfreie Erzeugung von weiß gedeckten Wellpappenrohpapieren ohne Qualitäts- und Produktivitätsverlust, PTS-Forschungsbericht, 13.10.2006

Disero B. (2006): Solid Waste Management Services Toronto

Ekins P., Vanner R., Firebrace J. (2006): Zero emissions of oil in water from offshore oil and gas installations. *Journal of Cleaner Production*, doi:10.106/j.jclepro.2006.07.014

Fresner J., Schnitzer H., Gwehenberger G., Planasch M., Brunner C., Taferner K., Mair J. (2006): Practical experiences with the application of the concept of zero emissions in the surface treatment industry in Austria. *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2006.07.024

Fresner, J. et al. (2004): „ZERMEG II – Zero emission retrofitting method for existing galvanizing plants“, Projektendbericht im Rahmen der Fabrik der Zukunft, 2004

Frosch RA (1989): Strategies for Manufacturing, *Scientific American* 1989; 261(3):94-102

Fujitsu Group (2004): Sustainability Report

Gorton-Hülgerth A. (1995): „Verfahrenstechnische Ansätze nachhaltiger Produktion und ihre Auswirkungen auf die Organisationsstruktur“, Diplomarbeit, Institut für Verfahrenstechnik an der Technischen Universität Graz

Gravitis J. (2006): Zero techniques and systems – ZETS strength and weakness. *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2006.07.038

Gravitis J., Suzuki M. (1999): Biomass refinery – a way to produce value added products and base for agricultural zero emissions systems. Proceedings of the 99 International conference on agricultural engineering, Beijing, China

Hjeresen D. L. et al. (2002): „*Green Chemistry*: Environment, Economics, and Competitiveness“, *Corporate Environmental Strategy*, Vol. 9, No. 2

Jasch C. (2001): Umweltrechnungswesen – Grundsätze und Vorgehensweise, 2001, in: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.): *Berichte aus Energie- und Umweltforschung* 6a/2001, Wien

Jasch C., Schnitzer H. (2002): Umweltrechnungswesen - Wir zeigen, wie sich Umweltschutz rechnet. Beispielsammlung zur Umweltkostenrechnung und Investitionsrechnung; im Rahmen des Förderungsprogramms „Fabrik der Zukunft“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie unter Mitfinanzierung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

Jasch C., Schnitzer H. (2003): EMA – Environmental Management Accounting; Fallstudien zur Umweltkosten- und –investitionsrechnung. Schriftenreihe aus Energie- und Umwelttechnik 4/2003, BMVIT, Wien

Kersting R., Braun J.P., Keltsch H. (2003): Untersuchung von Galvanikschlämmen aus hessischen Betrieben, Hessisches Amt für Umwelt und Geologie, Projektbericht, Wiesbaden

Kühr R. (2006): Towards a sustainable society. *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2006.07.020

- Lee H.H.W., Chen G., Yue P.L. (2001): Integration of chemical and biological treatments for the textile industry wastewater: a possible zero-discharge system. *Water Science and Technology*. Vol44 No5 pp75-83
- Liss G & associates (2005): Palo Alto Zero Waste Strategic Plan. Palo Alto
- Mann D. (2002): Hands-On Systematic Innovation. Creax Press, ISBN 90-77071-02-4 Belgium
- N. N. (2003): Managen Sie Ihre Materialflüsse effizient? *Produktion* Nr.11, 2003 vom 13.3.2003)
- Nikon Corporation (2004): Environmental Report
- Obermurtaler Brauereigenossenschaft (2002): Umwelterklärung
- Ometto A.R., Ramos P.A.R., Lombardi G. (2006): The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen (2006): *Journal of Cleaner Production*, doi:10.106/j.jclepro.2006.07.021
- Pauli G. (1997): Zero emissions: the ultimate goal of Cleaner Production. *J. Cleaner Production*, Vol 5, Num 1-2, p109
- Pauli G. (1998): Upsizing – the road to Zero Emissions. Greenleaf Publishing Sheffield
- Planasch M. (2006): Technical Approaches towards Zero Emissions, 9th Annual EMAN Conference, Environmental Management Accounting and Cleaner Production, April, 26-27th, 2006
- Prammer J. (2006): Optimierung der Wasserwirtschaft einer Drahtbeize, DA, Institut für Ressourcenschonende und Nachhaltige Systeme, Technische Universität Graz,
- Rejuvenation (2006): Zero Waste Project Report: [www.zerowaste.org](http://www.zerowaste.org) vom 13.11.2006
- Schnitzer H. (2006a): The economic aspects of Zero Emissions processes. 9th Annual EMAN Conference, Environmental Management Accounting and Cleaner Production, April, 26-27th, 2006
- Schnitzer H., Brunner C., Gwehenberger G. (2006): Minimizing greenhouse gas emissions through the application of solar thermal energy in industrial processes. *Journal of Cleaner Production*, doi:10.106/j.jclepro.2006.07.023
- Siemens / VAI (2006): Themenfeld: Zero Waste Processing in Metallurgy. [HTTP://WWW.VAI.AT/](http://WWW.VAI.AT/) vom 13.11.2006
- Slawitsch B. (2005): Produktionsintegrierte Optimierungsmöglichkeiten in der Textilindustrie, Institut für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes, Montanuniversität Leoben
- Slawitsch B., Schnitzer H. and Planasch M. (2005a): Textile Industry: Towards Zero Emissions with Membrane Treatment: EMICHIE
- Snow W., Dickinson J. (2003): Getting there – the road to zero waste. Envision New Zealand
- Taferner K., Schnitzer H. (2004): Abwasser aus der Produktion – was es wirklich kostet. *Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift* 149, 6, 198
- VDI (1991): Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte, VDI Richtlinien VDI 2243, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf

