

Konferenzband

Studentische Fachkonferenz 2015:

Nachhaltigkeit im industriellen Umfeld

HTWG Konstanz / HS Ravensburg-Weingarten
Masterstudiengang Umwelt- und Verfahrenstechnik

Lehrveranstaltung „Nachhaltigkeit im industriellen Umfeld“
WS 2015/2016

Prof. Dr. Maike Sippel
Fachgebiet Nachhaltige Ökonomie

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1: Innovation und Energien

- Potenzial stationärer Brennstoffzellensysteme - *Brugger, Christoph; Seitz, Philipp* 3
- Vergleich von Standard und PERC Solarzellen, sowie Ökobilanz eines Photovoltaikmoduls in Deutschland - *Kraus, Leonard* 10
- Transformatoren - *Regnet, Fabian* 15
- Wasserstoff als Energieträger für die Automobilindustrie - *Tuchek, Isabelle Maria* 20

Kapitel 2: Schadstoffeinträge & Kreislaufwirtschaft

- Recycling siliziumbasierender Photovoltaikanlagen - *Alf, Dario* 25
- Verwertung von Kunststoffabfällen - *Gegelmann, Alexander* 30
- Industrielle Abwärmenutzung - *Rehm, Kevin* 35
- Feinstaub: Gefahren, gesetzliche Normen und Reduzierungsmaßnahmen - *Wenger, Arne* 40

Kapitel 3: Nachwachsende Rohstoffe & Landwirtschaft

- Biokraftstoffe - Chancen und Herausforderungen - *Bode, Konstantin* 45
- Biokraftstoff E10 (Kraftstoff aus Bioethanol) – Nachhaltig sinnvoll oder Unfug? - *Homberger, Dominik; Tegel, Florian* 50
- Ressourcen schonen - Nachhaltiger Umgang mit der Ressource Boden in der Landwirtschaft - *Glökler, Christian, Michael Liebert* 58
- Biokunststoffe in der Verpackungsindustrie - *Merk, Katrin* 66
- Medikamenteneinsatz bei Nutztieren - *Schweikart, Vanessa* 71

Kapitel 4: Wasser

- Nachhaltigkeit in der Abwasserreinigung - Einführung einer 4. Reinigungsstufe in kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffelimination am Beispiel des Rheins *Halmosi, Silvan; Zabo, Susann* 77
- Ökologische Verbesserungsmaßnahmen an Wasserlaufkraftanlagen gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz - *Rogowski, Igor* 85
- Nachhaltigkeit des Wasserkonsums in Deutschland - *Vögele, Thomas* 90

Kapitel 5: Unternehmen & Branchen

- Nachhaltigkeit in der pharmazeutischen Industrie - *Löbert, Judith; Mahlke, Jana* 96
- Nachhaltigkeit als Vision der Festo AG & Co. KG - *Moosmann, Marina* 104
- Umweltmanagementsysteme - Ziele, Vorgehensweise und Beispiele - *Ranz, Iris* 109
- Umweltbewusster Weg zur Arbeit – Wie können die Unternehmen den Arbeitsweg ihrer Mitarbeiter nachhaltig gestalten? - *Brunner, Andrea; Ochs, Veronika* 114

Vorwort zur Fachkonferenz 2015

"Nachhaltigkeit im industriellen Umfeld"

Das Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung bezeichnet eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generationen dient, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zu gefährden, ihre Bedürfnisse zu befriedigen (Brundtland-Kommission 1987). In Verantwortung für zukünftige Generationen fordert eine Nachhaltige Entwicklung das Einhalten der Grenzen der natürlichen Tragfähigkeit der Erde ("planetary boundaries") und damit den Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen. In Verantwortung für die heute lebenden Menschen rücken Fragen der Armutsbekämpfung und der Verteilungsgerechtigkeit in den Blick - mit dem Ziel ein menschenwürdiges Leben für die aktuellen Bewohner unseres Planeten zu ermöglichen.

Die Industrie kann in beiden Verantwortungsbereichen einen Beitrag zur Nachhaltigen Entwicklung leisten. Zum einen verursachen industrielle Produktionsprozesse Umweltbelastungen durch die Entnahme von erneuerbaren und nicht erneuerbaren Rohstoffen sowie durch die Abgabe von Abfällen in Luft, Wasser und Boden. Diese Umweltbelastungen können mit technischen, organisatorischen und politischen Innovationen minimiert werden. Zum anderen sind die industriellen Produktionsprozesse mit sozialen Aspekten verknüpft. Hier rückt z.B. die Gewährleistung menschenwürdiger Arbeitsbedingungen in den Fokus, entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Die Lehrveranstaltung "Nachhaltigkeit im industriellen Umfeld" im Masterstudiengang Umwelt- und Verfahrenstechnik der Hochschulen Konstanz und Ravensburg-Weingarten bearbeitet diese Themen. Teil der Lehrveranstaltung (und Leistungsnachweis für die Studierenden) ist die studentische Fachkonferenz "Nachhaltigkeit im industriellen Umfeld". Die studentische Fachkonferenz ist einer wissenschaftlichen Fachkonferenz nachempfunden und soll neben der Vertiefung der Fachkompetenz der Festigung der Methodenkompetenz des wissenschaftlichen Arbeitens dienen ("forschendes Lernen"). Unter dem Oberthema Nachhaltigkeit im industriellen Umfeld entwickeln die Studierenden entsprechend ihren Neigungen und Vorkenntnissen ein eigenes Thema und grenzen es ein. Die Bearbeitung war in Einzelarbeit oder als Zweiergruppe möglich. Ergebnis der anschließenden Ausarbeitung sind ein Paper für den hier vorliegenden Sammelband sowie eine Poster- oder Folienpräsentation des Themas im Rahmen der studentischen Fachkonferenz.

