

TEXTE

03/2019

Substitution als Strategie zur Minderung der Kritikalität von Rohstoffen für Umwelttechnologien – Potentialermittlung für Second-Best-Lösungen

Arbeitsbericht 1: Systematisierung und Screening von Umwelttechnologien – Entwicklung einer Auswahlmethodik

TEXTE 03/2019

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3714 93 316 0
UBA-FB 002705/ANH,1

Substitution als Strategie zur Minderung der Kritikalität von Rohstoffen für Umwelttechnologien – Potentialermittlung für Second-Best-Lösungen

Arbeitsbericht 1: Systematisierung und Screening von
Umwelttechnologien – Entwicklung einer Auswahlmethodik

von

Dr. Matthias Buchert, Dr. Doris Schüler, Siddharth Prakash, Martin Möller, Dr.
Andreas Köhler, Stefanie Degreif, Dr. Winfried Bulach
Öko-Institut e.V., Darmstadt / Freiburg

Dr. Siegfried Behrendt, Dr. Michael Scharp, Adrian Röben
IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige
GmbH, Berlin

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.
Rheinstr. 95
64295 Darmstadt

Abschlussdatum:

Mai 2015

Redaktion:

Fachgebiet III 2.2 Ressourcenschonung, Stoffkreisläufe, Mineral- und
Metallindustrie
Felix Müller

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4359

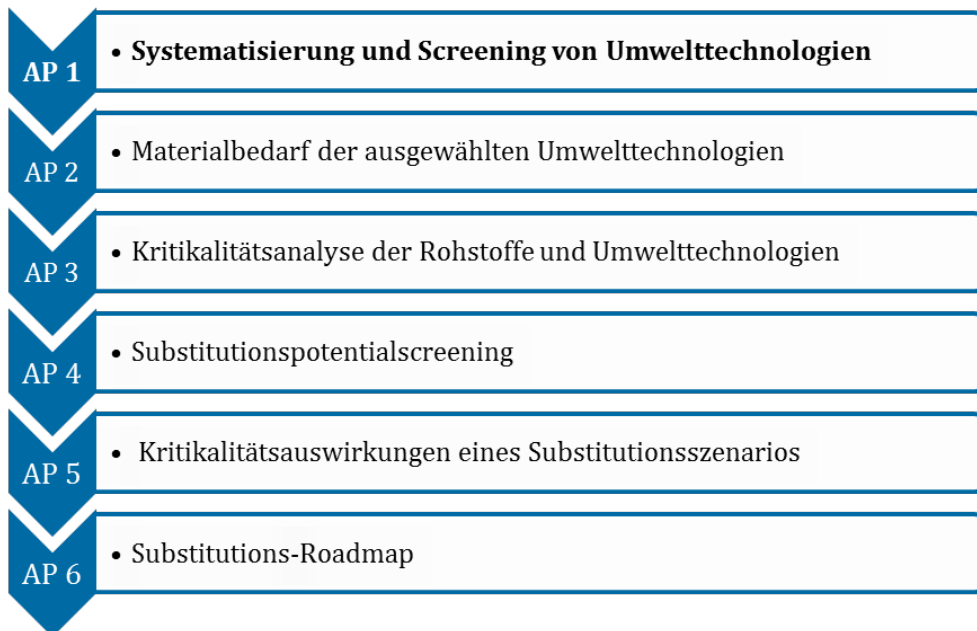
Dessau-Roßlau, Januar 2019

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den
Autorinnen und Autoren.

Einordnung des Arbeitsberichtes 1:

Das Projekt SubSKrit gliedert sich in sechs Arbeitspakete. Diese sechs Hauptprojektphasen bauen aufeinander auf, wie in folgender Abbildung dargestellt.

Überblick über die Hauptprojektphasen in SubSKrit:



Der vorliegende Arbeitsbericht 1 ist der erste Arbeitsbericht im Rahmen des Projektes. Er umfasst die Systematik für die Auswahl von Umwelttechnologien und Bewertungsmethodik zur Auswahl von 40 prioritären Umwelttechnologien, die im weiteren Projektverlauf analysiert werden. Ebenso werden die Grundannahmen der Szenarien „BAU“ (Business-As-Usual) und „Green-Economy“ dargelegt.

Anmerkung: Der Arbeitsbericht stellt den aktuellen Stand zur Abgabe des Berichtes (Mai 2015) dar.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
1 Zusammenstellung von 115 Umwelttechnologien	9
1.1 Definition: Umwelttechnologien	9
1.2 Systematik für die Auswahl von Umwelttechnologien	9
1.3 Screening von Umwelttechnologien	10
2 Bewertungsmethodik zur Auswahl von 40 Umwelttechnologien	12
2.1 Schritt 1: Vergabe Bewertungspunkte nach drei Auswahlkriterien A, B, C	12
2.2 Schritt 2: Wichtung der Auswahlkriterien	14
2.3 Schritt 3: Prüfung der Robustheit des Rankings der Umwelttechnologien durch Sensitivitätsanalyse	15
3 Ausgewählte 40 Umwelttechnologien für die weitere Bearbeitung in SubSKrit	16
3.1 Leitmarkt Umweltfreundliche Energien & Speicherung	17
3.2 Leitmarkt Energieeffizienz	22
3.3 Leitmarkt Rohstoff- & Materialeffizienz	31
3.4 Leitmarkt Nachhaltige Mobilität	34
3.5 Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft	37
3.6 Leitmarkt Kreislaufwirtschaft	40
4 Eckpunkte für Szenarien in SubSKrit	41
5 Annex zu Kapitel 1: Tabellarische Übersicht der 115 Umwelttechnologien	45
6 Annex zu Kapitel 3: Bewertung der 115 Umwelttechnologien nach Sensitivitätsschritt	64
7 Quellenverzeichnis	70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Segmentierung der Umwelttechnologien nach Leitmärkten	10
Abbildung 2-1:	Globales Marktvolumen der Leitmärkte in 2013 (Auszug aus GreenTech 4.0)	13
Abbildung 4-1:	Startpunkt und Grundannahmen der Szenarien (BAU-Szenario)	43
Abbildung 4-2:	Startpunkt und Grundannahmen der Szenarien (Green Economy- Szenario)	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	A: Bewertungskriterium relatives Umweltentlastungspotential.....	12
Tabelle 2-2:	B: Bewertungskriterium globale Marktdynamik (Zeitraum 2013 - 2025)	13
Tabelle 2-3:	C: Bewertungskriterium Relevanz für deutsche Wirtschaft bis 2025.....	14
Tabelle 2-4:	Wichtungsfaktoren der Auswahlkriterien	14
Tabelle 2-5:	Beispielrechnung für Umwelttechnologie X.....	14
Tabelle 2-6:	Sensitivitätsanalyse für Beispielrechnung für Umwelttechnologie X.....	15
Tabelle 2-7	Auswahlliste der 40 Umwelttechnologien.....	16
Tabelle 4-1:	Faktoren der Szenarien.....	42
Tabelle 5-1:	Übersicht der 115 Umwelttechnologien	45
Tabelle 6-1:	Übersicht der Bewertung der 115 Umwelttechnologien nach dem Sensitivitätsschritt	64

Abkürzungsverzeichnis

CAES	Compressed Air Energy Storage - Druckluftspeicher
CBA	Cost-benefit analysis
CFL	Kompaktfluoreszenzlampe
CSP	Concentrated Solar Power
EGS	Ecosystem Goods and Services
EU	Europäische Union
GuD	Gas- und Dampfturbinen
HELCOM	Kommission zum Schutz der Meeresumwelt im Ostseeraum (Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area).
HTS	High temperature superconductor – Hochtemperatursupraleiter
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
LED	Light emitting diode - Leuchtdiode
Li	Lithium
MVA	Müllverbrennungsanlage
OLED	Organic light emitting diode – organische Leuchtdiode
PHEV	Plugin-Hybrid-Elektrofahrzeug
RFID	Radio Frequency Identification
UT	Umwelttechnologie

1 Zusammenstellung von 115 Umwelttechnologien

In einem ersten Schritt des Forschungsprojektes wurden voraussichtlich bedeutsame Umwelttechnologien für Deutschland zusammengestellt. Dabei wurde folgende Arbeitsdefinition zugrunde gelegt.

1.1 Definition: Umwelttechnologien

Unter Umwelttechnologien werden generell Technologien verstanden, mit denen eine signifikante Umweltverbesserung durch eine verringerte Umweltbeanspruchung gegenüber einer vergleichbaren Technologie einhergeht. Bei der Verringerung der Umweltbeanspruchung kann die Umwelt entweder als Aufnahmemedium, wenn ein verringerter Schadstoffausstoß vorliegt, oder als Entnahmemedium entlastet werden, wenn eine verringerte Ressourcenentnahme erfolgt.

Grundlage der Auswahlmethodik der zu untersuchenden Umwelttechnologien ist eine weit gefasst Definition, die Schippl et al. 2009 verwenden, wonach diese ihren Ursprung in der Ausrichtung als Umweltschutztechnologien haben.

Demnach ist Gegenstand des Vorhabens:

„Technologien, Güter und Dienstleistungen, die der Vermeidung, Verminderung und Beseitigung von Umweltbeeinträchtigungen sowie der Wiederherstellung bereits geschädigter Umweltfunktionen dienen und somit einen Beitrag zu einem nachhaltigen Umgang mit den natürlichen Ressourcen leisten“ (Schippl et al. 2009).

Davon ausgehend werden diese nach Coenen et al. 1996 eingeteilt in:

- ▶ Techniken des nachsorgenden Umweltschutzes, wie z. B. Abfallbehandlung,
- ▶ Techniken des kompensatorischen Umweltschutzes, z. B. Erosionsschutz,
- ▶ Techniken des vorsorgenden Umweltschutzes, z. B. Erhöhung der Material- und Ressourceneffizienz sowie
- ▶ Techniken der Umweltbeobachtung, z. B. Überwachung der Umweltmedien.

Für das Vorhaben ist diese Einteilung zu grob. Daher wurden weitere Differenzierungen vorgenommen, die es erlauben, eine Umwelttechnologieebene zu wählen, die die Analyse der Kritikalität von Rohstoffen für Umwelttechnologien erlaubt.

1.2 Systematik für die Auswahl von Umwelttechnologien

Als sinnvoller und konsistenter Rahmen für die Auswahl von Umwelttechnologien wurde eine Einteilung in Leitmärkte nach dem Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland „GreenTech made in Germany 4.0“ vorgenommen (BMUB 2014). Als Leitmärkte werden wesentliche Teilbereiche der Umwelttechnologien bezeichnet. In diesen Teilbereichen sind ökonomische Belange und ökologische Herausforderungen besonders eng verknüpft. Auf die Leitmärkte und die einzelnen Umwelttechnologien wird in Kapitel 3 näher eingegangen.

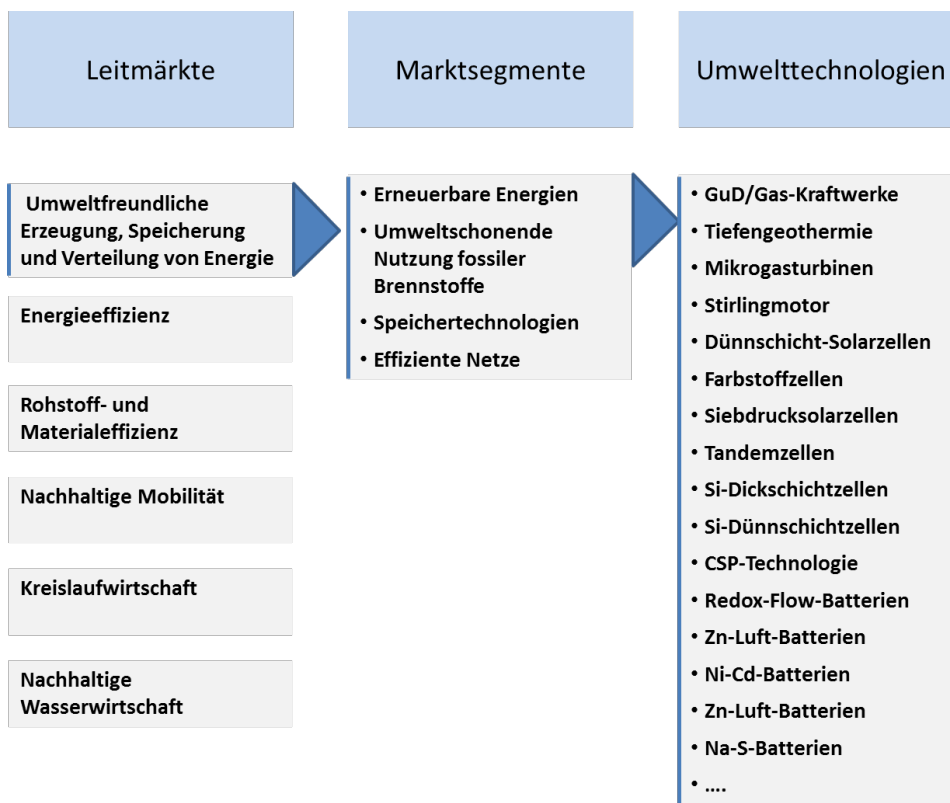
Die Umwelttechnologien werden in sechs Leitmärkte unterteilt:

1. Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie: Erneuerbare Energien, umweltschonende Nutzung fossiler Brennstoffe, Speichertechnologien, effiziente Netze
2. Energieeffizienz: energieeffiziente Produktionsverfahren, energieeffiziente Gebäude, Energieeffizienz von Geräten, branchenübergreifende Komponenten
3. Rohstoff- und Materialeffizienz: materialeffiziente Produktionsverfahren, Querschnittstechnologien, nachwachsende Rohstoffe
4. Nachhaltige Mobilität: alternative Antriebstechnologien, erneuerbare Kraftstoffe, Technologien zur Effizienzsteigerung, Verkehrsinfrastruktur und Verkehrssteuerung

5. Kreislaufwirtschaft: Abfallsammlung, -transport und -trennung, stoffliche Verwertung, energetische Verwertung, Abfalldeponierung
6. Nachhaltige Wasserwirtschaft: Wassergewinnung und -aufbereitung, Wassernetz, Abwasserreinigung, Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung

Die Einteilung in diese Leitmärkte hat mehrere Vorteile. Zum einen kann auf eine bestehende und akzeptierte Systematik aufgesetzt werden. Zum anderen umfassen die sechs Leitmärkte bedeutsame Umwelttechnologien. Darüber hinaus liegen für diese Märkte aggregierte und für verschiedene Marktsegmente und Technologielinien spezifische und aktuelle Marktdaten sowie prospektive Einschätzungen zu ihrer Marktdynamik vor.

Abbildung 1-1: Segmentierung der Umwelttechnologien nach Leitmärkten



Quelle: Eigene Darstellung

1.3 Screening von Umwelttechnologien

Auf Basis der Systematik wurden Umwelttechnologien aus aktuellen Studien und politischen Leitdokumenten identifiziert und in einer Matrix für ein Screening erfasst.

Neben dem Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland GreenTech made in Germany 4.0 (BMUB 2014) handelt es sich um folgende Leitdokumente, die ausgewertet wurden:

- ▶ Green Tech Made in Germany 3.0, Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland (BMUB 2012)
- ▶ Kritische mineralische Ressourcen und Stoffströme bei der Transformation des deutschen Energieversorgungssystems (WI 2014)
- ▶ Critical Metals in the Path towards the Decarbonisation of the EU Energy Sector (JRC 2013)
- ▶ Future Metal Demand from Photovoltaic Cells and wind Turbines, Investigating the Potential Risk of Disabling a Shift to Renewable Energy Systems (European Parliament 2011)
- ▶ Materials critical to the energy industry (Achzet et al. 2011)

- ▶ Masterplan Umwelttechnologien (BMU/BMBF 2008)
- ▶ Energy Critical Elements: Securing Materials for Emerging Technologies (American Physical Society 2011)
- ▶ Critical Metals in the Path towards the decarbonisation of the EU Energy Sector (JRC 2013)
- ▶ Substitution of Critical Raw Materials (CRM_InnoNet 2013)
- ▶ Rohstoffe für Zukunftstechnologien (BMW 2009)
- ▶ Ressourcenschonung durch ausgewählte grüne Zukunftstechnologien (NABU 2013)

Als Ergebnis der Auswertung dieser Leitdokumente konnten 115 Umwelttechnologien identifiziert werden, die als voraussichtlich bedeutsam einzustufen sind. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass der tatsächliche Beitrag zu Umweltverbesserung und Ressourcenschonung der identifizierten Technologien von den jeweiligen Rahmenbedingungen ihrer Nutzung abhängt (z. B. Cloud Computing). Die Technologien tragen keinesfalls unter jedweden Umständen zur Umweltverbesserung und Ressourcenschonung bei. Vielmehr besitzen sie lediglich ein signifikantes Potential zur Umweltverbesserung und Ressourcenschonung.

Bei den Technologien wurden sowohl konkrete Technologien (z. B. LED) als auch Konzepte oder Felder (z. B. thermoelektrische Energiewandlung) betrachtet, außerdem wurden Produkte, Komponenten von Produkten, Maschinen oder Anlagen sowie Verfahren (z. B. automatische Sammel- und Stofftrennverfahren) und Systemlösungen (z. B. Cloud Computing) berücksichtigt.

Es erfolgte eine Clusterung der Technologien soweit wie möglich, ggf. bis zur „übergreifenden“ Technologieebene, so lange eine hinreichende Homogenität gewährleistet war.

Eine trennscharfe Unterscheidung der einzelnen Technologiekategorien ist nicht immer möglich. Umwelttechnologien stellen vielfach eine Querschnittstechnologie dar, mit zahlreichen Überschneidungen zu anderen Technologien etwa aus dem Bereich des Maschinen- und Anlagenbau, der Elektrotechnik, der Chemieindustrie oder dem Fahrzeugbau.

Außerdem besteht erheblicher Spielraum in der Wahl der Ebene (z. B. Windenergie oder bestimmte Technologielinien unterschieden nach Getriebe- und Generatorenarten), der Definition und Abgrenzung von Umwelttechnologien.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass aus forschungspragmatischen Gründen keine umfassende Auswahlmethodik entwickelt wurde und daher die ausgewählten Technologien keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Da die Technologieauswahl aber auf der Grundlage einer breiten Literaturanalyse, die wesentliche Referenzdokumente umfasst, erfolgte, ist davon auszugehen, dass das Spektrum an Umwelttechnologien im Wesentlichen gut erfasst wurde.

Die Zusammenstellung der Umwelttechnologien wurde auf dem Kick-off-Meeting des Projekts im Umweltbundesamt am 16.10.2014 vorgestellt und diskutiert. Auf dieser Grundlage wurde die Zusammenstellung einer Liste möglicher relevanter Umwelttechnologien mehrstufig mit dem Umweltbundesamt abgestimmt, so dass eine Liste im Umfang von 115 Umwelttechnologien vorliegt, die die Basis für eine Priorisierung von 40 Umwelttechnologien bildet.

Die Umwelttechnologieliste ist im Anhang (Annex zu Kapitel 1) dokumentiert.

2 Bewertungsmethodik zur Auswahl von 40 Umwelttechnologien

Die Methodik zur Auswahl von 40 Umwelttechnologien (aus einer Liste von 115 Umwelttechnologien) wird in drei Schritten vollzogen:

- ▶ Schritt 1: Vergabe von Bewertungspunkten nach drei Auswahlkriterien
 - A: Umweltentlastungspotential
 - B: globale Marktdynamik
 - C: Relevanz für die deutsche Wirtschaft
- ▶ Schritt 2: Wichtung der Auswahlkriterien
- ▶ Schritt 3: Sensitivitätsanalyse

2.1 Schritt 1: Vergabe Bewertungspunkte nach drei Auswahlkriterien A, B, C

Im ersten Schritt werden den Umwelttechnologien Bewertungspunkte zugeteilt nach den Kriterien Umweltentlastungspotential, globaler Marktdynamik und Relevanz für die deutsche Wirtschaft. Die Bewertungspunkte liegen dabei zwischen 1 (Ausprägung des Kriteriums sehr gering) bis 5 (Ausprägung des Kriteriums sehr hoch) wie in der folgenden Tabelle für das Kriterium relatives Umweltentlastungspotential dargestellt.

Kriterium A: Relatives Umweltentlastungspotential

Tabelle 2-1: A: Bewertungskriterium relatives Umweltentlastungspotential

Relatives Umweltentlastungspotential	Bewertungspunkte	Bewertungssicherheit
Sehr gering ¹	1	
Gering ²	2	
Mittel ³	3	
Hoch ⁴	4	
Sehr Hoch ⁵	5	

Entweder lässt sich direkt gegenüber einer konventionellen Technologie ein relatives Umweltentlastungspotential quantifizieren. Da viele Umwelttechnologien nur primär eine Wirkungskategorie (z. B. Treibhausgasemissionen, Säurebildneremissionen etc.) adressieren, bezieht sich das relative Umweltentlastungspotential immer auf diese Wirkungskategorie; werden mehrere Wirkungskategorien gleichzeitig adressiert, werden – soweit quantifizierbar – die prozentualen Entlastungen addiert für die Bewertungspunkte. Bei gegenläufigen Effekten (z. B. Erhöhung Energieverbrauch gegenüber Reduzierung Schadstoffemissionen) wird nach Abwägung der Effekte die relevantere Wirkungskategorie herangezogen bzw. eine qualitative Abwägung vorgenommen. Für die Auswahl der Wirkungskategorien selbst wird sich an dem Stand der Ökobilanzdiskussion orientiert werden.

Oder es wird alternativ bei fehlender direkter Quantifizierungsmöglichkeit der Beitrag der Umwelttechnologie zum systemischen Umweltentlastungspotential (qualitative Bewertung) abgeschätzt.

¹ bei möglicher Quantifizierung: bis minus 10%

² bei möglicher Quantifizierung: bis minus 25%

³ bei möglicher Quantifizierung: bis minus 50%

⁴ bei möglicher Quantifizierung: bis minus 75%

⁵ bei möglicher Quantifizierung: >75%

Für die Bewertungssicherheit sind die drei Einstufungen unsicher, bedingt sicher und sicher für jede Bewertung einer Umwelttechnologie zu vergeben. Diese Einstufungen sind wichtig für den letzten Schritt 3 im Laufe des Auswahlprozesses.

Kriterium B: Globale Marktdynamik

Tabelle 2-2: B: Bewertungskriterium globale Marktdynamik (Zeitraum 2013 - 2025)

Globale Marktdynamik bis 2025	Bewertungspunkte	Bewertungssicherheit
Sehr gering	1	
Gering	2	
Mittel	3	
Hoch	4	
Sehr hoch	5	

Basisquelle für das Bewertungskriterium B wird der neue GreenTech made in Germany 4.0 - Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland sein: da die 115 für SubSKrit ausgewählten Umwelttechnologien unter die folgenden 6 Leitmärkte analog zum GreenTech 4.0 Atlas zugeordnet sind, ergeben sich aus dieser differenzierten Quelle für das Bewertungskriterien B sehr gute und wichtige Informationen zur Bewertung: aus dem GreenTech 4.0 Atlas werden hierfür die beiden Kriterien

- ▶ Globales Marktvolumen
- ▶ Globale Marktdynamik

herangezogen.

Abbildung 2-1: Globales Marktvolumen der Leitmärkte in 2013 (Auszug aus GreenTech 4.0)

Auszug aus GreenTech 4.0: Globales Marktvolumen 2013 (2536 Mrd. Euro)	
Davon:	
▶ Energieeffizienz	825 Milliarden Euro
▶ Nachhaltige Wasserwirtschaft	505 Milliarden Euro
▶ Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energien	422 Milliarden Euro
▶ Rohstoff- und Materialeffizienz	367 Milliarden Euro
▶ Nachhaltige Mobilität:	315 Milliarden Euro
▶ Kreislaufwirtschaft	102 Milliarden Euro

Quelle: BMUB 2014

Für die Bewertungssicherheit sind die drei Einstufungen unsicher, bedingt sicher und sicher für jede Bewertung einer Umwelttechnologie zu vergeben. Diese Einstufungen sind wichtig für den letzten Schritt 3 im Laufe des Auswahlprozesses.

Kriterium C: Relevanz für die deutsche Wirtschaft

Tabelle 2-3: C: Bewertungskriterium Relevanz für deutsche Wirtschaft bis 2025

Relevanz für deutsche Wirtschaft bis 2025	Bewertungspunkte	Bewertungssicherheit
Sehr gering	1	
Gering	2	
Mittel	3	
Hoch	4	
Sehr hoch	5	

Basisquelle für das Bewertungskriterium C wird ebenfalls der neue GreenTech made in Germany 4.0 - Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland sein. Es werden hier die beiden Kriterien

- ▶ Marktentwicklung in Deutschland
- ▶ Trend Weltmarktanteil

herangezogen.

Für die Bewertungssicherheit sind die drei Einstufungen unsicher, bedingt sicher und sicher für jede Bewertung einer Umwelttechnologie zu vergeben. Diese Einstufungen sind wichtig für den letzten Schritt 3 im Laufe des Auswahlprozesses.

2.2 Schritt 2: Wichtung der Auswahlkriterien

Die drei Auswahlkriterien erhalten verschiedene Wichtungsfaktoren zugewiesen. Das relative Umweltentlastungspotential erhält nach Abstimmung mit dem UBA insgesamt 50% der möglichen Wichtungspunkte, da die anderen beiden Kriterien ‚globale Marktdynamik‘ und ‚Relevanz für die deutsche Wirtschaft‘ ökonomische Bewertungskriterien sind. Die ökonomischen Kriterien erhalten jeweils den Wichtungsfaktor 25.

