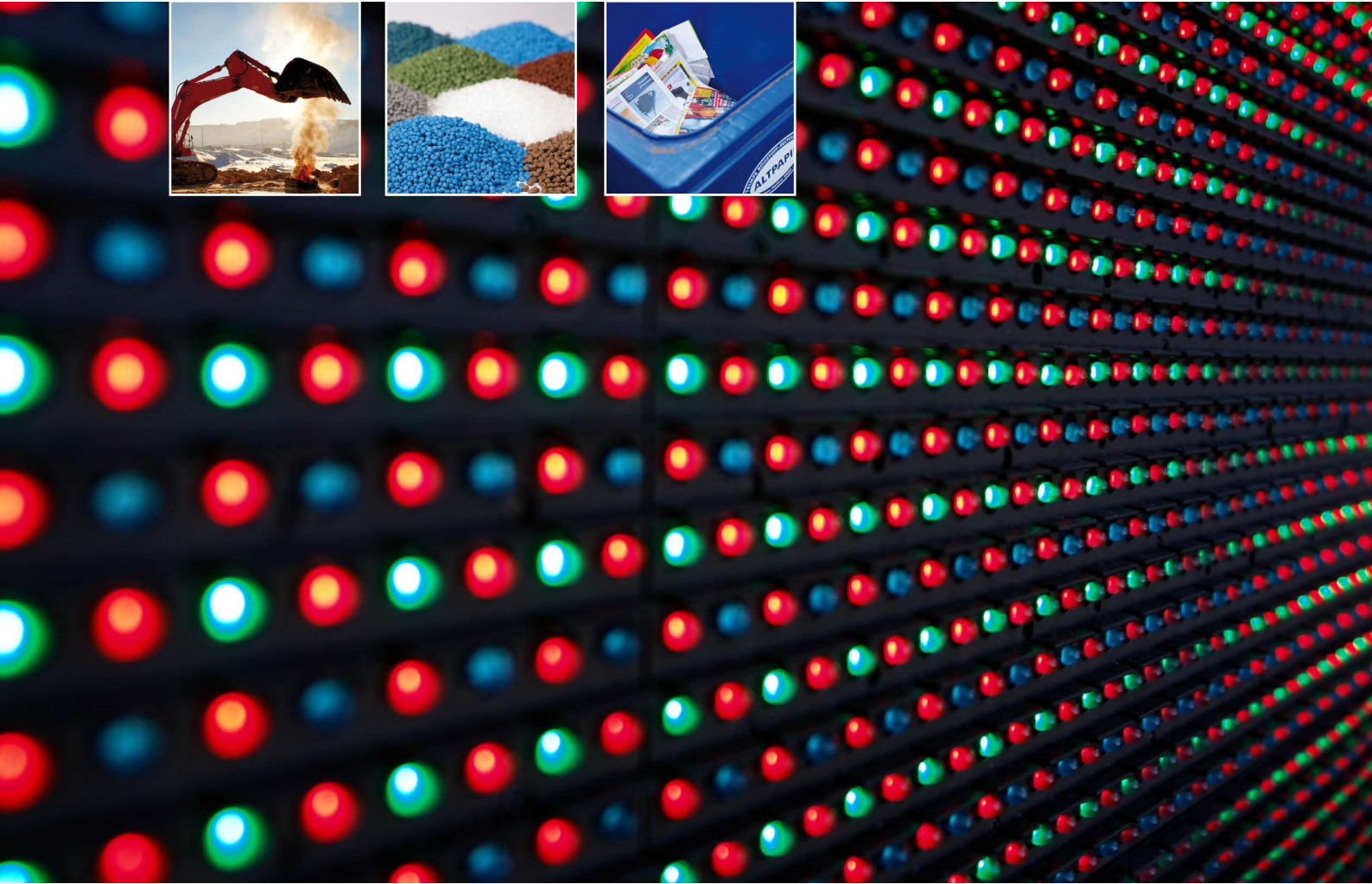


Ressourcenschonung durch ausgewählte grüne Zukunftstechnologien



Impressum

© 2013, NABU-Bundesverband

Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V.

www.NABU.de

Charitéstraße 3

10117 Berlin

Tel. 030.28 49 84-0

Fax 030.28 49 84-20 00

NABU@NABU.de

Text: Vorwort: Olaf Tschimpke (NABU)

Von GreenTech zu grünen Zukunftstechnologien:
Ulrike Meinel (NABU)

Ressourcenschonung durch ausgewählte grüne Zukunftstechnologien:

Prof. Dr. Rolf Kreibich (IZT)

David Hofmann (IZT)

Volker Handke (IZT)

Dr. Michael Scharp (IZT)

Redaktion: Melanie Ossenkop

Gestaltung: Christine Kuchem (www.ck-grafik-design.de)

Bezug: Die Broschüre steht zum Download auf www.NABU.de/ressourcenschonung

Art.-Nr. 5129

Bildnachweis: Titel groß: Fotolia/flucas; Titel klein v. l. n. r.: Fotolia/kyler13, Fotolia/sarikhani, Fotolia/G. Richter; Fotolia/S. Jackal

Dieses Projekt wurde gefördert von:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

**Umwelt
Bundes
Amt**
Für Mensch und Umwelt



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den AutorInnen.

Gemeinsam für die Natur: Machen Sie mit! Werden Sie NABU-Mitglied, spenden Sie für unsere Naturschutzprojekte.
www.NABU.de



Ressourcenschonung durch ausgewählte grüne Zukunftstechnologien

Vorwort	7
Von GreenTech zu grünen Zukunftstechnologien: Anforderungen an die ökologische Effektivität von Umweltinnovationen	8
Ressourcenschonung durch ausgewählte grüne Zukunftstechnologien	11
I. Einleitung	11
II. Gliederung der Technologiemindestliste	14
III. Technologiemindestliste	15
1. Bau, Gebäude und Gebäudetechnik	15
1.1 Baustoffe	15
1.1.1 Recyclingbaustoffe	15
1.1.2 Chemische und thermische Modifizierung von Holz und Holzwerkstoffen	15
1.2 Dämmstoffe	16
1.2.1 Vakuumisolation	16
1.2.2 Zellulose-Wärmedämmung	16
1.2.3 Holzfaserdämmung	16
1.2.4 Isolierverglasung	16
1.3 Heizungstechnik	18
1.3.1 Erdwärmeheizungen	18
1.3.2 Luftwärmeheizungen	18
1.3.3 Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen	19
1.3.4 PEM-Brennstoffzellenheizungen	19
1.4 Wärmerückgewinnung aus der Abluft	19
1.5 Kühlungstechnik: Adiabate Kühlung	19
1.6 Intelligente Steuerung der Haus- und Gebäudesysteme	20
1.6.1 Intelligente Verbrauchssteuerung: Smart Meter	20
1.6.2 Bewegungs- und Präsenzmelder	21
1.6.3 Helligkeitssensoren	21
1.6.4 Funksteuerung/Funkschalter	21
1.6.5 Heizungseinzelraumregelung	21
2. Energie	22
2.1 Energieerzeugung	22
2.1.1 Energieerzeugung durch Windkraft	22
2.1.1.1 Onshore-Windkraftanlagen	22
2.1.1.1.1 Windkraftanlagenbau mit SCD-Technologie (Super Compact Drive)	22
2.1.1.1.2 Kleinwindanlagen	22
2.1.1.2 Offshore-Windkraftanlagen	22
2.1.2 Stromerzeugung durch Solarenergie	23

RESSOURCENSCHONUNG DURCH AUSGEWÄHLTE GRÜNE ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN

2.1.2.1	Solarzellen auf Basis von Silizium-Wafern	23
2.1.2.2	Dünnschicht-Photovoltaik	23
2.1.2.3	Farbstoffsolarzellen (Grätzel-Zellen)	23
2.1.2.4	Solarthermische Kraftwerke	24
2.1.3	Wärmeerzeugung durch Solarenergie	24
2.1.3.1	Thermische Solarkollektoren	24
2.1.3.2	Transparente Wärmedämmung	24
2.1.4	Energieerzeugung aus Biomasse	25
2.1.4.1	Biomassekraftwerke	25
2.1.4.2	Biogasanlagen	25
2.1.5	Energieerzeugung durch Geothermie	25
2.1.5.1	Strom- und Wärmeerzeugung durch oberflächennahe Geothermie	25
2.1.5.2	Strom- und Wärmeerzeugung durch Tiefengeothermie	26
2.1.6	Stromerzeugung durch Gas- und Dampfturbinenkraftwerke	26
2.1.7	Energieumwandlung durch stationäre SOFC-Brennstoffzellenanlagen	26
2.1.8	Kraft-Wärme-Kopplung	27
2.1.8.1	Blockheizkraftwerke	27
2.1.8.1.1	Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerke	27
2.1.8.1.2	Mikrogasturbinen	27
2.1.8.2	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung und solare Kühlung	27
2.1.9	Energieerzeugung aus Wasserkraft: Meeresströmungskraftwerke	28
2.2	Energiespeicherung	28
2.2.1	Chemische Stromspeicher	28
2.2.1.1	Wasserstoff	28
2.2.1.2	Methan	28
2.2.1.3	Lithium-Ionen-Akkumulatoren	29
2.2.1.4	Redox-Flow-Batterien	29
2.2.2	Mechanische Stromspeicher: Schwungräder	29
2.2.3	Thermische Speicher	30
2.2.3.1	Warmwasserspeicher/Erdspeicher	30
2.2.3.2	Wärmespeicherung auf Grundlage von Phasenwechselmaterialien (PCM)	30
2.3	Energieübertragung	30
2.3.1	Intelligente Netze (Smart Grids)	30
2.3.2	Hochfeste Hochtemperatur-Supraleiter	31
2.3.3	Nahwärmenetze	31
2.3.4	Kältenetze	31
2.4	Energieverbrauchsrelevante Geräte	31
2.4.1	Energie- und wassereffiziente Haushalts- und Bürogeräte	31
2.4.2	Energiesparende Leuchtmittel	32
2.4.2.1	LEDs – Licht emittierende Dioden	32
2.4.2.1.1	LEDs für Hintergrundbeleuchtung in Liquid Crystal Displays (LCD)	32
2.4.2.2	Natriumdampflampen	32
2.4.2.3	Keramik-Metallhalogenid-Lampen	32
2.4.2.4	OLEDs – organische Leuchtdioden	33
2.4.2.5	Elektronische Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen	33



3. Fahrzeugbau und elektrische Antriebstechnik	34
3.1 Kraftfahrzeugbau	34
3.1.1 Leichtbau mit kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK)	34
3.1.2 Stahlleichtbau mit Tailored Blanks	34
3.1.3 Elektrofahrzeuge.....	34
3.1.4 Hybridfahrzeuge	35
3.1.5 Elektroleichtfahrzeuge	35
3.1.6 Klimaanlage mit CO ₂ als Kühlmittel	36
3.2 Eisenbahnbau	36
3.2.1 Bremssysteme zur Rückführung von Bremsenergie in das Stromnetz.....	36
3.2.2 Assistenz- und Automatisierungssysteme für den effizienten Betrieb von Eisenbahnen.....	36
3.2.3 Umweltfreundliche Schmiermittel	36
3.2.4 Akustische Gleisoptimierung	36
3.3 Schiffbau: SkySails-Antrieb für Frachtschiffe	37
3.4 Elektrische Antriebstechnik	37
3.4.1 Antriebe mit Frequenzumrichter	37
3.4.2 Frequenzgeregelte Pumpsysteme	37
3.4.3 Ultraeffiziente Energiesparmotoren für industrielle Anwendungen	37
3.4.4 Energieeffiziente elektrische Traktionsmotoren	38
4. Kreislaufwirtschaft/Recycling	39
4.1 Automatische Sammel- und Stofftrennverfahren	39
4.2 Non-Destructive Recycling	39
4.3 Recycling von Solarmodulen	40
4.4 CFK-Recycling	40
4.5 Gewinnung von Sekundärrohstoffen zur stofflichen Nutzung	40
4.5.1 Papierherstellung auf Grundlage von Sekundärfasern	41
4.5.2 Kaltrecycling von Straßenbelägen.....	41
4.6 Erfassung und Verwertung von Deponiegasen	41
4.7 Dichtungskontrollsysteme	41
4.8 „Energieautarke“ Kläranlage.....	41
5. Luftreinigungstechnologien	42
5.1 Rauchgasreinigungsanlagen	42
5.2 Luftreinigung durch Nanokatalysatoren	42
5.3 Thermische Nachverbrennung.....	42
5.4 Abgasrückführsysteme	42
5.5 Dieselrußpartikelfilter	43
5.6 Feinstaubabscheider für Kleinfeuerungsanlagen	43

6. Wassertechnologien	44
6.1 Membranfilter zur Wasseraufbereitung	44
6.1.1 Meerwasserentsalzung mit hocheffizienten Umkehrosmose-Membranen	44
6.2 Ultrafiltration	45
6.3 Wärmerückgewinnung aus Abwasser	45
6.4 Leckagemanagement	45
7. Bergbau	46
7.1 Urban Mining, Landfills Mining	46
7.2 Metall-Biolaugung	46
7.3 Gewinnung von Carnallit durch Solung	46
7.4 Eindampfen von Magnesiumchlorid-Lösung im Kalibergbau	46
8. Chemie	47
8.1 Bioraffinerien	47
8.1.1 Biomass to Liquid	47
8.1.2 Fermentative industrielle Ethanolgewinnung aus verholzter Biomasse	47
8.1.3 Biomasseraffinerie auf Basis von Algen	47
8.2 Biologisch abbaubare Biokunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	48
8.3 Biokatalyse	49
8.3.1 Umweltverträgliche Wasch- und Reinigungsmittel	49
8.4 Mikroreakorteknik	49
9. Material- und Werkstofftechnik	50
9.1 Funktionalisierung und Aktivierung von Oberflächen	50
9.2 Schwermetallfreier Korrosionsschutz für Metalle	50
9.3 Hochkorrosionsfeste Superlegierungen	50
10. Mess-, Steuer- und Regelungstechnik	51
10.1 Null-Ausschuss-Produktion	51
10.2 Prozessoptimierung durch Modellsimulation	51
10.3 Steuerung und Überwachung von Druckluftsystemen	51
10.4 Nutzung von Prozessabwärme	51
11. Informations- und Kommunikationstechnik	52
11.1 Thin Client & Server-Based Computing	52
11.2 Cloud Computing	52
11.3 Energieeffiziente Rechenzentren	52
11.4 Satellitengestützte Verkehrsleitsysteme	53
IV. Anhang zur Technologiemindestliste	54
V. Literatur- und Quellenverzeichnis	55
NABU vor Ort	56



Liebe Leserinnen und Leser,

die Senkung des Verbrauchs natürlicher Ressourcen ist eine unabdingbare Voraussetzung, um Ökosystemdienstleistungen, Biodiversität und Naturräume zu erhalten, auch unter der Maßgabe der Generationengerechtigkeit. Das International Resource Panel schätzt, dass der Ressourcenverbrauch in Industrieländern bis zum Jahr 2050 im Vergleich zum Basisjahr 2000 um mehr als zwei Drittel gesenkt werden muss, um nachhaltige Entwicklung noch ermöglichen zu können. Die Entwicklung und Verbreitung von „grünen Zukunftstechnologien“ stellt eine der wesentlichen Voraussetzungen dar, um dieses Ziel zu erreichen. Darüber hinaus müssen geeignete politische Rahmenbedingungen entwickelt werden, um Rebound-Effekten entgegenzuwirken, die Kreislaufwirtschaft deutlich stärker auszubauen und um soziale Innovationen im Bereich ressourcenschonender Produktions- und Konsummuster zu fördern.

Dass nicht nur Umweltverbände, sondern auch Unternehmen eine solche Umkehr für erforderlich halten, zeigt die Allianz Ressourcenschonung, in der sich der NABU im Juli 2012 mit Unternehmen zusammengeschlossen hat. Die vorliegende Studie hat wesentlich dazu beigetragen, geeignete Unternehmen für dieses Bündnis zu finden. Die Allianz Ressourcenschonung hat sich zum Ziel gesetzt, betriebswirtschaftliche Lösungen und geeignete politische Rahmenbedingungen zur Ressourcenschonung zu identifizieren und in die politische Debatte einzubringen.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre der vom Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) erstellten Übersicht an „grünen Zukunftstechnologien“.

Olaf Tschimpke
NABU-Präsident

Von GreenTech zu grünen Zukunftstechnologien: Anforderungen an die ökologische Effektivität von Umweltinnovationen

Ulrike Meinel, NABU



Schlagworte wie Green Economy, GreenTech und Ressourceneffizienz stellen spätestens seit der zweiten UN-Konferenz zur nachhaltigen Entwicklung in Rio de Janeiro 2012 einen zentralen Strang der internationalen Debatte darüber dar, wie Wirtschaftssysteme generationengerechter und ressourcenschonender gestaltet werden können. Eine der Grundannahmen der „Green Economy“-Debatte lautet, dass es innovative Umwelttechnologien sind, die zentrale Impulse zur Lösung der gegenwärtigen ökologischen Probleme geben (OECD 2009, Roland Berger Strategy Consultants 2012, BMU & BDI 2012). Diese Perspektive wurde von vielen Umwelt- und Entwicklungsorganisationen, aber auch von Teilen der Politik und Wissenschaft als zu einseitig und nicht zielführend kritisiert.

Der Schwerpunkt der Kritik richtet sich darauf, dass unter dem Siegel einer „Green Economy“ ein Technik- und Marktoptimismus genährt wird, der die Notwendigkeit grundlegender ökonomischer und sozialer Veränderungen verdeckt. Angesichts des zunehmenden Marktvolumens eines äußerst breiten Spektrums an Umwelttechnologien wird zudem ein „Greenwashing“ auch von konventionellen Wachstumsstrategien befürchtet (Loske 2012, Paech 2012, BUKO 2012). Darüber hinaus lösen gewünschte Ressourceneffizienz-Innovationen auch unintendierte Mengeneffekte – Rebound-Effekte – aus, bei denen durch verstärkte Marktnachfrage der Ressourcenverbrauch erhöht wird (Madlener & Alcott 2011, Santarius 2012).

Diese Einwände sind berechtigt und wichtig. Zugleich gilt, dass die enormen ökologischen Herausforderungen ohne technische Innovationen nicht zu bewältigen sind. Bislang ist die Frage offen, unter welchen Voraussetzungen Umwelttechnologien tatsächlich ökologisch „effektiv“ werden bzw. welche Maßstäbe an Umwelttechnologien angelegt werden sollten.

Um diese Debatte anzustoßen, haben der NABU und das Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) das Konzept der „grünen Zukunftstechnologien“ entwickelt. Zum Verständnis des Ansatzes sei vorausgeschickt, dass in der Praxis *jede* Herstellung von Gütern – auch für Umwelttechnologien – mit einem Verbrauch von Energie und Fläche sowie mit schädlichen Emissionen einhergeht. Im Idealfall minimiert eine grüne Zukunftstechnologie diese problematischen Aspekte und weist einen erheblichen Umweltnutzen auf. Die ökologische Effektivität von grünen Zukunftstechnologien wird durch folgende Anforderungen sichergestellt:

- *Grüne Zukunftstechnologien müssen zukunftsweisende Techniksysteme unterstützen, anstatt umweltschädliche Systeme zu optimieren und zu legitimieren.*

Das bedeutet, dass beispielsweise die CO₂-Abscheidung bei der Kohleverstromung, mit der Energiekonzerne in Deutschland den Neubau von Kohlekraftwerken zu legitimieren suchen, nicht mit dem Konzept der grünen Zukunftstechnologien vereinbar ist. Vielmehr rücken Innovationen im Bereich der erneuerbaren Energien, Stromspeicher und Stromnetze in den Blick, die für einen Wechsel hin zu einem Energiesystem ohne fossile und nukleare Risikotechnologien erforderlich sind.

- *Grüne Zukunftstechnologien müssen den Ressourcenverbrauch über den gesamten Lebenszyklus hinweg deutlich senken und eine Verlagerung von Umweltbelastungen vermeiden.*

So sind Umwelttechnologien zu hinterfragen, die mit unverhältnismäßig hohem Energieaufwand im Produktionsprozess und in den Vor-



ketten hergestellt werden („graue Energie“) und die nicht hochwertig recycelbar sind. Dies betrifft zum Beispiel derzeitige Dämmstoff-Materialien auf Polystyrol-Basis. Dämmstoffe im Sinne einer grünen Zukunftstechnologie sind dagegen energiesparend in der Herstellung, bestehen aus Recyclingmaterialien und sind wiederverwertbar (z.B. Zellulose-Dämmung) oder zumindest einer Kaskadennutzung zuführbar (z.B. Hanf oder Flachs).¹

Eine Verlagerung von Umweltschäden erfolgt darüber hinaus, wenn die eingesetzten Rohstoffe unter hohen ökologischen Kosten in Minen extrahiert und Sekundärrohstoffe aufgrund fehlender Recyclingsysteme nicht produziert werden. Dies betrifft etwa das Seltene-Erden-Metall Neodym, das u. a. für Permanentmagnete in getriebelosen und damit wartungsarmen Offshore-Windkraftanlagen eingesetzt wird, bei dessen Extraktion aber toxische und radioaktive Substanzen freigesetzt werden (Schüler et al. 2011). Um dem Konzept einer grünen Zukunftstechnologie zu entsprechen, müssen Recyclingsysteme für die jeweiligen Technologien entwickelt werden und flächendeckend tatsächlich zum Einsatz kommen. Darüber hinaus geht es darum, besonders problematische Rohstoffe nach Möglichkeit zu substituieren und die Materialeffizienz zu erhöhen.

- *Grüne Zukunftstechnologien müssen auch im jeweiligen gesellschaftlichen Kontext, etwa hinsichtlich bestehender Infrastrukturen und der vorherrschenden Konsumpraxis, den Ressourcenverbrauch senken und nicht nur aus technisch-abstrakter Perspektive das Potenzial zur Ressourcenschonung besitzen.*

So verschärfen beispielsweise Elektroautos in Deutschland bestehende Umweltprobleme, da sie meist als Zweitfahrzeuge angeschafft und darüber hinaus auf Basis von überwiegend fossil erzeugtem Strom betrieben werden. Zu einer grünen Zukunftstechnologie werden Elektro- und Hybridmotoren dagegen, wenn sie im Kontext eines integrierten, nachhaltigen Mobilitätssystems eingesetzt werden: mit effizienten Antriebstechniken im Schienenverkehr, hybridbetriebenen Bussen,

Elektroautos für das Car-Sharing und Fahrrädern bzw. Pedelecs.

Angesichts der Relevanz dieser Entwicklungen für Ökologie und Ökonomie kann die hier vorliegende Studie nur einen Auftakt zu einer Debatte darstellen. Wissenschaft, Politik und Wirtschaft sind gefordert, technologiepolitische Leitbilder stärker zu diskutieren und Konsequenzen für die Technologie- und Ressourcenpolitik zu ziehen.

Der NABU hält es für nicht hilfreich, umweltschädliche oder Risikotechnologien wie Fracking oder grüne Gentechnik durch Technologieförderung zu optimieren. Sinnvoll erscheinen eine Liste ökologischer Kriterien als Voraussetzung für die Inanspruchnahme staatlicher Technologieförderung sowie eine Negativliste für Technologien, die nicht durch Innovationsprogramme staatlich förderbar sind.

Neben einer veränderten Förderpolitik sind außerdem klare ordnungspolitische Leitplanken erforderlich, um die Entwicklung von grünen Zukunftstechnologien zu stärken. Insbesondere eine Ausweitung der europäischen Ökodesign-Richtlinie bietet hierbei große Chancen. Dabei sollten diejenigen Produkte, die am besten recyclingfähig, auf Sekundärrohstoffen basierend, reparierbar sowie energie- und materialsparend sind, nach einer bestimmten Zeit zum verpflichtenden Standard innerhalb ihrer Produktgruppe werden („Ressourcen-Top-Runner“). Auf diese Weise können Marktkräfte genutzt werden, um einen Wettbewerb um die Herstellung der umweltschonendsten Waschmaschinen, Kühlschränke oder Computer zu initiieren – ganz im Sinne einer *zukunftsfähigen* Green Economy.

