

TEXTE

38/2017

Beiträge zur Nachhaltigkeitsstrategie: Minderung des Ressourcenverbrauchs in der Chemiebranche durch Instrumente der nachhaltigen Chemie

Endbericht

TEXTE 38/2017

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3713 93 425
UBA-FB 002438

Beiträge zur Nachhaltigkeitsstrategie: Minderung des Ressourcenverbrauchs in der Chemiebranche durch Instrumente der nachhaltigen Chemie

von

Prof. Dr. Dirk Bunke und Markus Blepp
Öko-Institut e.V., Freiburg,

Dr. Anke Joas, Dr. Reinhard Joas und Veronika Abraham
BiPRO GmbH, München

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V.
Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg

BiPRO GmbH
Grauertstraße 12
81545 München

Abschlussdatum:

Juli 2016

Redaktion:

Fachgebiet IV 1.1 Internationales Chemikalienmanagement
Dr. Christopher Blum

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2017

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3713 93 425 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Zusammenfassung

Nachhaltige Chemie kann einen bedeutenden Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten. Derzeit fehlt es allerdings an einem klaren Verständnis, was nachhaltige Chemie ist, an einer einheitlich abgestimmten Position hierzu und an einer Ausrichtung und Schwerpunktsetzung der unterschiedlichen Aktivitäten, die sich in diesem Feld in den letzten Jahrzehnten entwickelt haben. Vor diesem Hintergrund hatte das Forschungsprojekt „Beiträge zur Nachhaltigkeitsstrategie: Minderung des Ressourcenverbrauchs in der Chemiebranche durch Instrumente der nachhaltigen Chemie vier Ziele:

- Die Entwicklung eines Konzeptes der Nachhaltigen Chemie;
- die Entwicklung von Indikatoren, die die Nachhaltigkeit in der Chemie messen können;
- die Erprobung dieser Indikatoren anhand von Beispielen.
- die Abschätzung von Einsparpotenzialen durch Instrumente der nachhaltigen Chemie.

Dieser Bericht beschreibt den Indikatorensatz „Parameter der nachhaltigen Chemie“ und Erfahrungen mit seiner Anwendung. Die Ergebnisdarstellung in Form der Landkarte der Nachhaltigen Chemie wird erklärt. Wichtige Bezugspunkte dieser Arbeiten sind die Nachhaltigkeitsziele der UN und das International Sustainable Chemistry Collaborative Centre ISC₃.

Summary

Sustainable chemistry can make a significant contribution to sustainable development. However, a clear understanding of what actually constitutes sustainable chemistry is still lacking, a common position and a direction and prioritization of the various activities which have developed in this field in the last few decades. Against this background, the research project “Contributions to the sustainable development strategy: reduction of resource consumption in the chemical sector by instruments of sustainable chemistry” had four goals:

- development of a Concept of Sustainable Chemistry;
- development of indicators by means of which sustainability in chemistry can be measured;
- testing of these indicators on the basis of case studies; and
- assessment of potential savings through instruments of sustainable chemistry.

The report shows the indicators, their application and the map of sustainable chemistry. Important reference points for this work are the United Nations’ Sustainable Development Goals and to the International Sustainable Chemistry Collaborative Centre ISC₃.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Summary	4
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	10
1 Einführung: Hintergrund, Zielsetzung und Struktur des Projektes	12
2 Wie messen? Der Indikatorensatz „Parameter der nachhaltigen Chemie“	13
2.1 Ziel und methodisches Vorgehen.....	13
2.2 Die Anwendung der Indikatoren und ihre Grenzen.....	18
2.3 Die Zuordnung der Indikatoren zu den Ziele der UN für eine nachhaltige Entwicklung	20
2.4 Die Landkarte der Nachhaltigen Chemie	24
2.5 Relevanz bisher unberücksichtigter Nachhaltigkeitsansätze für die Entwicklung von Indikatoren für nachhaltige Chemie	27
2.5.1 EMAS.....	27
2.5.2 Entropie.....	27
2.5.3 Der Ökologische Fußabdruck.....	28
2.5.4 Ökobilanz	28
2.5.5 MIPS-Konzept.....	30
3 Praxiserfahrungen. Erprobung der Indikatoren an Fallbeispielen	31
3.1 Aufgabenstellung und Instrumente	31
3.1.1 Chemikalienleasing (ChL).....	32
3.1.2 Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“.....	33
3.2 Datengrundlage und Auswahl der Fallbeispiele.....	33
3.2.1 Auswahl der Fallbeispiele.....	34
3.2.2 Datenquellen.....	34
3.2.3 Berechnungsrahmen (Schlüsselstoff/Lieferkette)	35
3.2.4 Nachhaltigkeitsindikatoren	36
3.3 Ergebnisse der Fallbeispiele.....	36
3.3.1 Bambi & Henkel, Serbien	37
3.3.2 Knjaz Miloš & Ecolab, Serbien	44
3.3.3 Windsor & Ecolab, Brasilien.....	52
3.3.4 PERO Innovative Services & SAFECHEM, Österreich	58
3.3.5 Cabot und Statoil, Großbritannien und Norwegen	63
3.3.6 UHU.....	68

3.3.6.1	Fallbeispiel 1	69
3.3.6.2	Fallbeispiel 2	75
3.3.7	Kilian	81
4	Weniger Emissionen? Abschätzung von Branchenpotenzialen	88
4.1	Verkleben von Papier- und Pappverpackung	89
4.2	Schmierung von Fließbändern	90
4.3	Reinigung im Hotel	91
4.4	Reinigung von Metallteilen	92
4.5	Klebstoffe	93
4.6	Reinigungsmittel auf Basis von Pflanzenölestern	94
5	Schlussfolgerungen	95
5.1	Generelle Vor- und Nachteile	95
5.2	Der Indikatorenansatz „Parameter der nachhaltigen Chemie“	95
5.3	Instrumente nachhaltiger Chemie	96
5.4	Datenlage	97
5.5	Bewertung gegenläufiger Ergebnisse	99
6	Empfehlungen	100
6.1	Empfehlungen zur Verbesserung der Datenlage	100
6.2	Empfehlungen für den Indikatorenansatz und die Verbreitung der nachhaltiger Chemie	101
7	Quellenverzeichnis.....	103
8	Anhänge.....	105
8.1	Vorschlagsliste von Indikatoren für die Anwendbarkeitsprüfung	105
8.2	Nicht weiter bearbeitete Indikatoren	108

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Die Landkarte der Nachhaltigen Chemie. Die sechs Felder greifen die sechs Kernkriterien auf, denen einzelne Nachhaltigkeits-Indikatoren geordnet wurden.	25
Abbildung 2:	Die Landkarte der Nachhaltigen Chemie für das Chemikalienleasing beim Unternehmen Bambi. (Kap. 3.3.1).....	26
Abbildung 3:	Produktion von Klebstoffen in Deutschland (Quelle: Industrieverband Klebstoffe e.V.).	94

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Initiativen und Programme, die für die Identifizierung von Kriterien der nachhaltigen Chemie ausgewertet wurden. Abkürzungen: siehe Abkürzungsverzeichnis.	13
Tabelle 2:	Indikatorensetz „Parameter der nachhaltigen Chemie“ (25 Indikatoren).....	16
Tabelle 3:	Die Sustainable Development Goals (SDGs) , die für eine nachhaltige Chemie von Bedeutung sind, und Zuordnung der Indikatoren des Indikatorensetzes „Parameter der nachhaltigen Chemie“	20
Tabelle 4:	Die Sustainable Development Goals (SDGs) , die für eine nachhaltige Chemie von Bedeutung sind, und Zuordnung der Indikatoren des Indikatorensetzes „Parameter der nachhaltigen Chemie“	23
Tabelle 5:	Berechnung der Treibhausgasemissionen des serbischen Strommixes von 2010.....	35
Tabelle 6:	Aufschlüsselung der wirtschaftlichen Vorteile durch ChL und Substitution bei der Firma Bambi	40
Tabelle 7:	Toxizität und Einstufung der in Fallbeispiel 1 verwendeten Substanzen.	40
Tabelle 8:	Vergleich der NC-Indikatoren vor und nach der Einführung von ChL und der damit verbundenen Substitution bei der Firma Bambi.	41
Tabelle 9:	Gefahrstoffpotenzial HSP der in Fallbeispiel 2 verwendeten Chemikalien.	46
Tabelle 10:	Vergleich der NC-Indikatoren vor und nach der Einführung von ChL und der damit verbundenen Substitution bei Knjaz Miloš.....	48
Tabelle 11:	Schlüsselstoffe verschiedener Reinigungsmittel aus Fallbeispiel 3 und ihre Einstufung.	54
Tabelle 12:	Gefahrstoffpotenzial HSP für ausgewählte Reinigungsmittel aus Fallbeispiel 3*.....	55
Tabelle 13:	Vergleich der NC-Indikatoren für das ChL-Modell im Windsor Atlantica Hotel mit denen eines konventionell betriebenen Hotels*.....	56
Tabelle 14:	Gefahrstoffpotenzial HSP der in Fallbeispiel 4 verwendeten Chemikalie.	59
Tabelle 15:	Vergleich der NC-Indikatoren vor und nach der Einführung von ChL bei der Firma PERO.....	60
Tabelle 16:	Gefahrstoffpotenzial HSP einiger in Fallbeispiel 5 verwendeten Chemikalien.	64
Tabelle 17:	Überblick über verwendete Zusatzstoffe	64

Tabelle 18:	Vergleich der NC-Indikatoren vor und nach der Einführung von ChL bei der Firma Statoil.....	66
Tabelle 19:	Vergleich der NC-Indikatoren der zwei Lösemittel Ethanol und Aceton bei der Firma UHU.....	71
Tabelle 20:	Toxizität und Einstufung der in Fallbeispiel 1 (UHU) verwendeten Substanzen (Ethanol und Aceton).....	74
Tabelle 21:	Vergleich der NC-Indikatoren der zwei Lösemittel Ethylacetat und Methylacetat bei der Firma UHU	76
Tabelle 22:	Toxizität und Einstufung der in Fallbeispiel 2 (UHU) verwendeten Substanzen (Ethylacetat und Methylacetat).....	78
Tabelle 23:	Vergleich der NC-Indikatoren vor und nach der Substitution von Tetrachlorethylen durch Pflanzenölester bei der Firma Kilian	83
Tabelle 24:	Toxizität und Einstufung der im Fallbeispiel Kilian verwendeten Substanzen (Tetrachlorethylen und Pflanzenölester)	86
Tabelle 25:	Abschätzung des Minderungspotenzials für PPK-Verpackungsklebstoffe in Deutschland.	90
Tabelle 26:	Abschätzung des Minderungspotenzials für die Fließbandschmierung bei der Abfüllung von PET-Flaschen in Deutschland.	90
Tabelle 27:	Abschätzung der Brancheneinsparungen für den Hotelsektor in Deutschland pro Jahr und Tag für Reinigungsmittel und -kosten sowie damit verbundene indirekte Einsparungen.....	92
Tabelle 28:	Mögliche Einsparpotenziale in der Lieferkette von PER.....	93
Tabelle 29:	Quantifizierbare Indikatoren für nachhaltige Chemie, die auf Anwendbarkeit überprüft wurden.	105

Abkürzungsverzeichnis

BAT	Best Available Techniques
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BEP	Best Environmental Practices
BREF	Best Available Techniques Reference Document
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf (engl. biochemical oxygen demand BOD)
CAS Nummer	Chemical Abstract Services – Nummer
ChL	Chemikalienleasing
CO₂-Äq.	Kohlendioxid-Äquivalente
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf (engl. chemical oxygen demand COD)
EEA	European Environmental Agency , Europäische Umweltagentur
EEB	European Environmental Bureau
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
EU	Europäische Union
GPS	Global Productship Scheme
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Points
HSP	Gefahrstoffpotenzial (engl. hazardous substance potential)
IEA	Internationale Energie-Agentur
IED	Industrial Emissions Directive
ISO	International Organization for Standardization
ISC₃	International Sustainable Chemical Collaborative Centre
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KPI	Betriebswirtschaftliche Kennzahlen (engl. key performance indicators)
MEA	Multilateral Environmental Agreements
MEG	Monoethylenglykol
NC	Nachhaltige Chemie
NCPC	National Cleaner Production Centre
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OEF	Umweltfußabdruck von Organisationen, z. B. Unternehmen (engl. Organisation Environmental Footprint)
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
PCF	Product Carbon Footprint (PCF)
PEF	Umweltfußabdruck von Produkten (engl. Product Environmental Footprint)
PEFCRs	Product Environmental Footprint Category Rules
PER	Perchlorethylen/Tetrachlorethen

PET	Polyethylenterephthalat
PPK	Papier, Pappe und Karton
PSC	Product Stewardship Council
RC	Responsible Care Initiative
REACH	Europäische Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe
SAICM	Strategic Approach on International Chemicals Management
SDG	Sustainable Development Goal
SDGs	Ziele nachhaltiger Entwicklung (engl. Sustainable Development Goals)
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SMCW	Sound Management of Chemicals and Waste
THG	Treibhausgase
TRGS	Technischen Regel für Gefahrstoffe
TRI	Trichlorethylen
UBA	Umweltbundesamt
UFOPLAN	Umweltforschungsplan
UN	Vereinte Nationen (United Nations)
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
WSSD	World Summit on Sustainable Development
ZRE	Zentrum Ressourceneffizienz beim VDI

1 Einführung: Hintergrund, Zielsetzung und Struktur des Projektes

Nachhaltige Chemie kann einen bedeutenden Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten. Derzeit fehlt es allerdings an einem klaren Verständnis, was nachhaltige Chemie ist, an einer einheitlich abgestimmten Position hierzu und an einer Ausrichtung und Schwerpunktsetzung. Vor diesem Hintergrund hatte das Forschungsprojekt „Beiträge zur Nachhaltigkeitsstrategie: Minderung des Ressourcenverbrauchs in der Chemiebranche durch Instrumente der nachhaltigen Chemie“ vier Ziele:

- Die Entwicklung eines Konzeptes der Nachhaltigen Chemie;
- die Entwicklung von Indikatoren, anhand derer Nachhaltigkeit in der Chemie gemessen werden kann;
- die Erprobung dieser Indikatoren anhand von Beispielen;
- die Abschätzung von Einsparpotenzialen durch Instrumente der nachhaltigen Chemie.

Darüber hinaus ist im September 2015 die internationale Konferenz „Sustainable Chemistry 2015: the way forward“ vom Bundesumweltministerium und dem Umweltbundesamt ausgerichtet worden. Auf dieser wurde das Konzept der Nachhaltigen Chemie in seinen Grundzügen vorgestellt. Gemeinsam wurde erarbeitet, wo nachhaltige Chemie derzeit steht, und wie die nächsten Schritte aussehen.

In diesem Abschlussbericht werden die im Projekt erarbeiteten Indikatoren dokumentiert. Der Bericht ist in folgende Kapitel gegliedert.

- Kapitel 2 zeigt der Indikatorensatz „Parameter der nachhaltigen Chemie“, wie es entwickelt wurde und wie die Ergebnisse mit Hilfe der „Landkarte der Nachhaltigen Chemie“ dargestellt werden können. Die Indikatoren nehmen Bezug auf Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen.
- Kapitel 3 zeigt die Anwendung der Indikatoren in konkreten Beispielen. Es enthält auch Schlussfolgerungen und Empfehlungen für das weitere Vorgehen.
- Kapitel 4 enthält erste Abschätzungen zu Einsparpotenzialen auf Branchenebene.
- Schlussfolgerungen und Empfehlungen sind Gegenstand der Kapitel 5 und 6.

Einzelheiten zu den verschiedenen Arbeitsschritten sind in den Anhängen 1 und 2 dokumentiert. Die Ergebnisse des Projektes sollen auch die Arbeiten des International Sustainable Chemistry Collaborative Centers ISC₃ unterstützen.

2 Wie messen? Der Indikatorenansatz „Parameter der nachhaltigen Chemie“

2.1 Ziel und methodisches Vorgehen

Um Nachhaltigkeit bewerten zu können, sind quantifizierbare Indikatoren eine wichtige Hilfe. Daher sind im Rahmen des Projektes solche Indikatoren erarbeitet worden. Sie sollen es ermöglichen, konkrete Nachhaltigkeitsmaßnahmen in Unternehmen zu bewerten. Die Zielgruppe für die Anwendung der Indikatoren sind Unternehmen, die Chemikalien herstellen oder verwenden.

Der im Projekt entwickelte Satz von 25 quantifizierbaren Indikatoren zur Nachhaltigkeit wird ergänzt durch eine „Landkarte der Nachhaltigen Chemie“. Diese Karte zeigt an, welche Gebiete der nachhaltigen Chemie durch eine Maßnahme angesprochen werden (siehe Kap. 2.4).

Die Entwicklung des Indikatorenansatzes „Parameter der nachhaltigen Chemie“ erfolgte in einem mehrstufigen Prozess auf der Basis einer ausführlichen Literaturrecherche nach quantifizierbaren Kriterien für Nachhaltigkeit, die in der chemischen Industrie Anwendung finden können.

Dabei wurde mit Blick auf die europäische und internationale Nachhaltigkeitsdiskussion (Rio+20, Ziele nachhaltiger Entwicklung bzw. Sustainable Development Goals (SDGs)) ein möglichst integrativer Ansatz gewählt, der neben den reinen Ressourceneffizienzaspekten auch ökonomische und soziale Parameter umfasst. Die Indikatoren sprechen alle Themenfelder an, die im Konzept der Nachhaltigen Chemie mit Bedeutung für Unternehmen genannt sind.

Zunächst wurden bestehende Indikatoren(sätze) für Nachhaltigkeit ausgewertet, bewertet sowie kondensiert¹. Hieraus wurde ein erster Vorschlag für einen Indikatorenansatz für nachhaltige Chemie generiert. Dieser Satz ist dann über eine praktische Machbarkeitsprüfung weiter konsolidiert worden.

Für die Entwicklung des Indikatorenansatzes „Parameter der nachhaltigen Chemie“ wurden folgende Schritte durchgeführt.

Schritt 1: Recherche und Gruppierung

Insgesamt wurden 28 Initiativen in die Auswertung einbezogen. Sie sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Initiativen und Programme, die für die Identifizierung von Kriterien der nachhaltigen Chemie ausgewertet wurden. Abkürzungen: siehe Abkürzungsverzeichnis.

Nr.	Name der Initiative
3.1	Green Chemistry – Principles (Anastas 1996)
3.2	OECD Green Growth Indicators 2011
3.3	Green Growth Knowledge Platform Scoping paper
3.4	OECD Guidelines for Multinational Enterprises
3.5	OECD CEI (Core Environmental Indicators)
3.6	Environmental Sustainability Indicators (ESI)
3.7	Responsible Care

¹ Nach einer ersten Kondensation der über 200 in AP 1 identifizierten Indikatoren auf ein Set von 78, wurde dieses in einer praktischen Anwendbarkeitsprüfung mit ausgewählten Industriebetrieben (Unternehmensbefragung) weiter komprimiert (siehe zweiter Sachstandsbericht zu AP 1).

Nr.	Name der Initiative
3.8	SusChem (European Technology Platform for sustainable chemistry)
3.9	Chemie3
3.10	Global Reporting Initiative (GRI)
3.11	Global Product Stewardship Council (Global PSC)
3.12	Green Economy Indikatoren der UNEP Initiative
3.13	Globale Partnerschaft für Nachhaltigkeitsindikatoren in der Bioenergie (GBEP)
3.14	UN Global Compact
3.15	EU-Strategie für Nachhaltige Entwicklung- EU 2020
3.16	Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie
3.17	Kriterien aus dem UBA Projekt "Assistenz bei der Evaluierung von Strategien zur Chemikaliensicherheit und Weiterentwicklung einer nachhaltigen Chemie in Deutschland"
3.18	UBA/OECD Kriterien für Nachhaltigkeit (2004)
3.19	Chemikalienleasing
3.20	Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“
3.21	BMU/BDI Memorandum für eine Green Economy
3.22	ProgRess
3.23	Handlungsempfehlungen der Enquete Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität- Wege zum nachhaltigem Wirtschaften und gesellschaftlichen Fortschritt in der sozialen Marktwirtschaft“
3.24	VDI ZRE Ressourceneffizienz
3.25	Nicht berücksichtigte Initiativen
3.26	OECD/EEA Environmental Policy Instruments database
3.27	OECD Plattform für Nachhaltige Chemie (SCP)
3.28	Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (KRU)
3.29	SubChem (sustainable substitution of hazardous chemicals)

Die Beschreibung der Programme und die Ergebnisse im Einzelnen sind in einem eigenen Bericht dokumentiert (Sachstandsbericht zum Arbeitspaket 1)².

Aus 21 der analysierten Programme konnten über 700 Einzelkriterien und Indikatoren identifiziert und nach Themenfeldern gruppiert werden. Die Bezeichnung folgte soweit möglich der Originalbezeichnung. Folgende Themenfeldgruppen sollten abgedeckt sein.

- A Nachhaltiges Ressourcenmanagement
- B Minimierung von schädlichen Emissionen oder Einträgen in die Umwelt
- C Nachhaltige Innovation von Prozessen und Produkten für optimale Ressourceneffizienz und Minimierung des Gefährdungspotenzials
- D Umweltbezogene Gesundheit und Lebensqualität
- E Nachhaltige Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit

² Dieser Bericht kann beim Umweltbundesamt angefordert werden (Ansprechpartner: Herr Christopher Blum, christopher.blum@uba.de).

F Internationale Verantwortung, Förderung von Bildung, Arbeitsbedingungen und Menschenrechten

Schritt 2: Eingrenzung

Diese >700 Einträge wurden zu 78 Indikatoren (siehe Anhang 8.1) verdichtet und ausgewählten Experten aus der Industrie zur Bewertung vorgelegt. (Anhang 8.2 listet die Indikatoren auf, die in Schritt 2 ausgesondert wurden).

Die Selektion folgte dabei dem Ziel, ein überschaubares Kriterienset zu generieren, das möglichst alle relevanten Themen abdecken sollte, die in der nationalen/europäischen und internationalen Diskussion angesprochen sind. Gleichzeitig sollte ein klarer Schwerpunkt auf Quantifizierbarkeit und der Anwendbarkeit durch Unternehmen im Routinebetrieb liegen. Die 78 Indikatoren wurden so ausgewählt, dass die folgenden **Kernkriterien** abgedeckt sind:

1. Minimierung von Klimaauswirkungen durch Produkte und Produktionsprozesse
2. Minimierung negativer Auswirkungen auf Umwelt, Energie und Ressourcen von Chemikalien, die in Produktions- und Anwendungsprozessen verwendet werden
3. Optimierung von Produktion und Produktdesign unter Berücksichtigung des gesamten Lebenswegs durch technische Innovation und Wissenstransfer und durch optimierte Integration von umwelt-, ökonomischen und sozialen Aspekten in betriebliche Prozesse
4. Minimierung der Gesundheitsgefährdung durch Stoffe, Produktion und Produkte
5. Schaffung wirtschaftlicher Vorteile durch Umweltinvestitionen und nachhaltige Zusammenarbeit
6. Optimierte Integration von Umwelt, ökonomischen und sozialen Aspekten in betriebliche Prozesse im Sinne von Transparenz, Ausbildung, Sozialstandards, Dialog und internationaler Zusammenarbeit

Die Kondensierungs- und Selektionsschritte wurden anhand der folgenden Auswahlkriterien vorgenommen:

- ▶ Relevanz für Betriebe der Chemischen Industrie oder Anwender von Chemikalien
- ▶ Im Routinebetrieb von Unternehmen zu erhebender Indikatorensatz als Hilfsinstrument für eine integrierte Erstprüfung (Performance, Potenziale, Risiken) von Produkten, Prozessen, Maßnahmen, oder Unternehmensperformance für Unternehmen der chemischen Industrie oder Anwender von Chemikalien

Es wurde insbesondere darauf geachtet, Kriterien und Indikatoren nur einmal zu nennen. Mehr als 20 Experten aus der Praxis wurden gebeten, zu benennen, welche Indikatoren für eine quantitative Zustandsbewertung am besten geeignet und von Unternehmensseite her messbar/lieferbar sind. Anschließend wurden die Experten gebeten, eine vergleichende Bewertung der Wichtigkeit (niedrig – mittel – hoch) durchzuführen.

Schritt 3: Finalisierung

Aus diesen 78 Indikatoren wurden 25 Indikatoren ausgewählt, anhand von drei Kriterien:

- ▶ Der Satz soll alle oben genannten 6 Kernkriterien abdecken.
- ▶ Die Indikatoren sollen die internationale Nachhaltigkeitsdiskussion und die Sustainable Development Goals (SDGs) berücksichtigen.
- ▶ Die Ergebnisse des Votums aus dem Praxistest sollen in die Auswahl eingehen.
- ▶ Die Indikatoren sollen die wissenschaftlichen Diskussionen zu Sachbilanzen und Wirkungskategorien aufnehmen, aber deutlich weniger aufwendig in der Durchführung sein als eine Ökobilanz.

Zum Praxistest (2. Kriterium): Aufgenommen wurden Indikatoren, die von mindestens 80% der Befragten als wichtig bezeichneten wurden. Ergänzt wurden weitere Indikatoren aus der mittleren Wertungsgruppe, die für eine ausreichende Abdeckung der Kernkriterien wichtig sind.

Die folgende Tabelle 2 zeigt den Indikatorensatz „Parameter der nachhaltigen Chemie“.

Tabelle 2: Indikatorensatz „Parameter der nachhaltigen Chemie“ (25 Indikatoren)

KK		Indikator ³	Ziel-Einheit ⁴ (bei Bedarf auf Anwendungszweck anpassen)
1	NC 1	THG (Treibhausgas)-Emissionen	kg CO ₂ -Äquivalente über Lebenszyklus (ideal GWP (Global Warming Potential) ₁₀₀ gemäß Ökobilanz)
2	NC 2	Rohstoffaufwand	kg; grundsätzlich möglich auch im Sinne von Verlustpotenzial in der Ökobilanz
2	NC 3	Rohstoffintensität/-produktivität	kg Rohstoff/kg Produkt bzw. kg Produkt/kg Rohstoff
2	NC 4	Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe	% des Gesamtrohstoffeinsatzes
2	NC 5	Energieaufwand	kWh oder MJ (unter Berücksichtigung aller nicht-erneuerbarer und erneuerbarer energetischer Energieträger (oberer Heizwert) (grundsätzlich möglich auch im Sinne von Verlustpotenzial gemäß Ökobilanz)
2	NC 6	Energieintensität/-produktivität	kWh/kg Produkt bzw. kg Produkt/kWh
2	NC 7	Wasserbedarf gesamt	m ³ , möglich auch als Wasserverknappungspotenzial (WVP m ² H ₂ Oe) gemäß Ökobilanz
2	NC 8	Anteil rückgewonnenes Wasser	% des Gesamtwasserverbrauchs
2	NC 9	Schadstoffemissionen in die Luft	Menge Schadstoffe/Jahr (z.B. µg/a oder µg/kg Produkt), ggf. Gewichtung, hier auch Summenindikator „Versauerungspotenzial“ (kg SO ₂ -Äquivalente) und toxische Schädigung durch Feinstaub kg PM (Particulate Matter) ¹⁰ Äquivalenten gemäß Ökobilanz
2	NC 10	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden	Menge Schadstoffe/Jahr (z.B. µg/a oder µg/kg Produkt), ggf. Gewichtung, hier u.a. auch Summenindikator „Aquatisches und terrestrisches Eutrophierungspotenzial (EP) (kg PO ₄ -e) gemäß Ökobilanz für eutrophierende Stoffe
2	NC 11	Abfallaufkommen	t/a oder t Produkt
2	NC 12	Anteil gefährlicher Abfälle	% des Abfallaufkommens
3	NC 13	Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion	% der Produktmasse
3	NC 14	Gehalt an Gefahrstoffen (als Indikator für Substitution von Gefahrstoffen)	% in Produktmasse ergänzt durch Angaben zur Gefahstoffeinstufung und weiteren Gefährdungsmerkmale (z.B. persistente, bioakkumulative und toxische Stoffe (PBT), hormonelle Wirkung); Berechnung von Umwelt- und Ge-

³ Direkte + indirekte Auswirkungen des Nachhaltigkeitsinstrumentes

⁴ Sofern möglich pro t Produktmasse, alternativ z. B. pro Jahr

KK		Indikator ³	Ziel-Einheit ⁴ (bei Bedarf auf Anwendungszweck anpassen)
			sundheitsgefährdungspotential (z.B. Frischwassertoxizität; Humanes Toxizitätspotential , (HTP _{cancer} , HTP _{non-cancer}), Krebsrisikopotenzial (Cancer Risk Potential CRP) oder Gefahrstoffpotential (Hazardous Substances Potential HSP) ⁵
4	NC 15	Arbeitsunfälle	gesamt/Jahr
4	NC 16	berufsbedingte Erkrankungen	% der Beschäftigten
5	NC 17	Wirtschaftliche Vorteile durch nachhaltige Maßnahmen	€/Jahr
5	NC 18	Investitionsintensität in Umwelt- und/oder Ressourcenschutz	% der Gesamtinvestitionen und € pro Jahr
5	NC 19	Marktpräsenz	Marktanteil in % (Umsatz Unternehmen geteilt durch Umsatz Markt)
5	NC 20	Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind	% aller Zulieferer und Auftragnehmer (entlang der gesamten Wertschöpfungskette)
6	NC 21	Zertifizierung nach ISO, EMAS etc.	Liste der Zertifizierungen
6	NC 22	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter	h/Mitarbeiter/Jahr (bezogen auf die räumliche Systemgrenze)
6	NC 23	Anteil Frauen gesamt	% der Beschäftigten (bezogen auf die räumliche Systemgrenze)
6	NC 24	Anteil Frauen in Führungspositionen	% der Beschäftigten in Führungspositionen (bezogen auf die räumliche Systemgrenze)
6	NC 25	Personen, die unter Arbeitsvereinbarungen fallen	% der Beschäftigten (bezogen auf die räumliche Systemgrenze)
-		Sonstige Vorteile	Nicht quantifizierbar

⁵ das Gefahrstoffpotential (HSP) errechnet sich aus dem „Wirkpotential“ der Schadstoffe und dem Schadstoffgehalt im Produkt über den Indikator „Monoethylenglykol-Aquivalente (MEG-Äqu.)“ (Bunke und Graulich 2003). Das Gefahrstoffpotenzial wird in drei Schritten bestimmt: Bestimmung des Wirkfaktors W für den Gefahrstoff (aus R-Sätzen über Zuordnungstabelle nach TRGS 440); Vergleich des Stoffes mit der Bezugssubstanz (Monoethylenglykol); Bilanzierung der eingesetzten Mengen. Eine Anpassung an die neuen H-Sätze unter CLP ist geplant.

2.2 Die Anwendung der Indikatoren und ihre Grenzen

Die 25 Indikatoren des Indikatorenansatzes sollen konkrete Nachhaltigkeitsmaßnahmen in Unternehmen bewerten. Hierbei sprechen die vorgeschlagenen Einheiten bewusst die konkrete technisch-praktische Ebene im einzelnen Unternehmen an. Im Indikatorenansatz selber ist keine Aggregation auf Branchenebene vorgesehen.

Die Bewertung kann sich beziehen auf den Einsatz neuer Produkte und innovativer Materialien (Substitutionsmaßnahmen) und optimierte Produktionsprozesse oder eine Kombination aus Substitution und Prozessoptimierung in einem integrierten Ansatz unter Berücksichtigung einer breiten Palette von Nachhaltigkeitsgesichtspunkten.

Die Anwendung der Indikatoren liefert als Ergebnis eine erste quantitative Einschätzung, ob eine Maßnahme zu mehr Nachhaltigkeit geführt hat. Diese Einschätzung kann ein Unternehmen bei nachhaltigen Lösungen unterstützen und gibt Richtungssicherheit für Entscheidungen. Grundlage der Einschätzung sind Daten, die im Unternehmen selber erhoben werden können.

Die Indikatoren können für Untersuchungen auf sechs Ebenen eingesetzt werden:

- Produkte (Stoffe, Gemische, Materialien, Erzeugnisse)
- Prozesse
- Dienstleistungen
- andere Aktivitäten (z.B. Handel mit Chemikalien und chem. Produkten)
- ein einzelner Standort eines Unternehmens
- mehrere Standorte oder das gesamte Unternehmen.

Der Vergleich mehrerer Möglichkeiten (vor / nach der Durchführung einer Maßnahme) ist umso einfacher, je ähnlicher die Randbedingungen der Untersuchung sind, z.B. wenn bei einer Änderung der Prozesstemperatur die verwendeten Energieträger gleich bleiben. Der Vergleich wird schwieriger, wenn die Randbedingungen unterschiedlich sind. Dann ist eine genaue Beschreibung der Bezugsgrößen und der Prozessparameter erforderlich. Hierzu gehören auch die Berücksichtigung der Herkunft der eingesetzten Materialien und ihrer Vor- und Nachketten. Der Vergleich wird daher eher möglich innerhalb eines Unternehmens. Er wird schwieriger, wenn Handlungen unterschiedlicher Unternehmen miteinander verglichen werden sollen.

Der Indikatorenansatz ist mit 25 Indikatoren nicht klein. Die Anwendung auf Beispielfälle hat allerdings gezeigt, dass im Einzelfall in der Regel nur bei einer begrenzten Zahl von Indikatoren tatsächlich Veränderungen auftreten – je nach Beispiel bei unterschiedlichen Indikatoren (z.B. beim Energieverbrauch und bei der Menge der eingesetzten Chemikalien, aber nicht bei der Anzahl der Beschäftigten). Wichtig ist bei der Anwendung daher zunächst eine orientierende Untersuchung zu ermitteln, welche der Indikatoren für die ausgewählte Maßnahme von Bedeutung sind. So wird z.B. bei vielen abwasserfreien Fertigungsprozessen für die Einführung eines neuen Materials der Indikator „Schadstoffemissionen in das Wasser und in den Boden“ nicht von Bedeutung sein. Durch diese orientierende Untersuchung kann die Zahl der zu betrachtenden Indikatoren in vielen Fällen stark eingegrenzt werden.