Themen der Fachkonferenz sind:

- Innovationen und Spannendes aus dem Bereich der Energieerzeugung und -wandlung
- Aspekte der Schließung von Stoffkreisläufen und Vermeidung von Schadstoffeinträgen in die Umwelt
- Chancen und Herausforderungen Nachwachsender Rohstoffe bei verschiedenen Einsatzmöglichkeiten sowie Themen der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft
- verschiedene Blickwinkel auf das Thema Wasser (von der Abwasserreinigung bis zum Wasserkonsum der Konsumenten)
- die Betrachtung spezifischer Industrien und Unternehmen sowie deren Werkzeuge zur Umsetzung von Nachhaltigkeit.

Damit ist ein reizvoller Bogen gespannt von konkreten technischen Fragen bis zur Herangehensweise an die Nachhaltigkeit auf Unternehmensebene.

Die Verantwortung für die Richtigkeit der Inhalte der einzelnen Fachbeiträge verbleibt bei den jeweiligen Autoren/innen.

Viel Freude und neue spannende Impulse beim Lesen der Fachbeiträge!

Konstanz, 16.12.2015
Prof. Dr. Maïke Sippel

„Potenzial stationärer Brennstoffzellensysteme“

Christoph Brugger¹; Philipp Seitz²

¹ HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: christoph.brugger@htwg-konstanz.de;

² HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: philipp.seitz@htwg-konstanz.de

Abstract

Stationary fuel cell power systems are on the edge of getting introduced onto the German market. This article describes the principles behind this technology, its advantages and disadvantages. Stationary fuel cells could have a huge impact on the German energy mix, because these appliances are able to provide electricity and heat with high efficiency and low emissions. However, due to expensive production costs, there is currently too little economic value for final customers to invest. To reduce production costs and to reach the target of commercialization, a higher grade of standardization is required. A comparison of the three segments residential, commercial and industrial application displays that the field of residential buildings tends to have the greatest potential of standardization. To gain a foothold in the market, public subsidies and higher engagements by energy providers are necessary. This statement is proven by Japan, which fuel cell technology is about seven to eight years ahead.

Einleitung

Die Problematik der Endlichkeit der fossilen Energieträger ist bekannt. Ebenso, dass innovative Verfahren, für die Umwandlung von Primärenergie in Nutzenergie, benötigt werden. Für diese Energiewandlung werden Brennstoffzellen genutzt und weiterentwickelt. Diese sind gegenüber konventionellen Verfahren in der Umwandlung effizienter und dafür prädestiniert die Dampfmaschine des 21. Jahrhunderts zu werden. (Karamanolis 2003, S. 87)

Brennstoffzelle

Die Brennstoffzelle wurde in den 1830er Jahren erfunden, von wem ist allerdings unklar. In der Literatur wird sowohl der Engländer William Grove, als auch der Schweizer Friedrich Schönbein als Erfinder genannt (Karamanolis 2003, S. 13–14). Lange blieb das Potenzial der Brennstoffzelle jedoch ungenutzt. In der damaligen Zeit war die Handhabung der Prozessgase, vor allem Wasserstoff, schwierig und die Erzeugung elektrischer Energie über den Umweg der Verbrennung → Dampferzeugung → mechanische Energie → Generator war einfacher zu betreiben (Noreikat 2013, S. 246). Erst in den 1960er Jahren erlangte die Brennstoffzelle, durch die Raumfahrt, erneut an Bedeutung. Der stetig steigende Bedarf an Boardstrom konnte durch Batterien nicht länger sinnvoll abgedeckt werden. So kamen im Apollo-Programm erstmals alkalische Brennstoffzellen zum Einsatz (Töpler; Lehmann 2014, S. 107). Weitere Brennstoffzellentypen wurden entwickelt und letztlich schaffte die Technologie in den 90er Jahren ihren Durchbruch. Seither schreitet die Technik rasant voran. In diesem Zusammenhang prognostizierte Brennstoffzellen-Unternehmer Geoffrey Ballard 1999 im Time Magazin (Hornblower 1999): „The internal combustion engine will

go the way of the horse. It will be a curiosity to my grandchildren.“

Funktionsweise

Die Brennstoffzelle wandelt chemisch gebundene Energie direkt in Wärme und elektrischen Strom um. Die treibende Kraft dieser Reaktion ist das chemische Potenzial (Winkler 2002, S. 4).

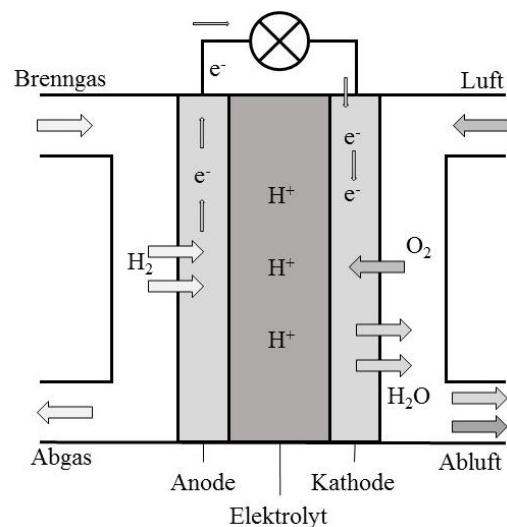
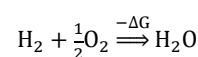


