

# Analyse von Ressourceneffizienz- potenzialen in KMU der chemischen Industrie

Oktober 2014

Studie: Analyse von Ressourceneffizienzpotenzialen in KMU der chemischen Industrie

2. Auflage 2016

Die Studie wurde im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit erstellt.

Erstellt von:

BiPRO GmbH, Grauertstr. 12, 81545 München

BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH, Lindenstr. 33,  
28876 Oytten

Autoren:

Elisabeth Zettl, Craig Hawthorne, Dr. Reinhard Joas, Prof. (apl.) Dr. habil. Uwe Lahl, Benjamin Litz, Dr. Barbara Zeschmar-Lahl, Dr. Anke Joas

Im Auftrag der VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH.

Fachliche Ansprechpartner:

Dr. Christof Oberender, Dr. Katja Saulich, Sebastian Schmidt

Wir bedanken uns für die fachliche Unterstützung bei  
Herrn Thomas Prasche, Senior Project Manager  
bei der Evonik Industries AG.

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)

Bertolt-Brecht-Platz 3

10117 Berlin

Tel. +49 30-27 59 506-0

Fax +49 30-27 59 506-30

zre-info@vdi.de

www.ressource-deutschland.de

Grafik: Sebastian Kanzler

Satz: ESM Satz und Grafik GmbH

Titelbild: Sebastian Kanzler,

nach RULAND Engineering & Consulting GmbH

Druck: LASERLINE Druckzentrum Berlin KG, Scheringstraße 1, 13355  
Berlin-Mitte

Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

VDI ZRE Publikationen: Studien

Analyse von  
Ressourceneffizienzpotenzialen  
in KMU der chemischen Industrie

Oktober 2014



## INHALT

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	7
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	8
KURZFASSUNG	11
1. HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG DES PROJEKTS	17
1.1. Hintergrund	17
1.2. Ressourceneffizienz	17
1.3. Politische Rahmenbedingungen	20
1.4. Portfolio und Ressourceneffizienz in der deutschen chemischen Industrie	23
1.5. Zielsetzung	25
2. METHODIK ZUR ERMITTLUNG UND BEWERTUNG MÖGLICHER RESSOURCENEFFIZIENZPOTENZIALE	26
2.1. Identifikation relevanter Sparten	26
2.2. Ermittlung der Ressourceneffizienzpotenziale	27
3. IDENTIFIZIERUNG VON SPARTEN, IN DENEN KMU AUS VOLKSWIRTSCHAFTLICHER SICHT VON HOHER RELEVANZ SIND	31
4. ALLGEMEINE POTENZIALANALYSE	37
4.1. Durchführung der Recherche	37
4.2. Ergebnisse des Industrieworkshops	41
4.3. Auswertung der Informationen und Fallbeispiele	42
4.3.1. Methodisches Vorgehen	43
4.3.2. Auswertung der Fallbeispiele und Informationen - Kernprozesse	45
4.3.3. Auswertung der Fallbeispiele und Informationen - Peripherie	51
4.3.4. Auswertung der Fallbeispiele und Informationen - Methoden	54
4.4. Schlussfolgerung	58
5. DETAILLIERTE POTENZIALANALYSE	62
5.1. Fallstudie 1: Ressourceneffizienz durch Anwendung geeigneter Informationssysteme	62

5.2.	Fallstudie 2: Ressourceneffizienz durch Chemikalienleasing zur Reinigung von Metallteilen	67
5.3.	Fallstudie 3: Ressourceneffizienz durch Substitution der Einsatzstoffe	76
5.4.	Fallstudie 4: Ressourceneffizienz durch Recycling von PTFE-Reststoffen zur Wiedergewinnung von Einsatzstoffen	83
5.5.	Fallstudie 5: Ressourceneffizienz durch innovative Rohrleitungsreinigung	91
5.6.	Fallstudie 6: Ressourceneffizienz durch Verbesserung des Abgasreinigungssystems	93
5.7.	Fallstudie 7: Ressourceneffizienz durch Wärmerückgewinnung	97
6.	LÖSUNGEN ZUR REALISIERUNG VON RESSOURCENEFFIZIENZPOTENZIALEN	101
6.1.	Lösungsansätze für die betriebliche Ebene	102
6.1.1.	Allgemein	102
6.1.2.	Methoden	107
6.1.3.	Kernprozesse	114
6.1.4.	Peripherie	115
6.1.5.	Mögliche Ansätze für Politik und Verbände	117
7.	LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS	126
	ANHANG	132

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<b>Abbildung 1:</b> Überblick über die gesetzlichen Rahmenbedingungen und Hintergründe zur Ressourceneffizienz	22
<b>Abbildung 2:</b> Differenzierung des Herstellungsprozesses	28
<b>Abbildung 3:</b> Allgemeine Prozesskette für die Herstellung von Chemikalien	30
<b>Abbildung 4:</b> Anzahl der Betriebe in der jeweiligen VCI-Sparte nach Unternehmensgröße	33
<b>Abbildung 5:</b> Bedeutung der Wirtschaftszweige in der jeweiligen VCI-Sparte nach Umsatz	33
<b>Abbildung 6:</b> Relevanz der einzelnen Sparten für alle KMU der chemischen Industrie	34
<b>Abbildung 7:</b> Zuordnung der ausgewerteten Fallbeispiele zu Prozessbereichen	44
<b>Abbildung 8:</b> Zuordnung der Fallbeispiele zu eingesparten Ressourcen und Kosten	45
<b>Abbildung 9:</b> Grundidee von TeBIS®: Datenerfassung und zentrale Datenspeicherung in einer Datenbank, ©Steinhaus Informationssysteme GmbH	63
<b>Abbildung 10:</b> Grundidee von TeBIS®: Zentrale Datenerfassung, -auswertung und -archivierung, ©Steinhaus Informationssysteme GmbH	64
<b>Abbildung 11:</b> Messwertsensorik, © Steinhaus Informationssysteme GmbH	65
<b>Abbildung 12:</b> Datenaufnahme und -analyse, © Steinhaus Informationssysteme GmbH	65
<b>Abbildung 13:</b> Datenaufzeichnung einer Tankreinigung anhand von TeBIS®, © Steinhaus Informationssysteme GmbH	66
<b>Abbildung 14:</b> Chemikalienleasing-Modelle bündeln Interessen	69
<b>Abbildung 15:</b> COMPLETE™ Chemikalienleasing - Reinigungsanlage und Lösemittelkreislauf	70

<b>Abbildung 16:</b> Darstellung der einzelnen Stufen des Reinigungsverfahren mittels PER, in denen Ressourceneffizienzmaßnahmen durchgeführt wurden	72
<b>Abbildung 17:</b> Verbesserung des Einsatzes des Lösemittels über die Jahre	74
<b>Abbildung 18:</b> Prozess der PTFE-Herstellung, Quelle: BiPRO in Anlehnung an ecoinvent-Datenbank und DBU	84
<b>Abbildung 19:</b> End-of-Life - Logistikkonzept	86
<b>Abbildung 20:</b> Systemgrenzen von a) konventioneller Herstellung von TFE und b) Herstellung von TFE durch chemisches Recycling von PTFE-Reststoffen	87
<b>Abbildung 21:</b> Reinigung der Rohrleitung vom Produktionstank zur Übergabestation mit der Whirlwind-Technologie	92
<b>Abbildung 22:</b> Keramische Wärmetauscher, ©Dürr Systems GmbH	94
<b>Abbildung 23:</b> Überblick über die Energieverbräuche und Betriebskosten vor und nach dem Umbau, ©Dürr Systems GmbH	96
<b>Abbildung 24:</b> Schematische Darstellung des thermee-Wärmepumpen-Systems	99
<b>Abbildung 25:</b> Übersicht der Lösungsansätze zur Realisierung von Ressourceneffizienzpotenzialen	101
<b>Abbildung 26:</b> Erstellung der Datengrundlage und Indikatoren (Kennzahlen) zur ganzheitlichen Betrachtung von Produktionsverfahren	103



## TABELLENVERZEICHNIS

<b>Tabelle 1:</b>	Sparten und Wirtschaftszweige der chemischen Industrie	32
<b>Tabelle 2:</b>	Volkswirtschaftlich relevante Produktionszweige	35
<b>Tabelle 3:</b>	Potenzielle Energieeinsparungen in der Peripherie	52
<b>Tabelle 4:</b>	Fallstudie 1: Reduktion des Wasserverbrauchs	66
<b>Tabelle 5:</b>	Fallstudie 1: Kosteneffizienz	67
<b>Tabelle 6:</b>	Fallstudie 2: Reduktion der Menge der Einsatzstoffe	75
<b>Tabelle 7:</b>	Fallstudie 2: Reduktion des Energieverbrauchs	75
<b>Tabelle 8:</b>	Fallstudie 2: Reduktion der Emissionen	75
<b>Tabelle 9:</b>	Fallstudie 3: Inhaltsstoffe in einem Liter GrüneTinte®	81
<b>Tabelle 10:</b>	Fallstudie 4: Energieverbrauch bei der Herstellung einer Tonne TFE	90
<b>Tabelle 11:</b>	Fallstudie 5: Auswirkungen auf die Ressourceneffizienz	93
<b>Tabelle 12:</b>	Fallstudie 6: Reduktion des Energieverbrauchs	96
<b>Tabelle 13:</b>	Fallstudie 6: Kosteneffizienz	97
<b>Tabelle 14:</b>	Fallstudie 7: Reduktion des Energiebedarfs	99
<b>Tabelle 15:</b>	Fallstudie 7: Kosteneffizienz	100
<b>Tabelle 16:</b>	Anzahl der Beschäftigten nach Größenklasse und Wirtschaftszweig	132
<b>Tabelle 17:</b>	Anzahl der Betriebe nach Größenklasse und Wirtschaftszweig	134
<b>Tabelle 18:</b>	Umsatz nach Größenklasse und Wirtschaftszweig	136

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>BaWü</b>	Baden-Württemberg
<b>BEP</b>	Break-even-Point
<b>BEST</b>	Betriebliches Energie- und Stoffstrommanagement
<b>BMWi</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
<b>BMUB</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
<b>CaF<sub>2</sub></b>	Calciumfluorid
<b>CaSO<sub>4</sub></b>	Calciumsulfat
<b>CH<sub>4</sub></b>	Methan
<b>CHCl<sub>3</sub></b>	Chloroform
<b>Cl</b>	Chlor
<b>CLP</b>	Regulation on Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxid
<b>DBU</b>	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
<b>DCM</b>	Dimethylchlorid (Methylenchlorid)
<b>DECHEMA</b>	Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
<b>DENA</b>	Deutsche Energieagentur
<b>DERA</b>	Deutsche Rohstoffagentur
<b>DESTATIS</b>	Statistisches Bundesamt
<b>E</b>	Erneuerbar
<b>EoL</b>	End-of-Life
<b>EREP</b>	Europäische Ressourceneffizienz-Plattform
<b>F&amp;E</b>	Forschung und Entwicklung
<b>FE</b>	Funktionale Einheit
<b>GaBi</b>	Ganzheitliche Bilanzierung ( <a href="http://www.lbp-gabi.de">http://www.lbp-gabi.de</a> )
<b>H<sub>2</sub></b>	Wasserstoff
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Wasser
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Schwefelsäure

---

<b>HCFC-22</b>	Chlordifluormethan, R22
<b>HCl</b>	Salzsäure (Chlorwasserstoff)
<b>HF</b>	Flusssäure (Fluorwasserstoff)
<b>HHI</b>	Herfindahl-Hirschmann-Index
<b>IE</b>	International Efficiency (Effizienzklasse)
<b>IFEU</b>	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
<b>KEA</b>	Kumulierter Energieaufwand
<b>KMU</b>	kleine und mittlere Unternehmen
<b>KPI</b>	Key Performance Indicator (Kennzahlenbildung)
<b>KRA</b>	Kumulierter Rohstoffaufwand
<b>LZA</b>	Lebenszyklusanalyse
<b>MSR</b>	Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
<b>NaCl</b>	Natriumchlorid
<b>NaOH</b>	Natronlauge (Natriumhydroxid)
<b>NaWaRo</b>	Nachwachsende Rohstoffe
<b>NE</b>	Nicht erneuerbar
<b>NH<sub>4</sub></b>	Ammonium
<b>Off-Spec</b>	Off-specification (nicht spezifikationsgemäß, von den Qualitätsbestimmungen abweichend, Ausschuss)
<b>OpEx</b>	Operational Excellence
<b>PA</b>	Prozess-Analyse
<b>PER, PERC, PCE</b>	Perchlorethylen (Tetrachlorethylen, C2Cl4)
<b>PIC-Konvention</b>	Rotterdammer Übereinkommen zum internationalen Handel mit bestimmten gefährlichen Chemikalien
<b>PIMS</b>	Profit impact of market strategies
<b>PIUS</b>	Produktionsintegrierter Umweltschutz
<b>PLCM</b>	Process Life Cycle Management
<b>PLS</b>	Produktionsleitsystem
<b>POP</b>	Langlebige Organische Schadstoffe (Persistent Organic Pollutants)

<b>ProgRess</b>	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm
<b>PTFE</b>	Polytetrafluorethylen ((C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> ) <sub>n</sub> )
<b>R22</b>	Chlordifluormethan, HCFC-22
<b>RE</b>	Ressourceneffizienz
<b>REACH</b>	Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 - Chemikalienverordnung
<b>RTO</b>	Regenerative Thermische Oxidation
<b>SAICM</b>	Strategic Approach on International Chemical Management
<b>SCM</b>	Supply Change Management
<b>SCN</b>	Sustainable Chemistry Network
<b>SubChem</b>	Sustainable Substitution of Hazardous Chemicals
<b>SusChem</b>	European Technology Platform for Sustainable Chemistry
<b>TeBIS®</b>	Technisches Betriebsinformationssystem
<b>TFE</b>	Tetrafluorethylen (C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> )
<b>TRI, Trike, TCE</b>	Trichlorethylen
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>UPS</b>	Umweltpolitischer Schwerpunkt
<b>VCI</b>	Verband der Chemischen Industrie e.V.
<b>VDI-GVC</b>	VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen
<b>VDI ZRE</b>	VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
<b>VDI</b>	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
<b>WGI</b>	Worldwide Governance Indicator
<b>WZ</b>	Wirtschaftszweig

## KURZFASSUNG

Natürliche Ressourcen bilden die Basis unseres Lebens und sind unverzichtbare Wirtschaftsfaktoren. Zu den wichtigsten Ressourcen gehören neben Rohstoffen und Primärenergieträgern auch die Umweltmedien Wasser, Boden, Luft sowie Strömungsressourcen (Wind, Geothermie, Solarenergie, Gezeitenströme), die Biodiversität und die Fläche.<sup>1</sup> Aufgrund des weltweit steigenden Ressourcenbedarfs und der gleichzeitigen Verknappung der natürlichen Ressourcen ist der effiziente und schonende Umgang mit den Ressourcen unerlässlich und stellt eine der größten wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Herausforderungen unserer Zeit dar.

Im Chemiesektor, einem der stärksten Industriezweige in Deutschland, steckt das Potenzial, eine derartige Entwicklung mitzutragen. Dabei sind Hersteller, weiterverarbeitende Industrie, Vermarktung und Verwendung durch Industrie, Gewerbe und Verbraucher gleichermaßen gefragt.

Im vorliegenden Bericht wurde vor diesem Hintergrund eine umfassende Analyse möglicher Ressourceneffizienzpotenziale in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) der chemischen Industrie durchgeführt und anhand von Praxisbeispielen illustriert. Ein Ziel war das Aufzeigen konkreter Ressourceneffizienzpotenziale in den einzelnen Prozessschritten der Produktion sowie die Darstellung verständlicher und praktikabler Ansätze zur Realisierung dieser Potenziale als Grundlage für verstärkte Aktivitäten und Investitionen in diesem Bereich.

Die Ermittlung der Ressourceneffizienzpotenziale erfolgte in mehreren Schritten. In einem ersten Schritt wurden die volkswirtschaftliche Bedeutung und die KMU-Relevanz von Wirtschaftsklassen und Sparten der chemischen Industrie anhand von Daten des Statistischen Bundesamtes analysiert. Die Unternehmen der chemischen Industrie Deutschlands sind nach Angaben des Verbandes der Chemischen Industrie zu mehr als 90 % den KMU zuzuordnen. Sie beschäftigen über ein Drittel der Mitarbeiter der chemischen Industrie und machen

<sup>1</sup> Vgl. Umweltbundesamt (2012a)

knapp ein Drittel des Umsatzes dieser Branchen aus.<sup>2,3</sup> Gemäß der Klassifikation des VCI wurden für die Identifikation von relevanten Sparten in dieser Studie primär Unternehmen bis zu einer Größe von weniger als 500 Mitarbeitern betrachtet. Da diese Sparten nicht homogen sind, sondern zum Teil vielfältige Unterbereiche umfassen, wurden sie weiter im Hinblick auf ihre volkswirtschaftliche Relevanz differenziert. Nach der Auswertung von Indikatoren wie „Anzahl der KMU“, „Anzahl der Mitarbeiter“ und „Anteil des Umsatzes“, „Wert zum Absatz bestimmter Produkte“ und „Anzahl der Betriebe mit Produktion“ wurden die Produktionszweige „Kunststoffe in Primärformen“, „Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte“, „Herstellung von sonstigen chemischen Erzeugnissen a. n. g.“ und „Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermittel“ als volkswirtschaftlich besonders bedeutend für KMU der chemischen Industrie in Deutschland kategorisiert.

Im Anschluss an die Ermittlung der volkswirtschaftlichen Relevanz der Produktionszweige wurde ein Screening von Fallbeispielen und Veröffentlichungen auf mögliche Einsparpotenziale durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass es eine Vielzahl von Ressourceneffizienzpotenzialen gibt, die nicht auf bestimmte Produktionszweige beschränkt sind. Aus diesem Grund wurden in der allgemeinen Potenzialanalyse – zusätzlich zu den in der volkswirtschaftlichen Analyse identifizierten Produktionszweigen – weitere Produktionszweige betrachtet, die einen Bezug zur chemischen Industrie aufweisen oder aber eine Übertragbarkeit der Maßnahmen erwarten lassen. Die identifizierten Ressourceneffizienzpotenziale ließen sich den einzelnen Prozessbereichen des Produktionsprozesses meist gut zuordnen. Daher erfolgte die Auswertung der Fallbeispiele systematisiert nach den Prozessbereichen „Kernprozesse“, „Peripherie“ und „Methoden“ und den jeweils untergeordneten Prozessschritten. Zur Potenzialermittlung wurden neben der Recherche von Literatur- und Internetquellen Wissen und Erfahrungen von Experten von über 200 relevanten Institutionen, Technologiefirmen und Chemieunternehmen eingeholt. Die Befragung und der Informationsaustausch erfolgten mittels

---

<sup>2</sup> Vgl. VCI (2012c)

<sup>3</sup> Vgl. VCI (2013)

Telefoninterviews und Fragebögen sowie während eines Auftakt-Industrieworkshops des VDI Zentrums Ressourceneffizienz (VDI ZRE). Neben Ressourceneffizienzpotenzialen wurden relevante Informationen zum Status quo, zu Hemmnissen bezüglich der Umsetzung von Ressourceneffizienzpotenzialen in KMU der chemischen Industrie und zu Handlungsempfehlungen erfragt und recherchiert.

Insgesamt wurden neben zahlreichen Literaturquellen 73 relevante Fallbeispiele für die Steigerung der Ressourceneffizienz in KMU der chemischen Industrie identifiziert. 54 dieser Fallbeispiele beziehen sich direkt auf Produktionsprozesse in der chemischen Industrie, die restlichen 19 stammen aus anderen Fertigungszweigen, wurden aber als übertragbar eingestuft. Die Fallbeispiele wurden dahingehend ausgewertet, in welchen Prozessbereichen Ressourceneffizienzpotenziale in welcher Höhe zu erwarten sind und durch welche Maßnahmen sie gehoben werden können. Wenn möglich, wurden die Höhe der möglichen Einsparungen sowie die Kosten bzw. Amortisationszeiten mit angegeben. Bei der Auswertung der Ressourceneffizienzpotenziale wurden neben Material und Energie auch die Parameter Wasser, Abwasser, Emissionen und Abfall berücksichtigt. Zusätzliche Kriterien waren etwa der Einsatz von Sekundärrohstoffen oder der Ersatz endlicher durch nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo). Die Fallbeispiele zu Ressourceneffizienzpotenzialen und Ressourceneinsparungen wurden in einer Matrix aggregiert, nach Prozessbereichen differenziert und anschließend evaluiert. Sofern vorhanden, wurden sie mit Angaben aus der Literatur ergänzt. Im Bereich der Peripherie werden in der Literatur konkrete Einsparpotenziale zu den unterschiedlichen Peripheriekomponenten angegeben. Diese Angaben wurden ausgewertet und mit den Ergebnissen aus der Analyse der Fallbeispiele ergänzt.

Die allgemeine Potenzialanalyse führte zu folgenden Ergebnissen:

**Kernprozesse:** Die Fallbeispiele umfassen Materialvorbereitung, Synthese und Formulierung, Produkttrennung und -veredelung, Produktabfüllung und Umschlag, Reinigung der Anlagen und Bauteile sowie Emissionsminderung. Obwohl das Technologieniveau in Deutschland bereits sehr hoch ist, werden

die möglichen Potenziale der Ressourceneinsparung in einzelnen Prozessschritten der Kernprozesse als relativ umfangreich eingeschätzt. Mögliche Ansätze sind das Recycling und die erneute Nutzung von Lösemitteln sowie Halogenen. Weitere Potenziale bestehen bei der Prozessintensivierung, durch verbesserte Trennungungsverfahren und bei der Reinigung von Anlagen und Anlagenbauteilen.

**Peripherie:** Die Fallbeispiele umfassen Wärmerückgewinnung, Druckluftsysteme, Elektromotoren oder Wärme- und Kälteversorgung. Sie beziehen sich ausschließlich auf Energieeinsparungen und die daraus folgenden Emissionseinsparungen (CO<sub>2</sub>). Ausgehend von der Literaturrecherche, den Fallbeispielen und den Expertengesprächen wird geschätzt, dass im Bereich Peripherie noch Energieeinsparpotenziale in einer Größenordnung von 15 bis 30 % mit relativ geringen Amortisationszeiten zu erwarten sind.

**Methoden:** Die Fallbeispiele umfassen Prozessanalysen, den Einsatz von Management- und Informationssystemen, innovative Geschäftsmodelle (Chemikalienleasing), Optimierung und Modifizierung. Bei der Modifizierung des Verfahrens wird zwischen Recycling (Einsatz von Rest- und Abfallstoffen als Sekundärrohstoff), Substitution der Einsatzstoffe (nachwachsende Rohstoffe) und sonstiger Modifizierung (neue Herstellungsverfahren) unterschieden. Die Fallbeispiele zeigen Potenziale zur Einsparung von Material sowie Energie. Die Erfassung aller prozessrelevanten Daten sowie die Erfassung und Auswertung der Daten in entsprechenden Informationssystemen werden als grundlegende Maßnahmen betrachtet, die ohne größeren Aufwand Einsparpotenziale im Bereich von 5 bis 10 % generieren. Größere Potenziale lassen sich bezüglich des Einsatzes von Sekundärrohstoffen, der Substitution durch nachwachsende Rohstoffe sowie der Anwendung neuer Verfahren ausschöpfen. Allerdings sind hier die Kosten auch entsprechend höher. Ungenutzte Potenziale liegen außerdem in einer verbesserten Zusammenarbeit zwischen Technologieanbieter und Chemikalienhersteller einerseits und Chemikalienanwendern andererseits. Durch die Einführung



innovativer Geschäftsmodelle, wie z. B. das Chemikalienleasing, lassen sich zum Teil deutliche Einsparungen (bei Lösemitteln etwa 10 bis 70 %, Energie etwa 35 bis 50 %) erreichen.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen und auf Basis des Industrieworkshops wurden Ressourceneffizienzpotenziale in detaillierteren Fallstudien aufgezeigt. Die Fallstudien wurden so gewählt, dass Optimierungen durch softwaregestützte Analysen, neue Geschäftsmodelle (Chemikalienleasing), neue Verfahren (Substitution konventioneller Einsatzstoffe durch unbedenkliche nachwachsende Rohstoffe), Kreislaufführung (beispielsweise Recycling fluorierter Polymere), innovative und ausgereifte Technologien (Anlagenreinigung, Abgasreinigung) und Peripherietechnologien (Wärmerückgewinnung) abgedeckt sind.

- Fallstudie 1 - Methode: Ressourceneffizienz durch Anwendung geeigneter Informationssysteme
- Fallstudie 2 - Methode: Ressourceneffizienz durch Chemikalienleasing zur Reinigung von Metallteilen
- Fallstudie 3 - Methode: Ressourceneffizienz durch Substitution der Einsatzstoffe
- Fallstudie 4 - Methode: Ressourceneffizienz durch Recycling von PTFE-Reststoffen zur Wiedergewinnung von Einsatzstoffen
- Fallstudie 5 - Kernprozesstechnologie: Ressourceneffizienz durch innovative Rohrleitungsreinigung
- Fallstudie 6 - Kernprozesstechnologie: Ressourceneffizienz durch Verbesserung des Abgasreinigungssystems
- Fallstudie 7 - Peripherietechnologie: Ressourceneffizienz durch Wärmerückgewinnung

Die detaillierten Fallstudien beinhalten Informationen zu der jeweiligen Ausgangssituation, den durchgeführten Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz, den erzielten Ressourceneinsparungen sowie (soweit vorhanden) der Kosteneffizienz.

Zur Ausschöpfung der identifizierten Potenziale wurden auf Basis der durchgeführten Potenzialanalysen Lösungsansätze identifiziert und entwickelt, um KMU der chemischen Industrie dabei zu unterstützen, das vorhandene Ressourceneffizienzpotenzial weiter auszuschöpfen. Einige Lösungsansätze richten sich dabei direkt an die Unternehmen, andere an Politik und Verbände.

Als grundlegender Hebel zur Realisierung von Ressourceneffizienzpotenzialen wird die betriebliche Erfassung geeigneter konsistenter Kennzahlen gesehen, anhand derer das Ressourceneffizienzpotenzial einzelner Produkte, Produktionsprozesse und Betriebe identifiziert werden kann. Die Erhebung von Kennzahlen zu Ressourcenverbräuchen (inklusive Nutzung natürlicher Senken durch Abfälle und Emissionen) in den KMU wird daher als wichtiger Lösungsansatz vorgeschlagen. Diese Daten können in einem nächsten Schritt zur Erstellung von Zeitreihen verwendet und systematisiert werden, um eine gezielte Auswertung zur Steigerung der Ressourceneffizienz zu ermöglichen. Wichtig ist daher die Unterstützung der KMU bei der Erhebung derartiger Kennzahlen.

Die Lösungsvorschläge für Politik und Verbände beinhalten vor allem die Unterstützung innovativer Geschäftsmodelle und virtueller sowie lokaler Vernetzung, insbesondere durch die Verbreitung möglicher Ideen und Anregungen. Weitere Lösungsansätze bestehen in der vertieften Förderung von F&E-Maßnahmen, in der intensivierten Information und Verbreitung von Ressourcenmanagementsystemen und in weiteren Bildungsinitiativen zur Ressourceneffizienz.

Für KMU der chemischen Industrie werden konkret eine ganzheitliche Betrachtung der Produktionsverfahren mittels Indikatoren, die Schärfung des Bewusstseins für Ressourceneffizienz, die Schaffung einer zentralen betrieblichen Datenbasis, der Informationsaustausch, die Nutzung von Verbundsystemen und Förderprogrammen sowie detaillierte Maßnahmen in den Prozessbereichen Kernprozesse, Methoden und Peripherie dargestellt.

## 1. HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG DES PROJEKTS

### 1.1. Hintergrund

Natürliche Ressourcen bilden die materielle, energetische und räumliche Basis unseres Lebens. Neben Rohstoffen und Primärenergieträgern sind auch die Umweltmedien Wasser, Boden, Luft, die Strömungsressourcen (Wind, Geothermie, Solarenergie, Gezeitenströme), die Biodiversität und die Fläche als natürliche Ressourcen unverzichtbare Faktoren für unser Wirtschaften.<sup>4</sup> Während der weltweite Ressourcenbedarf steigt, nimmt die Verfügbarkeit vieler natürlicher Ressourcen ab oder ist zunehmend mit Unsicherheiten behaftet. Der effiziente und schonende Umgang mit natürlichen Ressourcen ist daher eine der größten wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Herausforderungen unserer Zeit.

Umweltpolitik für eine nachhaltige Produktion muss sich daher auch mit den Umweltbelastungen der vorgelagerten Wertschöpfungsstufen auseinandersetzen. Dabei sind die limitierenden Faktoren neben den Rohstoffvorkommen an sich vor allem in der begrenzten Verfügbarkeit von Energie, Land und Wasser, der begrenzten Kapazität der Umwelt zur Aufnahme von Emissionen und der irreversiblen Zerstörung von Ökosystemen zu suchen.<sup>5</sup>

### 1.2. Ressourceneffizienz

Die Wurzeln des modernen ökologischen Wirtschaftens reichen zurück bis in die 1980er Jahre. 1987 veröffentlichte die UN-Weltkommission für Umwelt und Entwicklung<sup>6</sup> den sogenannten Brundtland-Bericht<sup>7</sup>. Darin wurde erstmals für die Lösung der globalen Probleme wie Armut und Umweltverschmutzung das Leitbild einer „nachhaltigen Entwicklung“ entworfen. Die Kommission verstand darunter eine Entwicklung, „die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen

---

<sup>4</sup> Vgl. Umweltbundesamt (2012a)

<sup>5</sup> Vgl. MacLean et al. (2010)

<sup>6</sup> World Commission on Environment and Development – WCED

<sup>7</sup> Vgl. United Nations (1987)

Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen“<sup>8</sup>. Allerdings waren und sind die Ressourcen für diese Entwicklung begrenzt. 1992 brachte eine Gruppe von Wissenschaftlern des MIT mit Unterstützung des Club of Rome erstmals einer breiten Öffentlichkeit die „Grenzen des Wachstums“ zur Kenntnis.<sup>9,10</sup> Die Wissenschaftler untermauerten die Notwendigkeit einer nachhaltigen Entwicklung anhand der Modellierung verschiedener Zukunftsszenarien.

Im Chemiesektor, einem der stärksten Industriezweige in Deutschland, steckt erhebliches Potenzial, zu einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen. Dabei sind Hersteller, weiterverarbeitende Industrie, Vermarkter und Anwender in Industrie und Gewerbe sowie Verbraucher gleichermaßen gefragt. Ziel sollte es sein, die Effizienz der Ressourcennutzung durch die Anwendung neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse, Technologien und die Umsetzung innovativer Ideen zu steigern.

Netzwerke und Organisationen wie das SCN (Sustainable Chemistry Network) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD)<sup>11</sup>, das SusChem<sup>12</sup> (European Technology Platform for Sustainable Chemistry) oder das SubChem<sup>13</sup> (sustainable substitution of hazardous chemicals) fördern das Thema der nachhaltigen Chemie und unterstützen den Informationsaustausch, neue Entwicklungen und Anreize zur Umsetzung. Eine steigende Anzahl von Unternehmen nimmt an dieser Entwicklung teil, und es wurden Initiativen wie z. B. Responsible Care<sup>14</sup> oder Global Product Stewardship<sup>15</sup> gegründet.

In Deutschland haben der Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), die Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE) und der Bundesarbeitgeberverband Chemie (BAVC) die Initiative<sup>16</sup> Chemie<sup>3</sup> mit dem Ziel gegründet, Nachhaltigkeit als Leitbild innerhalb der Branche zu verankern. Den Kern

---

<sup>8</sup> United Nations (1987), S. 37.

<sup>9</sup> Vgl. [www.nachhaltigkeit.info/artikel/meadows\\_u\\_a\\_die\\_grenzen\\_des\\_wachstums\\_1972\\_1373.htm](http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/meadows_u_a_die_grenzen_des_wachstums_1972_1373.htm)

<sup>10</sup> Vgl. [www.clubofrome.de](http://www.clubofrome.de)

<sup>11</sup> Vgl. [www.oecd-network.com/department/networks.html](http://www.oecd-network.com/department/networks.html)

<sup>12</sup> Vgl. [www.suschem.org](http://www.suschem.org)

<sup>13</sup> Vgl. [www.subchem.de](http://www.subchem.de)

<sup>14</sup> Vgl. Responsible Care: [www.responsible-care.de](http://www.responsible-care.de)

<sup>15</sup> Vgl. Product Stewardship: [www.productstewardshipcouncil.net](http://www.productstewardshipcouncil.net)

<sup>16</sup> Vgl. [www.chemiehoch3.de](http://www.chemiehoch3.de)

der Initiative bilden die „Leitlinien zur Nachhaltigkeit für die chemische Industrie in Deutschland“.

Ein bereits erfolgreicher Ansatz, der Wirtschaftlichkeit und Ressourceneffizienz verbindet, ist das Chemikalienleasing<sup>17,18</sup>. Dieses Geschäftsmodell reduziert den Chemikalienverbrauch und schont somit Ressourcen, verringert Belastungen der Umwelt, spart Energie und senkt Risiken, die im Zusammenhang mit einer Anwendung von Chemikalien stehen. Einen anderen erfolgreichen Ansatz beinhaltet der Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“. Er soll Unternehmen helfen, systematisch nachhaltige Chemie in ihren Unternehmen umzusetzen und Nachhaltigkeitsaspekte in ihrer Entscheidungsfindung bei der Chemikalienauswahl und -verwendung einzubeziehen.<sup>19</sup>

Laut einer Umfrage im Auftrag des VCI<sup>20</sup> sind sich die Bürgerinnen und Bürger ihrer Verantwortung bewusst. Fast jeder zweite Befragte erkennt eine persönliche Verantwortung. Knapp jeder Dritte sieht aber auch die Wirtschaft in der Pflicht. Gut 87 % gehen von einem weiteren Ressourceneffizienzpotenzial in der chemischen Industrie aus. Optionen für Ressourcenschonung gibt es dabei generell im Bereich der Rohstoffgewinnung, der Herstellung und des Einsatzes von Chemikalien sowie im Bereich des Abfallmanagements im Sinne einer Verwertung (Recycling) beziehungsweise eines Kreislaufwirtschaftsprinzips.

Das Ressourcen- und Stoffstrommanagement zielt auf die ökologische und ökonomische Beeinflussung von Stoff- und Materialströmen. In vielen Unternehmen werden die Materialkosten jedoch nicht im Detail untersucht. Daher ist im Bereich der Materialkosten, auch angesichts des Anteils dieses Kostenblocks an den Gesamtkosten, ein großes Einsparpotenzial zu erwarten.<sup>21</sup>

<sup>17</sup> UNIDO Definition: Chemical Leasing is a service-oriented business model that shifts the focus from increasing sales volume of chemicals towards a value-added approach. The producer mainly sells the functions performed by the chemical and functional units are the main basis for payment. Within Chemical Leasing business models the responsibility of the producer and service provider is extended and may include the management of the entire life cycle. Chemical Leasing is a win-win situation. It aims at increasing the efficient use of chemicals while reducing the risks of chemicals and protecting human health. It improves the economic and environmental performance of participating companies and enhances their access to new markets. Key elements of successful Chemical Leasing business models are proper benefit sharing, high quality standards and mutual trust between participating companies.

<sup>18</sup> Vgl. Jakl et al. (2003)

<sup>19</sup> Vgl. Umweltbundesamt (2010)

<sup>20</sup> Vgl. VCI (2012a) und VCI (2012b)

<sup>21</sup> Vgl. UmweltCluster Bayern (2014)

### 1.3. Politische Rahmenbedingungen

Ressourcen sind begrenzt, Innovationen aber nicht. Hinter dieser Aussage steht eine globale Entwicklung im Bereich eines reformierten und ökologischen Wirtschaftens mit Strategien für umweltgerechte Ökonomie, eine gerechte Ressourcenverteilung, Klimaschutz, Umwelt- und Gesundheitsschutz sowie Nachhaltigkeit – eine Grüne Ökonomie. Die internationale Bedeutung dieser Entwicklung wird auch dadurch deutlich, dass das Thema „Green Economy“ im Kontext der nachhaltigen Entwicklung und der Armutsbekämpfung einen der beiden Schwerpunkte der Konferenz der Vereinten Nationen zur nachhaltigen Entwicklung 2012 in Rio de Janeiro, Brasilien, darstellte. In Abbildung 1 sind die wichtigsten Programme zur Ressourceneffizienz aufgeführt.