Tabelle 2-4: Wichtungsfaktoren der Auswahlkriterien

Auswahlkriterium	Wichtungsfaktor
A Relatives Umweltentlastungspotential	50
B Globale Marktdynamik bis 2025	25
C Relevanz für deutsche Wirtschaft bis 2025	25

In der folgenden Tabelle ist eine Beispielrechnung für eine Umwelttechnologie aufgeführt.

Tabelle 2-5: Beispielrechnung für Umwelttechnologie X

Auswahlkriterium	Bewertungspunkte	Wichtungsfaktor	Bewertung*
Relatives Umweltentlastungspotential	1	50	50
Globale Marktdynamik bis 2025	3	25	75
Relevanz für deutsche Wirtschaft bis 2025	2	25	50
Bewertung gesamt			175

*Bewertung = Bewertungspunkte x Wichtungsfaktor

Im Ergebnis wird die Liste der 115 Umwelttechnologien von Platz 1 bis Platz 115 gerankt; die minimale Punktzahl beträgt 100; die max. mögliche Punktzahl beträgt 500.

2.3 Schritt 3: Prüfung der Robustheit des Rankings der Umwelttechnologien durch Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse wird zur Prüfung der Robustheit des Rankings der Umwelttechnologien durchgeführt.

Tabelle 2-6: Sensitivitätsanalyse für Beispielrechnung für Umwelttechnologie X

Auswahlkriterium	Bewertungspunkte	Wichtungsfaktor	Bewertung*
Relatives Umweltentlastungspotential	2	50	100
Globale Marktdynamik bis 2025	3	25	75
Relevanz für deutsche Wirtschaft bis 2025	2	25	50
Bewertung gesamt			225

*Bewertung = Bewertungspunkte x Wichtungsfaktor

Nach Bewertungsschritt 2 ist damit zu rechnen, dass es einerseits eine klare Spitzengruppe an Umwelttechnologien geben wird, die nach den Rankingpunkten und -positionen eindeutig bei den verbleibenden 40 Umwelttechnologien eingestuft werden und andererseits eine Gruppe, die eindeutig nicht in die 40 ausgewählten Umwelttechnologien gelangen können.

Es wird wahrscheinlich aber ein breites Mittelfeld mit entsprechenden Grenzfällen geben. Daher wird für diese Grenzfälle Schritt 3 durchgeführt: Wichtig ist hier die Berücksichtigung der Bewertungssicherheit bei allen drei Bewertungskriterien bzgl. der jeweiligen Umwelttechnologien: unsicher, bedingt sicher und sicher. Vor allem Bewertungen mit unsicher und ggf. auch bedingt sicher bieten sich für Schritt 3 an.

Die Ergebnisse dieses Schrittes 3 und die damit einhergehende Veränderung des Rankings der 115 Umwelttechnologien von Platz 1 bis Platz 115 wurden transparent im Rahmen eines Projekttreffen im UBA vorgestellt und diskutiert. Als Ergebnis wurde eine einvernehmliche Auswahl der 40 prioritären Umwelttechnologien erreicht.

Die abschließende Bewertung der 115 betrachteten Umwelttechnologien nach der Sensitivitätsanalyse ist in Annex zu Kapitel 3 ausgewiesen.

3 Ausgewählte 40 Umwelttechnologien für die weitere Bearbeitung in SubSKrit

Die 40 am höchsten gerankten Umwelttechnologien wurden auf Basis der Bewertungsmethodik nach Kapitel 2 für die weitere Bearbeitung in diesem Projekt ausgewählt. Das Bewertungsergebnis nach der Sensitivität ist im Kapitel 6 "Annex zu Kapitel 3" detailliert aufgelistet.

Folgende 40 Umwelttechnologien wurden für weitere Bearbeitung ausgewählt (. Sie sind in folgender Auflistung nach Leitmärkten und Umwelttechnologie-Nummer (UT Nr.) sortiert. Die Nummerierung ergibt sich aus der ursprünglichen Liste von 115 Umwelttechnologien wie in Arbeitsbericht 1 dargestellt.

Tabelle 2-7 Auswahlliste der 40 Umwelttechnologien

UT Nr.	UT Name	Leitmarkt
2	Kompressoren	Energieeffizienz
5	RFID	Energieeffizienz
8	Aerogele	Energieeffizienz
12	Schwermetallfreier Korrosionsschutz für Metalle	Energieeffizienz
13b	Membranelektrolyse Chlor-Alkali mit Sauerstoffverzehr Kathode	Energieeffizienz
16	Celitement	Energieeffizienz
24	Grüne Rechenzentren	Energieeffizienz
26	OLED	Energieeffizienz
27	weiße LED	Energieeffizienz
33	Automatische Stofftrennverfahren	Kreislaufwirtschaft
35	Pedelecs	Nachhaltige Mobilität
37	Hybridmotoren	Nachhaltige Mobilität
38	Elektroantriebsmotoren	Nachhaltige Mobilität
39	Karosserie	Nachhaltige Mobilität
40	Hocheffiziente Flugzeugtriebwerke	Nachhaltige Mobilität
41	Leichtbau - Titan und Sc-Airframe	Nachhaltige Mobilität
43	Fahrzeug-Abgas-Katalysator	Nachhaltige Mobilität
48	Dezentrale Wasseraufbereitung	Nachhaltige Wasserwirtschaft
49b	Wassereffizienztechnologien	Nachhaltige Wasserwirtschaft
50+51	Membrantechnik	Nachhaltige Wasserwirtschaft
52	Phosphorrückgewinnung	Nachhaltige Wasserwirtschaft
53	Industriekatalysatoren	Rohstoff- und Materialeffizienz
56	Bleifreie Lote	Rohstoff- und Materialeffizienz
60	Hochleistungs-Permanentmagnete: übrige Anwendungen	Rohstoff- und Materialeffizienz
67	Nanobeschichtung von Oberflächen	Rohstoff- und Materialeffizienz

UT Nr.	UT Name	Leitmarkt
68	Precision Farming	Rohstoff- und Materialeffizienz
70	Me-Schlackenaufbereitung	Rohstoff- und Materialeffizienz
83	Kraftwerke – GuD/Gas	Umweltfreundliche Energien und Speicherung
87	Dünnschicht-Solarzellen	Umweltfreundliche Energien und Speicherung
90	Tandemzellen	Umweltfreundliche Energien und Speicherung
91	Si-Dickschichtzellen	Umweltfreundliche Energien und Speicherung
93	CSP-Technologie	Umweltfreundliche Energien und Speicherung
98	Li-Ionen Batterien für PHEV	Umweltfreundliche Energien und Speicherung
100	Lithium-Ionen-Stromspeicher	Umweltfreundliche Energien und Speicherung
105	Speicherkraftwerke - Pumpspeicher- kraftwerk	Umweltfreundliche Energien und Speicherung
106	Permanentmagnet-Generator (syn- chron) - high-speed (Windkraft)	Umweltfreundliche Energien und Speicherung
107	Synchron-Generatoren	Umweltfreundliche Energien und Speicherung
108	Asynchron-Generatoren in WKA	Umweltfreundliche Energien und Speicherung
110	Reluktanzgeneratoren	Umweltfreundliche Energien und Speicherung
111	HTS-Generatoren	Umweltfreundliche Energien und Speicherung

In den folgenden Unterkapiteln sind die ausgewählten Umwelttechnologien innerhalb der Leitmärkte nach der laufenden Nummer sortiert. Es werden eine kurze Beschreibung, wesentliche Quellen und die Begründung für die Auswahl dargelegt.

Eine detailliertere Beschreibung der ausgewählten Umwelttechnologien ist in Arbeitsbericht 2 enthalten.

3.1 Leitmarkt Umweltfreundliche Energien & Speicherung

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 83. „Kraftwerke – GuD/Gas“

Beschreibung der Umwelttechnologie

GuD-Kraftwerke nutzen Erdgas zur Erzeugung von Strom (und Wärme für die Nah- oder Prozesswärmeversorgung). Wesentlich ist die Kombination einer Gas- und einer Dampfturbine. Der Wirkungsgrad von GuD-Kraftwerken wird durch die Güte seiner Einzelkomponenten bestimmt. Siemens hat eine Kombination von Gas- und Dampfturbine gebaut, die einen Wirkungsgrad-Rekord von 60% (netto) erreicht. Diese Turbinen können sehr flexibel reagieren, was bei einem hohen Anteil von erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung besonders relevant ist.

Wesentliche Quellen

BMUB 2014

Hauptgründe für die Auswahl

Essentiell zur sicheren und CO₂-armen Bereitstellung von Regelenergie mit Blick auf Ausbau regenerativer Energien, auch zur Verwendung erneuerbar erzeugter Erdgas-Substitute; sehr hohe nationale und globale Marktdynamik mit starker Position deutscher Unternehmen.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 87. „Dünnschicht-Solarzellen“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Dünnschicht-Solarzellen bestehen aus unterschiedlichen Schichten von photovoltaisch aktivem Material wie Cadmium-Tellurid, Gallium-Arsenid oder Kupfer-Indium-Selenid. Die Schichten werden durch Verdampfungs- und Ionisierungsprozesse auf einen Träger aufgebracht und mit einer Glasplatte abgedeckt. Der Wirkungsgrad liegt zwischen 10 und 15% je nach Qualität und Typ (im Labor bis 20,1%). Ihre Herstellung ist einfacher und ressourceneffizienter als die von kristallinen Siliziumzellen.

Wesentliche Quellen

BMWi 2009; NABU 2013; BMUB 2012; RESTRA 2014; BINE 2011; Photovoltaik.eu 2013; FZ Jülich 2012; BMUB 2014

Hauptgründe für die Auswahl

Wichtiger Beitrag zur Erzeugung erneuerbarer Energie, da recht hoher Wirkungsgrad bei geringerem Materialeinsatz als andere Solarzellen. Sehr hohe nationale und globale Marktdynamik bei „Technologieführerschaft“ deutscher Unternehmen.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 90. „Tandemzellen“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Tandemzellen enthalten mehrere Schichten von transparenten Solarzellen, die aufgrund ihrer Dotierung selektiv verschiedene Bandbreiten der Solarstrahlung nutzen. Hierdurch - und durch Verwendung von Fresnell-Konzentratoren - können Wirkungsgrade von fast 50% erreicht werden. Ihre Herstellung ist jedoch wesentlich aufwendiger als die konventioneller Solarzellen.

Wesentliche Quellen

BMUB 2012; RESTRA 2014; Berliner Impulse 2014; Elektronik Praxis 2012; ISE 2013; ISE 2013b; MIT 2007

Hauptgründe für die Auswahl

Sehr hoher Wirkungsgrad durch Nutzbarmachung eines breiten Lichtspektrums, daher Marktführerschaft in extraterrestrischen Anwendungen; Dynamik außerhalb der Raumfahrt könnte mit sinkenden Herstellungskosten stark zunehmen; starke Position Deutschlands in der Forschung.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 91. „Si-Dickschichtzellen“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Für Si-Dickschichtzellen wird kristallines Silizium verwendet. Die Herstellung ist aufwändig und mit hohen Verlusten beim Waferschnitt verbunden. Sie haben jedoch eine hohe Lebensdauer und Lichtausbeute (bis 20%). Si-Dickschichtzellen sind sehr robust, und es ist viel Erfahrung mit ihrer Produktion vorhanden. Daher sind sie breit einsetzbar und machen heute den größten Anteil der verbauten

Photovoltaik aus. Jedoch sind in den erzielbaren Wirkungsgraden keine großen Fortschritte mehr zu erwarten.

Wesentliche Quellen

NABU 2013; RESTRA 2014; TU Berlin 2008; ISE 2014

Hauptgründe für die Auswahl

Breiter Anwendungsbereich bei der Erzeugung erneuerbarer Energie, da sehr robust und viel Erfahrung in der Produktion – macht 80% der Produktion von Photovoltaik aus. Auch in Zukunft wird ein hoher Marktanteil erwartet.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 93. „CSP-Technologie“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Concentrated Solar Power Technologie ist die kraftwerksmäßige Nutzung der Solarstrahlung. In solarthermischen Kraftwerken werden zum einen rinnenförmige Spiegel (Parabolrinnenkollektoren) eingesetzt, die wie riesige Brenngläser das Sonnenlicht bündeln und auf einen Receiver lenken. In diesem Receiver zirkuliert ein hitzebeständiges Thermoöl (neuerdings auch Wasser), das auf Temperaturen bis zu 400 Grad Celsius aufgeheizt wird. Dieses Arbeitsmedium transportiert die Energie in ein Turbinenhaus, wo über einen Wärmetauscher Dampf erzeugt wird. Der Dampf wiederum treibt eine Turbine zur Stromerzeugung an. Eine andere Form nutzt Spiegel, die das Sonnenlicht auf einen zentralen Spiegel fokussieren, der seinerseits die Energie auf ein Trägermedium überträgt.

Wesentliche Quellen

BMUB 2012; BMWI 2009; WI 2014; RESTRA 2014; BMUB 2014; BINE 2013; DPG 2012; ISE 2013; Greenpeace 2009

Hauptgründe für die Auswahl

Hohes Umweltentlastungspotential bei Möglichkeit der kurzfristigen Energiespeicherung (auch über Nacht); anders als die meisten Photovoltaik-Optionen nicht von Seltenen Erden abhängig. Auf Grund der notwendigen großen Anlagen jedoch begrenzte Anwendungsgebiete in sonnenreichen Regionen. Standorte werden eher außerhalb Deutschlands liegen, jedoch gute Positionen deutscher Firmen in der Technologieentwicklung und -bereitstellung.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 98. „Li-Ionen Batterien für Fahrzeuge“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Elektrizitätsspeicher mit höchster Leistungs- und Energiedichte für Fahrzeuge. Sie sind aus heutiger Sicht das aussichtsreichste Fahrzeug-Batteriesystem. Welches Lithiumsystem sich für Elektrofahrzeuge durchsetzen wird, ist noch nicht absehbar. Die Leistungsfähigkeit der Batterien ist noch nicht ausgereizt.

Wesentliche Quellen

BMWI 2009, RESTRA 2014, JRC 2013, NABU 2013, BMUB 2014, UBA 2007, Fraunhofer 2009, Processnet o.J.

Hauptgründe für die Auswahl

Wird als mittelfristig alternativlos im Hinblick auf elektrische Speicher in Fahrzeugen gesehen. Zusammen mit der angenommenen Verbreitung von Elektrofahrzeugen national und global sehr hohe Marktdynamik. Starke Forschungsposition Deutschlands.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 100. „Lithium-Ionen-Stromspeicher“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Stromspeicherung mittels Li-Ionen Batteriespeicher: Die Lithium-Ionen-Akkus liefern ihre Leistung innerhalb von Sekundenbruchteilen und stellen damit das Regelpotential einer konventionellen 50 MW Turbine bereit. Dadurch wird Kapazität frei, die für Strom aus Wind und Sonne genutzt werden kann. Li-Ionen-Speicher weisen dabei die höchste Effizienz aller elektrochemischen Energiespeicher auf. Damit können sie einen wichtigen Beitrag bei der Bereitstellung schneller Regelenergie liefern.

Wesentliche Quellen

BMUB 2014, UBA 2007, Schmid 2014, Processnet o.J.

Hauptgründe für die Auswahl

Höchster Wirkungsgrad elektrochemischer Speicher bei Bereitstellung sehr schneller Regelenergie; großer Markt in Deutschland (insb. durch die starke Verbreitung von Photovoltaikanlagen) und weltweit bei starker Position deutscher Unternehmen.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 105. „Speicherkraftwerke“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Pumpspeicherkraftwerke sind die klassische Form der Energiespeicherung, da hier Wasser als leicht handhabbares Medium genutzt wird. Neben den Talsperren werden auch künstliche Becken, Bergbauschächte oder natürliche Höhlen genutzt. Weitere Möglichkeiten sind Druckluftspeicher (CAES), die mit Luft arbeiten. Hierzu werden beispielsweise unterirdische Kavernen genutzt. CAES-Anlagen werden häufig in Kombination mit Gasturbinen ausgelegt. Bei den Speicherkraftwerken sind die langfristige, verlustarme Speicherung und die Schwarzstartfähigkeit gemein.

Wesentliche Quellen

WI 2014; NABU 2013; Fraunhofer 2009; BMUB 2014; UBA 2007

Hauptgründe für die Auswahl

Sehr große und günstige Langzeitspeicherkapazitäten bei hohen Wirkungsgraden und damit essentiell in einem auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystem; allerdings weltweit nur begrenzte Standorte, bei einem absolut gesehen großem Markt daher insbesondere in Deutschland nur geringes Ausbaupotential – Forschung in Richtung CAES.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 106. „Permanentmagnet-Generator“

Beschreibung der Umwelttechnologie

In Permanentmagnet-Generatoren erfolgt der Aufbau des Magnetfeldes mittels Permanentmagneten. Sie finden sich in verschiedenen Anwendungsbereichen: Windkraftanlagen, Dieselgenerator-Anlagen, Gasturbinengenerator-Anlagen, kleinen Wasserkraftwerken, Kraftwärmekopplungs-Anlagen, Hybridantrieben. Sie weisen sehr hohe Wirkungsgrade auf, sind aber abhängig von Seltenen Erden.

Wesentliche Quellen

WI 2014; NABU 2013; RESTRA 2014; Processnet o.J.; BaWü 2014; Almeida et al 2012; IWES 2011; BMUB 2014

Hauptgründe für die Auswahl

Bilden mit ihren hohen Wirkungsgraden als Motor wichtige Grundlage bei der Energieeinsparung und sind als Generator essentieller Baustein vieler Energieerzeugungstechnologien. Sehr hohes nationales und globales Wachstum bei schon großem Markt erwartet.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 107. „Synchron-Generatoren“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Generatoren zur Stromproduktion mit Läufer, die mit dem durch die Netzfrequenz vorgegebenen Drehfeld synchron umlaufen. Sie können permanenterregt oder elektrisch erregt ausgeführt werden. Der hohe elektrische Wirkungsgrad bleibt auch im Teillastbetrieb hoch. Jedoch sind sie energieaufwendig in der Herstellung.

Wesentliche Quellen

WI 2014; NABU 2013; RESTRA 2014; dena 2010, EA o.J.; IWES 2011; BMUB 2014

Hauptgründe für die Auswahl

Hoher Wirkungsgrad auch im Teillastbetrieb. Noch recht geringer Marktanteil (bei einem absolut sehr großen Markt), aber sehr starkes Wachstum erwartet. Generell starke Position Deutschlands im Bereich elektrische Antriebe/Generatoren.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 108. „Asynchron-Generatoren“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Asynchronmaschinen, welche als Generator betrieben werden. Sie werden unter anderem in dezentralen Kleinkraftwerken eingesetzt; in industriellen Antrieben für sehr viele Anwendungen haben sie den größten Anteil an elektrischen Antrieben. Hohes Potential als Achsantrieb in Elektrofahrzeugen. Verglichen mit anderen Generatoren jedoch geringere Wirkungsgrade.

Wesentliche Quellen

WI 2014; NABU 2013; RESTRA 2014; EA o.J.; dena 2010, Schäfer 2014, BMUB 2014

Hauptgründe für die Auswahl

Hohe Wirkungsgrade verglichen mit Verbrennungsmotoren; sehr große Verbreitung, bei einem sehr großen Markt. Starke Position Deutschlands bei elektrischen Antrieben/Generatoren.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 110. „Reluktanzgeneratoren“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Der Reluktanzmotor ist eine Bauform eines Elektromotors, bei dem das Drehmoment im Rotor ausschließlich durch die Reluktanzkraft erzeugt wird und nicht zu wesentlichen Anteilen durch die Lorentzkraft, wie dies bei magnetisch erregten Maschinen der Fall ist. Durch den Verzicht auf Permanentmagnete ist er insbesondere auch nicht von Seltenen Erden abhängig. Benötigt einen Umrichter.

Wesentliche Quellen

WI 2014; Elektrotechnik 2013; Energy 2.0 2013, P&A o.J.; ingenieur.de 2012; BMUB 2014

Hauptgründe für die Auswahl

Durch den Verzicht auf Seltene Erden können Reluktanzgeneratoren in Zukunft eine kritische Rolle spielen; hoher Wirkungsgrad. Günstigere Herstellung als Permanentmagnetgeneratoren. Sehr hohes Wachstum bei noch geringem Marktanteil.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 111. „HTS-Generatoren“

Beschreibung der Umwelttechnologie

HTS-Generatoren nutzen supraleitende Magnete, um so Verluste in den Spulen zu verhindern. Der Wirkungsgrad wird nur durch mechanische Verluste und die benötigte Kühlung gesenkt. In großen Anwendungen (WKA mit mehreren MW Leistung, Schiffen, Kraftwerken,...) lassen sich sehr hohe Wirkungsgrade erzielen – in multi-100-MW-Generatoren bis zu 99,5%. Auch im Teillastbetrieb guter Wirkungsgrad, daher gut für dynamische Systeme geeignet. Insbesondere für WKA wichtig ist die geringere Größe als die permanenterregter Generatoren.

Wesentliche Quellen

WI 2014; E&T 2012; eco5 2013; IEEE 2013

Hauptgründe für die Auswahl

Höchste Effizienz elektrischer Antriebe/Generatoren in energieintensiven Anwendungen. Momentan geringe Verbreitung, in Zukunft wird eine wichtige Rolle erwartet. Starke Forschungsposition Deutschlands.

3.2 Leitmarkt Energieeffizienz

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 2. „Kompressoren“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Bei einem Kompressor handelt es sich um einen Verdichter (i.d.R. Schraubenverdichter), der von einem Elektromotor angetrieben wird und auf diese Weise Druckluft erzeugt und damit das wichtigste Aggregat eines Druckluftsystems darstellt. Hauptquellen für Energieverluste sind die diabatische Kompression (Wärmeverlust) sowie Motorineffizienzen (s. "Hochwirkungsgradmotoren"); darüber hinaus treten Ineffizienzen insbesondere auch bei der Auslegung der Druckluftanlage sowie bei Leckagen auf. Wesentliche Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz bestehen daher in einer bedarfsgerechten Auslegung und Steuerung der Druckluftanlage, einer Identifizierung und Beseitigung von Leckagen sowie einer Abwärmenutzung z. B. durch Wärmeauskopplung bei der Kühlung der Verdichter (vgl. BMUB 2012; Öko-Institut 2015)

Wesentliche Quellen

NABU 2013; BMUB 2012; BMUB 2014; Öko-Institut 2015

Hauptgründe für die Auswahl

Vor dem Hintergrund der – je nach vorliegendem Druckluftsystem – möglichen Ineffizienzen wurde das relative Umweltentlastungspotential als sehr hoch eingeschätzt. So wurden nach Auswertung vorhandener Literaturquellen in Hinblick auf Energie bzw. CO₂-Emissionen auf der Ebene der Kompressoren Einsparpotentiale in Höhe von 30% während der Gebrauchsphase identifiziert. Durch Systemoptimierung und konsequente Abwärmenutzung sind auf der Ebene der Druckluftsysteme Reduktionen bis zu 90% möglich. Es ist jedoch zu beachten, dass es sich hierbei um Einsparungen auf Systemebene handelt und kein intrinsisches Einsparpotential der Kompressoren selbst darstellt. (NABU 2013, Öko-Institut 2015)

In Hinblick auf die Marktdynamik haben Kompressoren mit 8% bereits jetzt einen signifikanten Anteil am Leitmarkt „Energieeffizienz“, das Wachstum bis 2025 beträgt 3,4% p.a. Die Bedeutung wurde daher auf globaler Ebene als „mittel“ eingestuft. Allerdings ist der Anteil Deutschlands am Weltmarkt mit 11% bereits heute erheblich und wird voraussichtlich überproportional auf 16% ansteigen. Zudem befinden sich wichtige Kompressorenhersteller in Deutschland (z. B. Kaeser). Die wirtschaftliche Bedeutung von Kompressoren wurde daher im deutschen Bezugsrahmen als „hoch“ eingestuft. (BMUB 2014)

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 5. „RFID“

Beschreibung der Umwelttechnologie

RFID ist eine Technologie zum automatischen und berührungslosen Identifizieren von Objekten mittels elektromagnetischer Koppelung. RFID wird als Basistechnologie im Zusammenhang mit sogenannten ‚Cyber-Physical Systems‘ beschrieben. Diese ermöglichen eine Verschmelzung der virtuellen Welt (Informationssysteme) mit der realen Welt der materiellen Dinge. Darin liegt ein Effizienzsteigerungspotential durch Automatisierung von Prozessen. Die RFID Sender-Empfänger-Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass die zur Identifizierung verwendete passive Komponente (das RFID-Tag) ohne permanente Energiezufuhr auskommt und dadurch sehr stark miniaturisiert werden kann. Das ermöglicht die unauffällige Unterbringung der RFID-Tags in kleinstem Volumen, zum Beispiel in Etiketten auf Verpackungen oder in Textilien. Bei Annäherung eines (oder mehrerer) Tags an ein Lesegerät werden die Tags zeitweise aktiviert und übertragen eine elektronische Identifikationsnummer (ID) gemäß eines standardisierten Datenaustauschprotokolls. Diese ID-Nummer kann mit einer externen Datenbank abgeglichen werden um weiterführende Beschreibungen über das mit dem RFID Tag verbundene Objekt zu erhalten. Damit lassen sich Objekte wie Werkstücke, Produkte, oder Abfallmaterialien

lien schnell und automatisiert erfassen sowie charakterisieren. Die Technologie ermöglicht damit massive Steigerungen der Effizienz in Logistikprozessen entlang der Wertschöpfungskette sowie bei Abfallbehandlungsprozessen.