Der vorgeschlagene Indikatorenansatz liefert keine ausführlichen Einzelbewertungen. Hierzu sind auch die Vor- und Nachketten der Materialien einzubeziehen. Für diese weiterführenden Untersuchungen gibt es andere Instrumente (Ökobilanzen, Product Carbon Footprints, OEF u.a.). Allerdings können die mit den Indikatoren gewonnenen Werte für solche Folge-Bewertungen genutzt werden. Daher wurde bei der Entwicklung der Indikatoren der gegenwärtige Stand der Methodendiskussion aus anderen Bewertungsinstrumenten (insbesondere Ökobilanz) berücksichtigt.

Der Indikatorenansatz ermöglicht eine Erstprüfung, die Richtungssicherheit bei den Kernkriterien gibt. Sie ist wenig aufwendig in der Durchführung und lässt erkennen, ob es in zentralen Nachhaltigkeitsfeldern Vor- oder Nachteile gibt. Ein Ergebnis dieser Erstprüfung kann sein, dass für bestimmte Maßnahmen eine vertiefte und umfangreichere Beurteilung der Nachhaltigkeit sinnvoll ist.

In diesem Sinne erlaubt es der Indikatorenansatz auch, „Hot Spots für die Nachhaltigkeitsbewertung“ zu identifizieren, bei denen ein frühzeitiges Gegensteuern sinnvoll sein kann.

Kriterien wie Investitionen in nachhaltige Produktionstechnologie, Anteil der Produkte mit Lebenszyklusanalyse und monetärer Gewinn wären weitere mögliche Indikatoren für eine Nachhaltigkeitsbewertung, die beim letzten Projekttreffen auch intern diskutiert wurden.

Ähnlich wie beispielsweise Biodiversität betrachtet das Projektteam diese allerdings entweder als zu schwer zu erheben oder sie sind wenig aussagefähig oder von zu vielen externen Parametern beeinflusst, sodass das Projektteam von einem Einschluss dieser Indikatoren in die konsolidierte Liste abrä, auch wenn sie bei dem Anwendbarkeitstest mit einer mittleren Gewichtung genannt wurden.

Die Einheiten der Indikatoren sollten grundsätzlich immer bezogen auf eine funktionelle Einheit angegeben werden. Im Idealfall werden dabei Intensitäten genannt, die z. B. beschreiben, wie viel Energie pro Tonne Produkt benötigt wird oder welche Menge Emissionen bei der Produktion einer Tonne Produkt austritt. Somit werden die Angaben untereinander vergleichbar. Bei der Datenaufnahme ist daher darauf zu achten, dass alle Einheiten für Aufwendungen und Emissionen einer Bezugsgröße (im Idealfall der Produktionsmenge) gegenüberstehen.

Es hat sich aber bei der praktischen Anwendung in den Fallbeispielen gezeigt, dass besonders bei einer retrospektiven Analyse nicht alle notwendigen Daten (beispielsweise die produzierte Menge mit einer bestimmten Einheit Rohstoffes Inputs) vorhanden sind und auch nicht mehr von den Unternehmen beigebracht werden können. In solchen Fällen empfiehlt das Projektteam, dass auch Angaben pro Jahr oder in Bezug auf andere funktionelle Einheiten möglich sein sollten, um quantifizierbare Aussagen treffen zu können.

Aufgrund der Datenlage und -verfügbarkeit in den einzelnen Fallbeispielen war es dem Projektteam auch nicht möglich, bei den ausgewählten / betrachteten Beispielen alle Indikatoren mit spezifischen Zahlenwerten zu hinterlegen.

Dafür wurden, soweit möglich, indirekte Daten oder Literaturwerte herangezogen. Die Datenlage und die Datenbeschaffung werden im Kapitel 3.2 beschrieben.

Energie- sowie Rohstoffintensität/-produktivität ließen sich zum Teil auch aus Daten zu Energie- bzw. Rohstoffbedarf berechnen, wenn die damit hergestellte Menge Produkt bzw. ausgeführte Funktion zugänglich war (Jahresangaben). Diese und weitere Erfahrungen aus der Anwendung der Indikatoren werden im Kapitel 3.3 beschrieben.

Die Indikatoren sprechen alle Themenfelder an, die im Konzept der Nachhaltigen Chemie mit Bedeutung für Unternehmen genannt sind. Als Grundlage des Handelns und insofern implizite Voraussetzung der Anwendung des Indikatorenansatzes leistet die Umsetzung existierender Regelungen im Chemiesektor, wie REACH und IED, einen wichtigen Beitrag zur Erfüllung der Nachhaltigkeitsziele. Unternehmen sollten diese Umsetzung eigenständig monitoren und darüber auch in ihrer Nachhaltigkeitsberichterstattung berichten. Da der Indikatorenansatz einzelne Maßnahmen mit direktem Bezug zu Stoffen, Materialien und Produkten anspricht, sind in ihm keine Indikatoren zur Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben enthalten. Hier sind von den Unternehmen ergänzende Indikatoren anzuwenden.

2.3 Die Zuordnung der Indikatoren zu den Ziele der UN für eine nachhaltige Entwicklung

Im September 2015 sind von der UN 17 Ziele für eine Nachhaltige Entwicklung beschlossen worden: die „Sustainable Development Goals“ („UN SDGs“). Sie wurden mit Unterzielen konkretisiert. Die im Projekt entwickelten Indikatoren der nachhaltigen Chemie können genutzt werden, um mehrere der UN SDGs zu quantifizieren.

Die beiden folgenden Tabellen 3 und 4 zeigen die Zuordnung der Indikatoren des Indikatorsets „Parameter der nachhaltigen Chemie“ zu den Zielen und Unterzielen der UN für eine nachhaltige Entwicklung. Von der UN sind für die Unterziele auch Indikatoren entwickelt worden. Für die folgende Zuordnung wurde als Bezugsebene allerdings nicht diese UN Indikatoren, sondern die UN Unterziele genommen. Der Grund ist die unterschiedliche Zielsetzung der Indikatoren des Indikatorsets „Parameter der nachhaltigen Chemie“ und der Indikatoren zu den UN SDGs:

- Der Indikatorensetz „Parameter der nachhaltigen Chemie“ wurde für die Anwendung durch Unternehmen ausgerichtet – mit der Zielsetzung, einzelne Maßnahmen zu beurteilen. Sie ermöglichen es, von der Stoff- bis zur Produkt- und Prozess-Ebene konkrete Kenngrößen für eine Nachhaltigkeitsbetrachtung durch ein einzelnes Unternehmen quantitativ darzustellen.
- Die UN Indikatoren zu den Nachhaltigkeitszielen haben eine andere Ausrichtung. Sie sollen den Erfolg von Maßnahmen dokumentieren, z.B. den Anteil der Bevölkerung mit Zugang zu sauberem Trinkwasser. Sie sprechen die internationale Ebene an.

Für diese unterschiedlichen Ebenen sind unterschiedliche Werkzeuge erforderlich. Insofern ergänzen sich die Indikatoren-Systeme – auch wenn die einzelnen Indikatoren nicht direkt miteinander vergleichbar sind. In den Tabellen 3 und 4 wird die Zuordnung der Indikatoren zu den UN-Zielen und UN-Unterzielen gezeigt.

- In Tabelle 3 werden die SDGs genannt, die einen Bezug zu Chemikalien haben. Es werden dann die zugehörigen Unterziele aufgeführt und gezeigt, welche Indikatoren des Indikatorensetzes hier von Bedeutung sind.
- In Tabelle 4 werden die Indikatoren des Indikatorensetzes aufgelistet und ergänzt durch die Nennung der von ihnen angesprochenen Unterziele der UN SDGs.

Tabelle 3: Die Sustainable Development Goals (SDGs) , die für eine nachhaltige Chemie von Bedeutung sind, und Zuordnung der Indikatoren des Indikatorsets „Parameter der nachhaltigen Chemie“

SDG	Target No.	Target (Fett geschrieben: Ziele, die explizit Chemikalien erwähnen)	NC Indikator
Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages	3.9	By 2030, substantially reduce the number of deaths and illnesses from hazardous chemicals and air, water and soil pollution and contamination	Schadstoffemissionen (NC 123), Gehalt an Gefahrstoffen (NC 2678), gefährliche Abfälle, Berufsbedingte Erkrankungen, Mortalitätsrate
	3d	Strengthen the capacity of all countries, in particular developing countries, for early warning, risk reduction and management of national and global health risks	Gehalt an Gefahrstoffen, Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind, Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter, Anteil gefährlicher Abfälle

SDG	Target No.	Target (Fett geschrieben: Ziele, die explizit Chemikalien erwähnen)	NC Indikator
Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all	6.1	By 2030, achieve universal and equitable access to safe and affordable drinking water for all	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden
	6.3	By 2030, improve water quality by reducing pollution, eliminating dumping and minimizing release of <u>hazardous chemicals</u> and materials, halving the proportion of untreated wastewater and substantially increasing recycling and safe reuse globally	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden, Anteil rückgewonnenes Wasser
	6b	By 2030, expand international cooperation and capacity-building support to developing countries in water- and sanitation-related activities and programmes, including water harvesting, desalination, water efficiency, wastewater treatment, recycling and reuse technologies	Wasserbedarf gesamt, Anteil rückgewonnenes Wasser, Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden, Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind, Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter
Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable	11.6	By 2030, reduce the adverse per capita environmental impact of cities, including by paying special attention to air quality and municipal and other waste management	Evtl.: Anteil gefährlicher Abfälle, Schadstoffemissionen in Luft, Wasser und Boden
	11b	By 2020, substantially increase the number of cities and human settlements adopting and implementing integrated policies and plans towards inclusion, resource efficiency, mitigation and adaptation to climate change, resilience to disasters, and develop and implement, in line with the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, holistic disaster risk management at all levels	Investition in Ressourcenschutz, THG-Emissionen, Rohstoffintensität, Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe, Energieintensität
Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development	14.1	By 2025, prevent and significantly reduce marine pollution of all kinds, in particular from land-based activities, including marine debris and nutrient pollution	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden, Abfallaufkommen gesamt, Anteil gefährlicher Abfälle

SDG	Target No.	Target (Fett geschrieben: Ziele, die explizit Chemikalien erwähnen)	NC Indikator
Ensure sustainable consumption and production Patterns	12.1	Implement the 10-year framework of programmes on sustainable consumption and production, all countries taking action, with developed countries taking the lead, taking into account the development and capabilities of developing countries	Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion, Gehalt an Gefahrstoffen
	12.2	By 2030, achieve the sustainable management and efficient use of natural resources	Rohstoffaufwand, Rohstoffintensität/-produktivität, Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe, Energieaufwand, Energieintensität/-produktivität, Wasserbedarf gesamt
	12.4	By 2020, achieve the environmentally sound management of chemicals and all wastes throughout their life cycle, in accordance with agreed international frameworks, and significantly reduce their release to air, water and soil in order to minimize their adverse impacts on human health and the environment	Schadstoffemissionen in die Luft Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden Abfallaufkommen Anteil gefährlicher Abfälle, Gehalt an Gefahrstoffen, berufsbedingte Erkrankungen, Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind, Zertifizierung nach ISO, EMAS etc.
	12.5	By 2030, substantially reduce waste generation through prevention, reduction, recycling and reuse	Abfallaufkommen gesamt, Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe
	12.6	Encourage companies, especially large and transnational companies, to adopt sustainable practices and to integrate sustainability information into their reporting cycle	Investitionsintensität in Umwelt- und/oder Ressourcenschutz, Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind, Zertifizierung nach ISO, EMAS etc.
	Ensure inclusive and equitable quality education and promote life-long learning opportunities for all	4.4	By 2030, substantially increase the number of youth and adults who have relevant skills, including technical and vocational skills, for employment, decent jobs and entrepreneurship
4.7		By 2030, ensure that all learners acquire the knowledge and skills needed to promote sustainable development, including, among others, through education for sustainable development and sustainable lifestyles, human rights, gender equality, promotion of a culture of peace and non-violence, global citizenship and	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter, (Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind)

SDG	Target No.	Target (Fett geschrieben: Ziele, die explizit Chemikalien erwähnen)	NC Indikator
		appreciation of cultural diversity and of culture's contribution to sustainable development	
Achieve gender equality and empower all women and girls	5.1	End all forms of discrimination against all women and girls everywhere	(Anteil Frauen insgesamt)
	5.5	Ensure women's full and effective participation and equal opportunities for leadership at all levels of decision-making in political, economic and public life	(Anteil Frauen insgesamt)
Take urgent action to combat climate change and its impacts	13		THG-Emissionen, (Abfallaufkommen,) Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion

EMAS: Eco-Management and Auditing Scheme, ISO: International Organisation for Standardization), THG: Treibhausgase.

Die Tabelle 3 zeigt, dass der Indikatorenansatz „Parameter der nachhaltigen Chemie“ für acht der Nachhaltigkeitsziele der UN von Bedeutung ist – und für achtzehn Unterziele.

Die folgende Tabelle 4 zeigt in der ersten Spalte, wie sich die Indikatoren des Indikatorenansatzes „Parameter der nachhaltigen Chemie“ den Unterzielen der Sustainable Development Goals zuordnen lassen.

Tabelle 4: Die Sustainable Development Goals (SDGs), die für eine nachhaltige Chemie von Bedeutung sind, und Zuordnung der Indikatoren des Indikatorenansatzes „Parameter der nachhaltigen Chemie“

KK		Indikator ⁶	SDG target
1	NC 1	THG-Emissionen	11b, 13
2	NC 2	Rohstoffaufwand	12.2
2	NC 3	Rohstoffintensität/-produktivität	11b, 12.2
2	NC 4	Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe	11b, 12.2, 12.5
2	NC 5	Energieaufwand	12.2
2	NC 6	Energieintensität/-produktivität	11b, 12.2

⁶ Direkte + indirekte Auswirkungen des Nachhaltigkeitsinstrumentes

KK		Indikator6	SDG target
2	NC 7	Wasserbedarf gesamt	(6.3), 6b, 12.2
2	NC 8	Anteil rückgewonnenes Wasser	6.3, 6b
2	NC 9	Schadstoffemissionen in die Luft	3.9, 12.4
2	NC 10	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden	3.9, 6.1, 6.3, 6b, 14.1, 12.4
2	NC 11	Abfallaufkommen	14.1, 12.4, 12.5, 13
2	NC 12	Anteil gefährlicher Abfälle	3d, 3.9, 14.1, 12.4
3	NC 13	Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion	12.1, 13
3	NC 14	Gehalt an Gefahrstoffen	3.9, 3d, 12.1, 12.4
4	NC 15	Arbeitsunfälle	
4	NC 16	berufsbedingte Erkrankungen	3.9, 12.4
5	NC 17	Wirtschaftliche Vorteile durch nachhaltige Maßnahmen	
5	NC 18	Investitionsintensität in Umwelt- und/oder Ressourcenschutz	12.6
5	NC 19	Marktpräsenz	
5	NC 20	Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind	3d, 6b, (12.4), 12.6, 4.4, 4.7
6	NC 21	Zertifizierung nach ISO, EMAS etc.	(12.4), 12.6
6	NC 22	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter	3d, 6b, 4.4, 4.7
6	NC 23	Anteil Frauen gesamt	5.1, (5.5)
6	NC 24	Anteil Frauen in Führungspositionen	5.1, (5.5)
6	NC 25	Personen, die unter Arbeitsvereinbarungen fallen	5.1, (5.5)
-		Sonstige Vorteile	

2.4 Die Landkarte der Nachhaltigen Chemie

Das Set der 25 quantifizierbaren Indikatoren zur Nachhaltigkeit wird ergänzt durch die „Landkarte der Nachhaltigen Chemie“. Diese Karte zeigt an, welche Gebiete der nachhaltigen Chemie durch eine Maßnahme angesprochen werden.

Bezugspunkt der Karte sind die im Projekt beschriebenen sechs Kernkriterien für nachhaltige Chemie:

1. Minimierung von **Klimaauswirkungen** durch Produkte und Produktionsprozesse
2. Minimierung negativer Auswirkungen auf **Umwelt, Energie und Ressourcen** von Chemikalien, die in Produktions- und Anwendungsprozessen verwendet werden
3. Optimierung von **Produktdesign** unter Berücksichtigung des gesamten Lebenswegs durch technische Innovation und Wissenstransfer und durch optimierte Integration von umwelt-, ökonomischen und sozialen Aspekten in betriebliche Prozesse
4. Minimierung der **Gesundheitsgefährdung** durch Stoffe, Produktion und Produkte
5. Schaffung **wirtschaftlicher Vorteile** durch Umweltinvestitionen und nachhaltige Zusammenarbeit

6. Optimierte Integration von **Umwelt, ökonomischen und sozialen Aspekten** in betriebliche Prozesse im Sinne von Transparenz, Ausbildung, Sozialstandards, Dialog und internationaler Zusammenarbeit

Aus ihnen ergeben sich die sechs thematischen Felder, die auf der Karte abgebildet sind.

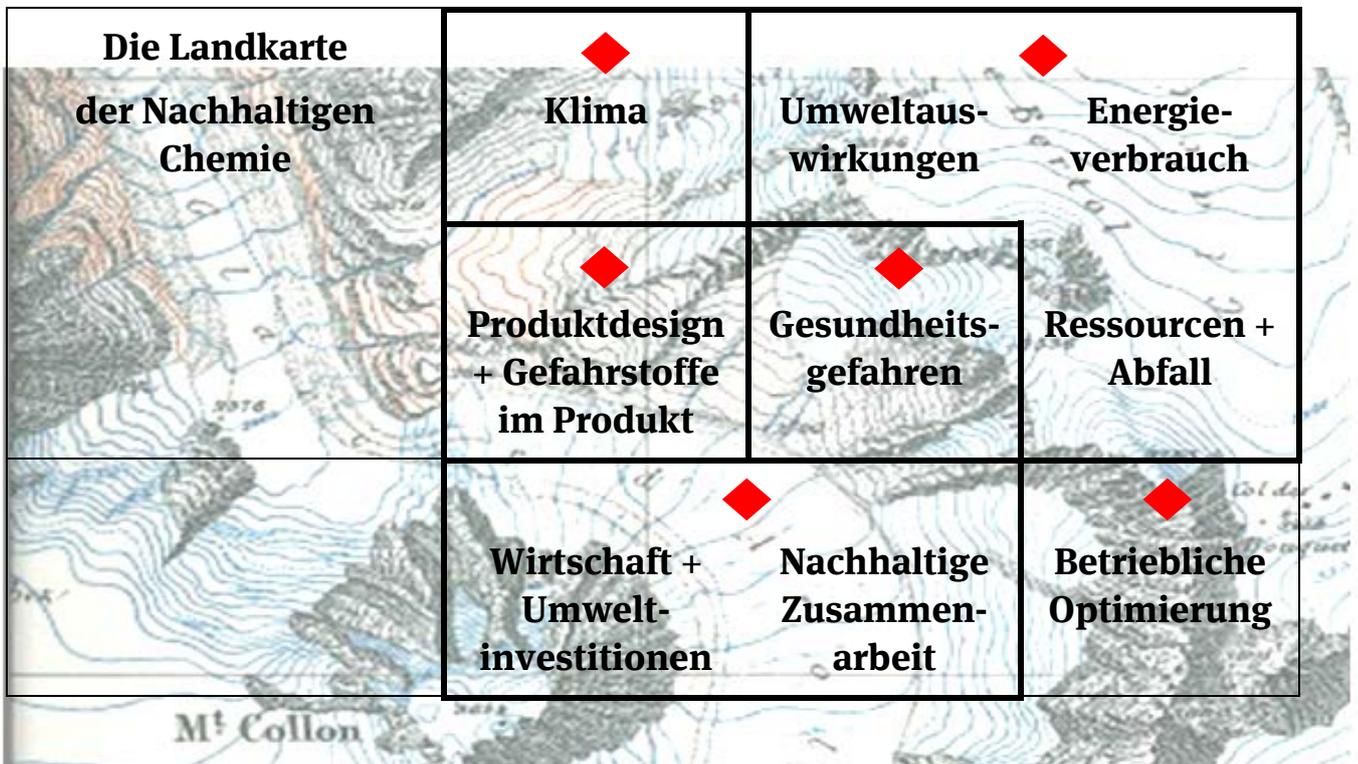


Abbildung 1: Die Landkarte der Nachhaltigen Chemie. Die sechs Felder greifen die sechs Kernkriterien auf, denen einzelne Nachhaltigkeits-Indikatoren geordnet wurden.

Thematische Felder, die in einer Studie behandelt worden sind, werden auf der Karte gefüllt angezeigt. Thematische Felder, die nicht behandelt wurden, werden auf der Karte weiß dargestellt (terra incognita, „weiße Flecken“). Die Zahl der für ein Themenfeld eingesetzten quantitativen Indikatoren wird durch rote Punkte verdeutlicht. In der Kopfzeile der Ergebnisdarstellung wird die Zahl der angesprochenen Themenfelder und die Zahl der verwendeten Indikatoren genannt. Im Legendenteil der Abbildung (rechts von der Landkarte) sind Themenfelder grün hinterlegt, in denen es zu Verbesserungen gekommen ist. Verschlechterungen werden durch eine gelbe Markierung angezeigt. Die Farbe Blau wird gewählt, falls es zu keinen Veränderungen gekommen ist. Die Landkarte kann noch durch die Angabe der Höhe der Veränderungen (prozentual oder absolut) in den einzelnen Themenfeldern ergänzt werden.

Die folgende Abbildung zeigt die „Landkarte der Nachhaltigen Chemie“ für das Fallbeispiel Chemikalienleasing bei der Firma Bambi. Dieses Beispiel wird im Kapitel 3.3.1 ausführlich beschrieben.

In der Untersuchung zur Firma Bambi werden von den neun Themenfeldern acht angesprochen. Lediglich auf Gesichtspunkte der nachhaltigen Zusammenarbeit wird nicht eingegangen.

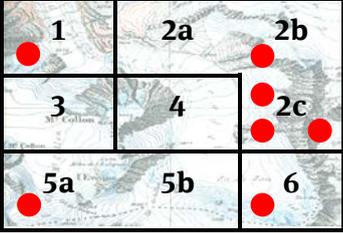
Die Landkarte der nachhaltigen Chemie	Chemikalienleasing bei Bambi: 6 (von 6) Themenfelder, 7 Indikatoren		
	1 Klima	2a Umweltauswirkungen	2b Energieverbrauch
	3 Produktdesign + Gefahrstoffe im Produkt	4 Gesundheitsgefahren	2c Ressourcen Abfall
	5a Wirtschaft+ Umweltinvest.	5b Nachhaltige Zusammenarbeit	6 Betriebliche Optimierung
Beispiel 1, ChL Bambi	● quantitativer Indikator		

Abbildung 2: Die Landkarte der Nachhaltigen Chemie für das Chemikalienleasing beim Unternehmen Bambi. (Kap. 3.3.1).

Blau: Verbesserungen. Grün: keine Veränderungen. Weiss: keine Informationen. Zur Bedeutung der angegebenen Prozentzahlen siehe ausführliche Beschreibung des Beispiels

In dem Beispiel werden für fünf der behandelten Themenfelder zur Beschreibung quantifizierende Indikatoren verwendet. In drei Themenfeldern findet eine qualitative Beschreibung statt. Insgesamt werden sieben quantifizierende Indikatoren eingesetzt. Im Themenfeld Ressourcen und Abfall kommen drei quantifizierende Indikatoren zur Anwendung. In den anderen quantifiziert beschriebenen Themenfeldern wird jeweils ein Indikator verwendet.

Im Beispiel konnten in den Themenfeldern Klima, Ressourcen/Abfall, Energieverbrauch und bei den Kosten Verbesserungen durch die Einführung des Chemikalienleasings nachgewiesen werden. In den anderen vier Themenfeldern kam es im Beispiel zu keinen Veränderungen.

Die Landkarte der Nachhaltigen Chemie gibt einen ersten visuellen Eindruck

- welche Bandbreite eine vorliegende Nachhaltigkeitsanalyse aufweist;
- wie viele der zentralen Themenfelder angesprochen werden;
- in welchem Umfang und wo quantifizierende Indikatoren eingesetzt werden;
- in welchen Themenfeldern es zu Verbesserungen bzw. Verschlechterungen kam;
- für welche zentralen Themenfelder noch keine Informationen vorliegen.

Die Landkarte der Nachhaltigen Chemie ersetzt nicht die genaue Analyse, welche Indikatoren in einer Untersuchung wie verwendet wurden, und welche Ergebnisse erzielt wurden. Aber sie gibt eine ergänzende orientierende Information zu den Inhalten einer Studie. Sie kann auch den Vergleich mehrerer Studien unterstützen.

2.5 Relevanz bisher unberücksichtigter Nachhaltigkeitsansätze für die Entwicklung von Indikatoren für nachhaltige Chemie

Ende September 2015 fand in Berlin die “Sustainable Chemistry Conference 2015: the way forward” statt. Nach der Vorstellung des Indikatorenansatzes für NC durch das Projektteam wurden von Teilnehmenden weitere bestehende Indikatorensysteme und ökobilanzielle Ansätze wie die Berechnung des Umweltfußabdrucks, das europäische Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) oder der Entropie-Indikator in die Diskussion eingebracht (siehe Zwischenbericht 2). Wir gehen hier auf die Bedeutung dieser Ansätze für eine Ergänzung/Anpassung des Indikatorenansatzes ein.

2.5.1 EMAS

Die unter EMAS aufgeführten Indikatoren (z. B. Energieeffizienz, Wasser, Abfall und Emissionen) wurden bereits alle bei der Erstellung des Indikatorenansatzes für nachhaltige Chemie berücksichtigt, sodass hier keine detaillierte Beschreibung erfolgt.

2.5.2 Entropie

Entropie als Nachhaltigkeitsindikator wird seit ein paar Jahren v.a. in der Wissenschaft diskutiert. Entropie als Maß der Unordnung war vorher hauptsächlich aus der Physik und der Kommunikationswissenschaft als Indikator für Energie- und Informationsverluste bekannt.

Entropie ist praktisch eng verknüpft mit Energieeffizienz. In diesem Sinne wird der Teil der Energie, der sich durch Verluste nicht in Arbeit umwandeln lässt, durch den Begriff der Entropie beschrieben. So bedeutet ein Produktionsprozess abwärmetechnisch eine (messbare) Entropieerhöhung und die Abwärme, die sich nicht mehr in sinnvolle Arbeit umwandeln lässt, kann als „verlorene“ Energie bezeichnet werden.

Prof. Dr. Manfred Sietz⁷ schlägt deshalb als Nachhaltigkeitskennzahl für Unternehmen den Indikator „entropische Dachlast“ vor (Sietz et al. 2012). Berücksichtigt werden darin Zunahme der CO₂-Emissionen, Zunahme der Informationsverluste, Unordnung, Abnahme der frei verfügbaren Energie, Überkonsum, Zunahme der Risiken durch vermehrte Verteilungskämpfe um die noch verfügbare freie Energie (bei steigender Weltbevölkerung) und Verlust von (sozialer) Sicherheit. Der Begriff „entropische Dachlast“ repräsentiert die klimawandelbedingte Temperaturerhöhung in dem Atmosphärenausschnitt oberhalb eines Unternehmens. Eingeschlossene Parameter sind die Betriebsfläche des Unternehmens und der CO₂-Fußabdruck, in den allerdings auch Bildung (eingesparte Arbeitstage durch effizientere Arbeit) und soziales Engagement der Mitarbeiter (beispielsweise Mitarbeit im Betriebskindergarten) rechnerisch berücksichtigt sind. Damit stellt er einen messbaren Indikator dar, der alle Unternehmen, aber auch Personen und Produkte universell beschreibt.

Der Indikator scheint jedoch einerseits nicht einfach für Unternehmen bestimmbar zu sein. Einerseits fußt er selbst wiederum auf einer ganzen Reihe von Indikatoren, wie Anteil erneuerbarer Energien, Energieeffizienz. Andererseits berücksichtigt er nicht die chemiespezifisch wesentlichen Fragen der Gefährlichkeit. Für einen NC-Indikatorenansatz ist die Entropie daher aus Sicht des Projektteams weniger hilfreich. Sie kann aber grundsätzlich mit Blick auf die mögliche Entwicklung eines Summenindikators ein interessanter Denkansatz sein.

⁷ Arbeitsgruppe "Chemie und Umweltmanagement" an der Hochschule Ostwestfalen-Lippe; Mitglied des Kuratoriums des Bundesdeutschen Arbeitskreises für umweltbewusstes Management (B.A.U.M. e.V.)

2.5.3 Der Ökologische Fußabdruck

Der ökologische Fußabdruck ist ein von der europäischen Kommission entwickelter Ansatz, der verschiedene ökobilanzielle Indikatoren zusammenfasst und deshalb mit Blick auf die Entwicklung eines endgültigen NC-Indikatorenansatzes analysiert wurde. Allerdings erscheint eine direkte Übernahme der im Folgenden beschriebenen Indikatoren aufgrund ihrer Komplexität für die Beschreibung von nachhaltiger Chemie als nicht praktikabel. Wichtig ist außerdem, dass dieses umweltbezogene System die anderen Nachhaltigkeitskomponenten (Wirtschaftlichkeit und Soziales) außer Acht lässt.

Die Umweltfußabdrücke von Unternehmen (OEF) oder Produkten (PEF) basieren jeweils auf einer Ökobilanz. Die Kommission betrachtet dies als Voraussetzung, um einen einheitlichen Gemeinschaftsmarkt für grüne Produkte/Prozesse zu schaffen (Europäische Kommission 2013). Die Leitfäden für PEF (Europäische Kommission 2014a) und OEF (Europäische Kommission 2014b) wurden 2013 veröffentlicht.

Seit 2013 werden PEFs im Auftrag der Europäischen Kommission in Pilotprojekten für Batterien und Akkumulatoren, für Farben, Wasserrohre, Putzmittel, Papierprodukte, IT Geräte, Leder, Dämmmaterialien und anderes getestet. Seit 2014 werden außerdem verschiedene Lebensmittel getestet und es werden PEF Category Rules (PEFCRs) für detaillierte Richtlinien zur Bewertung bestimmter Produktgruppen entwickelt und getestet (beispielsweise für Papier⁸). 2014 wurde ein Verifizierungsprozess gestartet der 2016/2017 mit der endgültigen Bewertung abgeschlossen werden soll.

Auf Unternehmensebene (OEF) wurden im Rahmen von Pilotprojekten bisher nur der Einzelhandel und die Kupferproduktion untersucht. Untersuchungen für OEFs in weiteren Industriesektoren wie Bausektor, Lebensmittelherstellung, Energieprodukte und Chemieprodukte sind geplant. Die Industrie konnte bisher jedoch nicht für eine Mitarbeit gewonnen werden. Die OEF Studien basieren auf ähnlichen Prinzipien wie die PEFs, sind allerdings noch weitaus komplexer. In der Theorie sollte die Summe der PEFs zu einem bestimmten Zeitpunkt dem OEF für denselben Zeitpunkt entsprechen.

Die Leitfäden umfassen die Anforderungen und Indikatoren von aus Bewertungs- und Managementsystemen wie ISO 14044, ISO 14025, ISO 14020, dem ILCD-Handbuch (International Reference Life Cycle Data System), den Ecological Footprint Standards, der Global Reporting Initiative (GRI) und einer Reihe weiterer System zur Bestimmung von beispielsweise THG-Emissionen über den Lebenszyklus. Die Berechnungen erfolgen auf der Basis von international bekannten ökobilanziellen Modellen wie dem USEtox Modell für Öko- und Humantoxizität oder dem Bern Modell für die Berechnung des Treibhauspotentials über einen Zeitraum von 100 Jahren.

2.5.4 Ökobilanz

Seit dem Beginn der Methodenentwicklung in Ökobilanzen wurde erkannt, dass es notwendig ist, sich auf abgestimmte, standardisierte Vorgehensweisen zu einigen. Den ersten Initiativen der SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) folgten schon bald die Aktivitäten der internationalen Standardisierungsorganisation ISO – gespiegelt in den Gremien des DIN. Als Ergebnis wurde die Normungsreihe der ISO 14040er Serie erarbeitet, die weltweit als wichtige methodische Basis anerkannt ist. Das Besondere an Ökobilanzen ist die systemanalytische Herangehensweise, die die Betrachtung von Einzelkomponenten in den Gesamtzusammenhang von Systemen rückt.

Die Ökobilanzierung gilt aktuell nach ISO 14040/14044 für die ökologische Bewertung von Produktsystemen. Doch gelten nach der Norm auch Dienstleistungen als Produkte und damit z. B. auch die „Entsorgung eines bestimmten Abfalls“. Allerdings bedingen solche Fragestellungen jeweils spezi-

⁸ http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/dev_pef.htm

fisch festgelegte Systemgrenzen und können zu anderen methodischen Festlegungen z. B. hinsichtlich der Allokationsprozedur führen. Unterschiedliche Anwendungsgebiete und Zielsetzungen und dadurch bedingte Regeln sind zu berücksichtigen; entweder im Rahmendokument oder in separaten anwendungsspezifischen Bilanzierungsregeln (vgl. die sogenannten Product Category Rules bei produktbezogenen Ökobilanzen). Als Entscheidungshilfe und Hintergrundinformation werden die wesentlichen, unterschiedlichen Typen und ihre Charakteristika einer Ökobilanz vorgestellt:

A. Produkt-Ökobilanz

Die Bilanzierung eines Produktsystems (auch Dienstleistung) bezogen auf den Nutzen eines Produktes und ausgedrückt durch seine funktionelle Einheit⁹.

B. Ökobilanz der Abfallwirtschaft

Dies entspricht der Bilanzierung der Entsorgung einer vorgegebenen Menge Abfall (entspricht der funktionellen Einheit). In der Regel werden verschiedene Behandlungs- und Entsorgungswege verglichen. Zur Gewährleistung der Nutzengleichheit muss bei Vergleichen immer dieselbe Menge und Eigenschaft (z. B. Gehalt an Schadstoffen, Heizwert etc.) an zu entsorgendem Abfall betrachtet werden.