## 11.2 Ausgewertete und weiterführende Literatur

- Anastas P. T., Warner J. C. (1998): “Green Chemistry theory and practice”, Oxford University Press, Oxford, ISBN 0-19-850234-6
- Aravindhan R., Sarsvanabhavan S., Thanikaivelan P., Raghava Rao J., Unni Nair B. (2006): A chemo-enzymatic pathway leads towards zero discharge tanning. *Journal of Cleaner production* doi:10.1016/j.jclepro.2006.07.010
- Baas L. (2006): To make zero emissions technologies and strategies become a reality, the lessons learned of cleaner production dissemination have to be known. *Journal of Cleaner Production*, doi:10.106/j.jclepro.2006.07.017
- Baas, L. Cleaner production and industrial ecosystems, a Dutch experience: *Journal of Cleaner Production* 1998, 6(3-4), 189-197.
- Boons, F. A. A. and Baas, L. W. Types of industrial ecology: The problem of coordination: *Journal of Cleaner Production* 1997, 5(1-2), 79-86.

- Brand, E. and de Bruijn, T. Shared responsibility at the region level: the building of sustainable industrial estates: *Journal of European Environment* 2006, 1999; 7(1):49-58
- Brouwer J. -W. (2002): „Nanofiltration reinigt Abwasser aus der Phosphatierung“, Henkel Surface Technologies, JOT, *Journal für Oberflächentechnik*, 42. Jahrgang, Nr. 9, Seite 76 – 77, Düsseldorf
- Chertow, M. Eco-Industrial park model reconsidered: *Industrial Ecology* 1998, 1998; 2(3):8-10
- Cote, R. P. and Cohen-Rosenthal, E. Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences: *Journal of Cleaner Production* 1998, 6(3-4), 181-188.
- Cote, R. P. and Smolenaars, T. Supporting pillars for industrial ecosystems: *Journal of Cleaner Production* 1997, 5(1-2), 67-74.
- Datenreport 2004 - Zahlen und Fakten über die Bundesrepublik Deutschland, Zweite, aktualisierte Auflage, Statistisches Bundesamt 2006
- Egger, K. et. al. Industrielle Brachflächen in Österreich. Wiedernutzungspotenzial. 2004
- EPA (1995): Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry, Office of Research and Development
- EPA (1997): Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the Textile Industry, EPA/310-R-97-009, U.S. Environmental Protection Agency, 401 M St., SW Washington, DC 20460
- Erler B., Gwehenberger G., Schnitzer H. (2000): „ZERIA, Zero Emissions Research in Austria“, *Berichte aus Energie- und Umweltforschung*, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien
- European Union (undated): Best Available Technologies for the Textile Industry
- Foo, E.-L. and Senta, T. Integrated Biosystems in Zero Emissions Applications: Institute for Advanced Studies, The United Nations University, Tokio 1998
- Gampmayer R. (2005): Rotreat GmbH: Membranverhalten bei den Pilot Scale Versuchen. Telefongespräche Juni-August
- Greyson J. (2006): An economic instrument for zero waste, economic growth and sustainability. *Journal of Cleaner Production* doi:10.1016/j.jclepro.2006.07.019
- Hartertinger L. (1995): *Handbuch der Abwasser- und Recyclingtechnik*, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag München, Wien, Nachdruck Jänner 1995
- Heeres, R. R., Vermeulen, W. J. V. and de Walle, F. B. Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons: *Journal of Cleaner Production* 2004, 12(8-10), 985-995.
- Huisingsh, D. Proven profits from Pollution Prevention - case Studies in Resource Conservation and Waste Reduction, Institute for Local Self-Reliance 1986
- Kitz S. (2003): Erstellung und Auswertung der Stoff- und Energiebilanz für die Firma Eybl-International AG am Standort Krems, Diplomarbeit Graz
- Lambert, A. J. D. and Boons, F. A. Eco-industrial parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks: *Technovation* 2002, 22(8), 471-484.