Wesentliche Quellen

BMW 2009; Schindler et al. 2012; Bjork et. al 2011; BMUB 2014; Sower 2013; Idtechex o.J.; Fraunhofer SCS 2014

Hauptgründe für die Auswahl

Mehrere Studien (BMW 2009, Schindler et al. 2012) kommen zu dem Schluss, dass die Technologie eine wichtige Funktion bei Güterlogistik & Stoffstrommanagement spielt (vor allem im Rahmen von Lieferketten). Bjork et al. (2011) haben festgestellt, dass ca. 58% der befragten Unternehmen RFID-Technologie anwenden um Materialien, Güter und Produkte automatisiert zu verfolgen und diese Prozesse im Rahmen eines Umweltmanagements zu optimieren. Damit lassen sich Lagerzeiten verkürzen und Transporte optimieren, beispielsweise durch bessere Auslastung von Transportvolumina, Transportmitteln und Routenwahl. Außerdem können RFID-gekennzeichnete Objekte besser verfolgt werden, was Verluste zu reduzieren hilft.

In den Studien wird auch auf Verbesserungen der Stofftrennung beim Recycling von Abfällen verwiesen. Diese setzt eine Ausrüstung der zu rezyklierenden Gegenstände (z. B. Verpackungen) mit funktionierenden RFID Tags voraus. In einem Zukunftsszenario „Internet der Dinge“ wäre dies ohnehin für Logistikzwecke der Fall. Die so identifizierbaren Objekte in Abfallströmen könnten dann automatisiert erkannt und maschinell separiert werden um sortenreine Fraktionen für die stoffliche Wiederverwertung zu erhalten. Allerdings bestehen hier Zweifel hinsichtlich der Kosteneffizienz und des Datenschutzes, zumal es auch andere technische Lösungen für diesen Zweck gibt. Außerdem könnten sich durch den massenhaften Einsatz von RFID-Tags auf Produkten zusätzliche Umweltbelastungen in Bezug auf Ressourcenverbrauch und neuartige Abfallmischungen ergeben (RFID Tags sind zwar klein aber bei Massen Anwendung durchaus relevant).

In der EU wird für 2015 ein Verbrauch von jährlich bis zu 200 Milliarden RFID Tags geschätzt (Schindler et al. 2012). IDTechEx prognostiziert ein Wachstum des RFID Markts auf 30.2 Milliarden US-Dollar in 2024. Es wird von einer zukünftigen Marktdurchdringung der RFID Technik in fast allen Marktsegmenten bzw. Produktgruppen sowie auf Verpackungen ausgegangen. Treiber des möglichen Marktdurchbruchs sind unter anderem die Lager- und Regalbewirtschaftung beim Einzelhandel. Die Technologie ist eine Voraussetzung für bessere Kosteneffizienz und bessere Datengrundlage für Lieferkettenmanagement und Stoffstromüberwachung in Echtzeit. Sie könnte auch eine tragende Rolle für kosteneffizienteres Recycling einnehmen wenn bestimmte Voraussetzungen (z. B. Standardisierung, Kunden-Akzeptanz, Recyclingtechnologien) vorhanden sind. Fraglich bleiben allerdings die Kosten der RFID Tags sowie deren Akzeptanz am Markt und bei Konsumenten (Sower 2013). In Deutschland herrscht eine gewisse Skepsis der Konsumenten hinsichtlich Datenschutzaspekte der RFID Technik. Gleichzeitig sind aber auch Gewöhnungseffekte möglich.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 8. „Aerogele“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Aerogele sind hochporöse, transluzente Festkörper, deren größter Volumenanteil (zu rund 95%) aus Poren besteht. Aerogele können auf Silikat, Kohlen- und Kunststoffbasis erzeugt werden. Es ist auch möglich, durch den Sol-Gel-Prozess aus Metallen Aerogele zu erzeugen. Aerogele werden u.a. als Isolator eingesetzt, z. B. in der transparenten Wärmedämmung. Da der Durchmesser der Poren von Aeroge-

len nur wenige Nanometer (typischerweise 20 nm) beträgt, wird in dem Dämmmaterial die Luftzirkulation und damit die Weiterleitung von Wärme und Schall weitgehend unterbunden. Trotz seiner geringen Dichte verfügt das Material zudem über eine hohe Härte. Ein weiteres Einsatzgebiet ist ihre Nutzung als Isolator in Supercaps (BMW 2009; Öko-Institut 2013)

Wesentliche Quellen

RESTR 2014; BMW 2009; BMUB 2014; Öko-Institut 2013

Hauptgründe für die Auswahl

Aerogele ermöglichen eine effektive Wärmedämmung auch in schwer zugänglichen Bereichen (z. B. in Altbauten) sowie 25-50% geringere Dämmstoffdicken EPS-Dämmstoffplatten (Referenztechnologie) und bieten dadurch erheblichen Einsparpotentiale in Hinblick auf Energie und CO₂-Emissionen während der Gebrauchsphase von Immobilien. Aufgrund der hohen absoluten Bedeutung des Energieeinsatzes und des damit verbundenen Treibhauspotentials im Bereich der Gebäudeheizung (ca. 20% der Gesamtemissionen) werden die Umweltentlastungseffekte durch Aerogele insgesamt als "hoch" eingeschätzt.

In Hinblick auf die ökonomische Relevanz hat die Energieeffizienz bei Gebäuden mit 19% bereits derzeit einen erheblichen Anteil am Leitmarkt „Energieeffizienz“, das Wachstum bis 2025 beträgt 6,4% p.a. und ist damit höher als bei anderen Subsektoren. Der Anteil Deutschlands am Weltmarkt beträgt in diesem Segment derzeit 21% und wird bis 2025 voraussichtlich auf 17% sinken; allerdings sind deutsche Unternehmen (z. B. BASF) sehr aktiv im Bereich der Entwicklung und Vermarktung nanoporöser Dämmstoffmaterialien. Insgesamt wird die ökonomische Relevanz daher als „hoch“ eingeschätzt. (BMUB 2014)

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 12. „Schwermetallfreier Korrosionsschutz für Metalle“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Nanotechnische Lackgrundierungen sind ein Substitut für schwermetallhaltige Korrosionsschutzbeschichtungen. Mittels Sol-Gel Verfahren hergestellte Dünnschichten aus anorganisch-organischen Hybridpolymeren ersetzen dickschichtige Lackierungen und weisen sehr gute korrosionsschützende Eigenschaften auf. Die chromfreie Passivierung von Magnesiumbauteilen erhöht die Haftung und Witterungsbeständigkeit von Lackierungen. Das PVD-Verfahren (Plasma Dampfabscheidung) wird genutzt um Werkstücke mit hochfesten Materialien wie Titan oder Zirkon zu beschichten (Siebenlist, 2001).

Traditionelle Methoden des Korrosionsschutzes, z. B. Feuerverzinkung, Eisen- und Zinkphosphatierung, Chromatierung sind teilweise sehr umweltschädlich da sie während der Lebensdauer eines Produktes durch Oberflächenverwitterung Schwermetalle in die Umwelt freisetzen. Zudem resultiert das Prinzip des elektrochemischen Korrosionsschutz' (Opferanode) in dissipativen Materialverlusten (vor allem Zink und Magnesium). Die Herstellung dieser Metalle erfordert erhebliche Mengen an Primärressourcen und Energie. Die Substitution dieser Metalle durch nanotechnologische Methoden des Korrosionsschutz' bietet deshalb nicht nur ökologische Vorteile sondern auch ökonomische Anreize. Hinzu kommt der Ressourcenschutzeffekt durch die Verlängerung der Produktlebensdauer. Korrosionsfeste müssen weniger häufig durch neue ersetzt werden und benötigen deshalb ihrerseits geringere Mengen an Primärressourcen und Energie zu ihrer Herstellung.

Wesentliche Quellen

RESTRA 2014; NABU 2013; Siebenlist 2001; Donner 2009; Wendler et al. 1998

Hauptgründe für die Auswahl

Verbesserter Materialschutz hat eine enorme volkswirtschaftliche Bedeutung. Der korrosionsbedingte Sachschaden an Produkten und Infrastruktur zieht in Deutschland jährliche Abschreibungen von Sachwerten in Milliardenhöhe nach sich (Wendler et al. 1998; Donner 2009). In der gesamten Euro-Zone summieren sich die Kosten durch Korrosion auf 250 Milliarden Euro per Jahr. In Deutschland erreichte die Branche Oberflächentechnik im Jahre 2007 ein Produktionsvolumen von etwa 1,6 Milliarden Euro. Im Vergleich zur gesamten Investitionsgüterindustrie verzeichnete die Oberflächentechnik durch die volkswirtschaftliche Hebelwirkung der Nanotechnologie in den letzten Jahren einen überdurchschnittlichen Wachstumstrend. Die steigende internationale Verflechtung und die Innovationskraft der Branche lassen langfristig eine weitere Erhöhung des deutschen Exportanteiles erwarten (Fürbeth 2011). Ungewiss bleibt, ob Nanotechnologie die hochgesteckten ökonomischen Prognosen langfristig erfüllen kann.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 13.b. „Membranelektrolyse Chlor-Alkali mit Sauerstoffverzehrkatode“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Die Chlor-Alkali-Elektrolyse stellt einen zentral wichtigen Prozess in der Grundstoffchemie dar. Sie wird zur Produktion der wichtigen Basischemikalien Chlor und Natronlauge benötigt und verursacht in Deutschland jährlich einen Energieverbrauch von 14,5 MWh/a. Die Prozessführung kann in Hinblick auf ihre Energieeffizienz gesteigert werden, wenn die derzeit üblichen Elektrolyseverfahren (Membran-, Diaphragma- und Amalgamverfahren) durch eine Elektrolyse mit einer Sauerstoffverzehrkatode ersetzt werden. Bei dieser Art von Elektrode bringen die in porösen Strukturen elektrisch angeordneten Katalysatoren Gase in der Dreiphasengrenze flüssig-fest-gasförmig zur Reaktion, wodurch eine Senkung der Elektrolysespannung von 2,3V auf 2V erreicht werden kann. Durch die Zufuhr von Sauerstoff lässt sich zudem die Wasserstoffbildung unterdrücken und es entstehen nur Chlor und Natronlauge als Produkte. (Bayer 2015, Cleaner Production Germany 2015).

Wesentliche Quellen

BMUB 2014; Bayer 2015; Chemie.de 2015; Cleaner Production Germany 2015

Hauptgründe für die Auswahl

Durch die Senkung der Zellspannung können im Falle der Substitution des Membranverfahrens 30% Energie eingespart werden; bis zu 50% Energieeinsparung können erzielt werden, wenn die Sauerstoffverzehrkatode statt des Amalgamverfahrens verwendet wird. Diesen relativen Einsparpotentialen während der Gebrauchsphase wird eine hohe Relevanz beigemessen, da aufgrund des hohen Energiebedarfs der Chlor-Alkali-Elektrolyse zudem erhebliche absolute Entlastungsmöglichkeiten bestehen. So können in Deutschland jährlich bis zu 10,5 Mio. MWh Primärenergie bzw. 2,6 Mio. t CO₂ eingespart werden. (Bayer 2015, Cleaner Production Germany 2015)

Bezüglich der Marktrelevanz ist zu berücksichtigen, dass die Energieeffizienz in der Grundstoffchemie derzeit zwar nur einen relativ geringen Beitrag zum Leitmarkt „Energieeffizienz“ liefert; dieser wird aber bis 2025 voraussichtlich mit 5,9% Wachstum p.a. im Vergleich zu den anderen Subsektoren überproportional wachsen. In diesem Kontext wurde die ökonomische Bedeutung der Sauerstoffverzehrkatode als sehr hoch eingeschätzt. Der Anteil Deutschlands am Weltmarkt für elektrische Anträ-

ge ist mit 11% bereits heute erheblich und wird voraussichtlich überproportional auf 16% steigen. Eine Vermarktung der Sauerstoffverzehrkathode wird von Bayer und Thyssen-Uhde geplant; Bayer will seine Chlorproduktion schrittweise umrüsten, ebenso Firmen in der Region Asien/Pazifik. Da sich zudem auch die Patentrechte in Deutschland befinden, wurde die ökonomische Bedeutung für Deutschland ebenfalls als sehr hoch eingestuft. (Chemie.de 2011, BMUB 2014)

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 16. „Celitement“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Celitement® ist ein neues Verfahren der Zementherstellung, das am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickelt wurde und den Energieverbrauch halbieren soll. Außerdem kommt Celitement® mit weniger Rohstoffen aus: Der Bedarf an Kalkstein sinkt um ein Drittel, die Beimengung von Gips als Zumahlstoff ist überflüssig. Celitement ist ein hydraulisches Bindemittel aus Kalk und Silikaten, welches zu Beton oder anderen Baustoffen verarbeitet werden kann. Die Herstellung ist jedoch wesentlich energieeffizienter als bei vergleichbaren Baustoffen und erzeugt nur ca. 50% vergleichbare CO₂-Emissionen (KIT o.J.).

Wesentliche Quellen

BMUB 2012; BMUB 2012; BMUB 2014

Hauptgründe für die Auswahl

Das hier vorliegende Verfahren der Zementherstellung wurde ausgewählt, da es durch den Einsatz dieses Baustoffs zu erheblichen Energieeinsparung bzw. reduzierten CO₂-Emissionen kommen kann. Die relative Einsparung in der Herstellungsphase wird im Vergleich zur klassischen Zementherstellung als Referenztechnologie auf 50% eingeschätzt. Da Zementwerke für fünf bis sieben Prozent des weltweiten CO₂-Ausstoßes verantwortlich sind, wird zusätzlich zu dem hohen relativen auch von einem erheblichen absoluten Einsparpotential ausgegangen. (BMUB 2012)

Zusätzlich zur sehr hohen Umweltrelevanz des neuen Verfahrens wird auch in Hinblick auf die Marktdynamik eine hohe Relevanz erwartet. So hat die Energieeffizienz bei Gebäuden mit 19% bereits gegenwärtig einen erheblichen Anteil am Leitmarkt „Energieeffizienz“, das Wachstum bis 2025 wird auf 6,4% p.a. geschätzt und ist damit höher als bei anderen Subsektoren. Der Anteil Deutschlands am Weltmarkt bei der Energieeffizienz bei Gebäuden beträgt derzeit 21% und wird bis 2025 voraussichtlich auf 17% sinken; aufgrund der Verfahrensentwicklung in Deutschland besteht jedoch spezifisch ein hohes Potential für die deutsche Wirtschaft. (BMUB 2014)

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 24. „Grüne Rechenzentren“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Laut IZE (2008) und RAL-UZ 161 (2012) besitzt ein Rechenzentrum die Fähigkeit, Daten sicher, in großen Mengen, dauerhaft über einen langen Zeitraum und zentral zu verarbeiten. Dabei muss das Rechenzentrum diese Fähigkeiten auch dann besitzen, wenn einzelne Eigenschaften nicht genutzt werden, z. B. der Betrieb über einen langen Zeitraum. Folgend werden die notwendigen Fähigkeiten konkretisiert:

1. Die Verarbeitung von Daten erschließt sich z. B. aus der Erfassung, Übertragung, Berechnung oder Speicherung.

2. Eine sichere Art und Weise der Datenverarbeitung wird versorgungstechnisch mit der „Mindestsicherheit“ zum „kontrollierten, von Datenverlust freien Herunterfahren des Rechners im Schadensfall der Versorgungseinheiten“ beschrieben.
3. Die großen Mengen an verarbeiteten Daten beziehen sich relativ zu den technischen Möglichkeiten des Stands der Technik und stellen somit über die Zeit eine dynamische Größe dar.
4. Der dauerhaft über einen langen Zeitraum zu gewährleistende Betrieb in einem Rechenzentrum setzt Maßnahmen voraus, um Beeinflussungen über den zeitlichen Bereich kritischer Auswirkungen wie Wärme, Feuchtigkeit oder Staub hinaus zu kontrollieren.

Nach Angaben des Gabler-Wirtschaftslexikons (Gabler 2012) können drei verschiedene Arten von Rechenzentren unterschieden werden:

- ▶ Unternehmenseigene Rechenzentren: ein Unternehmen besitzt ein oder mehrere Rechenzentren.
- ▶ Gemeinschaftsrechenzentrum: ein von mehreren Unternehmen gemeinsam errichtetes, betriebenes und genutztes Rechenzentrum. Im Falle von Outsourcing kann ein Gemeinschaftsrechenzentrum auch rechtlich selbstständig sein.
- ▶ Servicerechenzentren: ein selbstständiges Unternehmen, das seine Leistungen anderen Unternehmen anbietet. Die Datenübertragung an das Rechenzentrum erfolgt in der Regel über Datenübertragungswege oder über Anlieferung auf Datenträgern.

Da immer mehr Arbeitsvorgänge elektronisch bearbeitet werden können, hat die Bedeutung von Rechenzentren kontinuierlich zugenommen. Die Zunahme der Datenmenge sowie neue Technologien wie Virtualisierung oder Cloud Computing werden auch in Zukunft die Wichtigkeit von Rechenzentren erhöhen.

Wesentliche Quellen

Borderstep 2014; Borderstep 2013; Gabler 2012; IZE 2008; National Resource Defence Council 2014; Prakash et al. 2014; RAL UZ 2012

Hauptgründe für die Auswahl

Laut einer Studie des Öko-Instituts und der TU-Berlin (Prakash et al. 2014) wird zwischen 2011 und 2020 ein deutliches Wachstum des Energieverbrauchs der Informations- und Kommunikationstechnologien erwartet. Lag dieser in der EU-27 ohne Berücksichtigung der Produktion 2011 noch bei 214 Terrawattstunden jährlich (TWh/a), sind es 2020 voraussichtlich schon 259 TWh/a. Deutliche Steigerungen bei Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen werden vor allem bei Telekommunikationsnetzen und Rechenzentren erwartet. 2011 hatten sie in der EU-27 noch einen Anteil von 33% am Energieverbrauch der IKT, bis 2020 wird einen Anteil von etwa 46% erwartet. Damit hätten Netze und Rechenzentren einen Anteil von etwa 3,8% am gesamten Energieverbrauch der EU-27. Bei Rechenzentren wird eine Erhöhung des Energiebedarfs von 52 auf 70 TWh/a prognostiziert. Das entspricht einer Steigerung um fast 35%. Ursachen hierfür sind eine verstärkte Nutzung des Internets sowie von sogenannten Cloud-Diensten (Prakash et al. 2014).

Eine Auswertung der vorhandenen Studien hat gezeigt, dass die Einsparpotentiale bei einem effizienteren Rechenzentrumsbetrieb sowie Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen im Durchschnitt zwischen 30% bis 40% liegen könnten (National Resource Defence Council 2014, Borderstep 2013, RAL-UZ 2012).

Laut einer Studie des Borderstep Instituts (Borderstep 2014) sind ca. 200.000 Vollzeit-Arbeitsplätze in Deutschland von Rechenzentren abhängig. Davon werden rund 120.000 Beschäftigte für den reinen Betrieb der Rechenzentren eingesetzt. Weitere 80.000 Personen sind direkt von Rechenzentren ab-

hängig. Sie arbeiten in Systemhäusern, Baufirmen und spezialisierten Dienstleistern sowie im Handwerk ausschließlich für Rechenzentren.

Die Borderstep Studie (2014) hat analysiert, dass innerhalb von Europa Deutschland, Großbritannien und Frankreich die drei größten Rechenzentrumsmärkte darstellen. Weltweit werden allerdings in den USA, Japan und China mehr Server verkauft als in Deutschland. Gemeinsam mit Großbritannien liegt Deutschland aber auch im weltweiten Vergleich unter den Top 5 der Rechenzentrumsstandorte. Allerdings verliert Deutschland als Rechenzentrumsstandort im internationalen Wettbewerb an Bedeutung, was einerseits auf die hohen Strompreise und andererseits auf die Veränderung in der Struktur der Rechenzentren allgemein zurückzuführen ist. Deutschland ist geprägt von vielen kleinen und mittleren Rechenzentren (Fläche kleiner als 100 m²). Der internationale Trend zeichnet sich aber hin zu größeren Rechenzentren aus (Borderstep 2014).

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 26. „Organische Leuchtdioden (OLED)“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Organische Leuchtdioden (organic light emitting diode, OLED) sind eine neuartige Beleuchtungstechnologie auf Basis organischer halbleitender Materialien. Diese elektrophosphoreszierenden Halbleiter emittieren ein justierbares Lichtspektrum welches als weißes Licht wahrgenommen wird. Im Gegensatz zu LEDs benötigen OLEDs weder eine Galliumnitrid Aktivschicht noch eine YAG (yttrium aluminium garnet) Phosphorschicht um ein weißes Lichtspektrum zu erzeugen. Dadurch wird der Bedarf an kritischen Rohmaterialien (z. B. Gallium, Yttrium, Europium, Gadolinium, Terbium) für die Beleuchtungstechnologie verringert. Außerdem erhöht sich durch den Wegfall der Phosphorschicht die Quanteneffizienz der Lichtquelle.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ermöglicht die OLED-Technologie bei 3.000 cd/m² leuchtender Oberfläche eine Lichtausbeute von 70 lm/W. Der Innovationsfahrplan für die OLED Forschung weist bis 2018 für die Steigerung der Energieeffizienz eine Zielmarke von bis 125 lm/W aus. OLEDs sind im Gegensatz zu weißen LEDs keine punkt- oder bandförmige Lichtquellen sondern flächige (zweidimensionale) Dünnschichtbauelemente. Diese Bauform ermöglicht ein völlig neues Design von Leuchtkörpern und Beleuchtungskonzepten. Mittels OLEDs kann eine diffuse, und damit blendfreie Beleuchtung ohne Zwischenschaltung von Diffusionsscheiben oder Reflexionsflächen realisiert werden. Der Wegfall dieser Zwischenschichten vermeidet absorptionsbedingte Energieverluste im Lichtfeld des Leuchtkörpers. Allein durch diesen Effekt werden OLED-basierte Lampen eine bis zu 50% höhere Energieeffizienz aufweisen.

Werden OLEDs bislang nur auf einem harten Glassubstrat hergestellt geht der Innovationstrend neuerdings in Richtung biegsamer Polymer OLEDs. Diese erlauben die Anwendung großflächiger Rolle-zu-Rolle Produktionsverfahren aus der Drucktechnologie. Polymer OLEDs sind zudem ökonomisch günstig herzustellen und werden dereinst im Massenmarkt gegen die LED Beleuchtung konkurrenzfähig werden. Biegsame Polymer OLEDs werden zudem eine bisher ungeahnte Designfreiheit in der Beleuchtungstechnik ermöglichen und langfristig in vielen Einsatzbereichen die punktförmigen Leuchtmittel vom Markt verdrängen. Aus dem gleichen Grund sind OLEDs allerdings auch kritisch zu bewerten. Die technische Möglichkeit zur großflächigen Illumination von Bauwerken (innen & außen) oder ganzen Straßenoberflächen lassen energetische Reboundeffekte als wahrscheinlich erscheinen.

Wesentliche Quellen

RESTRA 2014; BMUB 2014; IHS - Lighting market 2015

Hauptgründe für die Auswahl

Unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen hat der Beleuchtungssektor einen nicht unerheblichen Anteil von 26% am Leitmarkt Energieeffizienz (BMUB 2014). Die Wachstumsprognose für den Leitmarkt Energieeffizienz wird mit 5% bis 2025 angegeben.

OLEDs haben gegenwärtig wegen ihrer hohen Anschaffungspreise noch kein relevantes Marktpotential im Beleuchtungsbereich. Einige OLED Leuchtmittel und Beleuchtungskonzepte sind auf dem Markt verfügbar. Diese sind aber gegenüber LED noch nicht konkurrenzfähig. Langfristig werden OLEDs vielfach als die Nachfolgetechnologie für die heutigen punktförmigen Lichtquellen angesehen. Hochgesteckte Zukunftsprognosen sehen in Polymer OLEDs sogar eine disruptive Technologie mit dem Potential zum Durchbruch auf dem Massenmarkt innerhalb einer Dekade. Dies würde den Markt der Beleuchtungstechnologie völlig verändern und auch den Eintritt neuer Unternehmen am Leuchtmittelmarkt wahrscheinlich machen. Die deutsche Forschungsförderung hat die Technologieentwicklung bei OLEDs massiv gefördert und dadurch einen Spitzenplatz Deutschlands in diesem Technologiesegment erreicht. Die Siemens-Tochter Osram ist als deutscher Hersteller von Leuchtmitteln hier stark im Entwicklungsprozess beteiligt, wie auch Philips Research Aachen. Seit 1980 sind etwa 6600 Patente zur OLED Technologie bekannt. Die meisten Patente sind in Japan registriert, gefolgt von den USA und Europa. Deutschland liegt mit etwa 4,5% der erteilten Patente auf Platz drei hinter den USA mit etwa 22%. Es besteht allerdings auch die Möglichkeit, dass asiatische Hersteller die deutsche Wirtschaft überflügeln wie es bereits bei weißen LEDs geschehen ist. Hier besteht für deutsche Hersteller noch Innovationsbedarf um den Marktdruck durch Billig-Hersteller aus Fern-Ost begegnen zu können.

Biegsame Beleuchtungspanel aus Polymer OLEDs können langfristig zu Niedrigstpreisen für OLED Leuchtmittel führen. Allerdings müssen für diesen Zweck noch eine Vielzahl technischer und struktureller Probleme gelöst werden. Voraussetzung für einen erfolgreichen Marktdurchbruch sind neben einer Steigerung der Qualität und Langlebigkeit der OLEDs auch stark sinkende Stückpreise. Zum anderen bedarf es eines Innovationsschubs bei den unterstützenden Systemen (u.a. Beleuchtungstechnologie, Gleichstromzuführung, Innenarchitektur etc.).