Abbildung 1 Funktionsweise von Brennstoffzellen (eigene Darstellung nach Karamanolis 2003, S. 26)

Abbildung 1 veranschaulicht den Prozess anhand der Reaktionsgase Luftsauerstoff und Wasserstoff. Der Wasserstoff dient als Brenngas und ist durch eine gasdichte Membran, den Elektrolyten, von der Verbrennungsluft getrennt. Beide Seiten des Elektrolyten sind mit einem Elektrodenmaterial beschichtet und über einen elektrischen Verbraucher verbunden. Anodenseitig wird das Brenngas, unter Abgabe von Elektronen, adsorbiert und ionisiert. Für die entstehenden H⁺-Ionen ist der im Beispiel gewählte Elektrolyt durchlässig. Durch diesen wandern die Ionen in Richtung Kathode, während die Elektronen, unter Leistung elektrischer Arbeit, den Verbraucher passieren. Der an der Kathode adsorbierte Sauerstoff wird durch die zugeführten Elektronen ionisiert. Die Ionen treffen aufeinander und das Reaktionsprodukt, Wasser, wird freigesetzt. Grundlage dieses Prozesses ist folgender chemischer Zusammenhang (Karamanolis 2003, S. 22):



Wasserstoff und Sauerstoff reagieren unter Abgabe von Energie zu Wasser.

Brennstoffzellenarten

Brennstoffzellen werden international nach dem Elektrolyten unterschieden. Die technischen Besonderheiten, sowie deren Anwendungsbereiche sind in Tabelle 1 dargestellt. Außerdem lassen sich die Brennstoffzellen nach der Betriebstemperatur in Nieder- (AFC, PEMFC, DMFC), Mittel- (PAFC) und Hoch- (MCFC, SOFC) temperatur-Brennstoffzellen einteilen. Die Arbeitstemperatur der Niedertemperatur-Brennstoffzellen liegt unter 100°C, zudem wird eine sehr hohe Reinheit des Brenngases benötigt. Mitteltemperatur-Brennstoffzellen hingegen arbeiten bei 200°C und benötigen kein hochreines Brenngas. Die Hochtemperatur-Brennstoffzellen werden bei bis zu 1000°C betrieben und sind bei der Zusammensetzung des Brenngases flexibel. (Oertel 2001, S. 38–48)

Des Weiteren lassen sich die Brennstoffzellen in den mobilen, den portablen und den stationären Anwendungsbereiche einteilen. Der Verkehrssektor repräsentiert den mobilen Bereich, die tragbare Stromerzeugung den portablen und die Kraft-Wärme-Kopplung, beispielsweise Blockheizkraftwerke (BHKW), bilden den stationären Bereich. (Reich; Reppich 2013, S. 242–243)

Wie in der Tabelle 1 ersichtlich sind hauptsächlich die Mittel- und Hochtemperatur-Brennstoffzellen für den stationären Anwendungsbereich interessant.

Stationäre Brennstoffzellensysteme

Das Herzstück eines Brennstoffzellensystems ist der sogenannte Stack, welcher aus einzelnen aufeinander gestapelten Brennstoffzellen besteht. In der Praxis werden die Zellen in Reihe geschaltet um höhere Spannungen zu erzeugen. Höhere Stromstärken werden durch das parallel schalten von mehreren Stacks erreicht (Karamanolis 2003, S. 30). Die Primäraufgabe des Brennstoffzellen Stacks ist die im Brennstoff enthaltene chemische Energie in Strom und Wärme umzuwandeln.

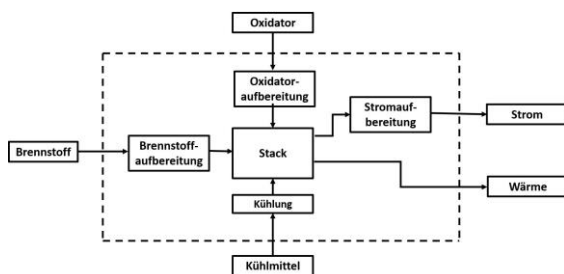


Abbildung 2 Schematischer Aufbau Brennstoffzellensystem (eigene Darstellung nach Karamanolis 2003, S. 47)

In der schematischen Abbildung 2 ist nach dem Eintreten des Brennstoffs, in den Bilanzraum, die Brennstoffaufbereitung dargestellt. Dieser sogenannte Reformer ist notwendig falls kein reiner Wasserstoff zur Verfügung steht. Wie im Kapitel Funktionsweise beschrieben, muss der Stack während des Betriebs kontinuierlich mit Oxidator (i.d.R. Sauerstoff) versorgt werden. Die Oxidatoraufberei-

tung besteht im wesentlichen aus Filtern und Pumpen. Außerdem enthält das Brennstoffzellensystem eine Kühlung, um eine Überhitzung zu vermeiden. Dabei wird Kühlmedium durch das gesamte System gefördert. Am Ende des Prozesses steht die Stromaufbereitung. Dort wird die Stromstärke und Spannungsart (Gleichspannung) des Stacks an die des Verbrauchers angepasst. (Karamanolis 2003, S. 46–48)

Vorteile stationärer Brennstoffzellen

Im Folgenden wird auf einige Vorteile der stationären Brennstoffzellen eingegangen.