- Lee H.H.W., Chen G., Yue P.L. (2001): Integration of chemical and biological treatments for textile industry wastewater: a possible zero-discharge system, *Water Science and Technology* Vol 44 No 5 pp 75-83, IWA Publishing
- Linnanen, L.: Essays on environmental value chain management - challenge of sustainable development, University of Jyväskylä, School of Business and Economics 1998
- Lowe, E. A., Moran, S. and Holmes, D.: A fieldbook for the development of eco-industrial parks. Indigo Development International 1995
- Luhmann, N.: Einführung in die Systemtheorie, Carl-Auer Verlag 2006
- Müller A. (2005): Eybl International AG: Interview am 20. April
- Nemerow, N. L.: Zero Pollution or Industry, Wiley-Interscience Publication 1995
- Oldenburg, K. U. and Geiser, K. Pollution prevention and...or industrial ecology?: *Journal of Cleaner Production* 1997, 5(1-2), 103-108.
- Pauli G. (1995): ZERO EMISSIONS – the new industrial clusters. *ECODECISION*, Spring 1995

- Puurunen K., Vasara P. (2006): Opportunities for utilising nanotechnology in reaching zero-zero emissions in the paper industry. *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2006.07.013
- Randall, P. M.: *Engineers Guide to Cleaner Production Technologies*, Technomic Publishing Co., Inc. 1997
- Rausch, W.: *Die Phosphatierung von Metallen*, Eugen Leuze Verlag 1988
- Roberts, B. H. The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study: *Journal of Cleaner Production* 2004, 12(8-10), 997-1010.
- Schaltegger, S. et. al. *Ökologieinduzierte Entscheidungsprobleme des Managements. Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von Instrumenten.*, Basel, WWZ 1989
- Schlarb, M. *Eco-Industrial Development: A Strategy for Building Sustainable Communities*, U.S. Economic Development Administration 2001
- Schnitzer H., Ulgiati S. (2006a): Less is not good enough. *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2006.08.001
- Schurz, J.: *Systemdenken in der Naturwissenschaft*, Verlag für Systemische Forschung im Carl-Auer Verlag 2006
- Simon, F. B.: *Einführung in Systemtheorie und Konstruktivismus*, Carl Auer Verlag 2006
- The MCP System of Electropolishing. An Overview. Charlotte NC 704/563-007
- Throne-Holst H., Stø E., Strandbakken P.(2006): The role of consumption and consumers in zero emission strategies. Doi:10.1016/j.jclepro.2006.07.018
- Umweltbundesamt (1995): „Stand der Abwassertechnik in verschiedenen Branchen“, Texte 72/95
- Varge M., Kühr R. (2006): Integrative approaches towards Zero Emissions regional planning: synergies of concepts. *Journal of Cleaner Production*. Doi:10.1016/j.jclepro.2006.07.009
- Vauck W., Müller A. (2000): „Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik“, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart, ISBN 3-342-00687-0
- Wagner, S. et. al. *Nachwachsende Rohstoffe für die chemische Industrie* 2005
- Wallburg, P. *Stiching Historie der Techniek*, 2000. *Techniek in Nederland in de Twintigste eeuw*, part II: mineral resources, energy, and chemistry 2006
- Wallner, H. P. Towards sustainable development of industry: networking, complexity and eco-clusters: *Journal of Cleaner Production* 1999, 7(1), 49-58.
- World Bank Group (1998): *Pollution Prevention and Abatement Handbook*
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (2002): *Ökoeffizienz*, <http://www.eco-efficiency.de/deutsch/content/oeko-effizienz/index.html>, November
- WWW.ZERI.ORG/hyacinth.html (1998): *Water hyacinth - how the zero emissions concept is converting this pest into an engine for growth*
- Xin R. (2000): Development of environmental performance indicators for textile process and product, *Journal of Cleaner Production* 8 473-481