In internationalen Übereinkommen zum Chemikalienmanagement wie dem Rotterdamer Übereinkommen zum internationalen Handel mit bestimmten gefährlichen Chemikalien (PIC) von 1998, dem Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe (POPs) von 2001 oder dem Strategic Approach on International Chemical Management (SAICM) von 2006 werden wesentliche Aspekte für eine sicherere Chemikalienpolitik adressiert. Auf europäischer Ebene ist die Chemikalienverordnung REACH (Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals) von 2006 hervorzuheben, die ein hohes Schutzniveau für die menschliche Gesundheit und die Umwelt sicherstellen soll und damit die Bestrebungen zur Nachhaltigkeit unterstützt.

Die europäischen Aktivitäten zur Ressourceneffizienz mündeten 2011 in einen Fahrplan zur Umsetzung der Leitinitiative „Ressourcenschonendes Europa“. Diese Initiative zielt darauf ab, die Wirtschaftsleistung zu steigern und gleichzeitig den Ressourcenbedarf zu senken. Der Ressourcenbegriff ist dabei so definiert, dass er neben den Rohstoffen auch Ökosystemleistungen wie die Senkenfunktion der Umweltmedien einschließt. Die für die Implementierung des Fahrplans eingesetzte Europäische Ressourceneffizienz-Plattform (EREP) fordert in ihrem „Manifest für ein ressourceneffizientes Europa“ unter anderem, aktuelle und zukünftige Ressourcenknappheiten und Vulnerabilitäten

kohärenter in Politikbereiche auf nationaler, europäischer und globaler Ebene zu integrieren.<sup>22</sup>

Die Bundesregierung hat sich mit der Verabschiedung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess) auf ein eigenes Ressourceneffizienzprogramm verständigt. Dieses fokussiert auf abiotische<sup>23</sup> nichtenergetische und ergänzend stofflich genutzte biotische Rohstoffe und ist insbesondere auf die Minimierung von Beeinträchtigungen der Umweltmedien durch Rohstoffgewinnung und -verarbeitung ausgerichtet.<sup>24</sup> Der Staatssekretärsausschuss für nachhaltige Entwicklung setzt sich in seinem Beschluss zur Ressourceneffizienz für die rasche und umfassende Umsetzung von ProgRess ein, mit den Zielen, „die Rohstoffproduktivität in Deutschland bis 2020 gegenüber 1994 zu verdoppeln, die Ressourceneffizienz ohne Wohlstandseinbußen in Deutschland zu steigern und dabei die Inanspruchnahme von Rohstoffen weiter zu senken“<sup>25</sup>.

---

<sup>22</sup> Vgl. Europäische Kommission (2012): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa. KOM (2011) 571 final, Brüssel 2011.  
- Europäische Kommission: Manifesto for a Resource-Efficient Europe, MEMO/12/989, Brüssel

<sup>23</sup> Dies umfasst im Verständnis des UBA Industriemineralien, Steine und Erden, Metallerze sowie fossile Rohstoffe, vgl. Umweltbundesamt (2012b).

<sup>24</sup> Vgl. BMU (2012a)

<sup>25</sup> Staatssekretärsausschuss für nachhaltige Entwicklung (2012), S. 1.

Die wichtigsten Programme zur Ressourceneffizienz auf einen Blick:

Initiator	Programm	Ziele	Umsetzung
<b>Vereinte Nationen</b>	„Rio+20“-Konferenz über nachhaltige Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau einer Grünen Ökonomie“ im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung sowie Bekämpfung der Armut</li> <li>• Definitionen von Nachhaltigkeitszielen</li> <li>• Verbesserung der Institutionellen Rahmenbedingungen der nachhaltigen Entwicklung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überprüfung des bisher stattgefundenen Prozesses</li> <li>• Konzentrationen auf die Bereiche Arbeitsplätze, Energie, Städte, Ernährung, Wasser, Ozeane und Naturkatastrophen</li> </ul>
<b>Europäische Kommission</b>	Leitinitiative „Ressourcenschonendes Europa“	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abkopplung des Wirtschaftswachstums von der Ressourcennutzung und deren Umweltauswirkungen</li> <li>• Vorgabe eines langfristig angelegten Aktionsrahmens für viele Politikbereiche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa</li> </ul>
<b>Europäische Kommission</b>	Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umgestaltung der Wirtschaft durch Lenkung des Wachstums in „grüne“ Branchen</li> <li>• Monetäre Bewertung natürlicher Ressourcen als Grundlage möglicher Zahlungen für Ökosystemleistungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etappenziele für 2020 mit sukzessiver Umsetzung in verschiedenen Politikfeldern</li> <li>• Erarbeiten von Indikatoren und konkreten Zielsetzungen bis Ende 2013</li> </ul>
<b>Bundesregierung</b>	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigerung der Ressourceneffizienz und der Ressourcenschonung bei der stofflichen Nutzung von Rohstoffen</li> <li>• Reduzierung der damit verbundenen Umweltbelastungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 Handlungsansätze mit den Schwerpunkten Produktion, Konsum und Kreislaufwirtschaft</li> </ul>

Abbildung 1: Überblick über die gesetzlichen Rahmenbedingungen und Hintergründe zur Ressourceneffizienz<sup>26</sup>

<sup>26</sup> Vgl. VCI (2012a)



#### 1.4. Portfolio und Ressourceneffizienz in der deutschen chemischen Industrie

Die chemische Industrie zeichnet sich durch eine „Verbundstruktur“ aus, in der aus einer vergleichsweise geringen Anzahl von Rohstoffen über Grundchemikalien (etwa 30) und Zwischenprodukte (einige hundert) eine große Anzahl von Endprodukten (rund 30.000) synthetisiert werden.

Aufgrund ihres hohen Energie- und Rohstoffbedarfs beschäftigt sich die chemische Industrie bereits seit langem intensiv mit dem Thema Ressourceneffizienz. Sie tut dies zum einen durch die effiziente Verarbeitung von Rohstoffen und anderen Ressourcen während der Produktion, zum anderen durch die Herstellung ressourcenschonender Produkte und durch intensive Forschung und Entwicklung von Innovationen, die die Voraussetzung für eine weitere Steigerung der Ressourceneffizienz schaffen.

Nach Informationen des Verbandes der Chemischen Industrie (VCI) konnte die chemische Industrie ihren Gesamtenergieverbrauch zwischen 1990 und 2010 um 21 % reduzieren und den Ausstoß von Treibhausgasen um die Hälfte senken, während die Produktion im selben Zeitraum um 58 % stieg. Der Gesamtbedarf an Energie beträgt in der chemisch-pharmazeutische Industrie heute dennoch rund 656.000 TJ (davon 387.000 TJ Gas, 190.000 TJ Strom, 43.000 TJ Öl und 36.000 TJ Kohle).<sup>27</sup>

Auch hinsichtlich des Rohstoffverbrauchs hat die deutsche chemische Industrie nach aktuellen Informationen des VCI schon erhebliche Einsparungen an nichterneuerbaren Ressourcen realisiert.<sup>28</sup> Insbesondere verwendet sie bereits heute – sofern es technisch möglich und ökonomisch darstellbar ist – nachwachsende Rohstoffe. Der Verbrauch an nachwachsenden Rohstoffen beträgt nach Angaben des VCI 2,7 Millionen Tonnen (2011 in Deutschland). In erster Linie handelt es sich dabei um Pflanzenöle (für Tenside, Schmierstoffe, Lacke und Farben), Holz (Holzwerkstoffe, Papierzellstoffe, zellulosische Chemiefasern), Stärke (Papier, Enzyme für Waschmittel, chemische Grundstoffe) und Kautschuk (Elastomere).<sup>29</sup>

---

<sup>27</sup> Vgl. VCI (2012b)

<sup>28</sup> Vgl. VCI (2012a)

<sup>29</sup> Vgl. ebd.

Insgesamt verwendete die deutsche chemische Industrie im Jahr 2011 18,5 Millionen Tonnen fossile Rohstoffe. Dies sind vor allem Erdöl (15,3 Millionen Tonnen), Erdgas (3 Millionen Tonnen) und kleinere Mengen Kohle (0,2 Millionen Tonnen).<sup>30</sup> Demnach entfällt ein Sechstel des jährlichen Gesamtverbrauchs an Erdöl in Deutschland auf die chemische Industrie.

Die Materialeffizienz in der deutschen chemischen Industrie fällt im Allgemeinen bereits recht hoch aus. So sank nach Informationen des VCI z. B. der Ausgangsmaterialeinsatz bei der Entwicklung von 1.000 kg Polypropylen zwischen 1964 und 2005 von 1.185 kg auf 1.005 kg. Verantwortlich dafür ist die kontinuierliche Verbesserung der Produktionsverfahren.<sup>31</sup> Laut Steinbach<sup>32</sup> ist der Reststoffanteil bei chemischen Syntheseverfahren immer noch recht hoch. So werden circa 60 % des Stoff-Inputs chemischer Syntheseverfahren, in der Feinchemie sogar circa 75 %, zu Reststoffen. Der hohe Materialverlust liegt in der Gesamtbetrachtung der Verfahren begründet, die alle Einsatzstoffe sowie die oft großen Mengen an Hilfsstoffen, wie z. B. Lösemittel, berücksichtigt.

Der Wasserverbrauch in der chemischen Industrie blieb trotz steigender Produktion in den vergangenen 15 Jahren stabil. Insgesamt werden jedoch nicht unerhebliche Mengen eingesetzt. Nach einem Bericht des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe, liegt der Wasserverbrauch in der chemischen Industrie bei etwa 3.000 Millionen m<sup>3</sup>,<sup>33</sup> wovon 80 % nach Informationen des VCI jedoch nur zum Kühlen eingesetzt werden<sup>34</sup>. Lediglich 20 % werden als Reaktionsmedium, Löse- oder Reinigungsmittel genutzt und dabei verunreinigt. Der spezifische Wasserverbrauch sank zwischen 1996 und 2009 um knapp ein Fünftel. Der Wasserintensitätsfaktor 2005 lag laut IFEU bei 90 m<sup>3</sup>/1.000 Euro.<sup>35</sup> Laut Steinbach<sup>36</sup> liegt der Wasserverbrauch bei Syntheseverfahren in ausgewählten Bereichen der chemischen Industrie (Pharma, Farben,

---

<sup>30</sup> Vgl. VCI (2012b)

<sup>31</sup> Vgl. VCI (2012a)

<sup>32</sup> Vgl. Steinbach (2013)

<sup>33</sup> Vgl. Hillenbrand et al. (2008)

<sup>34</sup> Vgl. VCI (2012a)

<sup>35</sup> Vgl. Giegich et al. (2012)

<sup>36</sup> Vgl. Steinbach (2013)

Pflanzenschutz, Spezialchemie, Grundchemie) zwischen 1,5 t/t Produkt (Spezialchemie) und 71,2 t/t Produkt (Farben).

Trotz bereits erzielter Erfolge ist das Ressourceneffizienzpotenzial in der chemischen Industrie noch nicht ausgeschöpft. Dies betrifft insbesondere KMU und einzelne Spezialzweige.

### 1.5. Zielsetzung

Das Hauptziel der Studie bestand darin, wesentliche Ressourceneffizienzpotenziale in Produktionsprozessen von KMU der chemischen Industrie zu ermitteln und Betrieben sowie Verbänden der chemischen Industrie Grundlagen und Anschauungsmaterial für verstärkte Aktivitäten und Investitionen im Bereich Ressourceneffizienz zur Verfügung zu stellen. Damit soll die Studie einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz in KMU der chemischen Industrie leisten.

Das Ziel dieser Studie umfasste jedoch nicht die Hochrechnung und breite Quantifizierung von Ressourceneffizienzpotenzialen in der Branche, da die Datenverfügbarkeit begrenzt war und die Struktur der Chemiebranche hochkomplex ist. Rahmenbedingungen aufweist, die stark betriebsspezifisch sind. Letzteres bestätigen auch Fleiter et al.<sup>37</sup> und Steinbach<sup>38</sup>.

Zur Ermittlung möglicher Ressourceneffizienzpotenziale wurde eine umfassende Analyse von Veröffentlichungen und Fallbeispielen zur Steigerung der Ressourceneffizienz in KMU der chemischen Industrie durchgeführt. Aus den Fallbeispielen wurden anschließend, mit Blick auf die Prozessbereiche mit hohem Potenzial, einige ausgewählt und detaillierter erläutert. Abschließend wurden mögliche Ansätze zur Realisierung der Potenziale erarbeitet und dargestellt.

---

<sup>37</sup> Vgl. Fleiter et al. (2013)

<sup>38</sup> Vgl. Steinbach (2013)

## 2. METHODIK ZUR ERMITTLUNG UND BEWERTUNG MÖGLICHER RESSOURCENEFFIZIENZPOTENZIALE

Ressourceneffizienz ist ein wesentliches Thema für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in der chemischen Industrie, da sie die Kostenstruktur und die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen maßgeblich beeinflusst.

Die in der Studie angewandte Methode zur Ermittlung und Bewertung von Ressourceneffizienzpotenzialen wird nachfolgend beschrieben.

### 2.1. Identifikation relevanter Sparten

In einem ersten Schritt wurden anhand der Definition des Statistischen Bundesamtes<sup>39</sup> die einzelnen Wirtschaftsgruppen (3-Steller) und Wirtschaftsklassen (4-Steller) der chemischen Industrie Deutschlands (Wirtschaftsabteilung 20) im Hinblick auf ihre volkswirtschaftliche Bedeutung und KMU-Relevanz analysiert.

Dazu wurden über eine Recherche in der Online-Datenbank DESTATIS GENESIS die aktuellsten Zahlen für Mitarbeiter je Unternehmen, Umsatz je Unternehmen und Anzahl der Betriebe in den Wirtschaftsklassen ermittelt und zu folgenden Indikatoren aggregiert (volkswirtschaftliche Bedeutung siehe Ergebnisse in Kapitel 3):

- Indikator 1: Anteil der KMU an der Gesamtzahl der Betriebe in den Wirtschaftsklassen, aggregiert nach VCI-Sparten
- Indikator 2: Anteil der Anzahl der Mitarbeiter in KMU an der Gesamtzahl der Mitarbeiter in den Wirtschaftsklassen, aggregiert nach VCI-Sparten
- Indikator 3: Anteil des Umsatzes der KMU vom Gesamtumsatz in den Wirtschaftsklassen, aggregiert nach VCI-Sparten

Da diese Sparten nicht homogen sind, sondern zum Teil vielfältige Unterbereiche umfassen, wurden diese noch weiter im Hinblick auf ihre volkswirtschaftliche Relevanz differenziert.

---

<sup>39</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2008)

Dazu wurden in der Online-Datenbank DESTATIS GENESIS die Umsatzinformationen zu Güterarten (9-Steller) extrahiert und die Informationen zu den in dieser Studie als Produktionszweig bezeichneten 6-Stellern aggregiert.

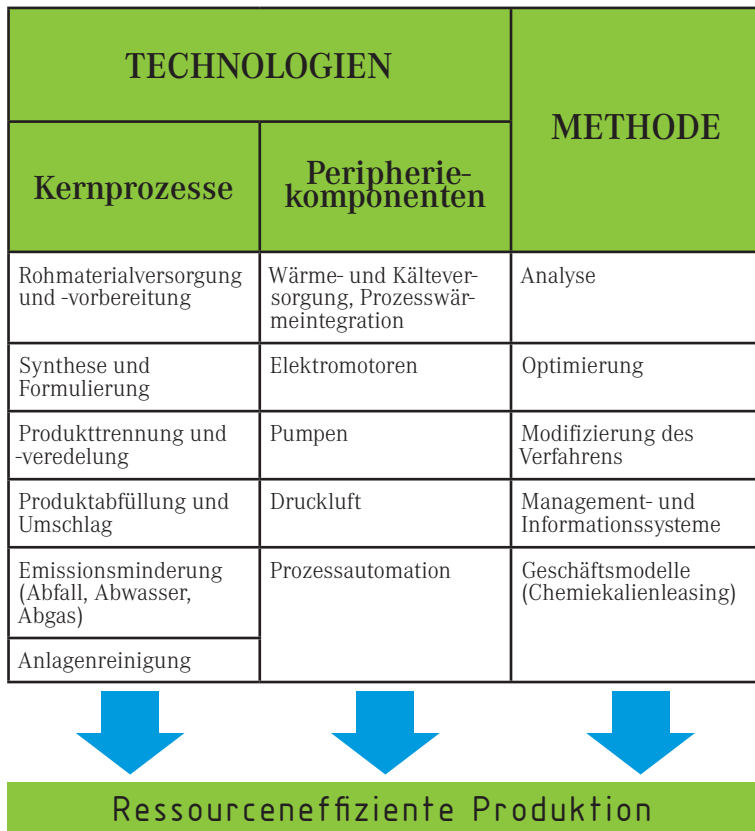
Damit kann eine Aussage über relevante Bereiche (Unterklassen) innerhalb dieser Wirtschaftsklassen getroffen werden. Beispielsweise beinhaltet die Wirtschaftsklasse Industriegase (2011) Güterarten wie Argon (2011 11 200), Wasserstoff (2011 11 500) und Stickstoff (2011 11 600).

Diese wurden für die Zwecke dieser Studie aufgrund prozesstechnischer Ähnlichkeiten zum Produktionszweig „Edelgase, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff“ (2011 11) zusammengefasst.

Eine detaillierte Einzelbewertung der Wirtschafts- und Produktionszweige bezüglich ihrer Ressourcen, Energie- und Umweltintensität war anhand der vorliegenden Datenbasis nicht möglich.

## 2.2. Ermittlung der Ressourceneffizienzpotenziale

In einem zweiten Schritt wurden die Prozessbereiche betrachtet. Sie können, wie in Abbildung 2 dargestellt, in Technologien mit Kernprozessen und Peripheriekomponenten sowie Methoden eingeteilt werden.



**Abbildung 2: Differenzierung des Herstellungsprozesses (Eigene Darstellung in Anlehnung an Emec et al.<sup>40</sup>)**

Die Kernprozesse beinhalten dabei im Wesentlichen

- die Rohstoffversorgung und -vorbereitung für
- die Synthese oder die Formulierungen,
- die anschließende Produkttrennung und Veredelung und
- die abschließende Produkthandhabung mit Abfüllung, Umschlag und Lagerung. Dazu gehören auch Technologien zur Emissionsminderung (Abgas, Abwasser, Abfall) und Anlagenreinigung.

<sup>40</sup> Vgl. Emec et al. (2013)

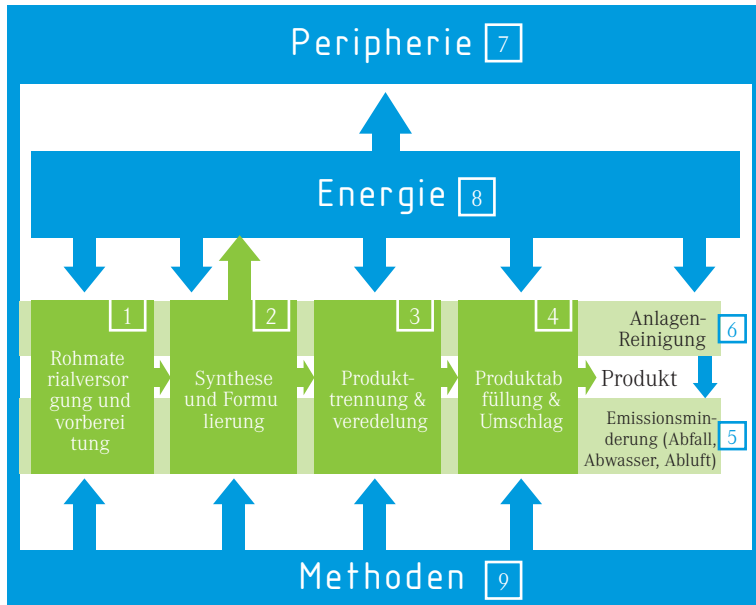
Mit Peripheriekomponenten werden in dieser Studie Anlagen und Systeme bezeichnet, die die Produktionsprozesse unterstützen, indem sie beispielsweise die für die Produktion benötigte Wärme, Strom oder Druckluft bereitstellen. Sie werden folgendermaßen unterteilt:

- Wärme- und Kälteversorgung, Prozesswärmeintegration,
- Elektromotoren,
- Pumpen,
- Druckluft,
- Prozessautomation.

In der chemischen Industrie gehören die in der Peripherie eingesetzten Anlagen zu den Hauptverbrauchern von Energie. Demnach übt eine gezielte Effizienzsteigerung der Peripherie einen erheblichen Einfluss auf die gesamte Energiebilanz aus.

Zu den Methoden zählen beispielweise a) die Modifizierung des Verfahrens (z. B. neue Katalysatoren, Herstellungsabläufe, Einsatz nachwachsender Rohstoffe), b) Analysesysteme (Stoffströme, KPIs, Datenerhebung und Analyse) sowie c) Optimierungssysteme (softwaregestützte Verfahrenssimulation, kontinuierliche Verbesserungsprozesse). Diese Maßnahmen können durch Management- und Informationssysteme unterstützt werden, die auch zur Prozessautomatisierung (MSR) dienen. Ebenfalls zu den Methoden zählen innovative Geschäftsmodelle wie z. B. das Chemikalienleasing.

Eine allgemeine Prozesskette wird in Abbildung 3 schematisch dargestellt.



**Abbildung 3: Allgemeine Prozesskette für die Herstellung von Chemikalien (Eigene Darstellung in Anlehnung an Europäische Kommission<sup>41</sup>)**

Um die in den einzelnen Prozessschritten vorhandenen Ressourceneffizienzpotenziale zu ermitteln, wurden Literatur- und Internetquellen auf relevante Informationen und Fallbeispiele untersucht. Ferner wurden Experten von relevanten Institutionen, Technologiefirmen und Chemieunternehmen über Internetrecherche und vorhandene Kontakte ermittelt und befragt. Die Befragung und Informationsaustausch erfolgten mittels Telefoninterviews und Fragebögen sowie eines Auftakt-Industrieworkshops des VDI Zentrums Ressourceneffizienz. Neben Ressourceneffizienzpotenzialen wurden relevante Informationen zum Status quo, zu Hemmnissen bezüglich der Umsetzung von Ressourceneffizienzpotenzialen und Handlungsempfehlungen erfragt und recherchiert.

Die Informationen und Fallbeispiele zu Ressourceneffizienzpotenzialen und Ressourceneinsparungen wurden in einer Matrix zusammengetragen, nach Prozessbereichen differenziert und anschließend ausgewertet.

<sup>41</sup> Vgl. Europäische Kommission (2003)



### 3. IDENTIFIZIERUNG VON SPARTEN, IN DENEN KMU AUS VOLKSWIRTSCHAFTLICHER SICHT VON HOHER RELEVANZ SIND

Die chemische Industrie Deutschlands deckt ein breites Produktsegment ab. Die Unternehmen sind nach Angaben des Verbandes der Chemischen Industrie (VCI) zu mehr als 90 % den KMU zuzuordnen, die über ein Drittel der Mitarbeiter der chemischen Industrie und knapp ein Drittel des Umsatzes dieser Wirtschaftsabteilung ausmachen. Der VCI klassifiziert Unternehmen mit zehn bis 49 Mitarbeitern als klein und Unternehmen mit 50 bis 499 Mitarbeitern als mittel. Für die weitere Betrachtung von KMU in dieser Studie wurden in Anlehnung an diese Klassifizierung daher primär Unternehmen bis zu einer Größe kleiner 500 Mitarbeiter betrachtet.<sup>42</sup>

Die KMU produzieren vor allem maßgeschneiderte Chemikalien für spezielle Anwendungen. Sie stellen rund 24.000 verschiedene Produkte in Mengen von unter 100 Tonnen pro Jahr her. Typisch für Deutschland ist die enge Zusammenarbeit zwischen großen und kleinen Unternehmen.

Zur Identifizierung der Sparten, in denen KMU aus volkswirtschaftlicher Sicht von hoher Relevanz sind, wurde die Gliederung des VCI herangezogen, die zwischen den Sparten i) Anorganische Grundchemikalien, ii) Petrochemikalien und Derivate, iii) Polymere, iv) Fein- und Spezialchemikalien, v) Wasch- und Körperpflegemittel sowie vi) Pharmazeutika unterscheidet.<sup>43</sup>

Pharmazeutika bilden sowohl aus wirtschaftlicher Sicht als auch mit Blick auf den Anteil von KMU einen wichtigen Produktionszweig hinsichtlich der Ausschöpfung von Ressourceneffizienzpotenzialen. Die pharmazeutische Industrie unterliegt jedoch einer sehr starken Regulierung. Beispielsweise können einmal genehmigte Prozessabläufe nur mit hohem administrativem Aufwand geändert werden. Diese Hürden reduzieren das realisierbare Effizienzpotenzial aus Kosten- und Zeitgründen in einem so hohen Maße, dass dieser Bereich innerhalb der Studie nicht weiter berücksichtigt wurde.

<sup>42</sup> Vgl. VCI (2012c)

<sup>43</sup> Vgl. VCI (2013)

Die Spartengliederung ist in Tabelle 1 mit der dazugehörigen „Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008 (WZ 2008) von DESTATIS<sup>44</sup> dargestellt.

**Tabelle 1: Sparten und Wirtschaftszweige der chemischen Industrie (Eigene Darstellung in Anlehnung an VCI<sup>45</sup>)**

WZ 2008		
20	Chemische Industrie	
	Anorganische Grundchemikalien	
2011		Industriegase
2013		Sonstige anorganische Grundstoffe und Chemikalien
2015		Düngemittel und Stickstoffverbindungen
2014	Petrochemikalien und Derivate	
	Polymere	
2016		Kunststoffe in Primärformen
2017		Synthetischer Kautschuk in Primärformen
206		Chemiefasern
	Fein- und Spezialchemikalien	
2012		Farbstoffe und Pigmente
202		Schädlingsbekämpfungs- und Desinfektionsmittel
203		Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte
205		Sonstige chemische Erzeugnisse
204	Wasch- und Körperpflegemittel	
2041		Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermittel
2042		Körperpflegemittel und Duftstoffe

Für die Analyse des volkswirtschaftlichen Beitrages der einzelnen VCI-Sparten wurden die Wirtschaftszweige hinsichtlich folgender Kriterien betrachtet (siehe Anhang A):

<sup>44</sup> Vgl. [www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/Content75/KlassifikationWZ08.html](http://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/Content75/KlassifikationWZ08.html), aufgerufen am 14.08.2013

<sup>45</sup> Vgl. VCI (2013)

Indikator 1: Anzahl der KMU (siehe Abbildung 4)

Indikator 2: Anzahl der Mitarbeiter

Indikator 3: Anteil des Umsatzes (siehe Abbildung 5)

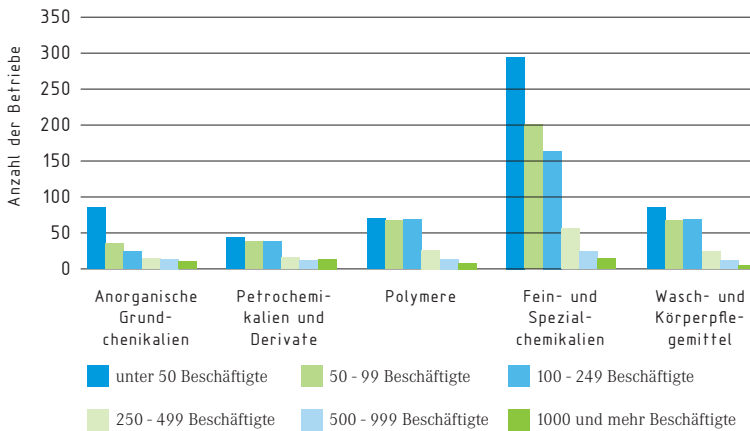


Abbildung 4: Anzahl der Betriebe in der jeweiligen VCI-Sparte nach Unternehmensgröße (Eigene Darstellung, Datengrundlage: Statistisches Bundesamt<sup>46</sup>)

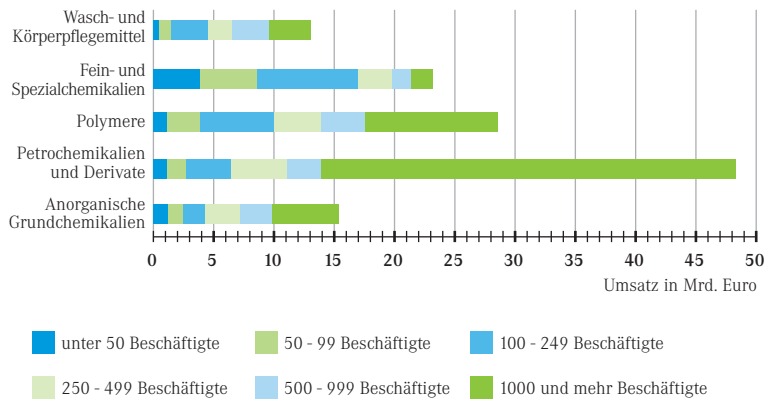
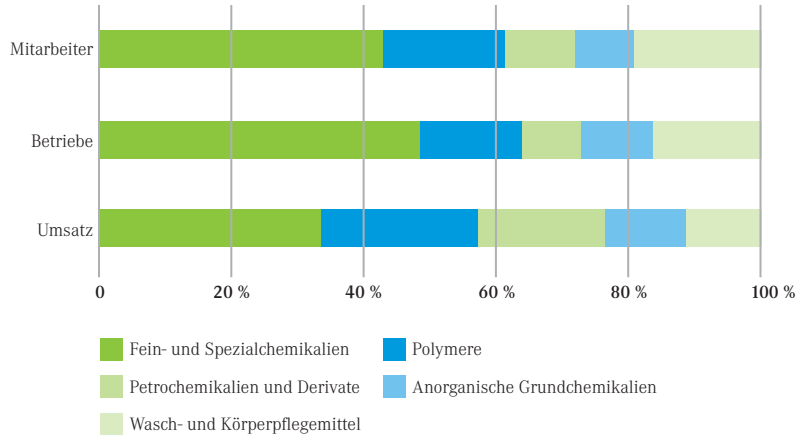


Abbildung 5: Bedeutung der Wirtschaftszweige in der jeweiligen VCI-Sparte nach Umsatz (Eigene Darstellung, Datengrundlage: Statistisches Bundesamt<sup>47</sup>)

<sup>46</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2008)

<sup>47</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2012)

Werden die Daten für alle KMU in den jeweiligen Sparten zusammengefasst (siehe Abbildung 6), zeigt sich, dass die Anzahl der Mitarbeiter mit der Anzahl der Unternehmen korreliert und daher zu keiner Unterscheidungshilfe beiträgt. Im Folgenden werden als Kriterien daher die Anzahl der Betriebe und der Umsatz genutzt, um volkswirtschaftlich relevante Sparten zu bestimmen.



**Abbildung 6: Relevanz der einzelnen Sparten für alle KMU der chemischen Industrie (Eigene Darstellung, Datengrundlage: Statistisches Bundesamt<sup>48</sup>)**

Abbildung 6 zeigt die große Bedeutung der Sparte Fein- und Spezialchemikalien für KMU sowohl bezüglich der Anzahl der Betriebe als auch hinsichtlich des Umsatzes im Vergleich zu den anderen Sparten der chemischen Industrie.

Während die Sparte Polymere den zweitgrößten Umsatz beisteuert, liegt die Sparte Wasch- und Körperpflegemittel bei der Anzahl der Betriebe leicht vor den Polymeren. Zusammenfassend lassen sich somit die Sparten

- Fein- und Spezialchemikalien,
- Polymere,
- Wasch- und Körperpflegemittel

<sup>48</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2012)

als volkswirtschaftlich besonders bedeutend für KMU der Chemieindustrie in Deutschland kategorisieren.

Um innerhalb dieser Sparten volkswirtschaftlich relevante Produktionszweige (4-Steller, von DESTATIS als Wirtschaftsklassen bezeichnet) identifizieren zu können, wurden die prozentualen Anteile „Wert der zum Absatz bestimmten Produkte“ und „Anzahl der Betriebe mit Produktion“ zur Gesamtheit der kleinen und mittleren Unternehmen berechnet. Das Ergebnis dieser Auswertung ist in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2: Volkswirtschaftlich relevante Produktionszweige (4-Steller) (Quelle: Statistisches Bundesamt<sup>49</sup>)**

Ausgewählte Produktionszweige (WZ XXXX)	Wert der zum Absatz bestimmten Produkte %	Anteil der Betriebe mit Produktion %
Kunststoffe in Primärformen (WZ 2016)	21,5	9,1
Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte (WZ 2030)	7,7	18,7
Herstellung von sonstigen chemischen Erzeugnissen a. n. g. (WZ 2059)	13,4	10,9
Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermittel (WZ 2041)	5,0	10,9

Aus volkswirtschaftlicher Sicht erscheinen somit folgende Produktionszweige der chemischen Industrie von Interesse:

- Kunststoffe in Primärformen,
- Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte,
- Herstellung sonstiger chemischer Erzeugnisse a. n. g.,
- Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermittel.

<sup>49</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2012)

Die ausgewählten Produktionszweige erfassen in Summe 47,6 % des gesamten in kleinen und mittleren Chemieunternehmen erzeugten Wertes der zum Absatz bestimmten Produkte und 49,6 % der KMU-Produktionsbetriebe innerhalb der Chemieindustrie in Deutschland.

Nachdem die relevanten Sparten für die KMU-Präsenz ermittelt worden sind, wird im Folgenden untersucht, wo die Ressourceneffizienzpotenziale liegen.

## 4. ALLGEMEINE POTENZIALANALYSE

Nach der Ermittlung der volkswirtschaftlichen Relevanz der Produktionszweige wurden relevante Fallbeispiele und Veröffentlichungen auf mögliche Einsparpotenziale überprüft. Dabei wurde festgestellt, dass viele Ressourceneffizienzpotenziale unabhängig von bestimmten Produktionszweigen bestehen. Daher wurden in der allgemeinen Potenzialanalyse neben den in der volkswirtschaftlichen Analyse identifizierten Produktionszweigen auch andere Produktionszweige mit einem Bezug zur chemischen Industrie sowie Produktionszweige ohne direkten Bezug zur chemischen Industrie, aber einer Übertragbarkeit der Maßnahmen, betrachtet. Die identifizierten Ressourceneffizienzpotenziale ließen sich den einzelnen Prozessbereichen des Produktionsprozesses meist gut zuordnen. Daher erfolgte die Auswertung der Fallbeispiele aufgedgliedert in die Prozessbereiche Kernprozesse, Peripherie und Methoden.

### 4.1. Durchführung der Recherche

Zur Ermittlung des Ressourceneffizienzpotenzials wurden verschiedene Literatur- und Internetquellen nach relevanten Informationen und Fallbeispielen untersucht sowie Experten von relevanten Institutionen, Technologiefirmen und Chemieunternehmen befragt. Es wurden alle Fallbeispiele aufgenommen, die

- einen direkten Bezug zur Produktion in der chemischen Industrie aufweisen,
- Maßnahmen zu Technologien und Methoden beinhalten, die auf die Produktionsprozesse in der chemischen Industrie übertragen werden können,
- nicht älter als zehn Jahre sind.