Simultane Gewinnung von Strom und Wärme

Der entscheidende Vorteil der stationären Brennstoffzelle liegt in der Kraft-Wärme-Kopplung. Dabei wird der Brennstoff hocheffizient genutzt, Strom und Wärme simultan gewonnen werden. Durch diese Umwandlung der Primärenergie können deutlich höhere Wirkungsgrade erreicht werden. (Oertel 2001, S. 148)

Breiter Leistungsbereich

Auf Grund des breiten Leistungsbereichs der Brennstoffzellen (Vergleich Tabelle 1) und des Baugröße unabhängigen hohen Wirkungsgrades, können die sogenannten BHKWs für die dezentrale, sowie zentrale, Energie- und Wärme-Versorgung, von kleinen Haushaltsanlagen bis hin zu Kraftwerken, eingesetzt werden (siehe Abbildung 3).

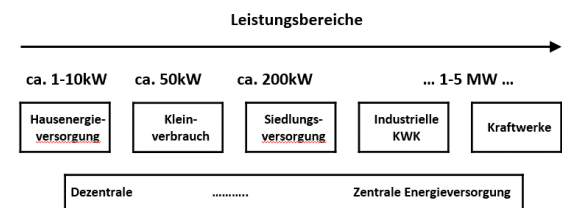


Abbildung 3 Einsatzbereiche der stationären Brennstoffzelle nach Leistungsbereich (eigene Darstellung nach Oertel 2001, S. 141)

Für hohe Leistungsbereiche werden mehrere Brennstoffzellenanlagen zu einem sogenannten virtuellen Kraftwerk verbunden. Dieses Konzept bringt folgende zusätzlichen Vorteile mit sich: Die benötigte Energie und Wärme wird direkt beim Verbraucher preiswert und vor Ort erzeugt. Daraus ergeben sich fast keine Wärmeverluste durch lange Rohrleitungssysteme. (Reich; Reppich 2013, S. 248)

Durch die Kernaussagen der Abbildung 3 und Tabelle 1 lassen sich folgende Einteilungen erschließen. Die PEMFC-Brennstoffzellen sind für niedrigere Leistungsbereiche (1-10 kW) wie Haushalte für dezentrale Energieversorgung geeignet. Mit steigendem Leistungsbereich, bis zu den Kraftwerken, ist keine dezentrale, sondern eine zentrale Energieversorgung notwendig. Generell werden für Blockheizkraftwerke die Brennstoffzellentypen PAFC, MCFC und SOFC eingesetzt. Ebenfalls gut lassen sich

diese Typen für industrielle Prozesse einsetzen, da die höheren Betriebstemperaturen zu steigender Abwärme führen.

Hoher Wirkungsgrad

Stationäre Brennstoffzellen liegen im direkten Vergleich des elektrischen Wirkungsgrades, in allen Leistungsbereichen gegenüber konventionellen Anwendungen, höher. Abbildung 4 veranschaulicht diesen und stellt, durch die Balkendicke den heutigen (untere Grenze) und den in Zukunft möglichen (obere Grenze) Wirkungsgrad dar.

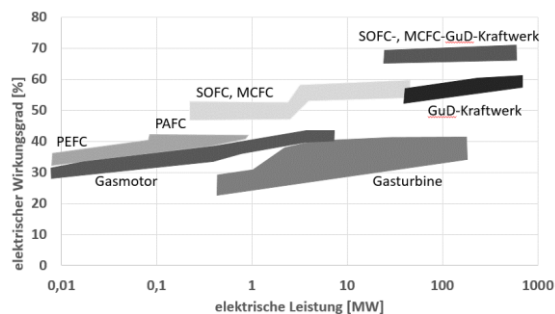


Abbildung 4 Wirkungsgradvergleich
(eigene Darstellung nach Peht 2002, S. 142)

Wie in Abbildung 5 dargestellt muss bei den Wärmekraftmaschinen zuerst durch Verbrennung die chemische, in thermische Energie gewandelt werden. Darauf wird diese durch einen Motor oder eine Turbine in mechanische Energie überführt. Erst danach kann durch Einsatz eines Generators elektrische Energie gewonnen werden. Demgegenüber wandelt die Brennstoffzelle ohne Umwege chemische, in elektrische, Energie um. Der Schritt über die Wärmekraftmaschine entfällt und somit unterliegt die Energieumwandlung nicht dem Carnot-Wirkungsgrad η_c . (Reich und Reppich 2013, S. 218) Abhängig ist dieser nur von den Temperaturen der Wärmeaufnahme (T_0) und Wärmeabnahme (T) und lässt sich über folgende Formel (Baehr; Kabelac 2006, S. 114–115) berechnen:

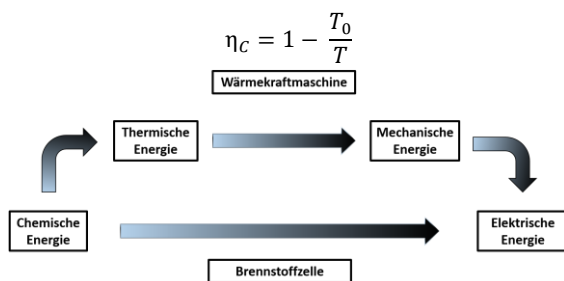


Abbildung 5 Wirkungsgradvergleich Brennstoffzelle vs Wärmekraftmaschine

(eigene Darstellung nach Reich; Reppich 2013, S. 218)

Niedrige Schadstoffemissionen

Die Brennstoffzelle zeichnet sich zudem wesentlich durch deutlich geringere Emissionen aus. Abbildung 6 stellt schematisch diesen Vorteil dar und verdeutlicht den erheblichen

Unterschied, der Schadstoffemissionen, zu konventionellen Anwendungen. Die Senkung des Kohlenstoffdioxids, im Vergleich zu Gasmotoren und Erdgaskessel, lässt sich hauptsächlich auf den höheren Wirkungsgrad rückschließen. (Gummert; Suttor 2006, S. 73)