## 12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1: Wegen des Gesetzes des abnehmenden Grenznutzens sinkt der wirtschaftliche Anreiz zu weit reichenden Effizienzmaßnahmen.....	10
Abbildung 3.2: Das abfall- und emissionsfreie Unternehmen als ideales Endresultat der Entwicklung dient als Ausgangspunkt der Überlegungen .....	11
Abbildung 3.3: Vom Input zu Emissionen.....	12
Abbildung 3.4: Prinzip einer Bioraffinerie .....	15
Abbildung 3.5: Rückschluss von der Idealität ZEE (Zero Emissions Enterprise) auf partielle Idealitäten und die einsetzbaren Methoden.....	19
Abbildung 4.1: Erste Maßnahmen zum Umweltschutz durch End-of-Pipe – Technologien... ..	20
Abbildung 4.2: Verteilung der Kosten in der deutschen Automobilzulieferindustrie [N. N., 2003].....	22
Abbildung 4.3: Das Zero Emissions Konzept: Zero Emissions Brauerei [Pauli, 1998] .....	25
Abbildung 4.4: Gesetz des abnehmenden Grenznutzens bei kontinuierlichen Verbesserungen .....	26
Abbildung 4.5: Abnehmender Grenznutzen von 2 cm Dämmstoff .....	26
Abbildung 4.6: Spezifischer Wasserverbrauch der Brauerei Murau [Obermurtaler Brauereigenossenschaft, 2002].....	27
Abbildung 4.7: Problemlösung durch Definition des idealen Endproduktes.....	27
Abbildung 5.1: Vom Input zu Emissionen.....	32
Abbildung 5.2: Drei Ebenen in einem Zero Emissions System[Basu, 2006, Planasch, 2006] .....	36
Abbildung 5.3: Wirkungsmatrix prinzipiell .....	38
Abbildung 5.4: Ergebnis Schritt 1 und 2 der Wirkungsanalyse: wissenschaftliche Literatur.. ..	39
Abbildung 5.5: Ergebnis Schritt 1 und 2, Auswertung wissenschaftlicher Literatur.....	41
Abbildung 5.6: Wirkungsmatrix: Mikro-Level für die Metall verarbeitende Industrie .....	43
Abbildung 5.7: Wirkungsmatrix: Meso-Level für die Metall verarbeitende Industrie .....	44
Abbildung 5.8: Wirkungsmatrix: Makro-Level für die Metall verarbeitende Industrie .....	45
Abbildung 5.9: Wirkungsmatrix: Alle drei Ebenen mit Wechselwirkungen zw. den Ebenen für die Metall verarbeitende Industrie.....	46
Abbildung 5.10: Überschneidung zwischen den einzelnen Methoden .....	47
Abbildung 6.1: Entwicklung der Abfallmengen in Betrieben von Fujitsu [Fujitsu, 2004].....	53
Abbildung 6.2: Recycling rates for Industrial Waste Matsumoto Plant .....	54
Abbildung 6.3: Werbung von Subaru für seine abfallfreie Produktion .....	55
Abbildung 6.4: Aspekte des Zero Emissions Planes von Oakland [City of Oakland, 2006]... ..	58
Abbildung 6.5: Prinzip einer Bioraffinerie .....	59
Abbildung 6.6: Mögliche Rohstoffe und Produkte von Bioraffinerien .....	59
Abbildung 8.1: Erfassungsmatrix für EMA Workshops [Jasch, 2001].....	69
Abbildung 8.2: Ergebnis-Sheet EMA-Workshop: Fallstudie Eybl International AG [Slawitsch, 2005].....	70
Abbildung 8.3: Aufteilung der wahren Kosten für die Abfall- und Emissionsbehandlung [Slawitsch, 2005a].....	71
Abbildung 8.4: Aufteilung der wahren Wasserkosten [Slawitsch 2005].....	71
Abbildung 8.5: Ausschnitt aus der Tabelle „Membrantrennverfahren“ .....	73
Abbildung 8.6: Technologiedatenbank: Eingabe-Sheet.....	74
Abbildung 8.7: Technologiedatenbank: Auswahlverfahren.....	75
Abbildung 8.8: Technologiedatenbank: Ordnung nach Priorität .....	75
Abbildung 8.9: Ionenaustauscheranlage für Versuche im Labormaßstab.....	77
Abbildung 8.10: Membranfilterzelle für Versuche im Labormaßstab .....	78
Abbildung 8.11: Rotovapor für Verdampfungsversuch im Labormaßstab.....	79