Darüber hinaus stellen ökologische Steuern einen zentralen Ansatzpunkt dar, um Innovationen in Richtung grüner Zukunftstechnologien anzureizen und die Kosten von Umweltbelastungen zu internalisieren.

Unbestritten bleibt, dass technische Entwicklungen nur eine Säule der Ressourcenschonung bilden und soziale Innovationen nicht nur im Konsum-, sondern auch im Produktionsbereich erforderlich sind. Das heißt, dass auch in „GreenTech“-Unternehmen der Wandel hin zu nachhaltigem Unternehmensmanagement gestärkt werden muss. Produzenten müssen in die Lage versetzt und

¹ Allerdings kann mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen derzeit nur ein Bruchteil des Bedarfs für die energetische Gebäudesanierung abgedeckt werden, sodass auch für mineralische und chemische Materialien die Energiebilanz in der Herstellung und durch Kreislaufführung verbessert werden muss.

angereizt werden, ihre Geschäftsmodelle, Wertschöpfungsketten und Produkte unter Nachhaltigkeitskriterien zu verbessern.

Allianzen zwischen NGOs und Unternehmen können neue Perspektiven auf diese ressourcen- und technologiepolitischen Fragen eröffnen und zugleich für ressourcenschonende Geschäftsstrategien sensibilisieren. Ziel der vorliegenden Studie ist es, einen Überblick über Be-

reiche der grünen Zukunftstechnologien zu geben, die für Bündnisse zwischen NGOs und Technologieunternehmen in Frage kommen. Auf Basis dieser Studie hat der NABU im Sommer 2012 die „Allianz Ressourcenschonung“ zusammen mit Unternehmen gegründet.

Weitere Informationen zum Thema finden Sie im Internet unter www.NABU.de

Literatur

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) (2012): Memorandum für eine Green Economy. Abgerufen unter: http://www.grosse-hornke.de/fileadmin/upload/pdf/memorandum_green_economy_bf.pdf

Bundekoordination Internationalismus (BUKO) (2012): Nach dem Scheitern der Green Economy. 10 Thesen zur Kritik der grünen Ökonomie. Abgerufen unter: http://www.buko.info/fileadmin/user_upload/buko34/neu/BUKO34-Gesnat-Thesen-DE-Print-A3-V2.pdf

Madlener, Reinhard; Alcott, Blake (2011): Herausforderungen für eine technisch-ökonomische Entkoppelung von Naturverbrauch und Wirtschaftswachstum unter besonderer Berücksichtigung der Systematisierung von Rebound-Effekten und Problemverschiebungen. Gutachten im Auftrag der Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“ des Deutschen Bundestages. Berlin.

OECD (2009): Eco-Innovation in Industry: Enabling Green Growth. OECD Publishing, Paris.

Roland Berger Strategy Consultants (2012): GreenTech made in Germany 3.0. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland. Abgerufen unter: https://secure.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Bilder_Unterseiten/Themen/Wirtschaft_Produkte_Ressourcen/Wirtschaft_und_Umwelt/Downloads/greentech_3_0_bf.pdf

Paech, Niko (2012): Befreiung vom Überfluss. Auf dem Weg in die Postwachstumsökonomie. München: Oekom-Verlag.

Loske, Reinhard (2012): Wie weiter mit der Wachstumsfrage? Rangsdorf: Basilisken-Presse.

Schüler, Doris et al. (2011): Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for The Greens/EFA Group in the European Parliament. Darmstadt. Abgerufen unter: <http://www.oeko.de/oekodoc/1112/2011-003-en.pdf>

Santarius, Tilman (2012): Der Rebound-Effekt. Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz. Wuppertal. Abgerufen unter: <http://www.santarius.de/wp-content/uploads/2012/03/Der-Rebound-Effekt-2012.pdf>



Ressourcenschonung durch ausgewählte grüne Zukunftstechnologien

I. Einleitung

Prof. Dr. Rolf Kreibich (IZT)

David Hofmann (IZT)

Volker Handke (IZT)

Dr. Michael Scharp (IZT)



Im Herbst 2011 beauftragte der NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) das IZT-Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, eine wissenschaftliche Recherche zum Themenfeld grüne Zukunftstechnologien und Ressourcenschonung durchzuführen. Zielstellung dieser Recherche war es, grüne Zukunftstechnologien mit Ressourcenrelevanz zu identifizieren und dabei entsprechende Unternehmen zu finden, welche derartige Zukunftstechnologien anbieten.

Ende 2011 legte das IZT die Rechercheergebnisse als Kurzstudie mit dem Titel „Ressourcenschonung durch ausgewählte grüne Zukunftstechnologien“ vor. Insgesamt listet die hier vorliegende Kurzstudie 109 Einzeltechnologien in elf Technologiefeldern auf. Jede Einzeltechnologie wird mit Hilfe einer umwelttechnologischen Kategorisierung, einer Kurzbeschreibung sowie ihres Produktstatus bzw. ihrer Marktsituation² und bezüglich ihrer Umweltrelevanz³ charakterisiert. Begrifflich liegen in mehrfacher Hinsicht Unsicherheiten und Unschärfen vor, sodass ein Mindestmaß an Beschreibung darüber notwendig ist, welches Begriffsverständnis der Auswahl der Einzeltechnologien zugrunde lag. Zum einen betrifft dies das Verständnis der Ausdrücke „Zukunftstechnologie“ und „Umwelttechnologie“ und zum anderen das zugrunde gelegte Verständnis von Ressourcenrelevanz. Schließlich ist auch die Frage zu klären, was eine eigenständige Einzeltechnologie ist und in welchem Technologiefeld diese verortet ist.

Hinsichtlich der Zukunftsorientierung wurde auf Vorarbeiten (Angerer 2009) des IZT zurückgegriffen. Demzufolge sind „Zukunftstechnologien [...] industriell verwertbare technische Fähigkeiten, die revolutionäre Innovationsschübe weit über die Grenzen einzelner Wirtschaftssektoren hinaus auslösen und langfristig tiefgreifend die Wirtschaftsstrukturen, das Sozialleben und die Umwelt verändern“ (Angerer 2009, S. 2-3). Innovationsschübe können Einzeltechniken betreffen, wie beispielsweise Brennstoffzellen. Es können aber auch systemische Innovationsschübe sein, die bekannte Einzeltechniken zu neuen Anwendungen verbinden.

Mit dem Begriff „grüne“ Zukunftstechnologie wird auf Umwelttechnologien⁴ Bezug genommen. Unter Umwelttechnologien werden im Weiteren 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. Unterscheiden lassen sich dabei folgende umwelttechnische Kategorien:

- End-of-Pipe-Technologien (additive Technologie, nachgeschaltetes Verfahren),
- Substitutionstechnologien (ersetzen eine Technologie mit hoher Umweltbelastung),

2 Die Einschätzung der Marktsituation und des Marktpotenzials erfolgt überwiegend qualitativ. Nur in Einzelfällen liegen verlässliche quantitative Angaben vor. Eine ausführliche Marktanalyse und Technologiebewertung konnte in Anbetracht des begrenzten Umfangs der Kurzstudie nicht geleistet werden. Der Ausblick auf 2030 erfolgte für ausgewählte Technologien, welche in der Studie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien“ (Angerer 2009) untersucht wurden.

3 Unter Umweltrelevanz werden positive Umwelteigenschaften einer Technologie durch ein „+“ und negative Umwelteigenschaften ein „-“ gekennzeichnet.

4 „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“ (Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft 2009: 8).

Als Umwelttechnologien betrachtet das Umweltbundesamt die Leitmärkte für: Energieerzeugung und Energiespeicherung, Energieeffizienz, Rohstoff- und Materialeffizienz, nachhaltige Mobilität, Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Wasserwirtschaft (vgl. UBA 2007g: 1). Den größten Anteil (45 % im Jahr 2005) umfasste dabei der Markt für Lösungen im Bereich Energieeffizienz (vgl. UBA 2007g: 2).

- Präventivtechnologien (vermeiden Entstehung von Schadstoffen etc.),
- integrierte Technologien (Gestaltung des Gesamtsystems und der Umfeldprozesse) und
- Effizienztechnologien (Erhöhung der Produktionseffizienz oder der Materialausbeute).

Eine trennscharfe Unterscheidung der einzelnen Technologiekategorien ist jedoch nicht immer möglich. Zudem können zahlreiche Technologien mehreren Kategorien zugeordnet werden.

Unbestritten ist, dass Umwelttechnologien ein wesentliches ökonomisches Wachstumssegment sind und eine innovative Wirkung auf Produkte, Dienstleistungen, Industriebereiche, aber auch auf das Sozialleben und die kulturelle Verfasstheit einer Gesellschaft besitzen. Mit einem derzeitigen (2010) Weltmarktvolumen von ca. 1.300 Mrd. Euro und einem prognostizierten Wachstum auf etwa 2.200 Mrd. Euro bis zum Jahr 2020 zählen Umwelttechnologien zweifellos zu den bedeutsamsten Wirtschaftsfaktoren weltweit (vgl. UBA 2007g: 2). Deutsche Unternehmen verfügen teilweise über signifikante Weltmarktanteile. Lag der Beitrag der Umwelttechnologien zum deutschen Bruttoinlandsprodukt im Jahr 2008 noch bei 8 %, so wird ihr Anteil für das Jahr 2020 auf etwa 14 % geschätzt (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2009a: 2).

Allerdings sind die durch den Einsatz von Umwelttechnologien tatsächlich erreichbaren Umweltverbesserungen im hohen Maße kontextabhängig. Vielfach ist zu beobachten, dass Umweltverbesserungen durch die Wirkung des Rebound-Effektes überkompensiert werden. So kann durch den verstärkten Einsatz z. B. von Effizienztechnologien zwar die spezifische Umweltbeanspruchung gesenkt werden, die dadurch induzierte Erhöhung der Gesamtnachfrage übersteigt jedoch oftmals die Summe der spezifischen Umweltverbesserungen, sodass die Umweltbeanspruchung insgesamt ansteigt.

Darüber hinaus ist die Verwendung der erwirtschafteten Effizienzgewinne ausschlaggebend. Werden diese für zusätzlichen Konsum eingesetzt oder umweltbeanspruchend reinvestiert, können sie den Effekt der Überkompensation der Umweltverbesserung erhöhen (vgl. Santarius 2012).

Die Beurteilung der Ressourcenrelevanz erfolgte zusammen mit der Umwelrelevanz und für jede Einzeltechnologie spezifisch sowie in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber. Im Grundsatz war ein strategisches Ressourcenverständnis erkenntnisleitend. Dabei standen weniger klassische Massenrohstoffe mit geringer Verarbeitungstiefe aus dem Bereich Steine und Erden im Vordergrund, sondern Rohstoffe, welche über eine geringe statische Reichweite verfügen, für welche in Zukunft mit erhöhten Nachfrageeffekten zu rechnen ist und die gleichzeitig für Deutschland als Hochlohnland und Hightech-Standort von besonderer strategischer Relevanz sind.

Die Technologieauswahl erfolgte auf der Grundlage einer breiten Literaturanalyse, einer Expertendiskussionen im IZT sowie in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber. Neben konkreten Einzeltechnologien wurden auch Verfahren (z. B. automatische Sammel- und Stofftrennverfahren), Konzepte und Systemlösungen (z. B. Cloud Computing) sowie ausgewählte Innovationen, Produkte⁵ und Anwendungen aufgenommen.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass aus forschungspragmatischen Gründen und in Anbetracht des Projektumfangs sowie aufgrund der kursorischen Zielstellung als Kurzstudie keine umfassende Auswahl-systematik entwickelt wurde und daher die ausgewählten Technologien keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben.

Ferner sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der tatsächliche Beitrag zu Umweltverbesserung und Ressourcenschonung der aufgeführten Technologien von den jeweiligen Rahmenbedingungen ihrer Nutzung abhängt. Daher tragen die aufgeführten Technologien keinesfalls unter jedweden Umständen zur Umweltverbesserung und Ressourcenschonung bei. Vielmehr besitzen sie lediglich ein signifikantes Potenzial zur Umweltverbesserung und Ressourcenschonung.

Diesbezüglich sei die Dünnschicht-Photovoltaik als Beispiel herangezogen. Dünnschichtzellen werden unter Einsatz von erheblichen Energiemengen und mit Hilfe strategisch bedeutsamer oder gar knapper Rohstoffe wie z. B. Indium, Gallium oder Selen hergestellt. Im Vergleich zu waferbasierten Siliziumzellen benötigen Dünnschichtzellen jedoch signifikant weniger

⁵ Weitere Angaben zu Produkten finden sich in der separaten Unternehmensliste.



Energie- und Rohstoffmengen für ihre Herstellung, da insbesondere die energieintensive Herstellung von hochreinem Silizium entfällt. Allerdings besitzen Dünnschichtzellen demgegenüber vergleichsweise geringere solare Wirkungsgrade. Ihr Beitrag zur Umweltverbesserung und Ressourcenschonung hängt also wesentlich von den realen Standortbedingungen und dem energetischen wie anlagentechnischen Gesamtsystem an diesem Standort ab. Daher sind Dünnschichtzellen nur an manchen Standorten gegenüber waferbasierten Siliziumzellen hinsichtlich Umweltverbesserung und Ressourcenschonung vorteilhaft. An anderen Standort kann dagegen der kraftwärmegekoppelte Einsatz von lokal erzeugtem Biogas einen wesentlich höheren Beitrag zur Umweltverbesserung und Ressourcenschonung leisten als jede photovoltaische Stromerzeugung gleich welcher Zelltechnologie.

Die Kurzstudie fokussiert auf die folgenden elf Technologiefelder:

1. Bau, Gebäude und Gebäudetechnik⁶
2. Energie⁷
3. Fahrzeugbau und elektrische Antriebstechnik⁸
4. Kreislaufwirtschaft/Recycling⁹
5. Luftreinigungstechnologien
6. Wassertechnologien
7. Bergbau¹⁰
8. Chemie
9. Material- und Werkstofftechnik
10. Mess-, Steuer- und Regelungstechnik¹¹
11. Informations- und Kommunikationstechnik

Die ersten drei Technologiefelder wurden zur Erhöhung der Übersichtlichkeit in verschiedene Unterkategorien gegliedert.

In enger Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde auf mehreren Workshops entschieden, verschiedene potenziell relevante Technologiefelder auszuklammern. Maßgeblich dafür war, dass bei vielen Technologien die Beiträge zur Umweltverbesserung und Ressourcenschonung in einem derartig hohen Maße kontextabhängig sind, dass eine missbräuchliche Charakterisierung einzelner Technologien als grüne Zukunftstechnologie vermieden werden sollte.

Beispiele für derartige ausgeklammerte Technologiefelder sind die Luft- und Raumfahrt, die Landwirtschaft, Textilien, Ernährung oder Gesundheit. Ebenso ausgeklammert wurden „konventionelle Verbrennungstechnologien“ – als Teil der Energietechnologien wie zum Beispiel HCCI-Verbrennungsmotoren, Gas-to-Liquid-Verfahren oder Gas-Brennwertkessel.

Mikro- und Nanotechnologien gelten als Schlüssel für innovative Lösungen in nahezu allen Wirtschaftsbereichen (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2007: 72). Die Nanotechnologie wurde allerdings aufgrund (teilweise) ungeklärter Umwelteigenschaften ebenfalls nicht explizit als Technologiefeld aufgeführt. Ausgewählte nanotechnologische Anwendungen finden sich aber bei den entsprechenden Technologien (z. B. bei Funktionalisierung und Aktivierung von Oberflächen).¹²

Im Anhang (Kapitel IV.) werden verschiedene ausgewählte Technologien aufgelistet, die sich noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium befinden und die bezogen auf ihre Umwelteigenschaften als „problematisch“ eingeschätzt wurden oder bei denen keine geeigneten Unternehmen identifiziert werden konnten.

6 Das Technologiefeld „Bau, Gebäude und Gebäudetechnik“ bezieht sich neben Wohngebäuden auch auf Büro-, Gewerbe-, Industrie- und Infrastrukturbauten. Bau- und Konstruktionstechnik werden in dieser Kurzstudie nicht behandelt.

7 Die Unterteilung der untersuchten Speichertechnologien erfolgt in Anlehnung an die Klassifizierung von Oertel 2008. Pumpspeicherkraftwerke wurden, trotz hoher praktischer Relevanz, aufgrund der Eingriffe in das Landschaftsbild nicht mit in die Technologieauswahl aufgenommen. Insbesondere im grenzüberschreitenden Systemverbund („Batterie Norwegen“) kommt diesem Kraftwerkstyp in Zukunft gleichwohl eine hohe Bedeutung zu. Der Vielfalt an Batteriesystemen (z. B. auf Basis von Nickel, Silber oder Natrium/Schwefel) konnte der Rahmen dieser Studie nicht gerecht werden. Allen Batterietypen gemeinsam ist der hohe Forschungsbedarf. Viele Systeme sind daher noch viele Jahre von der Serienreife entfernt.

8 Technologien, welche unter Kraftfahrzeugbau (Kapitel 3.1) aufgeführt sind (wie Leichtbau, Hybridantrieb), kommt auch große Relevanz im Eisenbahnbau zu (vgl. Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel 2010). Hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht dabei insbesondere im Schienengüterverkehr (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung 2005: 2). Neben den genannten Technologien gibt es weitere wichtige Anwendungen des Leichtbaus im Fahrzeugbau. Dazu zählen z. B.: der Stahl-Aluminium-Hybridleichtbau, die Magnesium-Hybridleichtbauweise von Motoren oder der Titan-Leichtbau.

9 Ein zentrales Ziel der Kreislaufwirtschaft ist die Schaffung „echter“ Qualitätskreisläufe. Downcycling, wie es heute vorherrschend ist, sollte vermieden werden. Große Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang dem recyclingfreundlichen Produktdesign zu (vgl. Behrendt u. a. 1996). Aus ökologischer Perspektive kommt zudem der Kaskadennutzung nachwachsender Rohstoffe eine hohe Bedeutung zu (vgl. Arnold u. a. 2009).

10 Umweltschonende Bergbau-Technologien sind vor allem aus internationaler Sicht relevant. Die Verfahren „Gewinnung von Carnallit durch Solung“ (Kapitel 7.3) und „Eindampfen von Magnesium-Chlorid-Lösung“ (Kapitel 7.4) wurden als Beispiele für den Einsatz von umweltschonenden Bergbau-Verfahren in Deutschland und aufgrund ihrer Aktualität (Debatte um Verschmutzung der Werra/Weser) aufgenommen (vgl. Runder Tisch Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion (Hrsg.) (2010).

11 Mess-, Steuer- und Regelungstechnik leistet einen bedeutenden Beitrag zur Steigerung der Effizienz von Prozessen (z. B. effiziente Steuerung von Produktionsprozessen). Weitere Beispiele für Mess-, Steuer- und Regelungstechnik finden sich (neben dem gleichnamigen Kapitel 10) auch in anderen Kapiteln (z. B. Smart Meter in Kapitel 1.6.1).

12 Hohe Bedeutung kommt der Nanotechnologie u. a. in der Material- und Werkstofftechnik zu.

II. Gliederung der Technologiелiste

Übersicht

1. Bau, Gebäude und Gebäudetechnik
2. Energie
3. Fahrzeugbau und elektrische Antriebstechnik
4. Kreislaufwirtschaft/Recycling
5. Luftreinigungstechnologien
6. Wassertechnologien
7. Bergbau
8. Chemie
9. Material- und Werkstofftechnik
10. Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
11. Informations- und Kommunikationstechnik



III. Technologielliste

1. Bau, Gebäude und Gebäudetechnik

1.1 Baustoffe

1.1.1 Recyclingbaustoffe

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Gebrauchte Baustoffe, die beim Rückbau, Umbau oder der Sanierung zum Beispiel als Bauschutt, Straßenaufbruch oder Bodenaushub anfallen, bilden die Rohstoffe für die erneute Herstellung von Baustoffen, die vergleichbare Eigenschaften wie Primärrohstoffe besitzen.
 - Die gebrauchten Rohstoffe werden in speziellen Aufbereitungsanlagen durch Brechen zerkleinert, sortiert und durch Sieben nach Korngrößen klassiert, Aufbereitungsverfahren wie Windsichtung, Wäsche, Magnetscheider, Dichtentrennung und Sortierbänder sorgen für eine gezielte Abtrennung von unerwünschten Störstoffen.
 - Die recycelten Gesteinskörnungen werden in vielfältigen Anwendungsgebieten (teilweise) wieder als hochwertige Baustoffe eingesetzt.
 - Mineralische Recyclingbaustoffe bestehen in der Regel aus Granulaten, die zum überwiegenden Teil im Straßenbau, in zahlreichen Erdbauanwendungen, im Garten- und Landschaftsbau und zunehmend als Gesteinskörnungen für die Herstellung von Beton verwendet werden.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, die Recyclingquote beträgt in Deutschland etwa 70 % (gemäß EU-Vorgaben) (vgl. European Quality Association for Recycling e.V. ohne Jahresangabe)
 - Großes Potential hat die Entwicklung spezieller recyclingfreundlicher Baustoffe.
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Schonung natürlicher Rohstoffressourcen durch Recycling von Baustoffen, Erhalt von Ressourcen
 - + Vermeidung von Deponierung
 - Problem Downcycling (z.B. Einsatz des recycelten Materials im Straßenbau)

- ◆ **Firmenbeispiel:**
BHS Bau- und Handelsgruppe GmbH & Co. KG

1.1.2 Chemische und thermische Modifizierung von Holz und Holzwerkstoffen

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Heimische Hölzer lassen sich durch chemische und thermische Modifizierung als Verbundwerkstoffe mit hochwertigen Eigenschaften (z.B. Wetterbeständigkeit) in Bereichen einsetzen, die bisher meist konkurrierenden Materialien oder Tropenhölzern vorbehalten waren.
 - Thermoholz wird meist in großen Druckkesseln in einer Gasatmosphäre erzeugt, eine alternative Methoden stellt z.B. das sogenannte „Frittieren“ (vgl. Wagner, T. 2011) mit Pflanzenöl dar (Oil Heat Treatment).
 - Holzwerkstoffe verfügen im Allgemeinen über gute bauphysikalische Eigenschaften.
 - Innovative Ansätze sind: Hybride Werkstoffe und Produkte wie beispielsweise die Hydrophobierung durch Nanopartikel zur Erzeugung wetterbeständiger Oberflächen, funktionsorientierte System- und Verbundlösungen und Verbindungstechniken wie z.B. Holz-Beton-Verbundsysteme, Wood Plastic Composites bestehen aus einem holzartigen und einem kunststoffhaltigen Anteil.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
im Markt, großes Potential hybrider Holzwerkstoffe
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Schonung fossiler Ressourcen und Reduzierung der CO₂-Emission durch breitere Anwendung des nachwachsenden Rohstoffes Holz
 - + Schonung von Tropenhölzern
 - + Ersatz für Kunststoffe auf Erdölbasis
 - + Reduzierung von Abfall, da Holz-Verbundwerkstoffe nicht zur Formgebung zerspannt werden müssen
 - Holz-Verbundwerkstoffe biologisch nicht abbau-

bar, Recycling schwer möglich

- Ökobilanz unklar (hoher Forschungsbedarf) (vgl. FORDAQ 2010)

◆ **Firmenbeispiel:** BASF SE (Belmadur-Technologie)