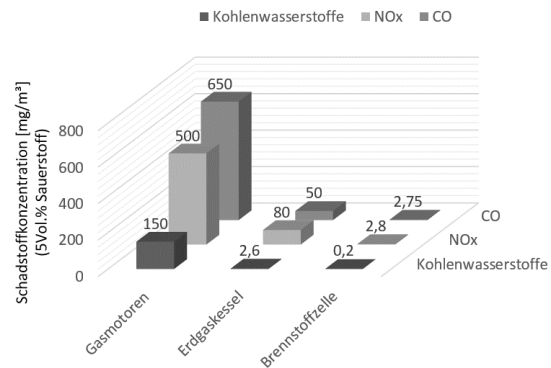


Abbildung 6 Emissionsvergleich Brennstoffzelle PC25C – Heizkessel und Gas-BHKW

(eigene Darstellung nach Gummert; Suttor 2006, S. 73)

Für die Wasserstoffherstellung wird Energie benötigt um den Wasserstoff aus Rohstoffen wie Erdgas, Öl oder aus Wasser zu erzeugen (Peht 2002, S. 65). Da die Energieerzeugung aus konventionellen Anlagen mit Schadstoffemissionen verbunden ist, arbeitet die Brennstoffzelle nur dann fast ohne Schadstoffemission sobald der Wasserstoff aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. (Karamanolis 2003, S. 46).

Stromeinspeisung

Vorteilhaft ist, dass die nicht benötigte Energie in das örtliche Stromnetz gespeist werden kann. Durch dieses Konzept kann die Treibhausgasemission verringert werden und somit wird einen Beitrag zum Umweltschutz geleistet. (Reich; Reppich 2013, S. 248–249)

Modularer Aufbau

Ein weiterer Vorteil ist der modulare Aufbau mit dem sich die Leistung einfacher als bei Motorbetriebenen BHKW anpassen lässt. (Gummert; Suttor 2006, S. 13)

Geräusch- und vibrationsfreier Betrieb

Durch die Bauart der Brennstoffzelle (kaum mechanisch bewegte Komponenten) ist ein leiser und vibrationsarmer Betrieb möglich. Diese Bauart führt zu einer geringeren mechanischen Abnutzung und somit auch zu weniger Wartungsaufwand gegenüber Gasmotoren. (Töpler; Lehmann 2014, S. 136)

Nachteile stationärer Brennstoffzellen

Herstellungskosten

Der wesentliche Nachteil der Brennstoffzelle sind die hohen Produktionskosten und deshalb ist sie momentan nur auf Spezialgebieten wettbewerbsfähig (Reich und Reppich 2013, S. 200). Hauptursache der hohen Kosten sind die geringen Stückzahlen. (Töpler; Lehmann 2014, S. 275).

Nachteil PEMFC

Kleinanlagen werden meistens mit der PEMFC betrieben und nutzen hauptsächlich Erdgas als Energieträger. Diese Brennstoffzellenart kann aber nur mit reinem Wasserstoff betrieben werden, deshalb muss das Gas erst aufwändig reformiert werden. Wodurch sich zusätzlich die Produktionskosten erhöhen. (Reich; Reppich 2013, S. 248)

Hohe Werkstoffkosten für Hochtemperaturbrennstoffzellen

Hochtemperaturbrennstoffzellen werden in BHKWs eingesetzt, welche zwar keine reinen Energieträger benötigen aber durch die sehr hohen Temperaturen ergibt sich folgender Nachteil. Es können nur extrem hitzebeständige Werkstoffe eingesetzt werden die mit hohen Werkstoffkosten verbunden sind. (Reich; Reppich 2013, S. 249)

Kommerzialisierungspotenzial

Deutlich ist, dass die Vorteile der Brennstoffzelle, deren Nachteile überwiegen. Doch eine großflächige Markteinführung ist, in Europa, bisher nicht gelungen. Die Studie: „Advancing Europe's energy systems - Stationary fuel cells in distributed generation“ ist die derzeit umfangreichste Analyse zum Stand der stationären Brennstoffzelle (Wolkowicz 2015). Durchgeführt von Roland Berger Strategy Consultants und in Auftrag gegeben von der Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) wurde, in Zusammenarbeit mit 35 Branchenakteuren, die Brennstoffzelle auf ihr Kommerzialisierungspotential untersucht. Einige der Ergebnisse werden in diesem Kapitel vorgestellt.

Standardisierungspotential

Die Hersteller der Brennstoffzellen forcieren unterschiedliche Strategien der Bereitstellung dezentraler Energie. Auf Grund des gut ausgebauten Netzes, liegt diesen meist die Nutzung von Erdgas zu Grunde. Heiko Ammermann, Partner von Roland Berger Strategy Consultants, betont: "Die Technologie kann von der gut ausgebauten Erdgasinfrastruktur in Europa profitieren; die Versorgung mit Wasserstoff stellt kein Problem dar." Um die Brennstoffzelle zu kommerzialisieren sind jedoch weitere standardisierte Lösungen notwendig. Nur mit diesen lassen sich durch Serienproduktion Kosten senken, wodurch die Brennstoffzelle auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll wird. Um das Potenzial der Standardisierung zu bewerten, teilt die Studie den Markt in folgende drei Segmente (vgl. Abbildung 8) ein:

- Wohnhäuser (Residential)
- Gewerbeimmobilien (Commercial)
- industrielle Speziallösungen (Industrial)