Abbildung 8.12 und Abbildung 8.13: Filteranlage zum Testen unterschiedlicher Vorfilter und adsorptiver Filtermedien .....	80
Abbildung 8.14: Mobile Ionenaustauscheranlage .....	81
Abbildung 8.15 und Abbildung 8.16: Mobile Membrananlage; zur Verfügung gestellt von Rotreat Abwasserreinigungs GmbH & Co KG, Graz .....	82
Abbildung 8.17: Messaufbau vor Ort im Einsatz .....	83
Abbildung 9.1: Fließbild Ausgangszustand Fallstudie Metall verarbeitende Industrie .....	86
Abbildung 9.2: Laborversuche Ionentauscher: Durchbruchskurve 1 .....	92
Abbildung 9.3: Ermittlung Durchbruchskurve 1: Fe- und Cl-Konzentration .....	92
Abbildung 9.4: Laborversuche Ionentauscher: Durchbruchskurve 2 [Prammer, 2006] .....	93
Abbildung 9.5: Ermittlung Durchbruchskurve 2: Fe- und Cl-Konzentration .....	93
Abbildung 9.6: Verlauf Fe-Konzentration .....	94
Abbildung 9.7: Verlauf Cl-Konzentration .....	95
Abbildung 9.8: Ermittlung Durchbruchskurve: Zn- und Phosphatkonzentration .....	96
Abbildung 9.9: Pilotversuche: Verlauf Leitfähigkeit über die Zeit .....	100
Abbildung 9.10: Pilotversuche: Verlauf Zn-Konzentration über die Zeit .....	101
Abbildung 9.11: Sandfilter: Verlauf Druckverlust bei 300l/h .....	102
Abbildung 9.12: Sandfilter: Verlauf Druckverlust bei 150l/h .....	102
Abbildung 9.13: Sandfilter: Versuchsergebnisse Reinigung Phosphatspüle .....	103
Abbildung 9.14: Beutelfilter: Versuchsergebnisse 10µm .....	104
Abbildung 9.15: Kombination Beutel- und Kerzenfilter (je 10µm): Verlauf Durchfluss über die Zeit .....	104
Abbildung 9.16: Kombination Beutel- (10µm) und Kerzenfilter (1µm): Feed rechts, Filtrat links .....	105
Abbildung 9.17: Kombination Beutel- (10µm) und Kerzenfilter (1µm): Druckverlust und Verlauf Durchfluss über die Zeit .....	105
Abbildung 9.18: Kombination Beutel- (10µm) und Kerzenfilter (1µm): Filterpatrone komplett zugewachsen .....	106
Abbildung 9.19: Kombination Beutelfilter 50µm, Kerzenfilter 10µm und 1µm: Verlauf des Druckverlust und Durchfluss .....	107
Abbildung 9.20: Filtermodule aus Filterkombination, Phosphatspüle .....	107
Abbildung 9.21: Anlagenschema Anlage 4 .....	108
Abbildung 9.22: Messstellen für Handmessung: Vorhang 1 und 2 vor der Beize .....	109
Abbildung 9.23: 3-stufige Fließspülkaskade nach der Beize mit Messaufbau .....	109
Abbildung 9.24: Rechts: 1. Spülbad nach der Phosphatierung mit Leitfähigkeits- und pH-Temperatursonde, links: 2. Spülbad .....	110
Abbildung 9.25: Anlagenschema Anlage 1 .....	110
Abbildung 9.26: Vorhang nach der Beize, Messstelle für pH-Wert, Leitfähigkeit- und Temperatur .....	111
Abbildung 9.27: Anlage 4: Verlauf der Leitfähigkeit in den 3 Bädern der Fließspüle .....	111
Abbildung 9.28: Anlage 4: Vergleich des Verlaufs der Leitfähigkeit in Spüle 1 und 2 .....	112
Abbildung 9.29: Anlage 4: Verlauf des pH-Werts in den 3 Bädern der Fließspüle .....	113
Abbildung 9.30: Anlage 4: Vergleich des pH-Werts in Spüle 1 und 2 .....	113
Abbildung 9.31: Anlage 4: Verlauf der Leitfähigkeit und des pH-Werts .....	114
Abbildung 9.32: Anlage 1: Verlauf der Leitfähigkeit in den 3 Bädern der Fließspüle .....	115
Abbildung 9.33: Messergebnisse Anlage 1: Vorhang 1, Leitfähigkeit und pH-Wert .....	116
Abbildung 9.34: Anlage 1: Vorhang 2: Verlauf Leitfähigkeit und pH-Wert .....	117
Abbildung 9.35: Anlage 4: Phosphatspüle: Verlauf der Leitfähigkeit und des pH-Werts .....	118
Abbildung 9.36: Anlage 4: Verlauf des pH-Werts in Spüle 1 und 2 nach der Beize über 4 Wochen .....	119