1.2 Dämmstoffe

1.2.1 Vakuumisolation

- ◆ **Technologiekategorie:**
Substitutionstechnologie, Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - vakuumisolierende Materialien und Bauteile für die Wärmedämmung von Gebäuden und Geräten
 - Prinzip schon lange bekannt (wird in Thermoskannen angewendet), bisher besonders im Kühlanlagenbau und in der Fahrzeugtechnik angewendet
 - Zur Isolation von Gebäudefassaden wird das Wirkungsprinzip entweder in sogenannten Vakuum-Isolation-Paneelen (VIP) oder in Vakuum-Isolations-Sandwichs (VIS) realisiert.
 - extrem geringe Wärmeleitfähigkeit von VIP: etwa 0,004 W/mk (vgl. energie-tib 2003)
 - Material sehr anfällig
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, stark steigende Absatzzahlen in Deutschland, aber hohe Konkurrenz durch andere Dämmprodukte
 - hohe Kosten verglichen mit konventionellen Materialien
 - noch keine Serienreife (daher großes Potenzial für Kostenreduzierung)
 - prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Wärmedämmung im Zeitraum 2005–2020: 2 % (vgl. UBA 2007h: 20)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung des Heizenergiebedarfs, Wärmeleitfähigkeit ist um den Faktor 10 geringer als bei derzeit üblichen konventionellen Dämmstoffen (vgl. energie-tib 2003)
 - + Dämmstärke kann somit deutlich reduziert werden (erhöht Material- und Wohnraumeffizienz, erleichtert Denkmalsschutz)
- ◆ **Firmenbeispiel:** VACU-ISOTEC KG

1.2.2 Zellulose-Wärmedämmung

- ◆ **Technologiekategorie:**
Substitutionstechnologie, Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Biogener Dämmstoff, Zellulose ist aufgrund ihrer Dichte ein sehr gut geeigneter Dämmstoff.
 - Zellulose bildet zudem einen guten Hitzeschutz.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
im Markt, geringer Marktanteil
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung des Heizenergiebedarfs
 - + Herstellung von Zellulose mit geringem Primärenergieeinsatz
 - Zusatz von Borsalzen als Brandschutz (bei Abriss ist Sondermüll-Entsorgung nötig [vgl. Scharp 2011: 19])
- ◆ **Firmenbeispiel:**
Isoloc Wärmedämmtechnik GmbH

1.2.3 Holzfaserdämmung

- ◆ **Technologiekategorie:**
Substitutionstechnologie, Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Biogener Dämmstoff, Holzfaserdämmstoffe werden ohne oder mit Zugabe von Bindemitteln aus Nadelhölzern aus nachhaltig bewirtschafteten Forsten hergestellt, eingesetzt werden auch bei Sägewerken anfallende Hackschnitzel und Schwarten.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
im Markt, geringer Marktanteil
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung des Heizenergiebedarfs
 - + nachhaltige Produktion des Dämmstoffes
- ◆ **Firmenbeispiel:** Ökologische Baustoffe Bielefeld

1.2.4 Isolierverglasung

- ◆ **Technologiekategorie:**
Substitutionstechnologie, Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Isolierverglasung besteht aus mindestens zwei Glasscheiben, die am Glasrand über einen Abstandhalter luft- und feuchtigkeitsdicht miteinander verbunden sind, der Scheibenzwischenraum



Abbildung 1: Übersicht über ausgewählte Dämmstoffe

Produkt	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]	Rohdichte [kg/m ³]	Dampfdiffusionswiderstand μ	Brand- schutz- klasse	Dicke [cm]	Kosten ca. [€/m ²]	Primär- energie- verbrauch [kWh/m ²]	Umweltaspekte
Flachs	0,040	20 - 40	1	B2	20	25	70 - 80	Nachwachsender Rohstoff; 8% der minderwertigen Kurzfasern werden zur Dämmstoffherstellung genutzt; als Brandschutz mit Borax oder Wasserglas behandelt
Hanf	0,045	20 - 25	1 - 2	B2	22,5	25	k. A.	Nachwachsender Rohstoff; zum Brandschutz mit Soda behandelt; Polyester als Stützmaterial
Hobelspäne	0,055	90 - 110	1	B2	27,5	18 - 23	50	Sägewerksabfälle; sehr geringer Energieaufwand zur Herstellung; Soda zur Imprägnierung; Zement als Brandschutz
Holzfaserdämmung, lose	0,045	30 - 60	1 - 2	B2	22,5	17 - 23	600 - 785	Ausreichend Ressourcen vorhanden; Restholznutzung; hoher Energieeinsatz bei der Herstellung
Holzfaserdämmplatte	0,040 - 0,060	170 - 230	5 - 10	B2	20 - 30	40	600 - 785	Ausreichend Ressourcen vorhanden; Restholznutzung; hoher Energieeinsatz bei der Herstellung
Holzwole-Leichtbauplatte	0,093	360	2 - 5	B1	45	87	35	Ausreichend Ressourcen vorhanden; Restholznutzung
Kalzium-Silikatplatte	0,065	300	5 - 10	A1	*	50 mm ca. 25	k. A.	Ausreichend Ressourcen vorhanden, bzw. Recyclingprodukte
Kokosfaser a) Rollen b) Matten	a) 0,050 b) 0,045	a) 75 b) 125	1	B2	22,5 - 25	44	95	Ausreichend vorhandener, wertvoller Rohstoff; lange Transportwege; Problem von Monokulturen
Kork a) Granulat b) Backkork c) Korkplatten	0,040 - 0,050	a) 55 - 60 b) 80 - 500 c) 80 - 500	a) 1 - 2 b) 5 - 10	B2	20 - 25	25	a) 90 b) 35 - 65 c) 360	Begrenzt vorhandener wertvoller Rohstoff; a) Kork wird nur geschrotet b) Unter Druck und 300 °C aufgeschäumt; Hierbei können gesundheitsgefährdende Schwelstoffe entstehen; c) Plattenpressung mit Kunstharz
Mineralfaser a) Glaswolle b) Steinwolle	0,035 - 0,050	15 - 80	1	A2	17,5 - 25	9 - 21	100 - 700	Ausreichendes Vorkommen der Rohstoffe; energieintensive Herstellung; unter hohen Temperaturen (1200 °C) Entstehung von Stäuben
Exandiertes Perlit a) Wärmedämmung b) Trittschalldämmung	a) 0,045 - 0,050 b) 0,060 - 0,073	a) 50 - 100 b) 130 - 490	a) 2 - 3 b) 4 - 5	A2	22,5 - 30	20 - 45	90 - 235	Ausreichende Ressourcen vorhanden (Griechenland); eventuell nachträglich mit Kunstharz oder Bitumen imprägniert
Polystyrolhartschaumplatten a) EPS, Partikelschaum b) XPS, Extruderschaum	0,025 - 0,04	a) 15 - 30 b) 25 - 40	a) 30 - 70 b) 80 - 300	B1 oder B2	12,5 - 20	10	a) 530 - 1050 b) 400 - 600	Begrenzt Vorkommen des Rohstoffes Erdöl; bei der Herstellung gefährliche Benzol- und Styrol-Emissionen; Herstellung energieintensiv
Polyurethan Hartschaumplatten	0,020 - 0,025	30	30 - 100	B1 oder B2	10 - 12,5	18	840 - 1330	Begrenzt Vorkommen des Rohstoffes Erdöl; ausländische Produkte können noch H-FCKW enthalten; Herstellung sehr energieintensiv
Schafwolle	0,040	20 - 25	1 - 2	B2	20	30 - 50	70 - 80	Ausreichend vorhandenes Naturprodukt; eventuell Pestizidrückstände; mit Borax wegen Flammschutz behandelt
Schaumglas	0,040 - 0,055	110 - 160	praktisch dampfdicht	A2	20 - 22,5	80 - 110	320 - 975	Rohstoffe ausreichend vorhanden; Herstellung energieintensiv bei über 1600 °C
Zellulosedämmstoff a) lose b) Platten	0,040 - 0,045	a) 25 - 60 b) 70 - 100	1 - 2	B2	20 - 22,5	a) 18 - 21 b) 24	55 - 80	Gute Einsatzmöglichkeit des großen Altpapierbestandes; Imprägnierung mit Borsalzen

Entnommen aus: EnergieAgentur.NRW 2001: 6.

ist mit trockener Luft oder einem Gemisch aus Edelgasen gefüllt.

- Standard-Isolierglas aus zwei 4 mm dicken Glasscheiben hat einen U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizienten) von ca. 3,0 W/m²K, durch den Einsatz von spezieller Wärmeschutzverglasung können bei doppelten Gläsern U-Werte unter 1,5 W/m²K, bei Dreifachverglasung können sogar Werte unter 1,0 W/m²K erreicht werden (vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (a)).
- Durch Beschichtung der Glasflächen oder Einfärbung der Glasmasse können Sonderverglasungen hergestellt werden, welche die Sonnenstrahlung absorbieren oder reflektieren, wärmedämmende und infrarotreflektierende Dämmverglasung kommen z. B. in Pkws zum Einsatz, sie reduzieren die Aufheizung des Innenraums bei hohen Außentemperaturen, bei Einsatz einer Klimaanlage wird der Kraftstoffverbrauch reduziert, da weniger Energie zur Kühlung auf die gewünschte Temperatur benötigt wird, zudem werden derzeit sensitiv schaltbare Gläser entwickelt, diese sollen Verschattung und Wärmeschutz bei Fassaden- und Fensterglas durch semitransparente und schaltbare Infrarot-Durchlässigkeit erreichen.

◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Reduzierung des Heizenergiebedarfs
- + Reduzierung des Energieverbrauchs bei der Klimatisierung

◆ **Firmenbeispiel:** Glas Trösch Beratungs-GmbH

1.3 Heizungstechnik

1.3.1 Erdwärmeheizungen

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Nutzung geothermischer Energie über Wärmepumpen, Wärmepumpen können dann als effizient angesehen werden, wenn das Verhältnis von Stromeinsatz zu Wärme mindestens 1:4 beträgt (vgl. Uken 2009), alternativ kann die Wärmepumpe auch mit Erdgas betrieben werden.
- Erdwärmeheizungen werden vor allem in Einfamilienhäusern genutzt.

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt, Markt entwickelt sich sehr dynamisch,

hohes Ausbaupotenzial (wobei spezifische Standorteigenschaften zu berücksichtigen sind)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + erneuerbare Energiegewinnung, Reduzierung von Emissionen verglichen mit konventioneller fossiler Energieerzeugung
- Ökobilanz durch hohen Stromverbrauch teilweise umstritten (vgl. Uken 2009)

◆ **Firmenbeispiele:** Effiziento Haustechnik GmbH, STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG

1.3.2 Luftwärmeheizungen

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Luftwärmeheizungen arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie Erdwärmeheizungen, die Wärmeenergie wird durch Luftwärmepumpen aus der Umgebungsluft gewonnen.
- Luft-Wasser-Wärmepumpen entziehen der Umgebungsluft über einen Wärmeübertrager Wärme und führen sie der Heizungsanlage zu; außerdem kann die Luft-Wasser-Wärmepumpe auch zur Bereitung von Warmwasser eingesetzt werden.
- Luft-Luft-Wärmepumpen stellen die gewonnene Wärme zusätzlich einer Lüftungsanlage zur Verfügung; hierfür ist es nötig, ein entsprechendes Luft-Heizungssystem im Gebäude zu installieren, Wärmerückgewinnungssysteme können zur Erwärmung der Frischluft verwendet werden.
- Luftwärmeheizungen können z. B. auch mit Solaranlagen kombiniert werden, die auch im Winter effektiv arbeiten.

◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt

◆ **Umweltrelevanz:**

- + erneuerbare Energiegewinnung, Reduzierung von Emissionen verglichen mit konventioneller fossiler Energieerzeugung
- Ökobilanz durch hohen Stromverbrauch teilweise umstritten (Kritik zum Beispiel vom BUND)
- niedrigerer Wirkungsgrad als bei geothermischen Anlagen
- Wirkungsgrad sinkt bei niedrigen Temperaturen (und somit bei steigendem Wärmebedarf)

◆ **Firmenbeispiel:** thermoglobe GmbH



1.3.3 Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - technologisch gleichwertig mit Brennwertheizungen mit hohem Normnutzungsgraden, Befeuerung mit Pellets, Biodiesel, Scheitholz (Scheitholz-Vergaserkesseln) oder Pflanzenölen
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, 2010: 140.000 Pelletheizungen, 40 Pelletproduktionsanlagen (vgl. Bundesverband Bio-Energie 2011)
 - prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Pelletheizungen im Zeitraum 2005–2020: 10 % (vgl. UBA 2007h: 20)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Strom- und Wärmegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen
 - + hoher Wirkungsgrad
- ◆ **Firmenbeispiel:** Olsberg Hermann Everken GmbH

1.3.4 PEM-Brennstoffzellenheizungen

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Heizung auf Basis der Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle (PEM), als Brennstoff können z. B. Erdgas, Ethanol oder Wasserstoff dienen
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** Entwicklung (Testphase) (vgl. Heinz-Piest-Institut für Handwerkstechnik 2010)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Sehr hoher Gesamtwirkungsgrad durch Kraft-Wärme-Kopplung, Abwärme kann für Warmwasserbereitung verwendet werden.
 - Verwendung des ressourcenrelevanten Metalls Platin
 - Verwendung von fossilem Erdgas als Brennstoff
- ◆ **Firmenbeispiele:** Viessmann Werke GmbH & Co. KG, Vaillant GmbH

1.4 Wärmerückgewinnung aus der Abluft

- ◆ **Technologiekategorie:** integrierte Technologie, End-of-Pipe-Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Durch eine geregelte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung kann bis zu 90 % der Energie der Abluft (vgl. ZVEI 2008: 30) genutzt werden, um frische Zuluft vorzuwärmen.
 - Dies sorgt für Lufthygiene, angenehmes Raumklima und Schutz der Bausubstanz.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt, großes Ausbaupotenzial
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Rückgewinnung von Wärme, Reduzierung des Heizenergiebedarfs
- ◆ **Firmenbeispiel:** robatherm GmbH + Co. KG

1.5 Kühlungstechnik: Adiabate Kühlung

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Verdunstungskühlung, das verdunstende Wasser entzieht der Umgebungsluft sensible (d. h. fühlbare) Wärme.
 - Die Außenluft kann um bis zu 10 °C abgekühlt werden (vgl. Kabus 2009).
 - Neben der Zuluftbefeuchtung besteht die Möglichkeit der Abluftbefeuchtung mit Wärmerückgewinnung sowie der Zuluftbefeuchtung mit vorgeschalteter Lufttrocknung.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt, großes Ausbaupotenzial
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Energieeinsparung (kein zusätzlicher Stromeinsatz zur Kühlung nötig), Reduzierung von CO₂-Emissionen
 - + kein Einsatz umweltschädlicher Kühlmittel, Einsatz von Regenwasser möglich
 - + Verglichen mit konventionellen elektrisch betriebenen Kompressionskältemaschinen können die Kosten für die Kühlung um bis zu ein Drittel gesenkt werden (vgl. Kabus 2009).
- ◆ **Firmenbeispiel:** SEW Systemtechnik für Energie-recycling und Wärmeflußbegrenzung GmbH

1.6 Intelligente Steuerung der Haus- und Gebäudesysteme

- ◆ **Technologiekategorie:**
Effizienztechnologie, integrierte Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Vernetzung, Überwachung und Fernsteuerung der Haus- und Gebäudesystemtechnik, Informationstechnik, Kommunikationstechnik und Sicherheitstechnik
 - einfache Anwendungen: Zeitprogramme, Präsenzsenschaltung oder Sonnenschutz-Automatik
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt (Gesamtsteuerungssystem in Entwicklung), 2030: Marktnutzung (vgl. Angerer u. a. 2009: 23)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung des Energieverbrauchs
 - + hohes Einsparpotenzial insbesondere durch Automatisierungsfunktionen (Beleuchtung etwa 25 %

Einsparpotenzial, vgl. ZVEI 2008a: 36)

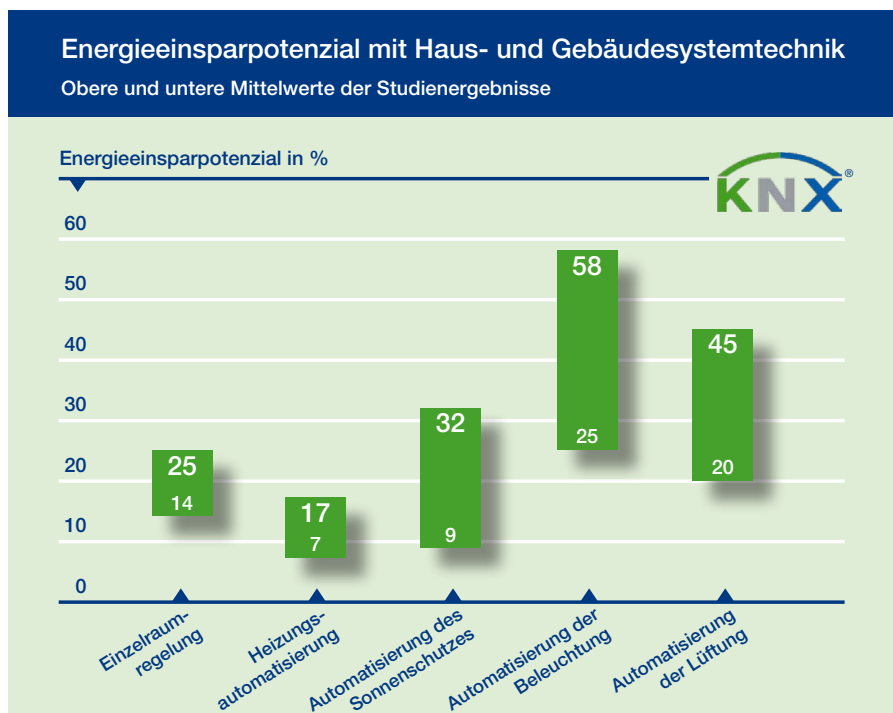
- Energieverbrauch steigt andererseits durch zusätzliche Elektrik.

- ◆ **Firmenbeispiel:**
Dr. Riedel Automatisierungstechnik GmbH

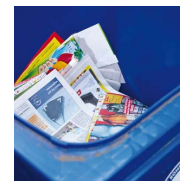
1.6.1 Intelligente Verbrauchssteuerung: Smart Meter

- ◆ **Technologiekategorie:**
Effizienztechnologie, integrierte Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - „intelligenter Zähler“ zur transparenten Verbraucherinformation (uhrzeitspezifischer Verbrauch ablesbar etc.)
 - Schnittstelle zwischen den „intelligenten Netzen“ (Smart Grids) der Zukunft und dem „intelligenten Gebäude“, Smart Meter liefern die Datengrundlage für die Steuerung des Smart Grid und eröffnen Möglichkeiten, weitere Anwendungen im „intelligenten Gebäude“ anzubinden, zudem ermöglichen sie die Beeinflussung des Verbrauchsverhaltens durch flexible Stromtarife.

Abbildung 2: Energieeinsparpotenziale mit Haus- und Gebäudesystemtechnik



Entnommen aus: ZVEI 2008a: 36.



- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
im Markt, dynamische Entwicklung

- ◆ **Umweltrelevanz:**

- + Reduzierung des Energieverbrauchs (einer Studie des Bundeswirtschaftsministeriums zufolge kann durch Smart Metering rund 6,5% des privaten Stromverbrauchs eingespart werden, vgl. ZVEI 2008a: 17)
- + Smart Metering trägt zur Realisierung des Smart Grid bei
- Smart-Meter verbraucht rund 3% der Energie eines 2-Personen-Haushaltes (Quelle: IZT)

- ◆ **Firmenbeispiel:** Itron GmbH

1.6.2 Bewegungs- und Präsenzmelder

- ◆ **Technologiekategorie:**
Effizienztechnologie, integrierte Technologie

- ◆ **Kurzbeschreibung:**

- elektronische Sensoren, die Bewegungen in ihrer näheren Umgebung erkennen und dadurch als elektrische Schalter fungieren

- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt

- ◆ **Umweltrelevanz:**

- + Reduzierung des Energieverbrauchs

- ◆ **Firmenbeispiele:**

- B.E.G. Brück Electronic GmbH, Theben AG

1.6.3 Helligkeitssensoren

- ◆ **Technologiekategorie:**
Effizienztechnologie, integrierte Technologie

- ◆ **Kurzbeschreibung:**

- Steuerung der benötigten Kunstlichtmenge in Abhängigkeit vom Tageslicht

- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt

- ◆ **Umweltrelevanz:**

- + Reduzierung des Energieverbrauchs

- ◆ **Firmenbeispiel:** Hager SE

1.6.4 Funksteuerung/Funkschalter

- ◆ **Technologiekategorie:**
Effizienztechnologie, integrierte Technologie

- ◆ **Kurzbeschreibung:**

- Steuerung von Heizungsanlagen und anderen Anwendungen durch Funktechnologie

- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt

- ◆ **Umweltrelevanz:**

- + Reduzierung des Energieverbrauchs

- ◆ **Firmenbeispiele:**

- REV Ritter (GmbH), EnOcean GmbH

1.6.5 Heizungseinzelraumregelung

- ◆ **Technologiekategorie:**
Effizienztechnologie, integrierte Technologie

- ◆ **Kurzbeschreibung:**

- Steuerung der Absenk-, Standby- und Betriebszeiten der Heizung nach Nutzungs- und Präsenzprofilen

- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt

- ◆ **Umweltrelevanz:**

- + Reduzierung des Energieverbrauchs

- ◆ **Firmenbeispiel:**

- Dr. Riedel Automatisierungstechnik GmbH

2. Energie

2.1 Energieerzeugung

2.1.1 Energieerzeugung durch Windkraft

2.1.1.1 Onshore-Windkraftanlagen

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Stromerzeugung durch Windkraftanlagen auf dem Land, derzeit dominierende Form der Windenergienutzung
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, Potenzial weitgehend ausgereizt, wobei noch Potenziale durch Repowering bestehen (alte Anlagen werden durch leistungsstärkere Anlagen ersetzt), somit Anzahl der Anlagen verringerbar (Verbesserung des Landschaftsbildes etc.)
 - prognostizierte geringfügige Steigerung der Bruttostromerzeugung durch Onshore-Windkraftanlagen in Deutschland von 25,5 TWh/a 2010 auf 28 TWh/a 2030 (vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH 2008: 31)
 - prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Windkraft im Zeitraum 2005–2020: 8 % (vgl. UBA 2007h: 20)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + regenerative Energieerzeugung, Reduzierung von CO₂-Emissionen (verglichen mit konventioneller fossiler Energieerzeugung)
 - hoher Einsatz von ressourcenrelevanten Metallen wie Dysprosium (Magnete), Neodym oder Kupfer (Generatoren, Stromanschluss)
- ◆ **Firmenbeispiele:** Enercon GmbH, Nordex SE

2.1.1.1.1 Windkraftanlagenbau mit SCD-Technologie (Super Compact Drive)

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - „Grundgedanke der SCD-Technologie ist, die Komponenten Rotorlager, Getriebe und Generator in ca. dem gleichen Durchmesser auszulegen, hintereinander anzuordnen und die Gehäuse der Bauteile zur Lastübertragung vom Rotor in den Turmkopf zu verwenden, dadurch erhält die SCD-Technologie eine optimale Lastübertragung und damit den

kleinstmöglichen und leichtesten Antriebsstrang im Vergleich mit am Markt existierenden Techniken“ (aerodyn development + marketing GmbH ohne Jahresangabe).

- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, neues, innovatives Produkt mit vermutlich großem Potenzial (HUSUM WindEnergy Technologie Award 2009)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Steigerung der Effizienz der regenerativen Windenergieerzeugung, Reduzierung von CO₂-Emissionen (verglichen mit konventioneller fossiler Energieerzeugung)
- ◆ **Firmenbeispiel:** aerodyn Energiesysteme GmbH

2.1.1.1.2 Kleinwindanlagen

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Als Kleinwindanlagen werden in der Regel Anlagen mit bis zu 100 kW bezeichnet, sie sind meist in Gebäude integriert, die Turmhöhe ist dabei auf maximal 20 m beschränkt.
 - Die Leistung von derzeit marktgängigen Anlagen liegt zwischen 5 und 10 kW.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + regenerative Energieerzeugung, Reduzierung von CO₂-Emissionen (verglichen mit konventioneller fossiler Energieerzeugung)
- ◆ **Firmenbeispiel:** Schedetal Folien GmbH

2.1.1.2 Offshore-Windkraftanlagen

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - regenerative Stromerzeugung durch Windkraft über dem Meer
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, erstes Offshore-Projekt in Deutschland: Alpha Ventus, 2030: Marktsättigung (vgl. Angerer u. a. 2009: 18)
 - großes Ausbaupotenzial, noch Probleme bei der Netzintegration



- prognostizierte Steigerung der Bruttostromerzeugung durch Offshore-Windkraftanlagen in Deutschland von 0,55 TWh/a 2010 auf 23 TWh/a 2030 (vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH 2008: 31)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + regenerative Energieerzeugung, Reduzierung von CO₂-Emissionen (verglichen mit konventioneller fossiler Energieerzeugung)
- hoher Einsatz von ressourcenrelevanten Metallen wie Dysprosium (Magnete), Neodym oder Kupfer (Generatoren, Stromanschluss)
- Eingriffe in das Ökosystem des Meeres

◆ **Firmenbeispiele:**

REpower Systems SE, BARD Engineering GmbH

2.1.2 Stromerzeugung durch Solarenergie

2.1.2.1 Solarzellen auf Basis von Silizium-Wafern

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- aktive Sonnenenergienutzung
- Über Wechselrichter wird Gleichstrom in Wechselstrom umgewandelt und kann somit in das Stromnetz eingespeist werden.
- konventionelle Technologie der Solarzellenproduktion
- Für die Weiterentwicklung ist vor allem der Einsatz dünnerer Wafer, bei gleichzeitiger Reduzierung der Bruchrate in der Produktion, von Bedeutung.
- Recycling siehe Kapitel 4.3

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt, sehr großer Marktanteil (etwa 80 % der weltweiten Produktion [Quelle: IZT])
- prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Photovoltaik im Zeitraum 2005–2020: 15 % (vgl. UBA 2007h: 20) (*Markt für Photovoltaik gehört damit zu den dynamischsten Zukunftsmärkten laut UBA 2007h*)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + regenerative Energieerzeugung, Reduzierung von CO₂-Emissionen (verglichen mit konventioneller fossiler Energieerzeugung)
- Verwendung des ressourcenrelevanten Metalls Silizium, Siliziumproduktion sehr energieaufwendig

◆ **Firmenbeispiele:** Schott Solar AG, Sovello GmbH

2.1.2.2 Dünnschicht-Photovoltaik

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- aktive Sonnenenergienutzung
- energie- und materialeffiziente Photovoltaik
- große Material- und Energieinsparpotentiale in der Photovoltaik z. B. durch die Minimierung des Materialgehaltes oder das Recycling von Produktionsabfällen (vgl. Behrendt u. a. 2009: 101)
- Photovoltaisch aktives Material wird auf einem Träger (Substrat) aufgebracht, Dünnschichtzellen können bspw. aus amorphem oder kristallinem Silizium, Cadmium-Tellurid oder Kupfer-Indium-Selenid bestehen.
- wichtiges Anwendungsfeld der Nanotechnologie

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt, Marktanteil in der Photovoltaik von etwa 12 % (Quelle: IZT), 2030: Marktnutzung (vgl. Angerer u. a. 2009: 16)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + erneuerbare Energiegewinnung, Erhöhung der Energie- und Materialeffizienz
- Einsatz ressourcenrelevanter Metalle wie Tellur, Cadmium, Gallium, Indium oder Selen

◆ **Firmenbeispiele:**

Würth Solar GmbH & Co. KG, Odersun AG

2.1.2.3 Farbstoffsolarzellen (Grätzel-Zellen)

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- aktive Sonnenenergienutzung
- technisch einfaches, kostengünstig herstellbares Solarmodul für die Stromerzeugung
- Bei der Technik werden mit Farbstoff überzogene Nanokristall-Halbleiter zwischen Glaspanels „gestopft“ oder zusammen mit einem Elektrolyt in Kunststoff eingeschlossen, der Farbstoff absorbiert Licht und generiert die notwendigen Elektronen, die dann auf den Halbleiter und schließlich auf das Board transferiert werden.
- Die Grätzel-Zellen haben einen Wirkungsgrad von ca. 8 %, eine Steigerung auf 12 % ist bis 2020 denkbar (vgl. Prachi, Patel 2009), Wirkungsgrad geringer als bei den besten Dünnschichtzellen, Herstellung aber deutlich günstiger (z. B. im Sieb-

druckverfahren), Druck von Grätzel-Zellen auch auf biegsamen Oberflächen möglich

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
Entwicklung/Markteinführung

◆ **Umweltrelevanz:**

- + kostengünstige erneuerbare Energiegewinnung
- + teure Rohstoffe und energieintensive Produktionsschritte werden vermieden

◆ **Firmenbeispiel:** IoLiTec Ionic Liquids Technologies GmbH (Zulieferer)

2.1.2.4 Solarthermische Kraftwerke

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- aktive Sonnenenergienutzung
- besteht, ähnlich wie ein konventionelles Kraftwerk, aus einer wärmeerzeugenden Einheit (Solarboiler) und einer Wärmekraftmaschine, die die thermische Energie über mechanische in elektrische Energie umwandelt, Konzentration der Sonnenenergie mit Parabolrinnen auf ein Wärmeträgerfluid
- Hauptkonzepte: Parabolrinne (am weitesten verbreitet), Fresnel-Kollektor, Solarturm- und Parabolschüsselsystem

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt, 2030: Marktnutzung (vgl. Angerer u. a. 2009: 19), großes Ausbaupotenzial
- prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Solarthermie im Zeitraum 2005–2020: 17% (vgl. UBA 2007h: 20) (*Markt für Solarthermie gehört damit zu den dynamischsten Zukunftsmärkten laut UBA 2007h*)
- derzeit Anlagen mit einer Kapazität von 10 GW in Bau oder Planung (vgl. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung 2010: 63)
- bisher noch sehr kostenaufwendige Technologie, aber signifikantes Kostensenkungs- und Effizienzsteigerungspotenzial vorhanden
- Kosten der Stromerzeugung 2020: zwischen 0,06 und 0,08 Euro/kWh (vgl. Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2007d: 10)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + regenerative Energieerzeugung, Reduzierung von CO₂-Emissionen (verglichen mit konventioneller fossiler Energieerzeugung)

- Einsatz von Silber

◆ **Firmenbeispiel:** Solarlite GmbH

2.1.3 Wärmeerzeugung durch Solarenergie

2.1.3.1 Thermische Solarkollektoren

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- aktive Sonnenenergienutzung
- Vorrichtung zur Sammlung der im Sonnenlicht enthaltenen Energie insbesondere zur Warmwasserbereitung, hoher Wirkungsgrad, insbesondere sinnvoll in Kombination mit Warmwasserspeicher, neuartige Anlagen lassen sich zur Sonne ausrichten

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt, erhebliches Ausbaupotenzial, viele frei zur Verfügung stehende Flächen (Dächer etc.)
- Die Hälfte des Warmwasserbedarfs weltweit könnte Schätzungen zufolge solar erzeugt werden (vgl. Handke; Kamburow 2009: 16).

◆ **Umweltrelevanz:**

- + regenerative Energieerzeugung, Reduzierung von CO₂-Emissionen (verglichen mit konventioneller fossiler Energieerzeugung)
- + Reduzierung des Energiebedarfs, eine Solaranlage zur Warmwasserbereitung kann etwa 60% des Warmwasserbedarfs eines Haushaltes decken (vgl. Das Energieportal ohne Jahresangabe).

◆ **Firmenbeispiele:** Wagner & Co Solartechnik GmbH, CitrinSolar GmbH
Energie- und Umwelttechnik, U.F.E SOLAR GmbH & Co. Betriebs-KG

2.1.3.2 Transparente Wärmedämmung

◆ **Technologiekategorie:**

Substitutionstechnologie, Effizienztechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- passive Sonnenenergienutzung
- Wärmedämmung mit hoher Lichtdurchlässigkeit, passive Nutzung der Solarthermie: gedämmte Fassade als Sonnenkollektor, Sonnenstrahlen dringen durch die lichtdurchlässige Fassade auf die massive Wand, diese speichert die Sonnenstrahlung als Wärme und gibt sie zeitverzögert an den Raum ab.

◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt



- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung des Heizenergiebedarfs

- ◆ **Firmenbeispiel:**
Glasfabrik Lamberts GmbH und Co. KG

2.1.4 Energieerzeugung aus Biomasse

2.1.4.1 Biomassekraftwerke

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Strom- und Wärmegewinnung (Biomasseheizkraftwerke) aus Biomasse (z. B. Stroh, Altholz)
 - *Pelletheizungen siehe Kapitel 1.3.3*
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, 2010: über 1.200 Biomasseheizwerke mit einer thermischen Leistung von über 500 kW (vgl. Bundesverband BioEnergie 2011)
 - prognostizierte Steigerung der Bruttostromerzeugung in Deutschland von 4,8 TWh/a 2010 auf 7,9 TWh/a 2030 (vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH 2008: 31)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Strom- und Wärmegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen, Reduktion der CO₂-Emission (verglichen mit fossiler Energieerzeugung)
 - Energieverbrauch durch Transport und Aufbereitung der Rohstoffe
 - Bei der Verbrennung können auch giftige Stoffe (z.B. Imprägnierungen auf Altholz) freigesetzt werden.
 - Flächenkonkurrenz
 - mögliche Konkurrenz zu stofflicher Nutzung von Biomasse (Kaskadennutzung)
- ◆ **Firmenbeispiele:** AGO AG Energie + Anlagen, SEEGER ENGINEERING AG

2.1.4.2 Biogasanlagen

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Erzeugung von Biogas zur Verstromung durch Vergärung von Biomasse, meist in Kombination mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW)
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, 2010: 6.000 Biogasanlagen, installierte

Leistung insgesamt: 2.279 MW (vgl. Bundesverband BioEnergie 2011)

- prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Biogasanlagen im Zeitraum 2005–2020: 18 % (vgl. UBA 2007h: 20) (*Markt für Biogasanlagen gehört damit zu den dynamischsten Zukunftsmärkten laut UBA 2007h*)
- deutsche Unternehmen Weltmarktführer

- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung von Emissionen (verglichen mit fossilen Energieträgern)
 - Logistik-Aufwand entscheidender Faktor bei Bewertung der Ökobilanz
 - Flächenkonkurrenz
- ◆ **Firmenbeispiele:**
Envitec Biogas AG, NAWARO BioEnergie AG

2.1.5 Energieerzeugung durch Geothermie

2.1.5.1 Strom- und Wärmeerzeugung durch oberflächennahe Geothermie

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Nutzung von Erdwärme (Medium Boden oder Wasser) bis zu einer Tiefe von ca. 300–400 m (je nach Definition) und Temperaturen bis 25 °C für das Beheizen und Kühlen von Gebäuden oder technischen Anlagen, Einsatz von Wärmepumpen, auch für Privathaushalte möglich
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, hohes Ausbaupotenzial (wobei spezifische Standorteigenschaften zu berücksichtigen sind)
 - prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Geothermie im Zeitraum 2005–2020: 13 % (vgl. UBA 2007h: 20) (*Markt für Geothermie gehört damit zu den dynamischsten Zukunftsmärkten laut UBA 2007h*)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + erneuerbare Energiegewinnung, Reduzierung von Emissionen verglichen mit konventioneller fossiler Energieerzeugung
 - Ökobilanz durch hohen Stromverbrauch teilweise umstritten (vgl. Uken 2009)
- ◆ **Firmenbeispiel:**
GeoThermal Engineering GmbH (Planung und Errichtung von geothermischen Kraftwerken)

2.1.5.2 Strom- und Wärmeerzeugung durch Tiefengeothermie

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Als Tiefengeothermie wird die Nutzung der Erdwärme in Tiefen zwischen 400 und 5.000 m bezeichnet.
 - Die Lagerstätten werden nach ihren Temperaturniveaus unterschieden (unter 200 °C spricht man von Niedertemperatur-Lagerstätten, oberhalb von Hochenthalpielagerstätten).
 - Neben der direkten Wärmenutzung besteht die Möglichkeit der indirekten Nutzung der Erdwärme zur Stromerzeugung, bei Hochenthalpielagerstätten kann Strom direkt über Dampfturbinen mit relativ hohem Wirkungsgrad erzeugt werden, die Stromerzeugung aus Niedertemperatursystemen ist nur mit höherem technischem Aufwand möglich, der Wirkungsgrad solcher Anlagen beträgt je nach Temperaturniveau 10–15 % (vgl. Bundesverband Geothermie ohne Jahresangabe).
 - hohe Kosten der Tiefenbohrungen und der Förderung (insbesondere für sogenannte unkonventionelle geothermische Systeme, EGS)
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, großes Ausbaupotenzial (wobei spezifische Standorteigenschaften zu berücksichtigen sind), hohe Bedeutung staatlicher Förderungen
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + erneuerbare Energiegewinnung, Reduzierung von Emissionen verglichen mit konventioneller fossiler Energieerzeugung
 - mögliche Umweltbeeinträchtigungen durch Bohrungen (Entweichen von in der Tiefe eingeschlossenen Kohlenwasserstoffen, Schutz grundwasserführender Schichten)
- ◆ **Firmenbeispiele:** HotRock (Planung, Errichtung und Betrieb), Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG (Betreiber), geo x GmbH (Betreiber)

2.1.6 Stromerzeugung durch Gas- und Dampfturbinenkraftwerke

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Kraftwerk mit kombiniertem Gas- und Dampfturbinen-Betrieb, die Gasturbine dient als Wärmequelle für einen nachgeschalteten Abhitzeke-

sel, welcher als Dampferzeuger für die Dampfturbine wirkt

- sehr hohe Bedeutung als „Übergangstechnologie“ für den Umbau des Energiesystems hin zu den regenerativen Energien, da GuD-Kraftwerke grundlastfähig und flexibel einsetzbar sind
- große Bedeutung nanotechnologisch optimierter Materialien zur Steigerung der Effizienz (Brennkammern, Turbinen etc.)
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, große Bedeutung für die zukünftige Sicherung der Grundlastfähigkeit
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + hoher Wirkungsgrad (Siemens-Gasturbine der Effizienzklasse H im Kraftwerk Irsching erreicht Rekord-Wirkungsgrad von über 60 % [vgl. Siemens AG 2011], Vergleich: modernste Kohlekraftwerke erzielen etwa 46 %)
 - + Reduzierung der Schadstoffemissionen
 - fossile Energieerzeugung
- ◆ **Firmenbeispiel:** Siemens AG

2.1.7 Energieumwandlung durch stationäre SOFC-Brennstoffzellenanlagen

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) können außer in Fahrzeugbatterien (Hauptnutzung bisher) auch zur Erzeugung von Strom und Wärme in Gebäuden und Blockheizkraftwerken eingesetzt werden
 - Verschiedene Hersteller entwickeln derzeit SOFC-Systeme als stationäre Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, Entwicklung stark von Forschungsförderung abhängig.
 - Möglichkeit der Nutzung unterschiedlicher Treibstoffe (meist Erdgas)
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - Entwicklung (Prototyp), 2030: Marktnutzung (vgl. Angerer u. a. 2009: 19)
 - prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Brennstoffzellen im Zeitraum 2005–2020: 20 % (vgl. UBA 2007h: 20) (*nach Hybridfahrzeugen und Biokunststoffen dynamischster Zukunftsmarkt laut UBA 2007h*)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + sehr effiziente elektrochemische Stromerzeugung



- (sehr hoher Wirkungsgrad)
- + niedrige Emissionen
- + geräuscharme Stromerzeugung
- Einsatz von ressourcenrelevanten Metallen wie Platin (in Katalysatoren) oder Gallium

◆ **Firmenbeispiel:** Vaillant GmbH

2.1.8 Kraft-Wärme-Kopplung

2.1.8.1 Blockheizkraftwerke

- ◆ **Technologiekategorie:**
Effizienztechnologie, Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Anlage zur Gewinnung elektrischer Energie und Wärme, die vorzugsweise am Ort des Wärmeverbrauchs betrieben wird, aber auch Nutzwärme in ein Nahwärmenetz einspeisen kann
 - Durch verschiedene Kraftwerksgrößen (Option Mini- und Mikro-BHKW) kann eine optimale Auslastung gewährleistet werden.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, sehr dynamische Entwicklung, großes Ausbaupotenzial
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Durch Kraft-Wärme-Kopplung erreichen Blockheizkraftwerke Gesamtwirkungsgrade von 80 bis 90% (konventionelle Elektrizitätskraftwerke erreichen lediglich Wirkungsgrade von 40% [vgl. mb-netzwerk ohne Jahresangabe]).
 - überwiegende Nutzung fossiler Rohstoffe
- ◆ **Firmenbeispiele:** Viessmann Werke GmbH & Co. KG, Vaillant GmbH, SenerTec Kraft-Wärme-Energiesysteme GmbH, SES Energiesysteme GmbH

2.1.8.1.1 Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerke

- ◆ **Technologiekategorie:**
Effizienztechnologie, Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen bis 50 (oder 30) kW_{el} zur dezentralen Energieversorgung (vgl. EnergieAgentur.NRW (a) ohne Jahresangabe)
 - Mini-BHKW bezeichnen Anlagen im untersten Leistungssegment (es gibt verschiedene Definitionen/Abgrenzungen), die überwiegend gebäudeintegriert (Ein- und Mehrfamilienhäuser) eingesetzt werden.

- Mini-BHKW können hingegen auch an das Nahwärmenetz angeschlossen werden
- Betrieb der Anlage z. B. durch Gas- oder Dieselmotoren oder mit einem Stirlingmotor (Wärme-kraftmaschine mit periodischer Erwärmung und Abkühlung des Arbeitsgases, geringe Emissionen und Wartungskosten)

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt, hohes Wachstumspotenzial

◆ **Umweltrelevanz:**

- + hoher Wirkungsgrad, Reduktion von Emissionen

◆ **Firmenbeispiel:** Vaillant GmbH
(Mikro-Heizkraftwerk ecoPOWER 1.0)

2.1.8.1.2 Mikrogasturbinen

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - kleine Gasturbine für den Einsatz in der dezentralen Energieversorgung insbesondere für die Kraft-Wärme-Kopplung, gut geeignet für Nutzung von Prozessabwärme
 - Einsatz z. B. in Wäschereien, Brauereien, in der chemischen Industrie oder in Nah- und Fernwärmenetzen, Kopplung an eine Absorptionskältemaschine möglich
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + hoher Wirkungsgrad, Reduktion von Emissionen
 - Nutzung von fossilem Erdgas
- ◆ **Firmenbeispiel:** E-quad Power Systems GmbH

2.1.8.2 Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung und solare Kühlung

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Nutzung von Abwärme aus Verbrennungsprozessen (Biomasse-BHKW etc.), Druckluftkompressoren oder von solarthermischen Anlagen (dies wird als solare Kühlung bezeichnet) zum Antrieb einer Kältemaschine
 - Eine Absorptionskälteanlage besteht aus einem Kältemittel- und einem Lösungsmittelkreislauf mit mehreren Wärmetauschern, Druckbehältern und Pumpen.

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt
- Marktvolumen für Geräte der solaren Klimatisierung 2020: 4,5 bis 18 Mrd. Euro (Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2007c: 19)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + deutlich geringerer Energieverbrauch im Vergleich mit konventionellen elektrischen Kompressionskälteanlagen

◆ **Firmenbeispiele:** EAW Energieanlagenbau GmbH, PHÖNIX SonnenWärme AG, Citrin Solar

2.1.9 Energieerzeugung aus Wasserkraft: Meeresströmungskraftwerke

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionsenergie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Strömungskraftwerke nutzen die Energie aus Meeresströmungen zur Stromgewinnung, die Turbine steht (ähnlich einer Windkraftturbine) frei in der Strömung, ein Stauwerk wird nicht errichtet
- Im Gegensatz zu Gezeitenkraftwerken können Strömungskraftwerke permanent Strom erzeugen (die Strömung setzt nur während des Gezeitenwechsels für einen Moment aus und ändert dabei die Richtung).

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt (Pilotprojekte „Seaflow“ und „SeaGen“ im Bristol Channel, bis zu 10 MW) (vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (b))
- deutlich mehr potenzielle Standorte als für Gezeitenkraftwerke
- hohe Kosten der Energieerzeugung u. a. durch den Einsatz hochwertiger Materialien

◆ **Umweltrelevanz:**

- + regenerative Energieerzeugung, Reduzierung von Emissionen
- + deutlich geringere Umwelteingriffe als Laufwasserkraftwerke oder Pumpspeicherkraftwerke (Flüsse/Gewässer werden für diese aufgestaut)
- Einfluss auf Gewässerökologie unklar (hoher Forschungsbedarf)

◆ **Firmenbeispiele:** Siemens AG, Voith GmbH (Turbinen)

2.2 Energiespeicherung

2.2.1 Chemische Stromspeicher

2.2.1.1 Wasserstoff

◆ **Technologiekategorie:**

Substitutionstechnologie, Effizienztechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff unter Einsatz von elektrischer Energie (Elektrolyse)
- Wasserstoff kann in Brennstoffzellen zur Stromgewinnung eingesetzt werden oder für den Betrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen genutzt werden, zudem kann Wasserstoff mit Biogas in Blockheizkraftwerken (Wärmenutzung durch Kraft-Wärme-Kopplung) rückverstromt werden.
- Es fehlt noch an geeigneten Speichermöglichkeiten für Wasserstoff insbesondere im Fahrzeugbau (vgl. Max-Planck-Gesellschaft ohne Jahresangabe: 45).

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- Entwicklung/Markteinführung (Modellprojekte)
- Deutschland weltweit auf dem 3. Platz bei Patentanmeldungen (vgl. Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2008a: 22)

◆ **Umweltrelevanz:**

- Unregelmäßig anfallende Energiemengen (z. B. aus Windkraftanlagen) können genutzt werden, um Wasserstoff herzustellen und diesen dann bei Bedarf in einer Brennstoffzelle zur emissionsfreien Energieerzeugung zu verwenden.

◆ **Firmenbeispiel:** Enertrag AG

- Unternehmen beteiligt am weltweit ersten Wasserstoff-Hybridkraftwerk in Prenzlau (vgl. Wagner 2011), erstes grundlastfähiges „Öko-Kraftwerk“, Leistung 6 MW [konventionelle Kohle-/Atomkraftwerke 1.000 MW])

2.2.1.2 Methan

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Mit Hilfe von Strom aus Wind- und Photovoltaikanlagen werden CO₂ und Wasser in synthetisches Erdgas umgewandelt, als Erstes wird dabei durch Elektrolyse Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, Wasserstoff wird dann mit CO₂



zu Methan (CH₄) umgesetzt, dabei steigt die Energiedichte um den Faktor 3.

- Mit Methan entsteht ein marktfähiger und handelbarer Energieträger in Normqualität, der unter bestimmten Voraussetzungen in das Erdgasnetz eingespeist werden kann (bestimmte Qualitätsanforderungen müssen eingehalten werden, die Einspeisung ist daher erst ab einer gewissen Größenordnung möglich).
- Der erzielbare Wirkungsgrad liegt nach Angaben des Betreibers Solar Fuel GmbH bei über 60 % (vgl. Solar Fuel GmbH ohne Jahresangabe).

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
im Markt (Pilotanlage)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien
- Energieverluste durch Energieumwandlung

◆ **Firmenbeispiel:** Solar Fuel GmbH (Pilotanlage in Stuttgart, zweite Anlage im Bau)

2.2.1.3 Lithium-Ionen-Akkumulatoren

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Elektrizitätsspeicher mit höchster Leistungs- und Energiedichte für Fahrzeuge, mobile elektronische Geräte und Powertools
- Aus heutiger Sicht aussichtsreichstes Fahrzeug-Batteriesystem (vgl. Angerer u.a. 2009: 168); welches Lithiumsystem sich für Elektrofahrzeuge durchsetzen wird, ist noch nicht absehbar, die Leistungsfähigkeit der Batterien ist noch nicht ausgereizt.
- Forschung und Technologieentwicklung noch stark im Fluss
- Durch Miniaturisierung mit nanoskaligen Bauteilen lassen sich kleinere Batterien entwickeln, Akkus auf nanotechnologischer Basis könnten eine Lebensdauer von Jahrzehnten haben, wären vielfältig einsetzbar und könnten zur erheblichen Reduktion von Altlasten beitragen (z.B. durch Verringerung des Aufkommens an Altbatterien).