Folgende Programme, Institutionen und Datenbanken wurden auf Angaben und Fallbeispiele bezüglich Ressourceneffizienzpotenziale in KMU der chemischen Industrie untersucht:

- PIUS (Produktionsintegrierter Umweltschutz)

- \* Datenbank, Informationsplattform und Netzwerk mit Fallbeispielen
- Hessen-PIUS
  - \* Webseite des Landes Hessen zum Thema Ressourceneffizienz mit Fallbeispielen
- BEST (Betriebliches Energie- und Stoffstrommanagement)
  - \* Ehemaliges Programm der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) zur Unterstützung von KMU mit Fallbeispielen
- UPS (Umweltpolitischer Schwerpunkt)
  - \* Studien des Projektes des LUBW zur „Stoffstromoptimierung in kleinen und mittleren Unternehmen“
- VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE)
  - \* Projekt im Rahmen der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit mit zahlreichen Studien und Informationen
- Dena (Deutsche Energie-Agentur)
  - \* Informationsplattform und Datenbank mit Studien rund um das Thema Energie
- Ressourceneffizienzatlas
  - \* Beispiele zum Thema Ressourceneffizienz
- Mittelstandsinitiative Energiewende
  - \* Übersicht über Ansprechpartner und Programme
- Europe Innova ReMake
  - \* Webseite mit Tools und Leitfäden zur Ressourceneffizienz für das verarbeitende Gewerbe
- Netzwerk Ressourceneffizienz
  - \* Netzwerk-Plattform zum Thema Ressourceneffizienz
- RKW Kompetenzzentrum (eine gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungseinrichtung des RKW Rationalisierungs- und Innovationszentrums der Deutschen Wirtschaft e.V.)



- \* Webseite mit Publikationen zu Material- und Energieeffizienz in der chemischen Industrie
- Eco Innovation Observatory
  - \* Datenbank zu Umweltinnovationen, finanziert von der Europäischen Kommission
- GreenTech Atlas 3.0 Länderinitiativen
  - \* Umwelttechnologie-Atlas im Auftrag des BMU mit Fallbeispielen
- Verband der Chemischen Industrie (VCI)
  - \* Beispiele aus der Industrie
- Cleaner Production Germany
  - \* Datenbank des Umweltbundesamtes (UBA) von geförderten Projekten
- Universitäten, die F&E bezüglich Ressourceneffizienz betreiben (z. B. Uni Bayreuth, ...)
- Allgemeine Internetrecherche

Des Weiteren wurden relevante Chemieunternehmen und Technologiefirmen über Fachverbände, Dienstleistungsdatenbanken und Internetrecherche ermittelt. Dabei wurden neben KMU auch größere Chemieunternehmen berücksichtigt. Insgesamt wurden über 80 Technologieanbieter und nahezu 120 Chemieunternehmen recherchiert. Ein Großteil der Technologieanbieter (circa 25) und der Chemieunternehmen (circa 80) wurden anschließend kontaktiert und zum Auftakt-Industrieworkshop der VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE) eingeladen sowie nach Fallbeispielen zu Ressourceneinsparungen aus der Praxis befragt.

Die Technologieanbieter hatten teilweise großes Interesse an der Vermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen und verfügten oft über Fallbeispiele, um aufzuzeigen, wie viel Energie bzw. Material mit ihren Technologien eingespart werden kann. Einige der Technologieanbieter stellten ihre Technologien und Methoden bereits auf dem Industrieworkshop des VDI Zentrums Ressourceneffizienz vor (siehe Kapitel 4.2).

Die Bereitschaft der Chemieunternehmen, Angaben und Fallbeispiele zu Ressourceneffizienz aus ihrer eigenen Produktion zur Verfügung zu stellen, war hingegen aufgrund knapper Kapazitäten und aus Geheimhaltungsgründen eher gering.

Da Potenzialaussagen, ausgehend von der Anwenderseite, aufgrund unterschiedlicher Prozesse und Ausgangssituationen in den Unternehmen sehr schwierig sind, lag der Fokus auf der Kontaktierung der Technologieanbieter sowie der Internetrecherche.

Der Austausch mit den Technologieanbietern erfolgte über Telefoninterviews und Fragebögen. Mit dieser Vorgehensweise konnten einige Fallbeispiele ermittelt werden.

Über eine umfangreiche Literatur- und Internetrecherche sowie die Befragung der Technologieanbieter wurden zahlreiche Fallbeispiele, die Aussagen zu Ressourceneffizienzpotenzialen in Produktionsprozessen der chemischen Industrie enthielten, sowie Fallbeispiele aus anderen Industriebereichen, deren Effizienzsteigerungsmaßnahmen als übertragbar eingestuft wurden, in einer Auswertungsmatrix zusammengetragen.

In der Auswertungsmatrix wurden folgende Daten erfasst:

- Titel des Fallbeispiels
- Kontakt
- Zuordnung zur chemischen Industrie
- Zuordnung zu Produktionszweigen
- Produktbeschreibung
- Jahr der Durchführung der Maßnahmen
- Beschreibung des Prozesses
- Beschreibung der Maßnahme
- Wirkung der Maßnahme
- Einstufung in die Kategorien Kernprozess, Peripherie oder Methode

- Einstufung in Unterkategorien (z. B. Produkttrennung, Druckluft, Analyse des Verfahrens)
- Ressourceneffizienzdaten (Material/Stoff, Prozessenergie, Strom, Wasser/Abwasser, Emissionen, ...)
- Daten zu Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit (Reduzierung von Gefahrstoffen, Beitrag zur Arbeitssicherheit)
- Daten zur Materialart (Sekundärrohstoffe, erneuerbar/nicht erneuerbar)
- Kostendaten (Investitionskosten, Betriebskosten, Amortisationszeit, ...)
- Förderung/Partner, Projektträger

Zusätzlich wurden relevante Informationen zum Status quo der KMU der chemischen Industrie bezüglich Ressourceneffizienz, Einschätzung der Ressourceneffizienzpotenziale, Hemmnisse und Handlungsempfehlungen erfragt und recherchiert.

#### 4.2. Ergebnisse des Industrieworkshops

Im Rahmen des Projekts fand am 15. November 2013 in Berlin ein Industrieworkshop des VDI ZRE mit Vertretern von Chemieunternehmen (Anwenderseite) sowie Unternehmen des Anlagenbaus, Technologie- und Lösungsanbietern (Anbieterseite) und Vertretern von Verbänden und Ministerien statt.

In dem sechsstündigen Workshop wurden Anwendungen und Lösungen präsentiert, die einen Beitrag zur Ressourceneffizienz liefern können. Diese deckten Methoden- und Technologiefelder der Substitution durch nachwachsende Rohstoffe, innovative Technologien (beispielsweise zur Abgasreinigung), neue Verfahrensansätze (beispielsweise Recycling fluorierter Polymere), neue Geschäftsmodelle (Chemikalienleasing) und softwaregestützte Optimierungen ab.

Im Zuge der Diskussionen wurde ersichtlich, dass es einer stärkeren Verknüpfung der Anbieterseite von Technologien mit der Anwenderseite (Chemieunternehmen) bedarf, um in Zukunft Potenziale auszuschöpfen. In verschiedenen Fällen wurde deutlich,

dass einzelne Chemieunternehmen keinen Handlungsbedarf sehen und daher nicht aktiv auf der Suche nach Verbesserungen sind. Häufig erheben Unternehmen die Prozessdaten gar nicht, aus denen mögliche Potenziale ersichtlich werden könnten. So werden auf der Anwenderseite mögliche Potenziale oftmals nicht wahrgenommen. Häufig besteht die Sorge, dass Umstellungen mit hohen Investitionen und großem Anpassungsaufwand verbunden sind. Das macht es Technologieanbietern effizienter Produkte oft schwer, potenzielle Anwender zu erreichen. Hier sind Überlegungen darüber anzustellen, wie übergreifende Kooperationen und Informationsflüsse unterstützt werden können, damit bestehende Ressourceneffizienzpotenziale besser ausgeschöpft werden.

Ein weiteres Ergebnis der Diskussionen zeigte sich dahingehend, dass das Technologieniveau in Deutschland bereits hoch ist. In einzelnen Bereichen erscheint das technologische Verbesserungspotenzial daher nicht als primärer Ansatzpunkt. Für die Hebung von Ressourceneffizienzpotenzialen bedeutet dies, dass weitere Verbesserungen durch den Aufbau von Netzwerken und ein optimiertes Management von Schnittstellen erzielt werden können. Auch hier sind, wie bereits oben angesprochen, Kooperationen und ein Informationsaustausch zwischen relevanten Akteuren erforderlich.

#### 4.3. Auswertung der Informationen und Fallbeispiele

Im Rahmen des Projekts wurden eine Vielzahl von Veröffentlichungen und Fallbeispielen bezüglich bestehender Ressourceneffizienzpotenziale und deren Ausschöpfung in Produktionsprozessen in der Industrie identifiziert. Die meisten Fallbeispiele bezogen sich direkt auf die chemische Industrie, einige auf andere Produktionszweige, die Maßnahmen wurden aber als übertragbar eingestuft.

Die Fallbeispiele wurden dahingehend ausgewertet, auf welche Prozessbereiche sie sich beziehen, wie hoch die zu erwartenden Ressourceneffizienzpotenziale sind und anhand welcher Maßnahmen sie ausgeschöpft werden können. Wenn möglich, wurden die Höhe der möglichen Einsparungen sowie die Kosten bzw. Amortisationszeiten angegeben. Dazu wurden die Angaben

der Fallbeispiele ausgewertet und, falls vorhanden, mit Angaben aus der Literatur ergänzt. Die ausgewerteten Fallbeispiele mit den dazugehörigen Informationen sind in einer Übersichtstabelle<sup>50</sup> aufgeführt.

Im Bereich der Peripherie werden in der Literatur konkrete Einsparpotenziale zu den unterschiedlichen Peripheriekomponenten angegeben (siehe Anhang B). Diese Angaben wurden ausgewertet und mit den Ergebnissen aus der Analyse der Fallbeispiele ergänzt. Die Literaturquellen der Fallbeispiele sind in Anhang C angegeben.

#### 4.3.1. Methodisches Vorgehen

##### Zuordnung der Prozessbereiche

Die relevanten Fallbeispiele wurden nach den Bereichen des Herstellungsprozesses (Kernprozesse, Peripherie, Methoden) sortiert. Dem Bereich Kernprozesse wurden 26 Beispiele zugeordnet, 19 Beispiele dem Bereich Peripherie und 28 dem Bereich Methoden. Die Prozessbereiche werden weiter in Unterkategorien unterteilt. Abbildung 7 zeigt, wie viele Fallbeispiele den entsprechenden Unterkategorien zugeordnet werden konnten.

Bei den einzelnen Unterkategorien des jeweiligen Bereichs, aber auch zwischen den verschiedenen Bereichen, gibt es Überschneidungen. So dient die Analyse im Bereich Methoden häufig dazu, Potenziale zu identifizieren, die dann mittels anderer Methoden oder Technologien ausgeschöpft werden. Deshalb wurde bei den Fallbeispielen geprüft, welche Prozessbereiche vorrangig angesprochen wurden. Dem Bereich Peripherie wurden alle Fallbeispiele zugeordnet, die sich auf die einzelnen Peripheriekomponenten bezogen, auch wenn die Maßnahmen zur Ressourceneffizienzsteigerung erst nach einer Analyse oder im Rahmen von Managementsystemen etc. durchgeführt wurden.

<sup>50</sup> [www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien](http://www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien)

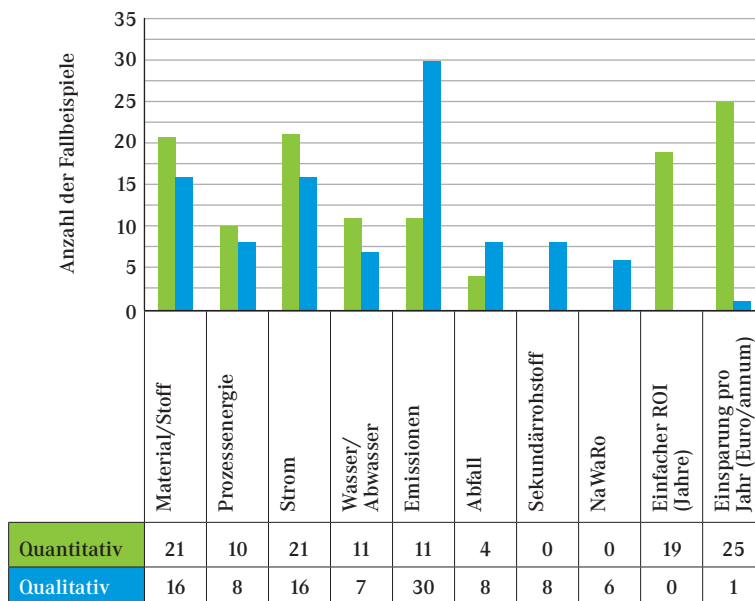
Technologien		Methode
Kernprozesse 26	Peripheriekomponenten 19	
Rohmaterialversorgung und -vorbereitung 2	Wärme- und Kälteversorgung, Prozesswärmeintegration 6	Analyse 3
Synthese und Formulierung 8	Elektromotoren 1	Optimierung 2
Produkttrennung und -veredelung 5	Pumpen 4	Modifizierung des Verfahrens 14
Produktabfüllung und Umschlag 1	Druckluft 8	Management- und Informationssysteme 7
Emissionsminderung (Abfall, Abwasser, Abgas) 5	Prozessautomation 0	Geschäftsmodelle (Chemiekalien-leasing)
Anlagenreinigung 5		

**Abbildung 7: Zuordnung der ausgewerteten Fallbeispiele zu Prozessbereichen**

#### Berücksichtigte Parameter

Bei der Auswertung der Ressourceneffizienzpotenziale der einzelnen Fallbeispiele wurden neben Material und Energie (Prozessenergie, Strom) auch die Parameter Wasser, Abwasser, Emissionen und Abfall berücksichtigt. Zusätzlich wurden Kriterien wie der Einsatz von Sekundärrohstoffen oder der Ersatz endlicher Rohstoffe durch nachwachsende Rohstoffe in Betracht gezogen. Neben den Einsparpotenzialen wurden Angaben zu Investitionskosten und Amortisationszeiten – sofern verfügbar – mit aufgenommen und ausgewertet.

In Abbildung 8 ist eine Übersicht zur Anzahl der Fallbeispiele mit qualitativen und quantitativen Einsparpotenzialen mit einer Zuordnung zu den unterschiedlichen Parametern dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass manche Fallbeispiele Einsparpotenziale für mehrere Parameter angeben. Angaben zu Kosten wurden in elf Fallbeispielen vorgenommen, wobei diese Fallbeispiele nicht immer quantitative Angaben zu Ressourceneinsparpotenzialen beinhalteten.



**Abbildung 8: Zuordnung der Fallbeispiele zu eingesparten Ressourcen und Kosten**

#### 4.3.2. Auswertung der Fallbeispiele und Informationen - Kernprozesse

Die Kernprozesse beinhalten im Wesentlichen Rohstoffversorgung und -vorbereitung, Synthese und Formulierungen, Produkttrennung und Veredelung, Produktabfüllung und Umschlag, Emissionsminderung (Abgas, Abwasser, Abfall) und Anlagenreinigung (siehe Abbildung 7).

#### Auswertung der Literatur

Steinbach definiert Materialeffizienz (Bilanzausbeute) als das Verhältnis der Menge des reinen Hauptprodukts (bei Mischungen: Hauptkomponente des Hauptprodukts, in kg) zur Einsatzstoffmenge ohne (passives) Wasser (in kg). Laut Steinbach<sup>51</sup> liegt der Mittelwert der Materialeffizienz aus über 400 Synthesebetriebsverfahren, die zwischen 1993 und 2009 analysiert wurden, etwa bei 38 % (Wasser nicht einbezogen). Das heißt, etwa 62 % der Einsatzstoffe enden nicht im Produkt. Die

<sup>51</sup> Vgl. Steinbach (2013)

Subbranchen „Grundchemie“ und „Spezialchemie“ weisen mit 73 bzw. 62 % die höchste Materialeffizienz auf. Die Subbranchen „Farben“ und „Pflanzenschutz“ liegen bei 26 bzw. 36 %.

Halogenchemie: Der Bereich der Halogene, die vor allem als Zwischenprodukt vorkommen, weist ein hohes Einsparpotenzial auf. In den wichtigen Subbranchen wie Farben, Pflanzenschutz und Spezialchemie enden circa 75 bis 90 % des Halogen-Inputs nicht im Hauptprodukt, sondern in den Reststoffen.

Treibhausgase: Der größte Anteil an CO<sub>2</sub>-Emissionen von Syntheseverfahren ist nicht auf die Produktion (Abluft) zurückzuführen, sondern auf die Entsorgung der Reststoffe des Verfahrens (Rückstandsverbrennung und Kläranlage). Treibhausgase, die durch Erzeugung von Dampf und Strom entstehen, sind hier nicht berücksichtigt. In einer Größenordnung zwischen 75 und 99 % sind die Treibhausgasemissionen der Syntheseverfahren auf die Entsorgung der Reststoffe zurückzuführen.

Lösemittel und Wasser: Der Einsatz der Lösemittel ist sehr hoch und liegt durchschnittlich zwischen 100 kg/t Produkt in der Spezialchemie und 700 kg/t Produkt im Bereich „Farben“. Der Wasserverbrauch liegt durchschnittlich zwischen 1.500 und 71.200 kg/t Produkt.<sup>52</sup>

Werden weitere Möglichkeiten zur Ressourceneinsparung in chemischen Prozessen betrachtet, stößt man häufig auf das Stichwort „Prozessintensivierung“. Eine offizielle Definition ist dafür bisher jedoch noch nicht vorhanden. Im Positionspapier der Fachsektion Prozessintensivierung der ProcessNet-Initiative von DECHEMA und VDI-GVC<sup>53</sup> werden zunächst die möglichen Begriffsdefinitionen diskutiert sowie deren Bedeutung analysiert. Diese Quelle teilt theoretische Prozessintensivierungsmaßnahmen in folgende Bereiche:

- Miniaturisierung
- Hybridisierung
- Strukturierung

---

<sup>52</sup> Vgl. Steinbach (2013)

<sup>53</sup> Vgl. ProcessNet (2008)



- Dynamisierung
- Integration und Rationalisierung
- Neuartige Lösungsmittel und unkonventioneller Energieeintrag

Detailliertere Informationen finden sich in o. g. Positionspapier, der „European Roadmap for Process Intensification“<sup>54</sup> und dem Buch „Process Intensification“<sup>55</sup>. Einige der im Rahmen dieser Studie analysierten Fallbeispiele beziehen sich auf die Prozessintensivierung. Nähere Informationen dazu befinden sich im folgenden Unterkapitel.

#### Auswertung der Fallbeispiele:

Von den 26 relevanten Fallbeispielen beziehen sich 20 auf Produktionsprozesse in der chemischen Industrie. Sechs Beispiele kommen aus anderen Produktionszweigen, werden aber als übertragbar eingestuft (z. B. Anlagenreinigung in der Getränkeindustrie). Die Auswertung der Fallbeispiele erfolgt nach den Unterkategorien der Kernprozesse.

#### Materialvorbereitung

Nach den Erfahrungen des mit der vorliegenden Studie beauftragten Konsortiums und einem Austausch im Rahmen anderer Projekte können Ressourcen eingespart und Abfall reduziert werden, indem die Nassmühlentechnik in zwei Schritten optimiert wird:

Gezielte Verbesserung der Partikelkorngrößen, Bandbreiten und Reduktion von „Off-spec“-Filterrückständen (Rohpartikel)

Reduzierung des Volumens der Nassmahlkammer bei Chargenwechsel und Reinigung der Nassmühle. Ein Praxisbeispiel dazu führte zu deutlich erhöhter Produktivität und einer Stromeinsparung von knapp 60 %.

Ein Fallbeispiel zeigt, dass durch einfache Eingriffe in den Mahlprozess von Pulverlack durch moderne Technik Rohmaterial

---

<sup>54</sup> Vgl. ERPI (2008)

<sup>55</sup> Vgl. Reay et al. (2013)

eingespart werden kann. In diesem Beispiel führt dies zu beinahe 8.000 Euro Kosteneinsparung pro Jahr, was eine Amortisationszeit von unter einem Jahr bedeutet. In einem weiteren Fallbeispiel wird gezeigt, wie sich durch eine erhöhte Automatisierung der Rohstoffannahme, -abfüllung, -homogenisierung und Produktionszuführung Fehlchargen und Überfüllungsverluste der Gebinde reduzieren lassen. In dem Beispiel konnten durch vermiedene Fehlchargen und Überfüllungsverluste 55 Tonnen Produkt pro Jahr eingespart werden, was allein auf die Rohstoffe bezogen jährlich circa 120.000 Euro entspricht.

### **Synthese und Formulierung**

Acht Praxisbeispiele zeigen, wie verschiedene Reaktionstechnologien Möglichkeiten zur Nutzung von Ressourceneffizienzpotenzialen bieten. Beispielsweise führt ein statischer Mischer durch eine erhöhte Produktivität und Produktqualität zu verbesserter Ressourceneffizienz. Als besonders geeignet erweist sich diese Maßnahme bei einer Mischung von wenig und stark viskosen Flüssigkeiten. So zeigt beispielsweise ein Praxisbeispiel, wie dadurch 25 % Material eingespart werden können. Zudem kann eine Kombination aus statischem Mischer, Wärme- und Reaktionsverfahren zu erhöhter Ausbeute führen. Die Integration dieser Verfahren wird als Prozessintensivierung bezeichnet. Ein weiteres Praxisbeispiel zur Prozessintensivierung zeigt eine erhöhte Produktivität von circa 37 % bei gleichzeitigen erheblichen Kosteneinsparungen.

### **Trennung und Veredelung**

Es gibt viele Verfahren, die zur Steigerung der Ressourceneffizienz beitragen können. Beispielsweise wird die Vakuumdestillation oftmals eingesetzt, um die Siedetemperatur der zu trennenden Flüssigkeiten zu verringern und somit ein schonenderes Trennverfahren zu erreichen. Gleichzeitig wird die Zersetzung kritischer und wertvoller Stoffe vermieden. Das kann zur Einsparung von Stoffen (sowie Stabilisatoren) und Prozessenergie führen (z. B. wurden in einem Fallbeispiel bis zu 70 % Dampf für ein Strippingverfahren eingespart).

Neuere Technologien wie die Reaktionsdestillation und die wärmeintegrierte Destillation können auch zu erhöhter Ausbeute sowie zu Energieeinsparungen führen. Die eingesparten Prozessenergien liegen hier bei 45 bzw. 50 %. Insgesamt zeigen fünf Praxisbeispiele zu Produkttrennung und Rückgewinnung Potenzial, um Material und Energie einzusparen sowie Abfall zu vermeiden.

### **Reinigung der Anlagen und Bauteile**

Die Fallbeispiele zeigen, dass „Cleaning in Place“-Systeme für Anlagen sowie deren Optimierung Einsparpotenzial bieten. So konnten z. B. durch eine neue Sprühtrocknungsanlage mit integrierter Reinigungsanlage bis zu 40 % Material und fast 50 % Wasser eingespart werden. Ein weiteres Praxisbeispiel bietet eine mögliche Einsparung von 10 bis 40 % an Reinigungsmitteln und fast 60 % Wasser durch eine neu entwickelte Schwallreinigungstechnik, die zu einer Reduzierung der Betriebskosten von etwa 60 % pro Reinigungsgang führt.

Molchsysteme für Rohrleitungen sind beim Neubau von Anlagen und bei großen Rohrleitungsdurchmessern weit verbreitet. Allerdings besteht auch Potenzial für ältere Bauteile und kleinere Rohrleitungen mit einem Return on Invest (ROI) von unter zwei Jahren. Ein Fallbeispiel zu Molchsystemen zeigt eine Einsparung von 250.000 Euro pro Jahr.

Die Reinigung von Rohrleitungen mit Luft/Gas kann ebenfalls zu Einsparungen führen. Ein Praxisbeispiel zeigt, wie die Produktausbeute dadurch um 16 % erhöht wurde und somit etwa 70 % Reinigungsmittel eingespart werden konnten. Dies reduzierte auch die anfallende Abfallmenge.

Insgesamt zeigen fünf Praxisbeispiele, wie durch eine optimierte Reinigung der Einsatz von Rohstoffen und Reinigungsmittel (sowie Wasser) reduziert werden kann und gleichzeitig auch die Abfallmenge reduziert wird.

### **Emissionsminderung**

In einem weiteren Fallbeispiel werden Energieeinsparpotenziale durch die technologische Optimierung der Abgasreinigung erläutert. Dabei können 60 % Gas (mit Lösemitteln) und 30 % Strom eingespart werden. Auch die Wiederverwertung von Lösemitteln und Halogenen bieten erhebliche Möglichkeiten zur Steigerung der Ressourceneffizienz.

### **Kosteneffizienz**

In acht der 26 Fallbeispiele werden auch die Kosten bzw. Kosteneinsparungen der einzelnen Maßnahmen betrachtet. Zur Bewertung der Kosteneffizienz der Maßnahmen wurde die Amortisationszeit herangezogen. Diese betrug zwischen 0,2 Jahren (Statischer Mischer) und 3,2 Jahren (Erneuerung des Tanklagers und Einsetzen eines Molchsystems). In einem Fallbeispiel ist eine Amortisationszeit von 12,5 Jahren angegeben. Dabei handelt es sich allerdings um eine Vielzahl von Maßnahmen inklusive des Baus neuer Anlagen.

### **Fazit:**

Mögliche Potenziale für Ressourceneinsparungen in einzelnen Prozessschritten der Kernprozesse werden aufgrund der Auswertung der Literatur und der Fallbeispiele als relativ hoch eingeschätzt, auch wenn das Technologieniveau in Deutschland bereits sehr hoch liegt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass sich die Potenziale nicht auf die komplette Chemiebranche übertragen lassen. Es ist davon auszugehen, dass in einigen Unternehmen die Potenziale bereits heute unterschiedlich stark ausgeschöpft sind. Ein Recycling und eine erneute Nutzung von Lösemitteln sowie Halogenen sind mögliche Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Zudem bestehen noch Potenziale bei Prozessintensivierung, verbesserten Trennverfahren (z. B. Vakuumdestillation und Reaktivdestillation) und, besonders interessant für KMU, bei der Reinigung von Anlagen und Anlagenbauteilen.

Die ausgewerteten Fallbeispiele im Bereich Kernprozesse (Beispiele K01 - K26) sind in der Übersichtstabelle<sup>56</sup> dargestellt.

---

<sup>56</sup> [www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien](http://www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien)

#### 4.3.3. Auswertung der Fallbeispiele und Informationen - Peripherie

Die Peripheriekomponenten umfassen die Bereiche Wärme- u. Kälteversorgung/Prozesswärmeintegration, Elektromotoren, Pumpen, Druckluft und Prozessautomation (siehe Abbildung 7).

#### Auswertung der Literatur

##### **Bedeutung der Peripherie bezüglich des Energieeinsparpotenzials**

Der Verband der Chemischen Industrie (VCI) prognostiziert in seinem Factbook 06 von 2013, dass die wertmäßige Produktion bis 2030 deutlich stärker ansteigen wird als der dazugehörige Energieverbrauch. Auch für die jüngste Vergangenheit war ein ähnlicher Trend zu beobachten. Laut VCI ist in den letzten zehn Jahren die chemische Produktion um 57 % gestiegen, aber der Energieeinsatz ging gleichzeitig um circa 19 % zurück. Begründet wird diese energetische Optimierung durch die damit verbundenen Kostenvorteile.<sup>57</sup>

Allerdings bieten die thermodynamischen Rahmenbedingungen nur einen begrenzten Spielraum, um Energieverbräuche im Bereich der Kernprozesse zu minimieren. So geht eine Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) von 2013 davon aus, dass zwar wirtschaftliche Potenziale im Bereich der Kernprozesse zur Stromeinsparung vorhanden sind, aber die möglichen Energieeinsparungen in Querschnittstechnologien wie Motorsysteme, Pumpen etc. vierfach höher liegen.<sup>58</sup>

Auch bei der Betrachtung aller Fallbeispiele sind die meisten Energieeinsparpotenziale den Querschnittstechnologien (Peripherie) zuzuordnen.

Konkret bedeutet dies, dass bei Energieeinsparpotenzialen innerhalb der chemischen Industrie ein besonderes Augenmerk auf die Peripherie gelegt werden sollte. Grundsätzlich sollte allerdings immer der gesamte Prozess (Kernprozesse und

<sup>57</sup> Vgl. Lahl & Zeschmar-Lahl (2011)

<sup>58</sup> Vgl. Fleiter et al. (2013)

Peripheriekomponenten) betrachtet werden, da die Kernprozesse und die Peripheriekomponenten oft in gegenseitiger Abhängigkeit zueinander stehen.

### Mögliche Energieeinsparpotenziale

Die Literaturrecherche zu Ressourceneffizienzpotenzialen im Bereich der Peripheriekomponenten ergab, dass mögliche Energieeinsparungen in diesem Bereich durchschnittlich zwischen 15 % und 30 % liegen (siehe Tabelle 3).

Die Ratgeber der Deutschen Energie-Agentur für die Bereiche Pumpen, Druckluftsysteme und Kältetechnik<sup>59,60,61</sup> beziffern die Energieeinsparpotenziale in allen drei Bereichen auf zwischen 5 und 30 % und gehen dabei von Amortisationszeiten von unter drei Jahren aus.

**Tabelle 3: Potenzielle Energieeinsparungen in der Peripherie**

Bereich	% Median	% Bereich
Druckluft (n*=4)	22,5	5 - 50
Motoren (n*=2)	19	2 - 50
Pumpen (n*=3)	30	5 - 50
Wärme- und Kälteversorgung, Prozesswärmeintegration (n*=3)	17,5	5 - 30

n\*=Anzahl der Literaturquellen

Allerdings bestehen dabei zwischen den einzelnen Peripheriebereichen Überschneidungen, z. B. kommen Motoren auch bei der Erzeugung der Druckluft und in Pumpen zum Einsatz.

<sup>59</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur (2010a)

<sup>60</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur (2010b)

<sup>61</sup> Vgl. Deutsche Energie-Agentur (2010c)

### Auswertung der Fallbeispiele:

Von den 19 relevanten Fallbeispielen beziehen sich 14 auf Prozesse der chemischen Industrie, fünf Fallbeispiele kommen aus anderen Produktionszweigen, werden aber als übertragbar eingestuft (z. B. Stromerzeugung aus Abwärme bei der Kupferproduktion). Alle Fallbeispiele zu Verbesserungen in den Peripherietechnologien beziehen sich ausschließlich auf Energieeinsparungen und die daraus folgenden Emissionseinsparungen (CO<sub>2</sub>). In vier Fallbeispielen wird Prozessenergie durch Wärmerückgewinnung eingespart, die restlichen Beispiele beziehen sich auf Einsparungen von elektrischer Energie (Strom) innerhalb der Peripheriekomponenten. In einigen Fallbeispielen wird Abwärme für die Beheizung von Büro-/Fabrikgebäuden genutzt. Da im Rahmen dieses Projektes der Fokus auf Produktionsprozessen liegt, werden diese Einsparungen nicht mit einbezogen.

Zehn der Beispiele beinhalten quantitative Angaben zur Energieeinsparung in einem Bereich zwischen 20 und 90 %, wobei die Mehrheit ein Effizienzpotenzial von circa 30 % aufweist.

Acht Fallbeispiele beschäftigen sich mit optimierten Druckluftsystemen (z. B. Ersatz bisheriger Kompressoren durch drehzahlgeregelte Schraubenkompressoren, Einsatz eines Ultraschall-Leck-Ortungsgeräts und Beseitigung der Leckagen), wobei in vier Fallbeispielen quantitative Energieeinsparpotenziale angegeben werden. Die Höhe des Einsparpotenzials liegt hier im Bereich zwischen 20 und 40 %.

Die drei Angaben zu Stromeinsparpotenzialen, z. B. durch Austausch und richtige Dimensionierung der Pumpen in den vier Fallbeispielen zum optimierten Einsatz von Pumpensystemen, liegen zwischen 25 und 90 %.

Im Bereich der Elektromotoren weist das analysierte Fallbeispiel, in dem ein Asynchronmotor durch einen Synchronreluktanzmotor ersetzt wurde, sogar eine Stromeinsparung von 73 % auf.

Bezüglich der Wärme- und Kälteversorgung wurden in den identifizierten Fallbeispielen Ressourceneffizienzpotenziale hauptsächlich durch die Nutzung von Abwärme identifiziert. Die Angaben waren in erster Linie qualitativ bzw. in

Absolutmengen ohne Bezugsgrößen. In zwei Beispielen konnten Einsparpotenziale von circa 40 % bei der Prozessenergie durch Wärmerückgewinnungskonzepte ausgeschöpft werden.

Bei einigen Fallbeispielen lagen Angaben zu Kosten vor, allerdings beinhalteten nur sechs Beispiele ausführlichere Angaben zu Investitionskosten und Amortisationszeiten. Die angegebenen Investitionen beginnen bei circa 500 bis 1.000 Euro (Pumpen, Druckluft) und betragen maximal 1 Million Euro (Druckluft). In einem Beispiel zur Wärmeintegration werden Investitionskosten von 3,4 Millionen Euro genannt, allerdings ohne weitere Angaben zu jährlichen Einsparungen oder Amortisationszeiten. Die jährlichen Einsparungen der sechs Beispiele liegen zwischen 500 und 200.000 Euro. Dies führt zu durchschnittlichen Amortisationszeiten zwischen einem Jahr und fünf Jahren.

#### Fazit:

Bei der Auswertung der Fallbeispiele muss berücksichtigt werden, dass es sich dabei meist um Best-Practice-Beispiele handelt, die maximale Einsparpotenziale widerspiegeln. Sie liegen im Durchschnitt im oberen Bereich der in der ausgewerteten Literatur angegebenen Einsparpotenziale und bestätigen somit die aus der Literatur ermittelten möglichen Energieeinsparpotenziale zwischen 15 und 30 %.

Bei der Betrachtung der Potenziale muss berücksichtigt werden, dass sich diese nicht auf die komplette Chemiebranche übertragen lassen. Es ist davon auszugehen, dass in einigen Unternehmen die Potenziale bereits heute unterschiedlich stark ausgeschöpft sind.

Die ausgewerteten Fallbeispiele im Bereich Peripherie (Beispiele P01 - P19) sind in der Übersichtstabelle<sup>62</sup> dargestellt.

#### 4.3.4. Auswertung der Fallbeispiele und Informationen - Methoden

Die Methoden umfassen Analysen, Optimierungen und Modifizierungen der Verfahren, Anwendungen von Management- und Informationssystemen sowie die Einführung

<sup>62</sup> [www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien](http://www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien)



neuer Geschäftsmodelle (siehe Abbildung 7). Insbesondere bei den Analysen kann es zu Überschneidungen zwischen den einzelnen Prozessbereichen kommen. So werden in manchen Fallbeispielen Analysen durchgeführt, um anschließend Peripheriekomponenten zu verbessern. Diese wurden dem Bereich Peripherie zugeordnet und dort ausgewertet.

Von den 28 relevanten Fallbeispielen, die dem Bereich Methoden zugeordnet wurden, beziehen sich 20 auf Prozesse in der chemischen Industrie, acht Fallbeispiele kommen aus anderen Produktionszweigen, werden aber als übertragbar eingestuft (z. B. Rückgewinnung von kritischen Rohstoffen aus Fotovoltaik-Modulen). Die Fallbeispiele zeigen Potenziale zur Einsparung von Material sowie zur Einsparung von Energie auf.

In zwei Fallbeispielen können Einsparpotenziale aufgrund innovativer Geschäftsmodelle (Chemikalienleasing) durch eine enge Zusammenarbeit der beteiligten Akteure entlang der Wertschöpfungskette erzielt werden. Dabei können in diesen Beispielen Materialien (zwischen 10 und 73 % der einzelnen Chemikalien zur Reinigung der Produkte), Energie (35 bzw. 50 %), Wasser, Emissionen und Abfälle eingespart werden.

Acht Fallbeispiele beziehen sich auf den Einsatz von Management- und Informationssystemen, die eine Prozessdatensammlung, -aufbereitung und -auswertung beinhalten, wodurch Ressourceneffizienzpotenziale erkannt und ausgeschöpft werden können. Die Potenziale betrafen dabei Material, Energie, Wasser, Abwasser, Emissionen, Abfall. Sie konnten z. B. durch eine Verkürzung der Reinigungszeit, eine Nutzung von Regenwasser oder eine Minimierung von Störzeiten realisiert werden. Die Angaben zu Einsparpotenzialen waren meist qualitativ, in drei Beispielen wurden quantitative Einsparungen bei Wasser, Material und Strom im Bereich von 3 bis 15 % genannt. Dabei wird in einem Beispiel die Einsparung von Wasser bei der Anlagenreinigung betrachtet (12 % Wassereinsparung). Laut Angaben eines Anbieters von Informationssystemen können mit der Anwendung von Informationssystemen in einem Prozess ohne größere Investitionskosten 5 bis 10 % der Ressourcen eingespart werden, wobei die Amortisationszeit dabei meist unter zwei

Jahren liegt.<sup>63</sup> In einem Fallbeispiel betrug die Amortisationszeit nach der Einführung eines Informationssystems gut ein Jahr.