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 27. „Weiße LED“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Leuchtdioden zur Erzeugung von weißem Licht stehen heute an der Spitze der energieeffizienten Beleuchtungstechnologien. Die Technologie nutzt verschiedenen Verfahren der additiven Farbmischung zur Erzeugung eines als weiß empfundenen Mischspektrums. Der häufigste Typ basiert auf blauen LEDs bestehend aus Galliumnitrid sowie einer darüber angeordneten YAG (Yttrium Aluminium garnet) Phosphorschicht. Diese enthält auch Spuren von Oxiden der Seltenen Erden Elemente (z. B. Gallium, Yttrium, Europium, Gadolinium, Terbium), welche blaues Licht durch Phosphoreszenz in gelbes Licht umzuwandeln. Weißes Licht entsteht durch komplementäre Farbmischung von blauem und gelbem Licht. Daneben werden auch RGB LEDs verwendet, welche weißes Licht durch Farbmischung der Primärfarben Rot, Grün und Blau erzeugen. Diese Art der LEDs erlaubt eine stufenlose Änderung der empfundenen Lichtfarbe durch separate Ansteuerung der drei Farbkanäle.

Weiße LED Leuchtmittel befinden sich gegenwärtig an der Schwelle des Durchbruchs am Massenmarkt. Die am Markt vorhandenen LED Leuchtmittel haben eine Lichtausbeute von 50 bis 150 lm/W. Neueste Entwicklungen lassen eine Steigerung der Lichtausbeute auf bis zu 303 lm/W erwarten. Damit werden LEDs die Kompaktfluoreszenzlampen (CFL) mit einer Lichtausbeute von 60 bis 65 lm/W als Energiesparlampe in Punkto Energieeffizienz weit übertreffen und diese mittelfristig vom Markt verdrängen. Darin liegt ein substantielles Energiesparpotential, da in Deutschland etwa 15% des ver-

brauchten Stromes für Beleuchtungszwecke verwendet wird (UBA 2009). Allerdings werden als Folge stark sinkender Kosten der Beleuchtung auch Rebound Effekte möglich. So werden vermehrt Orte mittels LED beleuchtet, die zuvor nicht beleuchtet wurden (z. B. Gartenwege). Dies kann in der Summe zu einer Verringerung des Energieeinspareffekts führen.

Weißes LEDs sind punktförmige Leuchtmittel, die sich auch zu bandförmigen oder flächigen Modulen zusammenschalten lassen. Geringe Größe und lange Lebensdauer erlauben neue Designkonzepte für Leuchtkörper (lineare Lichtstreifen, Farbvariation etc.). Ein bedeutender Umweltvorteil der LEDs gegenüber der CFL Technologie besteht darin, dass erstere ohne quecksilberhaltige Komponenten auskommen. Damit erübrigt sich ein nennenswertes Umweltproblem in der Entsorgungsphase der Leuchtmittel.

Wesentliche Quellen

FOCUS 2014

Hauptgründe für die Auswahl

Die LED Beleuchtung befindet sich gegenwärtig im Frühstadium eines Wachstumsprozesses der durch das regulatorische Umfeld (ErP-Richtlinie in der EU) flankiert wird. In naher Zukunft ist eine nennenswerte Steigerung der Kosteneffizienz vorhersehbar durch technische Optimierung sowie durch Effekte des Massenmarkts (economy-of-scale). Insgesamt hält die Beleuchtung einen Anteil von 26% am Leitmarkt Energieeffizienz (von Geräten). Die Wachstumsprognose liegt bei 5% bis 2025 (BMUB Green Tech Atlas 4.0). Mit LED-Lichtquellen werden laut einer Studie von McKinsey in 2020 über 60 Milliarden Euro Umsatz erzielt werden (FOCUS 2014). Die Siemens-Tochter Osram steht als deutscher Hersteller von Leuchtmitteln nach japanischen Herstellern auf Rang drei in der Weltmarktrelevanz.

3.3 Leitmarkt Rohstoff- & Materialeffizienz

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 53. „Maßgeschneiderte Katalysatoren“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Diese Umwelttechnologie umfasst maßgeschneiderte Katalysatoren in der Chemie und Feinchemie (z. B. in Verbindung mit strukturierten katalytischen Reaktoren) mit Potential zur Ressourcenschonung. Katalysatoren beschleunigen zahlreiche chemische Reaktionen unter Verbesserung der Energieeffizienz und der chemischen Ausbeuten. Sie sind ein bedeutender Faktor für Ressourceneffizienz in unterschiedlichsten Prozessen. Eine Vielzahl unterschiedlichster Katalysatoren mit diversen Trägermaterialien (im Falle der heterogenen Katalyse) und aktiven Schichten (Edelmetalle usw.) ist im Einsatz.

Wesentliche Quellen

Business Standard 2015; ISI 2004; Hagelüken 2005.

Hauptgründe für die Auswahl

Katalysatoren weisen ein enormes Umweltentlastungspotential auf. Die globale Marktdynamik wird weiterhin dynamisch eingeschätzt. Eine Reihe namhafter deutscher Unternehmen ist führend im internationalen Katalysatorgeschäft.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 56. „Bleifreie Lote“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Diese Umwelttechnologie umfasst alle Arten von bleifreien Loten wie z. B. Zinnlegierungen mit Kupfer und Nickel, Zinnlegierungen mit Kupfer und Silber, Verwendung von Wismut. Die Umsetzung der Richtlinien 2011/65/EU (RoHS) und 2000/53/EU (Altfahrzeugrichtlinie) sind ein starker Treiber für die zunehmende Anwendung bleifreier Lote.

Wesentliche Quellen

BMW i 2009; DERA 2014.

Hauptgründe für die Auswahl

Bleifrei Lote sind aus Umweltgründen entwickelt, eingeführt und werden entsprechend unterstützt. Der globale Markt für bleifreie Lote wird weiter wachsen. In Deutschland sind mehrere mittelständische Hersteller im Bereich bleifreie Lote tätig.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 60. „Hochleistungs-Permanentmagnete: übrige Anwendungen“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Diese Umwelttechnologie umfasst Hochleistungs-Permanentmagnete (im Wesentlichen Neodym-Eisen-Bor-Magnete), die für industrielle Anwendungen wie z. B. Elektromotoren für die Industrieautomatisierung und Generatoren für die Energiewandlung eingesetzt werden. Anwendungen für Elektromotoren bzw. Generatoren für Elektro- bzw. Hybridfahrzeuge und Energieerzeugung wie Windkraftanlagen sind hier ausgenommen.

Wesentliche Quellen

BMW i 2009; RESTRA 2014; BaWü 2014.

Hauptgründe für die Auswahl

Synchronmotoren mit Permanentmagneten zeichnen sich durch sehr hohe elektrische Wirkungsgrade aus und weisen daher entsprechende Marktdynamik auf. Deutsche Hersteller von entsprechenden Elektromotoren haben technologische Weltgeltung.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 67. „Nanobeschichtung von Oberflächen“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Diese Umwelttechnologie umfasst nanostrukturierte Oberflächen mit Lotuseffekt. Diese sind durch superhydrophobe mikro- und nanostrukturierte Oberflächen selbstreinigend. Die Beschichtung von Oberflächen mit Nanoschichten erhöht deren Abriebfestigkeit und mindert entsprechend den Verschleiß. Hierdurch können z. B. Schmieröle überflüssig werden.

Wesentliche Quellen

BMUB 2012; BMUB 2014; Forbes 2009.

Hauptgründe für die Auswahl

Das Umweltpotential von nanostrukturierten Oberflächen liegt in der potentiellen Erhöhung der Lebensdauer der entsprechenden Oberflächen gegenüber konventionellen Oberflächen und der Einsparung von Reinigungsmitteln. Für das breite Spektrum der nanostrukturierten Oberflächen wird ein erhebliches globales Marktwachstum erwartet. Der Marktanteil deutscher Unternehmen lag im Jahr 2013 bei 17%.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 68. „Precision Farming“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Diese Umwelttechnologie umfasst Verfahren der ortsdifferenzierten und zielgerichteten Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen. Precision Farming ermöglicht kleinräumige Boden- und (Pflanzen-) Bestandsführung sowie gezieltere Saat bzw. Düngung.

Wesentliche Quellen

RESTRA 2014; Deutsche Bank Research 2014; Bokelmann et. al 2012; Werner et al. 2008.

Hauptgründe für die Auswahl

Das Umweltentlastungspotential durch Precision Farming ist hoch einzuschätzen. Die globalen Markterwartungen für Precision Farming sind dynamisch einzuschätzen, die Deutsche Bank Research sieht Precision Farming als wichtiges Beispiel für Industrie 4.0. Deutschland ist in Forschung und Unternehmensaktivitäten zu Precision Farming führend.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 70. „Me-Schlacken- und P-Klärschlammaufbereitung“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Unter dieser Umwelttechnologie sind Verfahren zur Aufbereitung von Schlacken der Metallurgie und der Müllverbrennung zur Rückgewinnung von Metallen sowie zur Behandlung von Klärschlämmen zur Rückgewinnung von Phosphor zusammengefasst.

Wesentliche Quellen

BMUB 2012; Wotruba et al. 2013.

Hauptgründe für die Auswahl

Nach Wotruba et al. 2013 fallen allein in Deutschland rund 8 Mio. t Hochofenschlacke, 6 Mio. t Stahlwerks- und Elektroofenschlacke sowie 1,3 Mio. t Buntmetallhüttenschlacke pro Jahr an, hinzu kommen noch Schlacken und Aschen aus MVA etc. Der weltweite Ausbau der Metallurgiekapazitäten und von Verbrennungsanlagen lässt die entsprechenden Rückstände und damit auch das Rückgewinnungspotential von Metallen aus diesen Rückständen steigen. Hinzukommen die Potentiale zur Rückgewinnung von Phosphor aus der Klärschlammbehandlung.

3.4 Leitmarkt Nachhaltige Mobilität

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 35. „E-Bikes und Pedelecs“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Unter dieser Umwelttechnologie sind Pedelecs, S-Pedelecs und E-Bikes zusammengefasst. Ein Pedelec (Pedal Electric Cycle) ist mit einem elektromotorischen Antrieb von bis zu 250 Watt ausgestattet, der beim Anfahren oder am Berg den Fahrer unterstützt. Bei zunehmender Geschwindigkeit verringert sich jedoch diese Unterstützung und wird bei Erreichen von 25 km/h unterbrochen. Straßenverkehrsrechtlich gilt das Pedelec als Fahrrad. Schnelle Pedelecs (sogenannte S-Pedelecs) oder E-Bikes fallen aufgrund ihrer höheren Geschwindigkeitsleistung in den Geltungsbereich der Richtlinie EG-Richtlinie 2002/24/EG und sind damit Kraftfahrzeuge. S-Pedelecs haben ebenfalls eine tretabhängige Motorunterstützung, die sich aber erst bei 45 km/h abschaltet. Der Motor eines E-Bikes dagegen unterstützt, ohne dass dabei in die Pedale getreten wird – bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von 20 km/h. Kennzeichnend für diese Umwelttechnologie ist die Ausstattung mit Elektromotor, Traktionsbatterie, Steuerelektronik für den Motor sowie Sensor für die Kurbelbewegungserkennung.

Wesentliche Quellen

BMVI 2015; Bosch 2015; Lewis 2012; MORE 2014; NABU 2013; Neupert 2012.

Hauptgründe für die Auswahl

Die Hauptgründe für die Auswahl liegen in der großen globalen Marktdynamik sowie im schnell wachsenden Markt in Deutschland mit einem hiesigen europäischen Marktführer für E-Bike Komponenten: Akkus, Antriebseinheit, Bordcomputer.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 37. „Hybridmotoren“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Hybridmotoren für PKW gibt es in unterschiedlichen Varianten, wobei ein Verbrennungsmotor und ein Elektromotor unterschiedlich zueinander angeordnet und dimensioniert werden. Bei einer Variante unterstützt der Elektromotor den Verbrennungsmotor (beim Anfahren und Beschleunigen: sogenannter mild hybrid), bei einer anderen kann er allein den PKW für einige Kilometer antreiben (sogenannter full hybrid). In der Variante Range-Extender treibt der Verbrennungsmotor einen Generator an, welcher die Batterie lädt, welche wiederum den Elektromotor für den Antrieb speist. Hybrid-Motoren sind in aller Regel permanent erregte Synchronmotoren.

Wesentliche Quellen

BMW i 2009; RESTRA 2014; BMUB 2014; Buchert et al. 2011.

Hauptgründe für die Auswahl

Hybrid-PKW sind bereits länger und mit größeren Stückzahlen im Markt als vollelektrische PKW. Auch in den diversen PKW-Szenarien spielen Hybrid-PKW mittel- und langfristig eine sehr große Rolle. Die Elektromotoren für Hybrid-PKW sind aufgrund ihres geringen Gewichts und Volumens in der Regel Synchronmotoren mit Neodym-Eisen-Bor-Magneten.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 38. „Elektroantriebsmotoren“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Unter dieser Umwelttechnologie sind Elektroantriebsmotoren für vollelektrische PKW („Elektrofahrzeuge“) sowie für Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge zusammengefasst. Letztere verfügen neben einem Verbrennungsmotor über einen Elektromotor, der von einer Batterie mit Ladeanschluss („Plug-In“) gespeist wird. Vor allem bei den Elektromotoren für vollelektrische PKW existieren bereits sehr unterschiedliche Motorkonzepte.

Wesentliche Quellen

BMW 2009; RESTRA 2014; BMUB 2014; Buchert et al. 2011.

Hauptgründe für die Auswahl

Die Förderung der Elektromobilität ist ein Leitziel der Bundesregierung und vieler weiterer Staaten weltweit. Wenn die elektrische Energie durch zusätzlich installierte Kapazitäten für regenerative Energieträger (PV, Wind usw.) bereitgestellt wird, ist gegenüber dem konventionellen Antrieb mit Verbrennungsmotor ein deutliches Umweltentlastungspotential verbunden.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 39. „Karosserie (hochfeste Stähle, Kunststoff, Aluminium, GFK, Carbon)“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Diese Umwelttechnologie umfasst die Leichtbauweise von PKW (hochfeste Stähle, Kunststoff, Aluminium, GFK, CFK etc.). Mit einer leichteren Bauweise ist ein geringer Energieverbrauch im Betrieb des PKW verbunden. Insbesondere bei hochpreisigen Kraftfahrzeugen wurde immer schon mit Alternativen zum konventionellen Karosseriestahl und zu Stahlblechen gearbeitet. Vorreiter war der Renault Alpine. Die Kunststoffkarosserie hat sich jedoch nicht durchgesetzt, wohingegen Aluminium bei hochpreisigen Autos (Audi A8) häufiger verwendet wird (Automobil-Industrie o.J.). Deutliche Einsparungen versprechen Carbon-Karosserien, wie sie für den BMW i3 völlig neu entwickelt wurden.

Wesentliche Quellen

BMW 2009; Zeit 2012a; RESTRA 2014; BMUB 2014.

Hauptgründe für die Auswahl

Leichtere Karosserien sind ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs von PKW. Sowohl der globale Markt hierfür als auch die Relevanz deutscher Firmen ist sehr groß.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 40. „Hocheffiziente Flugzeugtriebwerke“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Unter dieser Umwelttechnologie sind neue, hocheffiziente, verbrauchsarme Triebwerke zusammengefasst. Der Triebwerksentwicklung kommt bei der Reduzierung von Emissionen, Treibstoffverbrauch und Lärmbelastung eine entscheidende Bedeutung zu. Werkstofflösungen wie neue Superlegierungen spielen hier eine entscheidende Rolle.

Wesentliche Quellen

RESTRA 2014; VDI 2014

Hauptgründe für die Auswahl

In der Branche besteht aufgrund des relevanten Kostenblocks „Treibstoff“ ein großer Druck zur Reduzierung des Treibstoffverbrauchs. In globaler Sicht ist die Branche auch zukünftig ein Wachstumsmarkt. Neuartige verbrauchsarme Treibwerke versprechen ein hohes Umweltentlastungspotential. Die deutsche Industrie hat im Bereich Luft- und Raumfahrt eine international führende Stellung.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 41. „Leichtbau – Titan und Sc.-Airframe“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Unter dieser Umwelttechnologie werden Titan- und Scandiumlegierungen für den Leichtbau für Flugzeuge zusammengefasst. Flugzeuge werden üblicherweise aus Aluminium gebaut. Neben kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK) sind Titan- und Scandiumlegierungen interessante Optionen zur Gewichtsreduktion in Flugzeugen. So erhöht Scandium die Festigkeit des Aluminiums, weshalb es auch für tragende Elemente im Flugzeug genutzt werden kann. Zudem müssen Scandiumlegierungen nicht lackiert und können geschweißt werden.

Wesentliche Quellen

BMW 2009, RESTRA 2014; VDI 2014.

Hauptgründe für die Auswahl

Leichtbaumaterialien tragen maßgeblich zur Treibstoffreduktion und damit zur Emissionsminderung von Flugzeugen bei. Die Branche wird auch in den kommenden Jahren deutlich wachsen. Deutsche Unternehmen sind wichtige Spieler im internationalen Vergleich.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 43. „Fahrzeug-Abgas-Katalysatoren“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Hier werden alle Fahrzeugabgaskatalysatoren subsummiert: der klassische geregelte Drei-Wege-Katalysator für Ottomotoren, Dieseloxydationskatalysatoren, NO_x-Speicherkatalysatoren, SCR-Katalysatoren (mit Harnstoffeindüsung) als auch Oxydationskatalysatoren für Zweitakt-Ottomotoren. Die wichtigsten eingesetzten Technologiemetalle sind Palladium, Platin, Rhodium und Cer.

Wesentliche Quellen

Hagelücken 2014

Hauptgründe für die Auswahl

Ungeachtet der Förderung der Elektromobilität und anderer alternativer PKW-Antriebskonzepte bleibt der Verbrennungsmotor für konventionelle PKW als auch für Hybridfahrzeuge auf absehbare Zeit und in globaler Dimension eine sehr relevante Technologie. Autoabgaskatalysatoren reduzieren die Schadstoffe Stickoxide, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Partikel um deutlich mehr als 90% und sind daher eine ausgesprochen relevante Umwelttechnologie.

3.5 Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 48. „Dezentrale Wasseraufbereitung“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Eine (semi-) dezentrale Wasseraufbereitung zielt auf die Verkleinerung und Schließung von Kreisläufen und die effizientere Behandlung von Wasserströmen. Wichtige Bausteine sind dabei die Aufbereitung und (Wieder-) Nutzung von Regen- und Grauwasser. Dabei kann mit Hilfe des Regenwassermanagements die Belastung der Umwelt durch Starkniederschläge vermindert und das Grundwasser durch dezentrale Versickerung erneuert werden. In Kleinkläranlagen ist es auch möglich, das Niederschlagswasser oder das Brauchwasser zu Trinkwasser aufzubereiten.

Wesentliche Quellen

BMUB 2012; RESTRA 2014; EAWAG 2010; UBA 2008; BMUB 2014; UBA 2007; ZVEI 2009

Hauptgründe für die Auswahl

Potential für geringere Immissionen der Gewässer, Trennung und Kreislaufführung von Stoffströmen, Senkung des Energieverbrauchs (geringere Stickstoffelimination). Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Herausforderungen (Klimawandel, Demografischer Wandel). Hohes Marktpotential für deutsche Unternehmen, u.a. für Mess- Steuer- und Regeltechnik.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 49.b. „Wassereffizienztechnologien“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Technologien zur Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung verteilen sich auf drei Bereiche: Wassereffizienztechnologien im häuslichen Bereich (z. B. Hauswassertechnik zur Dosierung durch Luftzufuhr, Spül-Stopp Tasten), Wassereffizienztechnologien im gewerblichen und industriellen Bereich (z. B. Produktionsveränderung zur Verringerung der Wassernachfrage und Erhöhung der Wiedernutzungsrate, Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Smart Metering, Ultraschallzähler) sowie Wassereffizienztechnologien in der Landwirtschaft (u. a. Mess- und Regeltechnik im Zusammenspiel verschiedener Bewässerungstechnologien und -infrastrukturen).

Wesentliche Quellen

BMUB 2014

Hauptgründe für die Auswahl

Die Wassereffizienztechnologien zählen zu den Wachstumstreibern (vor dem Hintergrund des globalen Bevölkerungswachstums) des Leitmarktes Nachhaltige Wasserwirtschaft. Insbesondere in Entwicklungsländern haben Wassereffizienztechnologien eine Schlüsselrolle in der Landwirtschaft.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 50. + Nr. 51. „Membrantechnik“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Die Membrantechnik ist ein physikalisches Verfahren zur Trennung von Stoffgemischen. Die eingesetzten Membranen funktionieren vergleichbar einem Filter, dabei werden die abgetrennten Stoffe weder thermisch noch chemisch oder biologisch verändert. Die treibende Kraft für den Trennprozess ist die Druckdifferenz zwischen „Feed- und Permeatseite“. Man unterscheidet verschiedene Membranverfahren, die sich durch ihre Trenngrenze und die aufzuwendende Triebkraft unterscheiden. Mikrofiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration und Umkehrosmose. Membranverfahren zeigen hohe Trennleistungen und können für ein breites Spektrum von Anwendungen eingesetzt werden, wie z. B. in der Abwasserbehandlung, der Trinkwasseraufbereitung und der Wasserentsalzung. Bei komplexen Trennanforderungen können auch Kombinationen zum Einsatz kommen.

Wesentliche Quellen

ISA 2003; BMUB 2012; NABU 2013; BMUB 2014; VDI 2008; SAM 2010; ZVEI 2009;

Hauptgründe für die Auswahl

Membrantechniken können mit erheblich weniger Umweltbelastung gegenüber klassischen Verfahren in der Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung eingesetzt werden. Membrantechniken finden weltweit immer breitere Anwendungsfelder, insbesondere in der Trinkwasseraufbereitung, der Reinigung hochbelasteter industrieller Abwässer als auch bei der kommunalen Abwasserreinigung. In Meerwasserentsalzungsanlagen ist die Umkehr-Osmose von zunehmender Relevanz. Membrantechnik ist ein bedeutsamer Markt für deutsche Unternehmen, u.a. für Anlagentechnik und intelligente Steuerungssysteme.

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 52. „Phosphorrückgewinnung“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Zur Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser und Klärschlamm stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung z. B. Phostrip-Verfahren, Seaborne-Verfahren, P-Rücklösung (SEPHOS-Verfahren) und MAP (Magnesiumammoniumphosphat)-Fällung in der Schlammbehandlung (PRISA-Verfahren). Vor allem die Phosphatfällung aus Schlammwasser sowie der chemisch-thermische Aufschluss von entwässertem Klärschlamm oder Klärschlammasche sind im Einsatz. Bei der biologischen Phosphorelimination kommt eine Verfahrenskombination zur biologischen Phosphatelimination (Bio-P-Verfahren) ohne chemische Fällung zur Anwendung. Dabei werden Phosphorverbindungen mit Hilfe von Mikroorganismen aus dem Abwasser entfernt. Das Seaborne-Verfahren ist ein integriertes Verfahren von der Abwasserreinigung bis hin zur Verwertung und Beseitigung der Inhaltsstoffe, bei dem neben Methan auch Dünger aus Klärschlamm hergestellt wird. Die im Abwasserstrom enthaltenen Schad- und Nährstofffraktionen werden getrennt, zudem wird das Biogas zu Methan (Erdgasqualität) aufbereitet. Bei dem SEPHOS-Verfahren handelt es sich um ein nasschemisches Verfahren. Es ermöglicht eine P-Rückgewinnung aus Klärschlammaschen. Die Asche wird mit Schwefelsäure versetzt und aufgrund des sinkenden pH-Werts wird der Phosphor nahezu vollständig rückgelöst. Das PRISA-Verfahren basiert auf gängigen Prozessen kommunaler Kläranlagen und ist für die Nachrüstung bestehender Abwasserreinigungsanlagen geeignet. Die statische Voreindickung wird mit dem Überschussschlamm einer Bio-P-Kläranlage beschickt. In einem Misch-, Kristallisations- und Sedimentationsbecken wird die Magnesiumammoniumphosphat-(MAP)-Kristallisation ermöglicht.

Wesentliche Quellen

RESTRA 2014; BMUB 2014; UBA 2014; ZVEI 2009

Hauptgründe für die Auswahl

Durch Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm besteht ein hohes Umweltentlastungspotential. Geogene Phosphatvorräte sind mit Cadmium und Uran belastet. Zudem gilt Phosphor aufgrund seiner Knappheit als kritische Ressource. Techniken, den knappen und wertvollen Rohstoff Phosphor aus den Schlämmen zurückzugewinnen, nehmen deshalb an Bedeutung zu. In Deutschland werden bereits mehrere groß- und halbtechnische Anlagen zur Phosphorrückgewinnung betrieben und erprobt. Treiber ist insbesondere die erwartete Abfallklärschlammverordnung (Umsetzung 2025). Mittelfristig wird weltweit mit einem beachtenswerten Markt für deutsche Unternehmen zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm gerechnet.

3.6 Leitmarkt Kreislaufwirtschaft

Laufende Nummer und Name der Umwelttechnologie

Nr. 33. „Automatische Stofftrennverfahren“

Beschreibung der Umwelttechnologie

Die Mülltrennung in den Wertstoffrecyclinganlagen ist inzwischen hochgradig automatisiert. Gleichwohl ist aber die manuelle Vorsortierung von Abfällen nach wie vor üblich. Ebenso gibt es bei einzelnen Wertstofffraktionen, wie z. B. Papier, noch Potentiale die Fraktionsqualität durch eine automatische Sortierung zu erhöhen. Die Sortiertechnologie basiert auch auf der Nutzung komplexer Sensoren und computergesteuerter Trennverfahren.