C. Stoffstrom-Ökobilanz (auch Stoffstromanalyse)

Die Bilanzierung der Verwendung eines Stoffes (Materials) in einem mehr oder weniger komplexen Gesamtsystem (z. B. einer Volkswirtschaft). Die funktionelle Einheit ist dabei der Gesamtnutzen, der durch die Verwendung des Stoffes oder Materials im System erzeugt wird.

Aktuell wird ein Beratungsprojekt zur Aktualisierung der UBA-Methodik zur Ökobilanzierung durch das IFEU Heidelberg, Öko-Institut e.V. und Integrahl durchgeführt. Ziel des Projektes ist es, das UBA bei der Erarbeitung einer Aktualisierung der UBA-Methodik ausgehend von den dafür maßgeblichen Dokumenten UBA-Texte 23/95 (UBA-Methodik zur Wirkungsabschätzung) und UBA-Texte 22/99 (Bewertung in Ökobilanzen) zu unterstützen. Die Fragestellung in diesem Projekt ist nicht, wie die Berater die Methodik zur Ökobilanzierung betrachten, sondern wie das UBA selbst künftig Ökobilanzen durchführt, bzw. welche Regeln zukünftig in Ökobilanzen beachtet werden müssen, die dem Umweltbundesamt vorgelegt werden.

In Deutschland (hier: UBA-Methodik zur Ökobilanzierung) und in der Schweiz wurde auf nationaler Ebene eine Grundlage zur Bewertung in Ökobilanzen geschaffen. Die Aktualisierung ist von Bedeutung, um über eine nach aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen abgestimmte Methode zu verfügen, die sich auch gegenüber anderen in Europa und weltweit existierenden Methoden positioniert. Eine aktualisierte nationale UBA-Methodik ermöglicht eine eindeutige, harmonisierte Herangehensweise für Anwendungen wie bestimmte Produktökobilanzen, Umweltzeichen, Abfallentsorgungssysteme oder Kaskadennutzungsmodellen. Zudem kann das UBA die Projektergebnisse ggf. auch dazu nutzen, vergleichbare Diskussionen wie sie im aktuellen Prozess der EU Kommission zum PEF geführt werden, zu bewerten bzw. in diesem Kontext eigene Beiträge zu leisten.

⁹ Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf des Lebensweges des Produktes dient

2.5.5 MIPS-Konzept

MIPS steht für Materialinput pro Serviceeinheit (Konzept des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH)¹⁰. Nach diesem Konzept werden die Umweltauswirkungen eines Stoffes, Materials, Produktes oder einer Dienstleistung anhand der zur Herstellung bzw. Bereitstellung notwendigen materiellen Verbräuche berechnet. Auf den Internetseiten zum MIPS-Konzept wird ein Datenerhebungsbogen (Excel) bereitgestellt, anhand derer die Materialinputs strukturiert erfasst werden können. Weiterhin kann eine Liste mit Materialintensitäten für diverse Rohstoffe und Chemikalien heruntergeladen werden. Allerdings sind auch hier nicht ausreichend Datensätze für die jeweiligen Chemikalien in den Fallbeispielen aufgelistet und müssten eigenständig vom Unternehmen erhoben und berechnet werden.

¹⁰ http://www.wupperinst.org/de/projekte/themen_online/mips/index.html

3 Praxiserfahrungen. Erprobung der Indikatoren an Fallbeispielen

3.1 Aufgabenstellung und Instrumente

Welchen Beitrag können Instrumente der nachhaltigen Chemie zur Emissionsminderung leisten? Zur Beantwortung dieser Frage wurden im Projekt die entwickelten Indikatoren an Fallbeispielen getestet. Untersucht wurden Anwendungen von zwei verschiedenen Instrumenten: Chemikalienleasing und der Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“ des Umweltbundesamtes zur Auswahl nachhaltiger Chemikalien¹¹. Diese beiden konkreten Instrumente sind als Ausschnitt aus einem größeren Spektrum an Maßnahmen/Instrumenten zur Verringerung der Ressourceninanspruchnahme im Zusammenhang einer nachhaltigen Chemie zu sehen. In Folgenden wird an Hand von Beispielen gezeigt, dass die Anwendung der oben genannten Instrumente zu Verbesserungen im Sinne einer nachhaltigen Chemie (z.B. Stoffsubstitutionen, Energieeinsparungen) führt. Auf Basis der durchgeführten Fallbeispiele erfolgt anschließend eine erste Ableitung von Branchenpotentialen¹².

Die Instrumente Chemikalienleasing und Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“ vereinen Anforderungen an den Umweltschutz mit wirtschaftlichen Innovationen und ermöglichen so Unternehmen, marktrelevante Vorteile zu generieren und für sich zu nutzen.

Chemikalienleasing führt zu wirtschaftlichen Vorteilen für Hersteller und Anwender von Chemikalien und insbesondere – über den verringerten Chemikalienverbrauch – zu Ressourcenschonung, Verringerung von Umweltbelastungen, Energieeinsparung und Vermeidung/Verringerung von Risiken aus der Chemikalienanwendung.

Der Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“ soll gewerblichen und industriellen Anwendern helfen, Stoffrisiken und Beanspruchung der Umwelt (z.B. in den Bereichen Ressourcen und Klima) schrittweise zu bewerten. Damit können Chemikalien unterschieden werden und Unternehmen dabei unterstützt werden, Chemikalien in der Praxis nachhaltiger anzuwenden.

Andere Maßnahmen/Instrumente zur Stoffsubstitutionen oder zur Verringerung der Ressourceninanspruchnahme zu Produkten, Produktion, Ressourcenschonung (z. B. sozio-ökonomische Analysen) wurden an dieser Stelle nicht betrachtet.

Im Projekt wurden mithilfe ökobilanzieller Betrachtungen existierende mit potenziell nachhaltigen Lösungen für einen oder mehrere Schlüsselstoffe verglichen und die Kernaspekte der natürlichen Ressourcennutzung soweit relevant und möglich quantifiziert.

Hierfür wurde der im Kapitel 2.2 beschriebene Indikatorsatz „Parameter der nachhaltigen Chemie“ eingesetzt. Er soll es ermöglichen, anhand von relativ leicht im Routinebetrieb zu erhebenden Daten eine Erstprüfung der wichtigsten Effekte einer Nachhaltigkeitsmaßnahme durchzuführen und eine Richtungssicherheit zu bekommen. Für eine vollständige Ökobilanz oder einen ökologischen Fußabdruck sind viel aufwändigere Datenerhebungen notwendig

Im Zentrum der Fallbeispiele stand der in der Anwendung zentrale oder kritische einzelne Stoff (hier als „Schlüsselstoff“ bezeichnet), bzw. sein nachhaltiges Substitut oder seine effizientere Anwendung.

¹¹ ChL und der UBA Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“ stellen nur zwei von einer Vielzahl an Instrumenten für eine Nachhaltige Chemie dar. Andere Beispiele, die zur Entwicklung hin zu einer Nachhaltigen Chemie beitragen, sind Instrumente zur Substitution wie GreenScreen™ for Safer Chemicals oder das GHS-Spaltenmodell zur Suche nach Ersatzstoffen, das Globally Harmonised System zur einheitlichen Einstufung, rechtliche und freiwillige Übereinkommen oder Initiativen wie REACH, die Rotterdam Konvention oder SAICM etc.

¹² mindestens drei kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und sechs Schlüsselstoffe

Soweit vor den Hintergrund der Datenverfügbarkeit möglich, wurde die Bedeutung der vor- und nachgelagerten Lieferkette dieses Schlüsselstoffes in einem entsprechenden Zentralprozess in die Betrachtungen einbezogen. Bei den Fallbeispielen auf der Basis des Leitfadens, war die Bewertung von Änderungen in der vorgelagerten Lieferkette sogar das wesentliche Element.

Die Beispiele wurden soweit möglich aus der nationalen Chemiebranche bzw. der Chemikalienanwendung gewonnen, wobei im Bereich Chemikalienleasing auch internationale Projekte einbezogen wurden.

Die Evaluierung von Minderungen und Minderungspotentialen erfolgte u. a. anhand der stoffbezogenen Kriterien 7 und 8 des UBA-Leitfadens „Nachhaltige Chemikalien“ (Nr. 7: Die Treibhausgasemissionen, die mit der Herstellung des Stoffes, Gemisches oder Erzeugnisses verbunden sind sowie Nr. 8: Der Ressourcenaufwand, der mit der Herstellung des Stoffes, Gemisches oder Erzeugnisses verbunden ist).

Für 5 Bereiche/Branchen¹³ konnte eine Abschätzung der Einsparungen durchgeführt werden, die durch die o. g. Instrumente erzielt werden können. Die Ergebnisse werden im Kap. 4 dargestellt. Dies zeigt, dass es möglich ist, potentielle Minderungen in Anspruch genommener Ressourcen über Kenngrößen (Indikatoren) quantitativ darzustellen und generell vergleichbar zu machen.

3.1.1 Chemikalienleasing (ChL)

„ChL ist ein innovatives Geschäftsmodell, welchem die Idee zu Grunde liegt, dass die klassische mengenbezogene Bezahlung (€/t) von Chemikalien durch eine nutzenorientierte Bezahlung (z.B. €/m² gereinigte Fläche) ersetzt wird. Dadurch ändert sich der Chemikalienverbrauch für den Chemikalienhersteller von einem Erlös- zu einem Kostenfaktor. Somit entsteht auch ein wirtschaftliches Interesse des Chemikalienherstellers, den Verbrauch von chemischen Produkten beim Anwender durch Prozessoptimierung zu verringern. In der Konsequenz kommt es zu einer intensivierten Zusammenarbeit zwischen Chemikalien-Hersteller und -Anwender. Dies führt zu wirtschaftlichen Vorteilen für beide Partner und insbesondere – über den verringerten Chemikalienverbrauch – zu Ressourcenschonung, Verringerung von Umweltbelastungen, Energieeinsparung und zur Vermeidung/Verringerung von Risiken aus der Chemikalien-Anwendung“ (BiPRO GmbH 2014).

Laut einer Studie der UNIDO können vor allem im Bereich der industriellen Reinigung große Potenziale zur Verbesserung der Ressourceneffizienz gehoben werden (UNIDO 2012). In der UNIDO-Studie wird geschätzt, dass Unternehmen im Bereich der industriellen Reinigung mit einem Chemikalienverbrauch von mehr als 2,6 Mio. Tonnen pro Jahr bis zu 1,2 Mio. Tonnen Löse- und Reinigungsmittel durch die Einführung von ChL einsparen könnten. Dadurch könnten auch Abfälle und Emissionen um mehr als 100.000 Tonnen im Jahr reduziert werden und durch einen verringerten Energiebedarf sind Einsparungen von 300.000 Tonnen CO₂-Äquivalenten möglich. Nicht zuletzt bringen diese Verbesserungen auch ökonomische Vorteile für die Unternehmen mit sich (UNIDO 2012, The Guardian 2014). Im Rahmen in diesem Endbericht dokumentierten Forschungsprojektes des Umweltbundesamtes sind verschiedene Anwendungsfälle von ChL als Fallbeispiele genommen worden, um den Indikatorensatz „Parameter der nachhaltigen Chemie“ zu testen und die vorhandenen Minderungspotenziale zu quantifizieren. Die Ergebnisse sind beschrieben in den Kapiteln 3.3.1 bis 3.3.5.

¹³ mit hoher Relevanz für Nachhaltige Chemie, aber nicht auf Chemische Industrie im engeren Sinne beschränkt

3.1.2 Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“

Der Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“ (UBA 2010) soll helfen, nachhaltige Chemikalien von weniger nachhaltigen Chemikalien zu unterscheiden. Durch eine differenzierte Betrachtung einzelner Aspekte unterstützt der Leitfaden Unternehmen¹⁴ Chemikalien¹⁵ nachhaltiger einzusetzen. Der Leitfaden hilft Unternehmen verstärkt Nachhaltigkeitsaspekte in die Entscheidungen der Chemikaliauswahl und -verwendung einzubeziehen.

Der Leitfaden setzt seine Schwerpunkte auf die Bewertung der Auswirkungen von Stoffen auf Mensch und Umwelt. Die Bewertung der Nachhaltigkeit von Chemikalien geht über die klassische Ermittlung der gefährlichen Eigenschaften, die Expositionsbewertung und die Risikocharakterisierung an vielen Stellen hinaus, z. B. für den Ressourcenverbrauch, die Freisetzung an CO₂-Äquivalenten und die soziale Verantwortung. Daher werden für diese Themen im Leitfaden Hilfestellungen gegeben – auch wenn dafür derzeit noch keine ausgereiften Kriterien zur Verfügung stehen. Ökonomische Fragestellungen sind im Leitfaden nur am Rande angesprochen.

Der Leitfaden hilft Unternehmen, die weniger nachhaltige Stoffe durch nachhaltigere Stoffe ersetzen (substituieren) möchten. Substitution ist eine zentrale Maßnahme zur Verringerung der Risiken, die gefährliche Chemikalien für die Umwelt und die öffentliche Gesundheit darstellen. Jedoch ist die Suche nach einer sichereren Alternative oft eine große Herausforderung für Unternehmen. Eine Lösung, die alle Risiken reduziert, ist eine ideale Alternative. Demgegenüber sind die meisten Lösungen zur Minderung einiger aber nicht aller Risiken geeignet. Die Substitution gefährlicher Chemikalien kann auf verschiedenen Wegen funktionieren. In diesem Projekt wurden Praxisbeispiele bearbeitet, bei denen eine Substitution von gefährlichen Chemikalien durch sichere Alternativen stattgefunden hat. Die Ergebnisse der Fallbeispiele zur Substitution werden in den Kapiteln 3.3.6 und 3.3.7 gezeigt.

3.2 Datengrundlage und Auswahl der Fallbeispiele

Die Beispiele, die das Projektteam für die Analyse herangezogen hat, spiegeln verschiedene Anwendungen nachhaltiger NC-Instrumente in unterschiedlichen Branchen, Firmengrößen und mit verschiedenen Materialien (Substanzen bzw. Gemischen) wider. Im Einzelnen wurden die folgenden Beispiele quantifiziert:

1. Henkel & Bambi, Serbien, Verkleben von Verpackungen mittels ChL, was zu einer Substitution führte
2. Knjaz Miloš & Ecolab, Serbien, Schmierung von Fließbändern mittels ChL, was zu einer Substitution führte
3. Windsor & Ecolab, Brasilien, Reinigung im Hotel mittels ChL
4. SAFECHEM & PERO, Österreich, Reinigung von Metallteilen mittels ChL
5. Cabot und Statoil, Norwegen, Verwendung von Bohrölen mittels ChL
6. UHU (zwei Fallbeispiele) mittels Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“
7. Kilian, mittels Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“

Um für jeden der in Kapitel 2.1 aufgeführten Indikatoren Aussagen treffen zu können, hat das Projektteam Daten aus verschiedenen Quellen herangezogen. Ziel war es, für jedes Fallbeispiel den Zustand vor und nach der Einführung des nachhaltigen Instruments zu betrachten und die Auswirkungen der Instrumente zu bestimmen.

¹⁴ Hersteller, Formulierer und Endanwender

¹⁵ Mit dem Leitfaden ist die Bewertung von Stoffen und Gemischen möglich

3.2.1 Auswahl der Fallbeispiele

Die Fallbeispiele hat das Projektteam in Absprache mit dem Auftraggeber ausgewählt. Sie sind Beispiele für die Anwendung von ChL (Nr. 1 – 5 aus der im vorigen Abschnitt gezeigten Aufstellung) bzw. dem UBA-Leitfadens „Nachhaltige Chemikalien“, die zu einer Substitution der verwendeten Stoffe geführt haben (Nr. 6 – 7 aus der Aufstellung). Bei der Auswahl hat das Projektteam im Vorfeld der Projektbearbeitung besonders auf die potentielle Verfügbarkeit von Daten geachtet¹⁶. Basis waren daher gut charakterisierte ChL-Modelle und existierende Anwendungen des Leitfadens „Nachhaltige Chemikalien“. Die Datengrundlage für die Berechnung der Minderungspotenziale konnte das Projektteam zum einen aus vorliegenden Quantifizierungen gewinnen; zum anderen hat das Projektteam die Unternehmen oder andere Experten¹⁷ angesprochen und auf diesem Weg versucht, fehlende Informationen für die Bestimmung der Ressourceneinsparung anhand der NC-Indikatoren zu erhalten. Da bereits existierende Fallbeispiele für die Bestimmung verwendet wurden und während der Projektlaufzeit keine neuen Anwendungen von ChL und dem UBA-Leitfaden generiert werden konnten, hat das Projektteam bis auf einige Ausnahmen keine zusätzlichen Daten von den Unternehmen erhalten können. Um dennoch weitere NC-Indikatoren quantifizieren zu können oder Aussagen über die Lieferkette treffen zu können, hat das Projektteam teils auf Literaturdaten bzw. Datenbanken zurückgegriffen (siehe nächster Abschnitt ‚Datenquellen‘).

3.2.2 Datenquellen

Für die Quantifizierungen hat das Projektteam vorrangig Informationen und Daten der betrachteten Unternehmen verwendet, die diese im Rahmen ihrer ChL- oder Leitfaden-Substitutionsprojekte erhoben haben. Die Daten für die ChL-Beispiele beziehen sich auf die Nutzenphase der Chemikalien am jeweiligen Standort, d.h. beispielsweise die Menge an benötigten Chemikalien und genutzter Energie, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Für die Substitutionsbeispiele mit Anwendung des Leitfadens sind Schwerpunkte auf die Bewertung der Auswirkungen am jeweiligen Standort von Stoffen auf Mensch und Umwelt gesetzt.

Alle Primärdaten wurden nach bestem Wissen ermittelt. Sie basieren jedoch zum überwiegenden Teil auf Angaben Dritter oder Literaturdaten. Es wird keine Gewähr für die Richtigkeit der Daten übernommen.

Ergänzend zu den Primärdaten wurden Datensätze zu den einzelnen Materialien (Substanzen, Schlüsselstoffen oder Gemischen) aus verschiedenen Datenbanken herangezogen, um zusätzlich Aussagen über den Lebenszyklus bzw. die Vorkette der Chemikalien zu treffen. Die vier dazu herangezogenen Datenbanken sind:

- ▶ Ecoinvent (<http://www.ecoinvent.org/database/database.html>)
- ▶ ProBas (<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>)
- ▶ EstiMol (<http://www.umberto.de/de/estimol/>)
- ▶ Materialintensität (MIT) (http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/MIT_2014.pdf)

Es muss jedoch einschränkend angemerkt werden, dass in diesen Datenbanken nur für weniger als 5 % der kommerziell vertriebenen Chemikalien Umweltbewertungen vorliegen (DBU 2015) und die vorhandenen Daten sich vorwiegend auf Grundstoffe der Basischemie beschränken. Außerdem stellen die verfügbaren Datensätze einen regionalen Durchschnittswert über ganze Branchen hinweg dar. Unternehmensspezifische Daten sind über Datenbanken praktisch nicht zugänglich.

¹⁶ Für eine erfolgreiche Projektdurchführung ist die Mitwirkung von Unternehmen erforderlich.

¹⁷ Z. B. Vertreter des National Cleaner Production Centres (NCPC) Serbien und von UNIDO

Da die in ProBas, EstiMol und MIT vorhandenen Datensätze überwiegend auch in der Ecoinvent-Datenbank verfügbar sind, hat sich das Projektteam entschieden, soweit möglich alle Daten zu Chemikalien aus Ecoinvent zu beziehen. Für alle Gemische oder Schlüsselstoffe, für die es keine Datenbankeinträge gibt, wurde eine qualitative Beschreibung der Einflüsse des jeweiligen NC-Instruments (ChL oder Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“) auf den Lebenszyklus vorgenommen.

Exkurs: Bestimmung der CO₂-Emissionen über den Energieverbrauch

Direkte Daten zu Treibhausgasemissionen vor und nach der Einführung nachhaltiger Instrumente konnten lediglich für das Beispiel 3 (Hotel) gewonnen werden: Diese wurden bereits in einer Studie (UNIDO 2015) die Minderungen der Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus bestimmt. Um auch für die anderen Fallbeispiele näherungsweise die Änderungen hinsichtlich der CO₂-Äquivalente zu quantifizieren, hat das Projektteam diese über den Energiebedarf bestimmt, da die Erzeugung der genutzten elektrischen Energie den wesentlichen Bestandteil klimarelevanter Emissionen in den Beispielen ausmacht.

Für die CO₂-Emissionen aus dem österreichischen Strommix hat das Projektteam die Daten für 2010 einfachheitshalber aus der ProBas-Datenbank entnommen. Vor allem durch den hohen Anteil an Wasserenergie (59,3 %) betragen die klimarelevanten Emissionen pro kWh Strom in Österreich 0,22 kg CO₂-Äqu.; Deutschland liegt mit 0,588 (2010) bzw. 0,513 kg CO₂-Äqu. (2015) deutlich höher (UBA 2015a).

Für die beiden serbischen Fallbeispiele hat das Projektteam zunächst auch die Daten aus der ProBas-Datenbank verwendet. Der Datensatz zum Stromerzeugungsmix in Serbien beruht auf Daten der International Energy Agency (IEA) von 2005. Eine Internetrecherche hat jedoch ergeben, dass sich die Zusammensetzung der einzelnen Energieträger besonders hinsichtlich des Anteils an verstromter Kohle und Wasserkraft seit 2005 deutlich geändert hat. Um aktuellere Werte zu erhalten und somit besser die heutigen Bedingungen abbilden zu können, hat das Projektteam Daten zum Strommix Serbiens aus dem Jahr 2010 (IEA 2012) verwendet und mit den aus ProBas extrahierten CO₂-Äquivalenten der Energieträger Kohle, Öl, Gas und Wasserkraft verrechnet. Pro Kilowattstunde des serbischen Strommixes aus dem Jahr 2010 können daher 0,739 kg CO₂-Äquivalente angenommen werden. Diese vergleichsweise hohe Zahl ist vorwiegend auf die Nutzung von Braunkohle für die Energiegewinnung zurückzuführen, die Serbiens Energieerzeugung dominiert, jedoch wenig effizient funktioniert (OECD/IEA 2008; S. 304). Das detailliertere Ergebnis ist der folgenden Tabelle 5 zu entnehmen. Die Werte stellen die Emissionen für die Erzeugung elektrischer Energie inklusive der gesamten Vorkette dar.

Tabelle 5: Berechnung der Treibhausgasemissionen des serbischen Strommixes von 2010

Quelle:	ProBas	IEA 2012			
Energieträger	CO ₂ -Äqu. inkl. Vorkette [kg CO ₂ /TJ]	Daten 2010 [GWh]	Daten 2010 [%]	CO ₂ -Äqu. 2010 [kg CO ₂ /TJ]	CO ₂ -Äqu. 2010 [kg CO ₂ /kWh]
Wasser	384	11.891	31,8	122,0	4,39E-04
Kohle	301.686	25.094	67,1	202.295,6	7,28E-01
Öl	294.646	111	0,3	873,9	3,15E-03
Gas	218.761	327	0,9	1.911,5	6,88E-03
Summe		37.423	100	205.203,1	0,739

Datenquellen für eigene Berechnungen: UBA 2015a (ProBas Datenbank) und OECD/IEA 2012, S. II. 248. CO₂-Äqu.: CO₂-Äquivalente. GWh: Gigawattstunden TJ = TerraJoule

3.2.3 Berechnungsrahmen (Schlüsselstoff/Lieferkette)

Soweit möglich, werden Berechnung auf den in der Anwendung kritischen Einzelstoff („Schlüsselstoff“) und sein Minderungspotenzial bzw. auf sein nachhaltiges Substitut fokussiert. Weiterhin hat das Projektteam nach Möglichkeit die vorgelagerte Lieferkette oder mögliche Entsorgungsaspekte für die jeweiligen Zentralprozesse mit berücksichtigt. Dies war dies mit vertretbarem Aufwand nur in einzelnen Fällen in Teilen und ist auf die folgenden zwei Aspekte zurückzuführen: Manche Produkte

(bspw. Reinigungsmittel und Schmierstoffe) können nicht auf einen Schlüsselstoff beschränkt werden, da sich ihre Eigenschaft aus dem Gemisch verschiedener Substanzen zusammensetzen, die nicht getrennt voneinander betrachtet werden können. Einzeln würden die Substanzen andere Funktion erfüllen. Zusätzlich unterliegen die Zusammensetzungen der Gemische der Geheimhaltung der betreffenden Unternehmen, sodass eine Betrachtung der Vorkette nach Ansicht des Projektteams nicht vertretbare Unsicherheiten mit sich bringen würde, wenn die Zusammensetzung und Formulierung der Gemische vom Projektteam abgeschätzt werden würde.

3.2.4 Nachhaltigkeitsindikatoren

Die Erstellung des Indikatorenansatzes „Parameter der nachhaltigen Chemie“ (siehe Kapitel 2.1) war ein iterativer Prozess, der erst nach der Erhebung der Daten für die Fallbeispiele abgeschlossen wurde. Außerdem orientiert sich der Indikatorenansatz nicht an der aktuellen Datenverfügbarkeit, sondern stellt ein Zielsystem dar, das in Zukunft eine mögliche Datenerhebung für Nachhaltigkeitsbewertung für die Chemieindustrie leiten könnte.

Die stoffbezogenen Kriterien 7¹⁸ und 8¹⁹ des UBA-Leitfadens „Nachhaltige Chemikalien“ sind in den Fallbeispielen u. a. durch die Indikatoren THG-Emissionen, Wasser- und Energiebedarf wiedergegeben. Allerdings konnte der Ressourcenaufwand, der mit der Herstellung des Stoffes verbunden war nicht in allen Fällen und nicht vollständig nachgewiesen werden.

Folgende Indikatoren konnten aufgrund der begrenzten Datenverfügbarkeit für keines der Fallbeispiele in diesem Projekt ermittelt werden:

- ▶ Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe
- ▶ Anteil rückgewonnenes Wasser
- ▶ Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion
- ▶ Investitionsintensität in Umwelt- und/oder Ressourcenschutz
- ▶ Marktpräsenz
- ▶ Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind

Auch die Indikatoren „Energie- und Rohstoffproduktivität bzw. -intensität“ standen für die Fallbeispiele häufig nicht zur Verfügung, da beispielsweise nicht bekannt war, mit welcher Menge Energie oder Rohstoff welche Menge Produkt hergestellt wurde. In diesen Fällen konnten die Unternehmen Daten zum Jahresverbrauch bereitstellen. Die Berechnung von Produktivität und Intensität (die grundsätzlich einfach aus Jahresverbrauch und Jahresproduktion berechnet werden können), war dem Projektteam mangels der Daten zum Jahresverbrauch nicht möglich.

3.3 Ergebnisse der Fallbeispiele

Dieses Kapitel stellt die Ergebnisse aus den Berechnungen der Fallbeispiele dar. Im Folgenden ist der Aufbau der Ergebnisdarstellung beschrieben: Zunächst stellt eine Textbox einige generelle Informationen zum Fallbeispiel bereit; u. a. die involvierten Unternehmen, den betroffenen Prozess sowie die Information darüber, ob ChL (teils mit Substitution) im Unternehmen eingeführt wurde oder der UBA-Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“ zur Anwendung kam. Anschließend beschreibt eine kurze Textpassage das Fallbeispiel ausführlicher und das Projektteam geht auf die Systemgrenzen bzw. die zugrundeliegenden Annahmen bei der Berechnung ein. Ggf. wird hier auch auf spezielle Schwierig-

¹⁸ Die Treibhausgasemissionen, die mit der Herstellung des Stoffes, Gemisches oder Erzeugnisses verbunden sind.

¹⁹ Der Ressourcenaufwand, der mit der Herstellung des Stoffes, Gemisches oder Erzeugnisses verbunden ist.

keiten und dazugehörige Lösungswege eingegangen. Die Ergebnisse sind in Textform zusammengefasst und detailliert in Tabellen dargestellt.

Für eine qualitative Abschätzung der Änderung des Gefährdungspotenzials durch Substitutionsmaßnahmen oder effizientere Nutzung gefährlicher Substanzen hat das Projektteam für alle Fallbeispiele das Gefahrstoffpotential (HSP) vor und nach der Nachhaltigkeitsmaßnahme berechnet (Bunke und Graulich 2003). Diese Methodik ermöglicht einen direkten schadstoffbezogenen Stoffvergleich. Auch wenn das System aktuell noch auf R-Sätzen basiert, kann es als Anhaltspunkt für Änderungen dienen. Eine Anpassung der Methode an die neuen H-Sätze (Gefahrenhinweis) unter CLP ist geplant.

Die Berechnung der Minderungspotenziale in diesem Projekt entspricht nicht einer vollständigen ökobilanziellen Bewertung, sondern fokussiert auf die Phase der Sachbilanz bzw. der Sammlung aller In- und Outputs. Aufgrund der Datenverfügbarkeit liegt der Schwerpunkt der Betrachtung der ChL-Fallbeispiele in diesem Forschungsbericht auf der Verwendung der Chemikalie und das Projektteam hat wo immer möglich die vor- und nachgelagerte Lieferkette mit berücksichtigt (Kapitel 3.3.1 bis 3.3.4). Dies war beispielsweise für THG-Emissionen für alle sechs Fallbeispiele und beim Energiebedarf für alle mit Ausnahme des ersten Fallbeispiels möglich, sodass hier Angaben über das Minderungspotenzial inklusive der Vorkette getroffen wurden.

Für die Beispiele der Anwendung des Leitfadens liegt der Betrachtungsschwerpunkt aufgrund der Datenlage auf der Herstellung der Chemikalien und die Nutzenphase wird nicht betrachtet (Kapitel 3.3.6 und 3.3.7).

Weitere Abschnitte des Lebenszyklus, wie etwa die Lieferkette bzw. die Produktion der Chemikalie, konnten (wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben) nur teilweise in die Betrachtung einbezogen werden.

Die Potenziale sind deshalb nur indikativ. Vergleiche der Potenziale zwischen den Fallbeispielen sind deshalb auf der Basis des aktuellen Datenstandes kaum möglich. Die Abschätzung der Branchenpotenziale auf Grundlage der Fallbeispiele sind in Kapitel 4 beschrieben.

3.3.1 Bambi & Henkel, Serbien

Fakten zu Fallbeispiel 1 - Henkel und Bambi

Anbieter	Henkel AG & Co. KGaA ²⁰
Anwender	Bambi a.d. ²¹
Prozess	Verkleben von Pappverpackungen in der Lebensmittelindustrie
NC Instrument	ChL inkl. Substitution und verbesserter Technik
Chemikalie	Klebstoff
Schlüsselstoff	vor ChL: Polyvinylacetat nach ChL: Kohlenwasserstoffharze
Besonderheiten	Durch die Einführung von ChL wurde Polyvinylacetat-basierter Klebstoff mit einem Klebstoff auf Basis von Kohlenwasserstoffharzen substituiert

In Serbien haben die deutsche Henkel AG & Co. KGaA und das serbische Unternehmen Bambi a.d. ChL eingeführt, um die Verklebung von Verpackungen zu optimieren. Die Firma Bambi stellt Süßwaren (vorwiegend Kekse) her und verpackt diese unter anderem in Pappverpackungen, die zum Ver-

²⁰ <http://ukusnidani.bambi.rs/?lang=en>

²¹ <http://www.henkel.de/marken-und-unternehmensbereiche/adhesive-technologies>

schließen verklebt werden müssen. Dafür bezieht Bambi von Henkel Heißkleber, der unter Druck geschmolzen und durch Düsen auf die Verpackung aufgetragen wird. Bambi bezahlt Henkel seit der Einführung von ChL nicht mehr für die Menge an Klebstoff, sondern pro verklebte Verpackung. Somit entsteht für beide Unternehmen ein Interesse an der Verringerung der Chemikalienmenge und die erzielten Einsparungen werden aufgeteilt. Das Geschäftsmodell wurde vorerst auf einer Produktionslinie getestet und später auf die komplette Produktion und die verschiedenen Verpackungen ausgeweitet.

In diesem Fallbeispiel hat die Anwendung von ChL auch zu einer Substitution des Klebstoffs geführt, sodass gleichzeitig zwei Instrumente der nachhaltigen Chemie angewendet werden. Der anfangs verwendete Klebstoff basierte auf Polyvinylacetat und wurde durch einen Klebstoff auf Basis von Kohlenwasserstoffharzen ausgetauscht. Die Vorteile des neuen Klebstoffs liegen unter anderem in einer niedrigeren Schmelztemperatur und geringerem notwendigem Druck, was den Energiebedarf im Prozess senkt. Beide Klebstoffe sind nicht als Gefahrstoffe eingestuft.

Systemgrenzen

Für die Berechnung der Minderungspotenziale durch ChL und Substitution hat das Projektteam verschiedene Annahmen zugrunde gelegt. Die im Kapitel 2.1 eingeführten Indikatoren (siehe Tabelle 2) wurden in diesem Fallbeispiel jeweils auf die Jahresproduktion bezogen, wobei der Zustand vor und nach ChL und Substitution betrachtet und die Differenz berechnet wurde. Die Systemgrenzen hat das Projektteam so gelegt, dass in der Nutzenphase der Prozess des Verklebens mittels der Chemikalie betrachtet wird. Dies schließt die Verflüssigung des Klebstoffs, die für Druck- und Temperaturbereitstellung benötigte Energie und den durch diesen Prozess entstehenden Abfall mit ein. Einsparungen in der Lieferkette, wie in der Herstellung der Chemikalien und der Entsorgungsphase wurden zusätzlich mittels Literaturwerten abgeschätzt. Das Vorgehen für die Abschätzung ist detaillierter im folgenden Abschnitt Ergebnisse dargestellt. Falls keine quantitativen Werte verfügbar waren, hat das Projektteam qualitative Informationen in die Diskussion einbezogen, um möglichen zusätzlichen Effekten Rechnung zu tragen.