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt, 2005: 70 % Anteil (entspricht 3,4 Mrd. Euro) am weltweiten Batterieumsatz (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Bundesministerium für Bildung und Forschung 2008: 52)

- Bis 2015 wird eine Umsatzsteigerung um 50 % erwartet (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Bundesministerium für Bildung und Forschung 2008: 52)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Stromspeicher, Förderung der Elektromobilität
- Verwendung von ressourcenrelevanten Metallen wie Kobalt oder Lithium

◆ **Firmenbeispiel:** Li-Tec Battery GmbH

2.2.1.4 Redox-Flow-Batterien

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Stromspeicher höchster Kapazität für stationäre und mobile Anwendungen, Redox-Flow-Batterien speichern elektrische Energie in Salzen (Elektrolyte).
- elektrische Ausbeute relativ hoch (netto 70–80 %), zukünftig nahe 90 % möglich (vgl. Angerer u.a. 2009: 175)
- Vanadium-Redox-Batterien sind relativ weit entwickelt (vgl. Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2007f: 12), bereits verschiedentlich stationär im Einsatz und von allen Redox-Flow-Batterien am weitesten verbreitet, sie arbeiten automatisch und sind weitgehend wartungsfrei (vgl. Angerer u.a. 2009: 175)

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt/Markteinführung, 2030: Marktnutzung (vgl. Angerer u.a. 2009: 18)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Stromspeicher höchster Kapazität
- Einsatz des ressourcenrelevanten Metalls Vanadium

◆ **Firmenbeispiel:** Gildemeister

2.2.2 Mechanische Stromspeicher: Schwungräder

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- kinetische Speicherung von elektrischer Energie
- dienen der Vorbeugung von Blackouts, großtechnischer Einsatz möglich

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt (vor allem in den USA eingesetzt)
- kleiner Nischenmarkt für „premium power“-Anwendungen (Hightech-Anwendungen), sehr teurer Energiespeicher

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Stromspeicherung im großtechnischen Umfang mit hohem Wirkungsgrad (90–95 % [vgl. Oertel 2008: 37])
- hohe Ruheverluste (bis zu 20 % pro Stunde [vgl. Oertel 2008: 37])

◆ **Firmenbeispiel:** rosseta Technik GmbH

2.2.3 Thermische Speicher

2.2.3.1 Warmwasserspeicher/Erdspeicher

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Ein Heißwasser-Wärmespeicher kann unabhängig von der Geologie als Wärmespeicher für einen Zeitraum von Tagen bzw. Wochen eingesetzt werden.
- Die wassergefüllte, isolierte Tragkonstruktion (z. B. aus Stahlbeton) ist in der Regel im Erdreich eingebaut.

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

im Markt, Ausbaupotenzial, aber hohe Kosten

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Speicherung von Wärme
- + Wärmeerzeugung kann weitgehend unabhängig vom Verbrauch durchgeführt werden, wodurch sich für viele Energiequellen ein höherer Wirkungsgrad ergibt.

◆ **Firmenbeispiele:**

STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG, Wolf GmbH

2.2.3.2 Wärmespeicherung auf Grundlage von Phasenwechselmaterialien (PCM)

◆ **Technologiekategorie:**

Substitutionstechnologie, Effizienztechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- PCM sind in der Lage, Wärme aufzunehmen, ohne sich dabei selbst wesentlich zu erwärmen, stattdessen bewirkt die Aufnahme bzw. Abgabe der Wärme eine Änderung des Aggregatzustan-

des des Speichers, Elemente aus Phasenwechselmaterial sind somit Latentwärmespeicher, welche einen hohen Anteil von Wärme- und Kälteenergie speichern und als Wärme je nach Bedarf phasenverschoben wieder abgeben (vgl. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE ohne Jahresangabe).

- Als Speichermedium werden Salze oder organische Verbindungen (z. B. Paraffine, Fettsäuren) verwendet.
- Bekanntes Beispiel „Taschenwärmer“, PCM-Materialien werden z. B. im Gebäudebau eingesetzt

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- Markteinführung, Demonstrationsgebäude, hohe Kosten, hoher Forschungsbedarf

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Wärmespeicherung
- + Reduzierung des Energiebedarfs für die Kühlung, durch den Einsatz von PCM-Materialien erwärmen sich Gebäude im Tagesverlauf deutlich langsamer.

◆ **Firmenbeispiel:** BASF SE

2.3 Energieübertragung

2.3.1 Intelligente Netze (Smart Grids)

◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- kommunikative Vernetzung und Steuerung von Stromerzeugern, Speichern, elektrischer Verbraucher und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und -verteilungsnetzen der Elektrizitätsversorgung
- Optimierung des Managements des Gesamtsystems durch die Weiterentwicklung von Leistungselektronik, Kommunikations- und Leitetchnik

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

Entwicklung (Modellprojekte)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + ermöglichen die Integration erneuerbarer Energien in das Stromnetz, da sie schwankende Leistungen im Netz ausgleichen

◆ **Firmenbeispiel:** Siemens AG



2.3.2 Hochfeste Hochtemperatur-Supraleiter

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - mit flüssigem Stickstoff kühlbare Supraleiter mit hoher Zugfestigkeit für Generatoren, Transformatoren, Elektromotoren und Stromkabel, vier Haupteinsatzgebiete in der Energiewirtschaft: Kabel, Motoren, Generatoren und Transformatoren
 - hohes Potenzial für die Anbindung von Offshore-Windparks sowie bspw. für die Entlastung von Netzen, die an Kapazitätsgrenze angelangt sind, eher für kürzere Strecken anwendbar
 - hohe technische Herausforderungen (z. B. Sprödigkeit des nichtmetallischen Materials), hohe Kosten des benötigten Drahts, hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - Entwicklung/erste Produkte im Markt, z. B. Pilotprojekt Wasserkraftwerk Hirschaid, 2030: Marktnutzung (vgl. Angerer u. a. 2009: 24)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung von Elektrizitätsverlusten bei der Energieübertragung
 - + höhere Kapazität und Effizienz als konventionelle Kupferleitungen (geringerer Materialeinsatz ...)
 - hoher Energiebedarf für die Kühlung
- ◆ **Firmenbeispiel:** Nexans SuperConductors GmbH

2.3.3 Nahwärmenetze

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Nahwärmenetze versorgen mehrere Abnehmer mit Wärme, die Wärmebereitstellung erfolgt zentral (z. B. durch ein BHKW).
 - Leistungsbedarf (50–300 kW) und Temperaturprofil (unter 95 °C) geringer als bei Fernwärmenetzen (vgl. EnergieAgentur.NRW ohne Jahresangabe (b))
 - Sinnvoll kann auch eine Kombination von Nahwärmenetz und Kältenetz (siehe Kapitel 2.3.4) sein.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Bereitstellung von Wärme im Nahbereich, Wirtschaftlichkeit entscheidend von Netzlänge, An-

schlussdichte und optimaler Dimensionierung des Netzes abhängig

- ◆ **Firmenbeispiel:** R+ E Todtenhaupt GmbH & Co. KG

2.3.4 Kältenetze

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Bei ausreichend hoher räumlicher Konzentration des Kältebedarfs können eine zentrale Kälteerzeugung in Großanlagen und der Betrieb von Kältenetzen sinnvoll sein.
 - Absorptionskältemaschinen können die Basis für die Grundlast des Kältenetzes bilden (z. B. Kältenetz von Chemnitz).
 - Kältespeicher (Kaltwasser-Tanks) bilden sinnvolle Ergänzung bei erhöhter Nachfrage.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + effiziente Kälteübertragung
 - + Netze fördern die Verwendung von innovativer Kältetechnik wie Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (siehe Kapitel 2.1.8.2)
- ◆ **Firmenbeispiel:** Dalkia GmbH

2.4 Energieverbrauchsrelevante Geräte

2.4.1 Energie- und wassereffiziente Haushalts- und Bürogeräte

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Haushalts- und Bürogeräte der höchsten Effizienzklasse, Gütezeichen z. B. Energy Star
 - siehe auch Kapitel 11 Informations- und Kommunikationstechnik
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung des Strom- und Wasserverbrauchs
 - + Im letzten Jahrzehnt hat sich der durchschnittliche Energieverbrauch von Waschmaschinen, Kühl- und Gefriergeräten und Geschirrspülern um 35 bis 40 % verringert (vgl. Umweltbundesamt 2011).
- ◆ **Firmenbeispiele:** Miele & Cie. KG, BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH

2.4.2 Energiesparende Leuchtmittel

2.4.2.1 LEDs – Licht emittierende Dioden

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Licht emittierende Dioden
 - hohe Lebensdauer, großes Potenzial für vielfältige Anwendungen (z. B. Fahrzeugbau)
 - Großes Potenzial hat die Steigerung der Effizienz von LEDs.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, bisher nur relativ leistungsschwache LEDs im Einzelhandel erhältlich
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + hocheffiziente Lichterzeugung (handelsübliche LEDs etwa 100 Lumen/Watt, Vergleich: Kompaktleuchtstofflampen/„Energiesparlampen“ etwa 50–60 Lumen/Watt, Glühbirne etwa 12 Lumen/Watt)
 - Einsatz ressourcenrelevanter Metalle wie Indium und Gallium (vgl. Thema et al. 2010: 36)
 - Es existiert noch kein gesondertes Recyclingverfahren, Rückgewinnung seltener Metalle bisher nicht wirtschaftlich, andere Komponenten recycelbar (Elektronik, Leuchtkörper).
- ◆ **Firmenbeispiele:** Osram GmbH (Tochter der Siemens AG), Herbert Waldmann GmbH & Co. KG

2.4.2.1.1 LEDs für Hintergrundbeleuchtung in Liquid Crystal Displays (LCD)

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - energiesparende Displaytechnik auf Basis von LEDs
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, 2030: Marktsättigung (vgl. Angerer u. a. 2009: 14)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Stromeinsparung, keine Verwendung von Quecksilber
 - Einsatz ressourcenrelevanter Metalle wie Gallium
- ◆ **Firmenbeispiel:** Philips (Econova LED-TV) (kein deutsches Unternehmen)

- durch LED-Technologie bis zu 60% geringerer Energieverbrauch (40 W), hergestellt aus teilweise recyceltem Aluminium, Solar-Fernbedienung (ohne Batterien), Null-Watt-Netzschalter, kein PVC und keine bromierten Flammschutzmittel enthalten (vgl. Philips ohne Jahresangabe)

2.4.2.2 Natriumdampflampen

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Gasentladungslampe, nur monochromatisches Licht, d. h. kein „Farbsehen“ möglich, Einsatz z. B. für Nachtbeleuchtungen
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + hocheffiziente Lichterzeugung (bis zu 150/200 Lumen/Watt)
 - + große Einsparung durch den Ersatz alter Straßenbeleuchtung (Quecksilberdampflampen) durch Natriumdampflampen oder Metallhalogen-dampflampen
- ◆ **Firmenbeispiel:** Hess AG

2.4.2.3 Keramik-Metallhalogenid-Lampen

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Gasentladungslampen, gehören zu den Halogenmetallampflampen, Keramik-Metallhalogenid-Lampen erzeugen Licht großer Helligkeit
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, 2030: Marktsättigung (vgl. Angerer u. a. 2009: 17)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + hocheffiziente Lichterzeugung (50–117 Lumen/Watt)
 - Einsatz ressourcenrelevanter Metalle wie Dysprosium oder Niob
- ◆ **Firmenbeispiel:** Osram GmbH



2.4.2.4 OLEDs – organische Leuchtdioden

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - energieeffiziente organische Leuchtdioden für Beleuchtung und Displays, können als dünne, biegsame Folien hergestellt werden
 - Einsatz z. B. in Navigationsgeräten, Autoradios, MP3-Playern und für Preisauszeichnungen in Supermärkten
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, 2030: Marktnutzung (vgl. Angerer u. a. 2009: 18)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Energieeinsparung, kein Quecksilber enthalten
 - Einsatz ressourcenrelevanter Metalle wie Gallium, Germanium oder Silber
- ◆ **Firmenbeispiel:** Osram GmbH

2.4.2.5 Elektronische Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Vorschaltgeräte sind für den Betrieb von Leuchtstofflampen erforderlich, sie stabilisieren nach dem Einschalten der Netzspannung den Vorheizstrom der Lampen und liefern die nötige Startspannung für die Lampen.
 - Nach erfolgter Zündung begrenzen Vorschaltgeräte zudem den Lampenstrom um den stabilen Betrieb und eine hohe Lebensdauer der Lampen zu gewährleisten, die Lebensdauer der Lampen wird auch durch die Einhaltung der Startbedingungen (Vorheizstrom und Zündspannung) bestimmt.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung des Energieverbrauchs (bis zu 30 %, vgl. Arnold Houben GmbH)
 - + Ressourceneinsparung und Umweltentlastung (Vermeidung von Abfall etc.) durch längere Lebensdauer der Lampen (bis zu 50 %, vgl. Arnold Houben GmbH)
- ◆ **Firmenbeispiel:**
Vossloh-Schwabe Deutschland GmbH

3. Fahrzeugbau und elektrische Antriebstechnik

3.1 Kraftfahrzeugbau

3.1.1 Leichtbau mit kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK)

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Verbundwerkstoff, bestehend aus einer Kohlenstofffaser, die von einer Kunststoffmatrix umgeben ist
 - CFK ist rund 50 % leichter als Stahl und 30 % leichter als Aluminium (vgl. BMW AG 2010)
 - Eingesetzt wird CFK z. B. in Luft- und Raumfahrt, Fahrzeugbau
 - CFK-Recycling wird durch das Pyrolyseverfahren möglich (siehe Kapitel 4.4), Recyclingfähigkeit ermöglicht die Seriennutzung von CFK (geschlossener Werkstoffkreislauf gesetzlich vorgeschrieben), noch teurer Werkstoff
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, Serienreife wird derzeit erprobt (siehe BMW AG unten)
 - negative Erfahrungen im Flugzeugbau (Qualitätsprobleme, hohe Kosten, z. B. *Boeing Dreamliner*)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Emissionsreduzierung durch Kraftstoffeinsparung
 - + recycelbarer Werkstoff (erste Anlage in Erprobung)
 - Wegen des hohen Energieeinsatzes bei der Produktion von CFK-Fasern aus der Vorläufersubstanz Polyacrylnitril ist die Ökobilanz noch unklar.
 - biologisch nicht abbaubar
- ◆ **Firmenbeispiel:** SGL Carbon SE
 - Zulieferer für BMW i3, Modell wird 2013 auf dem Markt gebracht, erstes Pkw-Modell, dessen Karosserie überwiegend aus Carbonteilen bestehen wird)

3.1.2 Stahlleichtbau mit Tailored Blanks

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Die Technologie der laserstrahlgeschweißten, maßgeschneiderten Blechplatten erlaubt Gewichteinsparungen an der Rohkarosserie.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, 2030: Marktsättigung (vgl. Angerer u. a. 2009: 12)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Emissionsreduzierung durch Kraftstoffeinsparung (100 kg Gewichtsreduktion bedeutet eine Einsparung des Kraftstoffverbrauches von 0,3–0,8 l/100 km [vgl. Angerer u. a. 2009: 27])
 - + geringerer Materialverbrauch
- ◆ **Firmenbeispiel:** Salzgitter Europlatten GmbH

3.1.3 Elektrofahrzeuge

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - durch elektrische Energie betriebenes Fahrzeug (Kfz, Busse, Motorroller etc.), *siehe Kapitel 2.2.1.3*
 - deutlich teurer als Pkws mit Verbrennungsmotoren (Elektrofahrzeuge der unteren Mittelklasse mit einer Reichweite von 150 km kosten etwa 10.000–15.000 Euro mehr, 2020 bei einer angenommenen Preisreduzierung durch Skaleneffekte vermutlich immer noch Mehrkosten von 7.000 bis 10.000 Euro, vgl. Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH 2011: 47)
 - Aus ökologischer Sicht ist es von entscheidender Bedeutung, dass kleinere, leichtere, effizientere Autos entwickelt werden.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - Markteinführung, Beginn der Serienfertigung
 - Marktpotenzial von Elektrofahrzeugen und Hybridfahrzeugen 2020 weltweit: 470 Mrd. Euro (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung 2010: 22)
 - Engpass der Entwicklung ist die Batterietechnik (vgl. Umweltbundesamt; Bundesministerium für



Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2007b: 37)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Senkung der Schadstoffemissionen durch Kraftstoffsubstitution
- + möglicherweise langfristig für die Stromspeicherung einsetzbar
- Verwendung von ressourcenrelevanten Metallen wie Kobalt, Lithium (in Batterien) oder Platin (Katalysatoren)

◆ **Firmenbeispiel:** Smiles AG

3.1.4 Hybridfahrzeuge

◆ **Technologiekategorie:**

Substitutionstechnologie, Effizienztechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Hybridfahrzeuge besitzen mindestens zwei Energieumwandler (z. B. Elektromotor kombiniert mit Ottomotor, Dieselmotor oder Brennstoffzellen-Antrieb) und zwei Energiespeichersysteme.
- Großes Potenzial haben verbrauchsarme Diesel-Hybridfahrzeuge (kombiniert mit innovativen Dieselrußpartikelfiltern), sie sind effizienter als Benzin-Hybridfahrzeuge, aber es ist eine aufwendige Abgasnachbehandlung nötig, Diesel-Hybrid-Modelle deutscher Hersteller noch in Planung, teilweise keine Entwicklung geplant (Opel).
- Varianten nach Anteil der Leistung des Elektromotors: Mirco-, Mild- oder Vollhybrid, beim autarken Vollhybridfahrzeug ist der Betrieb ausschließlich mit Elektromotor möglich, beim Plug-in-Hybridfahrzeug kann die Batterie über das Stromnetz geladen werden, ebenso besteht die Möglichkeit der Netzzurückspeisung.
- Im Stadt- oder Nahverkehr mit Bussen ist das Einsparpotenzial durch das häufige Bremsen und Anfahren am größten, auch für Lieferwagen bieten sich Hybridantriebe an.
- großes Potential auch in Schienenfahrzeugen

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- Markteinführung, 2030: Marktnutzung (vgl. Angerer u. a. 2009: 12)
- prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Hybridfahrzeuge im Zeitraum 2005–2020: 23 % (vgl. UBA 2007h: 20) (*dynamischster Zukunftsmarkt laut UBA 2007h*)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Senkung der Schadstoffemissionen durch Reduktion des Kraftstoffverbrauchs, abhängig vom Fahrverhalten und der Art des Hybridantriebs sind Einsparungen von bis zu 25 % verglichen mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren möglich (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; UBA 2009b: 106)
- Gefahr des „Greenwashing“ (insbesondere bei Kfz der Oberklasse)
- Einsatz ressourcenrelevanter Metalle wie Neodym oder Kupfer

◆ **Firmenbeispiel:**

Audi AG (Gefahr des Greenwashing)

3.1.5 Elektroleichtfahrzeuge

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Das Pedal Electric Cycle (Pedelec) unterstützt den Radfahrer während des Tretens mit einem Elektromotor von maximal 250 W und bis zu einer Geschwindigkeit von 25 km/h (vgl. Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e.V. keine Jahresangabe).
- Die „schnellen Pedelecs“ (auch S-Klasse genannt) gehören nicht mehr zu den Fahrrädern, sondern zu den E-Bikes, bei schnellen Pedelecs wird die Motorunterstützung erst bei einer Geschwindigkeit von 45 km/h abgeschaltet.
- E-Bikes im engeren Sinn sind die dritte Kategorie, sie sind mit einem Elektromofa zu vergleichen und lassen sich mit Hilfe des Elektroantriebs auch ohne Treten der Pedale fahren, die Energie für den Elektroantrieb stammt aus Akkus.
- (Elektro-)Motorroller eignen sich ebenso als umweltfreundlichere Alternative für Pkw auf Kurzstrecken, es gibt allerdings keine deutschen Hersteller mehr auf dem Markt.
- Eine Alternative zum Pkw können auch Mopeds und (leichte) Motorräder bilden.

◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Reduzierung von Schadstoffemissionen durch Substitution des Kfz-Verkehrs (Pedelecs können Menschen, die aus unterschiedlichen Gründen nicht Fahrrad fahren können oder möchten, den Umstieg vom Auto auf das Fahrrad erleichtern)

◆ **Firmenbeispiele:** Heinzmann GmbH & Co. KG, Vital Bike MVB GmbH, riese und müller GmbH

3.1.6 Klimaanlage mit CO₂ als Kühlmittel

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Einsatz des natürlichen Kühlmittels CO₂ in Kfz-Klimaanlagen, vielfältige Einsatzmöglichkeiten von CO₂ als Kühlmittel über den Fahrzeugbau hinaus
 - Große Bedeutung hat zudem die Steigerung der Effizienz konventioneller Klimaanlagen.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - Entwicklung/Markteinführung (bereits in Serienreife entwickelt)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Substitution von umweltschädlichen Kühlmitteln (z.B. Tetrafluorethan, ein fluoriertes Treibhausgas, dieses darf seit 2011 nicht mehr in Neuwagen verwendet werden)
 - + Vermeidung der Freisetzung dieser zum Treibhauseffekt beitragenden Kühlmittel (Treibhausgaswirkung in Deutschland jährlich von 3,5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten, dies entspricht der jährlichen CO₂-Emission von 2 Millionen sparsamen Pkw in Deutschland [vgl. PRO KLIMA 2011])
- ◆ **Firmenbeispiel:** KONVEKTA AG

3.2 Eisenbahnbau

3.2.1 Bremssysteme zur Rückführung von Bremsenergie in das Stromnetz

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Schienengebundener Nahverkehr bietet optimale Einsatzmöglichkeit für Bremssysteme zur Rückführung von elektrischer Energie in das Stromnetz.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Erhöhung der Energieeffizienz, Energieeinsparung
- ◆ **Firmenbeispiele:** Siemens AG, Bombardier (kanad. Unternehmen, Konzernbereich Transportation hat Sitz in Berlin)

3.2.2 Assistenz- und Automatisierungssysteme für den effizienten Betrieb von Eisenbahnen

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - ökologische und ökonomische Abstimmung aller Komponenten des Fahrbetriebs, Kombination von fahrzeug- und netzseitiger Optimierung
 - Einsatz der Systeme in Triebfahrzeugen, Stellwerken, Betriebszentralen etc.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt
 - prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Schienenfahrzeuge im Zeitraum 2005–2020: 2 % (vgl. UBA 2007h: 20)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Energieeinsparung, Reduktion von Schadstoffemissionen
 - Ein Pkw verursacht durchschnittlich 143 g CO₂-Emissionen pro Personenkilometer, ein Schienenfahrzeug meist weniger als 70 g (vgl. Jahrbuch des Bahnwesens Nah- und Fernverkehr 2008: 7).
- ◆ **Firmenbeispiele:** Funkwerk AG, SIGNON Deutschland GmbH

3.2.3 Umweltfreundliche Schmiermittel

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - biologisch abbaubare Schmiermittel für die Fahrflanken- und Fahrflächenschmierung, Reduzierung der Lärmentwicklung
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Schmierfett basiert auf biologisch abbaubarem Syntheseöl.
- ◆ **Firmenbeispiel:** LUBCON

3.2.4 Akustische Gleisoptimierung

- ◆ **Technologiekategorie:** Präventivtechnologie (Vermeidung von Lärmbelastung)
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Schleifen der Fahrflächen
 - weitere aktive Lärmschutzmaßnahmen: Einbau



von Schalldämpfern, Lärmschutzwände, optimierte Bauweise der Triebwagen

- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Steigerung der Akzeptanz des Eisenbahnverkehrs und somit Reduktion von Schadstoffemissionen (Rückgang Pkw- und Flugverkehr)
- ◆ **Firmenbeispiel:** Vossloh Rail Services GmbH

3.3 Schiffbau: SkySails-Antrieb für Frachtschiffe

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Innovativer Segelantrieb durch große, dynamisch fliegende Zugdrachen, diese Zugdrachen erzeugen 25-mal mehr Energie pro Quadratmeter als konventionelle Segelantriebe, bei guten Windverhältnissen kann eine Antriebsleistung von bis zu 2.000 kW erreicht werden (vgl. SkySails GmbH ohne Jahresangabe).
 - Antriebsenergie kostet nur etwa halb so viel wie eine Kilowattstunde der Hauptmaschine (Angaben des Herstellers).
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt, noch Nischenmarkt, aber Ausbaupotenzial vorhanden
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung von Emissionen durch Treibstoffeinsparung
- ◆ **Firmenbeispiel:** SkySails GmbH

3.4 Elektrische Antriebstechnik

3.4.1 Antriebe mit Frequenzumrichter

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Frequenzumrichter ermöglichen die variable, stufenlose Drehzahlregelung von Drehstrommotoren.
 - Frequenzgeregelte Motoren und Pumpen sind sehr energieeffizient, da die Motorleistung entsprechend dem Bedarf angepasst werden kann, es

wird nur so viel Energie zugeführt, wie für den Prozess benötigt wird.

- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Einsparvolumen von 15 % des gesamten industriellen Stromverbrauchs, individuelle Einsparpotenziale je nach Anwendung zwischen 20 und 50 % (vgl. ZVEI 2008a)
- ◆ **Firmenbeispiele:** Getriebebau NORD GmbH & Co. KG, Siemens AG

3.4.2 Frequenzgeregelte Pumpsysteme

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - effiziente Pumpsysteme mit „intelligenter“ Elektronik, auf Einsatzzwecke (Heizung, Warm-, Abwasser etc.) hin optimal ausgelegt (Vermeidung von Überdimensionierung)
 - große Bedeutung auch in Wohn- und Bürogebäuden
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung des Energieverbrauchs
- ◆ **Firmenbeispiele:** Wilo SE, Grundfos GmbH, KSB AG

3.4.3 Ultraeffiziente Energiesparmotoren für industrielle Anwendungen

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - neue Generation stromsparender Motoren für industrielle Anwendungen (Nennleistung über 750 W)
 - Synchronmotoren benötigen verglichen mit Asynchronmotoren bei gleichem Drehmoment weniger Strom, der Wirkungsgrad ist auch vom Getriebe abhängig, so werden hohe Wirkungsgrade beispielsweise durch die Verzahnungen von Stirnrad- und Kegelradgetrieben erreicht.
 - Der Läuferkäfig von hocheffizienten Kurzschlussläufermotoren (Wirkungsgrad über 90 %) besteht aus Aluminium und bei ultraeffizienten Motoren (Wirkungsgrad über 92 %) aus Kupfer (Siemens: „Premium Efficiency Motor“), welches eine bessere Leitfähigkeit besitzt.

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt, 2030: Marktsättigung (vgl. Angerer u. a. 2009: 19)
- prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Elektromotoren im Zeitraum 2005–2020: 5% (vgl. UBA 2007h: 20)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Reduzierung des elektrischen Energiebedarfs (etwa 60% der gesamten elektrischen Energie wird in elektrischen Antrieben genutzt [vgl. Böcker 2011: 5])
- Einsatz ressourcenrelevanter Metalle wie Neodym oder Kupfer

◆ **Firmenbeispiel:** Siemens AG

3.4.4 Energieeffiziente elektrische Traktionsmotoren

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- energieeffiziente Fahrmotoren für den Antrieb von Elektro-Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeugen sowie Schienenfahrzeugen
- z. B. permanenterregte Synchronmotoren

◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Erhöhung der Energieeffizienz
- + Vermeidung von Emissionen durch die Substitution von Verbrennungsmotoren

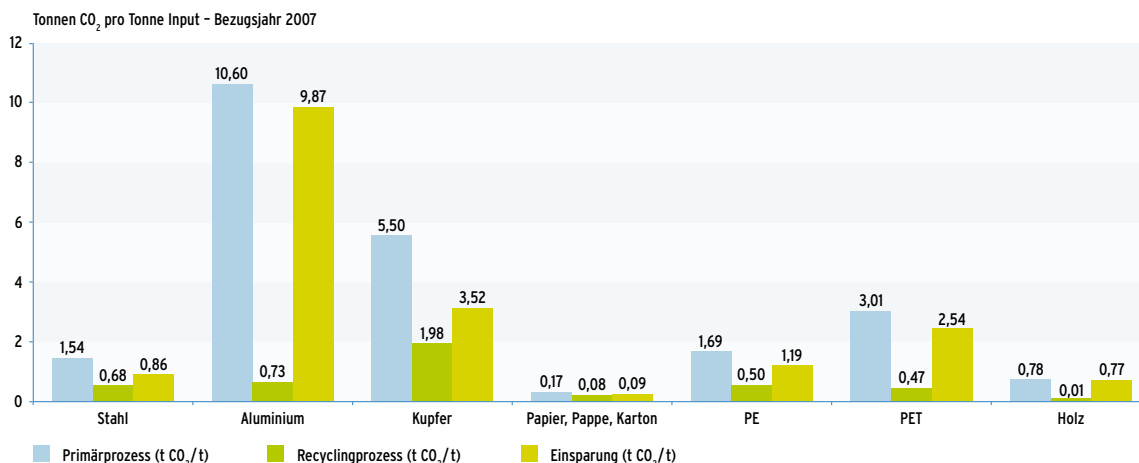
◆ **Firmenbeispiel:** Daimler AG



4. Kreislaufwirtschaft/Recycling

Abbildung 3: CO₂-Reduktion durch Recycling

Übersicht 31: Recycling senkt die CO₂-Emissionen



Entnommen aus: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; UBA 2009b: 110.

4.1 Automatische Sammel- und Stofftrennverfahren

◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Mechanisierte Vereinzelung, Erkennung und Trennung von Wert- und Schadstoffen im Hausmüll, sowohl technisch ausgereifte und großmaßstäblich eingesetzte Technologien als auch innovative Technologien (wie RFID), die Verfahren sind materialspezifisch nach Abfallfraktionen (wie Metallen, Kunststoffen etc.) sowie nach dem Reinheits- bzw. Verschmutzungsgrad konzipiert.
- *Auswahl* eingesetzter Technologien: optische Erkennung (Farbdetektion, Farbanalyse), Nah-Infrarotdetektion, Röntgendetektion, Induktionsmessung, optoelektronische Detektorensysteme im Infrarot-Nahbereich, sensorgestützte Stofferkennungs- und -trennverfahren, Dichteschwimm-Sink-Verfahren, Elektrosortierung, Magnetscheider, Metaldetektion, Wirbelstromabscheider

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt, Schlüsseltechnologie im Technologiefeld Kreislaufwirtschaft/Recycling
- sehr dynamisches Wachstum erwartet (vgl. UBA 2007h: 83), prognostizierte durchschnittliche

jährliche Wachstumsrate des Leitmarktes Kreislaufwirtschaft, Abfall, Recycling (gemäß UBA-Definition) im Zeitraum 2005–2020: 3% (vgl. UBA 2007h: 20)

- Entwicklung zu einem großen Teil durch abfallrechtliche Vorgaben getrieben (vgl. Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2007e: 37)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Rückgewinnung von Werkstoffen
- + Reduzierung des Deponieabfalls

◆ **Firmenbeispiele:**

RTT Robotertechnik-Transfer GmbH, S+S Separation and Sorting Technology GmbH

4.2 Non-Destructive Recycling

◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Wiederverwertung von Massenwerkstoffen wie Stahl, Aluminium, Zement, Kunststoffen und Papier (die zwei Drittel der Emissionen der industriellen Treibhausgasemissionen verursachen), ohne die Altstoffe aufzuschmelzen („Reuse without melting“)

- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung des Energieeinsatzes beim Recyclingprozess

4.3 Recycling von Solarmodulen

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Gewinnung und Wiederverwertung von Glas, Aluminium, Kunststoffen oder Halbleitermaterialien (z. B. Cadmium-Tellurid aus Dünnschicht-Modulen)
 - Recycling von Silizium aus neuartigen Wafern erschwert, da die Wafer immer dünner werden (brechen leichter, müssen aufgeschmolzen werden, geringere Ausbeute)
 - Heute werden vor allem Rückläufe und Ausschuss recycelt (es gibt noch wenige Altmodule).
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, großes Potenzial, da neue abfallrechtliche Vorgaben zu erwarten sind und das Ende der Lebensdauer der ersten Modul-Generationen absehbar ist
 - Lebensdauer schätzungsweise 25 Jahre, genaue technische Lebensdauer nicht bekannt
 - 2010: 5000 t Altmodule, 2020: 35000 t von der Branche erwartet (vgl. Rentzing 2010)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Umweltentlastung durch die Vermeidung von Abfall (ein potenzieller Giftstoff ist Cadmium-Tellurid)
 - + Reduzierung der Energiemenge, die zur Bereitstellung von Rohmaterialien aufgewendet werden muss
- ◆ **Firmenbeispiele:**
 - Sunicon GmbH (Tochter von SolarWorld AG, Pilotanlage zur Modul-Aufbereitung in Freiberg), saperatec (Entsorgung, Stofftrennung)

4.4 CFK-Recycling

- ◆ **Technologiekategorie:** Präventivtechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Recycling von Carbonfasern

- Die trockenen Faserreste, Prepreg-Materialien sowie ausgehärtete CFK-Bauteile werden im ersten Recyclingschritt nach Fasertyp und Verarbeitungszustand sortiert und ggf. zerkleinert, danach erfolgt durch thermische Behandlung die vollständige Rückgewinnung der reinen Carbonfasern, es folgen die Veredelung und schließlich die Endverarbeitung.

- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - Markteinführung, erste Anlage weltweit in Wischhafen (vgl. CFK Valley Stade Recycling GmbH & Co. KG 2011)
 - großes Potenzial, da Carbonfasern sehr teuer sind und diese vermutlich in zunehmenden Maße im Automobilbau eingesetzt werden
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Recycling von Carbonfasern, die ansonsten sehr material- und energieaufwendig neu produziert werden müssten
- ◆ **Firmenbeispiel:** Karl Meyer AG (Betreiber der ersten Anlage weltweit)

4.5 Gewinnung von Sekundärrohstoffen zur stofflichen Nutzung

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Sekundärrohstoffe entstehen durch die Aufbereitung von Abfällen und Reststoffen, aus denen die als Rohstoffe nutzbaren Elemente extrahiert und wieder dem Produktionsprozess zugeführt werden.
 - hoher Anteil von Sekundärrohstoffen bspw. in der Papier- und Glasproduktion
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt
 - Wertschöpfung durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen in Deutschland 2005: 3,7 Mrd. Euro (vgl. Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft 2008: 51)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Schonung von Primärrohstoffen
- ◆ **Firmenbeispiele:** Aurubis AG, BaFa Badische Naturfaseraufbereitung GmbH



4.5.1 Papierherstellung auf Grundlage von Sekundärfasern

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Fasern für die Papierherstellung werden durch das Auflösen des Altpapiers und Waschen der Fasern (Deinking) gewonnen
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung des Wasser- und Energiebedarfs (verglichen mit der Gewinnung von Frischfasern bspw. aus Hackschnitzeln)
 - + Reduzierung von Schadstoffemissionen
 - + Einsparung von Primärrohstoffen wie Holz
- ◆ **Firmenbeispiele:**
Steinbeis Papier GmbH, DRP GmbH

4.5.2 Kaltrecycling von Straßenbelägen

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Während der Straßensanierung wird 100% des ausgebauten Materials wiederverwendet.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + umweltfreundliche und ressourcenschonende Straßensanierungsweise (vgl. Baumarkt.de ohne Jahresangabe)
- ◆ **Firmenbeispiele:**
SAT Straßensanierung GmbH, Wirtgen GmbH

4.6 Erfassung und Verwertung von Deponiegasen

- ◆ **Technologiekategorie:** End-of-Pipe-Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Erfassung des Deponiegases durch Gassammelbrunnen und ihre energetische Verwertung durch Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) (vgl. Zerbe 2008)
 - Verdichtung des Deponiegases und energetische Nutzung in einem Blockheizkraftwerk
 - Eine andere Möglichkeit, den Methanausstoß aus Deponien und Kohlegruben zu reduzieren, ist der

Einsatz von langzeitstabilen Katalysatoren aus keramischen Werkstoffen.

- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduktion der Methanemission
 - + energetische Nutzung des Deponiegases
- ◆ **Firmenbeispiel:**
Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR)

4.7 Dichtungskontrollsysteme

- ◆ **Technologiekategorie:**
Effizienztechnologie/Präventivtechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Dichtungskontrollsysteme überprüfen, ob Mülldeponieabdichtungen noch funktionsfähig sind
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Verhinderung von Schadstofffreisetzung, Gewässerschutz
- ◆ **Firmenbeispiel:** PROGEO Monitoring GmbH

4.8 „Energieautarke“ Kläranlage

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Kombination verschiedener Maßnahmen wie „Rückkehr“ zu anaeroben Verfahren als Energie lieferanten (Faulgas), der Optimierung energieverbrauchender Systeme (z. B. Belüftung), der Abwasserwärmenutzung und neue energieeffiziente Behandlungs- und Reinigungsverfahren
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
Entwicklung/Markteinführung (Modellprojekte)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Erhöhung der Energieeffizienz, Schlammbehandlung ohne zusätzlichen Energieinput
 - + Durch Ausrüstung aller 2.200 großen Kläranlagen (größer als 10.000 Einwohnerwerte) mit Blockheizkraftwerken und durch Optimierung der vorhandenen Anlagen könnte die Stromproduktion aus Klärgas verdoppelt werden (vgl. Kemna 2008).
- ◆ **Firmenbeispiel:** A3 Water Solutions GmbH (Kläranlagen, Wasseraufbereitung)

5. Luftreinigungstechnologien

5.1 Rauchgasreinigungsanlagen

- ◆ **Technologiekategorie:** End-of-Pipe-Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Reduzierung von Kraftwerksemissionen durch neue Elektro- und Aktivkohlefilter sowie neue Methoden der Rauchgaswäsche (optimierte Kalkwaschverfahren)
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, deutsche Unternehmen stark in diesem Marktsegment engagiert
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung von Schadstoffemissionen (durch Rauchgasentschwefelungsanlagen kann der Schwefeldioxidaustritt um 90 % reduziert werden [vgl. Ruhr Energy])
- ◆ **Firmenbeispiel:**
HANDTE Umwelttechnik (Abluftreinigung)

5.2 Luftreinigung durch Nanokatalysatoren

- ◆ **Technologiekategorie:** End-of-Pipe-Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Nanokatalysatoren (z. B. nanoskaliges Titanoxid) können in Verbindung mit Sonnenlicht und Wasser eine Oxidation von luftgetragenen Schadstoffen bewirken.
 - Titandioxid kann z. B. auf Kacheln oder Fassadenelementen aufgebracht werden.
 - Nanokatalysatoren (wie nanoskalige Eisenpartikel) werden auch bei der Abwasserbehandlung oder für die Entschwefelung von Kraftstoffen (vgl. Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH 2008: 59) eingesetzt.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
im Markt/Entwicklung
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung von Schadstoffemissionen
 - Umweltfolgen der Nanomaterialien unklar
 - Umweltbelastung durch Rohstoffgewinnung für Katalysatoren

- ◆ **Firmenbeispiel:**
Süd Chemie AG (Katalysatoren für Luftreinigung)

5.3 Thermische Nachverbrennung

- ◆ **Technologiekategorie:** End-of-Pipe-Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Abgase werden bei hoher Temperatur erneut verbrannt und zu CO₂ gewandelt.
 - „Klassische“ thermische Nachverbrennungsanlagen haben einen integrierten oder einen separaten Röhrenwärmetauscher (Verfahren erster Wahl [vgl. IGS Anlagentechnik GmbH & Co. KG ohne Jahresangabe]).
 - Steam-Reforming-Verfahren: Umwandlung gefährlicher organischer Kohlenwasserstoffverbindungen
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung von Schadstoffemissionen
- ◆ **Firmenbeispiel:**
IGS Anlagentechnik GmbH & Co. KG

5.4 Abgasrückführsysteme

- ◆ **Technologiekategorie:**
integrierte Technologie, End-of-Pipe-Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - führen Abgase wieder dem Verbrennungsprozess zu
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduktion der Stickstoffemissionen
- ◆ **Firmenbeispiel:** HJS Emission Technology GmbH & Co. KG (Abgasnachbehandlung)



5.5 Dieselrußpartikelfilter

- ◆ **Technologiekategorie:** End-of-Pipe-Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Dieselrußpartikelfilter dienen der Reduzierung von im Abgas von Dieselmotoren enthaltenen Partikeln.
 - noch erhebliche Effizienzsteigerungen möglich
 - werden auch in Schienenfahrzeugen, in der Binnenschifffahrt und auch in stationären Anlagen und Systemen (z. B. Stromaggregaten oder BHKWs) eingesetzt
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + starke Reduzierung der Feinstaubbelastung etc.
 - Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs
- ◆ **Firmenbeispiele:** Physitron GmbH, ETB Energietechnik Bremen, HUSS Technologies GmbH (gehört zur Huss Group)

5.6 Feinstaubabscheider für Kleinfeuerungsanlagen

- ◆ **Technologiekategorie:** End-of-Pipe-Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - kostengünstige, nachrüstbare Filtersysteme für Kleinfeuerungsanlagen (z. B. Pelletöfen)
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - Markteinführung, 2030: Marktsättigung (vgl. Angerer u. a. 2009: 21)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung von Schadstoffemissionen
 - Einsatz ressourcenrelevanter Metalle wie Kobalt (rostfreier Stahl)
- ◆ **Firmenbeispiel:** Schröder

6. Wassertechnologien

6.1 Membranfilter zur Wasseraufbereitung

◆ **Technologiekategorie:** End-of-Pipe-Technologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Entsprechend der jeweiligen Porengröße/Dichtungsgröße werden verschiedene Membranverfahren unterschieden, u. a.: Mikrofiltrationsmembranen, Ultrafiltrationsmembranen, und Nano-Filtrationsmembranen.
- Bakterien und Viren werden durch Membranfilter vom Trinkwasser ferngehalten, so erhöht sich die Lebensdauer der Filter deutlich.
- Großes Potenzial haben bio- und nanotechnologisch optimierte Wasserfilter.
- Deutschland ist führend bei Wassergewinnungs-, Wasserreinigungs- und Wiederverwendungssystemen sowie bei entsprechenden Mess-, Kontroll-, Steuerungs- und Regelungstechniken (vgl. Kreibich 2010: 24).
- Es bestehen sehr gute Exportmöglichkeiten von Membrantechnik gerade in Entwicklungs- und Schwellenländer (vgl. Kristof et al. 2010: 12).

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt, Schlüsseltechnologie, die vielfältige Anwendungsmöglichkeiten ermöglicht
- 2005: Marktvolumen für Membranen und Membranmodule von schätzungsweise 760 Mio. Euro, bis 2020 wird eine Steigerung auf etwa 3,3 Mrd. Euro erwartet (vgl. UBA 2007h: 142).
- prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für dezentrale Wasseraufbereitung im Zeitraum 2005–2020: 12 % (vgl. UBA 2007h: 20) (*Markt für dezentrale Wasseraufbereitung gehört damit zu den dynamischsten Zukunftsmärkten laut UBA 2007h*)
- prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Abwasserreinigung im Zeitraum 2005–2020: 10 %, Wachstumsrate des Marktes für Filtertechnologien im mobilen Einsatz von 9 % (vgl. UBA 2007h: 20)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Wasseraufbereitung
- + Abwasserreinigung

◆ **Firmenbeispiele:** Huber SE, Martin Systems AG, MICRODYN-NADIR GmbH

6.1.1 Meerwasserentsalzung mit hocheffizienten Umkehrosomose-Membranen

◆ **Technologiekategorie:** End-of-Pipe-Technologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Salz wird mit Hilfe halb durchlässiger Membranen ausgefiltert, als Membranen können entweder Matten oder Hohlfasern dienen
- Heute halten Membranen bis zu 99,7 % des im Meerwasser enthaltenen Salzes zurück (vgl. Feth; Küffner 2009), sodass ohne weitere Nachbehandlung Wasser in Trinkqualität erzeugt wird.
- Neben der Meerwasserentsalzung werden Umkehrosomose-Membranen auch für die Trinkwasseraufbereitung und zur Gewinnung von Reinwasser in der Industrie eingesetzt.
- Umkehrosomose-Membranen werden seltener in der Abwasserreinigung eingesetzt, da der Energieaufwand hoch ist (sie werden dann eingesetzt, wenn hohe Anforderungen bezüglich Wasserreinheit und Hygiene bestehen).
- Meerwasserentsalzung ist vor allem in Kombination mit solarthermischen Kraftwerken und ggf. Windkraftanlagen ökonomisch und ökologisch sinnvoll.
- konventionelle Verfahren zur Meerwasserentsalzung: Mehrstufenverdampfung und Multi-Effekt-Destillation

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt, 2030: Marktnutzung (vgl. Angerer u. a. 2009: 24)
- prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Meerwasserentsalzungsanlagen im Zeitraum 2005–2020: 13 % (vgl. UBA 2007h: 20) (*Markt für Meerwasserentsalzungsanlagen gehört damit zu den dynamischsten Zukunftsmärkten laut UBA 2007h*)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Abbau der Süßwassermangels in ariden Gebieten, Entlastung der Grundwasserentnahme
- + Reduzierung des Chemikalieneinsatzes
- hoher Energiebedarf verglichen mit konventionellen Verfahren wie dem Kationenaustauschverfahren für die Wasserenthärtung

◆ **Firmenbeispiel:** Inge GmbH



6.2 Ultrafiltration

- ◆ **Technologiekategorie:** End-of-Pipe-Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Frischwasseraufbereitung und Abwasserreinigung, bspw. durch den Einsatz von Membranbioreaktoren
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Frischwasseraufbereitung
 - + Abwasserreinigung
- ◆ **Firmenbeispiel:** Inge GmbH

und verarbeitet und eine sensorbasierte Rohrinspektion ermöglicht.

- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, großes Potenzial vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Vermeidung von Wasserverlusten
- ◆ **Firmenbeispiel:** BRANDES GmbH

6.3 Wärmegewinnung aus Abwasser

- ◆ **Technologiekategorie:** integrierte Technologie, Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Ein Wärmetauscher entzieht dem Abwasser Wärme und führt sie über ein Zwischenmedium einer Wärmepumpe zu, diese bringt die gewonnene Wärme auf ein höheres Temperaturniveau und macht sie so für Heiz- bzw. Kühlzwecke sowie zur Warmwasserbereitung nutzbar.
 - Bedingungen u. a.: kurze Entfernung zwischen Wärmeabnehmer und Kanal/Kläranlage sowie hoher Wärmebedarf des Wärmeabnehmers
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Rückgewinnung von bisher ungenutzter Wärmeenergie
- ◆ **Firmenbeispiel:** Huber SE

6.4 Leckagemanagement

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Technische Systeme zum Leckagemanagement zielen auf die Überwachung von Rohrnetzen und die Früherkennung von Leckagen. Zum Einsatz kommt dabei spezielle Software, welche mit Hilfe von Sonden und Sensoren Durchflussmengen, Druckverhältnisse sowie Rohrgeräusche misst

7. Bergbau

7.1 Urban Mining, Landfills Mining

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Bergbau im städtischen Bereich, Erschließung „anthropogener“ Lagerstätten
 - Der Großteil der anthropogenen Ressourcen befindet sich in Siedlungen, Infrastruktur und anderen langlebigen Gütern, ein kleinerer Anteil (ca. 10–20%) in Deponien und Halden (vgl. Urban Mining e.V. ohne Jahresangabe).
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - als umfassendes Gesamtkonzept noch in Entwicklung
 - Die Rückgewinnung von Wertstoffen (z. B. Kupfer) aus Deponien (Landfills Mining) ist in den meisten Fällen nicht wirtschaftlich (Quelle: Aurubis AG, persönlicher Kontakt).
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Schonung natürlicher Lagerstätten

7.2 Metall-Biolaugung

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Gewinnung von Schwermetallen (z. B. Kupfer, Gold) aus ihren Erzen durch Umwandlung von unlöslichen Erzmineralen zu wasserlöslichen Salzen durch Mikroorganismen
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Im Gegensatz zu konventionellen Gewinnungstechnologien ist der Energiebedarf bei der Biolaugung sehr gering (vgl. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ohne Jahresangabe).
 - + Es entstehen keine umweltschädlichen Abgase wie CO₂ und SO₂.