In fünf Fallbeispielen können die Produktionsprozesse anhand der Analyse der Prozesse und anschließender Optimierung verbessert werden, wobei bei drei Fallbeispielen der Schwerpunkt auf der Optimierung der Prozesse liegt. In den Fallbeispielen werden meist mehrere Maßnahmen zur Prozessoptimierung identifiziert und durchgeführt. Die Angaben zu Ressourceneinsparungen, die sich auf alle einzusparenden Medien beziehen, sind weitestgehend qualitativ. In zwei Beispielen kann der Stromverbrauch erheblich gesenkt werden (35 bzw. 72 %). Die damit verbundenen Einsparungen liegen zwischen 33.000 und 680.000 Euro. Dies erfolgt allerdings weitgehend durch Maßnahmen, die in der Peripherie durchgeführt werden, wie z. B. die Installation eines Rohrbündelwärmetauschers.

Bei der Auswertung der 14 Fallbeispiele zur Modifizierung des Verfahrens wird zwischen Recycling, Substitution der Einsatzstoffe und sonstiger Modifizierung unterschieden. Sieben Fallbeispiele beziehen sich auf das Recyceln von Rest- und Abfallstoffen zum Wiedereinsatz als Sekundärrohstoff im Herstellungsprozess. Dabei wird durch das Recycling hauptsächlich Material eingespart. In einigen Beispielen können jedoch zusätzlich auch eingesetzte Energie und Wasser sowie entstehende Emissionen und Abfälle reduziert werden.

In zwei Beispielen werden Einsparungen von endlichen Rohstoffen durch die Substitution nachwachsender Rohstoffe aufgezeigt. Dabei werden endliche Einsatzstoffe zu 90 bzw. 100 % durch nachwachsende Rohstoffe ersetzt. In letzterem Fallbeispiel wird eine Amortisationszeit von circa zehn bis zwölf Jahren angegeben.

Fünf Beispiele beziehen sich auf die Modifizierung der Produktionsprozesse, wobei in drei Beispielen neue Herstellungsverfahren von Chlor, Epichlorhydrin und Butylkautschuk entwickelt werden. Durch die neuen Verfahren kann hauptsächlich Energie in Form von Prozessenergie (in einem Beispiel 80 %) und Strom (in einem Beispiel 30 %)

---

<sup>63</sup> Vgl. Steinhaus Informationssysteme GmbH (2014)

eingespart werden. Ein Beispiel zeigt ein Einsparpotenzial von Rohstoffen auf, indem während der Produktion entstehendes CO<sub>2</sub> verflüssigt und somit als Nebenprodukt für einen anderen Prozess eingesetzt werden konnte. Somit können die Emissionen um 95 % reduziert werden. In einem weiteren Beispiel wird das gesamte Herstellungsverfahren durch neue Verfahrensschritte umgestellt, wodurch Einsatzstoffe, Strom und Wasser eingespart werden können.

**Fazit:**

Im Bereich Methoden kann durch gezielte Maßnahmen noch erhebliches Potenzial ausgeschöpft werden, auch wenn sich die Potenziale nicht auf die komplette Chemiebranche übertragen lassen.

Als grundlegende Maßnahme im Bereich der Methoden werden die Erfassung aller prozessrelevanten Daten sowie die Erfassung und Auswertung der Daten in entsprechenden Informationssystemen betrachtet. Hier können durch einfache Maßnahmen, wie z. B. das Zusammenführen und Auswerten bereits vorhandener Kennzahlen in der Produktion, ohne größeren Aufwand Potenziale im Bereich von 5 bis 10 % identifiziert und ausgeschöpft werden. Außerdem können mittels der Analyse Potenziale ermittelt werden, die anhand anderer Maßnahmen ausgeschöpft werden können.

Bezüglich der Materialeffizienz wird vor allem im Bereich der Wiedergewinnung von Sekundärrohstoffen durch Recycling großes Potenzial deutlich. Effizienzmaßnahmen sind in diesem Bereich jedoch häufig mit einem hohen Kostenaufwand verbunden. Auch die Substitution endlicher Rohstoffe durch nachwachsende Rohstoffe zeigt ein großes Einsparpotenzial endlicher Ressourcen, wobei hier immer eine Betrachtung des kompletten Lebensweges inklusive aller Auswirkungen notwendig ist.

Ein weiterer Ansatz, durch den vor allem in der Zukunft die Ausschöpfung noch weiterer Ressourceneffizienzpotenziale zu erwarten ist, liegt in der Modifizierung bestehender Produktionsverfahren bzw. dem Ersatz durch neue Verfahren. Der VCI sieht hier vor allem die Nanotechnologie, die

Biotechnologie und neue Katalyseverfahren als Technologien für mehr Ressourceneffizienz.<sup>64</sup>

Ein weiteres Potenzial wird in einer verbesserten Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Akteuren, z. B. dem Technologieanbieter und dem Chemikalienhersteller, dem Chemikalienhändler und dem Chemikalienanwender, gesehen, z. B. im Chemikalienleasing-Modell.

Die ausgewerteten Fallbeispiele im Bereich Methoden (Beispiele M01 - M28) sind in der Übersichtstabelle<sup>65</sup> dargestellt.

#### 4.4. Schlussfolgerung

Die Auswertung der Veröffentlichungen und Fallbeispiele ergab, dass in den unterschiedlichen Produktionsbereichen der KMU der chemischen Industrie teils noch erhebliches Ressourceneinsparpotenzial liegt. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen einer Umfrage im Auftrag des VDI ZRE von 2011. Nach dieser sind nur 12 % der befragten 99 Unternehmen der chemischen Industrie der Meinung, dass in ihrer Branche bereits alle Potenziale zur Erhöhung der Ressourceneffizienz ausgeschöpft sind.<sup>66</sup> Dabei muss berücksichtigt werden, dass sich die Potenziale nicht auf die komplette Chemiebranche übertragen lassen. Es ist davon auszugehen, dass in einigen Unternehmen die Potenziale bereits heute unterschiedlich stark ausgeschöpft sind.

Neben den zahlreichen identifizierten Ressourceneffizienzpotenzialen ergab die Auswertung von Literatur und Expertengesprächen, dass insbesondere für KMU zahlreiche Hindernisse bei der Realisierung der Potenziale bestehen. Dies liegt unter anderem daran, dass das Bewusstsein für Ressourceneffizienz in manchen Unternehmen noch nicht ausreichend vorhanden ist. Viele Unternehmen erheben keine Prozessdaten und verfügen über keine geeigneten Indikatoren, mit denen mögliche Potenziale erkannt werden können. In verschiedenen Fällen wurde deutlich, dass einzelne Firmen keinen Handlungsbedarf bezüglich der Steigerung der Ressourceneffizienz sehen und somit nicht aktiv auf der

---

<sup>64</sup> Vgl. VCI (2012b)

<sup>65</sup> [www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien](http://www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien)

<sup>66</sup> Vgl. VDI ZRE (2011)

Suche nach Verbesserungen sind. Mögliche Potenziale werden damit nicht wahrgenommen (Kapitel 4.2). Fleiter et al.<sup>67</sup> sehen unter anderem einen unzureichenden Überblick über Energieverbräuche und Effizienzmaßnahmen sowie einen Mangel an prozessspezifischen Detailkenntnissen als Hemmnisse für Potenzialausschöpfungen in KMU. Ein weiteres Hemmnis bei der Ausschöpfung der Ressourceneffizienzpotenziale besteht darin, dass der Kostenaspekt von den KMU tendenziell weniger in Verbindung mit Ressourceneffizienz gebracht wird.<sup>68</sup>

Slawik<sup>69</sup> nennt als Hemmnisse unter anderem ein fehlendes Bewusstsein über die erzielbaren Einsparpotenziale sowie einen Mangel an technisch-organisatorischen Lösungen - vor allem im Bereich der Material- und Energieeffizienz - und an geeigneten Methoden zur Ermittlung der Ressourceneffizienz. Diese Erkenntnisse bestätigt auch eine kürzlich durchgeführte Umfrage der Europäischen Kommission<sup>70</sup> im Rahmen des „Green Action Plan“ zur Unterstützung von KMUs bezüglich besserer Ressourceneffizienz und der Herstellung international wettbewerbsfähiger Produkte und Dienstleistungen. Dabei wurden KMU, Interessensgemeinschaften und Verbände, öffentliche Institutionen wie auch Bürger nach ihrer Ansicht befragt. Weitere Hindernisse zur Ausschöpfung möglicher Ressourceneffizienzpotenziale sind oftmals die Rahmenbedingungen der Unternehmen bei bestimmten Produktionen wie z. B. das Genehmigungsrecht und die Kundenapprobation bezüglich bestimmter etablierter Verfahren, und schlecht abschätzbare Preisentwicklungen.

Die Fallbeispiele dienen dem Aufzeigen konkreter Potenziale und geben Hinweise darauf, in welchen Prozessbereichen mit welchen Maßnahmen Ressourceneffizienzpotenziale gehoben werden und welche Kosten bzw. Kosteneinsparungen daraus resultieren können.

Alle Fallbeispiele wurden jeweils mit einer Prozessbeschreibung, den durchgeführten Maßnahmen zur Ressourceneffizienzsteigerung und deren Wirkung sowie den

<sup>67</sup> Vgl. Fleiter et al. (2013)

<sup>68</sup> Vgl. VDI ZRE (2011)

<sup>69</sup> Vgl. Slawik (2012)

<sup>70</sup> Vgl. Europäische Kommission (2014)

daraus resultierenden Kosten bzw. Kostenersparnissen (soweit angegeben) in einer Übersichtstabelle<sup>71</sup> dargestellt. Dies ermöglicht den KMU einen schnellen Vergleich der eigenen Prozesse mit den Möglichkeiten zur Nutzung von Ressourceneffizienzpotenzialen aus den relevanten Fallbeispielen.

Die möglichen Potenziale der Ressourceneinsparungen in einzelnen Prozessschritten der Kernprozesse werden als relativ hoch eingeschätzt, auch wenn das Technologieniveau in Deutschland bereits sehr hoch liegt. Ein Recycling und eine erneute Nutzung von Lösemitteln sowie Halogenen bieten mögliche Einsparbereiche. Zudem bestehen noch Potenziale bei Prozessintensivierung, verbesserten Trennungsvorgängen (z. B. Vakuumdestillation und Reaktivdestillation) und, besonders interessant für KMU, bei der Reinigung von Anlagen und Anlagenbauteilen.

Ausgehend von den Fallbeispielen und Expertengesprächen sowie der Auswertung relevanter Literatur wird geschätzt, dass im Bereich Peripherie noch Energieeinsparpotenziale (vor allem Wärmerückgewinnung, Pumpen, Druckluft) z. B. durch die Nutzung von Abwärme, die intensivere Wartung der Systeme und den optimierten Einsatz von Pumpen, Kompressoren und Motoren in einer Größenordnung von 15 bis 30 % mit relativ geringen Amortisationszeiten zu erwarten sind.

Im Bereich Methoden wird als grundlegende Maßnahme die Erfassung aller prozessrelevanten Daten sowie die Erfassung und Auswertung der Daten in entsprechenden Informationssystemen betrachtet. Hier können durch einfache Maßnahmen, wie z. B. das Zusammenführen und Auswerten bereits vorhandener Kennzahlen der Produktion, ohne größeren Aufwand Potenziale im Bereich von 5 bis 10 % identifiziert und realisiert werden. Außerdem können größere Potenziale identifiziert werden, die anhand anderer Maßnahmen ausgeschöpft werden können. Größere Potenziale lassen sich in den Beispielen bezüglich des Einsatzes von Sekundärrohstoffen und der Substitution durch nachwachsende Rohstoffe sowie der Anwendung neuer Verfahren erkennen. Ein weiteres Potenzial wird in einer verbesserten Zusammenarbeit zwischen Technologieanbieter

---

<sup>71</sup> [www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien](http://www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien)

und Chemikalienhersteller, wie z. B. mit dem Chemikalienleasing-Modell aufgezeigt wird, gesehen.

Bei der Ausschöpfung der Potenziale spielen auch die Wünsche der Kunden eine große Rolle. Wenn diese sich ressourcenschonende Produkte wünschen, wird der Produzent ausprobieren, was möglich ist, um dieses Kriterium zu erfüllen. Die Entwicklung neuer Produkte und Verfahren erfolgt oft in enger Kooperation mit den Kunden. Dies bezieht sich auf das komplette Lieferkettenmanagement.

Bei der Auswertung der Fallbeispiele wurden einige Bereiche und Maßnahmen identifiziert, mit deren Hilfe zusätzliche Ressourceneinsparpotenziale erschlossen werden können, u. a.:

- Anwendung geeigneter Informationssysteme (Methode),
- Einsatz neuer Geschäftsmodelle mit Verknüpfung der Anbieter- und Anwenderseite (Chemikalienleasing),
- Substitution endlicher (und bedenklicher) Einsatzstoffe durch nachwachsende (unbedenkliche) Rohstoffe (Methode),
- Recycling von PTFE-Reststoffen und Wiedereinsatz als Sekundärrohstoffe (Methode),
- innovative Technologien, z. B. bei der Anlagen- oder der Abgasreinigung (Kernprozesse),
- Maßnahmen im Peripheriebereich wie z. B. Wärmerückgewinnung (Peripherie).

Aufbauend auf den Ergebnissen werden zu diesen Bereichen im folgenden Kapitel Ressourceneffizienzpotenziale in detaillierteren Fallstudien dargelegt.

Bei den Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz, die in den einzelnen Fallbeispielen sowie den detaillierteren Fallstudien aufgezeigt werden, muss im Einzelfall geprüft werden, ob sie sich auf den eigenen Produktionsprozess übertragen lassen. Ebenso sollte berücksichtigt werden, dass die Maßnahmen, die am ressourceneffizientesten sind, nicht immer auch am wirtschaftlichsten ausfallen. In diesen Fällen muss abgewogen werden, welcher Faktor überwiegt.

## 5. DETAILLIERTE POTENZIALANALYSE

In den folgenden Unterkapiteln werden sieben ausgewählte Fallstudien zur Steigerung der Ressourceneffizienz vorgestellt. Die Fallstudien wurden so gewählt, dass Optimierungen durch softwaregestützte Analysen, neue Geschäftsmodelle (Chemikalienleasing), neue Verfahren (Substitution konventioneller Einsatzstoffe durch unbedenkliche nachwachsende Rohstoffe), Kreislaufführung (Recycling fluorierter Polymere), innovative und ausgereifte Technologien (Anlagenreinigung, Abgasreinigung) und Peripherietechnologien (Wärmerückgewinnung) abgedeckt sind. In jeder Fallstudie werden die zu optimierenden Prozesse, die Ressourceneffizienzpotenziale und die Schritte zur Realisierung sowie die Kosteneinsparungen (soweit angegeben) dargestellt.

### 5.1. Fallstudie 1: Ressourceneffizienz durch Anwendung geeigneter Informationssysteme

#### Hintergrund

In jedem Produktionsbetrieb wird eine Vielzahl von Daten an unterschiedlichen Stellen erfasst (z. B. Wasserzähler, Steuerungselemente etc.). Durch Zusammenführung der Daten in ein System, das die Aufzeichnung der Daten über einen längeren Zeitraum sowie deren Auswertung ermöglicht, können Ressourceneffizienzpotenziale erkannt und somit durch weitere Maßnahmen auch ausgeschöpft werden. Die im Folgenden dargestellte Fallstudie beschreibt die Anwendung des Informationssystems System TeBIS® der Firma Steinhaus. Sie basiert im Wesentlichen auf Ausführungen der Steinhaus Informationssysteme GmbH<sup>72,73</sup> und Hofmann et al.<sup>74</sup>.

Durch geeignete zentrale Datensammlung und Datenauswertung ist nach Steinhaus Informationssysteme GmbH im Durchschnitt eine Einsparung von 5 bis 10 % der eingesetzten Energie ohne größere Investitionen möglich. Das System TeBIS® der Firma Steinhaus Informationssysteme GmbH als technisches Betriebsinformationssystem speichert alle verfügbaren Daten in

---

<sup>72</sup> Vgl. Steinhaus Informationssysteme GmbH (2013)

<sup>73</sup> Vgl. Steinhaus Informationssysteme GmbH (2014)

<sup>74</sup> Vgl. Hofmann et al. (2007)



einer zentralen Datenbank (siehe Abbildung 9 und Abbildung 10). Als Datenquellen zählen sämtliche im Betrieb vorhandenen elektronischen Quellen wie z. B. Prozessleitsysteme und Steuerungen ebenso wie Zähler- und Handdaten. Damit direkt von der Inbetriebnahme des Systems an Vergleiche und Auswertungen möglich sind, können die Archivdaten aus den vorhandenen Systemen übernommen werden. Durch die zentrale und anlagenübergreifende Datenhaltung werden alle im Unternehmen bis dato heterogen vorliegenden Daten mit einer hohen zeitlichen Auflösung bei voller Genauigkeit und hoher Verdichtung in Echtzeit für alle Mitarbeiter gleich zugänglich. TeBIS® bietet so die Möglichkeit, Daten unterschiedlicher Anlagen und Zeiträume einfach und beliebig zu verknüpfen, wodurch eine umfassende rechnerische und grafische Auswertung mit einem schnellen Zugriff gewährleistet ist.

Dabei eignet sich TeBIS® zur Analyse von Energie- und Materialverbräuchen (z. B. Wasserverbrauch) sowie zur Stördatenanalyse. TeBIS® zeigt, wie anhand geeigneter Informationssysteme zur Datensammlung und Auswertung Ressourcen eingespart werden können.

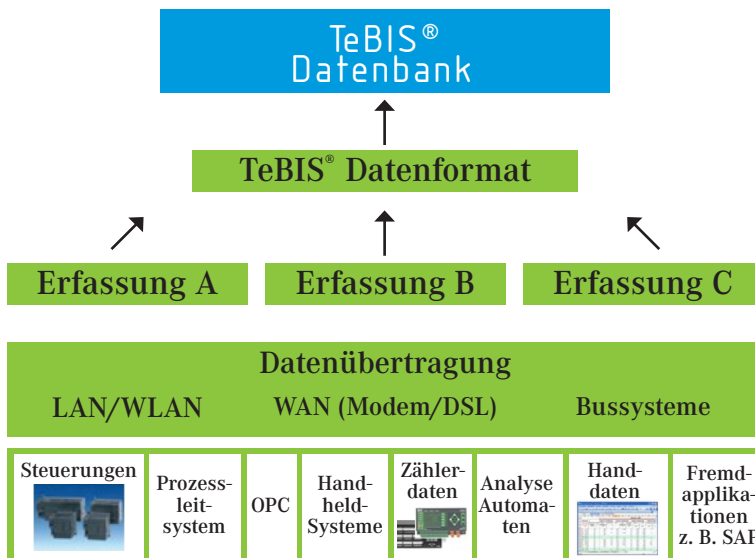


Abbildung 9: Grundidee von TeBIS®: Datenerfassung und zentrale Datenspeicherung in einer Datenbank, ©Steinhaus Informationssysteme GmbH

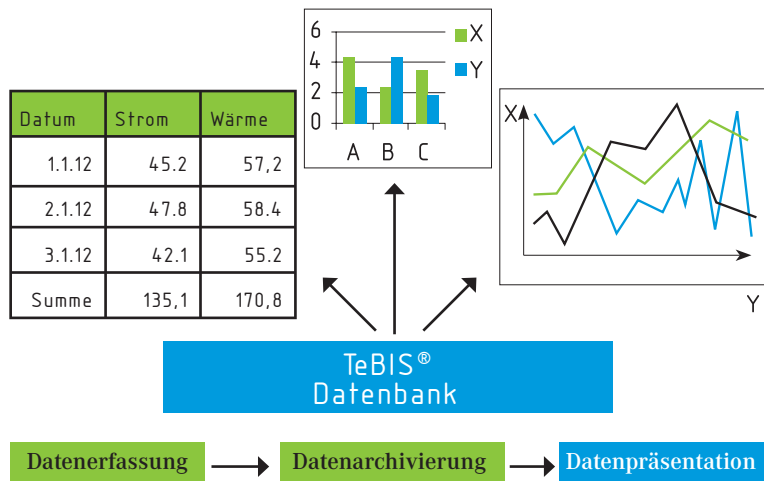


Abbildung 10: Grundidee von TeBIS®: Zentrale Datenerfassung, -auswertung und -archivierung, ©Steinhaus Informationssysteme GmbH

#### Ausgangssituation und Maßnahmen zur Effizienzsteigerung

In diesem Beispiel wurde das Informationssystem bei einer Getränkeherstellungsfirma eingesetzt, um ihren „Cleaning in place“ (CIP)-Prozess zu analysieren und zu optimieren.

Mit Hilfe der Software und einer Messwertensorik (siehe Abbildung 11) wurden die Abläufe in der Tank- und der Leitungsreinigung über Sensoren erfasst, im Informationssystem aufgezeichnet und analysiert (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13).

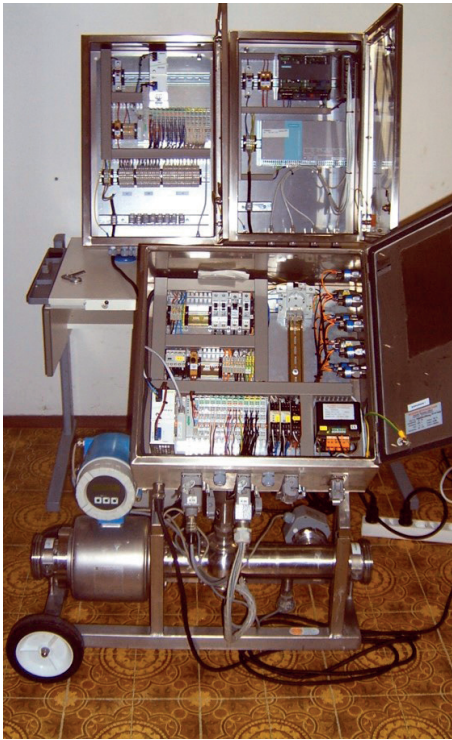


Abbildung 11: Messwertsensorkit, © Steinhaus Informationssysteme GmbH

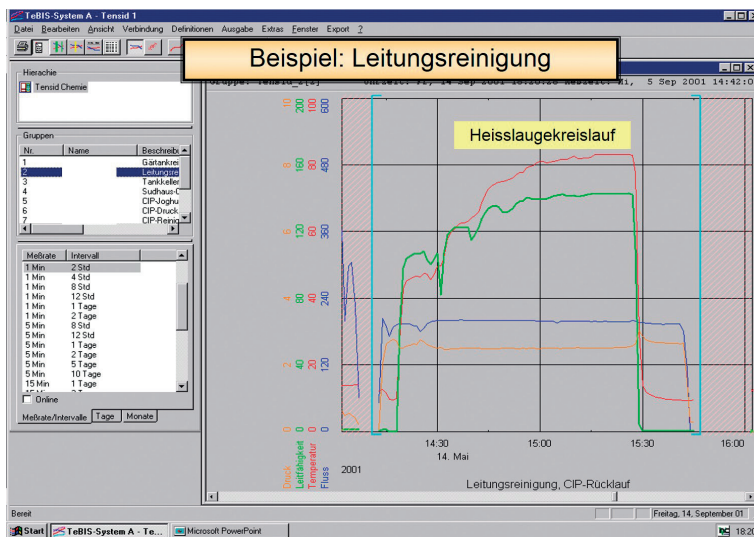


Abbildung 12: Datenaufnahme und -analyse, © Steinhaus Informationssysteme GmbH

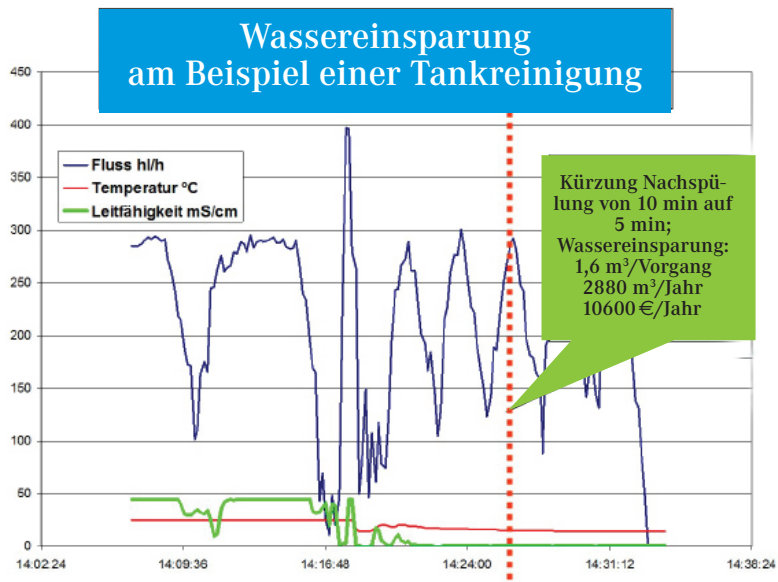


Abbildung 13: Datenaufzeichnung einer Tankreinigung anhand von TeBIS®, © Steinhaus Informationssysteme GmbH

### Wirkung

Anhand der Aufbereitung und Auswertung der Daten wurde festgestellt, dass die Nachspülzeiten im Tank ohne negative Auswirkungen auf den Reinigungsgrad des Tanks von zehn auf fünf Minuten reduziert werden konnten. Durch die Reduzierung der Nachspülzeit konnten 1,6 m<sup>3</sup> Wasser pro Vorgang und insgesamt 2.880 m<sup>3</sup> Wasser pro Jahr (siehe Tabelle 4) eingespart werden.

Tabelle 4: Fallstudie 1: Reduktion des Wasserverbrauchs

Ressourcen	Reduktion total (m <sup>3</sup> /a)	Reduktion (%)
Frischwasser	2.880	12

### Kosteneffizienz

Dies führte zu einer Kostenersparnis von jährlich 10.600 Euro (siehe Tabelle 5). Diese Investition rechnete sich bereits nach einer Laufzeit von knapp über einem Jahr.

**Tabelle 5: Fallstudie 1: Kosteneffizienz**

Maßnahme	ges. Investition (€)	Betriebskosten (€/Jahr)	Einsparung (€/Jahr)	Amortisationszeit (a)
Analyse des Prozesses durch TeBIS®	–	–	~ 10.600	~ 1

5.2. Fallstudie 2: Ressourceneffizienz durch Chemikalienleasing zur Reinigung von Metallteilen

Dieses Beispiel bezieht sich nicht direkt auf die chemische Industrie, sondern auf die Reinigung von Metallteilen. Der Reinigungsprozess ist jedoch leicht übertragbar, das Modell Chemikalienleasing lässt sich sehr gut auf Produktions- und Reinigungsvorgänge in der chemischen Industrie anwenden. Das im Folgenden dargestellte Beispiel basiert im Wesentlichen auf Informationen von SAFECHEM Europe GmbH<sup>75,76</sup> und BMU & BDI<sup>77</sup>.

Unternehmensbeschreibung

Die SAFECHEM Europe GmbH ist ein Tochterunternehmen von The Dow Chemical Company und wurde 1992 gegründet. SAFECHEM verfügt über 30 Mitarbeiter und hat Standorte in Düsseldorf und Paris.

SAFECHEM bedient mehr als 8.000 Kunden mit Lösungen für die Oberflächenreinigung. Dow ist einer der bedeutendsten Hersteller qualitativ hochwertiger chlorierter Lösemittel wie:

- Perchlorethylen (Tetrachlorethylen, PER, PERC oder PCE)
- Trichlorethylen (TRI, Trike oder TCE)
- Methylenchlorid (Dichlormethan oder DCM)

Eine gute Alternative zu chlorierten Lösemitteln stellen modifizierte Alkohole der DOWCLENETM Serie dar. Alle Lösemittel

<sup>75</sup> Vgl. SAFECHEM Europe GmbH (2013)

<sup>76</sup> Vgl. SAFECHEM Europe GmbH (2014)

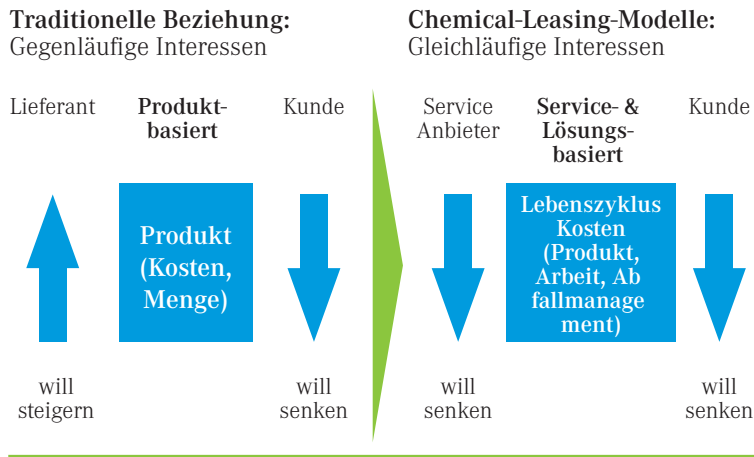
<sup>77</sup> Vgl. BMU & BDI (2013)

wurden speziell entwickelt, um die hohen Anforderungen der Kunden an die Oberflächenreinigung zu erfüllen.

### Das Chemikalienleasing-Konzept

Bei dem Chemikalienleasing handelt es sich um ein innovatives Geschäftsmodell, um Ressourceneffizienz und ein nachhaltiges Chemikalienmanagement zu erreichen. Das Konzept ist darauf gerichtet, durch eine enge Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungskette den Verbrauch von Chemikalien zu optimieren.

Beim Chemikalienleasing wird die klassische mengenbezogene Bezahlung von Chemikalien (Euro/t) durch eine nutzenorientierte Bezahlung (z.B. Euro/m<sup>2</sup> gereinigte Fläche) ersetzt. Dadurch ändert sich der Chemikalienverbrauch für den Chemikalienhersteller bzw. Chemikalienlieferanten von einem Erlös- zu einem Kostenfaktor. Somit entsteht auch ein wirtschaftliches Interesse des Chemikalienherstellers bzw. Chemikalienlieferanten, den Verbrauch chemischer Produkte beim Anwender durch eine Prozessoptimierung zu verringern. In der Konsequenz kommt es zu einer intensivierten Zusammenarbeit zwischen Chemikalienhersteller bzw. Chemikalienlieferanten und Chemikalienanwender. Dies führt zu wirtschaftlichen Vorteilen für beide Partner und insbesondere - über den verringerten Chemikalienverbrauch - zur Ressourcenschonung, Verringerung von Umweltbelastungen, Energieeinsparung und Vermeidung/Verringerung von Risiken aus der Chemikalienanwendung. Abbildung 14 verdeutlicht die gleichgerichteten Interessen („je weniger, desto besser“) von Chemikalienlieferanten und Kunden unter dem dienstleistungsorientierten Geschäftsmodell Chemikalienleasing.



**Abbildung 14: Chemikalienleasing-Modelle bündeln Interessen<sup>78</sup>**

SAFECEM hat sich auf den sicheren und nachhaltigen Einsatz von Lösemitteln in der Präzisionsreinigung spezialisiert. Das Komplettangebot von SAFECEM beinhaltet ein umfangreiches Lösemittel- und Serviceangebot sowie die Vermittlung von Expertenwissen und Beratung. Das COMPLETE<sup>TM</sup> Modell von SAFECEM, ein innovatives Chemikalienleasing-Modell, ermöglicht den Chemieanwendern, den kompletten Reinigungsprozess zu leasen. Dieser beinhaltet Qualitätslösemittel von Dow, SAFECEM Services, umfangreiches CHEMAWARE<sup>TM</sup> Know-how von Experten und auf Wunsch leistungsstarke Reinigungsanlagen führender Hersteller (siehe Abbildung 15). Durch die Abstimmung aller verfügbaren technischen Parameter bietet das serviceorientierte Leasingmodell eine kontinuierliche Optimierung des Reinigungsprozesses.

<sup>78</sup> Vgl. Safechem Europe GmbH (2013)

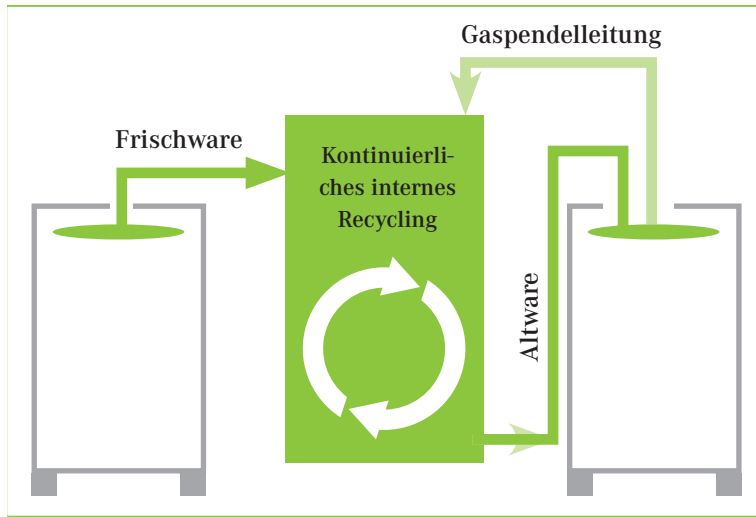


Abbildung 15: COMPLEASE™ Chemikalienleasing – Reinigungsanlage und Lösemittelkreislauf <sup>79</sup>

Vorteile von Chemikalienleasing laut Anbieter:

1. Abstimmung zwischen Anlage und Lösemittel – Prozessoptimierung
2. Vorreiter in der Industrie und im Einklang mit relevanten Gesetzen
3. Kostentransparenz und vereinfachte Prozesse
4. Optimierte und langfristige Zusammenarbeit der Partner einer Lieferkette
5. Verstärkte Lieferanten- sowie Kundenloyalität

Die folgenden Prinzipien werden bei einer erfolgreichen Anwendung des Chemikalienleasing-Modells implementiert:

1. Verringerung negativer Auswirkungen auf Umwelt, Gesundheit, Energie und Ressourcen von Chemikalien, die in Produktions- und Anwendungsprozessen verwendet werden

<sup>79</sup> Vgl. Safechem Europe GmbH (2013)



2. Verbessertes Handling und verbesserte Lagerung von Chemikalien im Hinblick auf Risikovermeidung/-verminderung
3. Vermeidung einer Substitution durch Stoffe mit höherem Risiko
4. Generierung wirtschaftlicher und sozialer Vorteile: Ein Vertrag sollte die Ziele der kontinuierlichen Verbesserungen und eine faire sowie transparente Aufteilung der wirtschaftlichen Vorteile zwischen den Vertragspartnern enthalten
5. Monitoring der Verbesserungen im Sinne der oben genannten Kriterien

Auf Basis einer soliden wirtschaftlichen Beziehung können Kunde, Chemikalienlieferant und Anlagenlieferant zusammen innovative Lösungen entwickeln, um die Ressourceneffizienz des gesamten Verfahrens zu steigern.