Wesentliche Quellen

EcoCosts 2015

Hauptgründe für die Auswahl

Die automatische Trennung von Abfallfraktionen ist eine entscheidende Voraussetzung für die Rückgewinnung von Werkstoffen sowie die Reduzierung von Mengen zu entsorgenden Abfalls. Sortenreine Wertstofffraktionen Vergrößern die Rückgewinnbarkeit von Sekundärrohstoffen und damit auch den Einspareffekt bei der Rohmaterialgewinnung. Sekundärmaterialien haben gegenüber den Primärrohstoffen eine bedeutende Umweltentlastung (über 75% bei Metallen) (Nabu 2011, EcoCosts 2015). Allerdings ist die Abfalltrennung weit unten in der Hierarchie der Prioritäten in der Abfallpolitik verortet. In Deutschland hat die Abfallvermeidung gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz Vorrang gegenüber dem Recycling. Gleichwohl ist das Recycling von Wertstoffen in Hinblick auf das weiterhin hohe Abfallaufkommen eine ökologische und ökonomische Notwendigkeit. Die deutsche Recyclingindustrie hat aufgrund langjähriger Erfahrungen und Innovation im internationalen Vergleich einen Vorsprung an Know-how.

4 Eckpunkte für Szenarien in SubSKrit

Die Dynamik auf den Märkten für Umwelttechnologien spielt für die Analyse der Kritikalität von Rohstoffen eine wichtige Rolle. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die global steigende Nachfrage nach Umwelttechnologien das Marktvolumen für Umwelttechnologien weiterhin expandieren lässt. Die Geschwindigkeit des Wachstums kann aber unterschiedlich ausfallen, je nachdem wie sich die Rahmen- und Umfeldbedingungen in Zukunft verändern werden. Zukunftsaussagen weisen generell einen hohen Grad an Unsicherheit auf. Das hat zum einen mit dem inhärenten Nicht-Wissen über komplexe, interdependenter Entwicklungsprozesse zu tun, zum anderen aber auch mit der Offenheit gesellschaftlicher Prozesse, die sich nicht linear entwickeln, sondern der offenen Gestaltung unterliegen. Daher sind Szenariobetrachtungen anzustellen, die mögliche Entwicklungspfade für Umwelttechnologien beschreiben.

Der Analyse der Kritikalität von Rohstoffen für Umwelttechnologien sollen zwei Szenarien zugrundegelegt werden: Zum einen ein Trend-Szenario. Dieser Entwicklungspfad kann am besten als Business-as-usual bezeichnet werden, bestehende Trends werden darin extrapoliert. Vorstellbar ist aber auch ein Szenario, in dem sich die Marktdynamik für Umwelttechnologien deutlich stärker entwickelt. Dies wäre der Fall, wenn „Green Economy“, das heute schon in Deutschland aber auch von vielen internationalen Organisationen und Ländern als Leitbild für das 21. Jahrhundert verstanden wird, sich durchsetzt. Das BAU-Szenario wäre dann ein Szenario mit höherer Eintrittswahrscheinlichkeit, das Green Economy-Szenario eher ein Extrem-Szenario, das eine Analyse ermöglicht, die aufzeigt, wie sich der Rohstoffbedarf im Fall einer grundlegenden Transformation in Richtung einer „grünen“ Wirtschaft entwickelt.

Jedes der beiden Szenarien wird die Jahre 2025 sowie 2050 abdecken. Durch den langfristigen Blick bis 2050 muss voraussichtlich nicht nur der Ausbau der Umwelttechnologien abgebildet werden, sondern auch die Erneuerungen durch die begrenzte Lebensdauer der Technologien. Durch die langfristige Perspektive bis 2050 dürften die Reinvestitionen eine wichtige Größe sein. Außerdem sind Technologiesprünge und Pfadwechsel zu berücksichtigen.

Was den geographischen Raum anbetrifft, werden die Szenarien die Entwicklung der Umwelttechnologien aus nationaler und globaler Perspektive betrachten.

Das BAU-Szenario

Das BAU-Szenario basiert auf der Erwartung, dass die Marktprognosen für das Wachstum der Umwelttechnologien, wie sie in dem Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland (2014) gemacht worden sind, eintreffen. Erwartet wird eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von 6,5% bis zum Jahr 2025.

Die einzelnen Leitmärkte zeigen ein unterschiedliches Wachstumstempo. Der wachstumsstärkste Leitmarkt ist die nachhaltige Mobilität mit einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 9,6% im Zeitraum 2013 bis 2015. Auch die Leitmärkte für Rohstoff- und Materialeffizienz sowie für umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie entwickeln sich mit 8,2% bzw. 7,4% dynamischer als der Durchschnitt der Umwelttechnologien. Unterdurchschnittlich wachsen die Leitmärkte für nachhaltige Wasserwirtschaft (5,7%), Kreislaufwirtschaft (4,4%) und Energieeffizienz (4,3%). Da es sich um bereits reife und fortgeschrittene Märkte handelt, fallen die Wachstumsraten niedriger aus.

Das Szenario entspricht den heutigen Markterwartungen. Demnach wird das globale Volumen der Leitmärkte für Umwelttechnologien voraussichtlich von 2.536 Milliarden Euro im Jahr 2013 auf 5.385 Milliarden Euro im Jahr 2025 steigen. (BMUB 2014)

Das Green Economy - Szenario

Green Economy beschreibt einen alternativen Entwicklungspfad, in dessen Mittelpunkt die Realisierung einer Green-Economy in Industrieländern bis zum Jahr 2050 steht. Forciert wird ein solches Szenario durch steigende Rohstoff- und Energiepreise. Außerdem spielt die Ausgestaltung der nationalen und globalen Umweltpolitiken eine wichtige Rolle.

Weltweit entwickeln viele Länder und auch supranationale Organisationen (UN, OECD) Strategien für die Neuausrichtung ihrer Wirtschaftsstrategien, die das Potential haben, zukünftig Hebelwirkungen für eine Green Economy entfalten zu können.

Die EU-Strategie „Europe 2020“ löst die alte Wachstumsstrategie „Lissabon-Strategie“ ab. Die darin verankerte Programmatik wird durch „Fahrpläne“ für ein ressourcenschonendes Europa fortentwickelt und durch verschiedene Ressortaktivitäten vorangetrieben und umgesetzt.

In Asien machen sich Akademien der Wissenschaften für nachhaltiges Wirtschaften stark. Angesichts schwindender komparativer Kostenvorteile einiger asiatischer Länder bei gleichzeitig steigenden Kosten der Umwelt- und Ressourcennutzung verlangen sie ein neues Wirtschaftsmodell: „...that is green, low-carbon, smart, innovative, cooperative, and inclusive“. ⁶

Das Marktwachstum für Umwelttechnologien liegt bei diesem Szenario über den Markterwartungen.

In folgender Tabelle sind die Faktoren für beide Szenarien gegenübergestellt.

Tabelle 4-1: Faktoren der Szenarien

Faktoren	BAU-Szenario	Green Economy - Szenario
Grundannahmen	Trendfortschreibung	Green Economy wird in Deutschland und anderen Industrieländern verwirklicht Große Transformation
Basis	GreenTech-4.0 (BMUB 2014) bis 2025	Leitbilder: BMUB, UBA, WBGU OECD, EU, UN
Wachstumsdynamik	Fortschreibung der Wachstumsdynamik	Beschleunigte Wachstumsdynamik gegenüber Trend
Zeitraum	2025 2050	2025 2050
Bezugsraum	National Global	National Global

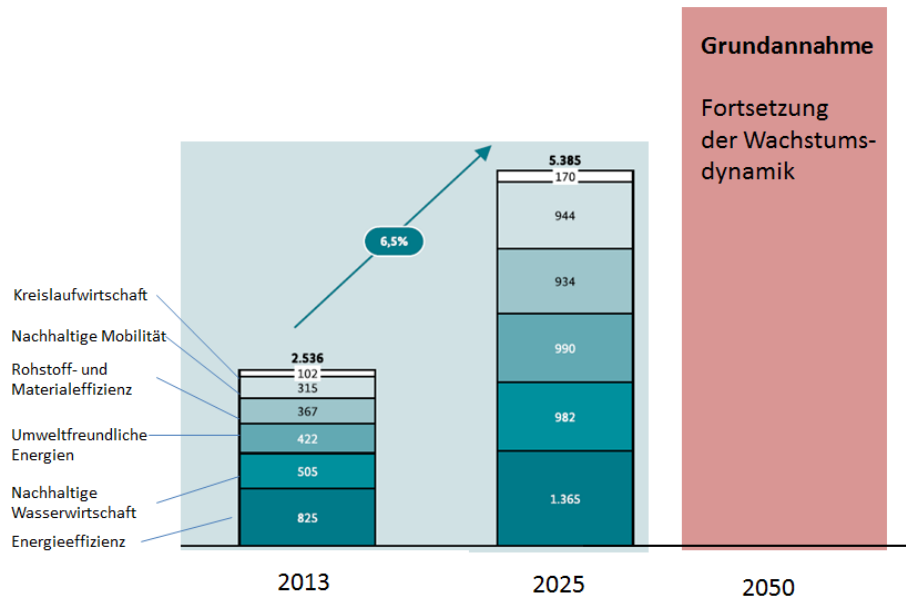
Quelle: eigene Darstellung

Folgende Abbildung illustriert das globale Volumen der Leitmärkte heute (2013) als Ausgangspunkt für beide Szenarien. In dem Spektrum zwischen diesen Szenarien wird sich die künftige Nachfrage nach Umwelttechnologien bewegen. Eine zentrale Rolle spielt die Ausgestaltung der nationalen und globalen Umweltpolitik. Sie ist ein wichtiger Faktor, der sowohl die Größe der Märkte als auch die Technologieentwicklung maßgeblich beeinflussen wird. Sollte sich nicht das BAU-Szenario, sondern das Szenario einer Green Economy verwirklichen, dürften sich die Rohstoffbedarfe vervielfachen.

⁶ AASA. Towards a Sustainable Asia Green Transition and Innovation. [Buchverf.] The Association of Academies of Sciences in Asia. Beijing : Science Press Springer, 2011.

Abbildung 4-1: Startpunkt und Grundannahmen der Szenarien (BAU-Szenario)

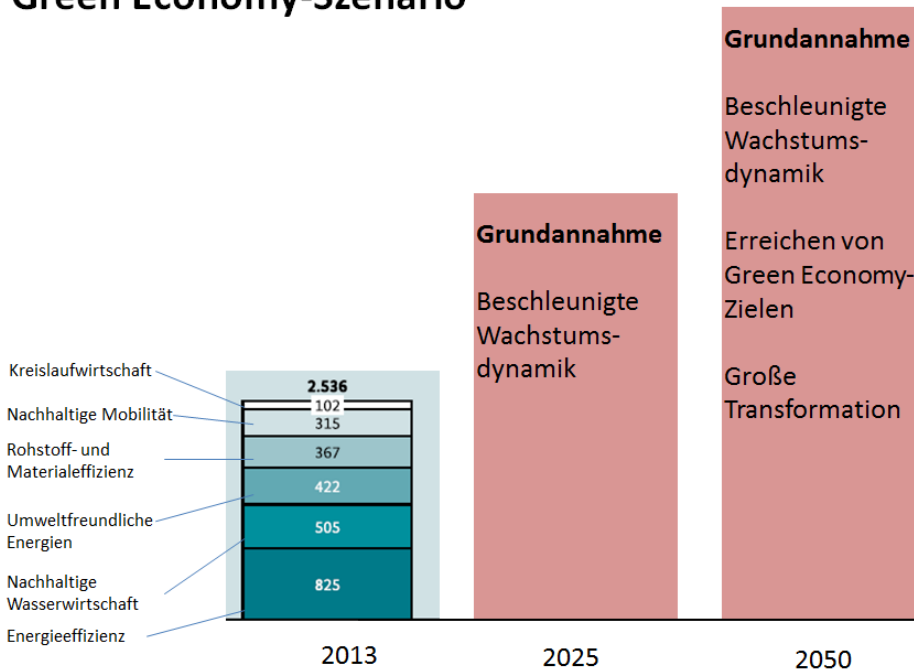
Basis-Szenario



Quelle: BMUB 2014, eigene Darstellung

Abbildung 4-2: Startpunkt und Grundannahmen der Szenarien (Green Economy-Szenario)

Green Economy-Szenario



Quelle: BMUB 2014, eigene Darstellung

Die Szenarienentwicklung orientiert sich an einschlägigen Studien. Beispielfhaft seien genannt:

- ▶ Öko-Institut/Prognos 2009: Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050
- ▶ Öko-Institut 2014: Klimaschutzszenario 2050

- ▶ SRU 2011: Wege zur 100% erneuerbaren Stromversorgung
- ▶ BMUB 2012b: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global
- ▶ BMWi/BMU: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung
- ▶ UBA 2010: Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen
- ▶ FVEE 2010: Energiekonzept 2050 – Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept
- ▶ Greenpeace 2009b: Klimaschutz: Plan B 2050
- ▶ Öko-Institut 2014: eMobil 2050 - Szenarien zum möglichen Beitrag der Elektromobilität zum langfristigen Klimaschutz
- ▶ BMVI 2014: Verkehrsverflechtungsprognose 2030
- ▶ WWF et al. 2014: Klimafreundlicher Verkehr in Deutschland – Weichenstellungen bis 2050
- ▶ Öko-Institut 2014b: Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Energiewende
- ▶ IFEU/Öko-Institut 2013: Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft, 4. Zwischenbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA)
- ▶ Oetjen-Dehne & Partner Umwelt- und Energie-Consult GmbH / Öko-Institut 2014: Stoffstrom-orientierte Lösungsansätze für eine hochwertige Verwertung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen, im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA).

Im Rahmen der jeweiligen Grundannahmen und Narrative sollen die einzelnen Umwelttechnologien detailliert betrachtet werden. Das Analyseschema ist geeignet, um Trends und Dynamik der Umwelttechnologien differenziert zu erfassen. Es ermöglicht Analysen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen. Der Blick auf die Leitmärkte macht den Blick auf die großen Entwicklungslinien sichtbar, Detailbetrachtungen zeigen die Veränderungen bei einzelnen Umwelttechnologien.

Die Szenarien werden im nächsten Arbeitsschritt entwickelt und die Ergebnisse detailliert je Umwelttechnologie im Arbeitsbericht 2 ausgewiesen.

5 Annex zu Kapitel 1: Tabellarische Übersicht der 115 Umwelttechnologien

Tabelle 5-1: Übersicht der 115 Umwelttechnologien

Zwischen folgenden Kategorien wird unterschieden: W: Werkstoff; B: Bauteil; K: Komponente eines Produktes, einer Maschine etc.; P: Produkt; V: Verfahren; T: Technologie

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
Leitmarkt: Energieeffizienz				
1.	Hochwirkungsgradmotoren	Hochwirkungsgradmotoren (Elektromotoren) werden vor allem für Industrieprozesse benötigt - vor allem als Antriebsmotoren. Zwei Aspekte tragen zur Energieeffizienz besonders bei: Die Nutzung von Permanentmagneten (zur Vermeidung der Erregungsleistung durch Netzentnahme) sowie die Auslegung für die Bemessungsleistung. Weitere Energieeinsparungen sind möglich durch eine Antriebsregelung über Stromrichter, Minimierung der Leerlaufverluste, Drehzahlregelung und Nutzung der Bremsenergie.	K	BMUB 2012: 72, NABU 2013:50, Energieeffizienzagentur.EU o.J., ETZ 2011
2.	Kompressoren	Kompressoren (Elektromotoren mit einem Verdichter) erzeugen Druckluft. Hauptquellen für den Energieverlust sind die adiabatische Kompression (Wärmeverlust) sowie Motorineffizienzen (s. "Hochwirkungsgradmotoren"), weitere Möglichkeiten sind die Steuerung des Druckluftsystems und die Abwärmenutzung z. B. durch Wasserkühlung (vgl. BMUB 2012:73).	K	NABU 2013:50, BMUB 2012:70, BMU 2014:189
3.	Varistoren	Variable resistor: spannungsabhängiger Widerstand zur verzögerungsfreien Ableitung von Überspannungen. Durch die dezentrale Energieerzeugung steigt das Problem durch Überspannungen. Mit Varistoren und gasgefüllten Überspannungsableitern lassen sich die hohen Vermögenswerte von Geräten und Anlagen der Elektronik schützen.	B	RESTRA 2014
4.	Organische Elektronik (Polymerelektronik)	Elektronische Schaltungen aus elektrisch leitfähigen Polymeren oder kleineren organischen Verbindungen	T	RESTRA 2014
5.	RFID	Sender-Empfänger-Systeme zum automatischen und berührungslosen Identifizieren und Lokalisieren von Objekten mit Radiowellen.	T	BMWI 2009:86
6.	Frequenzumrichter	Frequenzumrichter ermöglichen die variable, stufenlose Drehzahlregelung von Drehstrommotoren. Frequenzgeregelte Motoren und Pumpen sind sehr	K	BMWI 2009:118, BMUB 2012: 164, RESTRA 2014, NABU 2013:37

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
		energieeffizient, da die Motorleistung an den jeweiligen Bedarf angepasst werden kann. Es wird nur so viel Energie zugeführt, wie für den Prozess benötigt wird. Einsparvolumen von 15% des gesamten industriellen Stromverbrauchs, individuelle Einsparpotentiale je nach Anwendung zwischen 20% und 50% (vgl. ZVEI 2008a zit. nach NABU 2013:37).		
7.	Industrie-Elektromotoren	Industrie-Elektromotoren sind für ca. 2/3 des Stromverbrauchs der Industrie verantwortlich. Die Umstellung auf effiziente Motoren wird durch eine EU-Richtlinie bis 2016/2017 erfolgen. Wichtige Elemente für die Energieeffizienz sind Permanentmagnete, Laststeuerung sowie die Auslegung der Bemessungsleistung. Weitere Energieeinsparungen sind möglich durch eine Antriebsregelung über Stromrichter, Minimierung der Leerlaufverluste, Drehzahlregelung und Nutzung der Bremsenergie.	K	Energieeffizienzagentur.EU o.J., ETZ 2011
8.	Aerogele	Aerogele sind hochporöse Festkörper, deren größter Volumenanteil aus Poren besteht. Aerogele können auf Silikat, Kohlen- und Kunststoffbasis erzeugt werden. Es ist auch möglich, durch den Sol-Gel-Prozess aus Metallen Aerogele zu erzeugen. Aerogele werden u.a. als Isolator eingesetzt, z. B. in der transparenten Wärmedämmung. Ein weiteres Einsatzgebiet ist ihre Nutzung als Isolator in Supercaps (BMW 2009:13).	K	RESTR 2014, BMW 2009:13,24
9.	Sensitive schaltbare Gläser	Bei schaltbaren Gläsern wird zwischen den Glasscheiben ein Flüssigkristall-Film oder eine Folie aufgebracht, der beim Zuschalten einer Spannung die standardmäßig matte Einlage transparent werden lässt (Thiele Glas o.J.). Andere Gläser sollen IR-Durchlässigkeit sicherstellen, um so die Wärmeabstrahlung aus Gebäuden zu erreichen (REESTRA 2014). Elektrochrome Gläser dienen zum Schutz vor Sonneneinstrahlung. Eine mikroskopisch dünne Schicht z. B. aus Wolframoxid und Polyannilin verändert unter Schwachstrom seine Farbe und mindert so die Sonneneinstrahlung erheblich (OPAK o.J.).	K	RESTR 2014, BNG o.J., OPAC o.J.
10.	Metallbeschichtungen auf Gläsern	Eine Beschichtung mit Titan- oder Vanadiumnitrid spiegelt Licht auf Fenstern und vermeidet somit eine Erwärmung durch Lichteinstrahlung (JRG 2013:45). Eine weitere Möglichkeit ist eine Beschichtung mit Edelmetallen (Ag) oder Metalloxiden auf der Scheibenzwischenraumseite des Innenglases.	V	BNG o.J., JRC, 2013: 45, Baunetz o.J.
11.	Neue Chipgenerationen	Energieeffiziente Mikrochips, z. B. Mikrochips, die die Umgebungsenergie für den Betrieb nutzen.	B	RESTR 2014

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
12.	Schwermetallfreier Korrosionsschutz für Metalle	Nanotechnische Lackgrundierungen als Substitut für die schwermetallhaltige Eisen- und Zinkphosphatierung zur Herstellung von Konversionsschichten. Das Verfahren vermeidet dissipative Nutzung von Schwermetallen, die durch Oberflächenverwitterung in die Umwelt gelangen.	W	RESTRA 2014; NABU 2013:50,92
13a.	Membranelektrolyse Chlor-Alkali	Bisheriger Standard der Natronlauge- und Chlorherstellung - zwei fundamentale Stoffe sehr vieler chemischer Prozesse - ist die Chlor-Alkali-Elektrolyse mit hohen Strombedarfen (ein Membranverfahren mit einer Teflonmembran mit negativer Ladungsbesetzung). Das Verfahren hat sich inzwischen weltweit durchgesetzt und z. B. das Amalgam-Verfahren verdrängt. Allerdings ist die Chlorqualität nicht hoch, so dass Reinigungsschritte notwendig sind.	V	BMUB 2012: 69, 91
13b.	Membranelektrolyse Chlor-Alkali mit Sauerstoffverzehrkatode	Chlor bildet die Ausgangssubstanz für rund zwei Drittel aller chemischen Produkte. Gewonnen wird es fast ausschließlich durch die Chlor-Alkali-Elektrolyse – unter anderem mithilfe des sogenannten Membranverfahrens. Durch die Zufuhr von Sauerstoff lässt sich die Wasserstoffbildung jedoch unterdrücken – und es entstehen nur Chlor und Natronlauge. Das senkt den Energieverbrauch um bis zu 30%.		http://www.research.bayer.de/de/sauerstoffverzehrkatode.aspx
14.	Corex/Finex-Verfahren für Stahl	Corex-Prozess: Verfahren zum Herstellen von flüssigem Roheisen. Im Gegensatz zum Hochofenprozess wird kein Hochofenkoks benötigt; Finex-Verfahren: Weiterentwicklung des Corex-Verfahrens ohne die beim klassischen Hochofenprozess notwendige Aufbereitung in Sinter- und Pelletieranlagen	V	BMUB 2012: 69
15.	ULCOS-BF / ULCOWIN / ULCORED / ULCOS	Ressourcenschonende Roheisenerzeugung mit Gichtgasrückführung beim Hochofen und Schmelzreduktion	V	JRC, 2013: 42
16.	Celitement	Celitement® ist ein neues Verfahren der Zementherstellung, das am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickelt wurde und den Energieverbrauch halbieren soll. Außerdem kommt Celitement® mit weniger Rohstoffen aus: Der Bedarf an Kalkstein sinkt um ein Drittel, die Beimengung von Gips als Zuschlagstoff ist überflüssig. Celitement ist ein hydraulisches Bindemittel aus Kalk und Silikaten, welches zu Beton oder anderen Baustoffen verarbeitet werden kann. Die Herstellung ist jedoch wesentlich energieeffizienter als bei vergleichbaren Baustoffen und erzeugt nur ca. 50% vergleichbare CO-Emissionen (KIT o.J.).	V	BMUB 2012:90

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
17.	Sensoren zur Energie-Wasser-Optimierung	Moderne Wasch- und Spülmaschinen sind mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet (Drucksensor für Wasserniveau, Beladungssensor, Schaumsensor, Wassersensor zur Trübungsmessung, Unwuchtsensor, HEA o.J.), die dazu beitragen, dass die Maschinen mit einem Minimum an Energie und Wasser auskommen. Mit Hilfe ausgefeilter Programme erkennen die Maschinen z. B. auch, welche Art von Geschirr vorliegt und wie der Verschmutzungsgrad ist, um hierauf aufbauend das optimale Programm zu wählen.	K	BMU 2013:131, RESTRA 2014, HEA o.J.
18.	Bewegungs- und Präsenzsteuerung	Tageslichtabhängige Leistungsregelung, Präsenzsteuerung der Beleuchtung	K	NABU 2013:20, RESTRA 2014
19.	Smart Meter	Zähler für Energie, z. B. Strom oder Gas, der dem Anschlussnutzer den Energieverbrauch anzeigt und in ein Kommunikationsnetz eingebunden ist (bidirektionale Kommunikation mit der Möglichkeit zum Lastmanagement)	T	NABU 2013:20, JRC, 2013: 50, RESTRA 2014
20.	Mikro-KWK	Mikro-KWK sind kleine Blockheizkraftwerke für den Eigenheimbereich. Die Geräte ergänzen die bisher verfügbaren BHKW, die vor allem für MFH geeignet waren. Mikro-HKW haben einen Stirling-Motor und einen Gas-Brennwertkessel, der bei tiefen Temperaturen die Spitzenlasten übernimmt (Viessmann o.J.).	T	NABU 2013:18
21.	Erdwärmepumpen	Erdwärmepumpen nutzen die niedrige, aber stetige Wärme des Erdreichs von rund 10 Grad, die durch Erdwärmesonden oder -kollektoren erschlossen wird. Ein Trägermedium überträgt die Wärme mittels Wärmetauscher auf ein Gas. Durch adiabatische Kompression wird eine Vorlauftemperatur von 65 Grad erzeugt, die wiederum auf den Heizkreislauf übertragen wird.	T	NABU 2013:18, Bauen.de o.J.
22.	Thin Clients	Ein Thin Client (ggf. auch Zero Client, Cloud Client) ist ein Computer, welcher für die Programmbearbeitung auf die Unterstützung eines Servers angewiesen ist, da Prozessoren, Programme und Speichermedien beim Thin Client minimiert sind. Im Prinzip sind Thin Clients Computerterminals mit einem abgespeckten Betriebssystem.	T	NABU 2013:52, IT Wissen o.J.
23.	Ultratablets	Miniaturisierung ist ein bedeutender Trend in der Computertechnologie. Aus Computern wurden Thin Clients, aus Notebooks wurden Netbooks, und aus Tablets wurden Ultratablets. Schon heute wiegen Tablets weniger als Netbooks, allerdings haben sie auch noch nicht die gleiche Performance. Neue	P	MacLife 2014