7.3 Gewinnung von Carnallit durch Solung

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - selektives Heißlöseverfahren, bei welchem die Wertstoffkomponente Carnallit untertägig in der Lagerstätte aufgelöst und dann an die Oberfläche gepumpt wird
 - Steinsalz und Kieserit verbleiben als Rückstand untertage (gelangen nicht wie bei konventionellen Verfahren als „Abfall“ an die Oberfläche).
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - Vermeidung von Umweltbelastungen und Eingriffen in das Landschaftsbild, da keine Rückstandshalde („Kaliberg“) entsteht
- ◆ **Firmenbeispiel:** Deusa International GmbH

7.4 Eindampfen von Magnesiumchlorid-Lösung im Kalibergbau

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Durch das Eindampfen der im Kalibergbau anfallenden Magnesiumchlorid-Lösung wird der Lösung ein großer Teil des Wassers entzogen, sodass eine hochkonzentrierte Magnesiumchlorid-Lösung entsteht, die verkauft oder in leere Grubenräume unter Tage verbracht werden soll.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung der Umweltbelastung durch geringeren Salzwasseranfall
 - Energieeinsatz nötig
- ◆ **Firmenbeispiel:** K+S AG



8. Chemie

8.1 Bioraffinerien

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - biochemische und thermochemische Konversion von nachwachsenden Rohstoffen zu Werkstoffen, Energieträgern und Chemikalien an integrierten Standorten
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - Entwicklung/im Markt, 2030: Marktnutzung (vgl. Angerer u. a. 2009: 20)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Herstellung von Werkstoffen, Energieträgern und Chemikalien aus nichtfossilen Rohstoffquellen
 - Einsatz ressourcenrelevanter Metalle wie Kobalt (für rostfreien Stahl)
- ◆ **Firmenbeispiel:** Biowert Industries GmbH

8.1.1 Biomass to Liquid

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Herstellung von Kraftstoffen aus Holz, Stroh, organischen Abfällen und anderer Biomasse
 - Problem: Biomasse ist chemisch sehr heterogen.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - Entwicklung (Prototyp)
- Umweltrelevanz:**
 - + Herstellung von Kraftstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen
 - mögliche Flächenkonkurrenz bei der Biomasserzeugung
- ◆ **Firmenbeispiel:** Choren (Insolvenz angemeldet)

8.1.2 Fermentative industrielle Ethanolgewinnung aus verholzter Biomasse

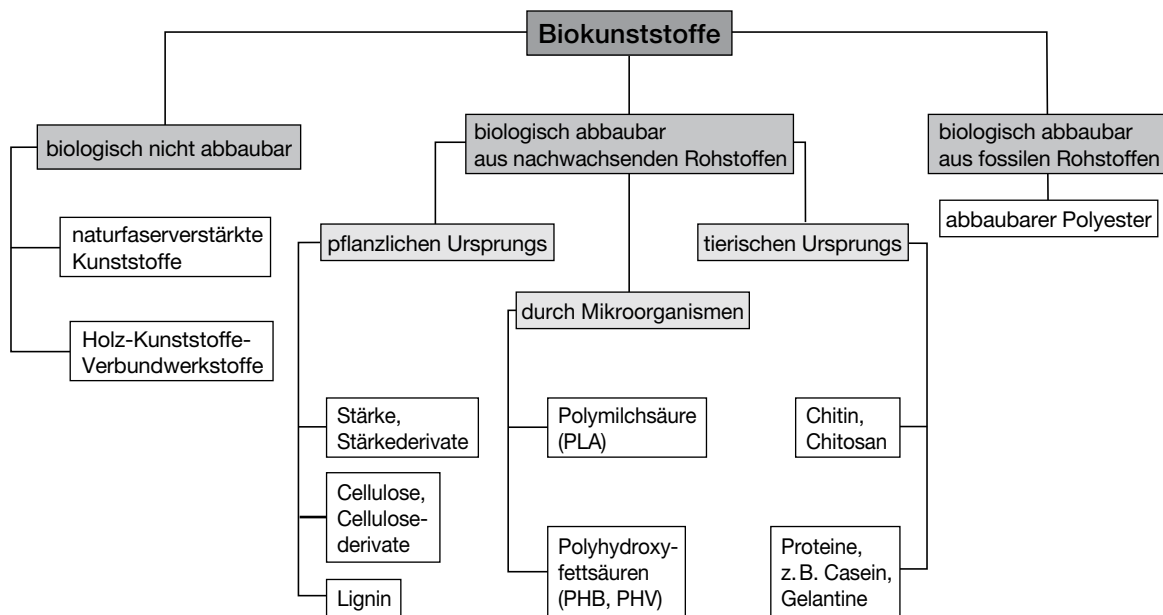
- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - enzymatischer Aufschluss von Lignozellulose für die Herstellung von Ethanolkraftstoff und Chemieprodukten
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - Pilotanlagen, 2030: Marktnutzung (vgl. Angerer u. a. 2009: 21)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Gewinnung von Ethanol und Chemieprodukten aus Biomasse, welche nicht potenziell als Nahrungsmittel genutzt wird
 - Einsatz ressourcenrelevanter Metalle wie Kobalt (für rostfreien Stahl)

8.1.3 Biomasseraffinerie auf Basis von Algen

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Kultivierung von Algen unter Nutzung von Sonnenenergie und industriellem Kohlendioxid in einem Bioreaktor
 - Gewinnung von Fettsäuren, Proteinen, Vitaminen, Karotinoiden oder Farbstoffen, die als Ausgangsstoffe in der Chemie-, Pharma- und Lebensmittelindustrie zum Einsatz kommen können
 - Zudem wird die Algenbiomasse energetisch genutzt (Vergärung zu Biogas und Verstromung in BHKW).
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt (Pilotanlagen)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + klimaschonende Wiederverwertung von Kohlendioxid aus Industrieabgasen, CO₂-Fixierung, geschlossener CO₂-Kreislauf (vgl. Umweltjournal.de 2008)
 - Förderung der Beibehaltung fossiler Kraftwerkstechnologie
- ◆ **Firmenbeispiele:** Subitec GmbH, Phytolutions GmbH

8.2 Biologisch abbaubare Biokunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Abbildung 4: Systematik der Biokunststoffe



Entnommen aus: UBA 2009a: 4.

◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Herstellung biologisch abbaubarer Biokunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wie Zucker, Stärke oder Zellulose
- Biokunststoffe hauptsächlich im Verpackungs- und Cateringbereich eingesetzt

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- im Markt, sehr geringe Verkaufs- und Produktionsmengen verglichen mit konventionellen Kunststoffen (0,05% Anteil am gesamten Kunststoffverbrauch in Deutschland, vgl. UBA 2009a: 5)
- Stärkebasierte Kunststoffe haben aufgrund von Rohstoffverfügbarkeit und Herstellungskosten den größten Anteil am europäischen Biokunststoffmarkt (vgl. Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2007a: 23).

- hohes Wachstumspotenzial (20% jährlich, vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Bundesministerium für Bildung und Forschung 2008: 30f), prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Biokunststoffe im Zeitraum 2005–2020: 22% (vgl. UBA 2007h: 20) (nach Hybridfahrzeugen dynamischster Zukunftsmarkt laut UBA 2007h)

- Nach Schätzungen könnte der deutsche Anteil an der Weltproduktion von Biokunststoffen 2020 etwa 20% betragen.

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen (Erdöl) und Senkung der CO₂-Emission
- + biologisch abbaubar
- Ökobilanzen lassen Umweltvorteile stark anzweifeln (es besteht großer Forschungsbedarf)



- Flächennutzungskonkurrenz, verstärkter Dünger und Pestizideinsatz bei der Produktion
 - bestimmte Biokunststoffe (wie PLA, PHB) möglicherweise aus gentechnisch veränderten Rohstoffen hergestellt
 - Kompostierbarkeit in großtechnischen Kompostieranlagen nicht gewährleistet, Biokunststoffe gelten als „Störstoffe“ im Kompostgut (Kritik der Entsorger), daher in Praxis nur thermische Verwertung (keine stoffliche Kaskadennutzung)
 - Verpackungsproblematik und damit verbundene Umweltbelastungen bleiben bestehen (Umweltbelastung von PLA-Becher vergleichbar mit Belastung aus PET, Einwegbecher aus Karton schneiden besser ab), Augenmerk sollte laut Umweltbundesamt statt auf biologischer Abbaufähigkeit eher auf langlebigen und recyclingfähigen Biokunststoffen liegen (vgl. UBA 2009a: 8).
- ◆ **Firmenbeispiele:** BIOP Biopolymer Technologies AG, Biotech GmbH & Co. KG

8.3 Biokatalyse

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Verwendung von Enzymen zur Katalyse chemischer Reaktionen (vgl. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule 2011)
 - Biokatalysatoren (wie Enzyme) sind Biomoleküle, die biochemische Reaktionen in Organismen beschleunigen oder verlangsamen, indem sie die Aktivierungsenergie der Reaktionen herab- oder (seltener) heraufsetzen
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** Entwicklung/im Markt, großes Potenzial
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Ressourceneffizienz durch hohe Selektivität der Reaktionen, d.h. Reaktionen erzielen eine hohe Ausbeute, unerwünschte Nebenprodukte werden minimiert, da die Reaktionen zielgerichteter verlaufen
 - + Reduzierung des Energieverbrauchs: biotechnologische Verfahren haben gegenüber chemischen den Vorteil, dass Prozesse oft unter milden, umweltschonenderen Bedingungen stattfinden können (geringerer Druck, geringere Temperaturen)
- ◆ **Firmenbeispiele:** BRAIN Biotechnology Research And Information Network AG, evocatal GmbH (Enzyme)

8.3.1 Umweltverträgliche Wasch- und Reinigungsmittel

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Wasch- und Reinigungsmittel, die auf problematische Inhaltsstoffe wie Phosphate, Chlor, Wasserenthärter oder Bleichmittel verzichten
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung der Wasserbelastung
 - + Waschen bei niedrigen Temperaturen möglich
 - Gefahr des „Greenwashing“ durch vermeintliche Öko-Label
- ◆ **Firmenbeispiel:** Werner & Mertz GmbH (Marke Frosch u. a.)

8.4 Mikroreakorteknik

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - In der Mikroverfahrenstechnik finden chemische Prozesse in Apparaturen im Mikrometer- oder Millimeterbereich statt, bei diesen Techniken werden die Reaktoren zur Produktion oder Weiterverarbeitung in kleinster Ausführung angewendet.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Ressourceneffizienz durch hohe Selektivität und Ausbeute der Reaktionen, Vermeidung von Nebenreaktionen
 - + Reduzierung des Rohstoffverbrauchs, der Abfälle und des Energieeinsatzes
- ◆ **Firmenbeispiel:** Ehrfeld Mikrotechnik BTS (gehört zu Bayer)

9. Material- und Werkstofftechnik

9.1 Funktionalisierung und Aktivierung von Oberflächen

- ◆ **Technologiekategorie:**
Effizienztechnologie, integrierte Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Aktivierung und Funktionalisierung von Oberflächen z.B. durch das Aufbringen von funktionellen chemischen Gruppen und die Behandlung mit Plasmen
 - Beschichtungen aller Art ermöglichen eine Entkopplung der Oberflächeneigenschaften und des Volumenmaterials, dies erhöht die Wahlfreiheiten hinsichtlich des Materials
 - wichtige Anwendung der Nanotechnologie
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
im Markt, dynamische Entwicklung
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + selbstreinigende Oberflächen sparen Reinigungsmittel etc.
 - + Ressourcenschonung durch Verlängerung der Lebensdauer von Materialien
 - Ökobilanzen insbesondere nanotechnologischer Anwendungen meist unklar
- ◆ **Firmenbeispiel:** Henkel AG & Co. KGaA

9.2 Schwermetallfreier Korrosionsschutz für Metalle

- ◆ **Technologiekategorie:** Substitutionstechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - nanotechnische Lackgrundierungen als Substitut für die schwermetallhaltige Eisen- und Zinkphosphatierung zur Herstellung von Konversionschichten
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, 2030: Marktsättigung (vgl. Angerer u. a. 2009: 25)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Reduzierung der Schwermetallbelastung
 - + Materialeinsparung (konventionelle Eisenphosphatierung benötigt – verglichen mit nanotech-

nologischem Korrosionsschutz – die dreifache Lackmenge [vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Umweltbundesamt 2009b: 102])

- Ökobilanz der nanotechnischen Lackgrundierungen unklar

- ◆ **Firmenbeispiel:** Oberflächentechnik Preimeß GmbH (nanotechnologische Versiegelungen und Beschichtungen)

9.3 Hochkorrosionsfeste Superlegierungen

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Werkstoffe komplexer Zusammensetzung (z.B. auf Nickelbasis) für Hochtemperaturanwendungen, Einsatz z. B. in Meerwasserentsalzungsanlagen und submarinen Techniken
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, 2030: Marktsättigung (vgl. Angerer u. a. 2009: 25)
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Steigerung der Materialeffizienz durch höhere Materialbeständigkeit
 - Einsatz ressourcenrelevanter Metalle wie Kobalt
- ◆ **Firmenbeispiel:** ThyssenKrupp VDM



10. Mess-, Steuer- und Regelungstechnik

10.1 Null-Ausschuss-Produktion

- ◆ **Technologiekategorie:**
Präventivtechnologie, integrierte Technologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Vermeidung von Produktionsausschuss durch verschiedene Ansätze/Technologien, z. B. Maschine-zu-Maschine-Kommunikation und Funksensor-Netzwerke, welche die Ressourcenschonung in Produktion und Wartung unterstützen
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Erhöhung der Materialeffizienz, großes Potenzial z. B. in der Metallbearbeitung oder in der Photovoltaikindustrie

10.2 Prozessoptimierung durch Modellsimulation

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Simulation von Produktionsprozessen in Modellen zur Prozessoptimierung
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Erhöhung der Energieeffizienz, Verbesserung des Wirkungsgrades
 - + Reduktion des CO₂-Ausstoßes z. B. durch die Optimierung von Verbrennungsprozessen (großes Umweltentlastungspotenzial beispielsweise bei der Zementherstellung)
- ◆ **Firmenbeispiel:**
Powitech Intelligent Technologies GmbH
 - Optimierung von Verbrennungsprozessen durch Modellsimulationen, Kombination aus hochentwickelter optischer Sensorik und neuronalen Netzwerktechniken

10.3 Steuerung und Überwachung von Druckluftsystemen

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**

- Anpassung der Druckluftsysteme an den tatsächlichen Bedarf durch die Steuerung der Kompressoren
- Vermeidung von überdimensionierten Kompressoren und von Leckagen durch Steuer- und Überwachungstechnik
- Optimierung der Ventilöffnungsdauer und der Leitungsdurchmesser
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Erhöhung der Energieeffizienz, durchschnittliches Einsparpotenzial bei Druckluftsystemen durch verschiedene Einzelmaßen 30 % (vgl. Gege 2011: 80)
- ◆ **Firmenbeispiel:**
BOGE KOMPRESSOREN Otto Boge GmbH & Co. KG (effiziente Druckluftsysteme)

10.4 Nutzung von Prozessabwärme

- ◆ **Technologiekategorie:**
integrierte Technologie, Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Nutzung von Abwärme aus industriellen Prozessen (z. B. von Drehmaschinen, Robotern oder Kompressoren) oder aus der solaren Stromerzeugung
 - Nutzungsmöglichkeiten: Wärmeversorgung (vor Ort oder Fernwärmenetz) und Antriebsenergie für Kälteerzeugung (siehe Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung Kapitel 2.1.8.2)
 - Niedertemperatur-Abwärme kann außerdem mittels ORC-Prozessen (Organic Ranking Cycles) in hochwertige elektrische Energie umgewandelt werden (vgl. Land Oberösterreich 2008: 22).
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
im Markt, hohes Potenzial
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - Nutzung bisher ungenutzter Energie, Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades industrieller Anlagen
- ◆ **Firmenbeispiele:**
BOGE KOMPRESSOREN Otto Boge GmbH & Co. KG (Druckluftsysteme mit Energierückgewinnung), SEW Systemtechnik für Energierecycling und Wärmeflußbegrenzung GmbH

11. Informations- und Kommunikationstechnik

11.1 Thin Client & Server-Based Computing

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Rechner, die auf Ein- und Ausgabe beschränkt sind
 - Daten, auf die der Benutzer zugreift, liegen dabei auf einem zentralen Server, ebenso ein Großteil des Betriebssystems.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:** im Markt, großes Potenzial
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Untersuchungen zeigen, dass Energieeinsparungen von bis zu 60 % erreicht werden können (vgl. Fichter u. a. 2009: 15).
 - + Thin Clients tragen erheblich zu Material- und Ressourceneinsparungen bei, da sie deutlich kleiner und leichter als vergleichbare PCs sind.
 - Eine Reduzierung des durchschnittlichen Gewichtes eines Arbeitsplatzcomputers (inklusive Serveranteil) um mindestens 50 % ist bis 2020 technisch möglich und aus ökologischer Sicht wünschenswert (vgl. Fichter u. a. 2010: 9).
- ◆ **Firmenbeispiele:** IGEL Technology (Thin Clients), GNS Gesellschaft für Netzwerk- und Systemintegration mbH (Desktop-Virtualisierung)

11.2 Cloud Computing

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Cloud Computing ist eine Form der bedarfsgerechten und flexiblen Nutzung von IT-Leistungen, diese werden in Echtzeit als Service über das Internet bereitgestellt und nach Nutzung abgerechnet
 - Wichtige Basis für Cloud Computing sind die Virtualisierung (Anwender greifen auf virtuelle Einzelrechner im Rechenzentrum zu) und Thin Clients im PC-Bereich (vgl. Boston Consulting Group; Global e-Sustainability Initiative ohne Jahresangabe: 23).
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, dynamische Entwicklung, großes Potenzial

- weltweites Marktvolumen 2008: über 46 Mrd. US-Dollar, 2013: über 150 Mrd. US-Dollar (vgl. BIT-COM 2009: 15)

- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Material- und Ressourceneinsparungen (Vermeidung von überdimensionierten PCs ...)
- ◆ **Firmenbeispiel:** SAP AG

11.3 Energieeffiziente Rechenzentren

- ◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie
- ◆ **Kurzbeschreibung:**
 - Erhöhung der Energie- und Materialeffizienz von Rechenzentren durch verschiedene Maßnahmen/Ansätze wie zum Beispiel:
 - Desktop-Virtualisierung (Anwender greifen auf virtuelle Einzelrechner im Rechenzentrum zu)
 - optimierte Wasserkühlung von Hochleistungsservern
 - Face-to-Face-Anordnung der Server (Schaffung von Kaltluftgängen zur Reduzierung des Kühlbedarfs)
 - Abwärmenutzung
 - Ziel ist, insbesondere die Auslastung der Rechenzentren und Server zu erhöhen, Rechenkapazitäten können deutlich effizienter in Rechenzentren als in Desktops zur Verfügung gestellt werden.
- ◆ **Produktstatus/Marktsituation:**
 - im Markt, großes Potenzial hat die Effizienzsteigerung bestehender Rechenzentren
- ◆ **Umweltrelevanz:**
 - + Erhöhung der Energie- und Materialeffizienz
 - + Durch die Umsetzung verschiedener Einzelmaßnahmen bei zumindest der Hälfte der Rechenzentren lässt sich der Stromverbrauch in Rechenzentren um etwa 10 % reduzieren (vgl. Fichter u. a. 2009: 8)
 - + Energieeinsparpotenzial 2007–2010: 21 TWh oder 13,6 Mio. t CO₂, dies entspricht einem Stromkosteneinsparpotenzial von 2,5 Mrd. Euro (vgl. UBA 2007g: 42)
- ◆ **Firmenbeispiel:** Kältetechnik aircool GmbH (EDV-Klimatisierung)



11.4 Satellitengestützte Verkehrsleitsysteme

◆ **Technologiekategorie:** Effizienztechnologie

◆ **Kurzbeschreibung:**

- Einsatz von satellitengestützter Telematik im Verkehrswesen, satellitengestützter (GPS, Galileo) bidirektionaler Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen sowie Leitzentrale und Fahrzeugen, Einsatz von intelligenten Ampeln und elektronischen Autobahnleitsystemen

◆ **Produktstatus/Marktsituation:**

- Entwicklung (Prototypen), 2030: Marktnutzung (vgl. Angerer u. a. 2009: 23)
- prognostizierte durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Marktes für Verkehrstelematik im Zeitraum 2005–2020: 7% (vgl. UBA 2007h: 20)

◆ **Umweltrelevanz:**

- + Reduzierung von Energieverbrauch und Emissionen (Vermeidung von Staus etc.), nach Einschätzung von McKinsey könnte der umfassende Einsatz von Verkehrstelematik im Jahr 2020 etwa 3–5% des heutigen Energieverbrauchs im Verkehr einsparen (vgl. BDI 2009)
- + effizientere Logistik, höhere Auslastung der bestehenden Infrastruktur (Vermeidung von Neubau)
- Einsatz ressourcenrelevanter Metalle wie Gallium in Telematik-Systemen

◆ **Firmenbeispiel:** Siemens AG

IV. Anhang zur Technologieliste

Ausgewählte Technologien im Forschungs- und Entwicklungsstadium

- Organische Solarzellen
- Solarzellen mit Quantenpunkten
- Tandem-Solarzellen
- Thermoelektrische Generatoren
- Wasserstoffherzeugung aus Biomasse
- Wasserstoffspeicherung in Metallhydrid
- Wasserstoffspeicherung in metallorganischen Netzwerken
- Wasserstoffspeicherung in Carbazol
- Supraleitende Magnetspeicher
- Aquiferspeicher (Warmwasserspeicher)
- PEM-Brennstoffzellen für Elektrofahrzeuge
- Superkondensatoren zur Traktionsunterstützung für Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge
- Elektrische Speicher für oberleitungslosen Elektrobetrieb von Eisenbahnen
- Entsorgungsschiffe (dienen dem Recycling und der Abfallentsorgung auf dem Meer)
- Material- und Werkstofftechnik
- Carbon Nanotubes für hochfeste Drähte

Ausgewählte Technologien mit unklarer Ökobilanz/unklaren Umwelteigenschaften

- Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS)
- Gas to Liquid (Herstellung synthetischer Kraftstoffe aus Erdgas)
- Gas-Brennwertkessel
- HCCI-Verbrennungsmotoren (effiziente, emissionsarme Verbrennungsmotoren für Kraftfahrzeuge)
- Synthetische Kraftstoffe für HCCI-Verbrennungsmotoren
- Biokraftstoffe
- Pumpspeicherkraftwerke
- Laufwasserkraftwerke
- Gezeitenkraftwerke
- E-Paper

Ausgewählte Technologien, denen keine geeigneten Unternehmen zugeordnet werden konnten

- Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
- Gebäudeintegrierte Windkraftanlagen