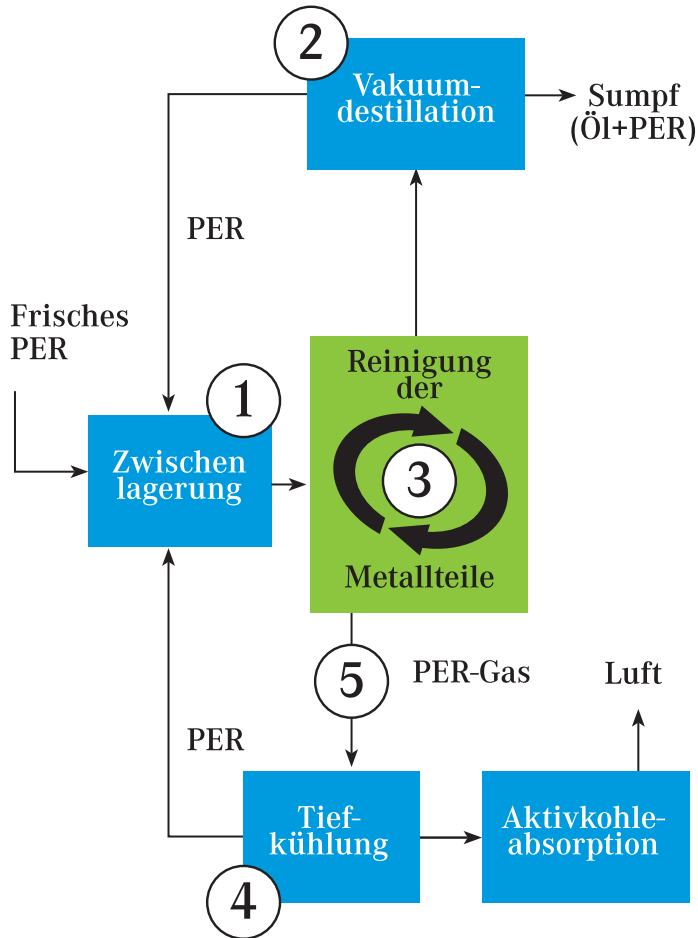
#### Ausgangssituation und durchgeführte Maßnahmen zur Effizienzsteigerung

Bei der Reinigung von Metallteilen von Ölen wird eine große Menge an Reinigungsmitteln eingesetzt. Mit Hilfe des Chemikalienleasing-Modells können die Mengen an Reinigungsmitteln reduziert sowie weitere Ressourceneinsparungen im Reinigungsprozess erzielt werden.

Zur Realisierung der Potenziale bei der Metallreinigung wurde ein Chemikalienleasing-Vertrag mit der Firma SAFECHEM abgeschlossen. Neben der Lieferung der Chemikalie PER arbeitet SAFECHEM zusammen mit den Anlagenherstellern und dem Anwender an der Prozessanalyse und der ständigen Prozessoptimierung. Durch diese Zusammenarbeit lohnt es sich - im Vergleich zu traditionellen Geschäftsmodellen - für alle beteiligten Geschäftspartner, mehr in Ressourceneffizienzmaßnahmen zu investieren.

In Abbildung 16 ist ein allgemeines Fließbild zur Reinigung von Metallteilen dargestellt. Dabei werden alle Stufen aufgezeigt,

in denen im Rahmen des Chemikalienleasing-Modells Ressourceneffizienzmaßnahmen durchgeführt wurden.



**Abbildung 16: Darstellung der einzelnen Stufen des Reinigungsverfahren mittels PER, in denen Ressourceneffizienzmaßnahmen durchgeführt wurden (eigene Darstellung)**

Legende: 1 = Zugabe eines Stabilisators; 2 = Reduktion der Temperatur und Vakuumdestillation; 3 = Reinigungsprozess im Vakuum; 4 = Verbesserung der Tiefkühlkondensation; 5 = konzentrationsabhängiges Öffnen der Anlage

Im Rahmen des Chemikalienleasing-Modells wurden folgende Maßnahmen durchgeführt, um den Reinigungsprozess

effizienter zu gestalten und damit Einsparungen von Ressourcen zu realisieren:

1. Dem Lösemittel wurde ein Stabilisator zugesetzt, um dessen Zersetzung zu minimieren. Dadurch kann das Lösemittel länger in der Reinigungsanlage zirkulieren und somit dessen Menge reduziert werden.
2. Es wurde eine Vakuumdestillation eingeführt, wodurch die Trennungstemperatur abgesenkt werden konnte. Dadurch können der Energieverbrauch und die Menge des eingesetzten Stabilisators reduziert werden.
3. Der komplette Reinigungsprozess wird im Unterdruck durchgeführt. Somit können Emissionen und Energieverbrauch reduziert werden.
4. Die Tiefkühlkondensation wurde verbessert. Dies führt zur Erhöhung der PER-Rückgewinnung und zur Reduktion der Lösemittelverluste.
5. Es wurde ein konzentrationsabhängiges Öffnen der Anlage eingeführt, um Emissionen zu vermeiden/minimieren.

### Wirkung

Abbildung 17 stellt die unterschiedlichen Stufen der Ressourceneffizienzpotenziale beim Einsatz von Lösemitteln zur Metallreinigung je nach Reinigungsmodell dar. Durch den Einsatz des Chemikalienleasing-Modells können derzeit am meisten Ressourcen eingespart werden.

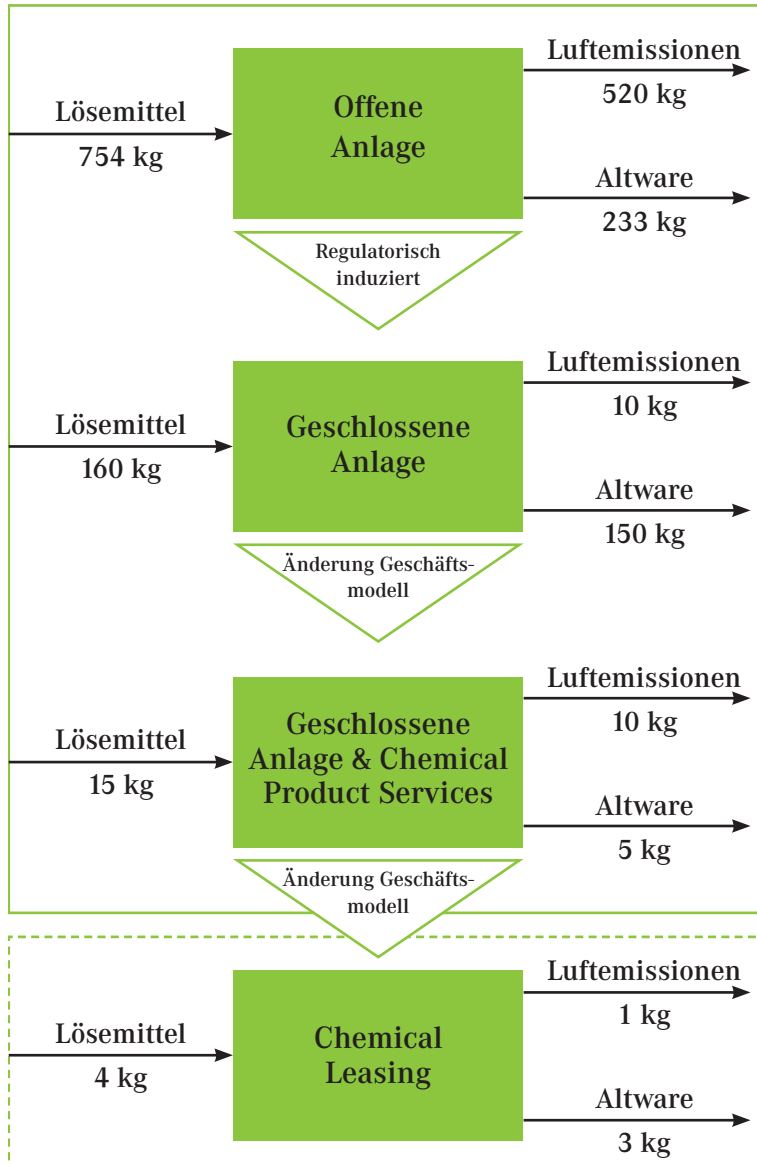


Abbildung 17: Verbesserung des Einsatzes des Lösemittels über die Jahre (Basis: benötigter Lösemittelverbrauch zur Entfernung von 100 kg Öl von Metallteilen)<sup>80</sup>

Die Maßnahmen, die innerhalb des Chemikalienleasing-Modells durchgeführt werden, führen neben erheblichen Einsparungen des Lösemittels PER (siehe Tabelle 6) auch zur Reduktion von

<sup>80</sup> Vgl. Safechem Europe GmbH (2013)

eingesetzter Energie (siehe Tabelle 7), Luftemissionen und Abfällen (siehe Tabelle 8).

**Tabelle 6: Fallstudie 2: Reduktion der Menge der Einsatzstoffe**

Einsatzstoff	vor Maßnahme (kg/t Öl entfettet)	nach Maßnahme (kg/t Öl entfettet)	Reduktion (%)
Tetrachlorethylen (PER)	150	40	~ 73%
Stabilisator (Cl-Freisetzung vermeiden)	-	-	~ 65%

**Tabelle 7: Fallstudie 2: Reduktion des Energieverbrauchs**

Energieart	vor Maßnahme (kWh/t Produkt)	nach Maßnahme (kWh/t Produkt)	Reduktion (%)
Prozessenergie und Strom	-	-	~ 50%

**Tabelle 8: Fallstudie 2: Reduktion der Emissionen**

Art der Emissionen (Abwasser, Abfall, Abgas)	vor Maßnahme (kg/t Öl entfettet)	nach Maßnahme (kg/t Öl entfettet)	Reduktion (%)
Abgas: PER in der Luft	10	1	~ 90%
Abfall: PER an Aktivkohlefilterrückständen zur Verbrennung gefährlicher Abfälle	-	-	~ 90%

### Kosteneffizienz

Durch die aktive Überwachung der Anlage mit einer optimierten Ersatzteilversorgung und Wartung können die Service-Kosten der Anlage um 65 % reduziert werden. Zusätzlich können die Prozesskosten durch das optimierte Verfahren sowie durch eine hohe Verfügbarkeit der Anlage gesenkt werden.

### 5.3. Fallstudie 3: Ressourceneffizienz durch Substitution der Einsatzstoffe

#### Hintergrund

Bei der Herstellung von Farben werden endliche und teilweise auch ökologisch problematische Einsatzstoffe eingesetzt. Ein Ansatz zur Ressourcenschonung liegt hier in der Substitution dieser Stoffe durch nachwachsende Rohstoffe. Dies sind, so die Definition, land- und forstwirtschaftlich erzeugte Produkte, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel Verwendung finden, sondern stofflich oder zur Bereitstellung von Wärme, Strom oder Kraftstoffen genutzt werden. Sie dienen der Versorgungssicherheit, denn sie sind nicht endlich, sondern erneuerbar (regenerativ), und können in nahezu allen Ländern der Erde gewonnen werden. Nachwachsende Rohstoffe helfen zusätzlich, den Klimawandel zu verlangsamen, indem sie bei der energetischen Nutzung weniger Treibhausgase freisetzen als fossile Rohstoffe und bei der stofflichen Nutzung sogar Kohlenstoff fixieren (Kohlenstoffsенke). Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen zeigen darüber hinaus häufig den Vorteil, dass sie weniger (öko-) toxisch sind und ihre Herstellung weniger energieaufwändig verläuft.<sup>81</sup> Allerdings dürfen bei der Substitution der Eingangsstoffe durch nachwachsende Rohstoffe mögliche negative ökologische sowie soziale Auswirkungen durch die Entnahme der nachwachsenden Rohstoffe aus der Umwelt nicht außer Acht gelassen werden. Problematisch sind z. B. erhöhte Treibhausgasemissionen durch direkte und indirekte Landnutzungsänderungen, negative Auswirkungen auf Biodiversität, Bodenqualität und Wassergüte und negative Folgen für die lokale Bevölkerung und die Ernährungssicherheit, die aus einer unkontrollierten Steigerung der Biomasseentnahme aus den Ökosystemen resultieren können.

In diesem Beispiel werden einige endliche und bedenkliche Einsatzstoffe durch nachwachsende Rohstoffe, die nicht im Wettbewerb zur Nahrungsmittelherstellung stehen und kein Gefahrenpotenzial aufweisen, ersetzt. So bildet beispielsweise Rebschwarz aus Weinlaub die Grundlage zur Pigmentherstellung.

---

<sup>81</sup> Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2014)

Ein weiteres Augenmerk bei der Herstellung liegt auf der späteren Rückgewinnung aus Abfallprodukten, wodurch weitere Ressourcen eingespart und Abfälle vermieden werden können.

## Projekt

Die prometho GmbH ist Entwickler und Hersteller industrieller Kennzeichnungstinten und Druckfarben und hat sich der Entwicklung unbedenklicher und nachhaltiger Kennzeichnungslösungen verschrieben. Bereits 2008 hat die prometho GmbH als erstes Unternehmen in Deutschland eine Industrietinte entwickelt, die ökologisch und gesundheitlich unbedenklich ist: GrüneTinte®. Dieses Entwicklungsprojekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert. Im Folgenden werden die durchgeführten Maßnahmen, die Wirkung, die Kosteneffizienz und allgemeine Hürden während der Entwicklung der GrüneTinte® durch Ausführungen der prometho GmbH<sup>82,83,84</sup> dargestellt.

## Durchgeführte Maßnahmen

Die Substitution bedenklicher, endlicher Einsatzstoffe erfolgte durch die Formulierung eines neuen Produktes. Dazu wurden verfügbare nachwachsende Rohstoffe gesucht und für das neue Produkt geeignete Stoffe ausgewählt. Dies waren z. B.

- Lösemittel (Bioethanol/Wasser)
- Bindemittel/Naturharze
- Additive/Dispergierhilfsmittel
- Farbstoffe/Pigmente

Zusätzlich wurden eigene Farbmittel hergestellt:

- Pigmentpräparationen aus Pflanzenfarbstoffen
- Modifizierte Pflanzenfarbstoffe, z. B. Chlorophyll

<sup>82</sup> Vgl. prometho GmbH (2008)

<sup>83</sup> Vgl. prometho GmbH (2013)

<sup>84</sup> Vgl. [www.prometho.de](http://www.prometho.de)

Die ursprünglichen Inhaltsstoffe der Tinten sowie die ausgewählten Stoffe zur Substitution sind in Tabelle 9 dargestellt.

Der Herstellungsprozess wurde so gestaltet, dass die Tinten nach ihrer Nutzung zurückgewonnen bzw. vollständig aus der Papierfaser entfernt werden können. So kann ein recycelbarer Papierrohstoff erhalten bleiben (deinkbar).

Da nachwachsende Rohstoffe zum Teil starken Qualitätsschwankungen unterliegen, sind der Aufbau und die Einführung einer effektiven Wareneingangskontrolle erforderlich. Dafür müssen definierte Freigabeparameter festgelegt und im Rahmen einer batchbezogenen Kontrolle überprüft werden. Gegebenenfalls sind bestimmte nachwachsende Rohstoffe in ein Halbprodukt zu überführen, dessen Herstellungsprozess nicht über die Rezeptur, sondern über die Freigabeparameter gesteuert wird, um so ein Ausgangsmaterial in gleichbleibender Qualität für den weiteren Herstellungsprozess zu erhalten.

Gerade für dünnflüssige Druckfarben sind stabile Farbpräparationen unerlässlich. Farbpigmente aus nachwachsenden Rohstoffen müssen daher so vermahlen und dispergiert werden, dass eine homogene und sedimentationsfreie Präparation in gleichbleibender Qualität gewährleistet werden kann.

### Wirkung

Durch die Substitution der Inhaltsstoffe konnten endliche oder bedenkliche Inhaltsstoffe zu 100 % durch unbedenkliche nachwachsende Rohstoffe ersetzt und somit eingespart werden (siehe Tabelle 9).

### Kosteneffizienz

Die Kosten zur Herstellung von Tinten aus nachwachsenden Rohstoffen sind im Vergleich zu den Kosten zur Herstellung konventioneller Tinten derzeit noch um circa 20 bis 25 % höher. Das liegt zum einen an höheren Einstandspreisen für die Rohstoffe, zum anderen an den erforderlichen Investitionen für spezielle Mahlwerkzeuge. Die Amortisation kann nur durch einen höheren



Preis erreicht werden. Da der Markt aber sehr preissensitiv ist, lassen sich lediglich geringe Preiserhöhungen durchsetzen, so dass mit einer Amortisation der Investitionskosten erst nach zehn bis zwölf Jahren zu rechnen ist.

#### Allgemeine Hürden/Widerstände bei Umsetzung der Substitution und Vertrieb des neuen Produkts

Bei der Entwicklung und Fertigung der Tinten wird dafür gesorgt, dass die Tinte optimal an ihre Lauf- und Substrateigenschaften angepasst wird, unabhängig davon, ob es sich um konventionelle Tinte handelt oder um Tinte auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Die Qualität war somit die gleiche. Dennoch gab es auf dem Weg hin zum fertigen Produkt einige Aufgaben, die gelöst werden mussten:

- Suche nach geeigneten Lieferanten,
- Gewährleistung gleichbleibender Rohstoffqualität (siehe oben),
- Vertrauensbildung bei potenziellen Kunden: Die Kunden mussten davon überzeugt werden, dass eine Tinte aus nachwachsenden Rohstoffen in Bezug auf Haftung, Randschärfe, Lichtechtheit, Beständigkeit und Trocknungszeit vergleichbar mit der bisher eingesetzten Tinte ist. Zum Teil fehlt das Verständnis dafür, welche Inhaltsstoffe auf welchen Eigenschaften Einfluss nehmen, bzw. es liegt eine vollkommen falsche Vorstellung darüber vor,
- Durchführung von Lichtechtheitsprüfungen (für Qualitätsnachweis),

#### Anfangsschwierigkeiten bei der Vermarktung der GrüneTinte®

Die Nachfrage nach dem neuen Produkt war anfangs gering, da der Aspekt der Nachhaltigkeit bei vielen Anwendern keine Rolle spielte. Daher war es erforderlich, weitere Merkmale zu etablieren, die eine Tinte aus nachwachsenden Rohstoffen für den Anwender attraktiv machen.

Diese sind beispielsweise:

- ein geringeres Gefährdungspotenzial,
- keine 2-Butanon, Aceton- oder gar Cyclohexanon­dämpfe,
- bessere Laufeigenschaften im Druckgerät,
- optimales Druckbild auf dem Substrat,
- geringerer Lösemittelverbrauch,
- breiteres Einsatzgebiet wie beispielsweise für den indirekten Lebensmittelkontakt.

Weitere Herausforderungen bei der Vermarktung der GrüneTinte® stellten unter anderem Gerüchte dar, dass eine solche Tinte gar nicht funktionieren könne, oder aber die Konkurrenz von anderen Tinten, die als „grüne Tinten“ angeboten werden, obwohl bei ihnen lediglich die organischen Lösemittel gegen Ethanol ersetzt wurden.

In diesem Bereich sind noch Aufklärung sowie Werbung für umweltfreundliche, nachhaltige Produkte notwendig. Trotz der Hürden ist es gelungen, die GrüneTinte® erfolgreich zu vermarkten und somit endliche und bedenkliche Rohstoffe einzusparen und gleichzeitig Lauf- und Substrateigenschaften zu verbessern.

**Tabelle 9: Fallstudie 3: Inhaltsstoffe in einem Liter Grüne-Tinte®**

Ursprünglicher Inhaltsstoff	Materialart	CLP-Klassifizierung	Anteil in % bezogen auf Rezeptur
2-Butanon	Lösemittel (NE)	Entzündbare Flüssigkeit 2 Augenreizend 2 Spez. Zielorgantoxizität 3	50-90 %
1-Methoxy-2-propanol	Lösemittel (NE)	Entzündbare Flüssigkeit 3 Spez. Zielorgantoxizität 3	5-50 %
Cyclohexanon	Lösemittel (NE)	Entzündbare Flüssigkeit 3 Akute Toxizität 4	20-90 %
Nitrocellulose	Bindemittel (NE)	Explosive Stoffe/ Gemische	3-15%
Polysiloxane	Additiv (NE)		0,1 - 1%
Phosphorsäureester	Additiv (NE)	Aspirationsgefahr 1 Hautreizend 2 Augenschädigend 3	0,1-1%
n-Ethyl-2-methylbenzolsulfonamid	Additiv (NE)	Akute Toxizität 4	0,1-1,5%
Triacrylmetan-Farbstoffe	Farbstoff (NE)	Reproduktionstoxizität 2 Akute Toxizität 4 Augenschädigend 1 Langfr. Wassergefährd. 1	2-10%
Azofarbstoffe	Farbstoff (NE)	Hautreizend 2 Augenreizend 2 Spez. Zielorgantoxizität 3	2-10%
Xanthanfarbstoffe	Farbstoff (NE)	Augenreizend 2	2-10%

E = erneuerbar (z. B. basierend auf Biomasse) ; NE = nicht erneuerbar (z. B. Erdgas- oder Erdöl-basierend)

Substitutionsstoff	Materialart	CLP-Klassifizierung	Anteil in % bezogen auf Rezeptur	Einsparpotenzial endlicher und bedenklicher Inhaltsstoffe
Bioethanol	Lösemittel (E)	Entzündbare Flüssigkeit 2	50-90 %	100 %
Bioethanol	Lösemittel (E)	Entzündbare Flüssigkeit 2	5-50 %	100 %
Bioethanol	Lösemittel (E)	Entzündbare Flüssigkeit 2	20-90 %	100 %
Naturharz	Bindemittel (E)	entfällt	5-25 %	100 %
Pflanzenester	Additiv (E)	entfällt	0,1-1 %	100 %
Natürliches Haftharz	Harz (E)	entfällt	0,1-1 %	100 %
Pflanzenöl	Additiv (E)	entfällt	0,5-2 %	
Pigmente aus Pflanzenabfällen Natürliche Farbstoffe	Pigment (E) Farbstoff (E)	entfällt	2-10 %	100 %
Pigmente aus Pflanzenabfällen Natürliche Farbstoffe	Pigment (E) Farbstoff (E)	entfällt	2-10 %	100 %
Pigmente aus Pflanzenabfällen Natürliche Farbstoffe	Pigment (E) Farbstoff (E)	entfällt	2-10 %	100 %

#### 5.4. Fallstudie 4: Ressourceneffizienz durch Recycling von PTFE-Reststoffen zur Wiedergewinnung von Einsatzstoffen

Anhand der Betrachtung und des Vergleichs der unterschiedlichen Herstellungsverfahren von Polytetrafluorethylen (PTFE) bei Dyneon wird aufgezeigt, welches Ressourceneinsparpotenzial durch die Aufbereitung und Verwertung von PTFE-Reststoffen vorhanden ist. Dabei wird dem konventionellen Herstellungsverfahren über R22 (Chlordifluormethan, HCFC-22) das chemische Recycling von PTFE-Reststoffen gegenübergestellt. Durch das innovative chemische Recycling wird PTFE wieder in seine Monomere zurückgeführt und kann somit erneut zur Herstellung von hochwertigem PTFE verwendet werden.

##### Unternehmensbeschreibung

Die Dyneon GmbH wurde am 1. August 1996 als Joint Venture zwischen 3M und der Hoechst AG gegründet. Seit Dezember 1999 ist sie eine hundertprozentige Tochtergesellschaft von 3M. Dyneon hat über 800 Mitarbeiter weltweit und Verkaufsniederlassungen oder Repräsentanz in über 50 Ländern. Dyneon produziert in seinen drei Geschäftsbereichen Fluorelastomere, Fluorkunststoffe und Spezialadditive jährlich über 16.000 Tonnen Fluorpolymere.

##### Produktbeschreibung

Fluorpolymere sind aufgrund ihrer außergewöhnlichen Eigenschaften in vielen Industriebereichen wie z.B. der Flugzeug- und Automobilindustrie unersetzlich. PTFE ist eines der wichtigsten Fluorpolymere. Es macht 60 % der weltweiten Fluorpolymerproduktion aus.<sup>85</sup> Am Ende des Nutzungskreislaufs wird dieser hochwertige Werkstoff derzeit deponiert, thermisch verwertet oder, bei entsprechender Reinheit, wieder recycelt, wobei sich die Qualität mit jedem Recyclingschritt reduziert.<sup>86</sup>

##### Herstellungsbeschreibung (Konventionelles Verfahren)

Aus den Einsatzstoffen Natriumchlorid (NaCl), Methan (CH<sub>4</sub>), Calciumfluorid (CaF<sub>2</sub>), Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) und Wasser wird über mehrere energieintensive Prozessschritte zunächst das

<sup>85</sup> Vgl. Global Fluoropolymer Market Analysis (2012)

<sup>86</sup> Vgl. Dyneon (2014)

Monomer Tetrafluorethylen (TFE) hergestellt. Anschließend erfolgt die Polymerisation von TFE zum Endprodukt PTFE. Bei der Herstellung von TFE bzw. der Vorstufen fallen eine Reihe von Koppelprodukten wie Natronlauge (NaOH), Gips ( $\text{CaSO}_4$ ) und Salzsäure (HCl) an. In Abbildung 18 sind die wesentlichen Schritte zur Herstellung von PTFE schematisch dargestellt. Bei der nachfolgenden Analyse der Effizienzpotenziale werden alle Schritte bis auf den letzten Schritt der Polymerisation berücksichtigt.

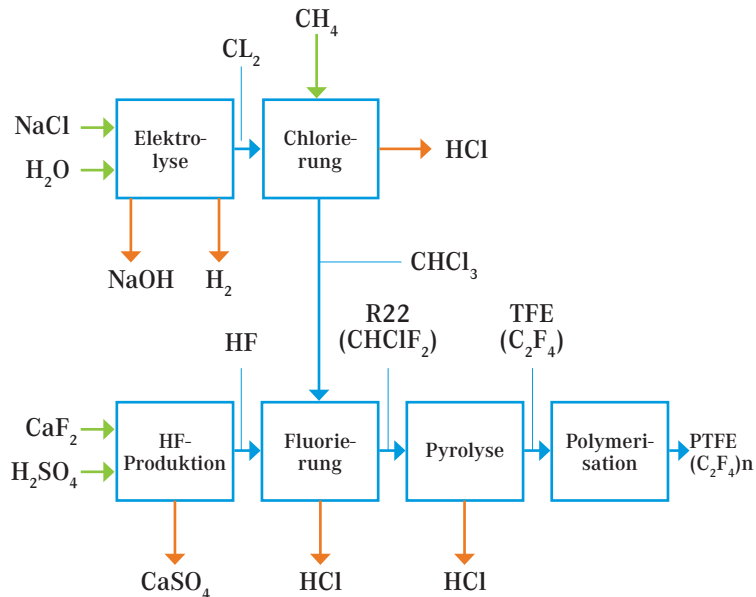


Abbildung 18: Prozess der PTFE-Herstellung, Quelle: BiPRO in Anlehnung an ecoinvent-Datenbank und DBU<sup>87</sup>

### Ausgangsbasis und Entwicklung des Recycling-Konzeptes

Dynea stellt pro Jahr über 16.000 Tonnen Fluorpolymere her. In Europa liegt der Verbrauch an vollfluorierten Polymeren bei etwa 35.000 Tonnen/Jahr.<sup>88</sup> Schätzungsweise fallen bei der Verarbeitung mehr als 10 % Fluorpolymerreste an. Davon können bereits heute einige hundert Tonnen durch ein primäres und sekundäres Recycling verwertet werden. Der Rest wird derzeit entweder der Deponie oder der Verbrennung zugeführt

<sup>87</sup> Vgl. DBU (2012)

<sup>88</sup> Vgl. Kälin (2012)

und wird als erhebliches Ressourceneffizienzpotenzial durch Recycling angesehen.<sup>89</sup>

Aus diesem Grund hat Dyneon im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes mit der Universität Bayreuth und dem Kooperationspartner InVerTec e.V. untersucht, inwieweit und mit welcher Maßnahme die Fluorpolymerreststoffe recycelt und damit in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden können.

An der Universität Bayreuth wurde hierzu eine Laboranlage in Kooperation mit der Firma Dyneon und InVerTec aufgebaut und im September 2006 in Betrieb genommen. Ziel war die Untersuchung von unterschiedlichen Prozessvarianten sowie Prozessschritten.

Durch diese Vorarbeiten konnten Erkenntnisse für den Bau und sicheren Betrieb einer Demonstrationsanlage für das chemische Recycling einer Vielzahl von fluorierten Reststoffen gewonnen werden. Nach Analyse der untersuchten Verfahren wurde aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht ein Konzept für eine Demonstrationsanlage und ein Konzept für ein Rücknahmenetzwerk erstellt. Im Rahmen eines Förderprojekts unterstützte das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) den Bau dieser Demonstrationsanlage mit der in der ersten Phase 500 Tonnen fluorhaltige Reststoffe wieder in ihre Monomere zerlegt werden können.

Durch das Projekt konnte gezeigt werden, dass bei optimierten Prozessbedingungen die Ausbeute der Monomere TFE und Hexafluorpropylen (HFP) nach der Depolymerisationsreaktion von PTFE-Reststoffen bei über 90 % liegt.

Um die Fluorpolymerreststoffe wieder aufzubereiten und den Materialkreislauf damit schließen zu können, ist es notwendig, neben der Recyclingtechnologie ein effizientes Rücknahmenetz zu etablieren und eine saubere Trennung der Stoffe zu gewährleisten. Dazu gehören die Identifizierung geeigneter Abfallquellen und die Zusammenarbeit mit einem qualifizierten Logistikpartner.

---

<sup>89</sup> Vgl. DBU (2012)

In Abbildung 19 ist das End-of-Life-Logistikkonzept von Dyneon dargestellt.

### EoL-Logistikkonzept - Übersicht

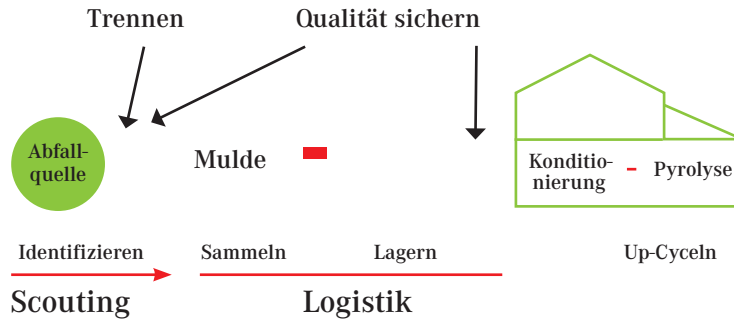


Abbildung 19: End-of-Life – Logistikkonzept<sup>90</sup>

Ermittlung des kumulierten Energieaufwands (KEA) bei der Herstellung 1 Tonne PTFE

Aktuell wird im VDI eine Methodik entwickelt, die ein einheitliches und zielgerichtetes Vorgehen bei der Ressourceneffizienzanalyse ermöglicht. Eine umfangreiche Ressourceneffizienzanalyse nach VDI 4800 Blatt 1 (Entwurf) setzt sich aus dem kumulierten Energieaufwand (KEA), einer Bewertung des Rohstoffaufwands und weiteren Umweltindikatoren zusammen.<sup>91</sup> Die VDI-Rahmenrichtlinie 4800 Blatt 1 liegt als Entwurf vor und beinhaltet Zielsetzung, Bilanzierungsgrundsätze und Strategien zur Umsetzung von Ressourceneffizienzmaßnahmen. Die Richtlinie 4800 Blatt 2 zur Bewertung des Rohstoffaufwands und die Richtlinie 4800 Blatt 3 zur Bewertung von Umweltindikatoren befinden sich momentan noch in der Erarbeitung. Die Richtlinie VDI 4600 zur Bestimmung des KEA-Wertes liegt vor. Sie wurde im Rahmen einer vergleichenden Lebenszyklusanalyse (LZA) nach ISO 14044 (durchgeführt von Dyneon) auf die Neuproduktion und auf die Herstellung über das Recyclingverfahren angewendet. Die Bewertung des KEA kann als richtungsweisender Anhaltspunkt für eine umfassende Ressourceneffizienzanalyse angesehen werden.

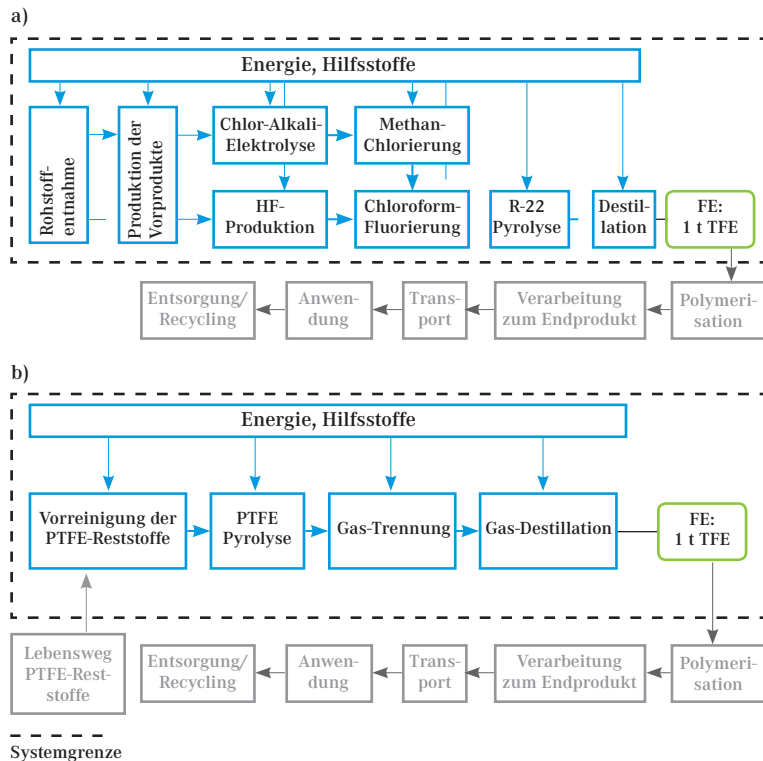
<sup>90</sup> Vgl. Dyneon GmbH (2013)

<sup>91</sup> Vgl. VDI (2014)



### Systemgrenzen

Um die natürlichen Ressourcen zu ermitteln, müssen zuerst die Systemgrenzen zur Herstellung von PTFE bzw. TFE festgelegt werden. Grundsätzlich sollte der gesamte Lebensweg von PTFE betrachtet werden. Da einige Schritte in beiden Verfahren gleich sind, d.h. die Polymerisation von TFE zu PTFE, die Verarbeitung zum Endprodukt, die Nutzung und anschließenden Verwertung oder Beseitigung, wird nur der Herstellungsprozess von TFE betrachtet. In Abbildung 20 sind die Systemgrenzen der a) konventionellen Herstellung von TFE und der b) Herstellung von TFE durch chemisches Recycling von PTFE-Reststoffen aufgezeigt.



**Abbildung 20: Systemgrenzen von a) konventioneller Herstellung von TFE und b) Herstellung von TFE durch chemisches Recycling von PTFE-Reststoffen<sup>92</sup>**

Der Rohstoffentnahme und Produktion der Vorprodukte bei der konventionellen Herstellung (siehe Abbildung 20a)

<sup>92</sup> Vgl. Abraham (2013)

entspricht beim chemischen Recycling (siehe Abbildung 20b) das Einsammeln der PTFE-Reststoffe vor Ort. Da Transport und Infrastruktur vernachlässigt wurden, beginnt die Systemgrenze hier mit der Vorreinigung der PTFE-Reststoffe.

Bei den einzelnen Verfahrensschritten innerhalb der konventionellen Produktion von PTFE fallen Koppelprodukte an (siehe auch Abbildung 18). Bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse wird der Energie- und Rohstoffeinsatz den Endprodukten  $\text{Cl}_2$ , NaOH und  $\text{H}_2$  massenanteilig zugeordnet. Auch HCl, das als Koppelprodukt in mehreren Prozessstufen anfällt und als wässrige Lösung (30 %) verkauft wird, müsste ein bestimmter Prozentsatz des Rohstoff- und Energiebedarfs zugeordnet werden. Als Nutzen wird in diesem Fall der Marktpreis gewählt. Die Differenz der Marktpreise von PTFE und HCl sind sehr groß, wobei PTFE bei weitem teurer ist als HCl. Da das Preisverhältnis bei 99,5 % zu 0,5 % liegt,<sup>93,94,95</sup> kann der Nutzen von HCl vernachlässigt werden und somit 100 % des Energiebedarfs und der Umweltauswirkungen PTFE zugeordnet werden.<sup>96</sup> Dies bedeutet, dass alle Eingänge und Ausgänge 100 % PTFE bzw. TFE zugeordnet werden. Gips wird als Reststoff angesehen und seine weitere Behandlung bei der Ermittlung des Energie- und Rohstoffaufwands berücksichtigt.