Das Marktsegment der **Wohnhäuser** umfasst Ein- und Zweifamilienhäuser. In diesem Bereich wird das Marktpotential der Brennstoffzelle als standardisierte Heizlösung am höchsten eingeschätzt. Denn diese Heizlösungen können in einer großen Anzahl an Gebäuden eingesetzt wer-

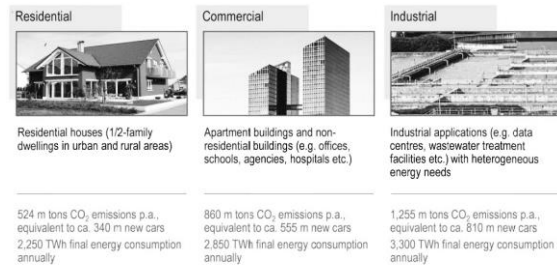


Abbildung 7: Main market segments for stationary fuel cell applications (Ammermann et al. 2015, S. 20)

den. So gelten sowohl Neubauten, als auch sanierte Altbauten als typische Zielbereiche. In diesen renovierten Bauwerken können Beheizungssysteme, wie beispielsweise Brennkessel, einfach ausgetauscht werden. Die neuinstallierten KWK-Brennstoffzellensysteme erzeugend dann neben Wärme auch elektrischen Strom. Durch eine gelungene Kommerzialisierung wären Einsparungen in, Primärenergie, lokalen Emissionen und Energiekosten möglich.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, die Viessmann Group 2014 das erste Großserienproduzierte Brennstoffzellenheizgerät in den europäischen Markt eingeführt hat (Oebbecke 2014). Nach Herstellerangaben besitzt der Vitovalor 300-P einen elektrischen Wirkungsgrad von 37%, einen Gesamtwirkungsgrad von 90% und ist in der Lage 750W_{el} und bis zu 20kW_{th} zu leisten (Viessmann Werke GmbH & Co. KG 2015). Außerdem bietet die HEXIS AG, welche zu 100% von der Viessmann Group übernommen wurde (Viessmann Werke GmbH & Co. KG 2015), das Brennstoffzellenheizgerät Galileo 1000 N an. Dessen technische Daten sind: elektrische Leistung 1MW, thermische Gesamtleistung 20MW, elektrischer Wirkungsgrad 37% und Gesamtwirkungsgrad 95% (Hexis 2015). Beide Systeme nutzen Erdgas als Brennstoff. Diese Markteinführung belegt, in diesem Segment sind die ersten Schritte in Richtung Kommerzialisierung getan.

Die **Gewerbeimmobilien** setzen sich aus bewohnten Einheiten, wie beispielsweise Mehrfamilienhäusern und unbewohnten Gebäuden (Krankenhäusern, Schulen, Industriegebäude, Lagerhäuser, Bürokomplexe, Gewächshäuser, usw.) zusammen. Laut den Verfassern tendiere dieses Segment zu einem hohen Standardisierungspotential. Jedoch werden oft spezifische Wärmebereitstellungslösungen benötigen, dies sei besonders bei größeren Gebäude der Fall. Die stromgeführten Brennstoffzellensysteme bergen Potenzial, doch läge der Hauptanwendungsbereich in der Erzeugung von Wärme. Die Produkte für dieses Marktsegment befinden sich derzeit noch in der Entwicklungsphase.

Industrielle Speziallösungen seien Brennstoffzellensystem, die Wärme, Elektrizität oder Beides bevorzugt bereitstellen. In diesem Segment stellt nicht das Gebäude die Anforderungen an den Bedarf von Wärme und Strom, son-

dem die industrielle Anwendung selbst. Beispielhaft können dies Kläranlagen, Brauereien, Chemieunternehmen oder auch Rechenzentren sein. Die stationären Brennstoffzellensysteme müssen an die jeweilig spezifischen Bedürfnisse angepasst werden. Dennoch wird ein Standardisierungspotential erkannt. Solche maßgeschneiderte Lösungen können durch modulare Konzepte, kostengünstig und anwendungsorientiert bereitgestellt werden.

Szenarien zur kommerziellen Nutzung

Um eine baldige Kommerzialisierung zu ermöglichen, ist die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit, gegenüber alternativen Wärme-Kraftmaschinen, von höchster Priorität. Die Studie legt die Wichtigkeit kontinuierlicher Forschung, Entwicklung und steigendem Produktionsvolumen dar. Denn dadurch sei es möglich technisch leistungsfähigere Produkte zu niedrigeren Preisen anzubieten.

Des Weiteren wird der Industrie empfohlen strategische Partnerschaften mit Energieversorgern oder anderen Marktakteuren einzugehen und neuartige Finanzierungsmodelle, wie beispielsweise Contracting, weiter zu entwickeln

Zur Kommerzialisierung der stationären Brennstoffzelle wird der öffentlichen Unterstützung große Bedeutung zugeschrieben. Die Wichtigkeit einer sogenannten Anschubförderung wird unterstrichen. Für diese skizziert die Studie verschiedene Optionen. So profitierten Endkunden an Investitionsanreize in ausgereifte Mikro-KWK-Anlagen, für gewerbliche und industrielle Anwendungen seien projektbezogene Förderungen reizvoll.