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
		Modelle kommen jedoch schon an die Funktionalität und Leistungsfähigkeit von Notebooks heran - bei gleichzeitig geringerem Gewicht (und Ressourceneinsatz).		
24.	Grüne Rechenzentren	Dynamisch prädiktives Lastmanagement, Datenkomprimierung und -deduplizierung, Virtualisierung und Cloud Computing	T	Borderstep 2012, IZT 2014
25.	LED für Hintergrundbeleuchtung in LCDs	Light-emitting diode: lichtemittierendes Halbleiter-Bauelement zur Hintergrundbeleuchtung in Flüssigkristallbildschirmen	T	NABU 2013:32, NABU 2013:33
26.	Organische Leuchtdioden (OLED)	Organische Leuchtdiode (organic light emitting diode, OLED): leuchtendes Dünnschichtbauelement aus organischen halbleitenden Materialien	T	RESTRA 2014
27.	Weißer LED	Leuchtdioden zur Erzeugung von weißem Licht mit verschiedenen Verfahren der additiven Farbmischung	T	RESTRA 2014, (3) BMUB, PM 180/14, 30.09.2014, BMWI 2009:95
28.	Keramik-Metallhalogenid-Lampen	Halogen-Metalldampfampe mit hoher Lichtausbeute	T	NABU 2013:32
29.	Trichromatische Fluoreszenzlampen	Verbesserung der Farbwiedergabe durch RGB- Leuchtstoffmischung	T	N.N.
30.	T5-Leuchtstoffröhren	Leuchtstofflampe, die innen mit einem fluoreszierenden Leuchtstoff beschichtet ist	T	N.N.
31.	Kompakte Fluoreszenzlampen	Fluoreszenzlampen in kompakter Bauform	T	JRC, 2013: 47
32.	Hochwirkungsgrad-Nass- und Trockenläufer	Effiziente Hauswasserzähler mit Anschluss von Zusatzgeräten (Fernübertragung, Kontaktgeber usw.)	P	NABU 2013:37
Leitmarkt: Kreislaufwirtschaft				
33.	Automatische Stofftrennverfahren	Die Mülltrennung in den Wertstoffanlagen ist inzwischen hochautomatisiert, um sortenreine Fraktionen zu erhalten. Die manuelle Vorsortierung ist aber nach wie vor Standard. Ebenso gibt es bei einzelnen Fraktionen wie z. B. Papier noch Potentiale, durch eine automatische Sortierung die Fraktionsqualität zu erhöhen. Die Sortiertechnologie basiert auch auf der Nutzung komplexer Sensoren.	V	BMUB 2012: 115, RESTRA 2014

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
34.	Service Roboter	Staubsaugerroboter, Bodenwischroboter und Rasenmäroboter, Photovoltaik-Reinigungsroboter	P	RESTRA 2014
Leitmarkt: Nachhaltige Mobilität				
35.	E-Bikes und Pedelecs	Pedelec, E-Bike und Elektrofahrrad; mit Elektromotor, Traktionsbatterie, Steuerelektronik für den Motor sowie Sensor für die Kurbelbewegungserkennung	P	NABU 2013:37; http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/schwerpunktthemen/2014_1.phtml ; Zugriff 1.März2015
36.	LKW-Oberleitungen	Bei dieser Technologie wird die Straßenbahntechnologie auf LKWs übertragen, um eine Elektromobilität von LKWs auch auf große Distanzen zu erreichen. Straßenseitig wird ein Oberleitungssystem installiert. Die LKWs werden mit Stromabnehmern und Elektromotoren ausgestattet.	K	Fokus 2014a, Welt 2014. Hacker et al. 2014: eMobil 2050 Szenarien zum möglichen Beitrag des elektrischen Verkehrs zum langfristigen Klimaschutz, Öko-Institut e.V. 2014
37.	Hybridmotoren	Hybridmotoren gibt es in unterschiedlichen Varianten, wobei ein Verbrennungsmotor und ein Elektromotor unterschiedlich zueinander angeordnet und dimensioniert werden. Bei einer Variante unterstützt der Elektromotor den Verbrennungsmotor (beim Anfahren und Beschleunigen), bei einer anderen treibt er ausschließlich den Motor an, und der Verbrennungsmotor lädt nur die Batterie, die ergänzend zum Tank installiert ist.	K	BMW 2009:33, RESTRA 2014, Green Tech 4.0
38.	Elektroantriebsmotoren	Elektronantriebsmotoren können Teil der Hybridmotoren sein, aber bei reinen Elektrofahrzeugen sind sie ausschließliche Antriebsmotoren.	K	BMW 2009:33,118, NABU 2013:35, RESTRA 2014; Green Tech 4.0
39.	Karosserie (Kunststoff, Aluminium, GFK, Carbon)	Je leichter die Karosserie, desto geringer ist der Energieverbrauch. Insbesondere bei hochpreisigen Kraftfahrzeugen wurde immer schon mit Alternativen zum Karosseriestahl und zu Stahlblechen gearbeitet. Vorreiter war der Renault Alpine. Die Kunststoffkarosserie hat sich jedoch nicht durchgesetzt, wohingegen Aluminium bei hochpreisigen Autos (Audi A8) häufiger verwendet wird (Automobil-Industrie o.J.). Deutliche Einsparungen versprechen Carbon-Karosserien, wie sie für den BMW i3 völlig neu entwickelt wurden (BMW o.J.)	W	BMW 2009:99, Zeit 2012a, RESTRA 2014, Green Tech 4.0
40.	Hocheffiziente Flug-	Hocheffiziente, verbrauchsarme Triebwerke, z. B. Erhöhung des Vortriebswir-	K	RESTRA 2014; http://www.vie-

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
	zeugtriebwerke	kungsgrades von Triebwerken durch die Einführung von hocheffizienten neuen Schubzeugern		umwelt.at/zukunft/acare; VDI 2014: Werkstoffinnovationen für nachhaltige Mobilität und Energieversorgung
41.	Leichtbau - Titan und Sc.-Airframe	Flugzeuge werden üblicherweise aus Aluminium gebaut. Scandium erhöht die Festigkeit des Aluminiums, weshalb es auch für tragende Elemente im Flugzeug genutzt werden kann. Zudem müssen Scandiumlegierungen nicht lackiert und können geschweißt werden.	K	BMW 2009:58, RESTRA 2014, http://www.vie-umwelt.at/zukunft/acare ; VDI 2014: Werkstoffinnovationen für nachhaltige Mobilität und Energieversorgung
42.	Real Time Traffic Information und Online-Vernetzung	Real Time Traffic Information ist die Bereitstellung einer individuellen Verkehrslageinformation für einen Autofahrer. Hierbei werden verschiedene Systeme diskutiert. Eines basiert auf der Freigabe der von dem Verkehrsbetreiber erfassten Daten (Ampelsteuerung, Verkehrsüberwachung), die andere basiert auf den von jedem Auto erfassten Informationen (Geschwindigkeit, Abstand, Fahrzeugdichte, Richtungen, Zustand). Aus beiden können Informationen bereitgestellt werden, die Fahrtzeiten optimieren und Standzeiten minimieren.	W	BMUB 2012: 108, Green Tech 4.0
43.	Fahrzeug-Abgas-Katalysatoren	Hier werden alle Fahrzeugabgaskatalysatoren subsummiert: der klassische geregelte Drei-Wege-Katalysator für Ottomotoren, Dieseloxydationskatalysatoren, NOx-Speicherkatalysatoren, SCR-Katalysatoren (Harnstoffeindüsung) als auch Oxydationskatalysatoren für Zweitakt-Ottomotoren, wichtige eingesetzte Metalle sind Palladium, Platin, Rhodium und Cer.	K	Hagelücken, Christian: Autoabgaskatalysatoren - Grundlagen – Herstellung – Entwicklung – Recycling – Ökologie; 2014
44.	Selbstfahrende Kraft- und Lastfahrzeuge	Im PKW-Bereich ist Google der Pionier: Ein computergesteuertes Auto hat mehr als 100.000 km im Straßenverkehr zurückgelegt. Bei den autonomen Transporten gibt es Beispiele für automatisierte Züge in australischen Bergbaugebieten (golem o.J.) oder Projekte für autonome Schiffe (zeit online 2013). Die Technik der Fernsteuerung über Satellitenverbindung oder auch die Selbststeuerung durch Computer scheint schon heute machbar, verkehrs- und haftungsrechtliche Aspekte hemmen den Einsatz. Alle notwendigen Technologien (Fahrerassistenzsysteme, Abstandswarner und -halter, automatische Bremsanlagen, Tempomat, WLAN-Vernetzung) sind heute vorhanden (IZT	T	VDI/VDE-IT 2015 European Roadmap Smart Systems for Automated Driving; Version 1.1

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
		2014a).		
45.	Katalytischer Kraftstoffzusatz	Zusatzstoff- bzw. Betriebsstoff mit katalytischer Wirkung, z. B. SCR-Technologie.	K	http://www.patent-de.com/20080207/DE69637083T2.html ; http://www.aral.de/kraftstoffe-und-preise/kraftstoffe/adblue.html
46.	BtL-Kraftstoffe	BtL-Kraftstoffe (Biomass to Liquid: synthetische Kraftstoffe, die aus Biomasse hergestellt werden. Die Verfahren zur BtL-Produktion sind noch in der Entwicklung, Demonstrations- und Pilotanlagen.	T	RESTRA 2014, Hacker et al. 2014
47.	Adaptronik	Adaptronik (Kunstwort aus adaptiv und Elektronik) ist eine interdisziplinäre Wissenschaft, die sich mit dem Aufbau adaptiver (selbstanpassender), aktiv reagierender mechanischer Struktursysteme befasst. Die in der Adaptronik verwendeten Aktoren werden, anders als in der Mechatronik, direkt in den Kraftfluss integriert und nutzen die elastomechanischen Eigenschaften der verwendeten Materialien aus. Adaptronik setzt Funktionsmaterialien voraus, die auf Umgebungsveränderungen reagieren (z. B. mittels Piezoeffekt) und fokussiert vor allem auf Strukturhalt und -veränderungen.	T	RESTRA 2014, Fraunhofer Adaptronik o.J.

Leitmarkt: Nachhaltige Wasserwirtschaft

48.	Dezentrale Wasseraufbereitung	Semi- oder dezentrale Konzepte der Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastruktur: Regenwassernutzung, Grauwasseraufbereitung, Trinkwasseraufbereitung mittels Membranfiltration, Prozesswasseraufbereitung.	T	BMUB 2012: 132/133/134, RESTRA 2014
49.	Solare Meerwasserentsalzung	Solare Destillation zur Entsalzung von Meerwasser mit Hilfe von Sonnenenergie, verschiedene Verfahren, z. B. mehrstufiges Vakuumverdampfungsverfahren Semi- oder dezentrale Konzepte der Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastruktur: Regenwassernutzung, Grauwasseraufbereitung, Trinkwasseraufbereitung mittels Membranfiltration, Prozesswasseraufbereitung Die Umkehrosmose dient zur Trennung der Komponenten einer Lösung und beruht auf einem druckbetriebenen Prozess, wobei die Triebkraft aus der Differenz des elektrochemischen Potentials zu beiden Seiten der Membran resultiert. Die porenfreien RO-Membranen können gelöste Inhaltsstoffe mit einem Molekulargewicht von weniger als 200 g/mol vollständig zurückhalten, so dass die Umkehrosmose eine höhere Trennleistung als die Nanofiltration	T	

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
		erzielt. Aufgrund des sehr guten Rückhaltevermögens gelöster Salze stellt die RO seit langem ein bewährtes Membranverfahren dar und ist in der Meer- und Brackwasserentsalzung.		
50.	Umkehrosmose, (hochpermeable) Membransysteme	Membranverfahren zeigen hohe Trennleistungen und können für ein breites Spektrum von Anwendungen eingesetzt werden, wie z. B. in der Abwasserbehandlung, der Trinkwasseraufbereitung und der Wasserentsalzung: Umkehrosmose (hoch-permeable Membranen), Mikrofiltrationsmembranen, Nanofiltrationsmembranen. Trennverfahren lassen sich kombinieren.	T	BMUB 2012:148, BMWI 2009:48, NABU 2013:34
51.	Ultrafiltration (Mikro-, Nano-)	Ultrafiltration: Membrantechnik zur Abtrennung und Aufkonzentration makromolekularer Substanzen und kleiner Partikel aus Abwasser. Die Mikrofiltration (MF) und die Ultrafiltration (UF) gehören zu den druckgetriebenen Membranverfahren und sind bezüglich Betriebsdruck und Trenngrenze zwischen der Nanofiltration und der Filtration (z. B. Sandfiltration) einzuordnen. Die Trennmechanismen der MF- und UF-Membranen sind sehr ähnlich und die Einsatzbereiche können sich stark überschneiden	T	NABU 2013
49b	Wassereffizienztechnologien	Technologien zur Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung: u.a. Mess- und Regeltechnik, Smart Metering, Ultraschallzähler.	T	BMUB 2014
52.	Phosphorrückgewinnung	Phosphorrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm; verschiedene Verfahren: z. B. Phostrip-Verfahren, Seaborne-Verfahren, P-Rücklösung und MAP-Fällung in der Schlammbehandlung.	V	RESTRA 2014
Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz				
53.	Maßgeschneiderte Katalysatoren	Maßgeschneiderte Katalysatoren in der Chemie und Feinchemie (z. B. in Verbindung mit strukturierten katalytischen Reaktoren) mit Potential zur Ressourcenschonung.	K	Business Standard 2015: http://www.business-standard.com/content/b2b-chemicals/global-catalyst-market-to-exceed-20-bn-in-2018-115010800787_1.html
54.	Biokatalyse-Anlagentechnik	Anwendung von Enzymen als Katalysatoren in chemischen Reaktionen. Biokatalytische Verfahren bieten in verschiedenen Bereichen Einsparungsmöglichkeiten, z. B. in der Papier-, Waschmittel- und Lederindustrie.	V	RESTRA 2014

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
55.	Kunststoffherstellung aus verholzter Biomasse	Verholzte Biomasse kann vielfältig - d.h. mehr als nur zur Wärmeerzeugung - genutzt werden. Die AVA Biochem erzeugt z. B. hieraus Hydroxymethylfuran, welches als Basischemikalie für viele andere Produkte der Farben- und Kunststoffindustrie dient.	V	RESTRA 2014, BMEL 2014, KIT 2014, Green Tech 4.0
56.	Bleifreie Lote	Z. B. Zinnlegierungen mit Kupfer und Nickel, Zinnlegierungen mit Kupfer und Silber, Verwendung von Wismut.	W	BMW 2009:62; IZT ISI 2009, DERA 2014: Elsner, H.: DERA Rohstoffinformationen 20, Zinn - Angebot und Nachfrage bis 2020
57.	Korrosionsfeste Superlegierungen	Cr-Ni-Legierungen, die weniger als 50% Eisen enthalten und eine hohe Korrosions- und Warmfestigkeit aufweisen.	W	NABU 2013:50JRC, 2013:23; CRM, 2013: 58, 91; BMUB 2012:57, RESTRA 2014, BMW 2009:221
58.	Hochtemperatur-Supraleiter	Materialien, deren elektrischer Widerstand beim Unterschreiten der Sprungtemperatur auf Null fällt. Anwendungsfeld ist die Erzeugung starker, konstanter oder nur langsam veränderter Magnetfelder mit geringem Energieverlust.	W	BMW 2009:229, NABU 2013:39, RESTRA 2014
59.	Hochwarmfeste Superlegierungen	Superlegierungen: Werkstoffe komplexer Zusammensetzung für Hochtemperaturanwendungen (Motoren-, Turbinen- und Triebwerksbau, Energietechnik sowie Luft- und Raumfahrt).	W	JRC, 2013:23; CRM, 2013: 58, 91; BMUB 2012:57, RESTRA 2014, BMW 2009:221; Roskill 2013: Jack Bedder and Robert Baylis Roskill Information Services Ltd., Into the melting pot: the superalloy market and its impact on minor metals, Minor metals conference, London 28th Feb. 2013
60.	Hochleistungs-Permanentmagnete: übrige Anwendungen	Hochleistungs-Permanentmagnete sind Leistungskomponenten in elektrischen Systemen, wie z. B. Elektromotoren für die Industrieautomatisierung und Generatoren für die Energiewandlung.	K	BMW 2009:238, RESTRA 2014, BaWü 2014: Öko-Institut e.V.: Untersuchung zu Seltenen Erden: Permanentmagnete im industriellen Einsatz in Baden-Württemberg
61.	Anorganische Nanokomposite	Neuartige Elektrolyte und Eisenoxid-Fluide mit Anwendung in Batterien und Solarzellen.	W	RESTRA 2014, TU-Dresden 2013
62.	Formgedächtnis-	Formgedächtnis-Legierungen sind spezielle Metalle mit unterschiedlichen	W	Industrieanzeiger o.J., VDI 2014:

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
	Legierungen	Kristallstrukturen, die ineinander überführt werden können (Memory-Effekt). Sie können somit als Aktoren (Stellhebel) genutzt werden. Meist erfolgt der Übergang auf einen thermischen Effekt, aber auch magnetische Wirkung ist möglich. Beispiele für die Legierungen sind Nitinol (Ni-Ti) oder NiTi (Ni-Ti-Cu). Anwendungsbeispiele sind pneumatische Ventile, Hydraulikpumpen, Autofokuskameras, Zahnspangen und Stents.		Werkstoffinnovationen für nachhaltige Mobilität und Energieversorgung; Hermes V. 2012: Brachliegen des Marktpotential, Absatzwirtschaft 8/2012
63.	Metallschäume	Metallschaum ist ein hochporöser Werkstoff, der sehr leicht ist. Er wird häufig aus Titan, Aluminium oder Magnesium hergestellt. Anwendungsbeispiele sind Schwingungsdämpfung, Stoßabsorber, Hitzeschilde oder Leichtbauelemente, z. B. für Schiffe oder Schienenfahrzeuge.	W	BMW 2009:27, BMUB 2012:90, IWU o.j.
64.	3-D-Drucker	Ein 3-D-Drucker ist eine Maschine, die dreidimensionale Werkstücke aufbaut. Der Aufbau erfolgt computergesteuert aus einem oder mehreren flüssigen oder festen Werkstoffen nach vorgegebenen Maßen und Formen. 3-D-Drucker wurden ursprünglich von der Industrie vor allem zur Fertigung von Prototypen eingesetzt (Rapid Prototyping), inzwischen geht es zunehmend darum, diese Verfahren auch für die industrielle Fertigung von Produkten in höherer Stückzahl einzusetzen. Wesentlich ist, dass unterschiedliche Materialien - inzwischen nicht nur Kunststoffe, sondern auch Metalle und Keramiken - verwendet werden, die mit unterschiedlichen Technologien während des Drucks gehärtet werden (selektive Elektronenstrahlschmelze, Lasersintern, Stereolithographie).	T	RESTRA 2014 (sowie IÖW), TU Berlin o.J.; Stahl 2013, Öko-Institut: 3D Printing - Risks and Opportunities; http://www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/industrie-und-automatisierung/3D-druck-fakten-und-prognosen.html
65.	Carbon Nanotubes (CNT) für Stromleitungen und Drähte	Molekulare Nanoröhren aus Kohlenstoff mit einem Durchmesser von einem bis 50 Nanometer können für die Herstellung von neuen Werkstoffen mit elektrischer Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und einer niedrigen Dichte bei hoher Zugfähigkeit genutzt werden.	W	BMUB 2012:93
66.	Carbon Nanotubes (CNT) für Katalysatoren	Molekulare Nanoröhren können auch als Katalysatoren Edelmetalle ersetzen, insbesondere in der katalytischen Oxidation.	W	BMUB 2012:93
67.	Nanobeschichtung von Oberflächen	Nanostrukturierte Oberflächen mit Lotuseffekt; selbstreinigende Oberflächen durch superhydrophobe mikro- und nanostrukturierte Oberflächen; Beschichtung von Oberflächen mit Nano-Schichten, um die Abriebfestigkeit zu erhöhen und Verschleiß zu mindern oder um Schmieröle überflüssig zu machen.	W	BMUB 2012:93

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
68.	Precision Farming	Verfahren der ortsdifferenzierten und zielgerichteten Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen; kleinräumige Boden- und (Pflanzen-) Bestandsführung ermöglicht gezieltere Saat bzw. Düngung. Deutsche Bank Research 2014: Industrie 4.0 Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor.	V	RESTRA 2014, Bokelmann, W., Doernberg, A., Schwerdtner, W., Kuntosch, A., Busse, M., König, B., Siebert, R., Koschatzky, K., Stahlecker, T. (2012): Sektorstudie zur Untersuchung des Innovationssystems der deutschen Landwirtschaft, Deutsche Bank Research 2014: Industrie 4.0 Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor
69.	Mikroreaktionstechnik	Technologie für chemische Reaktionen im Mikro- und Millimetermaßstab. Optionen zu einer effizienteren, sichereren und ressourcensparenden (z. B. Lösungsmittel) Prozessführung in der Chemie- und Pharmaindustrie.	T	Fraunhofer ICT, o.J. Mikroreaktionstechnik
70.	Me-Schlacken- und P-Klärschlammaufbereitung	Aufbereitung von Schlacken der Metallurgie und der Müllverbrennung zur Rückgewinnung von Metallen.	V	BMUB 2012:89,135; Wotruba et al: 2013: Aufbereitung metallurgischer Schlacken, Recycling und Rohstoffe, Band 6, TK Verlag

Leitmarkt: Umweltfreundliche Energien & Speicherung

71.	SCR Selective Katalytische Reduktion: ohne Autoabgaskatalysatoren	Bei der selektiven katalytischen Reduktion werden Abgase von Stickoxiden gereinigt. Beispiele sind Feuerungs- und Müllverbrennungsanlagen. Die Katalysatoren sind Oxide von Titan, Vanadium oder Wolfram. DeNOx“-Anlagen.	V	BMUB 2012: 102, RESTRA 2014, Chemie o.J.
72.	NOx-Speicherkatalysator: ohne Autoabgaskatalysatoren	Die Oxidation von CO und unverbrannten Kohlenstoffen erfordert eine andere Luftzusammensetzung als die von Stickoxiden, weshalb diese abgetrennt (zwischen gespeichert) werden. Hierzu werden die Stickoxide auf einem Bariumkatalysator zu Nitraten aufoxidiert, um dann wieder rückoxidiert zu werden, damit sie dann im SRC-Prozess entfernt werden können.	V	BMUB 2012: 102, RESTRA 2014, NABU 2013:43, kfztech o.J.
73.	Coal to Liquid (CtL)	Direkte Hydrierung von Kohle zur Erzeugung von Gasen, Vergaser- und Dieselmotorkraftstoffen. Der dazu notwendige Wasserstoff wird durch Kohlevergasung erhalten.	T	MIT 2012a

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
74.	Gas to Liquid (GtL)	Gas to Liquids (GTL) ist ein synthetischer Kraftstoff auf Basis von fossilem Erdgas. Beim Herstellungsprozess wird zunächst bei hoher Temperatur und hohem Druck ein Synthesegas aus Erdgas erzeugt. Das Synthesegas wird chemisch durch Fischer-Tropsch-Synthese in ein synthetisches Rohöl umgewandelt.	T	Linde o.J, Shell o.J
75.	PEM-Brennstoffzellen	Bei der PEM (Proton-Exchange-Membran) liegen eine Polymer-Elektrolytmembran und Platin als Katalysator der Kathode zur Oxidation eines Stoffes (Wasserstoff, Methan, Methanol) vor. Hauptanwendungsgebiete sind mobile Anwendungen ohne Nutzung der Abwärme, etwa in Brennstoffzellenfahrzeugen oder Akkumulatorladegeräten für unterwegs zu sehen. Auch stationäre Kleinanlagen mit einem Abwärmenniveau um 60 bis 80 °C sind möglich.	T	BMW I 2009:48, Wenger 2009, RESTRA 2014
76.	Brennstoffzelle für mobile Geräte	Brennstoffzellen lassen sich inzwischen sehr klein bauen (in der Dimension einer kleinen Zigarettenschachtel). Vielfältige Angebote existieren auf dem Markt, die vor allem die Stromversorgung mobiler IT-Geräte unterstützen sollen. Festoxidzellen (SOFC) können mit Propan betrieben werden, welches zur Erwärmung durch Verbrennung und als Wasserstoffquelle dient. Es laufen Versuche, diese Zellen im 3D-Druck herzustellen.	K	RESTRA 2014, golem.de 2014
77.	SOFC-Brennstoffzellen für stationäre Anlagen	Solid Oxid Fuel Cell: Die SOFC-Brennstoffzelle ist eine effiziente Hochtemperaturzelle (ca. 650 bis 1.000 Grad Celsius) zur Erzeugung von Strom. Sie kann mit Synthesegas betrieben werden. Als Elektrolyt werden z. B. dotierte Zirkoniumoxide verwendet. Ihre Bedeutung erhält sie durch ihre große Dimensionierung und demzufolge hohe Stromerzeugung.	K	RESTRA 2014, BMW I 2009:158
78.	Thermoelektrische Energiewandlung	Bei der thermoelektrischen Energieumwandlung wird Wärme in einem Festkörper direkt in Elektrizität umgewandelt. Beispiele sind die Sekundärenergienutzung im Fahrzeug (Motorwärme) oder Prozessabwärme. Telluride, Antimonide und Silizide werden umfangreich getestet. Auch CoSb scheint geeignet.	V	BMW I 2009:124, RESTRA 2014, DLR o.J.
79.	Urbane Abwärmequellen (Kanalisation, Verkehrssysteme)	Abwärme findet sich sowohl in der Kanalisation als auch in Verkehrssystemen (Tunnels, U-Bahnen). Wärmetauschende Verfahren sind bekannt und arbeiten auch mit bei grober Verunreinigung. Diverse Unternehmen bieten Wärmetauscher an.	V	Enviromental Expert o.J.