#### KEA-Berechnung für die Herstellung 1 Tonne TFE

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) wird gemäß VDI-Richtlinie 4600 definiert als Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands, der im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines ökonomischen Guts (Produkt oder Dienstleistung) entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann. Er setzt sich aus Summe der kumulierten Energieaufwendungen für die Herstellung ( $\text{KEA}_H$ ), die Nutzung ( $\text{KEA}_N$ ) und die Entsorgung ( $\text{KEA}_E$ ) eines ökonomischen Gutes, in diesem Fall einer Tonne PTFE, zusammen:<sup>97</sup>

$$\text{KEA} = \text{KEA}_H + \text{KEA}_N + \text{KEA}_E$$

<sup>93</sup> Vgl. Althaus et al. (2007)

<sup>94</sup> Vgl. Guinée (2001)

<sup>95</sup> Vgl. Abraham (2013)

<sup>96</sup> Vgl. Althaus et al. (2007)

<sup>97</sup> Vgl. VDI (2012)

Wie bereits erwähnt, wird in dieser Fallstudie der KEA für die Herstellung einer Tonne TFE ermittelt. Der  $KEA_H$  ergibt sich aus der Summe der primärenergetisch bewerteten Energieaufwendungen, die sich bei der Herstellung selbst sowie bei der Gewinnung, Verarbeitung, Herstellung und Entsorgung der Fertigungs-, Hilfs- und Betriebsstoffe und Betriebsmittel für eine Tonne TFE ergeben (VDI-Richtlinie 4600). Er umfasst energetisch als auch stofflich eingesetzte Energieträger.

Die Ermittlung des KEA bezieht sich auf Daten aus der ecoinvent-Datenbank sowie auf Literaturangaben und Firmenangaben von Dyneon. Bei der Betrachtung des chemischen Recyclings muss berücksichtigt werden, dass sich dieses Verfahren noch in der Demonstrationsphase befindet und bisher nicht in großem Maßstab etabliert wurde. Die Ergebnisse sind daher mit Unsicherheiten behaftet. PTFE-Reststoffe, die dem chemischen Recycling zugeführt werden, weisen einen unterschiedlichen Füllstoffanteil, der zwischen 0 und 20 % liegt, auf. Für die Ermittlung des kumulierten Energieaufwandes wird ein Füllstoffanteil von 10 % angenommen.

**Tabelle 10: Fallstudie 4: Energieverbrauch bei der Herstellung einer Tonne TFE**

Energieverbrauch in MJ	Option a: KEA zur Herstellung einer Tonne TFE über R22		Option b: KEA zur Herstellung einer Tonne TFE über chemisches Recycling von PTFE (10 % Füllstoffanteil im EoL-PTFE)	
	energetisch	stofflich	energetisch	stofflich
Erdgas	70.400	26.300	30.920	-
Kohle	37.900	-	9.730	-
Erdöl	17.100	-	6.550	-
Uran	39.100	-	10.130	-
Biomasse	1.480	-	410	-
Wasserkraft	4.390	-	1.180	-
Sonstige (Solar, Wind)	1.330	-	160	-
<b>Gesamt</b>	<b>171.700</b>	<b>26.300</b>	<b>59.080</b>	<b>-</b>

Der KEA zur Herstellung einer Tonne TFE über R-22 beträgt 198.000 MJ (171.700 MJ energetischer Aufwand und 26.300 MJ stofflicher Aufwand) und ist somit um den Faktor 3,4 höher als der KEA zur Herstellung einer Tonne TFE durch chemisches Recycling, der bei 59.080 MJ liegt (siehe Tabelle 10). Bei der Betrachtung des KEAs der zwei Verfahren wird ersichtlich, dass das Recycling energetisch gesehen sehr viel ressourceneffizienter ist. Dabei muss berücksichtigt werden, dass auch bei der Anwendung des Recyclingverfahrens das PTFE ursprünglich über R22 hergestellt wurde und PTFE auch weiterhin konventionell produziert werden muss, um den Bedarf abzudecken, wenn auch in geringeren Mengen. Doch auch unter der Annahme, dass nur ein bestimmter Anteil von PTFE über chemisches Recycling hergestellt werden kann, wird der Energieaufwand reduziert.

## 5.5. Fallstudie 5: Ressourceneffizienz durch innovative Rohrleitungsreinigung

### Hintergrund

Am Standort Ober-Ramstadt der Deutschen Amphibolin-Werke von Robert Murjahn Stiftung & Co. KG werden wasserbasierte Dispersionsfarben hergestellt und abgefüllt. Mischphasen bei Chargenwechsel und Reinigung stellen in einem klassischen Produktionsbetrieb häufig Verfahrensschritte dar, die große Produktverluste verursachen und insbesondere bei teuren Produkten die Produktionskosten in die Höhe treiben.

### Kurzbeschreibung des Prozesses

Bei einer Rohrleitungsstrecke mit einer Länge von 200 m und einer Rohrleitungsdimension von DN 125 wurden die ersten 40 m vom Mischtank bis zur Übergabe an ein weitverzweigtes Rohrleitungsnetz mit Hilfe von Wasser ausgeschoben und gereinigt. Dies erfolgte aufgrund häufigen Chargenwechsels circa sechsmal am Tag.

### Durchgeführte Maßnahmen zur Effizienzsteigerung

Zur Optimierung der Reinigung der Rohrleitung wurden verschiedene Technologien betrachtet und verglichen und anschließend die Whirlwind-Technologie der Ruland Engineering & Consulting GmbH als effizienteste Technologie ausgewählt. Die folgenden Informationen zu dieser Technologie basieren auf Ausführungen von Scheller<sup>98</sup> und der Ruland Engineering & Consulting GmbH<sup>99</sup>.

Bei der Whirlwind-Technologie wird in einem mehrstufigen Verfahren ein Luftstrom erzeugt, der vorhandene Rohrleitungen entleert und reinigt. Zur Steigerung der Reinigungsergebnisse können Wasser oder Reinigungsmittel in den Luftstrom dosiert werden. In den ersten zwei Schritten wird das Produkt mit einem Luft-Gasstrom-Gemisch aus der Rohrleitung herausgedrückt. In einem weiteren Schritt wird das System unter Zusatz von

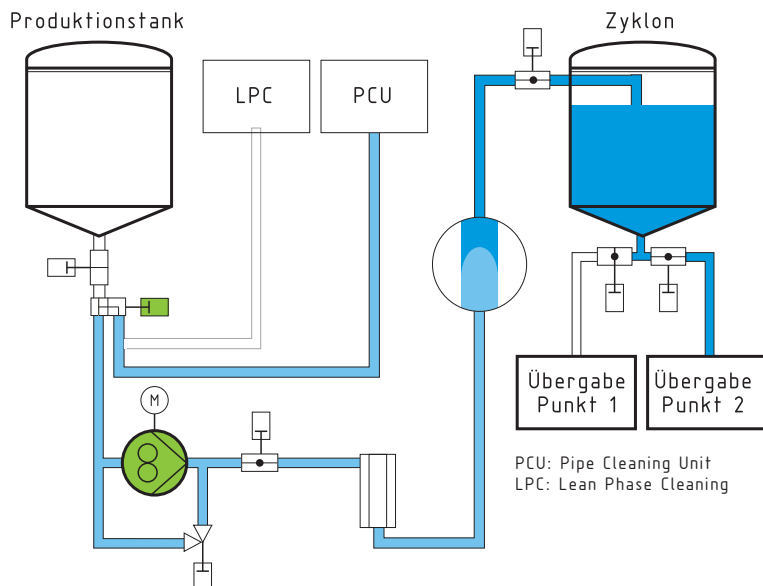
<sup>98</sup> Vgl. Scheller (2014)

<sup>99</sup> Vgl. Ruland Engineering & Consulting GmbH (2014)

Reinigungsmittel gereinigt und kann anschließend noch getrocknet werden.

Dazu wurden eine Whirlwind-Basiseinheit und ein Whirlwind-Reinigungsmodul in den Prozess integriert und an geeigneter Stelle mit der Rohrleitung verbunden. Die „Basiseinheit“ dient der Erzeugung und Kontrolle der Luftströme, das „Reinigungsmodul“ der Zuführung und Dosierung des Reinigungsmittels. Des Weiteren wurden Ventile zur Wegeschaltung und am Ende der Strecke ein Fliehkraftabscheider zur Abscheidung von Flüssigkeit aus dem Luftstrom installiert (siehe Abbildung 21).

Die Whirlwind-Technologie eignet sich gut bei wasserähnlichen und höherviskosen Stoffen. Sie kann auch bei Standard-Einbauten wie Ventilen und Sensoren problemlos eingesetzt werden. Begrenzungen gibt es lediglich bei Nennweitsprüngen ab zwei Rohrnennweiten innerhalb einer Leitung oder bei absperrenden Elementen wie z. B. Verdrängerpumpen. Mit Hilfe eines Bypasses können aber auch derartige Hürden übersprungen werden.



**Abbildung 21: Reinigung der Rohrleitung vom Produktionstank zur Übergabestation mit der Whirlwind-Technologie<sup>100</sup>**

<sup>100</sup> Vgl. Scheller (2014)

## Wirkung

Durch die Anwendung der Whirlwind-Technologie konnte die Produktausbeute um circa 16 % auf insgesamt 90 bis 95 % erhöht werden. Die normalerweise benötigte Reinigungsmittelmenge (Wasser) konnte um über 70 % auf 100 l/Reinigungsvorgang reduziert werden (siehe Tabelle 11). Somit konnte auch der Anfall von Abwasser und Produktabfall um circa 70 % gesenkt werden. Damit konnte die Reinigung intensiviert und die Produktverschleppung minimiert werden. Zusätzlich verkürzte sich die Reinigungszeit auf unter 20 Minuten.

Angaben zu Auswirkungen auf den Stromverbrauch liegen nicht vor. Zur Erzeugung des Luftstroms über Gebläse/Kompressoren wird Strom benötigt. Auf der anderen Seite wird der frühere Stromverbrauch auch reduziert, da kein Wasser mehr durch die Rohre gepumpt werden muss.

**Tabelle 11: Fallstudie 5: Auswirkungen auf die Ressourceneffizienz**

Stoff	Reduktion (%)
Wasser	70
Abwasser/Produktabfall	~ 70

## Kosteneffizienz

Konkrete Angaben zu Investitionskosten und Amortisationszeiten für diese Fallstudie können nicht vorgenommen werden. Nach Herstellerangaben betragen die Investitionskosten für den Einbau eines Whirlwind-Reinigungssystems je nach Rohrleitungssystem und Reinigungsbedarf zwischen circa 300.000 und 800.000 Euro und die Amortisationszeiten liegen zwischen circa einem und drei Jahren.

### 5.6. Fallstudie 6: Ressourceneffizienz durch Verbesserung des Abgasreinigungssystems

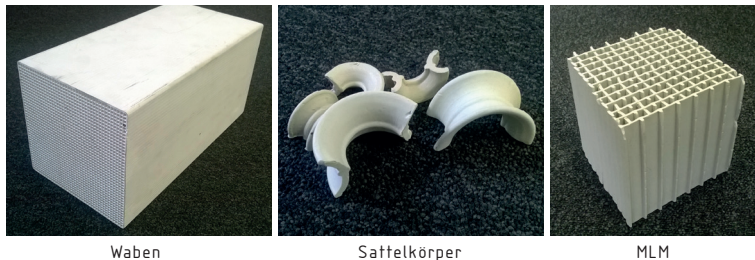
#### Hintergrund

Die Firma Dürr hat wabenförmige Keramikeinbauten entwickelt, mit denen der thermische Wirkungsgrad von

Abgasreinigungsanlagen verbessert werden kann. Die Wabenkörper sind durch ihre hohe spezifische Oberfläche für den Wärmeaustausch das Mittel der Wahl hinsichtlich einer Umrüstung von Altanlagen. Zusätzlich kann durch die Wabenkörper der Druckverlust der Anlage reduziert werden, was sich im stark reduzierten elektrischen Energieverbrauch widerspiegelt. Als weiterer Vorteil kann auch eine Erhöhung der zu reinigenden Abgasmenge durch den Austausch erzielt werden. Ein Austausch ist daher auch sinnvoll bei einer Erweiterung der Produktion. Dadurch lässt sich unter Umständen die Beschaffung einer zusätzlichen Anlage vermeiden.

#### Ausgangssituation und durchgeführte Maßnahmen zur Effizienzsteigerung

In diesem Beispiel, basierend auf Ausführungen von Dürr Systems GmbH<sup>101,102</sup>, hat ein Produktionsunternehmen in der chemischen Industrie Energie gespart, indem es die Füllung seiner Regenerativen Thermischen Oxidationsanlage (RTO-Anlage) zur Abgasreinigung ausgetauscht hat. Die Keramik-Sattelkörper wurden durch wabenförmige Keramikeinbauten ersetzt. In Abbildung 22 sind die verschiedenen keramischen Wärmetauscher dargestellt. Die Umbauzeit betrug eine Woche.



**Abbildung 22: Keramische Wärmetauscher, © Dürr Systems GmbH**

<sup>101</sup> Vgl. Dürr Systems GmbH (2013)

<sup>102</sup> Vgl. Dürr Systems GmbH (2014)



## Wirkung

Durch diese Maßnahme hat sich der thermische Wirkungsgrad der Anlage um circa 4 % von 91,4 auf 95,5 % erhöht. Die Austrittstemperatur des Abgases aus der RTO-Anlage konnte um circa 30 °C gesenkt werden und der autotherme Betrieb hat sich auch bei niedrigen Lösemittelkonzentrationen im Abgas deutlich verlängert (siehe Abbildung 23).

Der Erdgasverbrauch konnte somit um circa 50 % reduziert werden, der Stromverbrauch um circa 33 %. Die Betriebskosten konnten halbiert werden (siehe Tabelle 12 und Abbildung 23).

Technische Daten	vor Umbau	nach Umbau		
Volumenstrom	21.000	21.000	Differenz	Nm <sup>3</sup> /h
Lsgm. konzentratin	1	1		g/Nm <sup>3</sup>
Ablufttemperatur	20	20		°C
Austrittstemperatur RTO	89	56		°C
Wirkungsgrad	91,4	95,5		%
Gaskosten		0,035		[€/kWh]
Stromkosten		0,0795		[€/kWh]
Betriebsstunden		6.200		[h/a]
Schadstoffheizwert		7,1		kWh/kg
Verbräuche				
Gas (mit Lösungsmittel)	440	180	260	kW
Gas (ohne Lösungsmittel)	590	330	260	kW
Strom (berechnet)	99	63	36	kW
Betriebskosten				
Gas (mit Lösungsmittel)	15,4	6,3	9,1	€/h
Gas (ohne Lösungsmittel)	20,65	11,55	9,1	€/h
Strom	7,87	5,0	2,87	€/h
Gesamt pro Stunde (mit Lsgm.)	23,27	11,3	11,97	€/h
Gesamt pro Jahr (mit Lsgm.)	144.274	70.060	74.214	€/Jahr

Abbildung 23: Überblick über die Energieverbräuche und Betriebskosten vor und nach dem Umbau, ©Dürr Systems GmbH

Tabelle 12: Fallstudie 6: Reduktion des Energieverbrauchs

Ressourcen	Einheit	Ressourcenverbrauch vor Maßnahme	Ressourcenverbrauch nach Maßnahme	Reduktion total	Reduktion (%)
Wärme	kWh	1030	510	520	~ 50
Strom	kWh	99	63	36	~ 35

### Kosteneffizienz

Insgesamt konnten bei dem Unternehmen 74.214 Euro pro Jahr eingespart werden. Die Amortisationszeit betrug circa zwei Jahre (siehe Tabelle 13 und Abbildung 23).

**Tabelle 13: Fallstudie 6: Kosteneffizienz**

Maßnahme	ges. Investition (€)	Betriebskosten (€/Jahr)	Einsparung (€/Jahr)	Amortisationszeit (a)
Austausch der Füllung der Abgasreinigungsanlage	~ 150.000	70.000	74.214	~ 2

### 5.7. Fallstudie 7: Ressourceneffizienz durch Wärmerückgewinnung

#### Ausgangssituation

Eine Pharmafirma stellt Generika her, welche in chemischen Batch-Reaktoren produziert werden. Um in den Prozessreaktoren jederzeit die benötigten Temperaturen herstellen zu können und damit die Reaktionen genau und kontrolliert ablaufen zu lassen, werden Betriebsmedien mit drei unterschiedlichen Temperaturniveaus zur Verfügung gestellt:

- Thermalöl mit 120 °C
- Wasser mit 90 °C
- Propylenglykol-Wasser-Gemisch mit -10 °C

Das warme Wasser und das kalte Propylenglykol-Wasser-Gemisch müssen im Rücklauf vom Prozess erneut von 70 auf 90 °C erhitzt bzw. von -4 auf -10 °C gekühlt werden. Dabei erfolgte die Erhitzung des Wassers bisher über einen konventionellen Kessel-Heizprozess, der auf fossilen Brennstoffen basierte. Die Kälteerzeugung zur Kühlung des Propylenglykol-Wasser-Gemisches fand über eine herkömmliche Kältemaschine statt. Prozesswärme und -kälte wurden getrennt erzeugt.

Das betreffende Pharmaunternehmen wurde zu diesem Prozess von der Firma thermea. Energiesysteme GmbH beraten. Dieses

mittelständische Unternehmen stellt in Deutschland unter dem Markennamen thermecoil Hochtemperaturwärmepumpen, Kältemaschinen und Drucklufttrockner für den industriellen Einsatz und die Gebäudetechnik her. Das folgende Beispiel basiert auf Informationen der thermea. Energiesysteme GmbH.<sup>103, 104</sup>

### Durchgeführte Maßnahmen zur Effizienzsteigerung

Da bei dem Pharmaunternehmen sowohl Kühl- als auch Heizprozesse stattfinden, lag es hier nahe, eine Wärmepumpe als Bindeglied zwischen beiden Prozessen einzubauen. Das Prinzip des thermea-Wärmepumpen-Kreisprozesses ist analog dem linksläufigen Kreisprozess bei herkömmlichen Kompressionskältemaschinen bzw. Wärmepumpen. Mit dieser Wärmepumpe wird auf der Kaltwasserseite das Propylenglykol-Wasser-Gemisch von -4 auf -10 °C gekühlt und auf der Warmwasserseite das Wasser von 70 auf 90 °C erhitzt (siehe Abbildung 24). Die Wärmepumpe wird mit dem natürlichen Kältemittel CO<sub>2</sub> betrieben. So wird der bestehende Heizprozess (Gaskessel) im Rücklaufsystem ersetzt und hauptsächlich nur noch als Redundanz benötigt.

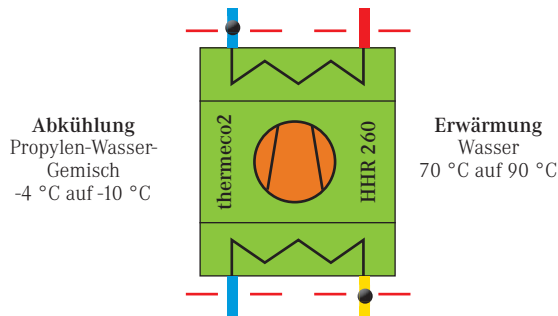
Zur Erreichung der hohen Wassertemperaturen wird in der thermea-Wärmepumpe das CO<sub>2</sub> bis in den überkritischen Bereich verdichtet. Die Energie des überkritischen Kältemittels wird isobar an Wasser abgegeben.

Herausforderungen an den neuen Prozess sind die hohen Drücke von bis zu 115 bar, die an die eingesetzten Wärmetauscher und Ventile große Ansprüche stellen. Letztendlich ist auch die Regelung des Kreisprozesses von immenser Bedeutung und wird mit einer eigens entwickelten Software beherrscht.

---

<sup>103</sup>Vgl. thermea. Energiesysteme GmbH (2013)

<sup>104</sup>Vgl. thermea. Energiesysteme GmbH (2014)



**Abbildung 24: Schematische Darstellung des thermea-Wärmepumpen-Systems<sup>105</sup>**

**Wirkung**

Durch den Einbau der Wärmepumpe konnten 100 % Wärmeenergie im Rücklaufsystem gespart werden. Die Einsparung des benötigten Stroms ist schwieriger zu ermitteln, da die Stromverbräuche der bisher eingesetzten Kältemaschine je nach Außentemperatur schwankten. Die thermea. Energiesysteme GmbH schätzt den bisher im Jahresdurchschnitt angefallenen Stromverbrauch auf circa 595.000 kWh. Bei einem durchschnittlichen Stromverbrauch von 525.000 kWh pro Jahr durch die neue Wärmepumpe konnte eine Reduktion von ~ 70.000 kWh pro Jahr erzielt werden (siehe Tabelle 14).

**Tabelle 14: Fallstudie 7: Reduktion des Energiebedarfs**

Ressourcen	Einheit	Ressourcenverbrauch vor Maßnahme	Ressourcenverbrauch nach Maßnahme	Reduktion total	Reduktion (%)
Prozessenergie	kWh/Jahr	644.000	0	644.000	100
Strom	kWh/Jahr	~ 595.000	~ 525.000	~ 70.000	~ 13

Ein weiterer positiver Nebeneffekt zur Energieeinsparung zeigt sich in der Reduzierung des Einsatzes klimaschädlicher Treibhausgase, da die bisher eingesetzte Kältemaschine ein Kältemittel mit hohem Treibhauspotenzial enthielt. Die neue

<sup>105</sup> Vgl. thermea. Energiesysteme GmbH (2014)

Wärmepumpe verwendet CO<sub>2</sub> als Kältemittel und ist damit weniger klimaschädlich.

### Kosteneffizienz

Durch den Einsatz der Wärmepumpe konnten die Kosten für die Wärme- und Kälteerzeugung erheblich gesenkt werden.

Werden die in Deutschland typischen Kostensätze für Wärme (0,048 Euro/kWh) und Strom (0,11 Euro/kWh) bei einer jährlichen Anlagenlaufzeit von 7.000 h als Berechnungsgrundlage herangezogen, ergibt sich eine Einsparung von circa 38.000 Euro/a. Die damit verbundene Investition von circa 140.000 Euro amortisiert sich somit in circa 3,6 Jahren (siehe Tabelle 15).

**Tabelle 15: Fallstudie 7: Kosteneffizienz**

Maßnahme	ges. Investition (€)	Betriebskosten (€/Jahr)	Einsparung (€/Jahr)	Amortisationszeit (a)
Einbau einer Wärmepumpe	~ 140.000	--	~ 38.000	~ 3,6

## 6. LÖSUNGEN ZUR REALISIERUNG VON RESSOURCENEFFIZIENZPOTENZIALEN

Basierend auf der Potenzialanalyse wurden verschiedene Ressourceneffizienzpotenziale identifiziert. Um diese weiter auszuschöpfen, werden in diesem Kapitel Lösungsvorschläge, vorrangig auf Unternehmensebene sowie für Politik und Verbände, dargestellt (siehe Abbildung 25). In erster Linie sind die Unternehmen dafür verantwortlich, ihre Produktionsprozesse zu optimieren und die Ressourcenverbräuche zu minimieren. Politik und Verbände können sie dabei unterstützen und die Entwicklung mit gezielten Anreizen weiter vorantreiben. Verschiedene Lösungsvorschläge finden sich auch im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) der Bundesregierung<sup>106</sup>, in dem 20 Handlungsansätze entlang der Wertschöpfungskette für die gesamte deutsche Industrie beschrieben werden.

Als grundlegender Hebel zur Realisierung von Ressourceneffizienzpotenzialen wird die Erhebung geeigneter Kennzahlen gesehen, anhand derer das Ressourceneffizienzpotenzial einzelner Produkte, Produktionsprozesse und Betriebe analysiert werden kann.

Lösungsansätze für Politik und Verbände				
Ausbau der Datengrundlage	Lösungsansätze für Unternehmen			Förderung von Verbundstandorten
Unterstützung bei der Erstellung geeigneter Kennzahlen zu Ressourcennutzung und Effizienz	Kernprozesse	Peripherie	Methoden	Intensivierung von F&E-Maßnahmen
Förderung innovativer Geschäftsmodelle	<b>Allgemein</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ganzheitliche Betrachtung der Produktionsverfahren mittels geeigneter Kennzahlen</li> <li>• Schaffen einer Datenbasis</li> <li>• Schärfung des Bewusstseins für Ressourceneffizienz</li> <li>• Informations- und Erfahrungsaustausch</li> <li>• Nutzung von Verbundsystemen</li> <li>• Nutzung von Förderprogrammen</li> </ul>			Informationen und Verbreitung von Ressourcenmanagementsystemen
Unterstützung virtueller Vernetzung				Bildungsinitiativen zu Ressourceneffizienz

Abbildung 25: Übersicht der Lösungsansätze zur Realisierung von Ressourceneffizienzpotenzialen

<sup>106</sup> Vgl. BMU (2012a)

### 6.1. Lösungsansätze für die betriebliche Ebene

Bei der Entwicklung der Lösungsvorschläge für KMU der chemischen Industrie wurde insbesondere darauf geachtet, pragmatische Ansätze zur Ausschöpfung von Ressourceneffizienzpotenzialen zu formulieren, da große perspektivische Ansätze in der Regel nicht zu einer Motivierung einzelner Betriebe führen. Die Lösungsvorschläge basieren auf der Auswertung der recherchierten Informationen und Fallbeispiele. In den einzelnen Vorschlägen wird öfter Bezug auf bestimmte Fallbeispiele genommen, die entsprechend dem Prozessbereich, den sie betreffen, mit M (= Methoden), K (= Kernprozesse) und P (= Peripherie) gekennzeichnet sind. Die einzelnen Fallbeispiele sind in der Übersichtstabelle<sup>107</sup> dargestellt.

#### 6.1.1. Allgemein

Ganzheitliche Betrachtung der Produktionsverfahren mittels geeigneter Kennzahlen

Der Vorteil einer ganzheitlichen Betrachtung von Betriebsprozessen und Produktionssystemen liegt darin, dass sie zur Identifizierung von Ressourceneffizienzmaßnahmen und Kosteneinsparungen führen kann. Kennzahlen dienen dabei als Entscheidungshilfe für Geschäftsführung, Vertrieb, Einkauf und Produktion. Dabei sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Konsistenz der Systemgrenzen und vollständige Erfassung der Daten (Input/Output von allen Wert- und Rohstoffen und deren Preise),
- Berücksichtigung technischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte und Bildung entsprechender Kennzahlen.

Ein technisches Ziel ist hierbei die Erhöhung der Produktivität, ein ökonomisches Ziel die Senkung der Prozesskosten und ein ökologisches Ziel die Reduzierung der Umweltbelastung.<sup>108</sup> Die Interaktionen zwischen technischen, ökonomischen und ökologischen Aspekten sind in Abbildung 26 dargestellt.

---

<sup>107</sup> [www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien](http://www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien)

<sup>108</sup> Vgl. Steinbach (2013)



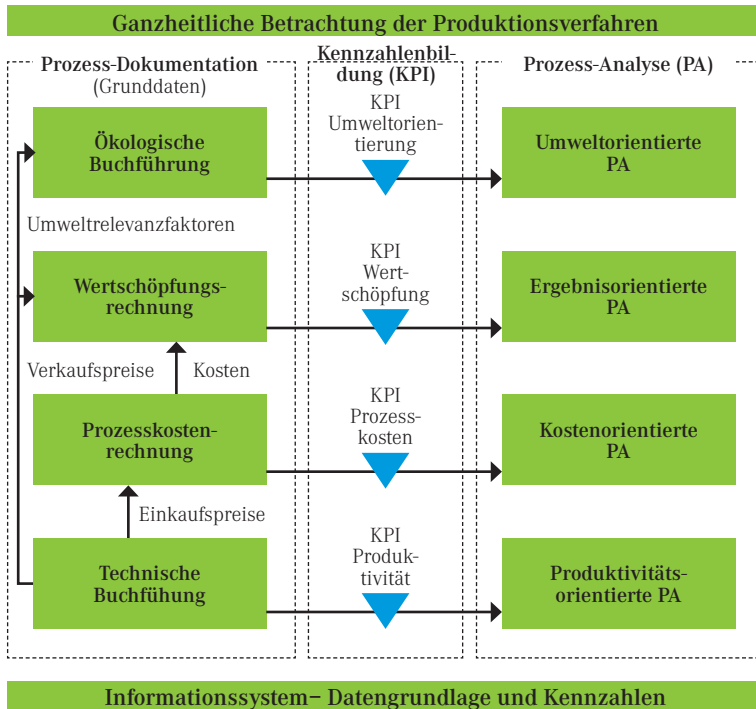


Abbildung 26: Erstellung der Datengrundlage und Indikatoren (Kennzahlen) zur ganzheitlichen Betrachtung von Produktionsverfahren (eigene Darstellung in Anlehnung an Steinbach<sup>109</sup>)

Eine einheitliche Datenbasis für alle Kennzahlen ermöglicht es dem Management, eventuelle Ressourceneffizienzmaßnahmen zu vergleichen und abzuwägen.

Mögliche ökonomische Kennzahlen sollten Prozesskosten sowie die Prozesswertschöpfung beinhalten. Steinbach<sup>110</sup> empfiehlt hier beispielsweise folgende Kennzahlen:

- Die stoffliche „Wertschöpfungs-Umsatz-Rendite“ ist eine Kennzahl, die den Anteil der stofflichen Wertschöpfung am Umsatz angibt.

<sup>109</sup> Vgl. Steinbach (2013)

<sup>110</sup> Vgl. ebd.

- Der „Break-even-Point“ (BEP) zeigt bei einem festgesetzten Preisniveau (für Rohstoff, Produkt oder Reststoff), bei welcher Auslastung die Gewinnschwelle erreicht wird.

Mit einer einfachen Sensitivitätsanalyse können Entscheidungsträger somit die Risiken der damit verbundenen Maßnahmen genauer einschätzen.

### Schaffen einer Datenbasis

Eine solide Datenbasis bildet eine wesentliche Voraussetzung, um Potenziale zu ermitteln. Allein durch das Sammeln und Auswerten aller vorhandenen Daten, die an unterschiedlichen Stellen in einem Unternehmen bereits gemessen werden (z. B. Wasserzähler, Steuerungselemente etc.), können in einem zentralen System um die 5 bis 10 % der eingesetzten Ressourcen eingespart werden, ohne größere Investitionen tätigen zu müssen.<sup>111</sup> Diese Aussage wurde durch einige Fallbeispiele bestätigt. In den aufgezeigten Fallbeispielen, in denen spezielle Software Tools und zusätzliche Sensorikinstrumente eingeführt wurden, fielen die Potenziale z. T. noch erheblich größer aus.

Daher läge ein Lösungsansatz für die Unternehmen darin, alle ihre bereits gemessenen Daten in einem zentralen System zu erfassen, um sie jederzeit auswerten zu können und damit einen Überblick über den Prozess und mögliche Potenziale zu bekommen. Um noch größere Potenziale zu erreichen, könnte eine spezielle Software eingeführt werden, die die bereits vorhandenen Daten zusammenführt und an mehreren zusätzlichen Messpunkten weitere Daten misst (siehe z. B. Beispiel M21).

### Schärfung des Bewusstseins für Ressourceneffizienz

Eine Schärfung des Bewusstseins der Unternehmen sowie auch der Mitarbeiter bezüglich Ressourceneffizienz ist ein essenzieller Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens sowie zur Wahrnehmung der unternehmerischen Verantwortung.

Das Bewusstsein kann unter anderem innerbetrieblich sowie außerhalb durch Fortbildungen, Schulungen und

---

<sup>111</sup> Vgl. Steinhaus Informationssysteme GmbH (2014)

Workshops gefördert werden. Durch gezielte Anreize, z. B. beim innerbetrieblichen Vorschlagswesen, kann das Bewusstsein der Mitarbeiter weiter geschärft und somit Ressourceneffizienzpotenzial ausgeschöpft werden. Dass das Stärken des Bewusstseins sowie die stärkere Einbeziehung von Mitarbeitern die Ressourceneffizienz sowie auch die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens erhöhen können, bestätigte auch die 11. Netzwerkkonferenz des Netzwerks Ressourceneffizienz mit dem Thema „Beschäftigte und Qualifizierung: Motoren der Ressourceneffizienz“. Durch zahlreiche Beispiele und Studien werden verschiedene Wege gezeigt, wie Mitarbeiter stärker einbezogen und welche Vorteile daraus gezogen werden können.<sup>112</sup>

In den hier analysierten Fallbeispielen wird insbesondere bei der Einführung von Managementsystemen deutlich, dass die Ressourceneffizienz durch Schulung und Einbindung der Mitarbeiter gesteigert werden kann. Geschultes Personal, das ein Bewusstsein für Ressourceneffizienz entwickelt hat, kann Ressourceneffizienzpotenziale, die sonst oft gar nicht wahrgenommen worden wären, eher erkennen und ausschöpfen sowie durch gezielten Informationsaustausch weitergeben. Daher bieten alle in der Beispielliste aufgeführten Firmen, die Umweltmanagementsysteme eingeführt haben, entsprechende Schulungen und weitere Maßnahmen für ihre Mitarbeiter an (siehe Beispiele M07, M13, M14).

### Informations- und Erfahrungsaustausch

Durch regelmäßigen Erfahrungsaustausch innerhalb eines Betriebes, zwischen mehreren Standorten/Betrieben, aber auch zwischen unterschiedlichen Betrieben bezüglich ressourcenschonender Maßnahmen kann die Ressourceneffizienz im eigenen Betrieb gesteigert werden. Laut einer Mitgliederbefragung der VDI-GVC<sup>113</sup> bestehen bereits Möglichkeiten in den Unternehmen zum externen Erfahrungsaustausch und Wissenstransfer. Knapp 50 % der etwa 400 Befragten, sehen eine Möglichkeit im Erfahrungsaustausch

<sup>112</sup> Vgl. <http://www.neress.de/veranstaltungsarchiv/11-netzwerkkonferenz.html>, aufgerufen am 28. August 2014

<sup>113</sup> GVC-Mitgliederumfrage 2014 - Innovationsfähigkeit der Verfahrenstechnik, <http://www.process.vogel.de/management/articles/461203/> (abgerufen am 07.10.2014)

mit Kunden, etwa 50 % mit Lieferanten, etwa 48 % mit Apparateherstellern und über 60 % zwischen den Unternehmen. Dies zeigt, dass bereits ein reger Erfahrungsaustausch zwischen den einzelnen Akteuren der Lieferkette stattfindet. Dieser kann noch gesteigert werden, um weitere Ressourceneffizienzpotenziale auszuschöpfen. Eine Möglichkeit dazu besteht in dem Nutzen bereits etablierter Plattformen zum Erfahrungsaustausch. Ein Beispiel hierfür ist die Wissens- und Kommunikationsplattform für Fach- und Führungskräfte aus den energieintensiven Industrien von der Medienmarke PROCESS, um den Erfahrungsaustausch verschiedener Betriebe in den energieintensiven Wirtschaftsbranchen zu fördern.<sup>114</sup> Ziel ist es dabei unter anderem, durch einen Austausch mit Best-Practice-Unternehmen bereits erfolgreich umgesetzte Maßnahmen an andere Unternehmen weiterzuvermitteln, um damit den Prozess und die Ressourceneffizienz zu optimieren.

### Nutzung von Verbundsystemen

Auch durch das Zusammenschließen zweier oder mehrerer Unternehmen zu einem Verbund lassen sich Ressourceneffizienzpotenziale ausschöpfen (siehe Beispiel M17). Dies kann entweder geschehen, indem die anfallenden Koppelprodukte eines Chemieunternehmens von einem anderen Chemieunternehmen als Eingangsstoff genutzt werden oder indem mehrere Unternehmen zusammen die gleiche Infrastruktur nutzen. Diese Möglichkeiten sollten bei einer Neugründung oder einem Standortwechsel immer geprüft werden.

Chemieunternehmen mit festem Standort könnten prüfen, ob im näheren Umkreis andere Firmen oder Anlagen angesiedelt sind, mit denen sich Synergieeffekte erschließen lassen könnten. So hat z. B. ein Chemieunternehmen die Abwärme aus zwei nahegelegenen Biogasanlagen (BHKW) abgenommen und konnte damit den Einsatz fossiler Brennstoffe bei der Wärmeerzeugung für die Produktion und die Gebäudeheizung stark reduzieren (siehe Beispiel P07).