Ergebnisse

Durch die Kooperation der Unternehmen unter ChL wurden sowohl technische Komponenten (Einführung eines automatischen Dosiersystems) als auch die Klebemenge für die Verpackung optimiert. Die umweltbezogenen Vorteile belaufen sich in diesem Fallbeispiel vor allem auf den verringerten Ressourcenverbrauch bezogen auf den Klebstoff. Es werden 30 % weniger Klebstoff für die Verklebung benötigt. Für manche Arten von Verpackung können sogar Klebstoffeinsparungen von bis zu 40 % realisiert werden (siehe Vergleich Rohstoffaufwand a und b). Weitere Vorteile sind die damit verbundenen Einsparungen beim Abfall (-4,2 t Klebstoff pro Jahr sowie weniger Klebstoff-Verpackungsabfall). Der Energiebedarf durch die Klebstoffsubstitution hat sich um 53 % verringert, da der neue Klebstoff bei geringeren Temperaturen und Drücken geschmolzen wird.

Nach Ansicht des Projektteam resultieren aus dem eingesparten Klebstoff und der eingesparten Energie signifikante indirekte Ressourcenminderungen in der Lieferkette. Eine Einbeziehung der Lieferkette war aufgrund der nicht bekannten Klebstoffzusammensetzung aber nur beschränkt möglich und es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass der Einfluss der Ressourcen- und Umweltauswirkungen von Klebstoffen im Vergleich zum damit verklebten Produkt nur sehr gering ist, da die Klebstoffmenge in einem geklebten Produkt oftmals weniger als 1 % des Gesamtgewichts ausmacht (Industrieverband Klebstoffe 2014; S. 1).

Über die Energieeinsparungen konnten die indirekt verminderten THG-Emissionen durch die Stromerzeugung berechnet werden. Die Vorgehensweise ist in Kapitel 3.2.2 bzw. Tabelle 5 dargestellt. Besonders durch den hohen Anteil an Braunkohle im serbischen Energiemix konnten hier erhebliche

Reduktionen erzielt werden. So wurden mit jeder eingesparten Kilowattstunde Strom automatisch über 0,7 kg CO₂-Äquivalente eingespart, was sich bei einer jährlichen Einsparung von über 8000 kWh elektrischer Energie im Jahr auf ca. 5940 kg CO₂-Äquivalente beläuft.

Hinsichtlich der stoffbezogenen Bewertung der THG-Emissionen hat die Auswertung von Literaturwerten ergeben, dass Schmelzklebstoffe typischerweise ca. 4 kg CO₂-Äquivalente pro kg Produkt emittieren (Daten bezogen auf Deutschland; Industrieverband Klebstoffe 2014; S. 1; Wiley-VCH Verlag 2009). Daraus ergeben sich mindestens 16.800 kg CO₂-Äquivalente, die pro Jahr und Produktionslinie zusätzlich in der Lieferkette eingespart werden, da ChL die verwendete Klebstoffmenge reduziert hat. Nach den uns zur Verfügung stehenden Daten besteht kein Grund zu Annahme, dass der zur Substitution verwendete Klebstoff einen anderen Energiebedarf und ein anderes CO₂-Emissionsverhalten in der Produktions- oder Entsorgungsphase hat.

Für eine gesicherte Bewertung müsste dieser Aspekt jedoch noch einmal verifiziert werden.

Kombiniert ergeben die THG-Einsparungen aus der verringerten Klebstoffproduktion und jene aus dem verringerten Energiebedarf pro Jahr eine Reduktion der THG-Emissionen von weit über 22,5 t CO₂-Äquivalente²².

Die Substitution des Klebstoffs hat durch eine Veränderung der molekularen Struktur auch zur Verbesserung der thermischen Stabilität und der Handhabbarkeit des Klebstoffs geführt, was den Reinigungsaufwand deutlich verringert hat. Durch ein automatisches Dosiersystem, das im Rahmen der ChL-bedingten Prozessoptimierung eingeführt wurde, wurden sowohl für einen gleichmäßigen Füllstand der Behälter als auch für weniger Temperaturschwankungen in der Schmelzwanne gesorgt. Insgesamt hat sich durch diese Maßnahmen neben den oben genannten Effekten die Produktivität deutlich verbessert (Šatrić 2012; S. 7 und 18; UNIDO 2012; S. 18)

Die Substitution wirkte sich auch positiv auf die Arbeitsbedingungen bei Bambi aus: der neue Klebstoff ist mit weniger störenden Gerüchen verbunden und das Risiko von Unfällen durch Verbrennung ist durch die verringerte Prozesstemperatur und besonders durch die automatische Dosierung gesunken. Die Optimierungen haben nicht zu einem Abbau von Arbeitsplätzen geführt (Šatrić 2015).

Aus ökonomischer Sicht haben sich durch die neue Dosiertechnik und den verringerten Reinigungsaufwand die Kosten um insgesamt 26 % bzw. über 17.500 € jährlich reduziert, obwohl der neue Klebstoff um ein Viertel teurer ist als der alte. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Ersparnisse ist in Tabelle 6 dargestellt.

Auch für den Anbieter Henkel hat sich durch die Einführung von ChL eine Reihe von Vorteilen ergeben. Die höheren Gewinne für Henkel durch das nutzenbasierte Geschäftsmodell addieren sich aus der erzielten Klebstoffeinsparung und der möglichen Verrechnung von Wissens- und Servicetransfer. Weitere Nutzenfaktoren sind eine langfristig gesicherte Geschäftsbeziehung und die Ausweitung des Marktanteils auf 100% in der Geschäftsbeziehung zu Bambi (Henkel wurde zum einzigen Klebstofflieferanten).

Die komplette Liste der NC-Indikatoren für Fallbeispiel 1 ist in Tabelle 8 aufgeführt.

²² Zum Vergleich: „Im europäischen Durchschnitt verursachte jeder Mensch etwa 9,0 Tonnen CO₂-Äquivalent-Emissionen“ im Jahr 2012 (UBA 2015b).

Tabelle 6: Aufschlüsselung der wirtschaftlichen Vorteile durch ChL und Substitution bei der Firma Bambi

Kostenfaktor	Vor nachhaltiger Lösung [€]	Nach Einführung der nachhaltigen Lösung [€]	Differenz [€]	Differenz [%]
Klebstoffverbrauch*	48.300	42.238	6.062	12,6
Reinigungskosten	360	180	180	50,0
Instandhaltungskosten**	11.923	4.754	7.169	60,1
Ausfallzeiten	1.000	200	800	80,0
Energiekosten	6.551	3.079	3.472	53,0
Summe	68.134	50.451	17.683	26,0

* Der neue Klebstoff ist um knapp 25 % teurer, jedoch sank der Verbrauch um 30 %

** Instandhaltungskosten u.a. zusammengesetzt aus Kosten für Schläuche, Pumpen, Düsen und Filter

Quelle: Šatrić 2012; S. 14.

Tabelle 7 stellt Informationen zur Einstufung des alten und neuen Klebstoffs dar. Die verwendeten Klebstoffe sind weder vor noch nach der Einführung von ChL eingestuft, sodass die Substitution keine Änderungen hinsichtlich der Gefährlichkeit herbeigeführt hat und keine Gefahren für Mensch und Umwelt von ihnen ausgehen.

Tabelle 7: Toxizität und Einstufung der in Fallbeispiel 1 verwendeten Substanzen.

Chemikalie	CAS-Nummer	Gefahrenhinweis
Polyvinylacetat	9003-20-7	Keine Einstufung
Kohlenwasserstoffharze für Klebstoff*	Verschiedene	Keine Einstufung

* die genaue Substanz ist nicht bekannt, weswegen das Projektteam verschiedene geläufige Kohlenwasserstoffharze für Klebstoffe auf ihre Einstufung und Gefährlichkeit hin überprüft hat

Quelle: ECHA 2015 a und b.

Tabelle 8: Vergleich der NC-Indikatoren vor und nach der Einführung von ChL und der damit verbundenen Substitution bei der Firma Bambi.

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Vorher	Nachher	Differenz [absolut]	Diffe-renz [%]	Kommentar
1	THG-Emissionen	kg CO ₂ -Äqu./ Jahr	67.201	44.465	-22.736	-34	Indirekte Einsparungen in der Lieferkette
2	Rohstoffaufwand						
	a) Für alle Verpackungssorten	kg/Jahr	14.000	9.800	-4.200	-30	Klebstoffverbrauch pro Jahr für alle Verpackungen
	b) Für eine Verpackungssorte	g/Packung	0,384	0,234	-0,15	39	Klebstoffmenge für 300g Packung "Plazma"-Kekse (Verklebung von 2 Seiten)
2	Rohstoffintensität	g Klebstoff/kg Verpackung	9,6	5,85	-3,75	39	Annahme: Keksverpackung wiegt 40 g, Intensität auf Grundlage von Rohstoffaufwand b) berechnet
2	Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe						Keine stoffliche Verwendung erneuerbarer Rohstoffe bekannt
2	Energieaufwand	kWh/Jahr	15.163	7.127	-8.036	-53	Nur für Verklebungsprozess; Reduktion durch reduzierte Prozesswärme (durch geringere Schmelztemperatur) und verringerten Druck
2	Energieintensität/-produktivität						Mangels Daten zur Produktionsmenge nicht quantifizierbar
2	Wasserbedarf gesamt						Kein Wasserbedarf in der Anwendung
2	Anteil rückgewonnenes Wasser						In der Anwendung wird weder Wasser verwendet noch zurückgewonnen
2	Schadstoffemissionen in die Luft						Keine bekannt

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Vorher	Nachher	Differenz [absolut]	Diffe-renz [%]	Kommentar
2	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden						Aus der eigentlichen Anwendung ist kein Eintrag von Schadstoffen oder möglicher Pfad dafür bekannt. In der vor- und nachgelagerten Lieferkette kann dies möglich sein (bspw. über den Abfall oder Recycling-prozesse beim Altpapier), ist aber bei der Datenlage und dem Informationsstand zur Klebstoffzusammensetzung nicht quantifizierbar.
2	Abfallaufkommen*	kg/Jahr	14.000	9.800	-4.200	-30	Abfall während der Verpackung der Produkte ist vernachlässigbar, am Ende des Lebenszyklus entsteht aber weniger Abfall, da weniger Klebstoff an den Verpackungen haftet ²³
2	Anteil gefährlicher Abfälle						Keine
3	Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion						Nicht bekannt
3	Gehalt an Gefahrstoffen						Die verwendeten Klebstoffe sind weitgehend unbedenklich (Sicherheitsdatenblatt des Substituts geprüft: keine Klassifikation ²⁴)
4	Arbeitsunfälle		-	-	-	-	Reduziertes Unfallrisiko durch automatische Dosierung und geringere Temperatur
4	berufsbedingte Erkrankungen						Keine bekannt
5	Wirtschaftliche Vorteile durch nachhaltige Maßnahmen	€/Jahr	68.134	50.451	-17.683	-26	Kostenreduktion, Details siehe Tabelle 5.

²³ Das Projektteam nimmt an, dass sich weniger Klebstoff an der Verpackung in geringem Maße positiv auf das Recyceln von Altpapier auswirkt, da beim Recyceln weniger Klebstoff aus der Papierpulpe gefiltert werden müssen und im Anschluss weniger Klärschlamm aus der Abwasserreinigung der Recyclinganlage entsteht.

²⁴ Die Substitution fand aufgrund technischer Eigenschaften statt und hat keine Änderung in der Gefährlichkeit zur Folge

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Vorher	Nachher	Differenz [absolut]	Diffe-renz [%]	Kommentar
5	Investitionsintensität in Umwelt- und/oder Ressourcenschutz						Keine Information
5	Marktpräsenz						Keine Information über gesamten Markt; Henkel wurde zum einzigen Klebstofflieferanten für Bambi
5	Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind						Keine Information
6	Zertifizierung nach ISO, EMAS etc.	Liste der Zertifizierungen	HACCP (Gefahrenanalyse und Hygienemanagementsystem) ISO 9001 und 14001 (Qualitäts- und Umweltmanagement) OHSAS 18001 (Arbeitsschutzmanagementsystem)				bereits vor ChL-Einführung zertifiziert
vi	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter		-	-	-	-	geringfügige Schulung der Mitarbeiter in Bezug auf das neue Geschäftsmodell
vi	Anteil Frauen gesamt / Personen, die unter Arbeitsvereinbarungen fallen						keine Veränderung, absolute Anzahl ist dem Projektteam nicht bekannt
-	Sonstige Vorteile						Einführung eines automatischen Dosiersystems

* Abfallaufkommen betrachtet neben der Produktionsphase auch die Entsorgung der Verpackung, wenn der Klebstoff als Teil dieser zu Abfall wird

Quellen: Šatrić 2012; S. 14; Šatrić 2015. HACCP: Hazard Analysis and Critical Control Points. ISO: International Organization for Standardization. OHSAS: Occupational Health and Safety Assessment Series

3.3.2 Knjaz Miloš & Ecolab, Serbien

Fakten zu Fallbeispiel 2 - Knjaz Miloš & Ecolab	
Anbieter	Ecolab Inc. ²⁵
Anwender	Knjaz Miloš a.d. ²⁶
Prozess	Schmierung von Fließbändern in der Getränkeindustrie
NC Instrument	ChL inkl. Substitution und verbesserter Technik
Chemikalie	Schmierstoff und Chemikalien zur Wasseraufbereitung
Schlüsselstoff	vor ChL: Alkylamine und Essigsäure (Schmierstoff) und Natriumhypochlorit (Wasseraufbereitung) nach ChL: ungefährliches Tensid (Schmierstoff)
Besonderheiten	Durch die Einführung von ChL für die Schmierung wurde der Nass- mit einem Trockenschmierstoff substituiert. Dadurch wurden zusätzlich die Aufbereitung des Wassers und damit die dort verwendeten Chemikalien eingespart

Die Firma Knjaz Miloš a.d. ist Serbiens größter Mineralwasser- und Getränkeproduzent. Für den Verkauf wird das Wasser in PET²⁷-Flaschen verfüllt, welche über Fließbänder transportiert werden. Für die Schmierung dieser Fließbänder bezieht Knjaz Miloš Schmierstoff von Ecolab. Um den Produktionsprozess einfacher, effizienter und sicherer zu machen, haben die beiden Unternehmen in Zusammenarbeit mit dem National Cleaner Production Centre (NCPC) Serbien ChL eingeführt. Einer der ersten Schritte zur Verbesserung war die Substitution des bisherigen Schmiermittels – ein ätzender und giftiger Stoff auf Basis von Essigsäure und Alkylaminen – mit einem ungefährlichen Trockenschmierstoff. Das alte Schmiermittel wurde vor der Einführung von ChL mit Wasser verdünnt und aufgesprüht, wohingegen der neue Trockenschmierstoff komplett ohne Wasser wirkt. In diesem Zusammenhang wurden auch ein neues Dosiersystem sowie neue Düsen installiert. Die Hauptgefahrenbestandteile (ätzend und toxisch) des alten Schmierstoffs wurden mithilfe des Sicherheitsdatenblattes als Alkylamine und Essigsäure identifiziert. Diese Stoffe wurden daher auch als Schlüsselstoffe für die Betrachtung verwendet. Bezahlt wird nach der Umstellung des Geschäftsmodells nicht mehr in Euro pro Liter und Kilogramm der Chemikalien sondern pro Betriebsstunde des Fließbands (Jakl 2011; S. 22).

In Deutschland hat die Firma Tensid-Chemie GmbH mit verschiedenen Unternehmen die gleiche Anwendung von ChL eingeführt, sodass das hier beschriebene Beispiel charakteristisch für eine Reihe von ChL-Fallstudien steht. Das gleiche Modell findet auch in Uganda und Kroatien Anwendung; beispielsweise optimieren Carlsberg, Pepsi-Cola sowie Coca-Cola ihre Fließbandschmierung mittels ChL. Im Coca-Cola Fallbeispiel wird zusammen mit Ecolab nicht nur die Schmierung der Fließbänder über ChL optimiert, sondern auch die Reinigung der Oberflächen und das Waschen der Flaschen (Šatrić 2015; The Guardian 2014, UNIDO 2014; S. 24, 39f.).

²⁵ <http://www.ecolab.com/>

²⁶ <http://www.knjaz.co.rs/>

²⁷ Polyethylenterephthalat

Systemgrenzen

Betrachtet wurde in diesem Prozess das Schmieren der Fließbänder inklusive der dafür notwendigen Betriebsstoffe wie Wasser und Chemikalien zur Wasseraufbereitung und anschließenden Vermischung mit dem Nassschmiermittel. Die Quantifizierungen beziehen sich auf eine Linie in der Produktion. Bereits 2012 wurden jedoch schon drei von fünf Fließbändern mit ChL betrieben.

Die Herstellung der Schlüsselstoffe Alkylamine (konkret wird Methylamin für die Berechnung näherungsweise herangezogen), Essigsäure und Natriumhypochlorit wird mithilfe der Informationen aus Ecoinvent in die Betrachtung einbezogen und im Abschnitt Ergebnisse genauer beschrieben. Nach der Einführung des neuen Geschäftsmodells sind keine Chemikalien für die Wasseraufbereitung mehr notwendig, sodass eine vollständige Einsparung erreicht wurde. Über das neue Schmiermittel ist lediglich bekannt, dass keinerlei gefährliche Substanzen enthalten sind. Eine Quantifizierung der indirekten Effekte in der Lieferkette konnte das Projektteam jedoch mangels Daten nicht durchführen. Bezüglich der Zusammensetzung des Trockenschmierstoffs fand keine Verrechnung der Aufwendungen und Emissionen statt und es kann kein aussagekräftiger Vorher-Nachher-Vergleich getroffen werden.

Die Abfallphase wurde bezüglich Abwasser und generiertem Abfall an Schmiermitteln mit in die Betrachtung einbezogen.

Ergebnisse

Insgesamt läuft die Abfüllung und Verpackung der Getränke nach Einführung von ChL bedeutend stabiler, sodass kaum noch Flaschen vom Fließband fallen. Tabelle 10 stellt die erzielten Einsparungen für die NC-Indikatoren dar. Durch den Trockenschmierstoff im neuen Geschäftsmodell muss kein Wasser mehr für die Schmierung vor- und nachbehandelt werden, was zu einer 100-prozentigen Reduktion von dafür notwendigem Wasser und der Chemikalien für die Wasseraufbereitung führt (Natriumhypochlorit). Somit werden pro Jahr und Produktionslinie 270 l Natriumhypochlorit gespart.

Durch die Substitution des Schmierstoffs verringert sich auch die Gefährlichkeit um 100 % (Details siehe Tabelle 9), sodass pro Jahr und Linie 900 kg weniger Schadstoffe ins Wasser emittiert werden. Der alte Schmierstoff bestand zu ca. 15 % aus Gefahrstoffen, zusammengesetzt aus Methylamin und Essigsäure. Die genaue Zusammensetzung des neuen Schmierstoffs nach der Einführung von ChL ist nicht bekannt. Laut Sicherheitsdatenblatt gehen aber keinerlei Gefahren von dem Produkt aus. ChL hat zu einem Ausschluss der Gefahrstoffe in diesem Prozess geführt.

Das Gefahrstoffpotential HSP des alten Schmiermittels liegt bei 5,3 kg MEG-Äquivalenten pro kg Produkt bzw. bei 31.800 kg MEG-Äquivalenten bezogen auf die verwendete Gesamtmenge pro Jahr. Durch die Substitution mit einem ungefährlichen Schmierstoff werden knapp 32 t MEG-Äqu. Gefahrstoffpotential eingespart. Weiterhin musste das Wasser vor der Einführung von ChL für die Schmierung aufbereitet werden. Dies geschah mittels dem als hautreizend und gewässergefährdend eingestuften Natriumhypochlorits. Durch ChL wird nun ein Schmiermittel ohne Wassernutzung verwendet, sodass keinerlei Chemikalien zur Wasseraufbereitung mehr notwendig sind. Der Einsatz von 270 l (=324 kg) Natriumhypochlorit entspricht einem Gefahrstoffpotential HSP von 16.200 kg MEG-Äquivalenten. Insgesamt führt daher die Einführung von ChL durch die Substitution des Schmiermittels und den Wegfall der Wasserreinigung zu Gefahrstoffpotenzialminderungen von 48.000 kg MEG-Äquivalenten.

Tabelle 9: Gefahrstoffpotenzial HSP der in Fallbeispiel 2 verwendeten Chemikalien.

Chemikalie	Schlüsselstoff	H- und R-Satz ²⁸	Erklärung	Wirkpotenzial W ²⁹	Anteil im Produkt	HSP/kg	HSP gesamt
Schmiermittel Einsatz: 6000 kg/a	Alkylamine*	H318 R41	Verursacht schwere Augenschäden	100	5,5 %	= (5,5+47,5)/10 = 5,3 kg MEG-Äqu.	= 5,3* 6000 = 31800 kg MEG-Äqu.
	Essigsäure	H314 R34, R35	Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden	100 500	9,5 %		
Wasser-aufbereitungs-chemikalien Einsatz: 324 kg/a	Natriumhypochlorit	H314 R35	verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden	500	100%	= 500/10 = 500 kg MEG-Äqu.	= 500* 324 = 16.200 kg MEG-Äqu.

* laut Sicherheitsdatenblatt primäre, sekundäre und tertiäre Alkylamine; für die Berechnung des Lebenszyklus wurde Methylamin als Annäherung herangezogen

Quelle: ECHA 2015 a und b.

Die monetären Einsparungen bei Knjaz Miloš ergaben sich vor allem aus der Einsparung von Wasser (wasserfreier Prozess) und der damit entfallenden Vor- und Nachbehandlung des Wassers. Weitere Vorteile wurden dadurch generiert, dass durch die konstanter und besser funktionierende Schmier-Ausfallzeiten verhindert (Reduktion der Ausfallzeit pro Schicht um 15 min bzw. 100 %) und die Lebensdauer des Fließbands erhöht wurde.

Weitere Einsparungen ergaben sich aus einem vereinfachten Handling (z. B. bei Reinigung und Wartung) durch die verbesserte Technik und den substituierten Schmierstoff nach der Einführung von ChL. Diese zusätzlich generierten Effekte akkumulieren sich zu den in Tabelle 10 aufgeführten wirtschaftlichen Einsparungen von 39 % (Kriterium v).

Weitere Effekte durch die Einführung von ChL bei Knjaz Miloš sind folgende:

- ▶ Einführung einer exakten Messung der Kosten für den Verpackungsprozess
- ▶ Reduktion des Unfallrisikos, da der Boden nach der Umstellung auf ein Trockenschmiermittel keine Rutschgefahr mehr birgt (UNIDO 2011; S. 15)
- ▶ Verbessertes Reinigungsstandard, da mikrobiologische Kontamination durch die trockene Umgebung eliminiert wurde (Jakl; S. 23)
- ▶ Verbesserte Arbeitsbedingungen durch eine Verringerung der Menge an Aerosolen in der Luft

Die wirtschaftlichen Vorteile des Chemikalienanbieters Ecolab ergeben sich einerseits aus verringerten Lagerungs- und Transportkosten, zum anderen aus den Einnahmen aus Serviceleistungen und

²⁸ Es werden jeweils nur die höchsten, humantoxikologischen R-Sätze für die Bestimmung von W verwendet

²⁹ Wirkfaktorenmodell der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 440 (Bunke und Graulich 2003; S. 106).

einer verbesserten Marktsituation (Ecolab ist zum einzigen Schmiermittellieferanten für diesen Teil der Produktion geworden).

Die indirekt in der Lieferkette erzielten Effekte durch die Umstellung auf das ChL-Geschäftsmodell konnte das Projektteam für einige stoffbezogene Indikatoren (THG-Emissionen, Energie- und Wasserbedarf) auf Basis der in Ecoinvent vorhandenen Daten für Natriumhypochlorit, Methylamin und Essigsäure abschätzen.

Natriumhypochlorit war vor der Einführung von ChL zur Wasseraufbereitung benötigt worden. Methylamin wird als Annäherung an die im Schmiermittel enthaltenen Akylamine verwendet und Essigsäure war im Schmiermittel enthalten. Alle drei Substanzen werden nach der Einführung von ChL und der damit verbundenen Substitution nicht mehr verwendet.

Natriumhypochlorit entfiel ersatzlos, da nach der Umstellung keine Wasseraufbereitungschemikalien mehr notwendig sind. So führte ChL beispielsweise zu einer Reduktion des Energiebedarfs in der Vorkette von fast 5000 MJ pro Jahr und Produktionslinie allein durch den Wegfall einer Chemikalie. Die erzielten Einsparungen sind in Tabelle 10 integriert.

Für die beiden Schlüsselstoffe des alten Schmierstoffs (Methylamin und Essigsäure) hat das Projektteam ebenfalls die indirekten Einsparungen für die oben aufgeführten drei Indikatoren berechnet. Die Einsparungen für Wasser, Energie und THG bezogen auf die Lieferkette sind in Tabelle 10 enthalten.

Für einen aussagekräftigen Vorher-Nachher-Vergleich müssen Informationen zur Zusammensetzung der Gemische oder Materialien (hier der Schmierstoffe) miteinander verglichen werden (alter Schmierstoff – neuer Schmierstoff). Da diese Informationen nicht vorlagen, wurde keine Verrechnung mit den Aufwendungen und Emissionen für den neuen Schmierstoff durchgeführt.

Tabelle 10: Vergleich der NC-Indikatoren vor und nach der Einführung von ChL und der damit verbundenen Substitution bei Knjaz Miloš.

Kernkriterium	Indikator	Einheit	Vorher	Nachher	Differenz [absolut]	Differenz [%]	Kommentar
1	THG-Emissionen						Keine THG-Emissionen während des Prozesses bekannt, keine Daten für Quantifizierung aller indirekten Einsparungen
	1) Indirekt durch den Verzicht auf Natriumhypochlorit	kg CO ₂ -Äqu./a/Linie	263	0	-263	-100	Indirekte Einsparungen in der Lieferkette durch den Verzicht auf Natriumhypochlorit
	2) Indirekt durch Substitution des Schmiermittels	kg CO ₂ -Äqu./a/Linie			-1.533		Mangels Daten kein Vergleich zu neuem Schmiermittel möglich Durch Methylamin 792 und durch Essigsäure 741 kg CO ₂ -Äqu./a/Linie
2	Rohstoffaufwand						
	1) Schmierstoff	kg/a/Linie	6.000	4.200	-1800	-30	vorher: Nassschmierstoff nachher: Trockenschmierstoff
	2) Natriumhypochlorit	l/a/Linie	270	0	-270	-100	Zur Wasservorbehandlung
2	Rohstoffintensität						Quantifizierung nicht möglich, da Bezugsgröße (z. B. Liter abgefülltes Wasser oder Anzahl Flaschen) fehlt
2	Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe						Nicht bekannt
2	Energieaufwand						keine bekannt ³⁰

³⁰ Laut Unternehmen minimale Änderungen im Energiebedarf

Kernkriterium	Indikator	Einheit	Vorher	Nachher	Differenz [absolut]	Differenz [%]	Kommentar
	1) Indirekt durch den Verzicht auf Natriumhypochlorit	MJ/a/Linie			-4928		Indirekte Einsparungen in der Lieferkette durch den Verzicht auf Natriumhypochlorit
	2) Indirekt durch Substitution des Schmiermittels	MJ/a/Linie			-53.453		Mangels Daten kein Vergleich zu neuem Schmiermittel möglich Durch Methylamin 26.366 und durch Essigsäure 27.086 MJ/a/Linie
2	Energieintensität/-produktivität						Nicht bekannt
2	Wasserbedarf						
	1) als Betriebsstoff	m ³ /a/Linie	1.500	0	-1.500	-100	ohne Trinkwasser zur Abfüllung in Flaschen
	2) Indirekt durch den Verzicht auf Natriumhypochlorit	m ³ /a/Linie			-1		Indirekte Einsparung in der Lieferkette durch den Verzicht auf Natriumhypochlorit
	3) Indirekt durch Substitution des Schmiermittels	m ³ /a/Linie			-5		Mangels Daten kein Vergleich zu neuem Schmiermittel möglich Durch Methylamin 2 und durch Essigsäure 3 m ³ /a/Linie
2	Anteil rückgewonnenes Wasser						Soweit bekannt wurde das Wasser vor der Umstellung auf ChL nicht zurückgewonnen, danach fällt kein Wasser beim Schmieran
2	Schadstoffemissionen in die Luft						Verringerung der Menge an Aerosolen in der Luft, jedoch keine Werte bekannt
2	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden*	kg/a/Linie	900	0	-900	-100	Wasser wurde durch Lösung des Schmierstoffs kontaminiert → Abwasser mit organischer Verunreinigung (Schadstoffanteil aus Schmiermittel)

Kernkriterium	Indikator	Einheit	Vorher	Nachher	Differenz [absolut]	Differenz [%]	Kommentar
2	Abfallaufkommen*	kg/a/Linie	6.000	4.200	-1.800	-30	Schmiermittel ist vor und nach ChL Abfallprodukt, einmal gelöst in Abwasser, einmal als trockener Abfall Zusätzliche Reduktion des Verpackungsabfalls durch Verringerung der Schmiermittelmenge (nicht quantifiziert, siehe auch Anteil gefährlicher Abfälle)
2	Anteil gefährlicher Abfälle						Verpackungsabfall des alten Schmiermittels war gefährlich (nicht quantifiziert), Verpackung des neuen Schmierstoffs ist ungefährlich Schadstoffe aus Schmiermittel wurden bereits unter ‚Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden‘ erfasst, da Schmiermittel komplett in Abwasser verbleibt
3	Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion						Nicht bekannt
3	Gehalt an Gefahrstoffen	% der verwendeten Chemikalie	15	0	-0,15	-100	Mittlere Werte der Anteile laut Sicherheitsdatenblättern der Schmiermittel
4	Arbeitsunfälle	Anzahl/ Jahr	0	0	0	0	Reduktion des Unfallrisikos durch verringerte Rutschgefahr auf Boden
4	berufsbedingte Erkrankungen						Keine bekannt
5	Wirtschaftliche Vorteile durch nachhaltige Maßnahmen (Einsparungen)	€/a/Produktionslinie	14.700	9.000	-5.700	-39	Summe resultiert aus verschiedenen Komponenten, z. B. entfallene Ausfallzeiten (100 %), Ersparnisse beim Wasser und den Chemikalien
5	Investitionsintensität in Umwelt- und/oder Ressourcenschutz						Nicht bekannt

Kernkriterium	Indikator	Einheit	Vorher	Nachher	Differenz [absolut]	Differenz [%]	Kommentar
5	Marktpräsenz						Nicht bekannt
5	Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind						Nicht bekannt
6	Zertifizierung nach ISO, EMAS etc.	Liste der Zertifizierungen	HACCP (Gefahrenanalyse und Hygienemanagementsystem) ISO 9001, 14001 und 22000 (Qualitäts- und Umweltmanagement, Lebensmittelsicherheit) OHSAS 18001 (Arbeitsschutzmanagementsystem)				bereits vor ChL-Einführung zertifiziert
6	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter						Keine bekannt ³¹
6	Anteil Frauen gesamt / Personen, die unter Arbeitsvereinbarungen fallen						Keine bekannt ³¹
-	Sonstige Vorteile						vereinfachtes Handling (Wartung und Instandhaltung des Fließbandes); gleichmäßigere Flaschenbeförderung; Möglichkeit zur exakten Messung der Kosten für den Verpackungsprozess; verbesserter Reinigungsstandard durch Eliminierung mikrobiologische Kontamination aufgrund trockener Umgebung

* die Indikatoren betrachten neben der Nutzenphase auch die Entsorgung der Chemikalien im Sinne von Abfallgenerierung und Abwasserkontamination
Quelle: Cleaner Production Centre of Serbia 2009; S. 15, Jakl 2011; S. 23, UNIDO 2011; S. 15, Ecoinvent 2015, eigene Berechnungen.

³¹ Laut Šatrić 2015 keine Veränderungen; das Projektteam hat aber keine quantifizierbaren Daten erhalten

3.3.3 Windsor & Ecolab, Brasilien

Fakten zu Fallbeispiel 3 - Windsor & Ecolab

Anbieter	Ecolab Inc. ³²
Anwender	Windsor Atlantica Hotel ³³
Prozess	Reinigung im Hotel (Zimmer, Flächen, Wäsche, Geschirr)
NC Instrument	ChL
Chemikalie	verschiedene Wasch- und Reinigungsmittel
Schlüsselstoff	Natriumhydroxid, Natriumhypochlorit, Natriumhydrogensulfid, Essigsäure, Natriumcarbonat, Triphosphorsäure

Das in Rio de Janeiro, Brasilien, angesiedelte Windsor Atlantica Hotel hat gemeinsam mit Ecolab Inc. für alle Reinigungsarbeiten im Hotel einen ChL-Ansatz eingeführt. Die Reinigungsprozesse betreffen sowohl das Reinigen der über 500 Zimmer, die Wäscherei (Bettwäsche, Handtücher, Arbeitskleidung der Mitarbeiter) und Allgemeinflächen wie den Restaurantbereich (Geschirr- und Besteckwäsche, Flächendesinfektion etc.).

Ziel der Zusammenarbeit war es, den Wasser-, Energie- und Chemikalienverbrauch, das Abfallaufkommen und die Verschmutzung zu reduzieren. Ecolab stellt die Chemikalien sowie das Equipment zur Dosierung bereit, kümmert sich um die richtige Handhabung und ist für die Weiterbildung der Hotelangestellten verantwortlich. Zusätzlich übernimmt Ecolab auch das Monitoring der verwendeten Reinigungsmengen und der Art ihrer Anwendung. Die Bezahlung erfolgt in Form einer Servicepauschale in R\$³⁴ pro belegtem Zimmer und Monat.

Die beiden Unternehmen kooperieren seit der Hoteleröffnung 2010 miteinander. Windsor wurde 2012 für sein Engagement für Nachhaltigkeit mit der Goldkategorie der ‚Travelife‘ Zertifizierung³⁵ ausgezeichnet, einem britischen Zertifikat über nachhaltiges Hotelmanagement. Um die Ökoeffizienz weiter zu erhöhen und dadurch das Zertifikat beizubehalten, werden beispielsweise in regelmäßigen Abständen weiter effizientere und dennoch weniger gefährliche Reinigungsmittel eingeführt (Kawa 2014, Windsor 2014).