V. Literatur- und Quellenverzeichnis

- Aerodyn development + marketing GmbH (ohne Jahresangabe): Kurzbeschreibung der Innovation SCD-Technology. Abgerufen unter: <http://www.scd-technology.com/scd.php>
- Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e.V. (Hrsg.) (keine Jahresangabe): Elektrorad-Typen. Abgerufen unter: <http://www.adfc.de/pedelects/Elektro-rad-Typen/Elektro-rad-Typen>.
- Angerer, Gerhard; Erdmann, Lorenz; Marscheider-Weidemann, Frank; Scharp, Michael; Lüllmann, Arne; Handke, Volker und Marwede, Max (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien – Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag.
- Arnold, Karin; von Geibler, Justus; Bienge, Katrin; Stachura, Caroline; Borbonus, Sylvia; Kristof, Kora (2009): Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen – Ein Konzept zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und Optimierung der Landnutzung. Wuppertal Paper Nr. 180. Abgerufen unter: http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/WP180.pdf
- Baumarkt.de (Hrsg.) (ohne Jahresangabe): Kaltrecycling. Abgerufen unter: <http://www.baumarkt.de/lexikon/Kaltrecycling.htm>
- Behrendt, Siegfried; Erdmann, Lorenz; Marwede, Max; Caporal, Sophie (2010): Roadmap: Ressourceneffiziente Photovoltaik 2020+ – Arbeitspaket 9 des Projektes „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes). Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Abgerufen unter: http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRes_AP9_1.pdf
- Behrendt, Siegfried; Köplin, David; Kreibich, Rolf; Rogall, Holger; Seidemann, Thomas (1996): Umweltgerechte Produktgestaltung – Eco-Design in der elektronischen Industrie. Berlin/Heidelberg: Springer.
- BITKOM (Hrsg.) (2009): Cloud Computing – Evolution in der Technik, Revolution im Business – BITKOM-Leitfaden. Abgerufen unter: http://www.bitkom.org/files/documents/BITKOM-Leitfaden-CloudComputing_Web.pdf
- BMW AG (Hrsg.) (2010): Mobilität der Zukunft: CFK – ein Werkstoff der Zukunft. Veröffentlicht unter: <http://www.7-forum.com/news/Mobilitaet-der-Zukunft-CFK-ein-Werkstoff-3420.html>
- Böcker, Joachim (2011): Elektrische Antriebstechnik – Skript zur Vorlesung. Universität Paderborn Fachgebiet Leistungselektronik und Elektrische Antriebstechnik. Abgerufen unter: http://www.lea.uni-paderborn.de/fileadmin/Elektrotechnik/AG-LEA/lehre/elektr_antriebstechnik/vorlesung/Skript_Elektrische_Antriebstechnik.pdf
- Boston Consulting Group; Global e-Sustainability (ohne Jahresangabe): Initiative SMART 2020 Addendum Deutschland: Die IKT-Industrie als treibende Kraft auf dem Weg zu nachhaltigem Klimaschutz. Abgerufen unter: <http://www.telekom.com/static/-/10038/2/smart-2020-si>
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.) (ohne Jahresangabe): Metall-Biolaugung (Biomining). Abgerufen unter: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Projekte/Rohstoff-Forschung-laufend/LF_Metall_Biolaugung.html
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2005): Innovation für die Schiene – Bahnforschungsprojekte des BMBF. Bonn; Berlin. Abgerufen unter: <http://d-nb.info/978298551/34>
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2007): Produktionsforschung – 57 erfolgreiche Projekte für Menschen und Märkte. Bonn; Berlin. Abgerufen unter: http://www.bmbf.de/pub/produktionsforschung_erfolgreiche_projekte.pdf
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2010): Bundesbericht Forschung und Innovation 2010. Bonn; Berlin. Abgerufen unter: http://www.bmbf.de/pub/bufi_2010.pdf

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2008): Masterplan Umwelttechnologien. Abgerufen unter:
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/masterplan_umwelttechnologien.pdf
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2012): GreenTech made in Germany 3.0 – Umwelttechnologieatlas für Deutschland. München: Verlag Franz Vahlen. Abgerufen unter:
http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Bilder_Unterseiten/Themen/Wirtschaft_Produkte_Ressourcen/Wirtschaft_und_Umwelt/Downloads/greentech_3_0_bf.pdf
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Umweltbundesamt (Hrsg.) (2009b): Umweltwirtschaftsbericht 2009. Berlin; Dessau-Roßlau. Abgerufen unter:
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/umweltwirtschaftsbericht_2009.pdf
- Bundesverband BioEnergie (2011): Der Bioenergiemarkt in Zahlen 2010. Abgerufen unter:
http://www.bioenergie.de/index.php?option=com_content&view=article&id=290&Itemid=6
- Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) (2009): Verkehrstelematik. Abgerufen unter:
<http://www.bdi.eu/Verkehrstelematik.htm>
- CFK Valley Stade Recycling GmbH & Co. KG (Hrsg.) (2011): CFK Recycling. Veröffentlicht unter:
<http://www.cfk-recycling.com/index.php?id=145>
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.) (2008): Kurzanalyse der Kraftwerks- und Netzplanung in Deutschland bis 2020 (mit Ausblick auf 2030) – Annahmen, Ergebnisse und Schlussfolgerungen. Präsentation in Berlin am 15.04.2008. Abgerufen unter: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Energiesysteme/Dokumente/Kurzanalyse_KuN-Planung_D_2020_2030_lang.pdf
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.) (ohne Jahresangabe) (a): Isolierverglasung. Abgerufen unter:
<http://www.thema-energie.de/bauen-modernisieren/fenster/isolierverglasung.html>
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.) (ohne Jahresangabe) (b): Strömungskraftwerke – „Unterwasser-Windenergieanlagen“. Abgerufen unter: <http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/erneuerbare-energien/wasserkraft/kraftwerkstypen/stroemungskraftwerke-unterwasser-windenergieanlagen.html>
- EnergieAgentur.NRW (Hrsg.) (2001): Schutz vor Kälte und Hitze. Dämmstoffe im Vergleich – Einsatzbereiche und Eigenschaften. Abgerufen unter:
http://www.mein-haus-spart.de/_database/_data/datainfopool/Daemmstoffe.pdf
- Energieagentur. NRW (Hrsg.) (ohne Jahresangabe) (a): Förderung von KWK-Anlagen bis 50 kWel im Rahmen der Klimaschutzinitiative des BMU. Abgerufen unter:
http://www.energieagentur.nrw.de/_database/_data/datainfopool/g-4.pdf
- EnergieAgentur.NRW (Hrsg.) (ohne Jahresangabe) (b): Nahwärmenetz. Abgerufen unter:
<http://www.energieagentur.nrw.de/biomasse/nahwaermenetz-9395.asp>
- Das Energieportal (ohne Jahresangabe): Solarkollektoren für Warmwasser und Heizung. Abgerufen unter:
<http://www.das-energieportal.de/startseite/solarthermische-anlagen/details-zu-solarthermischen-anlagen>
- Energie-tib (Hrsg.) (2003): Vakuumisulationspaneele (VIP). Abgerufen unter:
<http://www.gih-info.de/firmen/energie-tib/flyer-vaqtec-2003-energie.pdf>
- European Quality Association for Recycling e.V. (ohne Jahresangabe): Noch große Unterschiede in Europa bei der Recycling-Bereitschaft. Abgerufen unter:
<http://www.eqar.info/info-center/europaeischer-baustoff-recycling-markt.html>
- Feth, Gerd Gregor; Küffner, Georg (2009): Meerwasser-Aufbereitung - Das Salz muss raus. Veröffentlicht am 27.03.2009 auf Faz.net. Abgerufen unter: <http://www.faz.net/aktuell/technik-motor/umwelt-technik/meerwasser-aufbereitung-das-salz-muss-raus-1918946.html>
- Fichter, Klaus; Beucker, Severin; Clausen, Jens; Hintemann, Ralph (2009): Green IT: Zukünftige Herausforderungen und Chancen – Hintergrundpapier für die BMU/UBA/BITKOM-Jahreskonferenz 2009. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Abgerufen unter: <http://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2009/7393/pdf/3726.pdf>



- Fichter, Klaus; Clausen, Jens; Hintemann, Ralph (2010): Roadmap: Ressourceneffiziente Arbeitsplatz-Computerlösungen 2020 – Arbeitspaket 9 des Projektes „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes). Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Abgerufen unter: http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRes_AP9_2.pdf
- FORDAQ – Das Netzwerk der Holzindustrie (Hrsg.) (2010): Forschungsprojekt zur Ökobilanz von Holz-Verbundwerkstoffen. Abgerufen unter: http://holz.fordaq.com/fordaq/news/WKI_DBU_WPC_WoodPlasticComposites_%C3%96kobilanz_24432.html
- Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft (Hrsg.) (2008): Roadmap Umwelttechnologien 2020 – State-of-the-Art-Report (Kurzfassung). Wissenschaftliche Berichte FZKA 7425. Karlsruhe. Abgerufen unter: <http://www.its.fzk.de/deu/lit/2008/joua08a.pdf>
- Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft (Hrsg.) (2009): Roadmap Umwelttechnologien 2020 – Endbericht. Wissenschaftliche Berichte FZKA 7519. Karlsruhe. Abgerufen unter: <http://www.its.fzk.de/deu/lit/2009/scua09a.pdf>
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) (Hrsg.) (2010): Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung – Technologienbericht. Stuttgart: Fraunhofer Verlag. Abgerufen unter: <http://www.dbu.de/OPAC/fp/Energietechnologien2050.pdf>
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (Hrsg.) (ohne Jahresangabe): Wärme- und Kältespeicher. Abgerufen unter: <http://www.ise.fraunhofer.de/geschaeftsfelder-und-marktbereiche/energieeffiziente-gebaeude-und-gebaeudetechnik/waerme-und-kaeltespeicher>
- Gege, Maximilian; B.A.U.M. e.V.; Heib, Marilyn (Hrsg.) (2011): Erfolgsfaktor Energieeffizienz – Investitionen, die sich lohnen – Wie Unternehmen und öffentliche Einrichtungen Energie und Kosten einsparen können. München: oekom.
- Handke, Volker; Kamburow, Christian (2009): Umweltstandards für thermische Solarkollektoren unter besonderer Berücksichtigung der selektiven Beschichtung ihrer Absorberoberflächen. IZT-Werkstattbericht Nr. 97. Abgerufen unter: http://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/IZT_WB97.pdf
- Heinz-Piast-Institut für Handwerkstechnik an der Leibniz Universität Hannover (HPI) (Hrsg.): HPI veranstaltet FORUM „Netzwerk Brennstoffzelle Handwerk“ auf der Hannover-Messe Industrie 2010 (Presseinformation). Abgerufen unter: http://www.hpi-hannover.de/brennstoffzelle/presseinfo_2010-05-11_bz_forum_5.pdf
- Arnold Houben GmbH (Hrsg.) (ohne Jahresangabe): Elektronische Vorschaltgeräte (EVG). Abgerufen unter: <http://houben.eu/index.php/technische-hinweise/komponenten-fuer-leuchtstofflampen/elektronische-vorschaltgeraete-evg>
- IGS Anlagentechnik GmbH & Co. KG (ohne Jahresangabe): TNV Anlage – Thermische Abluftreinigungsanlage. Abgerufen unter: <http://www.igs-anlagentechnik.de/TNV-Anlage.24.0.html>
- Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ), SCI Verkehr GmbH (Hrsg.) (2010): Eco Rail Innovation – Herausforderungen für das System Bahn 2020. Abgerufen unter: http://www.innoz.de/fileadmin/INNOZ/pdf/publikationen/2010/100914_ERI_de.pdf
- Jahrbuch des Bahnwesens Nah- und Fernverkehr (2008): Bahn und Umwelt – Nachhaltigkeit im Verkehr – Mit ausführlicher Chronik Nah- und Fernverkehr. Band 57; 2008/2009. Darmstadt: Hestra-Verlag.
- Kabus, Matthias 2009: Adiabate Kühlung – „Kühlen ohne Strom“. Abgerufen unter: http://www.energieagentur.nrw.de/virtuell/downloads/adiabate_kuehlung.pdf
- Kemna, Verena (2008): Wasser klären und Strom erzeugen – Große Potenziale in der Wasserwirtschaft derzeit ungenutzt. Sendung des Deutschlandfunks vom 26.03.2008. Abgerufen unter: <http://www.dradio.de/dlf/sendungen/umwelt/759585>
- Kreibich, Rolf (2010): Deutschlands Beitrag zur Zukunftsfähigkeit im 21. Jahrhundert. IZT Arbeitsbericht Nr. 37. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Abgerufen unter: http://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/IZT_AB37.pdf
- Kreibich, Rolf (2009): Zukunftsforschung zur Nachhaltigkeit – Forschungsfelder, Forschungsförderung, Forschungspolitik. IZT Arbeitsbericht Nr. 34. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Abgerufen unter: http://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/IZT_AB34.pdf

RESSOURCENSCHONUNG DURCH AUSGEWÄHLTE GRÜNE ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN

- Kristof, Kora; Hennicke, Peter u. a. (2010): Endbericht des Projektes „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes). Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Abgerufen unter: http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRes_Endbericht.pdf
- Max-Planck-Gesellschaft (Hrsg.) (ohne Jahresangabe): Das Raumwunder im Tank. Abgerufen unter: http://www.mpg.de/781398/W001_Material-Technik_044-051.pdf
- Mb-netzwerk (ohne Jahresangabe): Kraft-Wärme-Kopplung und Blockheizkraftwerk. Abgerufen unter: <http://www.blockheizkraftwerk-info.de>
- Land Oberösterreich (Hrsg.) (2008): Industrielle Abwärmenutzung – Beispiele & Technologien. Abgerufen unter: http://www.land-oberoesterreich.gv.at/files/publikationen/us_industrielle_abwaerme.pdf
- Oertel, Dagmar (2008): Energiespeicher – Stand und Perspektiven – Sachstandsbericht zum Monitoring „Nachhaltige Energieversorgung“. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Arbeitsbericht Nr. 123. Abgerufen unter: http://www.umweltdienstleister.de/pdf/1195studie_speichersysteme.pdf
- Philips (Hrsg.) (ohne Jahresangabe): Econova – Design für die Zukunft. Veröffentlicht unter: http://www.philips.de/c/fernsehgeraete/econova-107-cm-42-zoll-digitaler-fernseher-mit-full-hd-1080p-42pfl6805h_12/prd
- Prachi, Patel (2009): Rucksack mit Grätzel-Zelle. Veröffentlicht unter: <http://heise.de/-836070>
- PRO KLIMA 2011 (Hrsg.): Warum ist die Autoklimaanlage für den Umweltschutz relevant? Abgerufen unter: <http://www.autoklimaanlage.info/de/hintergrund/umweltschutz.html>
- Rentzing, Sascha (2010): Solar-Konzerne kämpfen um ihr grünes Image. Veröffentlicht auf Spiegel online am 25.04.2010. Abgerufen unter: <http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/0,1518,688779,00.html>
- Rheinisch-Westfälische Technischen Hochschule (RWTH) Aachen Juniorprofessur für Biokatalyse des Lehrstuhls für Biotechnologie (2011): Biokatalyse. Veröffentlicht unter: http://www.biocat.rwth-aachen.de/?page_id=54
- Runder Tisch Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion (Hrsg.) (2010): Empfehlung – Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion. Abgerufen unter: http://www.runder-tisch-werra.de/show_image.php?id=1002&download=1
- Santarius, Tilmann (2012): Der Rebound-Effekt. Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz. Impulse zur Wachstumswende 5. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.
- Scharp, Michael (2011): Zukunft des Bauens und Wohnens. IZT-Werkstattbericht Nr. 115. Abgerufen unter: http://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/IZT_WB115.pdf
- Siemens AG (2011): Zukunftsweisende Kraftwerkstechnik. Pressemitteilung vom 19.05.2011. Abgerufen unter: http://www.siemens.com/press/de/pressemitteilungen/?press=/de/pressemitteilungen/2011/fossil_power_generation/efp201105064.htm
- SkySails GmbH (Hrsg.) (ohne Jahresangabe): SkySails-Antrieb für Frachtschiffe – Vorteile. Abgerufen unter: <http://www.skysails.info/skysails-marine/skysails-antrieb-fuer-frachtschiffe/vorteile>
- SolarFuel GmbH (ohne Jahresangabe): Energiespeicherung nach dem Vorbild der Natur. Abgerufen unter: <http://www.solar-fuel.net/loesung>
- Thema, Johannes; Irrek, Wolfgang u. a. (2010): Umwelt und Ressourcenaspekte einer verstärkten Nutzung von LED – Kurzexpertise zu Arbeitspaket 14 des Projektes „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes). Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Abgerufen unter: http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRes_AP14_4.pdf
- Uken, Marlies (2009): Erdwärme – Gar nicht so öko. Veröffentlicht am 20.05.2009 auf Zeit online. Abgerufen unter <http://www.zeit.de/online/2008/25/erdwaerme/komplettansicht>
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2009a): Biologisch abbaubare Kunststoffe. Abgerufen unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3834.pdf>
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2009b): Nachhaltige Chemie – Positionen und Kriterien des Umweltbundesamtes. Abgerufen unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3734.pdf>



- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2011): Energieeffizienz in Zahlen. Climate Change Nr. 13/2011.
- Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007a): Zukunftsmarkt Biokunststoffe. Abgerufen unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3451.pdf>
- Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007b): Zukunftsmarkt Hybride Antriebstechnik. Abgerufen unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3453.pdf>
- Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007c): Zukunftsmarkt Solares Kühlen. Abgerufen unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3449.pdf>
- Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007d): Zukunftsmarkt Solarthermische Stromerzeugung. Abgerufen unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3446.pdf>
- Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007e): Zukunftsmarkt Stofferkennung und -trennung. Abgerufen unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3456.pdf>
- Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007f): Zukunftsmarkt Elektrische Energiespeicherung. Abgerufen unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3448.pdf>
- Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007g): Zukunftsmarkt Energieeffiziente Rechenzentren. Abgerufen unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3450.pdf>
- Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007h): Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen. Abgerufen unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3337.pdf>
- Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2008a): Innovationsdynamik und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in grünen Zukunftsmärkten. Abgerufen unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3690.pdf>
- Umweltjournal.de (Hrsg.) (2008): Algen mit Hunger auf CO₂ – Grüne Chance für das Klima? Veröffentlicht unter: http://www.umweltjournal.de/AfA_technik/14887.php
- URBAN MINING e.V. (Hrsg.) (ohne Jahresangabe): Urban Mining – Definitionen. Abgerufen unter: <http://urban-mining.com/index.php?id=164>
- Wagner, Sarah (2011): Hybridkraftwerk in Prenzlau – Aus Wind wird Wasserstoff wird Strom. Veröffentlicht unter: http://www.focus.de/wissen/wissenschaft/klima/tid-4018/hybridkraftwerk-in-prenzlau-aus-wind-wird-wasserstoff-wird-strom_aid_678417.html
- Wagner, Thomas (2011): Rückschau: Holz aus der Fritteuse, ARD-Fernsehbeitrag vom 06.11.2011. Abgerufen unter: <http://www.swr.de/odyso/-/id=1046894/nid=1046894/did=8832808/1ana6vv/index.html>
- Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) (2008): Weißbuch Energie-Intelligenz – Energie intelligent erzeugen, verteilen und nutzen. Frankfurt am Main. Abgerufen unter: http://en-q.de/media/Weissbuch_Energie-Intelligenz.pdf
- Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) (2008a): Magazin für Energie-Intelligenz EnQ, Ausgabe 1/2008. Abgerufen unter: http://www.en-q.de/magazin/ausgabe_01_2008.pdf
- Zerbe, Hans-Dietrich (2008): Deponietechnik und Klimaschutz. Abgerufen unter: Jahresbericht des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein 2007/08. <http://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/jahrbe07/Deponietechnik%20und%20Klimaschutz.pdf>
- Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH (2008): Innovationen gegen Rohstoffknappheit. Düsseldorf. Abgerufen http://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur/dps_bilder/SK/2008/Innovationen_gegen_Rohstoffknappheit_Band_74.pdf
- Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH (2011): Technologiestandort Deutschland 2020 – Status Quo und Entwicklungsperspektiven für Ingenieure. Düsseldorf. Abgerufen <http://www.zukuenftigetechnologien.de/pdf/Band91.pdf>

NABU VOR ORT

NABU-Bundesverband
Charitéstraße 3, 10117 Berlin
Tel. 0 30.28 49 84-0
Fax 0 30.28 49 84-20 00
NABU@NABU.de
www.NABU.de

NABU Baden-Württemberg
Tübinger Straße 15, 70178 Stuttgart
Tel. 07 11.9 66 72-0
Fax 07 11.9 66 72-33
NABU@NABU-BW.de
www.NABU-BW.de

NABU Niedersachsen
Alleestraße 36, 30167 Hannover
Tel. 05 11.91 10 5-0
Fax 05 11.9 11 05-40
Info@NABU-Niedersachsen.de
www.NABU-Niedersachsen.de

NABU-Partner Bayern –
Landesbund für Vogelschutz (LBV)
Eisvogelweg 1, 91161 Hilpoltstein
Tel. 0 91 74.47 75-0
Fax 0 91 74.47 75-75
Info@LBV.de
www.LBV.de

NABU Nordrhein-Westfalen
Merowingerstraße 88, 40225 Düsseldorf
Tel. 02 11.15 92 51-0
Fax 02 11.15 92 51-15
Info@NABU-NRW.de
www.NABU-NRW.de

NABU Berlin
Wollankstraße 4, 13187 Berlin
Tel. 0 30.9 86 41 07 oder 9 86 08 37-0
Fax 0 30.9 86 70 51
LvBerlin@NABU-Berlin.de
www.NABU-Berlin.de

NABU Rheinland-Pfalz
Frauenlobstraße 15-19, 55118 Mainz
Tel. 0 61 31.1 40 39-0
Fax 0 61 31.1 40 39-28
Kontakt@NABU-RLP.de
www.NABU-RLP.de

NABU Brandenburg
Lindenstraße 34, 14467 Potsdam
Tel. 03 31.2 01 55-70
Fax 03 31.2 01 55-77
Info@NABU-Brandenburg.de
www.NABU-Brandenburg.de

NABU Saarland
Antoniusstraße 18, 66822 Lebach
Tel. 0 68 81.93 61 9-0
Fax 0 68 81.93 61 9-11
LGS@NABU-Saar.de
www.NABU-Saar.de

NABU Bremen
Contrescarpe 8, 28203 Bremen
Tel. 04 21.3 39 87 72
Fax 04 21.33 65 99 12
Info@NABU-Bremen.de
www.NABU-Bremen.de

NABU Sachsen
Löbauer Straße 68, 04347 Leipzig
Tel. 03 41.23 33 13-0
Fax 03 41.23 33 13-3
Landesverband@NABU-Sachsen.de
www.NABU-Sachsen.de

NABU Hamburg
Osterstraße 58, 20259 Hamburg
Tel. 0 40.69 70 89-0
Fax 0 40.69 70 89-19
NABU@NABU-Hamburg.de
www.NABU-Hamburg.de

NABU Sachsen-Anhalt
Schleifufer 18a, 39104 Magdeburg
Tel. 03 91.5 61 93-50
Fax 03 91.5 61 93-49
Mail@NABU-LSA.de
www.NABU-LSA.de

NABU Hessen
Friedenstraße 26, 35578 Wetzlar
Tel. 0 64 41.6 79 04-0
Fax 0 64 41.6 79 04-29
Info@NABU-Hessen.de
www.NABU-Hessen.de

NABU Schleswig-Holstein
Färberstraße 51, 24534 Neumünster
Tel. 0 43 21.5 37 34
Fax 0 43 21.59 81
Info@NABU-SH.de
www.NABU-SH.de

NABU Mecklenburg- Vorpommern
Arsenalstraße 2, 19053 Schwerin
Tel. 03 85.7 58 94 81
Fax 03 85.7 58 94 98
LGS@NABU-MV.de
www.NABU-MV.de

NABU Thüringen
Leutra 15, 07751 Jena
Tel. 0 36 41.60 57 04
Fax 0 36 41.21 54 11
LGS@NABU-Thueringen.de
www.NABU-Thueringen.de