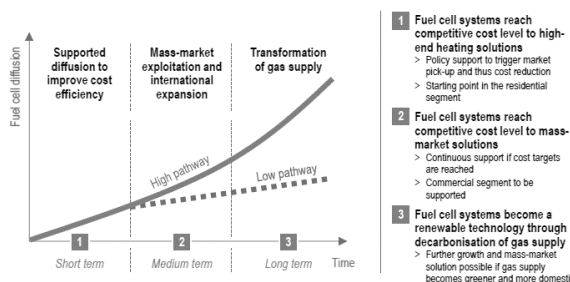


Abbildung 8: Possible commercialisation trajectories of stationary fuel cells in Europe [schematic] (Ammermann et al. 2015, S. 19)

In Abbildung 9 sind mögliche Bewegungsbahnen („hoher“ oder „niedriger“ Pfad) der Kommerzialisierung von stationären Brennstoffzellen veranschaulicht. Über die Zeit ist die Darstellung in drei Bereiche eingeteilt. Diese demonstrieren kurzfristige, mittelfristige sowie langfristig denkbare Szenarien der Brennstoffzellenverbreitung.

Kurzfristig müssen die Kosten bedeutend sinken und die Technologie ist weiter zu entwickeln – In einigen Segmenten zum Erreichen der Marktreife und in Andren zur vollständigen Industrialisierung. In dieser Phase benötigen die Unternehmen öffentliche Stützregelungen. Hierbei ist es

wichtig über die Förderung von Innovationen hinauszugehen, um der Industrie zu ermöglichen ihren ersten Meilenstein, die Kostenreduzierung, zu erreichen.

Anschließend, wenn eine Kostenreduktion erreicht wurde und die Anschubförderungen langsam auslaufen, kann die Industrie den europäischen Markt großflächig bedienen. Wird der „hohe Pfad“ erreicht, können Brennstoffzellensysteme mit Leistungen von ca. 1kW_{el} ihr signifikantes Potential, im Bereich der gasbeheizten Wohnhäuser, mit standardisierten Massenmarktprodukten ausspielen. In diesem Fall und Bereich, bewirkt die emissionsarme Brennstoffzelle einen bedeutenden Unterschied im Energiemix. Außerdem beginnen sich die größeren Systeme, im Bereich der erneuerbaren Energien zu etablieren. Auf dem „niedrigeren Pfad“ schafft es die Brennstoffzelle nicht richtig Fuß zu fassen und konkurriert weiter in einer High-End-Nische.

Das voranschreiten der Energiewende und der Ökologisierung von Erdgas eröffnet der stationären Brennstoffzelle auf lange Sicht große Perspektiven. Mit einem hohem Anteil von erneuerbarem Gas aus Biomasse, synthetischen Quellen oder aus power-to-gas Technologien, kann sich die Brennstoffzelle als effizienter Energiewandler des Gases in Strom und Wärme etablieren. Auf dem niedrigen Pfad gelingt es der Brennstoffzelle nicht sich gegenüber konventionellen Technologien durchzusetzen.

Vergleich Japan

Das ein „hoher Pfad“ möglich erscheint belegen beeindruckende Zahlen aus Japan (vgl. Abbildung 10), das sich selbst auf dem Weg in eine „Wasserstoffgesellschaft“ sieht (Kölling 2015). Im Bereich der Strom- und Wärmeversorgung mit Brennstoffzellenheizgeräten ist Japan derzeit führende Nation, gefolgt von Deutschland. Bezogen auf die installierten Stückzahlen und damit in technologisch und ökonomischer Sicht, jedoch mit einem Rückstand von etwa 7-8 Jahren. Während in Deutschland das Projekt Callux – der bisher größte Bundesweite Praxistest von Brennstoffzellenheizgeräten – im Herbst 2008 begann (Callux 2015), startete in Japan bereits 2014 ENE-Farm, ein ähnliches aber deutlich größer angelegtes Projekt. (Zipp 2015, S. 1–3) In nachfolgender Abbildung sind die kumulierten Anzahlen der beiden Projekte veranschaulicht.

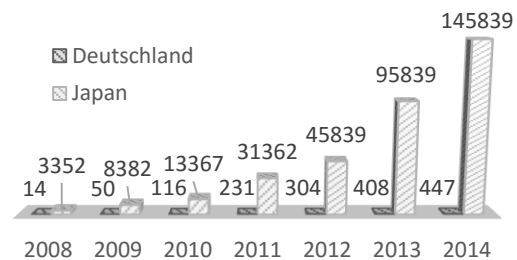


Abbildung 9: Kumulierte Anzahl installierter Brennstoffzellengeräte in Deutschland und Japan (eigene Darstellung Zipp 2015, S. 3–4)

In Deutschland ist davon auszugehen, dass weitere Brennstoffzellenheizgeräte, durch spezifische Förderungen der Länder sowie der EU, außerhalb des Callux Projekt installiert sind. Die Gesamtanzahl kann auf ca. 1000 Einheiten geschätzt werden. (Zipp 2015, S. 3)

Dennoch sind die Unterschiede in der Anzahl sehr auffällig und auf folgende Gründe zurückzuführen: früherer Start, ein größeres Fördervolumen und ein deutlich höheres Engagement seitens der Energieversorger. Ein weiteres Zeichen für den Erfolg des japanischen Programmes ist, dass die Investitionsförderung pro Brennstoffzellenheizgerät, in den letzten Jahren, kontinuierlich gesenkt wurde und dennoch ein Anstieg an verkauften Geräten zu verzeichnen ist. Dies ermöglicht die hohe Anzahl an verkauften Geräten und damit einhergehenden Lern- und Skaleneffekte, die zu niedrigeren Kosten in der Produktion führen. (Zipp 2015, S. 1–7)

Fazit

Die stationären Brennstoffzellen haben in ihrer Entwicklung einen entscheidenden Punkt erreicht. Die Weichen auf dem Weg zur Kommerzialisierung sind gestellt und es besteht eine echte Chance diese umzusetzen. Eine These, belegt durch die Markteinführung erster Brennstoffzellen-

heizgeräte im Segment der Wohnhäuser. Die Verantwortung, aus der stationären Brennstoffzelle nicht nur eine Alternative, sondern ein wettbewerbsfähiges Produkt zu formen, liegt nun in den Händen der Politik. Denn die abschreckendste Wirkung auf die Endkunden ist momentan der hohe Preis. Hier ist es notwendig Anreize, durch Anschubförderungen zu schaffen. Dies sollte, wie das Beispiel Japan belegt, ermöglichen die Absatzzahlen zu erhöhen, einhergehen die Produktionskosten zu senken und die Technologie weiter fördern.