Systemgrenzen und Annahmen zur Berechnung

In diesem Fallbeispiel war kein direkter Vergleich der Situation vor und nach der Einführung von ChL möglich, da das Hotel bereits mit seiner Eröffnung ChL eingeführt hat. Zur Effizienzbewertung wurde jedoch ein Vergleich mit einem anderen brasilianischen Hotel durchgeführt. Da das Vergleichshotel wesentlich kleiner und weniger ausgelastet ist, entsprechen die angegebenen Differenzen einem Best-Case-Szenario, d. h. die Einsparungen gegenüber einem großen, effizient geführten Hotel könnten ggf. geringer ausfallen, da hier Größenvorteile zu Buche schlagen.

Die Daten für die Mengen an verwendeten Reinigungsmitteln sowie für die wirtschaftlichen Einsparungen beziehen sich auf die Anwendung im Hotel. Für andere Indikatoren (THG-Emissionen, Wasserbedarf, Schadstoffe ins Wasser/Eutrophierung) waren Daten über den Lebenszyklus verfügbar, sodass hier direkte und indirekte Einsparungen addiert wurden. Für die Anwendung im Hotel selbst

³² <http://www.ecolab.com/>

³³ <http://windsorhoteis.com/hotels/windsor-atlantica/presentation/?lang=en>

³⁴ brasilianischer Real

³⁵ http://www.travelife.info/index_new.php?menu=home&lang=de

wurden keine Quantifizierungen zu Energie- und Wasserbedarf vorgenommen, da der Fokus auf den Chemikalieneinsparungen lag. Bezugspunkt für die Berechnung sind die Chemikalien für die Wäscherei und die Geschirrwäsche, da diese 96 % der bei Windsor eingesetzten Chemikalien verbrauchen.

Die Hauptbestandteile der verschiedenen Waschmittel sind neben Wasser Natriumhydroxid, Natriumhydrogensulfit, Natriumcarbonat, Triphosphorsäure, Natriumhypochlorit und Essigsäure. Die indirekten Einsparungen in der Lieferkette durch die Reduktion dieser Substanzen wurden in diesem Beispiel nicht gesondert berechnet, sondern für THG-Emissionen, Wasser- und Energiebedarf sowie Phosphoreintrag in Tabelle 13 bereits mit berücksichtigt.

Ergebnisse

Die erfolgreiche Einführung von ChL im Hotel hat zu erheblichen Einsparungen bei der verwendeten Chemikalienmenge sowie einer Reihe von weiteren Vorteilen geführt, die u.a. in Tabelle 13 quantifiziert sind.

Insgesamt werden im Windsor Atlantica fünfmal weniger Chemikalien eingesetzt als in dem Vergleichshotel. Dies führt durch geringere Kosten für Chemikalien und Wartung sowohl zu wirtschaftlichen Vorteilen für die Geschäftspartner, als auch zu weniger Abfall und Chemikalienbelastung des Abwassers. Weiterhin werden in der Lieferkette über die Chemikalieneinsparungen pro Zimmer ca. 20 Liter Wasser eingespart, es werden 28 kg CO₂-Äquivalente weniger emittiert und das Eutrophierungspotenzial, d. h. die Phosphoremissionen (P) ins Wasser werden um 9 kg P-Äquivalente reduziert.

Obwohl keine Zahlen zu Arbeitsunfällen bekannt sind, kann man davon ausgehen, dass sich die Chemikalien- und Arbeitssicherheit durch den reduzierten direkten Kontakt der Mitarbeiter mit den Reinigungsmitteln durch automatische Dosiersysteme verbessert hat. Nach Angaben des Betreibers sind im Windsor Atlantica weniger Arbeitsunfälle zu verzeichnen als in vergleichbaren Hotels (Windsor 2014).

Da das Mischen der konzentrierten Chemikalien mit Wasser nicht mehr von Hand sondern über eine automatische Dosierhilfe durchgeführt wird, konnte Windsor den Wasserverbrauch sowie die Arbeitsunfälle durch Hautirritationen aufgrund von direktem Chemikalienkontakt senken. Ecolab führt regelmäßige Schulungen der Mitarbeiter zum richtigen Umgang mit den Chemikalien durch, wodurch sich der Wissensstand und das Handling verbessert haben und insgesamt ein größeres Verständnis für umweltbezogenen Themen geschaffen werden konnte (Kawa 2014).

Windsor Atlanticas Reinigungskosten liegen um zwei Drittel unter denen der anderen Häuser in der Windsor Hotelkette, wobei die Reinigungskosten ca. 8 % der Gesamtkosten des Hotels ausmachen. In dem Projekt wurde festgestellt, dass ChL für Ecolab wirtschaftlich vorteilhaft ist, solange die Belegung selten unter 60 % fällt, da ansonsten zu wenig Einnahmen einem zu hohen Chemikalienaufwand gegenüberstehen (Windsor 2014).

Tabelle 11 gibt einen Überblick über die in den Reinigungsmitteln enthaltenen Gefahrstoffe (Schlüsselstoffe) und ihre Einstufung bzw. Gefährlichkeit. Es ist zu beachten, dass die Klassifizierung für die Reinsubstanz gilt; die Substanzen in den Reinigungsmitteln aber nur in Mengen von wenigen Prozent enthalten und vermischt sind. Für eine verlässliche Abschätzung wären Daten zu Zusammensetzung nötig, die nur für ausgewählte Reinigungsmittel verfügbar sind. Bei der Betrachtung der Einzelsubstanzen wird ersichtlich, dass vier der sechs Chemikalien in den bei Windsor verwendeten Waschmitteln beispielsweise reizend für Augen und Haut sind. Das Projektteam nimmt an, dass das Training der Mitarbeiter sowie die automatische Dosierhilfe nach der Einführung von ChL für eine Risikominderung in der Anwendung sorgen. Die Gefahrstoffpotentiale (HSP) sind aufgrund der Datenlage exemplarisch für zwei Reinigungsmittel mit hohem Gefahrstoffanteil in Tabelle 12 dargestellt. Die

Tabelle beschreibt ein „worst case“ Szenario, da das Projektteam davon ausgeht, dass in Fallbeispiel 3 ausschließlich diese beiden Reinigungsmittel verwendet werden. Es ist jedoch bekannt, dass verschiedene andere Reinigungsmittel mit geringerem Gefahrstoffanteil verwendet werden, für die aber keine genauere Betrachtung mangels Daten möglich war. Die Ergebnisse in Tabelle 12 zeigen, dass die Reduktion der Reinigungsmittel durch ChL um 80 % auch eine Minderung des HSP von insgesamt 9133 kg MEG-Äquivalenten zur Folge hat, da HSP vor der Einführung von ChL bei 11.493 und nach der Einführung bei 2360 kg MEG-Äquivalenten liegt.

Tabelle 11: Schlüsselstoffe verschiedener Reinigungsmittel aus Fallbeispiel 3 und ihre Einstufung.

Chemikalie	CAS-Nr.	Kennzeichnungselemente für	Gefahrenhinweis	Erklärung	Wirkpotential auf Grundlage TRGS 440	% in Reinigungsprodukten
Natriumhydroxid	1310-73-2	hautreizende/-ätzende Wirkung 1A	H314 R34, R35	verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden	100, 500	Bis 48
Natriumhypochlorit	7681-52-9	hautreizende/-ätzende Wirkung 1B	H314 R34, R35	verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden	100, 500	9 - 30
		Gewässergefährdung 1	H400 R50, R50-53	Sehr giftig für Wasserorganismen	0,5	
Natriumhydrogensulfit	7631-90-5	akute Toxizität 4	H302 R22	Gesundheitsschädlich beim Verschlucken	10	20 – 50
Essigsäure	64-19-7	entzündbare Flüssigkeiten 3	H226 R10	Flüssigkeit und Dampf entzündbar	0,5	10 – 12
		hautreizende/-ätzende Wirkung 1A	H314 R34, R35	Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden	100, 500	
Triphosphorsäure	10380-08-2	Nicht eingestuft				Bis 19
Natriumcarbonat	24551-51-7	schwere Augenschädigung/Augenreizung 2	H319 R36	Verursacht schwere Augenreizung	5	20 – 50

Quelle: ECHA 2015 a und b.

Tabelle 12: Gefahrstoffpotenzial HSP für ausgewählte Reinigungsmittel aus Fallbeispiel 3*.

Chemikalie	Schlüsselstoff	R-Satz ³⁶	Wirkpotential W ³⁷	Anteil im Produkt	HSP/kg	HSP gesamt** vor ChL	HSP gesamt** nach ChL
Geschirreiniger	Natriumhydroxid	R35	500	35 %	= $(175+1,13)/10$ = 17,6 kg MEG-Äqu.	= 17,6* 0,1*492 = 866 kg MEG-Äqu.	= 17,6* 0,1*101 = 178 kg MEG-Äqu.
	Triphosphorsäure	Keine Einstufung		19 %			
	Natriumcarbonat	R36	5	22,5 %			
Waschmittel	Natriumhydroxid	R35	500	48 %	= 240/10 = 24 kg MEG-Äqu.	= 24*0,9* 492 = 10.627 kg MEG-Äqu.	= 24*0,9* 101 = 2.182 kg MEG-Äqu.

* Für die exemplarische Berechnung des HSP wurden die beiden Reinigungsmittel mit dem höchsten Gefahrstoffanteil verwendet, für die Daten vorlagen; ein Geschirreiniger und ein Waschmittel

** Bei der Gesamtmenge von 492 l vor ChL bzw. 101 l (Annahme kg = l) nach der Einführung von ChL geht das Projektteam davon aus, dass 90 % der Reinigungsmittel Waschmittel sind, die verbleibenden 10 % Geschirreiniger.

³⁶ Es werden jeweils nur die höchsten, humantoxikologischen R-Sätze für die Bestimmung von W verwendet

³⁷ Wirkfaktorenmodell der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 440 (Bunke und Graulich 2003; S. 106).

Tabelle 13: Vergleich der NC-Indikatoren für das ChL-Modell im Windsor Atlantica Hotel mit denen eines konventionell betriebenen Hotels*.

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Vorher*	Nachher	Differenz [absolut]	Differenz [%]	Kommentar
1	THG-Emissionen	kg CO ₂ -Äqu./ Zimmer/a	-	-	-28,1	-	Einsparungen in Lieferkette durch reduzierte Chemikalienmenge
2	Rohstoffaufwand: Reinigungsmittel**	l/Zimmer/a	492	101	-391	-79,5	Aufgrund Bezugsgröße (Zimmer und Jahr) entspricht Aufwand auch Intensität
2	Rohstoffintensität	l/Zimmer/a	492	101	-391	-79,5	
2	Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe						Keine stoffliche Verwendung erneuerbarer Rohstoffe bekannt
2	Energieaufwand	kWh	-	-	-	~80	Grobe Abschätzung über verringerten Bedarf an Waschmitteln und dadurch ausbleibende Produktion; im Hotel selbst wurden keine Energieeinsparungen quantifiziert
2	Energieintensität/-produktivität						Energieaufwand in der Anwendung (bspw. für Waschmaschinen) nicht bekannt
2	Wasserbedarf gesamt	m ³ /Zimmer/a	-	-	-20,4	-	
2	Anteil rückgewonnenes Wasser						Keine Wasserrückgewinnung vorhanden
2	Schadstoffemissionen in die Luft						Keine Daten vorhanden
2	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden	kg P-Äqu./ Zimmer/a	-	-	-0,023	-	angegeben als Eutrophierungspotenzial
2	Abfallaufkommen						Abfallreduktion ist in Planung, wurde aber durch ChL zunächst nicht erheblich beeinflusst
2	Anteil gefährlicher Abfälle						Keine bekannt, Behälter der Reinigungsmittel sind jedoch nach Einschätzung des Projektteams gefährlicher Abfall → Reduktion durch verringerte Chemikalienmenge

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Vorher*	Nachher	Differenz [absolut]	Differenz [%]	Kommentar
3	Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion		Warnhinweise zur Gefährlichkeit der Reinigungsmittel wie auf Sicherheitsdatenblättern				
3	Gehalt an Gefahrstoffen	% der verwendeten Chemikalie	Zwischen 9,5 und maximal 85 % je nach Reinigungsmittel				
4	Arbeitsunfälle**						weniger Unfälle als in vergleichbaren Hotels
4	berufsbedingte Erkrankungen						Keine bekannt
5	Wirtschaftliche Vorteile durch nachhaltige Maßnahmen**	R\$/Zimmer/a	2.226	730	-1.496	-67	Reduktion der gesamten Reinigungskosten umgelegt auf Kosten pro Zimmer und Jahr
5	Investitionsintensität in Umwelt- und/oder Ressourcenschutz						Nicht bekannt
5	Marktpräsenz						Nicht bekannt
5	Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind						Nicht bekannt
6	Zertifizierung nach ISO, EMAS etc.	Liste der Zertifizierungen	Goldene Travelife Certification (britisches Zertifikat über nachhaltiges Hotelmanagement)				bereits vor ChL-Einführung zertifiziert
6	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter		-	-	-	-	bessere Bildung der Mitarbeiter (nicht quantifiziert)
6	Anteil Frauen gesamt / Personen, die unter Arbeitsvereinbarungen fallen						Keine Veränderung bekannt
-	Sonstige Vorteile						Gesteigertes Umweltbewusstsein der Mitarbeiter

* konventionelles Hotel (hier verwendet, um den Status vor ChL zu repräsentieren) ist wesentlich kleiner und weniger effizient, ein Vergleich mit einem ähnlich großen Hotel könnte ggf. andere Werte liefern

** die Aufwendungen betreffen nur die Anwendungsphase im Hotel und beziehen keine Werte aus der Lieferkette mit ein

Quelle: Kawa 2014, UNIDO 2015, Windsor 2014.

3.3.4 PERO Innovative Services & SAFECHEM, Österreich

Fakten zu Fallbeispiel 4 - SAFECHEM & PERO Innovative Services	
Anbieter	SAFECHEM Europe GmbH ³⁸
Anwender	PERO Innovative Services GmbH ³⁹
Prozess	Reinigung von Metallteilen
NC Instrument	ChL inkl. verbesserter Technik
Chemikalie	Perchlorethylen
Schlüsselstoff	Perchlorethylen

Die Unternehmen SAFECHEM Europe GmbH und PERO Innovative Services GmbH haben die Reinigung von Metallteilen für die Automobilindustrie mithilfe von ChL optimiert. Im Gegensatz zur ursprünglichen Bezahlung pro Menge verbrauchten Lösemittels orientiert sich die nutzenbasierte Zahlung nach Einführung von ChL an der Anzahl der gereinigten Teile. Die Firma Automobiltechnik Blau bezieht anschließend die gereinigten Teile von PERO, um damit verschiedene Komponenten für den Automobilbau zu produzieren.

In diesem Fallbeispiel hat die Anwendung von ChL dazu geführt, dass eine verbesserte Technik für die Reinigung verwendet werden konnte, die unter dem herkömmlichen Geschäftsmodell nicht wirtschaftlich gewesen wäre. In der geschlossenen Anlage wird das Lösemittel Perchlorethylen (PER) kontinuierlich destilliert und es finden keine Emissionen mehr statt. Insgesamt konnten die Unternehmen durch das neue Geschäftsmodell sowohl umweltbezogenen als auch wirtschaftliche Vorteile erzielen.

Systemgrenzen

Das Fallbeispiel betrachtet den Reinigungsprozess von Metallteilen. Dazu sind verschiedene Komponenten notwendig, u.a. das Lösemittel selbst, Stabilisatoren, Filter und Energie. Hauptbestandteil der Betrachtung ist PER, für das auch die Lieferkette untersucht wurde. Im Abschnitt Ergebnisse wird daher betrachtet, welche Auswirkungen die Chemikalienreduktion auf den Energie- und Wasserbedarf sowie auf die Emission von THG hat.

Ergebnisse

Die hier beschriebenen Daten wurden im Rahmen der Einführung von ChL im Jahr 2005 erhoben und betreffen nur einen Prozess im Unternehmen. Heute wird das Modell in größerem Maßstab und auf mittlerweile drei Maschinen und mit verschiedenen Lösemitteln betrieben.

Die Einführung von ChL hat in Fallbeispiel 4 zu einer Lösemittelreduktion von 76 % geführt. Außerdem konnten in Bezug auf die verwendeten Rohstoffe 74 % Stabilisatoren und 87 % Aktivkohle eingespart werden. Der Energiebedarf (generiert durch die Anlage sowie die Kühlung) sank um ca. die Hälfte und der Anfall an Aktivkohleabfall konnte von 700 auf 90 kg pro Jahr verringert werden. Tabelle 15 stellt ausführlich die erzielten Einsparungen dar.

Da keine Substitution der verwendeten Chemikalie stattfand, bleibt die prozentual verwendete Gefahrstoffmenge auch nach der Einführung von ChL bei 100%, es sinkt aber die absolut verwendete

³⁸ <http://www.dow.com/safechem/eu/deu/de/>

³⁹ <http://www.pero-innovative.at/>

Menge PER um 76 %, wodurch entsprechend die verwendete Gefahrstoffmenge sinkt. Tabelle 14 gibt einen Überblick über die Toxizität und Einstufung des Lösemittels. Vor und nach der Einführung von ChL wurde PER als einziges Lösemittel verwendet. Die verwendeten Mengen konnten jedoch erheblich (76 %) verringert werden, wodurch auch das mit der Herstellung und Anwendung der Substanz verbundene Risiko reduziert wird. Das Gefahrstoffpotential HSP von PER beträgt daher vorher 28.082 kg MEG-Äquivalente und nach der Einführung von ChL 6.688 kg MEG-Äquivalente. Somit ergibt sich durch die Einführung von ChL eine Minderung des Gefahrstoffpotenzials um 21.394 kg MEG-Äquivalente.

Tabelle 14: Gefahrstoffpotenzial HSP der in Fallbeispiel 4 verwendeten Chemikalie.

Chemikalie	CAS-Nummer	H- und R-Satz ⁴⁰	Erklärung	Wirkpotential W	Anteil im Produkt	HSP/kg	HSP gesamt vor ChL	HSP gesamt nach ChL
PER Einsatz: vorher: 2.956 nachher: 704 kg/a	127-18-4	H351 R40	Kann vermutlich Krebs erzeugen	100	95 %	9,5 kg MEG-Äqu.	= 9,5*2.956 = 28.082 kg MEG-Äqu.	= 9,5*704 = 6.688 kg MEG-Äqu.

Quelle: ECHA 2015 a und b

Über die in Ecoinvent verfügbaren Daten konnten für die drei stoffbezogenen Indikatoren THG-Emissionen, Energie- und Wasserbedarf Effekte in der vorgelagerten Lieferkette berechnet werden. Die indirekten Einsparungen für die drei NC-Indikatoren sind in die Tabelle 15 integriert.

Wie in den vorangegangenen ChL-Beispielen zeigt sich auch hier, dass es durch die reduzierte Chemikalienmenge vor allem zu indirekten Energie-Einsparungen und in der Folge zu einer Reduktion der THG-Emissionen kommt. Der Energieaufwand in der Vorkette von PER konnte durch die Einführung des neuen Geschäftsmodells um fast 72.000 MJ pro Jahr bzw. um knapp 20.000 kWh pro Jahr gesenkt werden. Die THG Emissionen werden (bei Annahme des österreichischen Strommixes) um knapp 8.000 kg CO₂-Äqu. pro Jahr reduziert.

Im Vergleich zu den direkten Einsparungen in der PER Anwendung sind die Effekte aus der Vorkette in diesem Fallbeispiel relativ gering. Bezüglich der Energieeinsparung sind es rund 10 % der Energie, die im Anwendungsprozess benötigt wird und bezüglich der THG Emissionen knappe 17%.

In der Summe (Lieferkette + Anwendungsprozess für direkten Energiebedarf und Chemikalienherstellung) belaufen sich die Energieeinsparungen auf rund 188.600 kWh bzw. 679.000 MJ im Jahr. Die Einsparung an THG-Emissionen summiert sich pro Jahr auf mehr als 45.500 kg CO₂-Äquivalente, obwohl die österreichische Stromerzeugung im Vergleich zu anderen Ländern durch ihren hohen Anteil an Wasserkraft (rund 60 %) mit 0,22 kg CO₂-Äqu./kWh wenig THG emittiert.

Neben den geschilderten Einsparungen kam es durch die Einführung von ChL zu weiteren, qualitativen Vorteilen. So wurde durch die neue Technik auch der Instandhaltungsaufwand reduziert. Durch die verbesserte Wirtschaftlichkeit konnte der Gerätehersteller PERO seine Wettbewerbsposition am Markt verbessern. Das Beispiel steht exemplarisch für weitere Oberflächenreinigungen mit chlorier-

⁴⁰ Es werden jeweils nur die höchsten, humantoxikologischen R-Sätze für die Bestimmung von W verwendet

ten Lösemitteln. Sehr vergleichbare Einsparungen konnten z. B. auch mit Trichlorethylen (TRI) erzielt werden.

Tabelle 15: Vergleich der NC-Indikatoren vor und nach der Einführung von ChL bei der Firma PERO.

Kernkriterium	Indikator	Einheit	Vorher	Nachher	Differenz [absolut]	Differenz [%]	Kommentar
1	THG-Emissionen						während der Anwendung selbst entstehen keine THG-Emissionen
	1) durch reduzierte PER-Menge	kg CO ₂ -Äqu./Jahr	10.642	2535	-8.106	-76	Indirekte Einsparungen in der Lieferkette durch die PER-Reduktion
	2) durch verringerten Energiebedarf	kg CO ₂ -Äqu./Jahr	81548	44111	-37.437	-46	Indirekte Einsparungen in der Lieferkette durch die Energieeinsparungen
2	Rohstoffaufwand						
	1) Rohstoffaufwand: PER	kg/Jahr	2.956	704	-2.252	-76	
	2) Rohstoffaufwand: Stabilisatoren	l/Jahr	30	7,8	-22,2	-74	
	3) Rohstoffaufwand: Aktivkohle	kg/Jahr	700	90	-610	-87	
2	Rohstoffintensität	Kg/Charge	0,10	0,02	-0,08	-76	
2	Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe						Keine Nutzung erneuerbarer Rohstoffe in Anwendung
2	Energieaufwand						Summe (Anwendung + indirekte Einsparung durch PER-Reduktion): ~188,6 MWh bzw. 679 GJ
	1) in Anwendung	kWh/Jahr	367.333	198.700	-168.633	-46	Einsparung $\hat{=}$ 607.079 MJ/Jahr
	2) Indirekt durch PER-Einsparung	MJ/Jahr	94.415	22.494	-71.921	-76	Einsparung $\hat{=}$ 19.978 kWh/Jahr
2	Energieintensität	kWh/Charge	12,5	6,7	-5,7	-46	
2	Wasserbedarf gesamt	m ³ /Jahr	0,3	0,08	-0,27	-76	indirekt in der Lie-

Kernkriterium	Indikator	Einheit	Vorher	Nachher	Differenz [absolut]	Differenz [%]	Kommentar
							verkettete reduzierter Wasserbedarf; Keine Verwendung von Wasser in der Anwendung
2	Anteil rückgewonnenes Wasser						Keine Rückgewinnung bekannt, kein Wasser in Anwendung
2	Schadstoffemissionen in die Luft: Lösemittelmmissionen	kg/100 kg entferntes Öl	10	1	-9	-90	Keine Quantifizierung für das das Lösemittel dieses BeispielsBeispiels, sondern allgemein für chlorierte Lösemittel
2	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden						Nicht bekannt
2	Abfallaufkommen						
	1) Abfallaufkommen: Aktivkohle	kg/Jahr	700	90	-610	-87	
	2) Abfallaufkommen: Altöl	kg/Jahr	9.958	9.958	0	0	
	3) Abfallaufkommen: Lösemittel	kg/100 kg entferntes Öl	5	3	-2	-40	Keine Quantifizierung für das Lösemittel dieses BeispielsBeispiels, sondern allgemein für chlorierte Lösemittel
2	Anteil gefährlicher Abfälle	% des Aufkommens	100	100	0	0	Lösemittel-Öl-Gemisch
3	Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion						Keine bekannt
3	Gehalt an Gefahrstoffen	% der verwendeten Chemikalie	100	100	0	0	
4	Arbeitsunfälle						Keine bekannt
4	berufsbedingte Erkrankungen						Keine bekannt
5	Wirtschaftliche Vorteile durch nachhaltige Maßnahmen	€/a	90.133	43.256	-46.876	-52	Reduzierte Kosten
5	Investitionsintensität in						Nicht bekannt

Kernkriterium	Indikator	Einheit	Vorher	Nachher	Differenz [absolut]	Differenz [%]	Kommentar
	Umwelt- und/oder Ressourcenschutz						
5	Marktpräsenz						Nicht bekannt, die Wettbewerbsposition am Markt konnte jedoch durch die verbesserte Wirtschaftlichkeit erhöht werden
5	Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind						Nicht bekannt
6	Zertifizierung nach ISO, EMAS etc.						Keine bekannt
6	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter						Keine Veränderung, jedoch keine Daten zur Quantifizierung vorhanden
6	Anteil Frauen gesamt / Personen, die unter Arbeitsvereinbarungen fallen						Keine Veränderung, jedoch keine Daten zur Quantifizierung vorhanden
-	Sonstige Vorteile						Reduzierter Instandhaltungsaufwand

Quelle: BiPRO 2005, Erbel 2015, Ecoinvent 2015, eigene Berechnungen

3.3.5 Cabot und Statoil, Großbritannien und Norwegen

Fakten zu Fallbeispiel 5 - Cabot und Statoil

Anbieter	Cabot Specialty Fluids Limited, UK
Anwender	diverse, z. B. Statoil, Norwegen
Prozess	Offshore Bohröle
Chemikalie	Cäsiumformiat
Schlüsselstoff	Cäsiumformiat
NC Instrument	ChL inkl. verbesserter Technik

Die Firma Cabot liefert Bohröle an Unternehmen, die Offshore-Bohranlagen betreiben. Durch Chemikalienleasing werden Anreize gesetzt, die Bohröle im Kreislauf zu verwenden und Verluste zu minimieren. Verluste führen in der Regel zur unmittelbaren Emission ins Meer, insofern bedeutet die optimierte Kreislaufführung eine direkte ökologische Verbesserung. Durch das Geschäftsmodell Chemikalienleasing wird die Nutzung der Bohröle bezahlt, nicht die abgenommene Menge. Damit besteht für den Chemikalienanbieter Cabot ein wirtschaftliches Interesse darin, möglichst geringe Mengen an Bohrölen einzusetzen, um die von diesen Chemikalien geforderten Funktionen zu erfüllen.

Das aus wirtschaftlichen Interessen ableitbare Bemühen des Herstellers, möglichst geringe Mengen an Bohrölen einzusetzen, hat dazu geführt, dass teure, aber hoch effiziente Bohröle über Chemikalienleasing angeboten werden.

Systemgrenzen

Das Fallbeispiel analysiert den Einsatz der Bohröle im Offshore-Betrieb. Da die Optimierung sowohl über alternative Produkte als auch über intensiviertere Kreislaufführung erfolgt, werden sowohl der Recyclingprozess der Öle als auch deren gesamter Lebensweg ab Herstellung betrachtet.

Ergebnisse

Die hier beschriebenen Ergebnisse beziehen sich auf Bohranlagen in Norwegen. Das Geschäftsmodell wurde mittlerweile auf Anlagen in Brasilien, Mexiko und Großbritannien ausgeweitet.

Die Einführung von ChL hat in Fallbeispiel 5 zu einem verringertem Abfallaufkommen geführt. Außerdem konnten in Bezug auf die verwendeten Rohstoffe 100 % Baryte und Barium eingespart werden, was zu einer erheblichen Senkung der Toxizität und des gefährlichen Abfalls führt. Tabelle 16 gibt einen Überblick über das Gefahrstoffpotenzial HSP der beiden alternativen Bohröle. Mangels genauer Informationen über die verwendeten Mengen kann lediglich das Gefahrstoffpotenzial pro kg verglichen werden. Allerdings kann anhand der vorhandenen Daten von gleichen Mengen ausgegangen werden. Unter dieser Voraussetzung, wird durch den Einsatz von Cäsiumformiat das Gefährdungspotenzial um den Faktor 100 gesenkt. Zusätzlich hat Cäsiumformiat selbst im schlechtesten Fall eine Wiederverwertungsquote von 76 %, wodurch nicht nur Ressourcen und finanzielle Mittel gespart, sondern auch die Emissionen erheblich reduziert werden.

Durch ChL konnten die Betriebskosten um 4,3 % gesenkt und 16 neue Arbeitsplätze geschaffen werden. Tabelle 18 bietet eine detaillierte Übersicht der erzielten Einsparungen.

Aufgrund fehlender Absolutzahlen sind die Angaben im Fallbeispiel 5 auf qualitative anstatt quantitativer Angaben beschränkt.

Tabelle 16: Gefahrstoffpotenzial HSP einiger in Fallbeispiel 5 verwendeten Chemikalien.

Chemikalie	CAS-Nummer	H- und R-Satz ⁴¹	Erklärung	Wirkpotential W	Anteil im Produkt	HSP/kg
Zinkbromid (vor ChL)	7699-45-8	H317 R43	Kann allergische Hautreaktionen verursachen	500	95 %	47,5 kg MEG-Äqu.
Cäsiumformiat (nach ChL)	3495-36-1	H319 R36	Gesundheitsschädlich beim Verschlucken	5	95 %	0,475 kg MEG-Äqu.

Quelle: ECHA 2015 a und b.

Aus dem Metoc Report Nummer 1147 “Formate Brines – Environmental Assessment” (2003) geht hervor, dass der Einsatz von Formiatlösungen als Bohrflüssigkeit im Gegensatz zu den ölasierten Schlämmen den Grad der Toxizität in der betroffenen Umwelt deutlich senkt. Der Einfluss auf das marine System, ausgelöst durch den Einsatz von Formiatlösungen, wird als „nicht signifikant“ und „nicht permanent“ beschrieben. Ein Vorteil gegenüber den üblichen Schlämmen besteht darin, dass Formiatlösungen keine Chloride oder Schwermetalle und auch keine zusätzlichen Chemikalien wie Emulgatoren, Schmiermittel, Schieferstabilisatoren, Antischaummittel oder Biozide beinhalten (Überblick gibt Tabelle 17). Auf Baryte und Barium kann im Gegensatz zu dem bisher angewendeten Verfahren vollständig verzichtet werden. Zudem kann man Formiatlösungen aufgrund ihrer speziellen Eigenschaften auch für anspruchsvolle Ölförderungen verwenden.

Die Kostenanalyse für Cäsiumformiat (hier verwendete Form der Formiatlösungen) ergibt einen höheren Aufwand pro Einheit als jener der traditionellen Bohrflüssigkeiten. Bezieht man jedoch die fehlende Notwendigkeit der Entsorgung der Abfälle an Land, die verkürzte Anwendungszeit und die erhöhte Leistung in die Kostenanalyse mit ein, so fallen die Gesamtkosten gegenüber den traditionellen Chemikalien geringer aus.

Tabelle 17: Überblick über verwendete Zusatzstoffe

Zusatzstoffe	Ölbasierter Schlamm	Wasserbasierter Schlamm	Formiate
Entschäumer	Nein	Ja	Gelegentlich
Flüssigkeitsverlust	Gilsonite, sulphonated asphalt, lignite	Polymer	Polymer
Viscosifiers	Organo clays	Polymer	Polymer
Biozide	Im Normalfall nicht	Ja	Nein
Schieferstabilisatoren	Nein	Glycols, PHPA-polymers, silicates, gypsum	Nein
Bridging agent	Ja	Ja	Ja
Oxygen scavenger	Nein	Gelegentlich	Nein
Korrosionsschutzmittel	Nein	Selten	Nein
Schmiermittel	Selten	Ja	Gelegentlich
H₂S scavengers	Ja	Ja	Selten

⁴¹ Es werden jeweils nur die höchsten, humantoxikologischen R-Sätze für die Bestimmung von W verwendet

Zusatzstoffe	Ölbasierter Schlamm	Wasserbasierter Schlamm	Formiate
Emulgatoren / oil wetting agents	TOFA, imidazolines, amines, amides, sulpho-nated organic acids	Nein	Nein
Laugen	CaCl ₂ , NaCl	CaCl ₂ , CaBr ₂ , ZnBr ₂ , NaCl, KCl, Formiate	Formiate
Kontrolle des Laugen-grads	Lime	NaOH, KOH	Potassium, Carbonate, NaOH, KOH

Quelle: Metoc, 2003, S. 20

Tabelle 18: Vergleich der NC-Indikatoren vor und nach der Einführung von ChL bei der Firma Statoil.