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
80.	ORC Organic Rankine Cycle	Der Organic Rankine Cycle ist ein Verfahren, um eine Turbine zu betreiben, wenn nur eine geringe Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und -senke vorliegt. Das Verfahren ist deshalb für Erdwärme, Meereswärme und KWK relevant. Als Arbeitsmittel kann z. B. Ammoniak verwendet werden. Beispiele finden sich z. B. im Geothermiekraftwerke Landau.	V	N.N.
81.	Carbon Capturing CC	Carbon Capture and Storage (CCS) bedeutet Abtrennung und die geologische Speicherung von CO ₂ . CCS-Technologien sollen künftig das bei Verbrennungsprozessen frei werdende CO ₂ mit möglichst wenig zusätzlichem Energieaufwand und Kosten abtrennen, zum Speicher transportieren und dann langfristig und sicher speichern.	T	BMWi 2009:164
82.	Schwarmkraftwerke	Schwarmkraftwerke sind kleine BHKW, die zentral nach Bedarf der Stromerzeugung und nicht für das individuelle Objekt gesteuert werden. Vorreiter sind Lichtblick und VW, die das Projekt aber 2014 einstellten. Bis dahin verblieben jedoch heute ca. 1.000 BHKW, die als Schwarm von Lichtblick gesteuert werden (Zuhausekraftwerk). Andere Begriffe sind Kombikraftwerk, virtuelles Kraftwerk.	T	Lichtblick 2014
83.	Kraftwerke - GuD/Gas	GuD-Kraftwerke nutzen Erdgas zur Erzeugung von Strom (und Wärme für die Nah- oder Prozesswärmeversorgung). Wesentlich ist die Kombination einer Gas- und einer Dampfturbine. Der Wirkungsgrad von GuD-Kraftwerken wird durch die Güte seiner Einzelkomponenten bestimmt. Siemens hat eine Kombination von Gas- und Dampfturbine gebaut, die einen Wirkungsgrad-Rekord von 60% (netto) erreicht. Diese Turbinen können sehr flexibel reagieren, was bei einem hohen Anteil von erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung besonders relevant ist.	T	Siemens o.J.
84.	Tiefengeothermie	Die Tiefengeothermie nutzt hydrothermale und petrothermale Quellen in Tiefen von mehreren hundert bis tausend Metern. Hierbei werden zwei oder mehr Bohrungen vorgenommen und bei Akquifersystemen heißes Tiefenwasser entnommen (und über die zweite Bohrung zurückgepumpt). Bei petrothermalen Systemen wird Wasser in die Tiefe gepresst und erhitzt zurückgewonnen. Über Wärmetauscher wird Dampf erzeugt, der eine Turbine antreibt. In Deutschland gibt es inzwischen auch kommerzielle Tiefengeothermie-Wärmeversorungen (z. B. in Ismaning).	T	Bundesverband Geothermie

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
85.	Mikrogasturbinen	Mikrogasturbinen sind kleine Gasturbinen mit einer Leistung bis zu 200kW elektrisch. Sie sind für den Einsatz in der dezentralen Energieversorgung insbesondere für die Kraft-Wärme-Kopplung geeignet. Auch für die Nutzung von Prozessabwärme - z. B. in Wäschereien, Brauereien oder in der chemischen Industrie - sind sie nutzbar. Eine Kopplung an eine Absorptionskältemaschine ist möglich. Die Welle ist luftgelagert und somit sehr wartungsarm. Sie benötigt kein Kühlwasser.	K	NABU 2013:27f, JRC, 2013:26, BHKW Infozentrum o.J.
86.	Stirlingmotor	Der Stirlingmotor basiert auf der Nutzung von (externer) Wärme zur Expansion eines Arbeitsgases (Luft oder andere Gase) zum Antrieb eines Generators. Im Unterschied zu Verbrennungsmotoren ist der Stirlingmotor nur auf Wärme, aber nicht auf einen Treibstoff angewiesen. Stirlingmotoren können deshalb auch mit BHKW kombiniert werden, um die Wärme der Verbrennung wiederum in Kraft zu übersetzen. Wird der Stirlingmotor von außen angetrieben, fungiert er als Wärmepumpe oder Kältemaschine (Kühlschrank). Stirlingmotoren können auch mit Solarwärme angetrieben werden.	K	N.N.
87.	Dünnschicht-Solarzellen	Dünnschicht-Solarzellen bestehen aus unterschiedlichen Schichten von photovoltaisch aktivem Material wie Cadmium-Tellurid, Gallium-Arsenid oder Kupfer-Indium-Selenid. Die Schichten werden durch Verdampfungs- und Ionisierungsprozesse auf einen Träger aufgebracht und mit einer Glasplatte abgedeckt. Der Wirkungsgrad liegt zwischen 10 und 15% je nach Qualität und Typ. Ihre Herstellung ist einfacher als die von kristallinen Siliziumzellen.	K	BMWI 2009:137, NABU 2013:23; BMUB 2012:227, RESTRA 2014
88.	Farbstoffzellen (Grätzel-DSC-Zellen)	Bei der Technik wurde zunächst ein farbstoffüberzogener Nanokristall-Halbleiter zwischen Glaspanels eingebaut oder zusammen mit einem Elektrolyt in Kunststoff eingeschlossen. Der Farbstoff absorbierte Licht und nutzt dies zur Stromerzeugung. Vermutlich wird diese Form zukünftig keine Rolle mehr spielen, seit der Siebdruck von Grätzel-Zellen gelang. Hierzu wurden Perowskite verwendet, der Wirkungsgrad lag im Jahr 2013 bei ca. 15%. Nachteilig ist die geringere Lebensdauer, vorteilhaft sind die sehr einfache Herstellung und der geringe Ressourceneinsatz.	T	BMWI 2009:131, NABU 2013:23; RESTRA 2014, wiwo 2013
89.	Monokristalline Siebdrucksolarzellen	Die Herstellung von monokristallinen Solarzellen ist mit vielen Prozessschritten verbunden. Durch ein neues Siebdruckverfahren konnten die Vorderseite	T	BMUB 2012:49, ISFH o.J.

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
		mit den Kontakten als auch die Rückseitenpassivierung verbessert werden. Die Zellen mit dem üblichen Industrieformat haben einen Wirkungsgrad von 20%.		
90.	Tandemzellen	Tandemzellen enthalten mehrere Schichten von transparenten Solarzellen, die aufgrund ihrer Dotierung selektiv Bandbreiten der Solarstrahlung nutzen. Hierdurch - und durch Verwendung von Fresnell-Konzentratoren - konnten im Jahr 2014 Wirkungsgrade von fast 50% erreicht werden.	T	BMUB 2012:50, Elektrodenmaterial: RESTRA 2014, Berliner Impulse 2014.
91.	Si-Dickschichtzellen	Für Si-Dickschichtzellen wird kristallines Silizium verwendet. Die Herstellung ist aufwändig und mit hohen Verlusten beim Waferschnitt verbunden. Sie haben jedoch eine hohe Lebensdauer und Lichtausbeute (bis 20%).	T	NABU 2013:33, Elektrodenmaterial: RESTRA 2014
92.	Si-Dünnschicht	Für Si-Dünnschichtzellen wird amorphes oder mikrokristallines Silizium verwendet. Der Energie- und Materialaufwand ist deutlich geringer, dafür ist die Zelle nicht so langlebig (Degradation) und der Wirkungsgrad liegt nur bei etwas über 10%.	T	NABU 2013:34, Elektrodenmaterial: RESTRA 2014
93.	CSP-Technologie	Concentrated Solar Power Technologie ist die kraftwerksmäßige Nutzung der Solarstrahlung. In solarthermischen Kraftwerken werden zum einen rinnenförmige Spiegel (Parabolrinnenkollektoren) eingesetzt, die wie riesige Brenngläser das Sonnenlicht bündeln und auf einen Receiver lenken. In diesem Receiver zirkuliert ein hitzebeständiges Thermoöl (neuerdings auch Wasser), das auf Temperaturen bis zu 400 Grad Celsius aufgeheizt wird. Dieses Arbeitsmedium transportiert die Energie in ein Turbinenhaus, wo über einen Wärmetauscher Dampf erzeugt wird. Der Dampf wiederum treibt eine Turbine zur Stromerzeugung an. Eine andere Form nutzt Spiegel, die das Sonnenlicht auf einen zentralen Spiegel fokussieren, der seinerseits die Energie auf ein Trägermedium überträgt.	T	BMUB 2012:50, BMWI 2009:153, WI 2014:89, RESTRA 2014
94.	Redox-Flow	Redox-Flow-Stromspeicher haben die höchste Kapazität für stationäre und mobile Anwendungen. Sie speichern elektrische Energie in Salzen (Elektrolyte), die elektrische Ausbeute ist relativ hoch (netto 70-80%), zukünftig sind knapp 90% möglich. Vanadium-Redox-Batterien sind am Markt verfügbar und verschiedentlich stationär im Einsatz. Sie arbeiten automatisch und sind weitgehend wartungsfrei.	K	BMW 2009:175, RESTRA 2014, NABU 2013:29

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
95.	Zn-Luft-Batterie	Die Zink-Luft-Batterie ersetzt die Knopfzelle mit Quecksilber. Sie hat eine hohe Energiedichte und eine waagerechte Entladungskurve, so dass sie gut für Hörgeräte u. ä. Produkte eingesetzt werden kann.	K	
96.	Ni-Cd-Batterie	Nickel-Cadmium-Batterien sind nur noch für sicherheitsrelevante Anwendungen (Alarmanlagen, Feuermelder) erlaubt - aufgrund ihrer hohen Zuverlässigkeit und ihrer Aufladbarkeit und Nutzbarkeit für mobile Anwendungen.	K	
97.	Na-S-Batterie	Die Natrium-Schwefel-Batterie ist eine Thermalbatterie, die oberhalb von 250 Grad Celsius betrieben wird und ebenfalls aufladbar ist. Sie wird für kleinere und mittlere Batterie-Speicherkraftwerke verwendet - z. B. zum Ausgleich von Spitzenlasten.	K	
98.	Li-Ionen Batterien für Fahrzeuge	Elektrizitätsspeicher mit höchster Leistungs- und Energiedichte für Fahrzeuge. Sie sind aus heutiger Sicht das aussichtsreichste Fahrzeug-Batteriesystem. Welches Lithiumsystem sich für Elektrofahrzeuge durchsetzen wird, ist noch nicht absehbar. Die Leistungsfähigkeit der Batterien ist noch nicht ausgereizt.	K	BMW 2009:175, RESTRA 2014, JRC, 2013: 54, BMW 2009:169, NABU 2013:29
99.	Li-Ionen Batterien: portable Anwendungen	Li-Ionen Akkus für mobile elektronische Geräte mit hoher Energiedichte	K	NABU 2013, Fraunhofer Technologie-Roadmap für Lithium-Ionen-Batterien 2030
100.	Lithium-Ionen-Stromspeicher	Stromspeicherung mittels Li-Ionen Batteriespeicher: Die Lithium-Ionen-Akkus liefern ihre Leistung innerhalb von Sekundenbruchteilen und stellen damit das Regelpotential einer konventionellen 50 MW Turbine bereit. Dadurch wird Kapazität frei, die für Strom aus Wind und Sonne genutzt werden kann.	K	Younicos 2014
101.	Supercaps	Superkondensatoren oder Doppelschichtkondensatoren haben eine besonders hohe Kapazität und Ladungsdichte. Mit Hilfe von Kohlenstoff-Aerogelen kann eine extrem hohe Elektrodenfläche erzeugt werden. Sie haben extrem hohe Zyklenzahlen. Anwendungen finden sie in der Stromspeicherung (Bremsenergie) oder für die Bereitstellung von Stromspitzen (Blitzlicht). Anwendungen sind in Smart Meter, IKT-Geräten, der USV bis hin zu Lokomotiven oder der Rotorblattsteuerung im Sturm.	K	BMW 2009:54, NABU 2013:19, RESTRA 2014.
102.	Supraleitende Spulen	Energiespeicherung insbesondere bei hohen Energiedichten ist immer noch nicht leicht machbar. Hochtemperatur-supraleitende Spulen (HTS) haben keinen Widerstand und könnten große Energiemengen auf kleinem Raum spei-	K	BMW 2009:228

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
		chern. HTS-Materialien können in Drahtform und diese zu Spulen gewickelt werden. Materialien sind Barium, Wismut, Strontium, Kupfer und Calcium.		
103.	Metallhydrid-Speicher	Metallhydrid-Speicher dienen vor allem der Speicherung von Wasserstoff und somit als Tank für Brennstoffzellen. Die Speicher enthalten Nickel, Kobalt, Lanthan und Neodym. Da die Speicherung chemisch erfolgt (durch Anlagerung), haben die Wasserstoffspeicher eine höhere Sicherheit.	K	Wenger 2009, REESTA 2014
104.	Nano-Speichermaterialien	Molekulare Nanoröhren aus Kohlenstoff mit einem Durchmesser von einem bis 50 Nanometer können für die Herstellung von neuen Werkstoffen vielfältig genutzt werden - wegen ihrer elektrischen Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, der hohen Oberfläche und der niedrigen Dichte. Letztere führt auch zu einer hohen Speicherdichte z. B. für Wasserstoff, der wiederum die Grundlage für die Brennstoffzellentechnologie für mobile Geräte oder für Kraftfahrzeuge sein kann.	K	bdw 2003, Garche 2001, Mauthner 2011
105.	Speicherkraftwerke	Pumpspeicherkraftwerke sind die klassische Form der Energiespeicherung, da hier Wasser als leicht handhabbares Medium genutzt wird. Neben den Talsperren werden auch künstliche Becken, Bergbauschächte oder natürliche Höhlen genutzt. Weitere Möglichkeiten sind Druckluftspeicher, die mit Luft arbeiten.	T	WI 2014:74, NABU 2013:29f.
106.	Permanentmagnet-Generator	Permanentmagnet-Generatoren in verschiedenen Anwendungsbereichen: Windkraftanlagen, Dieselmotor-Generatoren, Gasturbinengeneratoren, kleine Wasserkraftwerken, Kraftwärmekopplungs-Anlagen, Hybridantriebe.	K	WI 2014:74, NABU 2013:22f., REST-RA 2014
107.	Synchron-Generatoren	Generatoren zur Stromproduktion mit Läufer, die mit dem durch die Netzfrequenz vorgegebenen Drehfeld synchron umlaufen.	K	WI 2014:74, NABU 2013:22f., REST-RA 2014
108.	Asynchron-Generatoren	Asynchronmaschinen, welche als Generator betrieben werden. Sie werden unter anderem in dezentralen Kleinkraftwerken eingesetzt.	K	WI 2014:74, NABU 2013:22f., REST-RA 2014
109.	Direktantrieb	Beim Direktantrieb einer Windenergieanlage gibt es kein Getriebe mehr, da dieses direkt mit der Nabe verbunden ist. Diese Technologie verzichtet auf viele bewegliche Teile und ist auch nur auf wenigen Punkten gelagert. Durch den Kugelgraphit-Guss konnten wichtige Teile stabiler hergestellt werden.	K	WI 2014:131, Enercon o.J.
110.	Reluktanzgeneratoren	Der Reluktanzmotor ist eine Bauform eines Elektromotors, bei dem das Drehmoment im Rotor ausschließlich durch die Reluktanzkraft erzeugt wird	K	WI 2014:131

Nr.	Umwelttechnologie	Kurzbeschreibung	Kat.	Literatur
		und nicht zu wesentlichen Anteilen durch die Lorentzkraft, wie dies bei magnetisch erregten Maschinen der Fall ist. Hinweis: Abgrenzung zu Generatoren mit Permanentmagneten.		
111.	HTS-Generatoren	Supraleitender Generator, Anwendung z. B. in Kraftwerken oder Schiffen, die Strom für die Bordelektronik und den Antrieb benötigen. Hinweis HTS: Der Generator nutzt supraleitende Magneten.	K	WI 2014:131.
112.	Power-to-Gas (PtG)	Mit Power-to-Gas (PtG) wird die Umwandlung elektrischer Energie (vorwiegend EE-Strom) in chemische Energie in Form brennbarer Gase beschrieben, z. B. Wasserstoff oder Methan, sowie die Nutzung dieser zur Energiespeicherung und –bereitstellung.		
113.	Power-to-Liquid (PtL)	Der Oberbegriff Power-to-Liquid (PtL) beinhaltet alle Verfahren zur Herstellung flüssiger Energieträger mittels elektrischer Energie. Überwiegend wird heute darunter die Synthese von Flüssigkraftstoffen aus Wasserstoff und CO ₂ über Elektrolyse und Methanisierung mittels EE-Strom verstanden.		

6 Annex zu Kapitel 3: Bewertung der 115 Umwelttechnologien nach Sensitivitätsschritt

Tabelle 6-1: Übersicht der Bewertung der 115 Umwelttechnologien nach dem Sensitivitätsschritt

Nr.	Umwelttechnologie	Kriterium A: relatives Umweltentlastungspotential		Kriterium B: globale Marktdynamik bis 2025		Kriterium C: Relevanz für deutsche Wirtschaft bis 2025		Gesamtergebnis nach Sensitivität
		Einstufung	Punkte	Einstufung	Punkte	Einstufung	Punkte	Punkte
100.	Lithium-Ionen-Stromspeicher	sehr hoch	250	sehr hoch	125	sehr hoch	125	500
106.	Permanentmagnet-Generator	sehr hoch	250	sehr hoch	125	sehr hoch	125	500
107.	Synchron-Generatoren	sehr hoch	250	sehr hoch	125	sehr hoch	125	500
35.	E-Bikes und Pedelecs	sehr hoch	250	sehr hoch	125	sehr hoch	125	500
38.	Elektroantriebsmotoren	sehr hoch	250	sehr hoch	125	sehr hoch	125	500
87.	Dünnschicht-Solarzellen	sehr hoch	250	sehr hoch	125	sehr hoch	125	500
91.	Si-Dickschichtzellen	sehr hoch	250	sehr hoch	125	sehr hoch	125	500
98.	Li-Ionen Batterien für Fahrzeuge	sehr hoch	250	sehr hoch	125	sehr hoch	125	500
93.	CSP-Technologie	sehr hoch	250	sehr hoch	125	hoch	100	475
108.	Asynchron-Generatoren	hoch	200	sehr hoch	125	sehr hoch	125	450
110.	Reluktanzgeneratoren	sehr hoch	250	hoch	100	hoch	100	450
111.	HTS-Generatoren	sehr hoch	250	hoch	100	hoch	100	450
12.	Schwermetallfreier Korrosionsschutz für Metalle	hoch	200	sehr hoch	125	sehr hoch	125	450
16.	Celitement	sehr hoch	250	hoch	100	hoch	100	450
27.	Weiß LED	sehr hoch	250	sehr hoch	125	Mittel	75	450
33.	Automatische Stofftrennverfahren	Hoch	200	sehr hoch	125	sehr hoch	125	450
48.	Dezentrale Wasseraufbereitung	sehr hoch	250	sehr hoch	125	mittel	75	450
49.b	Wassereffizienztechnologien	hoch	200	sehr hoch	125	sehr hoch	125	450

Nr.	Umwelttechnologie	Kriterium A: relatives Umweltentlastungspotential		Kriterium B: globale Marktdynamik bis 2025		Kriterium C: Relevanz für deutsche Wirtschaft bis 2025		Gesamtergebnis nach Sensitivität
		Einstufung	Punkte	Einstufung	Punkte	Einstufung	Punkte	Punkte
51.	Ultrafiltration (Mikro-, Nano-)	sehr hoch	250	sehr hoch	125	mittel	75	450
52.	Phosphorrückgewinnung	sehr hoch	250	hoch	100	hoch	100	450
56.	Bleifreie Lote	sehr hoch	250	hoch	100	hoch	100	450
68.	Precision Farming	sehr hoch	250	hoch	100	hoch	100	450
78.	Thermoelektrische Energiewandlung	hoch	200	sehr hoch	125	sehr hoch	125	450
83.	Kraftwerke - GuD/Gas	hoch	200	sehr hoch	125	sehr hoch	125	450
88.	Farbstoffzellen (Grätzel-DSC-Zellen)	sehr hoch	250	hoch	100	hoch	100	450
40.	Hocheffiziente Flugzeugtriebwerke	hoch	200	sehr hoch	125	hoch	100	425
50.	Umkehrosmose, (hochpermeable) Membransysteme	hoch	200	hoch	100	sehr hoch	125	425
13b.	Membranelektrolyse Chlor-Alkali mit Sauerstoffverzehrkatode	hoch	200	hoch	100	sehr hoch	125	425
26.	Organische Leuchtdioden (OLED)	sehr hoch	250	mittel	75	hoch	100	425
2.	Kompressoren	sehr hoch	250	mittel	75	hoch	100	425
39.	Karosserie (Kunststoff, Aluminium, GFK, Carbon)	mittel	150	sehr hoch	125	sehr hoch	125	400
43.	Fahrzeug-Abgas-Katalysatoren	sehr hoch	250	mittel	75	mittel	75	400
53.	Maßgeschneiderte Katalysatoren	hoch	200	hoch	100	hoch	100	400
67.	Nanobeschichtung von Oberflächen	mittel	150	sehr hoch	125	sehr hoch	125	400
8.	Aerogele	hoch	200	hoch	100	hoch	100	400
24.	Grüne Rechenzentren	hoch	200	hoch	100	hoch	100	400
37.	Hybridmotoren	mittel	150	hoch	100	sehr hoch	125	375
60.	Hochleistungs-Permanentmagnete: übrige	mittel	150	hoch	100	sehr hoch	125	375

Nr.	Umwelttechnologie	Kriterium A: relatives Umweltentlastungspotential		Kriterium B: globale Marktdynamik bis 2025		Kriterium C: Relevanz für deutsche Wirtschaft bis 2025		Gesamtergebnis nach Sensitivität
		Einstufung	Punkte	Einstufung	Punkte	Einstufung	Punkte	Punkte
	Anwendungen							
77.	SOFC-Brennstoffzellen für stationäre Anlagen	sehr hoch	250	gering	50	mittel	75	375
41.	Leichtbau - Titan und Sc.-Airframe	hoch	200	mittel	75	mittel	75	350
112.	Power-to-Gas (PtG)	sehr hoch	250	gering	50	gering	50	350
5.	RFID	mittel	150	hoch	100	hoch	100	350
70.	Me-Schlacken- und P-Klärschlamm aufbereitung	mittel	150	hoch	100	hoch	100	350
75.	PEM-Brennstoffzellen	sehr hoch	250	gering	50	gering	50	350
28.	Keramik-Metallhalogenid-Lampen	hoch	200	Mittel	75	Mittel	75	350
62.	Formgedächtnis-Legierungen	hoch	200	mittel	75	mittel	75	350
9.	Sensitive schaltbare Gläser	mittel	150	hoch	100	hoch	100	350
84.	Tiefengeothermie	sehr hoch	250	gering	50	gering	50	350
1.	Hochwirkungsgradmotoren	mittel	150	hoch	100	hoch	100	350
17.	Sensoren zur Energie-Wasser-Optimierung	mittel	150	hoch	100	hoch	100	350
21.	Erdwärmepumpen	mittel	150	hoch	100	hoch	100	350
6.	Frequenzumrichter	mittel	150	hoch	100	hoch	100	350
64.	3-D-Drucker	mittel	150	hoch	100	hoch	100	350
7.	Industrie-Elektromotoren	mittel	150	hoch	100	hoch	100	350
105.	Speicherkraftwerke	sehr hoch	250	gering	50	gering	50	350
92.	Si-Dünnschicht	hoch	200	mittel	75	mittel	75	350
71.	SCR Selective Katalytische Reduktion: ohne Autoabgaskatalysatoren	gering	100	sehr hoch	125	hoch	100	325
13a.	Membranelektrolyse Chlor-Alkali	mittel	150	mittel	75	hoch	100	325

Nr.	Umwelttechnologie	Kriterium A: relatives Umweltentlastungspotential		Kriterium B: globale Marktdynamik bis 2025		Kriterium C: Relevanz für deutsche Wirtschaft bis 2025		Gesamtergebnis nach Sensitivität
		Einstufung	Punkte	Einstufung	Punkte	Einstufung	Punkte	Punkte
20.	Mikro-KWK	Mittel	150	mittel	75	hoch	100	325
90.	Tandemzellen	sehr hoch	250	sehr gering	25	sehr gering	25	300
99.	Li-Ionen Batterien: portable Anwendungen	gering	100	sehr hoch	125	mittel	75	300
49.	Solare Meerwasserentsalzung	hoch	200	gering	50	gering	50	300
55.	Kunststoffherstellung aus verholzter Biomasse	gering	100	sehr hoch	125	Mittel	75	300
65.	Carbon Nanotubes (CNT) für Stromleitungen und Drähte	mittel	150	mittel	75	mittel	75	300
66.	Carbon Nanotubes (CNT) für Katalysatoren	mittel	150	mittel	75	mittel	75	300
103.	Metallhydrid-Speicher	mittel	150	mittel	75	mittel	75	300
23.	Ultratablets	hoch	200	mittel	75	sehr gering	25	300
31.	Kompakte Fluoreszenzlampen	gering	100	sehr hoch	125	Mittel	75	300
34.	Service Roboter	gering	100	hoch	100	hoch	100	300
36.	LKW-Oberleitungen	sehr hoch	250	sehr gering	25	sehr gering	25	300
4.	Organische Elektronik (Polymerelektronik)	gering	100	hoch	100	hoch	100	300
45.	Katalytischer Kraftstoffzusatz	hoch	200	gering	50	gering	50	300
57.	Korrosionsfeste Superlegierungen	mittel	150	mittel	75	mittel	75	300
58.	Hochtemperatur-Supraleiter	mittel	150	mittel	75	mittel	75	300
59.	Hochwarmfeste Superlegierungen	mittel	150	mittel	75	mittel	75	300
63.	Metallschäume	hoch	200	gering	50	gering	50	300
69.	Mikroreaktionstechnik	mittel	150	mittel	75	mittel	75	300
79.	Urbane Abwärmequellen (Kanalisation, Verkehrssysteme)	sehr hoch	250	sehr gering	25	sehr gering	25	300
94.	Redox-Flow-Batterien	hoch	200	gering	50	gering	50	300