Abbildung 9.37: Anlage 4: Verlauf des pH-Werts und der Leitfähigkeit von Spüle 2 über einen Monat.....	119
Abbildung 9.38: Anlage 4: Verlauf des pH-Werts in der Phosphatspüle über 3 Wochen.....	120
Abbildung 9.39: Anlage 4: Verlauf der Leitfähigkeit und des pH-Werts der Phosphatspüle über 4 Wochen .....	121
Abbildung 9.40: Anforderungen an die Qualität zur stofflichen Verwertung galvanischer Schlämme [Kersting, 2003].....	123
Abbildung 9.41: Fließbild: Metall verarbeitendes Unternehmen, Zero Emissions Konzept für die Trennung von HCl und H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .....	125
Abbildung 9.42: Fließbild Metall verarbeitende Industrie: Zero Emissions Konzept für die Umstellung einer HCl-Beize auf eine H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> -Beize .....	128
Abbildung 9.43: Entsorgungs- und Betriebskosten für drei Zero Emissions Varianten.....	129
Abbildung 9.44 Prozessfließbild .....	131
Abbildung 9.45: Teilewaschanlage und ungereinigte Teile.....	132
Abbildung 9.46 Elektropolierprozess und Spülen.....	132
Abbildung 9.47 Neutralisationsanlage .....	133
Abbildung 9.48 Messwertsensor im Spülbad - Prozessdatenerfassung .....	133
Abbildung 9.49 Prozessdatenerfassung.....	134
Abbildung 9.50 Leitfähigkeit und pH – Wert .....	134
Abbildung 9.51 Vergleich zweier Messreihen .....	135
Abbildung 9.52 Versuchsaufbau für die Verdünnungsreihe im Labor .....	135
Abbildung 9.53 Abschätzung der Verschleppung in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit....	136
Abbildung 9.54 Verschleppung in Abhängigkeit der polierten Werkstückoberfläche .....	137
Abbildung 9.55 Fließspüle .....	138
Abbildung 9.56 Badpflege .....	138
Abbildung 9.57 Alternative Trenntechnologien.....	139
Abbildung 9.58: Fließbild der Waschmaschine .....	144
Abbildung 9.59: Optimierte Wärmetauscheranordnung der Waschmaschine .....	145
Abbildung 9.60: Prozentuelle Verteilung der Umweltkosten nach Kostenkategorien .....	146
Abbildung 9.61: Spezifischer Permeatfluss der Ultrafiltration.....	149
Abbildung 9.62: Zusammenhang der Tensidkonzentrationen im Reinwasser und dessen CSB Konzentration .....	149
Abbildung 9.63: Relative Abwasser- und Non-Productkosten (Schematisch ) .....	151
Abbildung 9.64: Darstellung des Trennprinzips .....	153
Abbildung 9.65: Schematische Darstellung eines Membranprozesses zur Behandlung von ölhaltigen Abwässern. ....	153
Abbildung 10.1: Rückschluss von der Idealität ZEE auf partielle Idealitäten .....	159
Abbildung 14.1: Bilder vom Kick-Off-Meeting in Murau .....	169
Abbildung 14.2: Bilder vom 2. Projektworkshop .....	170