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Vorher	Nachher	Differenz [absolut]	Differenz [%]	Kommentar
1	THG-Emissionen						durch gesteigerte Produktivität auch Einsparungen der Emissionen
2	Rohstoffaufwand	t/Jahr					
	1) Rohstoffaufwand Baryte	t/Jahr	5.000.000	0	5.000.000	100	mangels Daten kein direkter Vergleich mit Cäsiumformiat möglich, diese benötigen keine Baryte und Barium
	2) Rohstoffaufwand Barium	t/Jahr	2.950.000	0	2.950.000	100	
2	Rohstoffintensität	Kg/Charge					Keine Daten vorhanden
2	Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe						Keine Daten vorhanden
2	Energieaufwand	kWh/Jahr					geringfügig höher bei Formiatlösungen
2	Energieintensität	kWh/Charge					Keine Daten vorhanden
2	Wasserbedarf gesamt	m ³ /Jahr					Keine Daten vorhanden
2	Anteil rückgewonnenes Wasser						Keine Daten vorhanden
2	Schadstoffemissionen in die Luft:	t Produkt					Ähnliches Verhalten beider Stoffe
2	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden						Bei Formiatlösungen etwas höher, da das Wasser bevor es ins Meer geleitet wird, aufbereitet werden muss
2	Abfallaufkommen						Bromide (Oil based muds) höheres Abfallaufkommen
2	Anteil gefährlicher Abfälle	% des Aufkommens					Keine Daten vorhanden

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Vorher	Nachher	Differenz [absolut]	Differenz [%]	Kommentar
3	Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion						Keine Daten vorhanden
3	Gehalt an Gefahrstoffen	% der verwendeten Chemikalie					Bei Formiatlösungen sehr viel geringer, aufgrund verringerter Zusatzstoffe
4	Arbeitsunfälle						Keine Daten vorhanden
4	berufsbedingte Erkrankungen						Keine Daten vorhanden
5	Wirtschaftliche Vorteile durch nachhaltige Maßnahmen	US\$	1.182.937	1.131.831	51.106	4,3	
5	Investitionsintensität in Umwelt- und/oder Ressourcenschutz						Keine Daten vorhanden
5	Marktpräsenz						Keine Daten vorhanden
5	Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind						Keine Daten vorhanden
6	Zertifizierung nach ISO, EMAS etc.						Keine Daten vorhanden
6	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter						Keine Daten vorhanden
6	Anteil Frauen gesamt / Personen, die unter Arbeitsvereinbarungen fallen						Keine Daten vorhanden
-	Sonstige Vorteile						Recyclingrate von Cäsiumformiat bei 76% mind.
-	Sonstige Vorteile: neu generierte Stellen	Jobs/Jahr	16				

3.3.6 UHU

Im Rahmen des Forschungsvorhabens (FKZ 360 01 064) (Jepsen et al. 2013) wurden gezielt Unternehmen identifiziert, die vor der Herausforderung standen, Veränderungen in der Stoffauswahl und -anwendung vorzunehmen. Eines dieser Unternehmen war das mittelständische Unternehmen UHU GmbH & Co. KG mit Produktionsstandort in Bühl in Baden-Württemberg. Niederlassungen und Distributionspartner gibt es in mehr als 125 Ländern weltweit. UHU ist 100-prozentige Tochter der Bolton Group. Die Bolton Group ist ein internationales Unternehmen, welches weltweit eine breite Palette von Markenartikeln im Konsumgüterbereich produziert und vermarktet.

Vermeidung bzw. Substitution von Gefahrstoffen, die im Produkt enthalten sind, stellt einen Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von UHU dar. Bei Chemikalien, die als Prozesshilfsstoffe eingesetzt werden, stehen Arbeitsschutzaspekte im Vordergrund. Die ständige Entwicklung neuer Produkte und fortschrittlicher Klebstoff-Technologien hat dazu geführt, dass UHU ein umfassendes Klebstoffsortiment anbietet. Die Produkttypen unterscheiden sich erheblich in ihrer stofflichen Zusammensetzung. Bei vielen Produktkategorien werden sowohl lösemittel- als auch wasserbasierte Produkte angeboten.

Schwerpunkt bei Jepsen et al. (2013) lag auf der Bewertung der stoffbezogenen Kriterien. Für die Darstellung der Minderungspotentiale konnten aufgrund fehlender Daten nicht alle für die Fallbeispiele relevanten Substanzen mit Daten hinterlegt werden.

Die Verfügbarkeit und die Qualität der Daten sind entscheidend für die Darstellung und Genauigkeit der Minderungspotentiale der Berechnungen. Die Unsicherheiten werden entsprechend in jedem Fallbeispiel diskutiert. Da von Seiten der Fa. UHU keine Datenfreigabe erfolgte, wurde nach weiteren Darstellungsmöglichkeiten gesucht und für die ausgewählten Indikatoren soweit möglich eine ökobilanzielle Berechnung auf der Basis von Datenbankdaten durchgeführt.

Vor diesem Hintergrund wurden aus Jepsen et al. (2013) diejenigen Beispiele weiter verfolgt, für die es in den Datenbanken sowohl für die vorher eingesetzte Substanz als auch für die entsprechende Substitutionschemikalie Daten gab.

Darüber hinaus wäre es grundsätzlich möglich, als erste Annäherung Informationen eines verwandten Stoffes zu verwenden. Jedoch zeigten sich bei einem Screening große Unterschiede in den Datenbankwerten für CO₂-Äquivalente, Energieaufwand oder Wasserverbrauch zwischen dem verwandten Stoff und dem eigentlich genannten Substitut⁴².

Für die Abschätzung der Minderungspotenziale wurden deshalb folgende zwei Substitutionsfälle bei UHU aus Jepsen et al. (2013) anhand ökobilanzieller Daten quantifiziert:

- ▶ Fallbeispiel 1: Einsatz der organischen Lösemittel Ethanol und Aceton
- ▶ Fallbeispiel 2: Einsatz der organischen Lösemittel Ethylacetat und Methylacetat

⁴² Weiteres Beispiel aus Jepsen et al. 2013: Ersatz von Cyclohexan durch ein Lösemittelgemisch auf Basis von Solvent Naphtha leicht: Für den Stoff Cyclohexan existiert ein Datensatz in ecoinvent, wohingegen das Substitut in Form eines Lösemittelgemischs auf Basis von „Solvent Naphtha leicht“ in keiner dem Projektteam vorliegenden Datenbank gefunden wurde. Projektteam hat sich aufgrund der fehlenden Datengrundlage keine Annäherung mittels eines verwandten Stoffes vorgenommen, da eine Richtungssicherheit für die Berechnung der Minderungspotenziale gegeben wäre. Jedoch kann hinsichtlich stofflicher Kriterien die von UHU vorgenommene Substitution von Cyclohexan durch Solvent Naphtha jedoch anhand der Kriterien des Leitfadens bezüglich der stofflichen Kriterien leicht als „richtungssicher“ beurteilt werden (Jepsen et al. 2013)

Alle in Kapitel 3.3.6 und 3.3.7 aufgeführten Zahlenangaben sind Abschätzungen und basieren nicht auf fundierten wissenschaftlichen Analysen.

3.3.6.1 Fallbeispiel 1

Fakten zu Fallbeispiel 1 – UHU

Anbieter	UHU GmbH & Co. KG ⁴³
Anwender	UHU GmbH & Co. KG
Prozess	Herstellung von Klebstoff
Chemikalie	Vergleich mehrerer organischer Lösemittel
Schlüsselstoff	Aceton und Ethanol
NC Instrument	Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“

Systemgrenzen

Bei UHU werden in Formulierungen verschiedene organische Lösemittel eingesetzt. Im vorliegenden Beispiel handelt es sich um den Vergleich von Aceton und Ethanol. Laut den Ergebnissen aus Jepsen et al. (2013) zeigten die beiden Lösemittel bei den betrachteten stofflichen Nachhaltigkeitskriterien keine Unterschiede und keinen zusätzlichen Handlungsbedarf.

Für die Berechnung der Minderungspotenziale ist die Nutzung ökobilanzieller Daten erforderlich. Die dazu herangezogene Datenbank ist Ecoinvent 3.1 (<http://www.ecoinvent.org/database/database.html>).

Die funktionelle Einheit⁴⁴ hat das Projektteam so gelegt, dass nur die beiden Lösemittel quantifiziert werden. Für die Indikatoren THG-Emissionen, Energieaufwand und Wasserverbrauch wurden in diesem Fallbeispiel Wirkungsindikatoren⁴⁵ herangezogen. Für die weiteren Indikatoren, hat das Projektteam soweit möglich Prozessmodule (unit processes)⁴⁶ herangezogen, d. h. die kleinsten berücksichtigten Bestandteil bei den Input- und Outputdaten.

Die in den Tabellen dargestellten ökobilanziellen Daten beziehen sich jeweils auf 1 kg des betrachteten Stoffes. Diese Werte sollten nicht direkt für einen Vergleich der betrachteten Stoffe Aceton und Ethanol (basierend auf Erdöl) genutzt werden. Die dadurch gewonnenen Informationen sind für einen Vergleich sowie das Aussprechen von Empfehlungen mit Vorsicht zu beachten, da hierzu die eingesetzten Mengen der jeweiligen Lösemittel für die Herstellung von Klebstoff erforderlich sind.

Falls vorhanden, wurden qualitative Informationen in die Diskussion einbezogen, um möglichen zusätzlichen Effekten Rechnung zu tragen.

Ergebnisse

Im Gegensatz zu betrachteten stofflichen Nachhaltigkeitskriterien gibt es bei Ethanol (auf Erdöl basierend) und Aceton große Unterschiede in den gefundenen Werten für CO₂-Äquivalente, Energieaufwand und Wasserverbrauch. Vor dem Hintergrund der betrachteten Phasen des Produktlebens-

⁴³ <http://www.uhu.com/de/home.html>

⁴⁴ Quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit

⁴⁵ Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf des Lebensweges des Produktes dient

⁴⁶ kleinster in der Sachbilanz berücksichtigter Bestandteil, für den Input- und Outputdaten quantifiziert werden

zyklus ist für die Indikatoren (z.B. THG-Emissionen oder Energieaufwand) von einer erheblichen Einsparung an THGs (bis zu 80 %) und Energie (48 %) beim Einsatz von Ethanol gegenüber Aceton auszugehen. Für dieses Fallbeispiel liegen keine quantitativen Daten zu den Einsatzmengen vor und damit auch nicht dazu, ob höhere oder niedrigere Mengen an Aceton gegenüber Ethanol für die Produktion von Klebstoffen eingesetzt wurden. So würde sich beispielsweise die Einsparung beim Energieaufwand bei einer doppelten Einsatzmenge an Ethanol egalisieren.

Wirtschaftlich betrachtet liefert Ethanol einen Vorteil dadurch, dass der Handelspreis ca. 60 % unter dem für Aceton liegt.

Die Ergebnisse sind detailliert in Tabelle 19 bzw. Tabelle 20 aufgeführt. Sonstige Ergebnisse und Effekte sind darunter beschrieben.

Tabelle 19: Vergleich der NC-Indikatoren der zwei Lösemittel Ethanol und Aceton bei der Firma UHU.

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Ethanol	Aceton	Differenz [absolut] ⁴⁷	Differenz [%]	Kommentar
1	THG-Emissionen	kg CO ₂ -Äquivalente	100%	180%	k.A.	+80%	Dargestellt als Wirkungsindikator Treibhausgasemissionen (GWP) Quelle für Ethanol ⁴⁸ und Aceton ⁴⁹ (Ecoinvent 3.1)
2	Rohstoffaufwand	kg/Jahr	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Keine spezifischen Mengenangaben vorhanden und daher keine Zuordnung einer ökobilanzielle Wirkungskategorie
2	Rohstoffintensität	Klebstoff/kg Verpackung	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Keine spezifischen Mengenangaben vorhanden und daher keine Zuordnung einer ökobilanzielle Wirkungskategorie
2	Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Keine spezifischen Mengenangaben vorhanden und somit nicht quantifizierbar. Annahme Keine stoffliche Verwendung erneuerbarer Rohstoffe bekannt
2	Energieaufwand	MJ	100%	148%	k.A.	+48%	Dargestellt als Wirkungsindikator Primärenergieverbrauch (KEA) Quelle für Ethanol und Aceton (Ecoinvent 3.1)

⁴⁷ Keine Daten zu Einsatzmengen von UHU erhalten⁴⁸ market for ethanol, without water, in 99.7% solution state, from ethylene (geographischer Bezug Global), From cradle, d.h. inkl. vorgelagerte Tätigkeiten)⁴⁹ market for acetone, liquid (geographischer Bezug Global), From cradle, d.h. inkl. vorgelagerte Tätigkeiten)

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Ethanol	Aceton	Differenz [absolut] ⁴⁷	Differenz [%]	Kommentar
2	Energieintensität/-produktivität		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Mangels Daten zur Produktionsmenge nicht quantifizierbar
2	Wasserbedarf gesamt	m ³	100%	12%	k.A.	-88%	Dargestellt als Wirkungsindikator Wasserverbrauch Quelle für Ethanol und Aceton (Ecoinvent 3.1)
2	Anteil rückgewonnenes Wasser		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Mangels Daten nicht quantifizierbar
2	Schadstoffemissionen in die Luft	kg PM10-Eq	100%	159%	k.A.	+59%	Dargestellt als Wirkungsindikator Feinstaub Quelle für Ethanol und Aceton (Ecoinvent 3.1)
2	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden	kg P-Eq	100%	36%	k.A.		Dargestellt als Wirkungsindikator Aquatisches Eutrophierungspotenzial - Süßwasser Quelle für Ethanol und Aceton (Ecoinvent 3.1) Beide Substanzen haben eine hohe Wasserlöslichkeit
2	Abfallaufkommen	kg/Jahr	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Mangels Daten nicht quantifizierbar.
2	Anteil gefährlicher Abfälle		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	nicht bekannt
3	Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Nicht bekannt
3	Gehalt an Gefahrstoffen	Beide Substanzen sind nicht gesundheitsgefährdend und haben nur geringfügige schädigende Wirkungen auf die Haut. Siehe auch Berechnung der Monoethylglykol-Aquivalente in Tabelle 20					Quelle: (Jepsen et al. 2013) siehe auch Tabelle 20
4	Arbeitsunfälle						Nicht bekannt

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Ethanol	Aceton	Differenz [absolut] ⁴⁷	Differenz [%]	Kommentar
4	berufsbedingte Er-krankungen						Nicht bekannt
5	Wirtschaftliche Vorteile durch nachhaltige Maßnahmen	Euro	100%	159%	k.A.	+59%	
5	Investitionsintensität in Umwelt- und/oder Ressourcenschutz						Nicht bekannt
5	Marktpräsenz						Nicht bekannt
5	Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschen-rechts- und Umwelt-aspekten geprüft sind						Nicht bekannt
6	Zertifizierung nach ISO, EMAS etc.						Nicht bekannt
6	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter						Nicht bekannt
6	Anteil Frauen gesamt / Personen, die unter Arbeitsvereinbarungen fallen						Nicht bekannt
-	Sonstige Vorteile						

Tabelle 20: Toxizität und Einstufung der in Fallbeispiel 1 (UHU) verwendeten Substanzen (Ethanol und Aceton)

Chemikalie	CAS-Nummer	Kennzeichnungselemente für	Gefahrenhinweis	Erklärung	Wirkpotential auf Grundlage TRGS 440	Piktogramm	Schlussfolgerungen
Ethanol	64-17-5	Entzündbare Flüssigkeiten	H225 R11	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar Leichtentzündlich	0,5		Gefahrstoffpotential HSP ⁵⁰ von Ethanol: $0,5/10^{51} = 0,05$ kg [MEG-Äq]
Aceton		Entzündbare Flüssigkeiten	H225 R 11-	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar	0,5		Gefahrstoffpotential HSP ⁵² von Aceton: $5/10 = 0,5$ kg [MEG-Äq]
		Augenreizung	H319 R36	Verursacht schwere Augenreizung Reizt die Augen	5		
		Spezifische Zielorgan-Toxizität	H336 R 66 R 67	Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen. Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen. Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen	1 5		

Quelle: GESTIS-Stoffdatenbank

⁵⁰ HSP = Gefahrstoffpotenzial [kg MEG-Äquivalente]

⁵¹ Referenzsubstanz Monoethylenglykol (MEG) hat den Wirkfaktor 10

⁵² HSP = Gefahrstoffpotenzial [kg MEG-Äquivalente]

3.3.6.2 Fallbeispiel 2

Fakten zu Fallbeispiel 2 – UHU

Anbieter	UHU GmbH & Co. KG
Anwender	UHU GmbH & Co. KG
Prozess	Herstellung von Klebstoff
Chemikalie	Vergleich mehrerer organischer Lösemittel
Schlüsselstoff	Ethylacetat ⁵³ und Methylacetat ⁵⁴
NC Instrument	Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“

Systemgrenzen

Die Systemgrenzen sind identisch zu denen im Fallbeispiel 1 von UHU (siehe Kapitel 3.3.6.1).

Ergebnisse

Für die zwei weiteren untersuchten Lösemittel – Methylacetat und Ethylacetat – führt die Bewertung anhand der stofflichen Kriterien in vergleichbarer Weise zu dem Ergebnis, dass keine Gefahr für Mensch und Umwelt besteht.

Mit Blick auf Primärenergieaufwand und Treibhausgasemissionen gibt es aber nach dem Daten von Ecoinvent erhebliche Unterschiede zwischen den beiden Substanzen. So emittiert Methylacetat um die Hälfte weniger Treibhausgase und benötigt rund 25% weniger Primärenergie als das Ethylacetat.

Beide Substanzen sind gemäß den Toxizitätsdaten aus den Gefahrstoffdatenbanken nicht gesundheitsgefährdend, haben nur sehr geringfügige schädigende Wirkungen auf die Haut und unterscheiden sich kaum.

Preislich bestehen zwischen den beiden Lösemittel ebenso keine Unterschiede.

Die Ergebnisse sind detailliert in Tabelle 21 aufgeführt.

⁵³ Ethylacetat ist der Ester aus Essigsäure und Ethanol, daher wird er auch Essigsäureethylester oder kurz Essigester (EE) genannt

⁵⁴ Methylacetat ist der Ester aus Essigsäure und Methanol, daher wird es auch Essigsäuremethylester oder nach der neuen IUPAC-Nomenklatur Methylethanoat genannt. In Klebstoffen ist es eines der am häufigsten eingesetzten Lösungsmittel.

Tabelle 21: Vergleich der NC-Indikatoren der zwei Lösemittel Ethylacetat und Methylacetat bei der Firma UHU

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Ethylacetat	Methylacetat	Differenz [absolut] ⁵⁵	Differenz [%]	Kommentar
1	THG-Emissionen	kg CO ₂ -Äquivalente	100%	48%	k.A.	-52%	Dargestellt als Wirkungsindikator Treibhausgasemissionen (GWP) Quelle für Ethylacetat ⁵⁶ und Methylacetat ⁵⁷ (Ecoinvent 3.1)
2	Rohstoffaufwand	kg/Jahr	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Keine spezifischen Mengenangaben vorhanden und daher keine Zuordnung einer ökobilanzielle Wirkungskategorie
2	Rohstoffintensität	Klebstoff/kg Verpackung	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Keine spezifischen Mengenangaben vorhanden und daher keine Zuordnung einer ökobilanzielle Wirkungskategorie
2	Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Keine spezifischen Mengenangaben vorhanden und somit nicht quantifizierbar. Annahme Keine stoffliche Verwendung erneuerbarer Rohstoffe bekannt
2	Energieaufwand	MJ	100%	75%	k.A.	-25%	Dargestellt als Wirkungsindikator Primärenergieverbrauch (KEA) Quelle für Ethylacetat und Methylacetat (Ecoinvent 3.1)
2	Energieintensität/-produktivität		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Mangels Daten zur Produktionsmenge nicht quantifizierbar
2	Wasserbedarf gesamt	m ³	100%	115%	k.A.	+15%	Dargestellt als Wirkungsindikator Was-

⁵⁵ Keine Daten zu Einsatzmengen von UHU erhalten⁵⁶ market for ethyl acetate (geographischer Bezug Global), From cradle, d.h. inkl. vorgelagerte Tätigkeiten)⁵⁷ market for methyl acetate (geographischer Bezug Global), From cradle, d.h. inkl. vorgelagerte Tätigkeiten)

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Ethylacetat	Methylacetat	Differenz [absolut] ⁵⁵	Differenz [%]	Kommentar	
							serverbrauch Quelle für Ethylacetat und Methylacetat (Ecoinvent 3.1)	
2	Anteil rückgewonnenes Wasser		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Mangels Daten nicht quantifizierbar	
2	Schadstoffemissionen in die Luft	kg PM10-Eq	100%	59%	k.A.	-41%	Dargestellt als Wirkungsindikator Feinstaub Quelle für Ethylacetat und Methylacetat (Ecoinvent 3.1)	
2	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden	kg P-Eq	100%	19%	k.A.	-81	Dargestellt als Wirkungsindikator Aquatisches Eutrophierungspotenzial - Süßwasser Quelle für Ethylacetat und Methylacetat (Ecoinvent 3.1) Beide Substanzen haben eine hohe Wasserlöslichkeit	
2	Abfallaufkommen	kg/Jahr	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Mangels Daten nicht quantifizierbar.	
2	Anteil gefährlicher Abfälle		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	nicht bekannt	
3	Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Nicht bekannt	
3	Gehalt an Gefahrstoffen	Beide Substanzen sind nicht gesundheitsgefährdend und haben nur sehr geringfügige schädigende Wirkungen auf die Haut. Siehe auch Berechnung der Monoethylenglykol-Aquivalente in Tabelle 22, welche für beide Substanzen identisch sind.						Quelle: (Jepsen et al. 2013) siehe auch Tabelle 22
4	Arbeitsunfälle							Nicht bekannt
4	berufsbedingte Erkrankungen							Nicht bekannt
5	Wirtschaftliche Vorteile durch nachhaltige Maßnahmen	Euro	100%	100%	k.A.	0%		

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Ethylacetat	Methylacetat	Differenz [absolut] ⁵⁵	Differenz [%]	Kommentar
5	Investitionsintensität in Umwelt- und/oder Ressourcenschutz						Nicht bekannt
5	Marktpräsenz						Nicht bekannt
5	Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschen-rechts- und Umwelt-aspekten geprüft sind						Nicht bekannt
6	Zertifizierung nach ISO, EMAS etc.						Nicht bekannt
6	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter						Nicht bekannt
6	Anteil Frauen gesamt / Personen, die unter Arbeitsvereinbarungen fallen						Nicht bekannt

Tabelle 22: Toxizität und Einstufung der in Fallbeispiel 2 (UHU) verwendeten Substanzen (Ethylacetat und Methylacetat)

Chemikalie	CAS-Nummer	Kennzeichnungselemente für	Gefahrenhinweis	Erklärung	Wirkpotential auf Grundlage TRGS 440	Piktogramm	Schlussfolgerungen
Ethylacetat (Ethylacetat oder Essiges-	141-78-6	Entzündbare Flüssigkeiten	H225 R 11-	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar	0,5		Gefahrstoffpotential HSP ⁵⁸ von Ethylacetat: $5/10^{59} = 0,5$ kg [MEG-Äq]

⁵⁸ HSP = Gefahrstoffpotenzial [kg MEG-Äquivalente]

Chemikalie	CAS-Nummer	Kennzeichnungselemente für	Gefahrenhinweis	Erklärung	Wirkpotential auf Grundlage TRGS 440	Piktogramm	Schlussfolgerungen
ter)							
		Augenreizung	H319 R36	Verursacht schwere Augenreizung Reizt die Augen	5		
		Spezifische Zielorgan-Toxizität	H336 R 66 R 67	Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen. Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen. Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen	1 5		
Methylacetat (Essigsäuremethylester, Methyl-ethanoat)	79-20-9	Entzündbare Flüssigkeiten	H225 R 11-	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar	0,5		Gefahrstoffpotential HSP ⁶⁰ von Methylacetat: $5/10 = 0,5$ kg [MEG-Äq]

⁵⁹ Referenzsubstanz Monoethylglykol (MEG) hat den Wirkfaktor 10

⁶⁰ HSP = Gefahrstoffpotenzial [kg MEG-Äquivalente]

Chemikalie	CAS-Nummer	Kennzeichnungselemente für	Gefahrenhinweis	Erklärung	Wirkpotential auf Grundlage TRGS 440	Piktogramm	Schlussfolgerungen
		Augenreizung	H319 R36	Verursacht schwere Augenreizung Reizt die Augen	5		
		Spezifische Zielorgan-Toxizität	H336 R 66 R 67	Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen. Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen. Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen	1 5		

Quelle: GESTIS-Stoffdatenbank

3.3.7 Kilian

Die Firma Kilian Industrieschilder GmbH in Hamburg entwickelt Lösungen für industrielle Kennzeichnungen. Das Unternehmen stellt unter anderem Schilder her, die vor allem auf Maschinen, Fahrzeugen und Geräten angebracht werden. Die produzierten Schilder sollen dauerhaft und robust gegenüber mechanischen und chemischen Einwirkungen sein. Bei der Herstellung der Schilder werden die Bleche durch Säurebehandlung in Teilbereichen geätzt. Andere Stellen der Bleche werden mit einer Bitumentrennschicht versehen, um sie vor dem Säureangriff zu schützen. Anschließend wird auf das gesamte Schild ein Lack aufgetragen, der sich in die Vertiefung legt und bei ca. 130 °C eingebrannt wird. Danach muss die Bitumentrennschicht mit dem darauf eingebrannten Lack entfernt werden, ohne dass der Lack in den tiefgeätzten Bereichen angegriffen wird.

Die Reinigung wurde ursprünglich durch zwei verschiedene Verfahren durchgeführt – ein Prozess mit einem Kristallöl und ein Prozess mit Tetrachlorethylen. In diesem Fallbeispiel wurde der Ersatz von Tetrachlorethylen durch Pflanzenölester (kokosölbasierte Ester) quantifiziert.

Fakten zu Fallbeispiel 8

Anbieter	Firma Kilian Industrieschilder GmbH ⁶¹
Anwender	Firma Kilian Industrieschilder GmbH
Prozess	Reinigung
Chemikalie	Pflanzenölester – im Vergleich zu Tetrachlorethylen
Schlüsselstoff	vor: Tetrachlorethylen nach: Pflanzenölester
NC Instrument	Leitfaden „Nachhaltige Chemikalien“

Systemgrenzen

Die Systemgrenzen sind identisch zu denen im Fallbeispiel 1 (siehe Kapitel 3.2.5.1).

Das Projektteam ging für den Pflanzenölester von einem Produkt auf Basis von Pflanzenölen oder Pflanzenöleestern ohne Zusatz von Wasser (siehe auch Tabelle 24) aus.

Ergebnisse

Gemäß ökobilanziellen Daten hat der Pflanzenölester ein um einen Faktor 1,6 geringere Treibhausgaspotenzial als Tetrachlorethylen. Diese Einschätzung muss durch den Bezug auf die funktionelle Einheit und die vorhandenen Daten über die Einsatzmengen sowie die Konzentrationen des jeweiligen Reinigers überprüft werden. Generell erfordert dies bei vielen Unternehmen eine detaillierte Nachforschung.

Im Gegensatz dazu hat der Pflanzenölester über den Lebenszyklus einen 1,7-fach höheren Energieaufwand als Tetrachlorethylen. Dies ist auf die bei der Herstellung des Pflanzenöls (Raps, Kokos) in Abhängigkeit vom Produktionsstandort betrachteten klimatischen oder ackerbaulichen Bedingungen zurückzuführen.

⁶¹ <http://kilian-schilder.de/>

Dieses Phänomen zeigt sich noch deutlicher beim Indikator Wasserbedarf wo die Datenbanken die die Bewässerung beim Anbau der Biomasse in der Vorkette mit berücksichtigen.

Was die Auswirkungen der Arbeitnehmer angeht (z. B. Verdacht auf krebserzeugende Wirkung) schneidet der Pflanzenölester dagegen wieder besser ab als Tetrachlorethylen.

Bezogen auf vergleichbare Mengen ist der Pflanzenölester um etwa 16 % teurer als Tetrachlorethylen. Für eine aussagekräftige Bewertung fehlen jedoch Angaben zu den relevanten Einsatzmengen.

Lösemittlemissionen machen den größten Teil der NMVOC-Emissionen in Deutschland aus. Daher wurden in diesem Fallbeispiel für den Indikator „Schadstoffemissionen in die Luft“ die NMVOC-Emissionen mit Hilfe ihres photochemischen Oxidantienbildungspotenzials (in kg NMVOC-Äquivalenten) zusammengefasst. Der Pflanzenölester zeigt um ca. 50 % geringere Auswirkungen als Tetrachlorethylen.

Die Ergebnisse sind detailliert in Tabelle 23 aufgeführt. Sonstige Ergebnisse und Effekte sind darunter beschrieben.

Tabelle 23: Vergleich der NC-Indikatoren vor und nach der Substitution von Tetrachlorethylen durch Pflanzenölester bei der Firma Kilian

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Tetrachlorethylen	Pflanzenölester	Differenz [absolut] ⁶²	Differenz [%]	Kommentar
1	THG-Emissionen	kg CO ₂ -Äquivalente	100%	63%	k.A.	-37%	Dargestellt als Wirkungsindikator Treibhausgasemissionen (GWP) Quelle für Tetrachlorethylen ⁶³ und Pflanzenölester ⁶⁴ (Ecoinvent 3.1)
2	Rohstoffaufwand	kg/Jahr	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Keine spezifischen Mengenangaben vorhanden und daher keine Zuordnung einer ökobilanzielle Wirkungskategorie
2	Rohstoffintensität		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Keine spezifischen Mengenangaben vorhanden und daher keine Zuordnung einer ökobilanzielle Wirkungskategorie
2	Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Keine spezifischen Mengenangaben vorhanden und somit nicht quantifizierbar. Annahme Keine stoffliche Verwendung erneuerbarer Rohstoffe bekannt
2	Energieaufwand	MJ	100%	177%	k.A.	+77%	Dargestellt als Wirkungsindikator Primärenergieverbrauch (KEA) Quelle für Tetrachlorethylen und Pflanzenölester (Ecoinvent 3.1)

⁶² Keine Daten zu Einsatzmengen von Kilian erhalten⁶³ market for tetrachloroethylene (geographischer Bezug Global), From cradle, d.h. inkl. vorgelagerte Tätigkeiten)⁶⁴ market for vegetable oil methyl ester (geographischer Bezug Global), From cradle, d.h. inkl. vorgelagerte Tätigkeiten)

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Tetrachlor-ethylen	Pflanzenölester	Differenz [absolut] ⁶²	Differenz [%]	Kommentar
2	Energieintensität/-produktivität		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Mangels Daten zur Produktionsmenge nicht quantifizierbar
2	Wasserbedarf gesamt	m ³	100%	>1000%	k.A.	>1000% ⁶⁵	Dargestellt als Wirkungsindikator Wasserverbrauch Quelle für Tetrachlorethylen und Pflanzenölester (Ecoinvent 3.1)
2	Anteil rückgewonnenes Wasser		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Mangels Daten nicht quantifizierbar
2	Schadstoffemissionen in die Luft	kg NMVOC	100%	53%	k.A.	-47%	Dargestellt als Wirkungsindikator Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial Quelle für Tetrachlorethylen und Pflanzenölester (Ecoinvent 3.1)
2	Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden	kg P-Eq	100%	>1000%	k.A.	>1000%	Dargestellt als Wirkungsindikator Aquatisches Eutrophierungspotenzial - Süßwasser Quelle für Tetrachlorethylen und Pflanzenölester (Ecoinvent 3.1)
2	Abfallaufkommen	kg/Jahr	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Mangels Daten nicht quantifizierbar.
2	Anteil gefährlicher Abfälle		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	nicht bekannt
3	Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion		k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Nicht bekannt

⁶⁵ Der erhöhte Wasserbedarf basiert aus den Vorketten für die Bewässerung beim Anbau der Biomasse

Kern-kriterium	Indikator	Einheit	Tetrachlor-ethylen	Pflanzenölester	Differenz [absolut] ⁶²	Differenz [%]	Kommentar
3	Gehalt an Gefahrstoffen	% der verwendeten Chemikalie	100%	0%	k.A.	-100,0	Mittlere Werte der Anteile laut Sicherheitsdatenblättern der Reinigungsmittel
4	Arbeitsunfälle		Nicht bekannt	iv	Arbeitsunfälle		Nicht bekannt
4	berufsbedingte Erkrankungen		Nicht bekannt	iv	berufsbedingte Erkrankungen		Nicht bekannt
5	Wirtschaftliche Vorteile durch nachhaltige Maßnahmen	Euro	100%	116%	k.A.	+16%	
5	Investitionsintensität in Umwelt- und/oder Ressourcenschutz						Nicht bekannt
5	Marktpräsenz						Nicht bekannt
5	Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind						Nicht bekannt
6	Zertifizierung nach ISO, EMAS etc.						Nicht bekannt
6	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter						Nicht bekannt
6	Anteil Frauen gesamt / Personen, die unter Arbeitsvereinbarungen fallen						Nicht bekannt
-	Sonstige Vorteile						

Tabelle 24: Toxizität und Einstufung der im Fallbeispiel Kilian verwendeten Substanzen (Tetrachlorethylen und Pflanzenölester)

Chemikalie	CAS-Nummer	Kennzeichnungselemente für	Gefahrenhinweis	Erklärung	Wirkpotential auf Grundlage TRGS 440	Piktogramm	Schlussfolgerungen
Tetrachlorethylen	127-18-4	Reizwirkung auf die Haut	H351	Verursacht Hautreizungen			Gefahrstoffpotential HSP von Tetrachlorethylen ⁶⁶ : $100/10^{67} = 10 \text{ kg [MEG-Äq]}$
		Karzinogenität, Kategorie 2	H351 R 40	Kann vermutlich Krebs erzeugen Verdacht auf krebserzeugende Wirkung	100		
		Gewässergefährdend, Chronisch Kategorie 2	H411 R51/R53	Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung Giftig für Wasserorganismen; Kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben	0,5		
Pflanzenölester ⁶⁸		an der Haut und am Auge		Keine Reizwirkung.	k.A. (da keine R-Sätze vorhanden)		Das Produkt ist nicht kennzeichnungspflichtig. Es ist wenig toxisch, praktisch ungiftig, leicht biologisch abbaubar. Es besitzt in der Regel einen hohen Flammpunkt und keine leichtflüchtigen
		Sensibilisierung		Keine sensibilisierende Wirkung bekannt			

⁶⁶ Es ist darauf hinzuweisen, dass aufgrund fehlender prozentualer Angaben (kein Sicherheitsdatenblatt) des Inhaltsstoffs Tetrachlorethylen im Reinigungsmittel die Bilanzierung des Gefahrstoffpotentials noch gewichtet werden müsste und somit kein qualitativer Vergleich möglich ist.

⁶⁷ Referenzsubstanz Monoethylenglykol (MEG) hat den Wirkfaktor 10

⁶⁸ http://www.subsport.eu/wp-content/uploads/2012/07/ESTISOL-242_MSDS_D2.pdf

Chemikalie	CAS-Nummer	Kennzeichnungselemente für	Gefahrenhinweis	Erklärung	Wirkpotential auf Grundlage TRGS 440	Piktogramm	Schlussfolgerungen
Eine Gefahrstoffpotentialberechnung ist aufgrund fehlender Sätze nicht möglich							organischen Verbindungen. Das Produkt enthält keine relevanten Mengen von Stoffen mit arbeitsplatzbezogenen, zu überwachenden Grenzwerten.