Nr.	Umwelttechnologie	Kriterium A: relatives Umweltentlastungspotential		Kriterium B: globale Marktdynamik bis 2025		Kriterium C: Relevanz für deutsche Wirtschaft bis 2025		Gesamtergebnis nach Sensitivität
		Einstufung	Punkte	Einstufung	Punkte	Einstufung	Punkte	Punkte
97.	Na-S-Batterien	mittel	150	mittel	75	mittel	75	300
81.	Carbon Capturing CC	hoch	200	gering	50	sehr gering	25	275
15.	ULCOS-BF / ULCOWIN / ULCORED / ULCOS	Mittel	150	gering	50	Mittel	75	275
18.	Bewegungs- und Präsenzsteuerung	gering	100	Mittel	75	hoch	100	275
44.	Selbstfahrende Kraft- und Lastfahrzeuge	gering	100	mittel	75	hoch	100	275
101.	Supercaps	mittel	150	gering	50	gering	50	250
54.	Biokatalyse-Anlagentechnik	mittel	150	gering	50	gering	50	250
61.	Anorganische Nanokomposite	gering	100	mittel	75	mittel	75	250
10.	Metallbeschichtungen auf Gläsern	gering	100	hoch	100	gering	50	250
104.	Nano-Speichermaterialien	mittel	150	gering	50	gering	50	250
109.	Direktantrieb	sehr gering	50	hoch	100	hoch	100	250
11.	Neue Chipgenerationen	gering	100	hoch	100	gering	50	250
14.	Corex/Finex-Verfahren für Stahl	Mittel	150	gering	50	gering	50	250
19.	Smart Meter	gering	100	hoch	100	gering	50	250
22.	Thin Clients	mittel	150	gering	50	gering	50	250
29.	Trichromatische Fluoreszenzlampen	gering	100	Mittel	75	Mittel	75	250
42.	Real Time Traffic Information und Online-Vernetzung	gering	100	mittel	75	mittel	75	250
80.	ORC Organic Rankine Cycle	hoch	200	sehr gering	25	sehr gering	25	250
82.	Schwarmkraftwerke	hoch	200	sehr gering	25	sehr gering	25	250
85.	Mikrogasturbinen	mittel	150	gering	50	gering	50	250
95.	Zn-Luft-Batterien	hoch	200	sehr gering	25	sehr gering	25	250
113.	Power-to-Liquid (PtL)	gering	100	gering	50	mittel	75	225

Nr.	Umwelttechnologie	Kriterium A: relatives Umweltentlastungspotential		Kriterium B: globale Marktdynamik bis 2025		Kriterium C: Relevanz für deutsche Wirtschaft bis 2025		Gesamtergebnis nach Sensitivität
		Einstufung	Punkte	Einstufung	Punkte	Einstufung	Punkte	Punkte
3.	Varistoren	sehr gering	50	Mittel	75	hoch	100	225
30.	T5-Leuchtstoffröhren	sehr gering	50	hoch	100	Mittel	75	225
32.	Hochwirkungsgrad-Nass- und Trockenläufer	sehr gering	50	hoch	100	mittel	75	225
46.	BtL-Kraftstoffe	gering	100	mittel	75	gering	50	225
102.	Supraleitende Spulen	gering	100	gering	50	gering	50	200
47.	Adaptronik	mittel	150	sehr gering	25	sehr gering	25	200
86.	Stirlingmotor	gering	100	gering	50	gering	50	200
25.	LED für Hintergrund-beleuchtung in LCDs	gering	100	gering	50	sehr gering	25	175
76.	Brennstoffzelle für mobile Geräte	sehr gering	50	sehr gering	25	mittel	75	150
89.	Monokristalline Siebdrucksolarzellen	gering	100	sehr gering	25	sehr gering	25	150
72.	NOx-Speicherkatalysator: ohne Autoabgaskatalysatoren	sehr gering	50	sehr gering	25	sehr gering	25	100
73.	Coal to Liquid (CtL)	sehr gering	50	sehr gering	25	sehr gering	25	100
74.	Gas to Liquid (GtL)	sehr gering	50	sehr gering	25	sehr gering	25	100
96.	Ni-Cd-Batterien	sehr gering	50	sehr gering	25	sehr gering	25	100

7 Quellenverzeichnis

- Achzet et al. 2011: Achzet, B.; Reller, A.; Zepf, A. (2011): Materials critical to the energy industry. An Introduction. http://www.physik.uniaugsburg.de/lehrstuehle/rst/downloads/Materials_Handbook_Rev_2012.pdf
- Almeida et. al. 2012: Electric Motors and Drives, Draft Version 2. Coimbra. 2012
- American Physical Society 2011: American Physical Society (2011) Energy Critical Elements: Securing Materials for Emerging Technologies, <http://www.aps.org/policy/reports/popa-reports/upload/elementsreport.pdf>
- BaWü 2014: Öko-Institut e.V.: Buchert, M. et al. (2014): Untersuchung zu Seltenen Erden: Permanentmagnete im industriellen Einsatz in Baden-Württemberg, i.A. des Ministerium für Umwelt, Klima u. Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg, Stuttgart 2014.
- Bayer 2015: Effiziente Elektrolyse - Energie sparen in der Chlorproduktion, online verfügbar unter: <http://www.research.bayer.de/de/sauerstoffverzehrkathode.aspx>
- Berliner Impulse 2014: Rekordsolarzelle mit 48 Prozent Wirkungsgrad entwickelt. [http://www.berliner-impulse.de/nc/aktuelles/news/artikel/browse/1/artikel/rekord-solarzelle-mit-46-prozent-wirkungsgrad-entwickelt-1090.html?tx_ttnews\[backPid\]=71&cHash=932060b4e0127e7e50b6b1904c528e31](http://www.berliner-impulse.de/nc/aktuelles/news/artikel/browse/1/artikel/rekord-solarzelle-mit-46-prozent-wirkungsgrad-entwickelt-1090.html?tx_ttnews[backPid]=71&cHash=932060b4e0127e7e50b6b1904c528e31)
- BINE 2011: BINE Informationsdienst, Photovoltaik – Innovationen.
- BINE 2013: BINE Informationsdienst, Solarthermische Kraftwerke.
- Bjork et. al 2011: Sower, V., J. Bellah, P. Zelbst, K. Green (2013): RFID and Environmental Sustainability: An Unlikely Partnership. RFID Journal.
- BMU/BMBF 2008: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Bildung und Forschung (2008). Masterplan Umwelttechnologien. [lin. http://www.fona.de/pdf/publikationen/masterplan_umwelttechnologien.pdf](http://www.fona.de/pdf/publikationen/masterplan_umwelttechnologien.pdf)
- BMUB 2012: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, GreenTech made in Germany 3.0, Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland, Berlin.
- BMUB 2012b: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). http://erneuerbareenergien.de/erneuerbare_energien/doc/48514.php
- BMUB 2014: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, GreenTech made in Germany 4.0, Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland, Büchele R. et al., Roland Berger Strategy Consultants, Berlin, Juli 2014.
- BMVI 2015: Schwerpunktthema: Pedelecs - Potenziale in Alltag, Logistik und Tourismus: http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/schwerpunktthemen/2014_1.phtml; Zugriff am 1. März 2015.
- BMW 2009: Angerer, G.; Erdmann, L.; Marscheider-Weidemann, F.; Scharp, M.; Lüllmann, A.; Handke, V.; Marwede, M.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage, ISI-Schriftenreihe Innovationspotenziale, Stuttgart 2009.
- BMW 2010: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. No. 12/10. Basel/Köln/Osnabrück: ewi, gws, prognos.
- Bokelmann et al. 2012: Bokelmann, W. et al.: Sektorstudie zur Untersuchung des Innovationssystems der deutschen Landwirtschaft, Humboldt Universität zu Berlin, Mai 2012.
- Borderstep 2013: Hintemann, Ralph; Fichter, Klaus: Server und Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2012, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit, Berlin, 2013
- Borderstep 2014: Hintemann, Ralph; Clausen, Jens: Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation, im Auftrag des BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V., 2014
- Bosch 2015: Bosch eBike Systems, http://www.bosch-ebike.de/de/company/about_us/about_us.php; Zugriff am 1. März 2015.

Buchert et al. 2011: Buchert, M. et al.: Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität - Arbeitspaket 7 des Forschungsvorhabens OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen (Anhang zum Schlussbericht); Öko-Institut e.V., Daimler AG, Tu Clausthal, Umicore, Förderung durch BMU, Darmstadt 2011.

Business Standard 2015: Global catalyst market to exceed \$20 bn in 2018, http://www.business-standard.com/content/b2b-chemicals/global-catalyst-market-to-exceed-20-bn-in-2018-115010800787_1.html; Zugriff am 1. März 2015.

Chemie.de 2015: Inbetriebnahme erster großtechnischer Anlage zur klimaschonenden Chlorproduktion, online verfügbar unter: <http://www.chemie.de/news/133888/inbetriebnahme-erster-grosstechnischer-anlage-zur-klimaschonenden-chlorproduktion.html>

Cleaner Production Germany 2015: CO₂-Reduktion durch den Einsatz von SVK-Elektroden für die Chlor-Alkali-Elektrolyse, online verfügbar unter: [http://www.cleaner-production.de/projekte-publikationen/projekte/chemie/co2-reduktion-durch-den-einsatz-von-svk-elektroden-fuer-die-chlor-alkalielektrolyse.html?tx_exozetcpgproject_projects\[page\]=3&cHash=29e9ae23c97b440a95ff0760c5e6eafa](http://www.cleaner-production.de/projekte-publikationen/projekte/chemie/co2-reduktion-durch-den-einsatz-von-svk-elektroden-fuer-die-chlor-alkalielektrolyse.html?tx_exozetcpgproject_projects[page]=3&cHash=29e9ae23c97b440a95ff0760c5e6eafa)

Coenen et al. 1996: Coenen, R., Klein-Vielhauer, S., Meyer, R (1996): Integrierte Umwelttechnik: Chancen erkennen und nutzen. Berlin.

CRM_InnoNet 2013: Substitution of Critical Raw Materials. Deliverable report. D3.3 Raw material profiles, September 2013

dena 2010: Deutsche Energie-Agentur, Elektrische Motoren in Industrie und Gewerbe: Motorenarten.

DERA 2014: Elsner, H.: Zinn - Angebot und Nachfrage bis 2020, DERA Rohstoffinformationen 20, Deutsche Rohstoffagentur, Berlin 2014.

Deutsche Bank Research 2014: Heng, S.: Industrie 4.0 - Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor, Deutsche Bank Research, Frankfurt a. Main, 4. Februar 2014.

Donner 2009: Donners, S.: Rost vernichtet drei Prozent des Bruttoinlandsprodukts. Handelsblatt. <http://www.handelsblatt.com/technik/forschung-innovation/gefraessiger-feind-rost-vernichtet-drei-prozent-des-bruttoinlandsprodukts/3318260.html>

DPG 2012: Hoffschmidt, B, Alexopoulos, S., Perspektiven für solarthermische Kraftwerke im Sonnengürtel

EA o.J.: C. Dötsch, Aufbau und Wirkungsweise elektrischer Antriebe an Beispielen der gebräuchlichsten Motorsysteme

EAWAG 2010: Störmer, E., Binz, C., Zukunft der dezentralen Wassertechnologien – Mögliche Massenmärkte und neue Lösungsansätze für Onsite-Technologien in der Siedlungswasserwirtschaft. Bericht der Experteninterview-Kampagne. Eawag, Dübendorf. http://www.eawag.ch/forschung/cirus/schwerpunkte/projektuebersicht/ost/Interview_report.pdf

eco5 2013: Fact Sheet, http://www.eco-5.de/images/downloads/factsheets/2013-04_eco-5-team_fact-sheet-hts-for%20wind.pdf

EcoCosts 2015: www.ecocostsvalue.com

Elektronik Praxis, 2012: Effizienzrekord von fast 11% bei organischer Tandemzelle, <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/elektronikfertigung/fotovoltaik/articles/362658/>

Elektrotechnik 2013: IE4-Antriebspaket mit Synchronreluktanzmotor, <http://www.elektrotechnik.vogel.de/elektromotoren/articles/393232/>

Energy 2.0 2013: Synchron-Reluktanzmotoren erreichen Effizienzklasse IE4, <http://www.energy20.net/pi/index.php?StoryID=317&articleID=223177>

European Parliament 2011: Future Metal Demand from Photovoltaic Cells and Wind turbines, http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2011/471604/IPOL-JOIN_ET%282011%29471604_EN.pdf

E&T 2012: Energie & Technik, HTSL-Generatoren und -Motoren bringen entscheidende Systemvorteile, <http://www.energie-und-technik.de/smart-energy/artikel/86995/>

FOCUS 2014: http://www.focus.de/finanzen/experten/pierer/deutscher-erfindergeist-warum-deutschland-mehr-von-seinem-wissen-profitieren-muss_id_4072573.html

Forbes 2009: Forbes, P.: Selbstreinigende Materialien, Spektrum der Wissenschaft, August 2009.

Fraunhofer 2009: Fraunhofer ISE, Fraunhofer AST, Stand und Entwicklungspotenzial der Speichertechniken für Elektroenergie – Ableitung von Anforderungen an und Auswirkungen auf die Investitionsgüterindustrie

Fraunhofer SCS 2014: Trendstudie RFID & Co: Technologien, Anwendungen und Branchen.

FVEE 2010: Energiekonzept 2050. Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100 % erneuerbaren Energien. 2010 http://www.fvee.de/fileadmin/politik/10.06.vision_fuer_nachhaltiges_energiekonzept.pdf

FZ Jülich 2012: Grenzüberschreitende Partnerschaft in der Dünnschicht-Photovoltaik, <http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/UK/DE/2012/12-12-03solliance.html>

Gabler 2012: Gabler Verlag (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Rechenzentrum, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/74895/rechenzentrum-v8.html>, abgerufen am 20.09.2012.

Greenpeace 2009: Sauberer Strom aus den Wüsten – Globaler Ausblick auf die Entwicklung solarthermischer Kraftwerke

Greenpeace 2009b: Barzantny, K.; Vomberg, S.; Achner, S.: Klimaschutz: Plan B 2050 - Energiekonzept für Deutschland. (Greenpeace e.V., Hrsg.). Hamburg, Aachen.

2009 http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/klima/Plan_B_2050_lang.pdf

Hagelücken 2005: Hagelücken, C. (Umicore AG & Co. KG); Buchert, M.; Stahl, H.; unter Mitwirkung von Chakraborty, S.; Noll, T.; Schmied, M.; Schmitt, B.; Stoffströme der Platingruppenmetalle: Systemanalyse und Maßnahmen für eine nachhaltige Optimierung der Stoffströme der Platingruppenmetalle. ISBN 3-935797-20-6, Clausthal-Zellerfeld: GDMB Medienverlag, 2005.

Hagelücken 2014: Hagelücken, C.: Autoabgaskatalysatoren - Grundlagen – Herstellung – Entwicklung – Recycling – Ökologie; 2014.

IEEE 2013: R. Qu, Y. Liu, J. Wang, Review of Superconducting Generator Topologies for Direct-Drive Wind turbines, <http://snf.ieeecsc.org/sites/ieeecsc.org/files/ASC2012-4LPG-09.pdf>

Idtechex o.J.: <http://www.idtechex.com/research/reports/rfid-forecasts-players-and-opportunities-2014-2024-000368.asp>

IHS - Lighting market 2015: Rhodes, W., Hornung, M., et al (2015): Top Lighting and LEDs Trends 2015. IHS Technology Lighting & LEDs

Ingenieur.de 2012: Hersteller von Antriebstechnik fürchten Rohstoff-

Knappheit, <http://www.ingenieur.de/Fachbereiche/Antriebstechnik/Hersteller-Antriebstechnik-fuerchten-Rohstoff-Knappheit>

ISA (2003): Membrantechnik für die Abwasserreinigung, Institut für Siedlungsabwasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachen 2003

ISE 2013: Fraunhofer ISE, Weltrekord-Solarzelle mit 44,7 Prozent Wirkungsgrad, <http://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/presseinformationen-2013/weltrekord-solarzelle-mit-44-7-prozent-wirkungsgrad>

ISE 2013b: Fraunhofer ISE, Overview about technology perspectives for high efficiency solar cells for space and terrestrial applications

ISE 2014: Fraunhofer ISE, Photovoltaics Report

ISI 2004: Marscheider-Weidemann, F. et al.: Abfallvermeidung bei Produktionen für organische Spezialchemikalien durch den Einsatz hochspezifischer Katalysatoren, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung unter Mitarbeit von Professor Dr. Jens Weitkamp, Universität Stuttgart; UBA-Text 21/04, Berlin Mai 2004.

IWES 2011: Fraunhofer IWES, Windenergie-Report Deutschland 2011

IZE 2008: Technische Universität Berlin, Innovationszentrum Energie (IZE): Konzeptstudie zur Energie- und Ressourceneffizienz im Betrieb von Rechenzentren, Studie zur Erfassung und Bewertung von innovativen Konzepten im Bereich der Anlage-, Gebäude- und Systemtechnik bei Rechenzentren, Berlin 2008.

JRC 2013: Moss, R.L. et al. 2009 Critical Metals in the Path towards the Decarbonisation of the EU Energy Sector, JRC Scientific and Policy Papers, <http://setis.ec.europa.eu/system/files/Critical%20Metals%20Decarbonisation.pdf>

KIT o.J.: Bindendes Versprechen an die Umwelt, http://www.pkm.kit.edu/kit_experten_1161.php

Lewis 2012: Lewis, T. (Hrsg.): Go Pedelec! Handbuch. Wien 2012.

MIT 2007: Z. Judkins, A market analysis for high efficiency multi-junction solar cells grown on SiGe

MORE 2014: Bast, U.; Blank, R.; Buchert, M.; Elwert, T. et al.: Recycling von Komponenten und strategischen Metallen aus elektrischen Fahrantrieben - Kennwort: MORE (Motor Recycling), Siemens AG (Konsortialführung) und 7 weitere Partner, gefördert vom BMBF 2015.

NABU 2013: Kreibich, R., Hofmann, D., Handke, V. und Scharp, M. 2013. Ressourcenschonung durch ausgewählte grüne Zukunftstechnologien. Auftraggeber Naturschutzbund Deutschland NABU, Bearbeitung IZT.

National Resource Defence Council 2014: Data Center Efficiency Assessment: Scaling Up Energy Efficiency Across the Data Center Industry: Evaluating Key Drivers and Barriers, Natural Resources Defense Council, 2014

Neupert 2012: Neupert, H. (1. Vorsitzender ExtraEnergy e.V.): Die globale Relevanz des Pedelecs als Massenverkehrsmittel, Symposium „Sicherer Radverkehr Berlin 19. März 2012.

Öko-Institut/Prognos 2009: Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050, 2009
<http://www.oeko.de/oekodoc/971/2009-003-de.pdf>

Öko-Institut 2013: Möller, M.; Hermann, A.; Groß, R. et al.; Nanomaterialien: Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit. Zürich, vdf Hochschulverlag, 2013

Öko-Institut 2014: Klimaschutzszenario 2050, 2014 <http://www.oeko.de/oekodoc/2019/2014-604-de.pdf>

Öko-Institut 2014b: Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Energiewende.
2014 <http://www.oeko.de/publikationen/download/1857/2014-004-de.pdf/>

Öko-Institut 2015: Möller, M.; Baron, Y.; Köhler, A.; Manhart, A.; Moch, K.; Prakash, S.; Prieß, R.; Background report for the development of an EMAS Sectoral Reference Document on Best Environmental Management Practice for the Electrical and Electronic Equipment manufacturing sector, Preparatory findings supporting the development of an EMAS Sectoral Reference Document, Freiburg, 2015

P&A o.J.: Synchron-Reluktanzmotor versus Asynchronmotor, <http://www.pua24.net/pi/index.php?StoryID=41&articleID=239711>

photovoltaik.eu 2013: ZSW steigert Effizienz von CIGS-Zellen, <http://www.photovoltaik.eu/ZSW-steigert-Effizienz-von-CIGS-Zellen,QUIEPTU1ODk1OSZNSUQ9MzAwMjE.html>

Prakash et al. 2014: Prakash, S.; Baron, Y.; Liu, R; in Zusammenarbeit mit Proske, M. und Schlösser, A.: Study on the practical application of the new framework methodology for measuring the environmental impact of ICT – cost/benefit analysis (SMART 2012/0064), Öko-Institut e.V. in Kooperation mit Technische Universität (TU), Berlin; im Auftrag der Europäischen Kommission, DG CONNECT, Brüssel, 2014

Processnet o.J.: Elektrochemische Energiespeicher – Lithium-Ionen-Batterien, http://www.processnet.org/processnet_media/Elektrochemische+Energiespeicher+_LIB-p-766.pdf

RAL UZ 2012: RAL gGmbH: Vergabegrundlage für Umweltzeichen, Energiebewusster Rechenzentrumsbetrieb, RAL-UZ 161, Ausgabe Juli 2012

RESTRA 2014: ISI 2014: Ermittlung von Substitutionspotentialen von primären strategischen Metallen durch Sekundärmaterialien, UFO-Plan 371193339

SAM 2010: Zukunftsmarkt Wasser, <http://www.robecosam.com/images/2010-water-study-d.pdf>

Schäfer 2014: Magnetlose elektrische Maschinen, gekennzeichnet durch eine hohe Materialverfügbarkeit und deshalb prädestiniert für den breitflächigen Einsatz in Hybrid- und Elektrofahrzeugen

Schindler et al. 2012: Schindler Rebecca, Schmalbein Nico, Steltenkamp Vasco, Cave Jonathan, Wens Bastian, Anhalt Arne (2012): Smart trash Study on RFID tags and the recycling industry; RAND

Schippl et al. 2009: Schippl, J., Grunwald, A., Hartlieb, N., Jörissen, J., Mielicke, U., Parodi, O., Stelzer, V., Weinberger, N. und Dieckhoff, C. (2009). Roadmap Umwelttechnologien 2020 - Endbericht. Wissenschaftliche Berichte / Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft FZKA 7519. Karlsruhe, Forschungszentrum Karlsruhe - Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS).

Schmid 2014: R. Schmid, C. Pillot, Introduction to energy storage with market analysis and outlook

Siebenlist, J. 2001: Präziser Oberflächenschutz gelingt der Nanotechnik auch ohne Chrom.
<http://www.ingenieur.de/Fachbereiche/Mikro-Nanotechnik/Praeziser-Oberflaechenschutz-gelingt-Nanotechnik-Chrom>

Sower 2013: Sower Victor, Bellah Jeremy, Zelbst Pamela and Green Kenneth (2013): RFID and Environmental Sustainability: An Unlikely Partnership. RFID Journal <http://www.rfidjournal.com/articles/view?11008>

- SRU 2011: Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung. Sondergutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen. Berlin. 2011, <http://www.umweltrat.de>
- TU Berlin 2008: M. Frentrup, Solarzellen, http://www.ifkp.tu-berlin.de/fileadmin/i1/Kneissl/IS08_Solarzellen_MF.pdf
- UBA 2007: Radgen, P., Zukunftsmarkt Elektrische Energiespeicherung
- UBA 2008: Walz, R., Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in grünen Zukunftsmärkten
- UBA 2009: Beleuchtungstechnik mit geringerer Umweltbelastung. 3. Ausgabe
(http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/UBA_Licht_Ausgabe_03.pdf)
- UBA 2010: Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen.
2010 <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3997.pdf>
- UBA 2014: Krüger, O, Adam, C., Monitoring von Klärschlammmonverbrennungsaschen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung zur Ermittlung ihrer Rohstoffrückgewinnungspotentiale und zur Erstellung von Referenzmaterial für die Überwachungsanalytik
- VDI 2008: Wasserknappheit und Technologie,
http://www.vditz.de/fileadmin/media/publications/pdf/Wasserknappheit_Technologie_Band_76.pdf
- VDI 2014: Werkstoffinnovationen für nachhaltige Mobilität und Energieversorgung, Herausgeber: Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI), Düsseldorf, März 2014.
- Wendler et al. 1998: Wendler-Kalsch, E., Gräfen, H., Korrosionsschadenkunde, Springer-Verlag, (1998) 602 Seiten.
- Werner et al. 2008: Werner, A.: Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung – pre agro II, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg, gefördert mit Mitteln des BMBF, 2008.
- WI 2014: Wuppertal Institut. 2014. Kritische mineralische Ressourcen und Stoffströme beim Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland. http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/KRESSE_Endbericht.pdf
- Wotruba et al: 2013: Wotruba, H. et al.: Aufbereitung metallurgischer Schlacken, Recycling und Rohstoffe, Band 6, TK Verlag, Berlin 2013.
- Zeit 2012a: Wie Autos abspecken. Online: <http://www.zeit.de/auto/2012-12/leichtbau-auto-sprit>; Zugriff am 1. März 2015.
- ZVEI 2009: Roadmap Automation 2020+ Wasser und Abwasser, Frankfurt/M.