## 13 Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Gegenüberstellung von Umwelttechniken und produktionsintegriertem Umweltschutz (eigene Zusammenstellung) .....	21
Tabelle 4.2: Gegenüberstellung von Stärken und Schwächen des produktionsintegrierten Umweltschutzes (eigene Zusammenstellung) .....	22
Tabelle 5.1: Maßnahmen in den drei Ebenen .....	40
Tabelle 6.1: Entwicklung der Abfallmengen bei Panasonic .....	55
Tabelle 9.1: Laborversuche Ionentauscher, Standbeize Sammelgrube 1 .....	88
Tabelle 9.2: Laborversuche Ionentauscher, Sammelgrube .....	89
Tabelle 9.3: Versuchsergebnisse Ionentauscheranlage: chemische Analyse .....	89
Tabelle 9.4: Laborversuche Ionentauscher: Laboranalysen .....	89
Tabelle 9.5: Laborversuche Ionentauscher: Messserie 2 .....	90
Tabelle 9.6: Laborversuche Ionentauscher: Messserie 2 Analysenergebnisse .....	90
Tabelle 9.7: Laborversuche Ionentauscher: Messserie 2 Analysenergebnisse .....	90
Tabelle 9.8: Laborversuche Ionentauscher: Messserie 3 .....	91
Tabelle 9.9: Laborversuche Ionentauscher: Messserie 3 Analysenergebnisse .....	91
Tabelle 9.10: Ermittlung Durchbruchkurve: Versuchsergebnisse [Prammer] .....	96
Tabelle 9.12: Versuchsergebnisse Membrantrennanlage .....	98
Tabelle 9.13: Versuchsergebnisse Membrantrennanlage, chemische Analyse .....	98
Tabelle 9.14: Feststoffkonzentration Phosphatbad .....	99
Tabelle 9.15: Feststoffkonzentration Spülwasser .....	100
Tabelle 9.16: Versuchsauflistung Pilotversuche Phosphatspüle .....	103
Tabelle 9.17: Kombination Beutel- (10µm) und Kerzenfilter (1µm): Verlauf der Zn-Konzentration .....	106
Tabelle 9.18: Schlammanfall Filtermodule .....	108
Tabelle 9.19: Anlage 4: Versuchsergebnisse Vorhang 1 und 2 .....	114
Tabelle 9.20: Anlage 4: Versuchsergebnisse 3-stufige Fließspülkaskade nach der Beize .....	114
Tabelle 9.21: Anlage 4: Versuchsergebnisse Phosphatbad und Spülen .....	114
Tabelle 9.22: Anlage 1: Messergebnisse: Vorhänge vor und nach der Beize .....	117
Tabelle 9.23: Anlage 1: Messergebnisse: 3-stufige Fließspülkaskade nach der Beize .....	117
Tabelle 9.24: Anlage 1: Messergebnisse Phosphatierung und Spülen .....	117
Tabelle 9.25: Zusammenstellung der Wasserreduktionsmaßnahmen .....	122
Tabelle 9.26: Amortisationsrechnung der betrachteten Zero Emissions Varianten .....	130
Tabelle 9.27: Energiebilanz Waschmaschine .....	143
Tabelle 9.28: Maßnahmen und Amortisationszeit Eybl International AG .....	148

## 14 Anhang

### 14.1 Kick-Off-Meeting und 2. Projektworkshop

#### 14.1.1 Kick-Off-Meeting:

Datum: 30. März 2005

Ort: Murau, bei Brauerei Murau

Das Kick-Off-Meeting wurde als Kombination eines Arbeitsmeetings mit anschließender Firmenbesichtigung durchgeführt.



**Abbildung 14.1: Bilder vom Kick-Off-Meeting in Murau**

Im Anschluss finden sich die Foliensätze der Präsentationen.

#### 14.1.2 2. Projektworkshop:

Datum: 11. Oktober 2005

Ort: Krems, bei Eybl International AG

Der zweite Workshop wurde als Kombination eines Arbeitsmeetings mit anschließender Firmenbesichtigung durchgeführt.



**Abbildung 14.2: Bilder vom 2. Projektworkshop**

Im Anschluss finden sich die Foliensätze der Präsentationen.