Quelle: GESTIS-Stoffdatenbank

4 Weniger Emissionen? Abschätzung von Branchenpotenzialen

Auf Grundlage der in Kapitel 3.3 berechneten Fallbeispiele hat das Projektteam Branchenpotenziale abgeschätzt, die aufzeigen, welche Ergebnisse eine Implementierung von Nachhaltigkeitsinstrumenten wie ChL, Leitfaden und Substitution in der jeweiligen Branche erzielen könnte. Voraussetzung für diese Abschätzung ist, dass sich in der gesamten Branche vergleichbare Bedingungen wie im beschriebenen Fallbeispiel vorfinden lassen

Die hier dargestellten Ergebnisse sind keine genaue Prognose der Potentiale. Vielmehr hat das Projektteam auf Basis der erhobenen Daten der Fallstudien aus Kapitel 3.3 Abschätzungen für vier Branchen erstellt. Die Ergebnisse sind in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Für die Fallbeispiele von UHU und Kilian wurden keine Branchenpotenziale abgeschätzt, da keine Daten zu Produktionsmengen und keine sonstigen Primärdaten vorhanden waren.

In einer Sektor-spezifischen Studie von UNIDO wurden bereits Potenziale für ChL für bestimmte Anwendungen in verschiedenen Ländern ermittelt (UNIDO 2015). Ähnlich den dort genannten Problemen mit Übertragbarkeit und fehlenden, belastbaren Daten stellt sich die Situation auch bei den hier für Deutschland durchgeführten Analysen dar. Angaben von Minderungspotenzialen für Branchen sind daher mit verschiedenen Unsicherheiten behaftet, u.a. sind dies:

- ▶ Eine Charakterisierung der Verbesserungen und Einsparpotenziale ist immer dann schwierig, wenn kein Baseline-Szenario verfügbar ist, was beispielsweise auf Fallstudie 3 (ChL für die Reinigung im Hotel, Unternehmen Windsor und Ecolab) zutrifft. Bei diesem Fallbeispiel wurde ChL mit Eröffnung des Hotels eingeführt, sodass keine Aufwendungen und Emissionen vor ChL bekannt sind. Für einen Vorher-Nachher-Vergleich haben die Unternehmen als Baseline in diesem Fall ein anderes, weitaus kleineres Hotel herangezogen. Weiterhin sind oftmals nicht alle Ausgangsgrößen (z. B. Produktionsmenge, Energiebedarf) sowohl für die Beispiele, als auch für die Branche untersucht worden oder verfügbar und eine retrospektive Datengenerierung war nur in Einzelfällen möglich. In solchen Fällen hat das Projektteam, sofern verfügbar, Literaturdaten verwendet und Annahmen getroffen (z. B. Produktionsmenge oder durchschnittliche Produktions- und Verbrauchsdaten in der Branche). In diesen Fällen können Abschätzungen über ähnliche Unternehmen getroffen werden; es bestehen aber größere Unsicherheiten als bei Potenzialabschätzungen mittels durchweg gut quantifizierter und beschriebener Anwendungen.
- ▶ Viele Vorteile, die im Rahmen von ChL-Modellen generiert werden, sind auch in Verbindung mit der Einführung neuer Technik entstanden. ChL dient dabei oft als Treiber bzw. Finanzier der neuen Technik, da diese ohne die Einsparungen für die Unternehmen nicht wirtschaftlich wäre. Dennoch können nicht alle Einsparungen ausschließlich auf die Anwendung des neuen Geschäftsmodells zurückgeführt werden, sondern sind aus einer Kombination der Elemente Geschäftsmodell, optimierter Technik und Management entstanden.
- ▶ Eine Extrapolation anhand der Chemikalien selbst ist selten möglich, sondern kann nur anwendungsbezogen durchgeführt werden, was spezielles Fachwissen und Einblick in die jeweilige Branche und Anwendung sowie eine vertiefte Recherche verlangt. Dies trifft immer dann zu, wenn die gleiche Chemikalie in einer Vielfalt von Prozessen und Produkten Anwendung findet.
- ▶ Eine Quantifizierung der wirtschaftlichen Vorteile ist mit Unsicherheiten behaftet, da durch den servicebezogenen Ansatz die Rahmenbedingungen in den Unternehmen geändert werden. Verträge werden oft längerfristig geschlossen und Aufträge sind von größerer Stabilität gekennzeichnet. Daher ist ein einfacher Vergleich der Ausgangs- und ChL-Situation zwar möglich, spiegelt aber nicht die Gesamtheit der wirtschaftlichen Vorteile wider (siehe auch UNIDO 2015, S. 5f.).

Um diesen Punkten Rechnung zu tragen, hat das Projektteam verschiedene Annahmen für jedes Fallbeispiel getroffen. Diese sind jeweils für die Branche kurz erläutert. In den folgenden Unterkapiteln werden für 5 verschiedene Branchen bzw. Prozesse erste Abschätzungen gezeigt.

4.1 Verkleben von Papier- und Pappverpackung

Im Fallbeispiel wurden Süßwaren-Verpackungen verklebt. Für die Branchenabschätzung in Deutschland wird folgendes zugrunde gelegt:

- ▶ Betrachtet werden alle Papier-, Papp- und Kartonverpackungen (PPK-Verpackungen) in Deutschland
- ▶ Plastikverpackungen werden nicht berücksichtigt
- ▶ Ein vergleichbarer Verklebungsprozess findet für alle PPK-Verpackungen statt
- ▶ Datengrundlage ist der Verpackungseinsatz in Deutschland. Dieser betrug im Jahr 2012 6.934,7 kt PPK-Verpackungen (UBA 2015c; S. 33)
- ▶ Das Projektteam schätzt, dass 80 %⁶⁹ der hierzulande verwendeten PPK-Verpackung verklebt ist (beispielsweise Lebensmittelverpackungen aus Pappe wie Süßwaren, Cornflakes, Tee oder Nudeln, Kosmetik- und Hygieneartikel wie Cremes und Zahnpasta, Arzneimittelverpackungen, Schreibwarenprodukte sowie Verpackungen für Elektronikgeräte und Maschinen(teile))
- ▶ Das Gewichtsverhältnis von Verpackung zu Klebstoff ist bei jeder Verpackungsgröße und –art gleich; es wird unter einem konventionellen Geschäftsmodell von 0,9 % des Gesamtgewichts ausgegangen⁷⁰

Je Tonne verklebter Verpackung können laut den Ergebnissen aus dem Fallbeispiel 3.75 kg Klebstoff eingespart werden. Bezogen auf die in Deutschland eingesetzte und verklebte Verpackungsmenge würde sich bei vollständiger Übertragung ein Einsparpotenzial von fast 21 kt Klebstoff pro Jahr ergeben, wenn alle Verklebungen von PPK-Verpackungen unter dem ChL-Geschäftsmodell durchgeführt werden würden. Das Projektteam geht davon aus, dass realistischer Weise ein Übertragbarkeitsfaktor von 10 % angesetzt werden sollte, womit unterschiedliche Randbedingungen aus Fallbeispiel und branchenweiten Anwendungen berücksichtigt werden. Das damit sich ergebende Einsparpotenzial von 2,1 kt an Klebstoff bei der Anwendung führt außerdem zur gleichen Menge eingesparten Abfall am Ende des Verpackungslebenszyklus.

Tabelle 25 zeigt die Berechnung des Einsparpotenzials für Klebstoff (2,1 kt pro Jahr) sowie die damit verbundenen THG-Einsparungen in der Lieferkette (~8,3 kt CO₂-Äquivalente pro Jahr). Entsprechend ließen sich bei besserer Datenlage andere Nachhaltigkeitseffekte aus dem Fallbeispiel potenzieren.

⁶⁹ Die restlichen 20 % der Verpackungen sind lose, gesteckt oder werden anderweitig zusammengehalten

⁷⁰ ~0,9 % Klebstoffanteil an Gesamtgewicht in Fallbeispiel 1 vor ChL bzw. ~0,6 % nach ChL; generell macht der Klebstoff in einem geklebten Produkt meist unter 1 % des Gesamtgewichts aus (Industrieverband Klebstoffe 2014; S. 1).

Tabelle 25: Abschätzung des Minderungspotenzials für PPK-Verpackungsklebstoffe in Deutschland.

Basisdaten			Klebstoffreduktion in Deutschland		THG-Einsparungspotenzial	
Einsparung [g Klebstoff/ kg Verpackung]	Verpackungsmenge D [kg in 2012]	verklebter Anteil*	Potenzial D (Jahr)	Einheit	Potenzial D (Jahr)	Einheit
3,75	6.934.700.000	0,8	2.080.400	Kg	8.321.600	kg CO ₂ -Äqu./a

* Schätzung des Projektteams, alle Werte gerundet

Im Hinblick auf mögliche weitere Optimierungen von Verpackungen gibt das Merkblatt zur besten verfügbaren Technik im Bereich der Lebensmittelherstellung einige Hinweise auf Potenziale: Erwähnt ist das Beispiel eines Herstellers von Süßwaren, der durch optimiertes Verpackungsdesign und den Einsatz einer neuen Maschine für die neue Verpackung 100 t Polypropylen pro Jahr einsparen konnte. Die Investition amortisierte sich in weniger als zwei Jahren (BREF Food, Drinks and Milk, S. 300f.).

4.2 Schmierung von Fließbändern

Für die Branchenabschätzung in Fallbeispiel 2 können die in Deutschland abgefüllten PET-Flaschen als Basisgröße verwendet werden. 10,8 Mrd. Liter Mineralwasser werden zu ca. 76 % in PET-Flaschen abgefüllt. Es ist – abhängig von der Flaschengröße – somit ein grundsätzliches Potenzial von ca. 10 Mrd. PET-Flaschen gegeben.

Nach Gesprächen mit Herstellern von Abfüllanlagen ist von einer Produktionskapazität von 35.000 Flaschen pro Stunde für PET-Flaschen auszugehen. Damit würde sich für das serbische Fallbeispiel eine Menge von ca. 50 Millionen Flaschen pro Jahr ergeben.

Verwendet man diese Daten sowie einen Übertragbarkeitsfaktor von 10 % so ergeben sich die in Tabelle 26 gelisteten Daten für das Branchenpotenzial.

Tabelle 26: Abschätzung des Minderungspotenzials für die Fließbandschmierung bei der Abfüllung von PET-Flaschen in Deutschland.

Indikator	Einheit	Einsparung im Fallbeispiel	Minderungspotenzial für 20 Anlagen	Kommentar
THG-Emissionen	kg CO ₂ -Äqu./a/Linie	1.796	35.920	Indirekte Minderungen durch die Substitution, ohne Vergleich zu neuem Schmiermittel
Rohstoffaufwand	kg/a/Linie	2070	41.400	
Energieaufwand	MJ/a/Linie	58.381	1.167.620	Indirekte Minderungen, ohne Vergleich zu neuem Schmiermittel

Indikator	Einheit	Einsparung im Fallbeispiel	Minderungspotenzial für 20 Anlagen	Kommentar
Wasserbedarf als Betriebsstoff	m ³ /a/Linie	1.506	30.120	ohne Trinkwasser zur Abfüllung in Flaschen und Vergleich zu neuem Schmiermittel
Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden*	kg/a/Linie	600	12.000	
Abfallaufkommen Schmiermittel	kg/a/Linie	1.800	36.000	

4.3 Reinigung im Hotel

Bei einer Abschätzung der Branchenpotenziale ist zu beachten, dass das Windsor-Hotel im Fallbeispiel mit fast 550 Zimmern sowie Konferenzräumen, vier Restaurants und zwei Swimmingpools ein großes Hotel darstellt und somit die Verwendung eines ChL-Modells auch für den Chemikalienanbieter wirtschaftlich ist. Ein kleines Hotel allein hätte nach Angaben der Pilotpartner nicht genügend Wäsche für die Umstellung auf ChL. Denkbar wäre aber ein Zusammenschluss verschiedener kleiner und lokaler Hotels und Pensionen, um auch dort das serviceorientierte Geschäftsmodell einzuführen. Für die Potenzialbestimmung wird daher ein Übertragbarkeitsfaktor von 10 % bezogen auf die Gesamtsumme der verfügbaren Zimmer angenommen. Wenn alle Zimmer auf dem deutschen Hotelmarkt (d. h. auch kleine Hotels, Pensionen, Jugendherbergen) unter ChL gereinigt würden, müssten allerdings Umweltnachteile aus einer komplexeren Logistik (Transporte) berücksichtigt werden, was die Gesamtbilanz deutlich beeinflussen kann. (Ein Zusammenschluss mehrerer Hotels für ChL würde beispielsweise mehr Transporte zwischen den Hotels verursachen.)

In Deutschland existierten im Jahr 2015 ca. 34.400 Betriebe, die über 950.000 Zimmer zur Verfügung haben. Die durchschnittliche Auslastung liegt bei 67 %, was nahezu der des Windsor Atlantica Hotels in Fallbeispiel 3 (70 %) entspricht und somit für die Berechnung gleichgesetzt werden kann (Deutscher ReiseVerband e. V. 2015; S. 11).

Das Projektteam hat die Berechnung der Branchenpotenziale für die gesamte Menge der verwendeten Waschmittel durchgeführt, da die limitierte Datenlage in Bezug auf die Zusammensetzung und Konzentration der Reinigungsmittel keine Übertragung der Einsparungen pro Schlüsselstoff erlaubte. Die Ergebnisse sind in Tabelle 27 dargestellt.

Wenn theoretisch für die Reinigung aller 950.000 Zimmer in Deutschland ChL angewendet werden würde, könnten im Jahr mehr als 370 Mio. Liter Waschmittel eingespart werden. Das Einsparpotenzial wird gemäß den oben gemachten Annahmen mit 37 Mio. Liter Waschmittel und 33 Mio. € Kosten für die Reinigung abgeschätzt.

Die verringerte Einsatzmenge Chemikalien hätte besonders in der Lieferkette positive umweltbezogene Auswirkungen. Durch die reduzierte Produktion von Chemikalien könnten im Bestfall pro Jahr 2,7 kt THG-Emissionen sowie über 1,9 Mio. m³ Wasser eingespart werden.

Tabelle 27: Abschätzung der Brancheneinsparungen für den Hotelsektor in Deutschland pro Jahr und Tag für Reinigungsmittel und -kosten sowie damit verbundene indirekte Einsparungen.

Indikator	Jahr		Tag	
	Potenzial	Einheit	Potenzial	Einheit
Rohstoffaufwand Reinigungsmittel	37.200.000	l/a	101.900	l/d
Kostenreduktion für Reinigung	33.300.000	€/a	91.400	€/d
Indirekte THG-Emissionen	2.670.000	kg CO ₂ -Äqu./a	7.320	kg CO ₂ -Äqu./d
Indirekter Wasserbedarf	1.940.000	m ³ /a	5.310	m ³ /d
Indirekte Schadstoffemissionen ins Wasser (P-Äquivalente)	2.190	kg P-Äqu./a	6	kg P-Äqu./d

* umgerechnet von R\$ (1:4,264); Stand 28.10.2015

Berechnung bezieht sich auf 950.216 Zimmer in 34.408 deutschen Hotelbetrieben, Werte gerundet

Quelle: Deutscher ReiseVerband e. V. 2015; S. 11, UNIDO 2015, eigene Berechnungen.

4.4 Reinigung von Metallteilen

Ausgehend von einem jährlichen Verbrauch von 2,6 Mio. Tonnen Chemikalien im Bereich der industriellen Reinigung von Metallteilen, Rohren und Behältern sowie bei der Wasseraufbereitung für die industrielle Nutzung schätzt eine UNIDO-Studie, dass ca. 1,2 Mio. Tonnen Löse- bzw. Reinigungsmittel in diesen Bereichen eingespart werden könnten (UNIDO 2012; S. 7). Die Betrachtung umfasste sowohl chlorierte als auch organische Lösemittel, wasserbasierte Reinigungsmittel, Säuren und alkalische Reiniger in Ländern wie Ägypten, Brasilien, Indien, Kolumbien, der Türkei und auch Deutschland. Für Deutschland wurde hier ein Lösemittelverbrauch von ca. 35.000 t angenommen, jedoch nur ein Reduktionspotenzial von ungefähr 4.000 t, was auf den Grad der Prozessoptimierung und den Stand der Technik zurückzuführen ist (UNIDIO 2012; S. 8).

Auf der Basis des konkreten Fallbeispiels in unserer Studie ergibt sich jedoch ein etwas anderes Bild, das ein erheblich höheres Minderungspotenzial vermuten lässt.

Das chlorierte Lösemittel PER wird u. a. für die Behandlung von Textilien sowie für die Oberflächenreinigung von Metallteilen verwendet. Zur Berechnung der Minderungspotenziale in der Branche wird wie in Fallbeispiel 4 die Reinigung der Metallteile betrachtet. Die Bestimmung erfolgt auf Grundlage der in Deutschland für die Reinigung verwendeten Menge PER, die bei rund 10 kt liegt (SA-FECHEM, 2015a).

Die verwendete Bezugsgröße ist die Entfernung von 100 kg Öl. Unter Anwendung des ChL-Modells werden lediglich 4 kg Lösemittel pro 100 kg Ölentfernung benötigt, in geschlossenen Systemen ohne Servicedienstleistung sind es hingegen 160 kg. Das Projektteam nimmt an dieser Stelle zwei Szenarien zur verwendeten PER-Menge für die Metallreinigung im deutschen Industrieschnitt an: a) es werden näherungsweise 60 kg PER benötigt, um 100 kg Öl zu entfernen und b) es werden 15 kg PER für das gleiche Ergebnis benötigt. Der Fall b) gilt dann, wenn alle Anwender bereits geschlossene Systeme sowie servicebasierte Geschäftsmodelle (noch nicht ChL) verwenden. Fall a) ergibt sich aus einem Mittel von geschlossenen Systemen und geschlossenen Systemen mit Servicekomponenten.

Wenn ausschließlich ChL für die Reinigung verwendet werden würde, könnten im Fall a) über 9,3 kt PER (~93 %) in Deutschland im Jahr eingespart werden, da serviceorientierter Geschäftsmodelle

noch nicht vollständig verbreitet sind. Unter der Annahme, dass alle Unternehmen bereits ChL-ähnliche Modelle mit Servicekomponenten und Anwendungsoptimierung verwenden (Fall b), läge die erzielbare jährliche Einsparung immer noch bei ca. 7,3 kt (~73 %).

Da nicht genau bekannt ist, welche Systeme tatsächlich in den Unternehmen angewendet werden, verzichtet das Projektteam aufgrund der damit verbundenen Unsicherheiten auf die Übertragung der Einsparungen auf den Energiebedarf in der Anwendung. Für die entstehenden Minderungen in der Vorkette können aber Potentiale bestimmt werden. Tabelle 28 stellt dar, dass die verringerte PER-Produktion, die aus Fall a) reduziert, in der Lieferkette pro Jahr über 33,5 kt CO₂-Äquivalente, 298 TJ Energie und 1.100 m³ Wasser einsparen könnte. Für den Fall, dass servicebasierte Geschäftsmodelle bereits durchgängig verbreitet sind (Fall b) und PER-Einsparungen von 7,3 kt erzielt werden könnten, wären indirekte Einsparungen beim Energiebedarf in Höhe von ca. 234 TJ sowie über 26 kt THG-Emissionsminderungen denkbar.

Tabelle 28: Mögliche Einsparpotenziale in der Lieferkette von PER.

Indikator	Einheit	Potenzial in Deutschland Fall A	Potenzial in Deutschland Fall B
THG-Emissionen	t CO ₂ -Äqu./Jahr	33.600	26.400
Energieaufwand	GJ/Jahr	298.000	234.000
Wasserbedarf gesamt	m ³ /Jahr	1.100	860

Wie bereits in Kapitel 3.3.4 beschrieben, können sehr ähnliche Ergebnisse auch bei der Reinigung von Metallteilen mit Trichlorethylen (TRI) erzielt werden. Aufgrund der erheblich geringeren Menge TRI gegenüber PER, die in der Metallreinigung angewendet wird, geht das Projektteam davon aus, dass für ca. eine Kilotonne TRI ein ähnliches Minderungspotenzial wie für PER besteht.

4.5 Klebstoffe

In Deutschland werden in den letzten Jahren über 800 tausend Tonnen Klebstoffen produziert. Der Industrieverband Klebstoffe e.V. erwartet, dass der mit Klebstoffen erzielte Umsatz im Jahr 2015 um weitere 2,2 % zulegen wird.

Die Menge an Klebstoff, die für eine Branchenabschätzung mit realen Umsetzungschancen in Frage kommt, ist schwer abzuschätzen. Für die Herstellung von lösemittelbasierten Klebstoffen werden unterschiedliche Polymere, gelöst in unterschiedlichen organischen Lösemitteln, eingesetzt. Der Feststoffgehalt dieser Systeme kann stark schwanken. Aufgrund der limitierten Datenlage in Bezug auf die Einsatzmengen, Zusammensetzung und Konzentration der organischen Lösemittel ist keine direkte Übertragung auf die gesamte Branche möglich.

Jedoch erkennt man schon an den großen Mengen und der zukünftigen Produktionssteigerung, dass ein erhebliches Minderungspotential vorhanden ist.

Laut Industrieverband Klebstoffe e.V. besitzen lösemittelbasierende Klebstoffe einen PCF-Wert (Product Carbon Footprint) unabhängig von der Polymerbasis und Hilfsstoffen, bei 2 bis 5 kg CO₂-Äquivalenten/kg Produkt.

Präzise Aussagen erfordern daher detaillierte Marktuntersuchungen, die in diesem Projekt nicht durchführbar waren. Jedoch lässt sich eine grobe Abschätzung aus dem Jahr 2001 (zeitlicher Bezugsrahmen) aufstellen. Demnach handelt es sich bei 8,62 % der im Inland verbrauchten Klebstoffe um lösemittelhaltige Klebstoffsysteme (Theloke, 2005). Wenn ein solcher Anteil lösemittelhaltiger Kleb-

stoffsysteme auch für das Bezugsjahr 2014 angenommen wird, wurden 2014 in Deutschland etwa 72.000 t lösemittelhaltige Klebstoffe eingesetzt.

Für die weitergehende Abschätzung des Minderungspotenzials sind genauere Informationen über den Anteil der verschiedenen Lösemittel und über ihre jeweilige Konzentration im Produkt erforderlich.

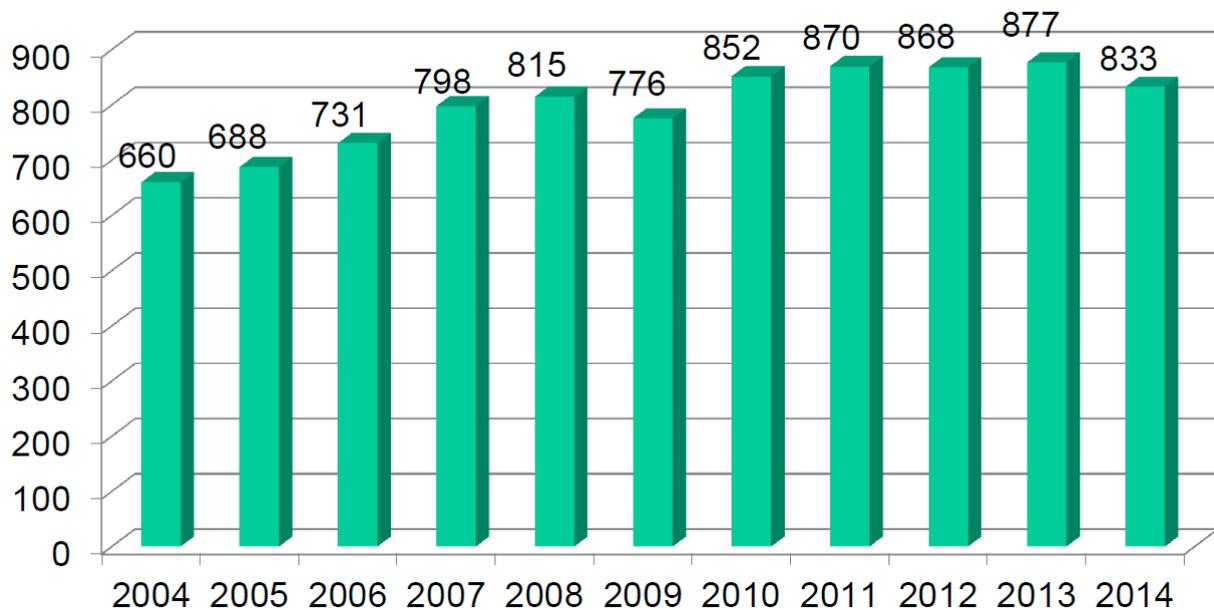


Abbildung 3: Produktion von Klebstoffen in Deutschland (Quelle: Industrieverband Klebstoffe e.V.).

Angaben in kt (Kilotonnen = 1.000 Tonnen).

4.6 Reinigungsmittel auf Basis von Pflanzenölestern

Pflanzenölestern sind in vielen Anwendungsbereichen eine wirksame Alternative zu herkömmlichen Reinigungsmitteln. Der Einsatz pflanzenölbasierter Reiniger kann aber nur erfolgreich sein, wenn zuvor die Anwendungsbedingungen geklärt werden. Art der Verschmutzungen, Oberflächenreinheit, Materialverträglichkeit, Beschaffenheit der Reinigungsanlagen, Umwelt- und Gesundheitsschutz sind einige der Faktoren, die dabei zu beachten sind. Bei biobasierten Materialien stellt außerdem die Art und Herkunft der Biomasse einen wesentlichen Faktor für Energieeffizienz und Treibhausgaspotenzial dar. Vor diesem Hintergrund konnte auf der Grundlage der verfügbaren Daten im Projekt keine Branchenabschätzung für Reinigungsmittel auf Basis von Pflanzenölestern vorgenommen werden. .

5 Schlussfolgerungen

Aus der Anwendung der Indikatoren und der Abschätzung von Minderungspotenzialen unter zu Hilfenahme des konsolidierten Indikatorensatzes lassen sich verschiedene Schlussfolgerungen ableiten, die im Folgenden beschrieben sind.

5.1 Generelle Vor- und Nachteile

Die Anwendung des Indikatorensatzes generiert insbesondere folgende Vorteile:

- ▶ Die Bewertung von Maßnahmen in Unternehmen wird zielführend und systematisch unterstützt
- ▶ Branchenpotenziale lassen sich (mit erforderlicher Vorsicht) abschätzen
- ▶ Die Möglichkeit die Nachhaltigkeit von Maßnahmen nachzuweisen hat einen erheblichen „Motivationseffekt“ auf Unternehmen.

Als Defizite zeigten sich vor allem folgende Aspekte:

- ▶ Nicht unerheblicher Aufwand der Datenbereitstellung
- ▶ Kollision mit Vertraulichkeitsaspekten (schutzbedürftige betriebswirtschaftliche oder prozessorientierte Daten)
- ▶ Häufig unzureichende Datenlage für ein komplettes Bild
 1. Auf Unternehmensebene: Prozessspezifische Daten; Effizienzdaten (spezifische Werte Rohstoff/Energie), Fläche, Produktkomponenten, Emission, Abfall, Energiemix, Vorkette, Kriterien iii) und vi)
 2. Auf Datenbankebene: Prozess- und Chemikalienabdeckung, unternehmensspezifische Daten
 3. Mit Blick auf die Berechnung von Branchenpotenzialen: Produktionsgrößen, individueller Effizienzgrad, spezifischer Energiemix, Marktanteil/Anwendungsbereich
- ▶ Notwendigkeit Prioritäten zu setzen (Abdeckung von Lebenszyklusabschnitten und damit verbundenem Aufwand)
- ▶ Schwierigkeiten, die Bedeutung der Indikatoren bei gegenläufigen Ergebnissen zu gewichten

5.2 Der Indikatorensatz „Parameter der nachhaltigen Chemie“

Die Indikatoren, besonders jene für die Kernkriterien i und ii⁷¹, erwiesen sich in den Fallbeispielen als hilfreich und zielführend für die Bewertung der jeweiligen Anwendung. Der Indikatorensatz unterstützt eine einfache Beschreibung und Erfassung wesentlicher Parameter hinsichtlich nachhaltiger Chemie im Unternehmen.

Durch die Datenrecherche und den Kontakt zu den in das Projekt eingebundenen Unternehmen (beispielsweise bei der Befragung in AP 1) zeigte sich allerdings auch, dass zum jetzigen Zeitpunkt ein erhebliches Defizit an belastbaren Daten für manche der Indikatoren besteht.

Bei der Umsetzung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen im Unternehmen fehlt in der Regel eine systematische Datenerhebung, die eine integrative Auswertung des Nachhaltigkeitseffektes möglich machen würde. Dies betrifft u.a. insbesondere spezifische Daten zu Produktionsmengen, produkt- oder prozessbezogene Abfall- oder Emissionsdaten oder einer Ausschlüsselung der verwendeten Energie.

⁷¹ i. Minimierung von Klimaauswirkungen durch Produkte und Produktionsprozesse
ii. Minimierung negativer Auswirkungen auf Umwelt, Energie und Ressourcen von Chemikalien, die in Produktions- und Anwendungsprozessen verwendet werden

Darüber hinaus fehlen Angaben zur Zusammensetzung von oder der Konzentration von Gefahrstoffen in Produkten oder Angaben Verbrauchsmenge von Ursprungssubstanz und Substitut (siehe Datenlage). Zusätzlich erfassen Unternehmen insbesondere „weichere“ Parameter bzw. Indikatoren aus den Kernkriterien iii bis vi⁷² nur in Einzelfällen. Dies liegt vermutlich vor allem daran, dass diese Aspekte in der Vergangenheit nicht als relevant betrachtet wurden.

Das Projektteam hat durch die Auswertungen der Fallbeispiele weiterhin festgestellt, dass bereits der 25 Indikatoren umfassende Indikatorensatz von Unternehmen (besonders für kleine und mittlere Unternehmen - KMU) als sehr umfangreich empfunden wird und die Kooperationsbereitschaft deutlich belastete.

5.3 Instrumente nachhaltiger Chemie

Die Fallbeispiele bestätigen, dass die Nutzung der betrachteten NC-Instrumente in der Regel zu einer gleichzeitigen Verbesserung verschiedener Indikatoren führt und damit zu nachhaltigerer Chemie beiträgt. Einige besonders eindruckliche Ergebnisse aus Kapitel 0 sind im Folgenden nochmals aufgelistet:

- ▶ THG-Emissionen (KK 1)
 1. Die Firma UHU konnte durch die Substitution eines Lösemittels mittels des Leitfadens „Nachhaltige Chemikalien“ indirekt 52 % THG-Emissionen einsparen.
- ▶ Rohstoffaufwand (KK 2)
 1. Bei der serbischen Firma Knjaz Miloš hat ChL zu einer Substitution des Schmierstoffs geführt, wodurch 100 % der Chemikalien für die Wasseraufbereitung entfallen, so dass jährlich pro Produktionslinie 270 l Natriumhypochlorit eingespart werden.
 2. Das Windsor Atlantica Hotel konnte 80 % Waschmittel (~390 l pro Zimmer und Jahr) durch ChL einsparen.
 3. Der Bedarf an Lösemitteln wurde bei der Firma PERO durch ChL um 76 % bzw. über 2,2 t pro Jahr gesenkt.
- ▶ Energieaufwand (KK2)
 1. Die Firma Bambi in Serbien konnte ihren Energiebedarf durch die Einführung von ChL und einer dadurch erreichten Substitution um 53 % senken (~ 8000 kWh/a).
- ▶ Frischwasserverbrauch (KK2)
 1. Knjaz Miloš konnte zusammen mit Ecolab auch den Wasserbedarf in der Schmierung um 100 % bzw. 1.5000 m³ pro Jahr und Linie senken.
 2. Die Firma UHU konnte durch die Substitution eines weiteren Lösemittels indirekt 88 % Wasser einsparen.
- ▶ Schadstoffemissionen in die Luft (KK2)
 1. Die Lösemittlemissionen in die Luft reduzierten sich bei PERO durch ChL um 90 %.
- ▶ Schadstoffemissionen ins Wasser und in den Boden (KK2)
 1. Bei UHU entstehen durch die Lösemittelsubstitution indirekt 81 % weniger Schadstoffeinleitungen (P-Äquivalente) ins Süßwasser.

⁷² iii. Optimierung von Produktdesign unter Berücksichtigung des gesamten Lebenswegs durch technische Innovation und Wissenstransfer und durch optimierte Integration von umwelt-, ökonomischen und sozialen Aspekten in betriebliche Prozesse

iv. Minimierung der Gesundheitsgefährdung durch Stoffe, Produktion und Produkte

v. Schaffung wirtschaftlicher Vorteile durch Umweltinvestitionen und nachhaltige Zusammenarbeit

vi. Optimierte Integration von Umwelt, ökonomischen und sozialen Aspekten in betriebliche Prozesse im Sinne von Transparenz, Ausbildung, Sozialstandards, Dialog und internationaler Zusammenarbeit

- ▶ Gehalt an Gefahrstoffen (KK3)
 1. Der neue, unter ChL verwendete Schmierstoff bei Knjaz Miloš enthält keinerlei gefährliche Substanzen (im alten Schmierstoff waren 15 % Gefahrstoffe enthalten).
 2. Die Firma Kilian konnte mittels des Leitfadens „Nachhaltige Chemikalien“ den Gefahrstoffgehalt um 100 % senken.
- ▶ Wirtschaftliche Vorteile durch nachhaltige Maßnahmen (KK5)
 1. Im Windsor Atlantica Hotel führte die Einführung von ChL zu einer Kostensenkung von 67 % (~ 350 €/Zimmer/a).
 2. PERO konnte durch die Einführung von ChL 52 % bzw. über 45.000 € Kosten im Jahr sparen.