Bei der Nutzung von Verbundsystemen sollte immer darauf geachtet werden, dass diese wirtschaftlich sinnvoll sind und

<sup>114</sup> Vgl. [www.energy-excellence-forum.de/de](http://www.energy-excellence-forum.de/de), aufgerufen am 23.06.2014

sich die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Betrieben und Prozessen und damit auch die organisatorische Komplexität des Produktionsablaufs nicht negativ auf die Effizienz der Unternehmen auswirken. Dies muss im Einzelfall entschieden werden.

### Nutzung von Förderprogrammen

Einige der in der Potenzialanalyse herangezogenen Fallbeispiele sind mit größeren Investitionen verbunden und konnten nur realisiert werden, da sie von externen Institutionen gefördert wurden. Viele KMU können sich größere Investitionen ohne Förderungen oft nicht leisten und schöpfen daher mögliche offensichtliche Ressourceneffizienzpotenziale nicht aus. Da es bereits viele Fördermöglichkeiten gibt, sollte bei möglichen Prozessänderungen zur Effizienzsteigerung unbedingt geprüft werden, ob eine dieser Fördermöglichkeiten genutzt werden kann. Dabei sollte immer darauf geachtet werden, dass die Maßnahmen wirtschaftlich sinnvoll sind. Einige Förderprogramme werden auf der Website [www.ressource-deutschland.de](http://www.ressource-deutschland.de) (VDI ZRE) vorgestellt.<sup>115</sup>

#### 6.1.2. Methoden

##### Monitoring, Analyse

Mithilfe geeigneter Analyse- und Monitoringverfahren können vorhandene Ressourceneffizienzpotenziale aufgedeckt und anschließend ausgeschöpft werden. Allerdings fehlt einigen Unternehmen oftmals der Überblick über die einzelnen Prozessintensitäten und Ressourcenverbräuche, da sie keine Prozessdaten erheben und analysieren. Auch kennen sie die Materialeffizienz der einzelnen Schritte nicht, da es hierfür keine bzw. nur wenige Kenngrößen gibt.<sup>116</sup>

Mittels eines Monitorings bzw. einer Analyse der einzelnen Produktionsschritte können Material- und Energieverbräuche sowie Stördaten analysiert und einzelne Ressourceneffizienzpotenziale aufgezeigt werden (siehe Beispiele

<sup>115</sup> Vgl. [www.ressource-deutschland.de/instrumente/foerderung-beratung](http://www.ressource-deutschland.de/instrumente/foerderung-beratung), aufgerufen am 20.08.2014.

<sup>116</sup> Vgl. Steinbach (2013)

M15, M19, M21). Zur Durchführung der Analyse bieten sich z. B. die Einführung von Kennzahlensystemen, die Modellierung von Stoffströmen (z. B. Sankey) oder das Aufstellen von Energie-, Material- bzw. Ökobilanzen (z. B. GaBi) als Werkzeuge zur Ressourceneffizienz an.

Für die Durchführung einer qualifizierten externen Beratung zur Steigerung der Rohstoff- und Materialeffizienz gibt es bereits staatliche Förderungen wie z. B. Innovationsgutscheine vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Diese Möglichkeiten sollten geprüft werden.

Da bei einer Analyse des Produktionsprozesses meist Ressourcen und dadurch Rohstoffkosten eingespart werden können, amortisieren sich die Investitionskosten in der Regel sehr schnell (siehe z. B. M01).

Kostenlose Tools zur Durchführung von Analysen und Bewertungen bezüglich der Ressourceneffizienz sind unter anderem:

- Tool zur Analyse von Ressourceneffizienzpotenzialen in Unternehmen sowie weitere themen-spezifische Module; VDI Zentrum Ressourceneffizienz [www.ressource-deutschland.de/ressourcenchecks](http://www.ressource-deutschland.de/ressourcenchecks)
- Tool zur Durchführung einer Stoffstromanalyse, Bereitstellung von Branchenwerten zum Vergleich; Informationsplattform des Umweltministeriums Baden-Württemberg zum Thema Ressourceneffizienz. [www.umwelttechnikpreis.de/reffim/de/themen](http://www.umwelttechnikpreis.de/reffim/de/themen)
- Online-Tool für ein effizientes Lösemittelmanagement (VOC-Tool); Effizienzagentur NRW [www.ressourceneffizienz.de/praxis/online-tools-portale](http://www.ressourceneffizienz.de/praxis/online-tools-portale)
- Software-Tools zur Unterstützung von KMU bei Ressourceneffizienzfragestellungen; OpenResKit, HTW Berlin [openreskit.htw-berlin.de](http://openreskit.htw-berlin.de)

- Verschiedene Software-Tools im Bereich Ressourceneffizienz; Ressourceneffizienz Portal (Resefi) [www.resefi.de/software](http://www.resefi.de/software)

### Einführung von Managementsystemen und anderen Instrumenten

Durch die Einführung von Managementsystemen (z. B. EMAS – Umweltmanagement) können Ressourceneinsparpotenziale im ganzen Betrieb identifiziert und ausgeschöpft werden (siehe Beispiele M07, M13, M14). Weitere relevante Managementsysteme zur Steigerung der Ressourceneffizienz sind ISO 14009 – Lebenszyklusanalyse, ISO 14040/14044 – Ökobilanz bzw. allgemein ISO 14001 – Umweltmanagement. Mit der ISO 50001 – Energiemanagement wurde erstmalig ein internationaler Standard für ein Energiemanagementsystem aufgestellt. Sie zielt auf die kontinuierliche Optimierung der Energieeffizienz. Die Managementsysteme stärken darüber hinaus auch die Verantwortung der Beschäftigten und Mitbestimmungsakteure, Effizienzpotenziale zu erschließen. Die Einführung eines Managementsystems bedeutet zwar zu Beginn Kosten und erhöhten Kapazitätsaufwand, durch die kontinuierliche Ausschöpfung kleinerer Effizienzpotenziale können aber oft laufende Kosten reduziert, die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens gesteigert und das Image verbessert werden. Die seit 1995 veröffentlichten EMAS-Umwelterklärungen belegen, dass durch EMAS beachtliche (Kosten-) Einsparpotenziale im Energie- und Ressourcenbereich erschlossen werden können.<sup>117</sup> Daher ist die Einführung eines Managementsystems empfehlenswert. Ein weiteres Managementsystem stellt das Process Life Cycle Management (PLCM) dar, das anhand eines betriebswirtschaftlich-technischen Controllingsystems eingeführt werden kann, um ökonomische und ökologische Auswirkungen zu messen, zu quantifizieren und damit das Treffen von Entscheidungen zu unterstützen.<sup>118</sup>

Dies beinhaltet:

- Definition von Systemgrenzen,

---

<sup>117</sup> Vgl. BMU (2012a)

<sup>118</sup> Vgl. Steinbach (2013)

- Definition relevanter wirtschaftlich-technischer Kennzahlen und Indikatoren,
- Durchführung einer Material- und Chemiestoffflussanalyse, um technische Ziele wie Produktivität/Ressourceneffizienz und integrierten Umweltschutz zu erreichen (bildet die Grundlage für ein systematisches Wissensmanagement),
- Durchführung einer Kostenflussanalyse und Wertflussanalyse, um ökonomische Ziele wie z. B. Kosten, Wertschöpfung, Rendite zu erreichen. Dazu gehört die Durchführung von Value Engineering im Rahmen der Konzipierung und Bearbeitung von Projekten vom Labormaßstab bis zur betrieblichen Ebene.

Ein Instrument zur Identifizierung von Ressourceneffizienzpotenzialen und zur Verbesserung der Leistung eines Unternehmens ist z. B. das Optimierungsprogramm OpEx (Operational Excellence). Dabei geht es darum, messbare und nachhaltige Verbesserungen durch Kostensenkung und Reduzierung des gebundenen Kapitals zu erreichen. Um mögliche Verbesserungspotenziale identifizieren zu können, werden bei OpEx die Methoden von Six Sigma, Lean und Change Management eingesetzt. Weitere Instrumente zu Datenerfassung und Datenmanagement sind z. B. PIMS (Profit Impact of Market Strategies), KPI (Key Performance Indicator), Paretoprinzip (80-zu-20-Regel), Carbon Footprint.

Als weitere Konzepte und Methoden, die unter anderem zu einer verbesserten Ressourceneffizienz führen können, sind z. B. Responsible Care, Product Stewardship, SCM (Supply Change Management), Zero- Loss-Management zu nennen.

Durch gezielte Qualitätskontrolle können „Off-Spec“-Verluste reduziert werden, was neben Materialeinsparungen auch zu Energie- und Abfalleinsparungen führt.

Zur Durchführung der Datenanalyse innerhalb der Datenmanagementsysteme sollten Ressourcen zur Analyse sowie Vergleichsdaten zur Bewertung der Effizienz zur Verfügung gestellt werden.



Um die Ressourceneffizienzpotenziale in der Produktion zu identifizieren und auszuschöpfen, wäre es sinnvoll, eine Abteilung einzurichten oder einen Mitarbeiter zu beauftragen, der mit der Umsetzung der geeigneten Methoden zu einer permanenten Optimierung der wesentlichen operativen Prozesse beitragen kann. Oft ist es auch hilfreich, ein geeignetes Beratungsunternehmen einzubeziehen.

### Logistik und „Ordentliches Wirtschaften“

Die Hinweise aus dem Bereich „Ordentliches Wirtschaften“ erscheinen auf den ersten Blick selbstverständlich, jedoch ergab sich bei der Betrachtung der Fallbeispiele, dass immer noch Ressourceneffizienzpotenziale durch die nachfolgenden Methoden realisiert werden können.

Erhebliche Effizienzpotenziale liegen unter anderem in Ansätzen zur Materialvorbereitung. Dazu gehören Ideen zur Optimierung der Materialanlieferung und -vorbereitung durch geeignete Gebindegrößen oder Mehrweggebände, optimierte Lagerung und Förderung von Feststoffen zur Reduktion von „Off-Spec“-Verlusten, Kornzerkleinerung etc., die im Folgenden beispielhaft illustriert werden.

**Einkauf:** Ein Augenmerk sollte auf „Lean Manufacturing“ und dem „First-In-First-Out“-Prinzip liegen. Einige KMU tendieren dazu, zu viele Rohmaterialien auf Lager zu haben, die dann nicht rechtzeitig verarbeitet werden können. Zwischen Produktion und Einkauf muss eine enge Kooperation bestehen, damit verhindert wird, dass überzählige Produkte im Abfall landen bzw. mangelhafte Ware aufgrund des günstigeren Preises beschafft wird.

**Lagerhaltung:** Der Fokus liegt hier auf der Einführung klarer Warenwirtschaftssysteme nach dem „First-In-First-Out“-Prinzip. Weiterhin soll die Verpackungsgröße betrachtet werden, z. B. die Entscheidung, ob Big Bag, Tank, Silo etc. eingekauft werden.

**Qualitätssicherung:** Die Messtechniken sowie die Kontrolle der relevanten Parameter (z. B. Temperatur, Scherkräfte, Einspeisung von Rohmaterial etc.) sollten kontinuierlich verbessert werden.

Dies führt zu einer Erhöhung der Produktqualität und einer Reduzierung der Abfallmengen.

Produktion: Die Chargenreihenfolge sollte optimiert und die Chargenwechsel minimiert werden. Sind jedoch Chargenwechsel notwendig, gilt es, ähnliche Verfahren nacheinander ablaufen zu lassen. Beispiele für eine sinnvolle Aneinanderreihung von Prozessen sind die Produktion von Produkten mit ähnlicher Farbgebung oder die Herstellung verschiedener, aber kompatibler Harze. So kann etwa in Nassmühlverfahren zunächst mit hellen Produkten gestartet und folgend immer mehr Richtung dunklerer Farbe produziert werden und reziprok. Somit entfällt ein Abfall produzierender Reinigungsprozess zwischen zwei stark unterschiedlich farbigen Produkten.

Wartung, Instandhaltung und Wechselmanagement: Leckagen in Rohrleitungen und Ausrüstung sind oftmals der Grund für den Anfall von Abfall. Weiterhin vermindert veraltete Ausrüstung die Energieeffizienz und erhöht die Abfallproduktion. Beispielsweise senken abgenutzte Mahlperlen die Mahleffizienz und erhöhen die abgeschiedene Staubmenge im Filter. Bestehen Lücken beim Wechseln von Chargen, kann das zu Austritten wertvoller Rohstoffe, gefährlicher Substanzen sowie einer erhöhten Abfallmenge führen, wie z. B. bei der Inbetriebnahme eines Lagertanks.

### Nutzung innovativer Geschäftsmodelle

Durch die Nutzung innovativer Geschäftsmodelle, wie z. B. das „Nutzen statt Besitzen“, können erhebliche Ressourceneffizienzpotenziale ausgeschöpft werden. Bedingung dafür ist, dass durch den Fokus auf die Dienstleistung bzw. das Ergebnis der Dienstleistung alle beteiligten Akteure Interesse am effizienten Einsatz von Materialien haben und so der Verbrauch reduziert werden kann. Beispiele sind hier z. B. das Leasen der Dienstleistung „Reinigung der Rohrleitungen“ anstelle des Kaufs von Chemikalien zur Reinigung der Rohre oder das Leasen der Dienstleistung „Lackieren von Autos“ anstelle des Kaufs von Lacken zur Autolackierung.

## Modifizierung der Prozesse

### Kreislaufführung

Großes Potenzial zur Einsparung von Rohstoffen liegt in der Modifizierung der Prozesse durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen nach der Rückgewinnung und dem Recycling anfallender Abfallprodukte und Reststoffe (siehe z. B. M12, M20). Daher wäre bei den einzelnen Unternehmen zu prüfen, ob die benötigten Einsatzstoffe, die aus der Umwelt entnommen oder aufwendig hergestellt werden müssen, auch durch das Recycling anfallender Abfallprodukte und Reststoffe gewonnen werden könnten. Den für eine derartige Prüfung erforderlichen Aufwand in Forschung und Entwicklung können sich insbesondere KMU oft nicht leisten. Um diese Hürde zu überwinden, könnte eine der zahlreichen Fördermöglichkeiten, am besten in Zusammenarbeit mit geeigneten Forschungsinstituten, genutzt werden. Eine weitere Lösung wäre ein Zusammenschluss mehrerer Unternehmen, die den gleichen Einsatzstoff benötigen.

### Substitution von Rohstoffen

Durch die Substitution endlicher Rohstoffe durch nachwachsende Rohstoffe wird zwar meist nicht weniger Material benötigt, allerdings werden endliche Ressourcen geschont und der Einsatz bedenklicher Stoffe reduziert. Dies wird in den Beispielen M02 und M08 anhand der Substitution der Eingangsstoffe in der Farben- und Lackproduktion aufgezeigt. Weitere Beispiele bilden die Substitution des Rohstoffs Erdöl durch nachwachsende Rohstoffe in der chemischen Synthese sowie der Ersatz metallischer Katalysatoren durch Enzyme.<sup>119</sup> Allerdings sind auch biotische Rohstoffe aufgrund der Anbauflächen nicht endlich verfügbar; zudem sollte keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion entstehen.<sup>120</sup>

Um zu erforschen, mit welchen alternativen Einsatzstoffen (nachwachsende Rohstoffe) in welcher Zusammensetzung gleiche Ergebnisse erzielt werden können, könnten KMU Fördermöglichkeiten - am besten in Zusammenarbeit mit

---

<sup>119</sup> Vgl. BMU (2012a)

<sup>120</sup> Vgl. ebd.

geeigneten Forschungsinstituten oder auch mit anderen Firmen - nutzen.

### 6.1.3. Kernprozesse

Der Mittelwert der Materialeffizienz von über 400 untersuchten Synthesebetriebsverfahren liegt laut Steinbach<sup>121</sup> bei etwa bei 38 % (Wasser nicht einbezogen). Die Subbranchen „Farben“ (26 %) und „Pflanzenschutz“ (36 %) weisen eine unterdurchschnittliche Materialeffizienz auf. Schwerpunkte zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Bereich der Syntheseverfahren sind das Feld der Lösemittel (z. B. zwischen 100 und 700 kg/t Produkt) und teilweise auch der Bereich der Halogenchemie. Durch Reststoffvermeidung können Firmen CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren, da die meisten Treibhausgasemissionen auf die Verbrennung der Rückstände zurückzuführen sind.

Eine verbesserte Rohstoffvorbereitung beim Trocken- und Nassmahlen kann den Bedarf an elektrischer Energie sowie den Verlust von Rohstoffen (in Form nicht nutzbarer Rückstände) reduzieren und gleichzeitig zu Kosteneinsparungen führen (Beispiele K07 und K15). Der optimale Betrieb derartiger Verfahren ist ebenfalls stark mit dem Instandhaltungssystem verbunden.

Die Prozessintensivierung in den Schritten Synthese/Formulierung sowie bei Trennung/Veredelung bietet unterschiedliche Möglichkeiten zu Ressourceneinsparungen. Verschiedene Reaktortypen, die z. B. Mischung, Reaktion und Wärmetransport integrieren, bieten Vorteile, um Prozessenergie zu sparen und teilweise die Ausbeute zu erhöhen (wie z. B. K12, K19, K20, K25). Auch können durch eine verbesserte Mischung unterschiedlich viskoser Materialien die Qualität verbessert und der Anfall von „Off-Spec“-Produkten (Ausschuss) reduziert werden (K21, K26).

Weitere Möglichkeiten zur Einsparung von Material und Energie bieten die reaktive Destillation (kombinierte Reaktion und Destillation, Beispiel K16) und die Vakuumdestillation (Fallbeispiel K24).

---

<sup>121</sup> Vgl. Steinbach (2013)

Besonders relevant für KMU sind die Einsparmöglichkeiten bei der Reinigung von Reaktoren, Rohrleitungen und Anlagenteilen:

- In den Beispielen K04 und K09 wird Cleaning-in-Place (CIP) angewendet, um erhebliche Mengen an Reinigungsmitteln und (Ab)Wasser einzusparen.
- Die Beispiele K02 und K08 zeigen das Potenzial von Molchsystemen und ähnlichen Reinigungstechniken für eine erhöhte Produktausbeute und eine Reduzierung des Reinigungsmiteleinsatzes sowie Vermeidung von Abwasser.

Weitere Einsparpotenziale bestehen bei der Abgasreinigung durch verbesserten Wärmeaustausch (Beispiel K01) oder im Abfallbereich durch eine optimierte Abfalltrennung (Beispiel K06).

#### 6.1.4. Peripherie

Im Bereich der Wärme- und Kälteversorgung bzw. der Prozesswärmeintegration sollte untersucht werden, welche Wärmemengen in der unternehmensspezifischen Produktion anfallen. Können Reaktoren besser isoliert werden? Entsteht Abwärme, die ungenutzt verpufft? Lassen sich Wärmekreisläufe innerhalb des Prozesses bilden? Durch eine konsequente Überprüfung der Wärmetechnik kann die eingesetzte Prozesswärmemenge oftmals deutlich gesenkt werden (Beispiel P05). Ebenfalls sollten Verbund und Vernetzung auch hier berücksichtigt werden. Die Möglichkeit, Abwärme von benachbarten Anlagen zu beziehen, um den eigenen Prozesswärmebedarf zu decken oder zu minimieren, sollte konsequent genutzt werden. Im Beispiel P07 etwa (chemische Produkte zur Textilveredlung) liefern benachbarte Biogasanlagen (BHKW) einen Teil der benötigten Prozesswärme. Die Nutzung von Abwärme zur Beheizung von Werkstätten oder Bürogebäuden stellt eine weitere Maßnahme dar, Energie effizienter zu nutzen.

Weitere relevante Komponenten bei der Betrachtung der Energieeffizienz sind Elektromotoren. Neben den offensichtlichen Potenzialen der gewählten Motoreffizienzklasse (z. B. IE3 statt IE2) ist eine genaue Drehzahlregelung des Motors zur Anpassung der benötigten Leistung unerlässlich. Je näher ein Elektromotor

an seiner Nennlast betrieben wird, desto effizienter ist er. Auch sollten alle Motoren eine Ausschaltfunktion besitzen, die im Falle eines Anlagenstillstands genutzt werden könnte. Bei der Neuanschaffung eines Motors sollte geprüft werden, ob sich z. B. durch den Austausch eines Asynchronmotors durch einen Synchronmotor weiter Energie einsparen lässt. Im Beispiel P14 konnte durch den Austausch eines Asynchronmotors durch einen Synchronreluktanzmotor der Wirkungsgrad erhöht und somit 73 % an Energie eingespart werden.

Werden die installierten Pumpensysteme betrachtet, in denen in der Regel immer auch Elektromotoren verbaut sind, ergeben sich weitere Möglichkeiten, Ressourcen einzusparen. Eine wichtige Maßnahme dabei ist die Analyse des Anlagenbestandes im Betrieb, am besten mit geeigneter Messtechnik. So können durch innovative Antriebstechniken, geeignete Motoren, Kompressoren und Pumpenaggregate erhebliche Energieeffizienzpotenziale ausgeschöpft werden. Oft reicht auch nur eine Optimierung der bereits eingesetzten Pumpen wie die Anpassung der Drehzahlregelung oder die Einstellung der Pumpenklappen aus, um Energie einzusparen (Beispiel P08 und P03).

Im Bereich Drucklufttechnik ergeben sich neben der Effizienzsteigerung von Elektromotoren weitere Potenziale aus (1) der Druckluftherzeugung und (2) dem Druckluftnetz. Bei der Erzeugung von Druckluft durch Komprimieren treten hohe energetische Verluste auf. Diese können durch den Einsatz drehzahl geregelter Verdichter auf ein Minimum reduziert werden (Beispiel P04). Weiterhin ist grundlegend zu prüfen, ob nicht der Druck innerhalb des unternehmensweiten Druckluftnetzes überdimensioniert eingestellt ist (vgl. Abschnitt 6.1.2 Methoden) oder ob Leckagen in Rohrleitungen vorhanden sind. So kann der Ressourceneinsatz etwa durch das Anpassen der Druckluftmenge optimiert werden (Beispiel P11).

Im Bereich der Prozessautomation erleichtert die konsequente Anwendung von MSR-Techniken die Analyse und das Monitoring und erlaubt das Identifizieren und Ausschöpfen von Ressourceneffizienzpotenzialen (Beispiel M27).

Übergreifend für alle Peripheriekomponenten gilt, dass eine regelmäßige Wartung und Instandhaltung zwei der wichtigsten Instrumente für die Erhöhung der Ressourceneffizienz ergeben, welche gleichzeitig unkompliziert und kosteneffizient umgesetzt werden können.

Als Unterstützung für Unternehmen, die ihre Peripheriekomponenten konkret überprüfen wollen, sind eine Reihe von Berechnungstools und Checklisten verfügbar. Da sich im Fall der Peripherie die chemische Industrie nur unmerklich von anderen Branchen unterscheidet, können allgemeine Werkzeuge verwendet werden. Tools und Ratgeber zur Identifizierung von Energieeinsparpotenzialen sind z. B.:

- Ratgeber zu Peripheriekomponenten; Deutsche Energie Agentur [www.dena.de/publikationen.html](http://www.dena.de/publikationen.html)
- Quickcheck zur Abschätzung des Reifegrades des Energiemanagements in einem Unternehmen; Deutsche Energie-Agentur [www.stromeffizienz.de/industrie-gewerbe/handlungsfelder/energiemanagement/quickcheck-energiemanagement.html](http://www.stromeffizienz.de/industrie-gewerbe/handlungsfelder/energiemanagement/quickcheck-energiemanagement.html)
- OpenResKit Tool zum Energiemanagement (angelehnt an DIN EN ISO 50001) [openreskit.htw-berlin.de/node/56](http://openreskit.htw-berlin.de/node/56)

#### 6.1.5. Mögliche Ansätze für Politik und Verbände

Zur Ausschöpfung der identifizierten Potenziale werden im Folgenden einige Lösungsansätze vorgeschlagen, mit denen Politik und Verbände Unternehmen (insbesondere KMU) dabei unterstützen könnten, das vorhandene Ressourceneffizienzpotenzial weiter auszuschöpfen. Die Unterstützung wird vor allem in der Verbreitung möglicher Ideen und Anregungen gesehen. Eine öffentliche Förderung wird dort empfohlen, wo KMU ökonomisch sinnvolle Ressourceneffizienzmaßnahmen aufgrund von

Finanzierungsdefiziten des Kreditmarkts, Informationsdefiziten und weiteren Hemmnissen nicht umsetzen können.

### Ausbau der Datengrundlage

Eine allgemeine Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen auf Bundesebene in der chemischen Industrie war im Zuge des Projekts anhand der vorliegenden Datenbasis beim Statistischen Bundesamt nicht möglich. In der Literatur finden sich nur vereinzelt Angaben zu Materialmengen, was die Bestimmung der Materialeffizienz erschwert.

Auch zu Energieeffizienzpotenzialen sind kaum aktuelle Daten vorhanden. Die Erhebung von Energieverbräuchen in Terajoule in Form von Hilfs- und Betriebsstoffen liegt beim Statistischen Bundesamt zwar auf Wirtschaftszweigebene, jedoch nicht auf Branchenebene vor. Aktuell gibt es keine verbindliche Systematik und daher auch keine allgemein anerkannten Kennziffern, die es ermöglichen, Fragen der Effizienzsteigerung in einem gemeinsamen Referenzrahmen zu bearbeiten.<sup>122</sup>

Als mögliche Lösung zur Beseitigung dieses Defizits wird, wie auch schon von Emec et al.<sup>123</sup>, eine pseudonymisierte Erfassung von Materialart und menge sowie des Energieeinsatzes für die einzelnen Produktionszweige auf Unternehmensebene empfohlen. Diese Datenbasis kann dann zur Entwicklung von Kennzahlen führen und als Grundlage für Entscheidungen bezüglich der Ressourceneffizienz auf nationaler Ebene dienen.

Sobald eine belastbare Datengrundlage vorliegt, könnte längerfristig darauf aufbauend eine Produktdatenbank mit detaillierten Informationen über die Ressourceneffizienz der Herstellung und der Zusammensetzung der Produkte entwickelt werden. Produktlabel könnten dazu führen, dass die Verbraucher die Ressourceneffizienz und Gefährlichkeit der einzelnen Produkte über ihr Kaufverhalten beeinflussen können.

---

<sup>122</sup> Vgl. VoB (2013)

<sup>123</sup> Vgl. Emec et al. (2013)



### Unterstützung bei der Erstellung geeigneter Kennzahlen zu Ressourcennutzung und Effizienz

Unternehmen sollen dazu ermuntert und dabei unterstützt werden, relevante Daten zum Ressourceneinsatz und zur Ressourcennutzung (inklusive Nutzung von Umweltsenken für Emissionen und Abfall) systematisch zu erheben. Auch die diesbezügliche Standardisierung sollte unterstützt werden, um die Vergleichbarkeit der Daten zu fördern.

Durch Beratung und Unterstützung könnte auf der Unternehmensebene eine systematische, technische Ressourcencbuchhaltung etabliert werden. Analog zur kaufmännischen Buchhaltung könnten dort Daten zum Ressourceneinsatz des Unternehmens erfasst werden.

Denkbar ist auch die Einführung einer einheitlichen Ressourcendatenerfassung bei öffentlich geförderten Projekten. Einen interessanten Ansatz dafür bietet die ProBas-Datenbank des Umweltbundesamtes, in der Basisdaten sowie Lebenszyklusdaten zum Umweltmanagement<sup>124</sup> erfasst und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.

Erfassung und Analyse von Ressourcendaten können Unternehmen eine Orientierung geben, wie die Ressourceneffizienz ihrer Prozesse einzuschätzen ist. Anhand von Vergleichswerten wird es den Unternehmen möglich, geeignete ökonomische Kennzahlen abzuleiten und damit Ressourceneffizienzpotenziale zu identifizieren.

Letztendlich stellt die Datengrundlage, die auf Basis einer systematischen Datenerfassung entsteht, eine wichtige Entscheidungshilfe für Ressourceneffizienzmaßnahmen in Unternehmen dar. Diese kann auf die internen Abteilungen (Geschäftsleitung, Einkauf, Vertrieb, Produktion etc.) ausgeweitet werden, um so im gesamten Betrieb Maßnahmen zur Hebung von Ressourceneffizienzpotenzialen umzusetzen.

---

<sup>124</sup> Systematisches Erfassen, Bewerten und Optimieren der Umweltauswirkungen von Tätigkeiten, Produkten und Dienstleistungen eines Unternehmens, einer öffentlichen Einrichtung oder anderer Organisationen, vgl. [www.probas.umweltbundesamt.de](http://www.probas.umweltbundesamt.de) (aufgerufen am 30.04.2014).

### Förderung innovativer Geschäftsmodelle

Wie am Beispiel des „Chemikalienleasing“-Konzepts in der Potenzialanalyse aufgezeigt, kann die Ressourceneffizienz durch innovative ressourcenorientierte Konzepte wie „Nutzen statt besitzen“ oder „Production on demand“ oftmals noch weiter erhöht werden.

Um derartige Konzepte zu verbreiten und anzuwenden, sollten zunächst bereits bestehende Modelle branchenweit beworben werden. Zusätzlich können durch eine detaillierte Untersuchung weitere Anwendungsmöglichkeiten ressourcenorientierter Konzepte auf nationaler Ebene identifiziert werden. Um diese dann auch umzusetzen, könnte das Verständnis für diese Geschäftsmodelle und das Bewusstsein für ihren Nutzen durch entsprechende Informationsverbreitung verstärkt werden. Für Produkthanbieter bedeutet eine Umstellung auf derartige Geschäftsmodelle eine Änderung ihrer gewöhnlich absatzorientierten Unternehmensstrategie auf ein serviceorientiertes Denken. Dabei sollte „Ressourceneffizienz“ als integraler Bestandteil der Geschäftsstrategie begriffen und in ein entsprechendes Geschäftsmodell implementiert werden.<sup>125</sup>

Da bei einer Konzentration auf Dienstleistungen an Stelle von Produkten verschiedene Akteure wie z. B. Chemikalienhersteller, Lieferanten und Chemikalienanwender zusammenarbeiten müssen, sind ein Austausch von Informationen und Verständnis für die Interessen der Partner sowie eine langfristige Ausrichtung der Partnerschaft wesentlich. Folglich ist ein stärkeres Vernetzen zwischen Betrieben, u. a. innerhalb einer Wertschöpfungskette, hilfreich.

Für die weitere Verbreitung der Geschäftsmodelle wäre eine Liste von Unternehmen, die derartige Dienstleistungen anbieten, dienlich. Diese Informationen könnten auf einer speziellen Informations- und Marketingplattform für Ressourceneffizienz in der chemischen Industrie angeboten werden.

---

<sup>125</sup> Vgl. Rohn et al. (2010)

### Unterstützung virtueller Vernetzung

Um neue Entwicklungen und Technologien branchenweit kommunizieren und damit schnell auf Marktveränderungen reagieren zu können, sollte die Vernetzung relevanter Akteure der Chemiebranche sowie der Forschungseinrichtungen und relevanten Institutionen weiter gefördert werden. Im Rahmen des durchgeführten Industrieworkshops zu Beginn des Projekts wurde bereits ersichtlich, dass eine stärkere Verknüpfung der Anbieterseite von Technologien mit der Anwenderseite (Chemieunternehmen) vielversprechend erscheint. Auch die Auswertung der Literatur bezüglich der Hemmnisse zur Ausschöpfung der Ressourceneffizienzpotenziale in KMU ergab, dass neues Wissen über Effizienzsteigerungspotenziale und Technologien in der mittelständischen Wirtschaft nicht schnell diffundiert und Unternehmen den Aufwand für Ressourceneffizienzmaßnahmen als zu groß einschätzen.

Daher sollten eine Vernetzung und ein Wissenstransfer zwischen den einzelnen Akteuren gefördert werden. Dies sieht auch der Kompetenzatlas Umwelttechnik Baden-Württemberg 2011 in Form von Clusterbildung (organisatorische Zusammenschlüsse von Unternehmen, Forschungs- und Bildungseinrichtungen, Verbänden, Kapitalgebern, Beratern und anderen Akteuren, die in einem bestimmten Technologiebereich und einer bestimmten Region tätig sind) als eine wichtige Fördermaßnahme für KMU.<sup>126</sup>

Um alle relevanten Akteure, Aktionen, innovativen Technologien und Entwicklungen in diesem Bereich zu bündeln, wird das Bereitstellen einer zentralen Informationsplattform empfohlen. Eine derartige Informationsplattform würde dem Austausch allgemeiner und spezifischer Informationen unter den relevanten Akteuren dienen, so dass eine effektive Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen Akteuren der Wertschöpfungskette wie auch einzelnen Chemieunternehmen erfolgen kann. Zusätzlich könnten hier alle neuen Entwicklungen bezüglich Ressourceneffizienz gebündelt veröffentlicht sowie Praxisbeispiele einzelner Firmen als Beispiele für andere zur Verfügung gestellt werden.

<sup>126</sup> Vgl. [www.kompetenzatlas.iuwa.de](http://www.kompetenzatlas.iuwa.de), aufgerufen am 10.04.2014.

Die Plattform könnte auch dazu dienen, Informationen zu bestimmten Innovationsbereichen, wie z. B. ressourceneffizienten Verfahren und ihren Alternativen oder kritischen Ausgangsstoffen und ihren Substituenten, gebündelt darzustellen.

Dabei könnten Informationen bereits existierender Plattformen zur Ressourceneffizienz, wie z. B. des VDI ZRE, dem „Innovationsradar“, vom „PIUS-Internet-Portal“ und von relevanten Verbänden wie dem VCI und der Dechema, gebündelt und spezifisch für die chemische Industrie erweitert werden.

### Förderung von Verbundstandorten

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde ersichtlich, dass sich durch gegenseitige Vernetzung bzw. das Bündeln mehrerer Chemieunternehmen an einem Ort Synergien nutzen und somit weitere Ressourceneffizienzpotenziale realisieren lassen. Dies geschieht einerseits, indem Unternehmen ungenutzte Ressourcen (z. B. Koppelprodukte oder Abwärme) von anderen Unternehmen nutzen, und andererseits durch das gemeinsame Nutzen der benötigten Infrastruktur seitens der Unternehmen.

Auch das Bundesumweltministerium<sup>127</sup> (2012) und der Kompetenzatlas Umwelttechnik und Ressourceneffizienz des Landes Baden-Württemberg<sup>128</sup> (2011) sehen in Verbundstandorten die Chance, Wettbewerbsnachteilen von KMU in Bezug auf die Nutzung von Effizienzpotenzialen aufgrund der Unternehmensgrößen entgegenzuwirken.

In Deutschland gibt es bereits über 60 Chemieparcs, in denen die Synergien aus gemeinsamer Nutzung von Infrastruktur, Standortdiensten, Stoffströmen und Energie genutzt werden. KMU sind darin bisher aber weniger eingebunden. Diese Art der Potenzialausschöpfung sollte weiter vorangetrieben und unterstützt werden, allerdings immer unter dem Aspekt, dass es wirtschaftlich sinnvoll ist.

Neben der Ausschöpfung der Potenziale durch die Erweiterung und Neubildung großer Chemieparcs sollte es auch ein Ziel sein, die Erkenntnisse der großen Chemieparcs auf kleinere

---

<sup>127</sup> Vgl. BMU (2012b)

<sup>128</sup> Vgl. [www.kompetenzatlas.iuwa.de](http://www.kompetenzatlas.iuwa.de), aufgerufen am 10.04.2014.

Verbundstandorte von KMU zu übertragen<sup>129</sup> und eine weitere Vernetzung durch Informationsverbreitung zu fördern.

Die Förderung von Verbundstandorten zielt insbesondere auf Neugründungen oder Standortwechsel von Chemieunternehmen. Unternehmen mit langfristig etablierten Standorten sollten darin unterstützt werden, Synergien mit anderen Akteuren aus der näheren Umgebung<sup>130</sup> zu identifizieren, um sie dann selbst realisieren zu können.