## 14.2 Öffentlichkeitsarbeit

Im Laufe des Projektzeitraumes erfolgten zahlreiche Vorstellungen in Österreich und im Ausland. Die wesentlichen sind folgende:

- Zukunftssymposium Hartberg. Vorstellung der Projektidee zusammen mit Zukunftsforscher Matthias Horx. Jänner 2005
- die Presse: „Presse Abend im Wappensaal“, die Presse, 16./17. April 2005
- Wirtschaftskammer Österreich: Umweltschutz und Wirtschaft, Spezialausgabe zu Umwelttechnik, August 2005
- Netzwerk Umwelttechnik. Projektpräsentation beim Startworkshop in Linz, September 2005
- Wirtschaftskammer Steiermark: Steirische Wirtschaft „Abfall- und Abwasserwirtschaft“, 18. November 2005
- Industrial Pollution and Sustainable Development. Conference Maribor, Dec. 2005, Projektvorstellung
- Workshop „Research in the Waste Area – Towards the FP7“, Feb. 13<sup>th</sup>, Brussels, DG RTD: Projektvorstellung
- Environmental Management and Innovation. Mitveranstaltung des Kongresses und Vorstellung des Projektes. TU Graz, April 2006
- International Conference on Environmental Management & Innovation, Wien, April 2006, Projektposter
- Moving towards the Zero Emissions Enterprise – A challenge to business to reduce their diverse negative environmental impacts. Launch event, DTI, Dec. 2006. London: Projektvorstellung
- Baltic University Programme (BUP) Teachers Conference on Environmental Management Systems & Certification, 28.06.-02.07.2006, Borki/Molo, Polen, Projektvorstellung

## 14.3 Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Fresner J., Schnitzer H., Gwehenberger G., Planasch M., Brunner C., Taferner K., Mair J. (2006): Practical experiences with the application of the concept of zero emissions in the surface treatment industry in Austria. *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2006.07.024

Planasch M., Schnitzer H.; From Cleaner Production to Zero Emissions, 2<sup>nd</sup> International Conference on Integrative approaches towards sustainability, Conference Proceedings 11. - 14.05.2005, Riga, Latvia

Planasch M.: Technical Approaches Towards Zero Emissions, 9th Annual EMAN Conference, Environmental Management Accounting and Cleaner Production, April, 26-27th, 2006

Schnitzer H. (2006): The economic aspects of Zero Emissions processes. 9th Annual EMAN Conference, Environmental Management Accounting and Cleaner Production, April, 26-27th, 2006

Schnitzer H., Brunner C., Gwehenberger G. (2006): Minimizing greenhouse gas emissions through the application of solar thermal energy in industrial processes. Journal of Cleaner Production, doi:10.106/j.jclepro.2006.07.023

Schnitzer H., Ulgiati S. (2006a): Less bad is not good enough. Journal of Cleaner Production, doi:10.1016/j.jclepro.2006.08.001

Slawitsch, B., Schnitzer, H. and Planasch M. (2005a) Textile Industry: Towards Zero Emissions with Membrane Treatment: EMICHIE

Zwatz Ch., Schnitzer H., Gwehenberger G., Planasch M., Taferner K.; Zero Emissions in Application - Correlation of conductivity and drag out in the electropolishing process, Industrial Pollution and Sustainable Development, Conference Proceedings, 14.-17.12.2005, Maribor, Slovenia

Zwatz Ch.: Implementation of Zero Emissions, 9th Annual EMAN Conference, Environmental Management Accounting and Cleaner Production, April, 26-27th, 2006

## **14.4 Weiterbildungsveranstaltungen**

### **Italien**

Shoot Course on Cleaner Technologies, Eco-Efficiency and Waste Minimization. Towards Zero Emissions

1. 07.-14.03.2006: The Energy and Environment Research Unit (Italy) and the Technical University of Graz (Austria), Siena, Italien

### **Vietnam**

Short Course on Energy Accounting and Sustainable Development for Industrial Sectors in Vietnam

1. 24.-25.07.2006: Institute for Environment and Resources, Vietnam National University of Ho Chi Minh City
2. 26.-27.07.2006: Department of Natural Resources and Environment, Ho Chi Minh City Environment Protection Agency (HEPA)

### **Technische Universität Graz**

Vorlesung mit dem Titel:

Innovationen für nachhaltiges Wirtschaften in Industrie und Gewerbe, SS 2006