Hochgerechnet auf Branchenpotenziale für Deutschland ergeben sich beeindruckende Schätzzahlen:

- ▶ 8,3 kt CO₂-Äquivalente pro Jahr durch Klebstoffeinsparung in der Verpackungsindustrie;
- ▶ Mögliche Einsparungen über 37 Mio. Liter Waschmittel und 1,9 Mio. m³ Wasser pro Jahr für Hotelwäsche verknüpft mit Kosteneinsparungen in der Dimension von 33 Mio. Euro und einer Reduktion THG-Emissionen durch die verringerte Waschmittelproduktion von 2,7 kt CO₂-Äquivalente pro Jahr;
- ▶ Einsparungen zwischen 7,3 und 9,3 kt PER verknüpft mit einer Reduktion des Energiebedarfs durch die verminderte Produktion in der Vorkette von 234 bzw. 298 TJ.

5.4 Datenlage

Das größte Hindernis in Bezug auf die Überprüfung von nachhaltigen Entwicklungen in Unternehmen ist die Datenlage. Die Datenbeschaffung hat sich bei den meisten Fallbeispielen schwierig gestaltet, da die Unternehmen entweder keine betriebswirtschaftlichen oder prozessorientierten Daten preisgeben wollten oder aufgrund der notwendigen Zeit und des damit verbundenen Aufwands nicht kooperieren konnten.

Unternehmensdaten bieten die beste Grundlage für eine valide Analyse. Denn die Daten in den öffentlich verfügbaren Datenbanken sind sehr lückenhaft und nicht alle benötigten Werte können aus Datenbanken gewonnen werden. Außerdem sind die Daten aus den öffentlich verfügbaren Datenbanken mit einigen Unsicherheiten behaftet, da sie beispielsweise globale oder europäische Durchschnittswerte abbilden und keine unternehmensspezifischen Verbrauchsdaten, Aufwendungen und Ergebnisse. In den Unternehmen vorhandene Daten (z.B. zum Energieaufwand von Prozessschritten) sind daher für die Beurteilung von Maßnahmen sehr wertvoll.

Bei den Unternehmen, die für die Untersuchung gewonnen werden konnten, stellte das Hauptproblem die retrospektive Analyse dar. Die Einführung von ChL bzw. der Substitution durch den Leitfaden liegt in allen untersuchten Beispielen in der Vergangenheit. Bei der Einführung wurden von den beteiligten Unternehmen mehrere Parameter erhoben, um den Erfolg des Instruments messbar zu machen. Dennoch repräsentiert dies nur einen Teil der Daten, die für den NC-Indikatorenansatz benötigt werden. Beispielsweise haben nicht alle Unternehmen den Energiebedarf ihrer Umstellung gemessen, da der Fokus z. B. auf Substitution oder reduziertem Chemikalienverbrauch lag. Im Nachhinein sind viele Daten nicht mehr zu ermitteln, sodass für keines der in Kapitel 0 untersuchten Beispiele alle Indikatoren untersucht werden konnten.

So konnten beispielsweise nur für Fallbeispiel 3 direkt Daten zu Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus vor und nach der Einführung nachhaltiger Instrumente gewonnen werden. Um auch für die anderen Fallbeispiele näherungsweise die Änderungen hinsichtlich der CO₂-Äquivalente zu quantifizieren, hat das Projektteam diese über den Energiebedarf bestimmt, da die Erzeugung der

genutzten elektrischen Energie den wesentlichen Bestandteil klimarelevanter Emissionen in den Beispielen ausmacht.

Folgende Indikatoren konnten für die Fallbeispiele in diesem Projekt grundsätzlich nicht ermittelt werden:

- ▶ Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe
- ▶ Anteil rückgewonnenes Wasser
- ▶ Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produktion
- ▶ Investitionsintensität in Umwelt- und/oder Ressourcenschutz
- ▶ Anteil der Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten geprüft sind

Auch die Indikatoren „Energie- und Rohstoffproduktivität bzw. „-intensität“ standen für die Fallbeispiele häufig nicht zur Verfügung, sodass auf die Jahresverbräuche zurückgegriffen werden musste. Produktivität und Intensität lassen sich jedoch grundsätzlich einfach berechnen, wenn der jeweilige Bedarf sowie die damit verbundene Produktionsmenge bekannt sind.

Das Projektteam hat versucht, die mangelnden Daten durch Werte aus verschiedenen sekundären Quellen zu ersetzen (siehe auch Kapitel 3.2), um eine Abschätzung zu ermöglichen. Jedoch war auch hier die Datenlage oft lückenhaft. Z. B. liegen in Datenbanken wie Ecoinvent, ProBas, EstiMol oder MIT nur für weniger als 5 % der kommerziell vertriebenen Chemikalien Umweltbewertungen vor (DBU 2015). Diese sind außerdem mit einigen Unsicherheiten behaftet, was sich u. a. darin zeigte, dass die Werte für den Energiebedarf oder die THG-Emissionen einer Substanz in verschiedenen Datenbanken um mehr als 20 % voneinander abwichen. Außerdem stellen die verfügbaren Datensätze einen regionalen Durchschnittswert über ganze Branchen hinweg dar. Unternehmensspezifische Daten zu Treibhausgasemissionen sind praktisch nicht zugänglich. Die Gründe hierfür sind vielfältig: z. B. unterliegen vorhandene Kenngrößen der Geheimhaltung der Unternehmen, die Daten werden mangels Zeit oder Ressourcen nicht von den Unternehmen erhoben oder sie werden nicht auf einzelne Produktionslinien differenziert erfasst, sodass beispielsweise nur Abwasserströme des gesamten Unternehmens bekannt sind, diese jedoch nicht nach einzelnen Produktionslinien oder -prozessen aufgeschlüsselt werden können⁷³.

Die Berechnung der Minderungspotenziale in diesem Projekt stellt aufgrund der Datenlage, der Zielvorgaben und des zur Verfügung stehenden Budgets keine vollständige ökobilanzielle Bewertung dar. Vielmehr fokussiert sich die Berechnung auf Sachbilanzebene bzw. der Sammlung aller In- und Outputs. Insbesondere bei Vergleichen ist die Symmetrie der Datenverfügbarkeit und die Prüfung der Datenqualität eine zentrale Anforderung. Weiterhin liegt der Schwerpunkt der Betrachtung in diesem Forschungsbericht auf der Verwendung der Chemikalie. Weitere Abschnitte des Lebenszyklus, wie etwa die Lieferkette bzw. die Produktion der Chemikalie, konnten nur teilweise in die Betrachtung einbezogen werden. Die Gründe hierfür liegen in der bereits oft genannten Datenverfügbarkeit.

Aus diesen Gründen sind die Potenziale nur indikativ und Vergleiche zwischen den Fallbeispielen sind auf der Basis des aktuellen Datenstandes kaum möglich. Für eine bessere Bewertung der Nachhaltigkeitsperformance von Unternehmen sind in Zukunft wesentlich mehr und bessere Daten notwendig, sowohl auf Unternehmensebene, als auch mit Blick auf die Forschung zur Datengeneration und -bereitstellung von Lebenszyklusdaten.

⁷³ Dies ist nötig, wenn z. B. auf nur 2 von 5 Produktionslinien ChL angewendet wird.

Insgesamt geht das Projektteam davon aus, dass einige der notwendigen Daten bei den Unternehmen leicht zu erheben sind, sofern ihnen die Notwendigkeit bereits von Anfang an bewusst ist. Beispielsweise sind Produktivität und Intensität für Energie- und Rohstoffbedarf leicht zu ermitteln, da den Unternehmen im Allgemeinen Daten über ihre Produktionsmenge vorliegen. Es ist daher notwendig, bei der Erfassung von NC-Indikatoren auch einige allgemeine betriebswirtschaftliche Kennzahlen (key performance indicators – KPIs) mit zu erfassen, anhand derer die Bestimmung problemlos möglich ist.

Ein anderes Problem ist die Bewertung der Auswirkungen von Stoffen auf Mensch und Umwelt über ihre Human- oder Ökotoxizität. Hierzu wurde in der vorliegenden Studie aufgezeigt, wie eine Bilanzierung mit Hilfe der Monoethylenglykol-Äquivalente durchgeführt werden kann.

Im letzten Projekttreffen mit dem Auftraggeber wurde einvernehmlich festgestellt, dass es grundsätzlich zunächst nötig sein wird, eine repräsentative (größere und heterogenere, als in diesem Projekt möglich) Anzahl an Daten von Unternehmen zu bekommen, um eine Bewertungsmatrix „Nachhaltigkeitsgrade anhand von Indikatoren“ erstellen zu können. Alle Beteiligten waren sich jedoch einig, dass dieser Schritt aus Datenschutz-Gründen eine große Hürde darstellt.

Mit Blick auf die Abschätzung von Branchenpotenzialen stellen fehlende Angaben zu Produktionsgrößen, dem individuellen Effizienzgrad oder dem spezifischen Energiemix sowie dem genauen Marktanteil/Anwendungsbereich bestimmter Substanzen die größten Hindernisse dar.

5.5 Bewertung gegenläufiger Ergebnisse

Einige der Substitutionsbeispiele führten zu gegenläufigen Ergebnissen, z. B. einer Verschlechterung von Energie- oder Wasserbedarf und damit zu höheren THG Emissionen, oder zu höheren Kosten.

Aufgrund der limitierten Datenlage und dem Fehlen von anerkannten, fehlenden Bewertungsschemata wurde auf eine vergleichende Wertung einzelner Nachhaltigkeitseffekte (z. B. Energie oder Ressourcenverbrauch versus Toxizität) verzichtet. Eine Bewertung, welche Bedeutung diese Effekte für das Nachhaltigkeitsniveau des neuen Prozesses haben, erfordert eine politische Gewichtung verschiedener Nachhaltigkeitsaspekte sowie eine detaillierte Betrachtung und Folgenabschätzung der fallspezifischen Effekte (z. B. Wasserverbrauch in wasserreichen Gegenden, Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien etc. im Vergleich zu reduzierter Toxizität).

Hierzu sei auf die Details der Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen und auf die UBA-Methode (UBA 1999) verwiesen, wo beispielsweise für die Normierung/Ordnung von Wirkungskategorien Schutzgüter und Schutzziele definiert und die Ergebnisse der Wirkungskategorien auf die jeweilige Gesamtbelastungssituation (Inventar) in Deutschland bezogen werden.

6 Empfehlungen

Aus der Bearbeitung der Fallbeispiele konnten Empfehlungen abgeleitet werden, deren Umsetzung zukünftig dazu beitragen kann, mehr Nachhaltigkeit in Unternehmen der chemischen Industrie und in den Anwenderbranchen zu realisieren.

Es wird insbesondere Unternehmen empfohlen, ihre Datenerhebung zu verbessern und in ihrer Öffentlichkeitsarbeit auf die erzielten Erfolge einer nachhaltigeren Prozess- und Produktgestaltung verstärkt hinzuweisen.

1. Systematische prozessbezogene Erhebung aller Indikatoren vor und nach Umsetzung von Nachhaltigkeitsmaßnahme
 - Planung reduziert Aufwand
 - Indikatoren helfen bei der Steuerung
2. Identifikation von Schlüsselstoff und Tiefe der Lieferkette empfehlenswert
3. Frühzeitige Nutzung von im Unternehmen bereits vorhandenen Instrumenten.
4. Aktive PR Arbeit mit den Ergebnissen

Das Umweltbundesamt oder andere Behörden könnten die Unternehmen in diesen Aufgaben durch eine Reihe von Anreizmaßnahmen unterstützen, die in folgenden Empfehlungen zusammengefasst sind:

1. Bereitstellung von Anleitungen, Leitfäden oder Tools für Unternehmen, um NC-relevante Daten zu ermitteln;
2. Bereitstellung von Informationen über Benchmarks und ‚Best Practice Beispiele‘;
3. Nennung von „Leuchtturm“-Unternehmen;
4. Zertifikat und/oder Preis Nachhaltige Chemie;
5. Zukunftsorientierte Verifikation der Praxistauglichkeit
6. Entwicklung von Bewertungsmatrix für unterschiedliche Nachhaltigkeitsaspekte

6.1 Empfehlungen zur Verbesserung der Datenlage

Um die Datensammlung zu erleichtern sehen wir folgende Empfehlungen:

- ▶ Konsequente Nutzung des Indikatorensatzes „Parameter der nachhaltigen Chemie“ als Screeningtool in der Planung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen und zur Nachhaltigkeitsbewertung im Sinne der SDGs;
- ▶ Bereitstellung von Anleitungen, Leitfäden oder Tools für Unternehmen, um NC-relevante Daten zu ermitteln.

Mit Bezug auf den NC-Indikatorenatz schlagen wir insbesondere folgende Optionen vor:

1. Eine gute (optische) Aufbereitung
2. Konkrete und übersichtliche Erklärung der Indikatoren mit Hinweisen zu Erhebung, Systemgrenzen, alternativen Datenquellen und ggf. Beispielen
3. Hilfestellungen zur Interpretation (z B. welche Aussagen sind anhand der Daten möglich, wo liegen die Grenzen?)

4. Bereitstellung als nutzerfreundliche (online) Vorlage mit Erläuterungen und Hintergrundinformationen zu nachhaltiger Chemie
- ▶ Kommunikation von Erfolgsbeispielen und (relativen) Daten, um Bewusstsein für Datengenerierung und -bereitstellung zu schaffen und Interesse an der Selbsteinschätzung von Unternehmen zu wecken
 - ▶ Schaffen von PR oder Marktanreizen für Unternehmen (speziell KMU) Daten zu generieren und zu berichten z. B. durch:
 1. Entwicklung eines NC-Zertifikats ähnlich der Konformitätserklärung bei ChL, das zeigt, dass ein Unternehmen sich positiv im Sinne der sechs Kernkriterien entwickelt.
 2. Entwicklung eines Preises NC
 3. Nutzung von Synergien mit anderen Programmen, Preisen oder Aktivitäten
 4. Gewinnung der Chemieverbände/Nachhaltigkeitsnetze (z.B. Chemie³, Dechema) zur Unterstützung bzw. Verbreitung der Maßnahmen
 - ▶ Entwicklung der notwendigen Instrumente zu einfacher Abschätzung von Aufwand und Nutzen der Umstellung (beispielsweise durch einen Leitfaden zur Potenzialanalyse wie im ChL-Toolkit; Helpdesk oder Beratervermittlung)
 - ▶ Schaffen von finanziellen und/oder technischen Anreizen für Unternehmen (speziell KMU) Daten zu generieren und zu berichten z. B. durch:
 1. Unterstützung von außen in Form von vergünstigten Optimierungs- und Beratungsdienstleistungen für die Erhebung der Daten oder das Bereitstellen von Daten z. B. aus Datenbanken und Forschungsberichten
 2. Bereitstellung von Informationen über Benchmarks und ‚Best Practice Beispiele‘
 3. Nennung von „Leuchtturm“-Unternehmen in UBA-Veröffentlichungen oder auf der UBA-Internet-Seite
 4. Weiterentwicklung der Datensysteme/Datenbankbestände zur Umweltbewertung bzw. Ökobilanzierung von Chemikalien
 5. Weiterentwicklung einfacher (praxisnaher) Indikatorsysteme und Bewertungsmatrizes
 6. kostenlosen (günstigen) Zugangs der Unternehmen zu Datenbeständen ermöglichen
 7. Entwicklung eines Zertifikat NC ähnlich der Konformitätserklärung bei ChL, das zeigt, dass ein Unternehmen sich positiv im Sinne der sechs Kernkriterien entwickelt.
 8. Entwicklung eines Preises NC
 9. Nutzung von Synergien mit anderen Programmen, Preisen oder Aktivitäten
 10. Gewinnung der Chemieverbände/Nachhaltigkeitsnetze (z.B. Chemie³, Dechema) zur Unterstützung bzw. Verbreitung der Maßnahmen
 11. Entwicklung der notwendigen Instrumente zu einfacher Abschätzung von Aufwand und Nutzen der Umstellung (beispielsweise durch einen Leitfaden zur Potenzialanalyse wie im ChL-Toolkit; Helpdesk, oder Beratervermittlung).

6.2 Empfehlungen für den Indikatorensatz und die Verbreitung der nachhaltiger Chemie

Verifizierung des Indikatorensatzes

Damit auch die Indikatoren, die erst im Laufe oder nach der Bearbeitung der Beispiele hinzugekommen sind, hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit überprüft werden können, empfiehlt das Projektteam folgendes:

- ▶ die Anwendbarkeit und Praktikabilität des NC-Indikatorensatzes in weiteren Fallstudien zu testen und in Bezug auf Praxistauglichkeit zu verifizieren.

- ▶ mit zusätzlichen Beispielen zu zeigen, dass die hier betrachteten Instrumente auch in weiteren Unternehmen oder anderen Branchen einen wichtigen Beitrag auf dem Weg zu einer nachhaltigen Chemie leisten.

Im Bereich ChL arbeitet das Projektteam seit September 2015 im Auftrag des Umweltbundesamtes daran, weitere Umsetzungsbeispiele des Geschäftsmodells auf nationaler und internationaler Ebene zu untersuchen und die erzielten Effekte zu quantifizieren⁷⁴. Der NC-Indikatorensatz wird eine wichtige Grundlage für das Projekt bilden.

Unterstützung bei der Ergebnisinterpretation

Während bei durchgehenden Minderungseffekten in der Regel wenig Interpretationsbedarf besteht, kann dieser bei gegenläufigen Effekten erheblich sein. Deshalb empfehlen wir Folgendes:

- ▶ Entwicklung von (politischen) Interpretationshilfen für gegenläufige Effekte
- ▶ Eine fallspezifische Diskussion, wodurch die Mehrverbräuche (in der Lebenszyklusanalyse) zustande kommen, ist besonders relevant für biobasierte Rohstoffe, bei denen z. B. der Wasserbedarf in der Lieferkette ein Vielfaches des Bedarfs der petrochemischen Lösung ist (siehe Beispiel Firma Kilian). Bei keiner bzw. nachhaltiger Bewässerung ist dieser Verbrauch aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten jedoch vernachlässigbar.
- ▶ Entwicklung einer maßgeschneiderten Variante eines chemischen oder ökologischen Fußabdrucks für die Chemieindustrie auf Basis der entwickelten Indikatoren, des PEF und vorhandenen Ansätzen eines chemischen Fußabdrucks

⁷⁴ Projekt: ‚Chemikalienmanagement nachhaltig gestalten: Nachhaltigkeitskriterien für Chemikalienleasing weiterentwickeln und in Fallstudien anwenden‘, FKZ 3715 65 401 0, Laufzeit bis Dezember 2017

7 Quellenverzeichnis

- BiPRO GmbH (2005): Abschlussbericht zur Anwendung von Chemikalienleasing in der Metallteilreinigung (vertraulich). Freigabe zur Verwendung der angegebenen Daten durch die das beteiligte Unternehmen.
- BiPRO GmbH (2014): Chemikalienleasing - Konzept. <http://www.chemikalienleasing.de/sub/Chemikalienleasing/konzept.htm>. aufgerufen am 12.06.2015.
- Bunke, D. und Graulich, K. (2003): Bewertungsverfahren - Ein Indikator für den Einsatz gefährlicher Stoffe in Produkten und Prozessen: Monoethylenglykol-Aquivalente. UWSF- Z Umweltchem Okotox 15 (2) 106 - 114.
- Cleaner Production Centre of Serbia (2009): Cleaner Production Project 2009-1. Final report. Belgrade.
- DBU (2015): Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Integrierte Chemikalienbewertung – Umwelt - Wirtschaft – Recht. <https://www.dbu.de/2528.html>. aufgerufen am 21.10.2015.
- Deutscher ReiseVerband e. V. (2015): Zahlen und Fakten 2014 zum deutschen Reisemarkt. Eine Übersicht zusammengestellt vom Branchenverband der Touristik. Berlin.
- ECHA (2015a): Registrierte Stoffe. <http://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/registered-substances>. aufgerufen am 21.10.2015.
- ECHA (2015b): Datenbank des C&L-Verzeichnisses. <http://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/cl-inventory-database>. aufgerufen am 21.10.2015.
- ECSA (2014): Chlorinated Solvents, Perchloroethylene (PER). <http://www.chlorinated-solvents.eu/index.php/about-chlorinated-solvents/perchloroethylene-per>. aufgerufen am 08.10.2015.
- Erbel, H. (2015): Telefonisches Gespräch mit V. Abraham (Projektteam) am 15.09.2015. Königsbrunn, München.
- Europäische Kommission (2013): Communication from the Commission to the European Parliament and the Council: Building the Single Market for Green Products - Facilitating better information on the environmental performance of products and organisations. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0196&from=EN>. aufgerufen am 19.10.2015.
- Europäische Kommission (2014a): Guidance for the implementation of the EU Product Environmental Footprint (PEF) during the Environmental Footprint (EF) pilot phase. http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/Guidance_products.pdf. aufgerufen am 19.10.2015.
- Europäische Kommission (2014b): Guidance for the implementation of the EU Organisation Environmental Footprint (OEF) Pilot Projects http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/Guidance_organisations.pdf. aufgerufen am 19.10.2015.
- Jepsen, D. (2012): Chemikalienauswahl und -anwendung in kleinen und mittelständischen Unternehmen Analyse der Nachhaltigkeitsgrade von Dirk Jepsen, Antonia Reihlen, Olaf Wirth Ökopol-Institut für Ökologie und Politik GmbH; Dirk Bunke Öko-Institut e.V.; Mario Dobernowski Kooperationsstelle Hamburg IFE GmbH.
- Industrieverband Klebstoffe e.V. (2014): Typische „Product Carbon Footprint“ (PCF)-Werte für Industrieklebstoffe. Düsseldorf.
- Jakl, T. (2011): Global Chemical Leasing Award 2010. Technology and Investment, 2, 20 – 26.
- Kawa, R. (2014): Chemical Leasing – an innovative business model across sectors. Best practice examples – evidence from the hospitality sector.
- Metoc plc (2003): Hydro Formate ASA, Formate Brines, Environmental Assessment. Metoc Report Nummer 1147.
- OECD/IEA (2008): Energy in the Western Balkans. The Path to Reform and Reconstruction. In co-operation with the United Nations Development Programme. Paris.
- OECD/IEA (2012): International Energy Agency, IEA Statistics 2012 edition, Energy Balances of Non-OECD countries. Paris.
- SAFECEM (2015): Persönliches Gespräch mit R. Joas (Projektteam).
- Šatrić, Vojislavka (2012): Results Obtained by Implementation of a Chemical Leasing Business Model on Bonding of Boxes. Frankfurt.

Šatrić, Vojislavka (2015 mündlich und per E-Mail): Telefonisches Gespräch sowie E-Mail-Kontakt mit V. Abraham im Juli und August 2015. Belgrad/München.

Sietz, M. et al. (2012): Nachhaltigkeit fassbar machen durch Entropiebetrachtung – Was kann die Entropie, das andere Indikatoren nicht können?, S. 19 – 34, In: Nachhaltigkeit fassbar machen, Entropiezunahme als Maß für Nachhaltigkeit. Jakl, T. und Sietz, M. (Hrsg.), Diplomatische Akademie Wien, Favorita Papers 01/2012.

The Guardian (2014): Chemicals are everywhere. Can a new business model make their use greener?
<http://www.theguardian.com/sustainable-business/2014/dec/09/chemical-leasing-ecolab-coke-ikea-gm-un-cleaning-environment>. aufgerufen am 11.09.2015.

Theloke, J. (2005): NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung und Möglichkeiten zu ihrer Minderung von der Fakultät Maschinenbau der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung vorgelegt von Jochen Theloke, 2005

UBA (1999) Schmitz, Stefan; Paulini, Inge: Bewertung in Ökobilanzen; Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043. Version 99. UBA Texte 92/99.

UBA (2010; Hrsg.): Leitfaden nachhaltige Chemikalien. Eine Entscheidungshilfe für Stoffhersteller, Formulierer und Endanwender von Chemikalien. Dessau-Roßlau.

UBA (2015a): ProBas, Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme.
<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>. aufgerufen am 6.10.2015.

UBA (2015b): Klima | Energie, Europäischer Vergleich der Treibhausgas-Emissionen.
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/europaescher-vergleich-der-treibhausgas-emissionen>. aufgerufen am 29.10.2015.

UBA (2015c): Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2012. Dessau-Roßlau.

UNIDO (2011): Chemical leasing: A global success story. Innovative business approaches for sound and efficient chemicals management. Wien.

UNIDO (2012): Global Promotion and Implementation of Chemical Leasing Business Models in Industry. Annual Report January – December 2012. Wien.

UNIDO (2014): Global Promotion and Implementation of Chemical Leasing Business Models in Industry. Annual report 2013. Wien.

UNIDO (2015): RECP Study: Chemical Leasing within industrial and service sector cleaning operations. A viable business model with potential to reduce chemical use and negative environmental impacts. Wien.

Verbraucher Initiative e. V. (2015): Verpackungsbarometer, Wie viel Rohöl brauchen wir pro Jahr für PET-Getränkeflaschen?
<http://www.verpackungsbarometer.de/fuer-verbraucher/haeufig-gestellte-fragen3/wie-viel-rohoel-brauchen-wir-pro-jahr-fuer-pet-getraenkeflaschen2>. aufgerufen am 29.10.2015.

Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA (2009): Chemanager: Ein Fußabdruck aus Treibhausgas. <http://www.chemanager-online.com/themen/energie-umwelt/ein-fussabdruck-aus-treibhausgas>. aufgerufen am 28.10.2015.

Windsor (2014): Global Chemical Leasing Award – 2014. Application form concerning the Award category case studies (companies).

8 Anhänge

8.1 Vorschlagsliste von Indikatoren für die Anwendbarkeitsprüfung

Die nachfolgende Tabelle 29 zeigt die 78 Indikatoren für nachhaltige Chemie, die auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft wurden (siehe Kap. 2.1)..

Tabelle 29: Quantifizierbare Indikatoren für nachhaltige Chemie, die auf Anwendbarkeit überprüft wurden.

Kriterium	Quantitative Indikatoren für nachhaltige Chemie
i. Minimierung negativer Auswirkungen auf Umwelt, Energie und Ressourcen von Chemikalien, die in Produktions- und Anwendungsprozessen verwendet werden	1a Direkter Energieverbrauch
	1b Indirekter Energieverbrauch
	1c Energieproduktivität
	1d Energieintensität
	1e Anteil erneuerbarer Energien
	2a Direkter Rohstoffverbrauch
	2b Indirekter Rohstoffverbrauch
	2c Rohstoffproduktivität
	2d Rohstoffintensität
	2e Anteil kritischer Rohstoffe
	2f Anteil wieder verwertbarer Materialien
	2g Anteil recycelter Materialien
	3a Anteil stofflich genutzter erneuerbarer Rohstoffe
	3b Produktivität erneuerbarer Rohstoffe
	3c Intensität erneuerbarer Rohstoffe
	4a Produktivität nicht-erneuerbarer Rohstoffe
	4b Intensität nicht-erneuerbarer Rohstoffe
	5a Direkter Frischwasserverbrauch
	5b Indirekter Frischwasserverbrauch
	5c Gesamtwasserverbrauch
	5d Anteil rückgewonnenes Wasser
5e Schadstoffemissionen ins Wasser (Vorfluter; siehe z.B. PRTR)	
6a Schadstoffemissionen in die (Umgebungs-)Luft	

Kriterium	Quantitative Indikatoren für nachhaltige Chemie
	6b Emissionsmenge am Arbeitsplatz
	6c Emission/Verbrauch ozonschädigender Substanzen
	7a Abfallaufkommen
	7b Anteil der als gefährlich eingestuft Abfälle
	7c Anteil recycelter Abfälle
	7d Schadstoffemissionen in Abfall (siehe PRTR)
	8a Inanspruchnahme von Fläche
	8b Größe von Grundstücken in Schutzgebieten oder angrenzend an solche
	8c Schadstoffemissionen in den Boden (siehe PRTR)
	ii. Klima
9b Indirekte THG Emissionen	
iii. Optimierung von Produktion und Produktdesign	10a Anteil der Produkte mit Lebenszyklusanalyse
	10b Anzahl der Substanzen auf Gefahrstofflisten oder mit Gefahrenmerkmalen
	10c Gehalt an anwendungsbeschränkten Substanzen im Produkt
	10d Produkte in den 2 höchsten Ökodesign-Kategorien
	10e Anteil der Stoffe mit hoher Mobilität und Persistenz
	10f Nachhaltigkeitsinformationen auf/zu Produkten
	10g Beitrag eines bestimmten Produktes zu einer Nachhaltigkeitsfunktion
	10h Anteil an abbaubaren Substanzen im Produkt
	10i Anteil wiederverwendbarer oder recycelbarer Materialien im Produkt
	10j Anteil erneuerbarer Materialien in Produkten
	10k Anzahl/Anteil wiederverwendbarer oder recycelbarer Produkte
	10l Investitionen in nachhaltiges Produktdesign
	10m Einnahmen aus Forschungsförderungen für nachhaltiges Produktdesign
	11a Investitionen in nachhaltige Produktionstechnologie
	11b Nachhaltiger Katalysatoreinsatz
11c Minimierter Einsatz von Hilfs- und Betriebsstoffen	
11d Patente für grüne Technologien etc.	
11e Einnahmen aus Forschungsförderungen für nachhaltige Produktionstechnologie	
iv. Minimierung der Gesundheitsgefährdung	12a Anzahl Arbeitsunfälle
	12b Zeitverlust durch Arbeitsunfälle
	12c Zahl berufsbedingter Erkrankungen

Kriterium	Quantitative Indikatoren für nachhaltige Chemie
	12d Anzahl der Störfälle mit Emissionen gefährlicher Substanzen
	12e Schadstoffkonzentrationen am Arbeitsplatz
v. Schaffung wirtschaftlicher Vorteile	13a Ausgaben für/Investitionen in Umweltschutz
	13b Ausgaben für nachhaltige Beschaffung
	13c Einnahmen durch (umweltbezogene) Subventionen
	13d Ausgaben für Investitionen im Nano- und Biotechnologie und Hybridmaterialien
	14a Anteil der Geschäftstätigkeiten, bei denen Maßnahmen/Vereinbarungen gegen Kinder-, Zwangs- oder Pflichtarbeit eingehalten werden
	14b Anteil auditierter Zulieferer und Auftragnehmer, die unter Menschenrechts- und Umweltaspekten auditiert sind
	14c Anteil der Geschäftstätigkeiten, bei denen mindestens ILO Arbeitsstandards eingehalten werden
vi. Optimierte Integration von Umwelt, ökonomischen und sozialen Aspekten	15a Zertifizierung nach ISO, EMAS, etc.
	15b Nachhaltigkeitsberichterstattung nach anerkannten Standards (z.B. DNK, GRI)
	15c Teilnahme an globalen Kooperationen/Vereinbarungen/Netzwerken/ (Umwelt)abkommen
	15d Anzahl der Produktionsbereiche mit Lebenszyklusanalysen (LCA)
	15e Maßnahmen zu Sicherstellung guter und fairer Praxis
	16a Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter
	16b Ausgaben für Aus- und Weiterbildung
	16c Aus- und Weiterbildung bzw. Know-how Transfer für Schwellen- und Entwicklungsländer (Gastländer für Unternehmensstandorte o.ä.)
	17a Anteil Frauen gesamt
	17b Anteil Frauen in Führungspositionen
	17c Anteil Mitarbeiter mit Migrationshintergrund (gesamt)
	17d Anteil Mitarbeiter mit Migrationshintergrund (in Führungspositionen)
	17e Anteil Mitarbeiter, die betriebliche soziale Zuwendungen erhalten
	17f Anteil Mitarbeiter, die unter Kollektivvereinbarungen fallen

8.2 Nicht weiter bearbeitete Indikatoren

Die nachfolgende Liste nennt die Indikatoren, die bei der Ausarbeitung des Indikatiosets „Parameter der nachhaltigen Chemie“ nicht weiter vertieft wurden (siehe Kap. 2.1).

Ökobilanzielle Indikatoren:

1. Stickstoffüberschuss
2. Gebiete/Ökosysteme/Fläche unter nachhaltigem Management
3. Nationaler Biodiversitätsindex
4. Fläche/Gebiet mit hohem Biodiversitätswert
5. Veränderung der Vegetationstypen
6. Erosion/Umwandlung der Bodendecke %
7. Arten auf der roten Liste (IUCN) die ihren Lebensraum durch Produktion verloren haben
8. Entwicklung der Vogelpopulation/brütende Vogelpopulation
9. Artenreichtum
10. Bedrohte Tier- und Pflanzenarten (Säugetiere, Vögel, Pflanzen, Fischbestände)
11. bewaldete Flächen
12. Gewässer, die von Abwassereinleitungen & Oberflächenabfluss betroffen sind

Sozial-Indikatoren:

13. Anteil von Umweltsteuern an Gesamtsteuern
14. angewandtes Vorsorgeprinzip (Anzahl der Fälle, Verfahren, Prozesse)
15. (Verfahren zur) Beurteilung der ökonomischen, sozialen und ökologischen Auswirkungen
16. Etappen in der Lebensdauer von Produkten in denen schädliche Auswirkungen untersucht werden
17. Verstöße (Exporte, Rechte, Korruption, etc)/ Maßnahmen gegen Verstöße
18. Diskriminierung (gemeldete Fälle)
19. Anteil ausländischer Schulabgänger bei Auszubildenden
20. Information, Konsultationen und Zusammenarbeit
21. Mitarbeiterfluktuation
22. Teilzeitbeschäftigte zur Kinderbetreuung am Standort; Angebote zur Ganztagsbetreuung
23. Anzahl der Arbeitnehmer in Gewerkschaften, Arbeitsausschüssen, -schutzprogrammen; Anzahl Sozialpartnerschaften
24. Partnerschaften mit Stakeholdern (Verbänden, Universitäten, Handelspartnern, ...)
25. Programme für das Wissensmanagement der Mitarbeiter
26. Regelmäßige Leistungsbeurteilung der Mitarbeiter
27. Wissen und Technologie (WuT) Entwicklungsarbeiten in Gastländern