### Intensivierung von F&E-Maßnahmen

Die Auswertung der Potenzialanalysen hat gezeigt, dass unter anderem durch neue Technologien, Recyclingstrategien und Substitution kritischer Ausgangsstoffe noch erhebliches Ressourceneffizienzpotenzial ausgeschöpft werden kann. Dies wird auch im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm angesprochen. Der VCI sieht insbesondere Biotechnologie, Nanotechnologie und neue Katalyseverfahren als drei Kerntechnologien, um die Ressourceneffizienz in Zukunft noch deutlich zu steigern.<sup>131</sup> Voraussetzung zur Entwicklung neuer ressourcenschonender Technologien, Recyclingstrategien und Materialsubstitutionen sind umfangreiche Aktivitäten im Bereich der Forschung und Entwicklung. Darum sollten diese auf allen Ebenen (Hochschulen, Industrieforschung, Verbundforschung, Unternehmensebene) weiter vorangetrieben und gefördert werden. Einige Initiativen werden bereits umgesetzt, wie z. B. die Gründung der deutschen Rohstoffagentur (DERA).<sup>132</sup>

Neben der Bereitstellung finanzieller Mittel sollte auch eine verstärkte branchenbezogene Kommunikation der vorhandenen Fördermöglichkeiten stattfinden. Wie bereits in einer Umfrage des VDI ZRE festgestellt, sind die vielfältigen Förderprogramme einem Großteil der Firmen nicht bekannt.<sup>133</sup>

---

<sup>129</sup> Vgl. VCI (2012b)

<sup>130</sup> Vgl. ebd.

<sup>131</sup> Vgl. ebd.

<sup>132</sup> Vgl. BMU (2012a)

<sup>133</sup> Vgl. VDI ZRE (2011)

### Information und Verbreitung von Ressourcenmanagementsystemen

Wie aus den Fallbeispielen ersichtlich, können durch die Einführung von Managementsystemen weitere Ressourcen eingespart werden. Deshalb sollten bereits bestehende Managementsysteme wie EMAS, ISO 15001 und ISO 14001 weiter verbreitet werden.

KMU sind in der Regel flexibler als Unternehmen mit Konzernstrukturen, jedoch fallen die finanziellen Ressourcen auch dementsprechend begrenzt aus. Aus diesen Gründen ist es gerade für KMU aus der ressourcenintensiven chemischen Industrie ratsam, möglichst schnell auf neue Marktanforderungen zu reagieren. Damit die Anpassung z. B. an gestiegene Rohstoff- und Energiepreise durch das Ausschöpfen von Ressourceneffizienzpotenzialen dennoch effektiv und strukturiert gestaltet wird, helfen standardisierte Abläufe eines integrierten Managementsystems.

Zusätzlich zu Ressourcen- und damit Kosteneinsparungen könnten KMU mit einem Zertifikat oder Umweltlabel zur Wettbewerbssteigerung belohnt werden, an das ggf. weitere Fördergelder geknüpft sein könnten. Wie aus einer Umfrage im Auftrag der VDI ZRE ersichtlich wurde, gewinnen Ökozertifikate und Umweltlabel zunehmend an Bedeutung beim Produktabsatz, sie werden als Differenzierungsmerkmal bzw. positiver Treiber für den Absatz eigener Produkte gesehen.<sup>134</sup>

### Bildungsinitiativen zu Ressourceneffizienz

Auf dem Industrieworkshop zu Beginn des Projekts sowie bei der Auswertung der gesammelten Praxisbeispiele wurde deutlich, dass durch geschultes Personal Ressourceneffizienzpotenziale ausgeschöpft werden können, die sonst oft gar nicht wahrgenommen worden wären.

Von politischer Seite wurde ebenfalls erkannt, dass Bildung einen wichtigen Baustein zur Schaffung eines Bewusstseins für Ressourceneffizienz darstellt. Im Rahmen des vom BMUB und

---

<sup>134</sup> Vgl. VDI ZRE (2011)

UBA geförderten Projekts „Bildung für Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz“ (BilRes)<sup>135</sup> wird zum einen eine „Roadmap Ressourcenbildung“ für alle wichtigen Bildungsbereiche erstellt und zum anderen ein Netzwerk entwickelt sowie eine Kommunikationsplattform aufgebaut.

Das Weiterbildungsangebot zu Ressourceneffizienz wächst stetig, so bietet z. B. das VDI ZRE Weiterbildungen in diesem Bereich an. Diese Weiterbildungen sollten bei KMU der chemischen Industrie noch mehr publik gemacht und speziell an deren Bedürfnisse angepasst werden. Beispielsweise kann das bereits entwickelte Lehrmodul Ressourceneffizienz in Aus- und Weiterbildungen der Chemiewissenschaften/Verfahrenstechnik übertragen bzw. integriert werden.

Im Bereich der grünen bzw. nachhaltigen Chemie entstehen vermehrt neue Studiengänge, deren Absolventen als Multiplikatoren für die Idee der Ressourceneffizienz äußerst wichtig sind. So hat beispielsweise die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen bereits einen kompletten Studiengang, „Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien“, in dieser Richtung aufgenommen.<sup>136</sup> Andere Hochschulen, wie die HTW Dresden oder die TU Darmstadt, bieten für ihren Studiengang „Chemieingenieurwesen“ gezielte Vertiefungsbereiche zu technischem Umweltschutz an. Das Netzwerk dieser Hochschulen, die das Thema Ressourceneffizienz, auch in Bezug zur Chemie, in Forschung und Lehre einbinden sowie Angebote an Hochschulen zu diesem Thema sollten noch deutlich erweitert werden.

---

<sup>135</sup>Vgl. [www.bilress.de](http://www.bilress.de) (aufgerufen am 15.06.2014)

<sup>136</sup> Vgl. [www.cen.studium.uni-erlangen.de](http://www.cen.studium.uni-erlangen.de) (aufgerufen am 20.08.2014)

## 7. LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS

**Abraham, V. (2013):** Comparative Life Cycle Assessment and Environmental Impacts of PTFE Production and Recycling, master thesis, November 2013.

**Althaus, H.-J., Chudacoff, M., Hirschler, R., Jungbluth, N., Osses, M. & Primas, A. (2007):** Life Cycle Inventories of Chemicals.ecoinvent report No. 8. v2.0. EMPA Dübendorf; Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf. Online verfügbar unter [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).

**Bayerisches Landesamt für Umwelt (2009):** Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt.

**BMU (2012a):** Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes). Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

**BMU (2012b):** GreenTech made in Germany 3.0 – Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

**BMU & BDI (2013):** Green Economy in der Praxis – Erfolgsbeispiele aus deutschen Unternehmen. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.

**BMW (2013):** Rohstoffe effizient nutzen – erfolgreich am Markt. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.

**DBU (2012):** Woche der Umwelt. Von [www.invertec-ev.de/fileadmin/user\\_upload/ptfe/Flyer-Woche-der-Umwelt-Recycling\\_von\\_Fluorpolymeren\\_\\_PTFE\\_.pdf](http://www.invertec-ev.de/fileadmin/user_upload/ptfe/Flyer-Woche-der-Umwelt-Recycling_von_Fluorpolymeren__PTFE_.pdf), abgerufen am 22. Juli 2014.

**DBU (2009):** Rückgewinnung fluorierter Monomere aus Reststoffen.

**Deutsche Energie-Agentur (2011):** Die Mitverbrennung holzartiger Biomasse in Kohlekraftwerken. Ein Beitrag zur Energiewende und zum Klimaschutz? Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).



- Deutsche Energie-Agentur (2010a):** Ratgeber: Pumpen und Pumpensysteme für Industrie und Gewerbe, Initiative EnergieEffizienz.
- Deutsche Energie-Agentur (2010b):** Ratgeber: Kältetechnik für Industrie und Gewerbe, Initiative EnergieEffizienz.
- Deutsche Energie-Agentur (2010c):** Ratgeber: Lufttechnik für Industrie und Gewerbe, Initiative EnergieEffizienz.
- Dürr Systems GmbH (2014):** Persönliches Gespräch, Februar 2014.
- Dürr Systems GmbH (2013):** Präsentation zum Auftaktgespräch Ressourceneffizienzpotenziale in KMU der chemischen Industrie (15.11.). Berlin.
- Dynea GmbH (2014):** persönliches Gespräch, März 2014.
- Dynea GmbH (2013):** Dynea Fluoropolymers. Von [multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UgxGCuNyXTt5XTcMXfVEVtQEcuZgVs6EVs6E6666666-&fn=Upcycling\\_12p\\_DE\\_navi\\_02.pdf](http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UgxGCuNyXTt5XTcMXfVEVtQEcuZgVs6EVs6E6666666-&fn=Upcycling_12p_DE_navi_02.pdf), abgerufen am 07. August 2014.
- Emec, S., Stock, T., Bilge, P., Tufinkgi, P., Kaden, C. & Seliger, G. (2013):** Analyse von Potenzialen der Material- und Energieeffizienz in ausgewählten Branchen der Metall verarbeitenden Industrie. Berlin: VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH.
- ERPI (2008):** European Roadmap for Process Intensification. Creative Energy - Energy Transition.
- Europäische Kommission (2014):** Report on the Results of the Public Consultation on the Green Action Plan for SMEs.
- Europäische Kommission (2012):** Manifesto for a resource-efficient Europe - MEMO/12/989. Brüssel.
- Europäische Kommission (2003):** Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry. Brüssel.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2014):** persönliches Gespräch, März 2014.

- Fleiter, T., Schlomann, B. & Eichhammer, W. (2013):** Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen industrieller Prozesstechnologien – Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung.
- Giegrich, J., Liebich, A., Lauwigl, C. & Reinhardt, J. (2012):** Indikatoren/Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Global Fluoropolymer Market Analysis (2012):** Global Fluoropolymer Market Analysis by Product Types, Applications & Geography – Trends & Forecasts (2011 – 2016), Markets and Markets.
- Guinée, J.B. (2001):** Handbook on Life Cycle Assessment. An operational guide to the ISO standards. Final report. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Den Haag.
- Hofmann, L., Steinhaus, H., Haber-Quebe, J., Werner, T. & Ladiges, G. (2007):** Technische Betriebsinformationssysteme – Der Schlüssel für Prozessoptimierung und Kostensenkung, GWF 04/2007.
- Hillenbrand, T., Sartorius, C. & Walz, R. (2008):** Technische Trends der industriellen Wassernutzung. Karlsruhe: Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung.
- Jakl, T., Joas, R., Nolte, R., Schott, R. & Windsperger, A. (2003):** Chemikalienleasing – Ein intelligentes und integriertes Geschäftsmodell als Perspektive zur nachhaltigen Entwicklung in der Stoffwirtschaft. Wien: Springer Verlag.
- Kälin, T., Will, R. K. & Yamaguchi, Y. (2012):** CEH Marketing Research Report Fluoropolymers, IHS.
- Lahl, U. & Zeschmar-Lahl, B. (2011):** Going Green: Chemie – Handlungsfelder für eine ressourceneffiziente Chemieindustrie. Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung.
- MacLean, H., Duchin, F., Hageluku, C., Halada, K., Kesler, S., Moriguchi, Y., Mueller, D., Norgate, T., Reuter, M. & van der Voet, E. (2010):** Mineral Resources: Stocks, Flows, and Prospects. NY: Rensselaer – Working Papers in Economics.

- prometho GmbH (2013):** Präsentation zum Auftaktgespräch Ressourceneffizienzpotenziale in KMU der chemischen Industrie (15.11.). Berlin.
- prometho GmbH (2008):** Nachwachsende Rohstoffe statt nicht erneuerbarer Ressourcen – Praxisbeispiel für erfolgreiche Substitution. Bonfeld: prometho GmbH.
- ProcessNet (2008):** Prozessintensivierung – Eine Standortbestimmung. ProcessNet – Fachsektion Prozessintensivierung.
- Reay, D., Ramshaw, C. & Harvey, A. (2013):** Process Intensification, Engineering for Efficiency, Sustainability and Flexibility, second edition, Elsevier Ltd.
- Rohn, H., Pastewski, N. & Lettenmeier, M. (2010):** Ressourceneffizienz von ausgewählten Technologien, Produkten und Strategien – Ergebniszusammenfassung der Potenzialanalysen. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.
- Ruland Engineering & Consulting GmbH (2014):** [www.rulandec.de](http://www.rulandec.de), aufgerufen am 13. März 2014.
- SAFECEM Europe GmbH (2014):** Persönliche Mitteilung.
- SAFECEM Europe GmbH (2013):** Präsentation zum Auftaktgespräch Ressourceneffizienzpotenziale in KMU der chemischen Industrie (15.11.). Berlin.
- Scheller, B. (2014):** Turbulenzen in der Rohrleitung. Neustadt: RUHLAND Engineering & Consulting GmbH.
- Slawik, S. (2012):** Determinanten und Optimierungsmethoden industrieller Ressourceneffizienz. Aachen: Shaker Verlag.
- Staatssekretärsausschuss für nachhaltige Entwicklung (2012):** Beschluss vom 8. Oktober 2012 – Steigerung der Ressourceneffizienz/ Kreislaufwirtschaft.
- Statistisches Bundesamt (2012):** Produzierendes Gewerbe - Betriebe, Tätige Personen und Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden nach Beschäftigtengrößenklassen, verfügbar unter [www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/AlteAusgaben/BetriebeTaetigePersonenAlt.html](http://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/AlteAusgaben/BetriebeTaetigePersonenAlt.html), aufgerufen am 27. August 2013.

- Statistisches Bundesamt (2008):** Klassifikation der Wirtschaftszweige. [www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationwz2008\\_erl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationwz2008_erl.pdf?__blob=publicationFile), aufgerufen am 22. November 2013.
- Steinbach, A. (2013):** Ressourceneffizienz und Wirtschaftlichkeit in der Chemie durch systematisches Process Life Cycle Management. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Steinhaus Informationssysteme GmbH (2014):** Persönliches Gespräch, Januar 2014.
- Steinhaus Informationssysteme GmbH (2013):** Präsentation zum Auftaktgespräch Ressourceneffizienzpotenziale in KMU der chemischen Industrie (15.11.). Berlin.
- thermea. Energiesysteme GmbH (2014):** Persönliches Gespräch, März 2014.
- thermea. Energiesysteme GmbH (2013):** Präsentation zum Auftaktgespräch Ressourceneffizienzpotenziale in KMU der chemischen Industrie (15.11.). Berlin.
- Umweltbundesamt (2012a):** Schwerpunkte 2012 – Jahrespublikation des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Umweltbundesamt (2012b):** Glossar zum Ressourcenschutz. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Umweltbundesamt (2010):** Leitfaden – Nachhaltige Chemikalien. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- UmweltCluster Bayern (2014):** Von Ressourceneffizienz, Stoffstrommanagement: [www.umweltcluster.net/de/maerkte/stoffstrom.html](http://www.umweltcluster.net/de/maerkte/stoffstrom.html), aufgerufen am 20. Februar 2014.
- United Nations (1987):** Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development.
- VCI (2013):** Gliederung der Sparten der chemisch-pharmazeutischen Industrie für die VCI-Konjunkturberichterstattung. Verband der Chemischen Industrie e.V., <https://www.vci.de/Downloads/PDF/Sparte%20chemisch-pharmazeutischen%20Industrie%20für%20VCI-Konjunkturbericht.pdf>, aufgerufen am 05. November 2013.

- VCI (2012a):** Chemie Report - Die Formel  
Ressourceneffizienz - Beiträge der Chemie zu den  
kommenden Megatrends. Frankfurt: Verband der  
Chemischen Industrie e.V.
- VCI (2012b):** Factbook 05 - Die Formel Ressourceneffizienz.  
Verband der Chemischen Industrie e.V.
- VCI (2012c):** Auf einen Blick - Chemische Industrie 2012.  
Verband der Chemischen Industrie e. V. [www.vci.de/  
Downloads/Publikation/ChemischeIndustrie\\_2012.pdf](http://www.vci.de/Downloads/Publikation/ChemischeIndustrie_2012.pdf),  
aufgerufen am 05. November 2013.
- VDI (2014):** VDI-Richtlinie 4800 Blatt 1 Rahmenrichtlinie  
Ressourceneffizienz (Entwurf). Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI (2012):** VDI-Richtlinie 4600 Kumulierter Energieaufwand  
(KEA). Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI ZRE (2011):** Umsetzung von Ressourceneffizienz-  
Maßnahmen in KMU und ihre Treiber - erste Ergebnisse zur  
VDI ZRE-Umfrage. Berlin: VDI Zentrum Ressourceneffizienz  
GmbH.
- Voß, W. (2013):** Ressourceneffizienz als Herausforderung für  
die Grundstoffchemie in Deutschland. Bremen: Hans Böckler  
Stiftung.

ANHANG A - WIRTSCHAFTSZWEIG, UMSATZ, ANZAHL DER MITARBEITER UND ANZAHL DER BETRIEBE

**Tabelle 16: Anzahl der Beschäftigten nach Größenklasse und Wirtschaftszweig**

WZ-Code			unter 50 Beschäftigte	50 - 99 Beschäftigte	100 - 249 Beschäftigte
20	Chemische Industrie		17.873	29.126	54.835
	Anorganische Grundchemikalien		1.824	2.700	3.325
2011		Industriegase	667	764	-
2013		Sonstige anorganische Grundstoffe und Chemikalien	854	1.631	2.403
2015		Düngemittel und Stickstoffverbindungen	303	305	922
2014	Petrochemikalien und Derivate		1.195	2.692	5.430
	Polymere		2.366	4.794	9.784
2016		Kunststoffe in Primärformen	2.060	4.061	8.059
2017		Synthetischer Kautschuk in Primärformen	164	263	-
206		Chemiefasern	142	470	1.725
	Fein- und Spezialchemikalien		9.731	14.309	24.846
2012		Farbstoffe und Pigmente	680	1147	1.752
202		Schädlingsbekämpfungs- und Desinfektionsmittel	425	475	1.329
203		Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte	3.038	5.524	8.797
205		Sonstige chemische Erzeugnisse	5.588	7.163	12.968
204	Wasch- und Körperpflegemittel		2.757	4.631	10.911
2041		Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermittel	1.750	2.235	4.323
2042		Körperpflegemittel und Duftstoffe	1.007	2.396	6.588

Quelle: Statistisches Bundesamt 2012

250 - 499 Beschäftigte	500 - 999 Beschäftigte	1000 und mehr Beschäftigte	Insgesamt
46.705	46.791	128.976	324.306
4.410	7.212	17.453	39.507
-	-	-	4.014
3.585	4.818	11.156	24.447
825	2.394	6.297	11.046
5.201	7.091	61.250	82.859
8.562	8.321	13.818	49.505
6.687	4.879	13.818	39.564
-	-	-	2.287
1.875	3.442	-	7.654
9.615	3.779	7.377	108.954
1.680	-	-	12.552
-	-	-	5.947
7.935	3.779	7.377	36.450
-	-	-	54.005
7.658	7.733	9.791	43.481
1.727	-	-	20.222
5.931	-	-	23.259

**Tabelle 17: Anzahl der Betriebe nach Größenklasse und Wirtschaftszweig**

WZ-Code			unter 50 Beschäftigte	50 - 99 Beschäftigte	100 - 249 Beschäftigte
20	Chemische Industrie		574	401	357
	Anorganische Grundchemikalien		85	35	23
2011		Industriegase	40	10	2
2013		Sonstige anorganische Grundstoffe und Chemikalien	34	21	15
2015		Düngemittel und Stickstoffverbindungen	11	4	6
2014	Petrochemikalien und Derivate		42	36	36
	Polymere		69	65	67
2016		Kunststoffe in Primärformen	60	56	53
2017		Synthetischer Kautschuk in Primärformen	5	3	2
206		Chemiefasern	4	6	12
	Fein- und Spezialchemikalien		294	200	163
2012		Farbstoffe und Pigmente	19	14	12
202		Schädlingsbekämpfungs- und Desinfektionsmittel	12	6	8
203		Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte	93	77	59
205		Sonstige chemische Erzeugnisse	170	103	84
204	Wasch- und Körperpflegemittel		84	65	68
2041		Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermittel	51	32	26
2042		Körperpflegemittel und Duftstoffe	33	33	42

Quelle: Statistisches Bundesamt 2012



250 - 499 Be- schäftigte	500 - 999 Be- schäftigte	1000 und mehr Beschäftigte	Insgesamt
134	69	48	1.583
15	12	9	179
-2	-1	-1	56
10	8	4	92
3	3	4	31
15	10	13	152
26	13	8	248
19	7	8	203
2	1	-	13
5	5	-	32
55	23	14	749
5	2	4	56
2	2	1	31
22	6	5	262
26	13	4	400
23	11	4	255
5	2	3	119
18	9	1	136

Tabelle 18: Umsatz nach Größenklasse und Wirtschaftszweig

WZ-Code			unter 50 Beschäftigte	50 - 99 Beschäftigte
20	Chemische Industrie		8.373.371	11.254.844
	Anorganische Grundchemikalien		1.392.730	1.267.133
2011		Industriegase	897.111	463.840
2013		Sonstige anorgani- sche Grundstoffe und Chemikalien	441.312	628.260
2015		Düngemittel und Stickstoffverbin- dungen	54.307	175.033
2014	Petrochemikalien und Derivate		1.259.461	1.598.822
	Polymere		1.285.447	2.694.708
2016		Kunststoffe in Primärformen	1.234.083	2.500.099
2017		Synthetischer Kautschuk in Primärformen	23.580	96.770
206		Chemiefasern	27.784	97.839
	Fein- und Spezial- chemikalien		3.968.705	4.637.229
2012		Farbstoffe und Pigmente	259.554	489.949
202		Schädlingsbe- kämpfungsmittel und Desinfektions- mittel	100.692	140.048
203		Anstrichmittel, Druckfarben und Kitte	727.605	1.522.852
205		Sonstige chemi- sche Erzeugnisse	2.880.854	2.484.380
204	Wasch- und Körper- pflegemittel		467.028	1.056.952
2041		Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermittel	293.093	604.292
2042		Körperpflegemit- tel und Duftstoffe	173.935	452.660

Quelle: Statistisches Bundesamt 2012

100 - 249 Beschäftigte	250 - 499 Beschäftigte	500 - 999 Beschäftigte	1000 und mehr Beschäftigte	Insgesamt
23.572.111	21.236.238	18.689.284	61.758.874	144.884.723
1.755.106	2.892.401	2.616.739	5.426.945	15.798.469
-	-	-	-	1.808.365
1.129.070	1.787.283	1.488.907	3.815.320	9.290.152
626.036	1.105.118	1.127.832	1.611.625	4.699.952
3.655.896	4.668.437	2.717.224	34.376.876	48.276.716
6.089.875	3.910.826	3.671.657	10.937.285	29.823.972
5.644.732	3.364.537	2.801.769	10.937.285	26.482.504
-	-	-	-	1.354.525
445.143	546.289	869.888	-	1.986.943
8.490.192	2.705.579	1.495.560	1.892.272	37.902.093
493.975	522.236	-	-	5.922.778
270.596	-	-	-	1.884.756
2.771.253	2.183.343	1.495.560	1.892.272	10.592.886
4.954.368	-	-	-	19.501.673
3.124.427	2.004.351	2.881.195	3.549.520	13.083.473
1.477.381	496.969	-	-	7.305.220
1.647.045	1.507.382	-	-	5.778.252

## ANHANG B - LITERATURANGABEN ZU EINSPARPOTENZIALEN IN DER PERIPHERIE

Bereich	Einsparpotenziale	min (%)	max (%)	Median (%)	Quellen
<b>Druckluft</b>	Betrachtung des ganzen Systems		50	25*	EOR, 2010
	Druckluft allgemein			25	Prognos, 2011
	Ultraschall-Lecksuche	5	30	17,5*	CE Delft, 2014
	Übergeordnete Steuerung der Kompressoren			20	Deutsche Energie Agentur, 2010c
<b>Motoren</b>	Adaptive Regelung von Drehstromasynchronmotoren	2	50	26*	Kompetenznetz Mittelstand, 2011
	Motoren allgemein			12	Prognos, 2011
<b>Pumpen</b>	Stromverbrauch Pumpensysteme	5	30	17,5*	Deutsche Energie Agentur, 2010a
	Systemoptimierung und -anpassung			30	EOR, 2010
	Pumpen allgemein			19	Prognos, 2011
	Frequenzregelung von Pumpen	20	50	35*	CE Delft, 2014
	Optimierung der Regelung			35	Deutsche Energie Agentur, 2010a
<b>Wärme- und Kälteversorgung, Prozesswärmeintegration</b>	Abwärmenutzung Temperaturniveau > 60°C			18	Hirzel, Sonntag & Rohde, 2013
	Stromverbrauch Kältetechnik	5	30	17,5*	Deutsche Energie Agentur, 2010b
	Kältebereitstellung			6	Prognos, 2011
<b>Peripherie allgemein</b>	Optimierung Querschnittstechnologien			30	Fleiter, Schломann & Eichhammer, 2013

**\* Berechneter Median**

## Quellen:

- EffizienzOffensive Energie Rheinland-Pfalz e.V. (EOR). (2010). Energieeffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen - Einsparpotenziale und Fördermöglichkeiten. Effizienznetz Rheinland-Pfalz
- Prognos AG. (2011). Untersuchung einer Nachfolgeregelung zur Energie- und Stromsteuerentlastung. Berlin
- CE Delft. (2014). Low-hanging fruits in the industry. DCMR Milieudienst Rijnmond
- Hirzel, S., Sontag, B. & Rohde, C. (2013). Industrielle Abwärmenutzung. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung.
- Fleiter, T., Schlomann, B., & Eichhammer, W. (2013). Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen industrieller Prozesstechnologien - Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung.
- Kompetenznetz Mittelstand. (2011). REGELN! - eine preiswerte einfache Möglichkeit der Energiekostensenkung. [www.kompetenznetz-mittelstand.de/node/172266](http://www.kompetenznetz-mittelstand.de/node/172266), abgerufen am 17. März 2014.
- Deutsche Energie-Agentur. (2010a). Ratgeber: Pumpen und Pumpensysteme für Industrie und Gewerbe, Initiative EnergieEffizienz.
- Deutsche Energie-Agentur. (2010b). Ratgeber: Kältetechnik für Industrie und Gewerbe, Initiative EnergieEffizienz.
- Deutsche Energie-Agentur. (2010c). Ratgeber: Lufttechnik für Industrie und Gewerbe, Initiative EnergieEffizienz.

## ANHANG C - QUELLENVERZEICHNIS DER AUSGEWERTETEN FALLBEISPIELE

- AKRO-PLASTIC GmbH (2014):** Ressourceneffizienz in der Kunststoffproduktion. Mainz: EffCheck Rheinland-Pfalz.
- Armaturenwerk Hötensleben GmbH (Unbekannt):** Test Report TANKO S50.
- BE.ST GmbH (Unbekannt):** Polymermischer für die Extrusion. Altendiez.
- BHR Group (Unbekannt a):** Packed Bed Reactor Audit.
- BHR Group (Unbekannt b):** HEX Reactors for Fast Exothermic Reactions.
- Biermann, E. & Pätzold, R. (2013):** Beteiligungsorientierte Ressourceneffizienz. Hannover: Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE.
- BiPRO GmbH (2010):** Chemikalienleasing als Modell zur nachhaltigen Entwicklung mit Prüfprozeduren und Qualitätskriterien anhand von Pilotprojekten in Deutschland. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.0
- BMU (2012b):** GreenTech made in Germany 3.0 - Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- BMU & BDI (2013):** Green Economy in der Praxis - Erfolgsbeispiele aus deutschen Unternehmen. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.
- BMWi (2013):** Rohstoffe effizient nutzen - erfolgreich am Markt. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.
- Carbo Kohlensäurewerke GmbH & Co. KG (2013):** Ressourceneffizienz bei der Herstellung von Kohlensäure. Mainz: EffCheck Rheinland-Pfalz.
- CB Chemie und Biotechnologie GmbH (2009):** Automatisierte Herstellung und Abfüllung steigern Ressourceneffizienz. Duisburg: Effizienz-Agentur NRW.

- Chemische Fabrik Budenheim KG (2013):** Herausragende Beispiele für effiziente Energienutzung. Initiative EnergieEffizienz Industrie & Gewerbe.
- CWS-Lackfabrik GmbH & Co. KG (2012):** Umwelterklärung 2010 - Aktualisierte Fassung 2012.
- CZEWO Full Filling Service GmbH (2005):** Abwasserreduzierung mit Vorbildcharakter. Duisburg: Effizienz-Agentur NRW.
- Dürr Systems GmbH (2014):** persönliches Gespräch, Februar 2014.
- Dürr Systems GmbH (2013):** Präsentation zum Auftaktgespräch Ressourceneffizienzpotenziale in KMU der chemischen Industrie (15.11.). Berlin.
- Dyneon GmbH (2013):** Dyneon Fluoropolymers. Von [multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UgxGCuNyXTt5XTcMXfVEVtQEcuZgVs6EVs6E666666-&fn=Upcycling\\_12p\\_DE\\_navi\\_02.pdf](http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=66666UgxGCuNyXTt5XTcMXfVEVtQEcuZgVs6EVs6E666666-&fn=Upcycling_12p_DE_navi_02.pdf), abgerufen am 07. August 2014.
- edition econsense (2012):** Herausforderung Ressourceneffizienz - Meinungen, Beispiele und Management-Instrumente. Berlin: econsense Forum Nachhaltige Entwicklung der Deutschen Wirtschaft.
- Endulat, M. (2011):** Zweifache Einsparung - Modernisierung einer Druckluftstation mit ölfreien Kolbenkompressoren.
- ESK-SIC GmbH (2006):** Neue Produktionsanlage erhöht Ressourceneffizienz. Duisburg: Effizienz-Agentur NRW.
- Evonik Industries AG (2009):** 3. Preis: Energy Efficiency Award 2009. Berlin: Deutsche Energie-Agentur, Initiative EnergieEffizienz.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2014):** persönliches Gespräch, März 2014.
- Fischer GmbH (2006):** Energie sparen - Energie rationell nutzen. Mainz: EffCheck Rheinland-Pfalz.
- Graf, U. (Unbekannt):** Optimierung von Pulverlackmühlen. Krumbach: Graf Anlagenbau.

- Heidelberger Druckmaschinen AG (2011):** Unglaubliche 90 % Energieeinsparung dank ganzheitlicher Systemoptimierung. Frankenthal: KSB AG.
- Hofmann, L., Steinhaus, H., Haber-Quebe, J., Werner, T. & Ladiges, G. (2007):** Technische Betriebsinformationssysteme - Der Schlüssel für Prozessoptimierung und Kostensenkung, GWF 04/2007.
- Infra Leuna GmbH (2014):** Am Chemiestandort Leuna ist ein neuer Thermokompressor zur Steigerung der Energieeffizienz offiziell in Betrieb genommen worden. CHEManager.
- J. W. Ostendorf GmbH & Co. KG (2014):** Was uns antreibt - Umweltbericht.
- JOWAT AG (2007):** Abwasserfrei dank innovativer Prozesswassernutzung. Duisburg: Effizienz-Agentur NRW.
- Kanzler, V. W. (2013):** Grüne Chemie trifft nachhaltige Verfahrenstechnik. CHEManager.
- Laurent, P. (2008):** Möglichkeiten der Energieeinsparung in Unternehmen - Das Motor Challenge Programm - Nutzen in der Praxis. Saarwellingen: Eurofins Product Testing GmbH.
- Miele & Cie. KG (2011):** Höchste Effizienz dank optimierter Technologie. Frankenthal: KSB AG.
- Oemeta Chemische Werke GmbH (2013):** Energieeffizienzmaßnahmen bei der Oemeta Chemische Werke GmbH. RWK Kompetenzzentrum, Energieeffizienz Impulsgespräche.
- Oleon GmbH (2012):** Optimiertes Instandhaltungsmanagement erhöht Prozessqualität. Duisburg: Effizienz-Agentur NRW.
- Pauly, C. (2012):** Des Motors Kern. P&A - Spezial Antriebstechnik.
- Polymer-Chemie GmbH (2010):** Kosten sparen durch verbesserte Abfalltrennung. Mainz: EffCheck Rheinland-Pfalz.
- Ponachem Compound GmbH (2007):** Drehzahl geregelter Kompressor mit Wärmerückgewinnung.



- Privatbrauerei Strate Detmold GmbH & Co. KG (2009):**  
Reduzierte Abfüllverluste und verbesserte Reinigung.  
Duisburg: Effizienz-Agentur NRW.
- prometho GmbH (2008):** Nachwachsende Rohstoffe statt nicht erneuerbarer Ressourcen – Praxisbeispiel für erfolgreiche Substitution. Bonefeld: prometho GmbH.
- prometho GmbH (2013):** Präsentation zum Auftaktgespräch Ressourceneffizienzpotenziale in KMU der chemischen Industrie (15.11.). Berlin.
- Rhein Chemie Rheinau GmbH (2013):** Beispiele zur Ressourceneffizienz in einem Chemie-Unternehmen. Netzwerk Ressourceneffizienz.
- Ruland Engineering & Consulting GmbH (2014):** www.rulandec.de, aufgerufen am 13. März 2014.
- SAFECEM Europe GmbH (2014):** Persönliche Mitteilung.
- SAFECEM Europe GmbH (2013):** Präsentation zum Auftaktgespräch Ressourceneffizienzpotenziale in KMU der chemischen Industrie (15.11.). Berlin.
- Scheller, B. (2014):** Turbulenzen in der Rohrleitung. Neustadt: RUHLAND Engineering & Consulting GmbH.
- Schneider, G. (Unbekannt):** Static Mixing Technology for Extrusion and Injection Molding. Winterthur: Stamixco Ltd.
- Silesia Gerhard Hanke GmbH & Co. KG (2012):**  
Sprühtrocknung mit integriertem Umweltschutz.  
Duisburg: Effizienz-Agentur NRW.
- Solvay Fluor GmbH (2009):** Mit FluidFuture den Energiebedarf um ein Viertel gesenkt. Frankenthal: KSB AG.
- Stein, S. (2008):** EffCheck Projekt Polymer Chemie GmbH Bad Sobernheim. EffCheck.
- Steinhaus Informationssysteme GmbH (2014):** persönliches Gespräch, Februar 2014.
- Steinhaus Informationssysteme GmbH (2013):** Präsentation zum Auftaktgespräch Ressourceneffizienzpotenziale in KMU der chemischen Industrie (15.11.). Berlin.
- Steinhaus, H. & Hofmann, L. (2010):** Zukunftsfähig mit BDE. Datteln: Steinhaus Informationssysteme GmbH.

- Steinhaus, H. & Werner, A. (2008):** TeBIS, ein technisches Informationssystem. Brauwelt.
- Sulzer Chemtech Ltd. (Unbekannt):** Separation Technology for the Chemical Process Industry.
- Süss Oberflächentechnik GmbH (2012):** Wettbewerbsvorteil Ressourceneffizienz. [www.das-zahlt-sich-aus.de/unternehmen.html#Suess](http://www.das-zahlt-sich-aus.de/unternehmen.html#Suess), aufgerufen am 15. April 2014.
- thermea. Energiesysteme GmbH (2014):** Persönliches Gespräch, März 2014.
- thermea. Energiesysteme GmbH (2013):** Präsentation zum Auftaktgespräch RE-Potenziale in KMU der chemischen Industrie (15.11.). Berlin.
- Toyo Engineering (2014):** Toyo Engineering Corporation. [www.toyo-eng.co.jp/en/advantage/technology/environment/superhidic/index.html](http://www.toyo-eng.co.jp/en/advantage/technology/environment/superhidic/index.html), aufgerufen am 15. April 2014.
- Vinnolit GmbH & Co. KG (2012):** Aufbau einer Demonstrationsanlage zur energieeffizienten Herstellung von Mikrosuspensions-PVC. Umweltinnovationsprogramm.
- VCI (2012b):** Factbook 05 – Die Formel Ressourceneffizienz. Verband der Chemischen Industrie e.V.
- VMA-Getzmann GmbH (2004):** Produktionsintegrierter Umweltschutz beim Dispergieren von Farben und Lacken oder vergleichbaren Produkten durch Integration von Prozessstufen in neuartiger Dispergieranlage (“TORUSMILL”). Osnabrück: Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- Weleda AG (2007):** BEST-Projekt Weleda AG – Ergebnisbericht Pharmazeutik. Karlsruhe: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.
- Westfall Manufacturing Company (2005):** Space Saving Mixer Offers – Superior Mixing & Low Headloss. Bristol.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)  
Bertolt-Brecht-Platz 3  
10117 Berlin  
Tel. +49 30-27 59 506-0  
Fax +49 30-27 59 506-30  
zre-info@vdi.de  
www.ressource-deutschland.de

Im Auftrag des:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



NATIONALE  
**KLIMASCHUTZ**  
INITIATIVE