Im Bereich der stationären Brennstoffzelle herrschen spannende Zeiten und es wäre wünschenswert, dass es die Technologie aus der Nische schafft. Die Möglichkeit Brennstoffe hocheffizient und schadstoffarm umzusetzen, kann die Technik zu einem Stützpfiler einer grüneren und nachhaltigeren Zukunft machen.

Tabelle 1 Übersicht Brennstoffzellentypen (Noreikat 2013, S. 248)

Typ	Parameter						Anwendungen
	Elektrolyt	Anode	Kathode	Arbeits- temperatur	W _{el}	Merkmale *Zellreaktionsrichtung: AK (Anode → Kathode) KA (Kathode → Anode)	
PEMFC Kleinanlagen und Blockheizkraftwerke 5 -250 kW (Kurzweil 2013, S. 79)	Protonenleitende Membran	H ₂	O ₂ Luft	80°C	50 - 70%	Hohe Leistungsdichte Flexibles Betriebsverhalten *AK	Fahrzeuge, Raumfahrt, Militär, Stromerzeugung
DMFC Kleinanlagen 5 kW (Kurzweil 2013, S. 126)	Protonenleitende Membran	Methanol	O ₂ Luft	80 - 120°C	20 - 30%	Diffusion von Methanol *AK	Portable Stromerzeugung, Batterienersatz
AFC Kleinanlagen 5-150 kW (Kurzweil 2013, S. 55)	Wässrige Kalilauge	Reinst - H ₂	Reinst - O ₂	60 - 80°C	60 - 70%	Reines O ₂ Reines H ₂ CO ₂ -empfindlich *KA	Raumfahrt, Militär
PAFC Prototypanlagen im Megawattbereich (Kurzweil 2013, S. 144)	Phosphorsäure	Erdgas H ₂	Luft O ₂	200°C	40 - 55%	Korrosionsprobleme *AK	Stromerzeugung, Blockheizkraftwerk
SOFC Experimentelle Prototypen bis 250 kW (Kurzweil 2013, S. 176)	Zirkonoxid	Erdgas CO H ₂	Luft	900-1000°C	45 - 65%	Hochtemperaturkeramik Korrosionsprobleme *KA	Stromerzeugung, Blockheizkraftwerk
MCFC Experimentelle Prototypen 0,1 bis 2 MW (Kurzweil 2013, S. 161)	Alkalikarbonatschmelze	Erdgas H ₂	Luft O ₂ CO ₂	650°C	45 - 55%	Komplexe Prozessführung Korrosionsprobleme *KA	Stromerzeugung, Blockheizkraftwerk

Literaturverzeichnis

Ammermann, Heiko; Hoff, Philipp; Atanasiu, Mirela; Aylor, Jo; Kaufmann, Markus; Tisler, Ovidiu (2015): Advancing Europe's energy systems. Stationary fuel cells in distributed generation : a study for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking. Luxembourg: Publications Office. Online verfügbar unter http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCHJU_FuelCellDistributedGenerationCommercialization_0.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2015.

Baehr, Hans Dieter; Kabelac, Stephan (2006): Thermodynamik - Grundlagen und technische Anwendungen // Thermodynamik. Grundlagen und technische Anwendungen. 13th ed. Dordrecht: Springer (Springer-Lehrbuch).

Callux (2015): Callux – Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim. Online verfügbar unter <http://www.callux.net/newsletter/25>, zuletzt aktualisiert am 09.12.2015.

Gummert, Guido; Suttor, Wolfgang (2006): Stationäre Brennstoffzellen. [Technik und Markt]. Heidelberg: Müller.

Hexis (2015): Die Daten von Galileo auf einen Blick. Online verfügbar unter <http://www.hexis.com/de/systemdaten>, zuletzt aktualisiert am 26.11.2015, zuletzt geprüft am 26.11.2015.

Hornblower, Margot (1999): Geoffrey Ballard: In a Hurry to Prove the 'Pistonheads' Wrong. In: *Time Magazine*, 08.03.1999.

Karamanolis, Stratis (2003): Brennstoffzellen. Schlüsselemente der Wasserstofftechnologie. 1. Aufl. Würzburg: Vogel Verlag.

Kölling, Martin (2015): Post aus Japan: Weltrekord bei der Wasserstoffproduktion. Heise Medien. Online verfügbar unter <http://www.heise.de/tr/artikel/Post-aus-Japan-Weltrekord-bei-der-Wasserstoffproduktion-2826805.html>, zuletzt aktualisiert am 08.10.2015, zuletzt geprüft am 08.12.2015.

Noreikat, Karl E. (2013): 10. Brennstoffzelle Einführung Und Grundlagen. In: *MTZ-Motortechnische Zeitschrift* 74 (3), S. 246–251.

Oebbeke, Alfons (2014): Viessmann führt in Großserie produziertes Brennstoffzellenheizgerät ein. Alfons Oebbeke. Online verfügbar unter <http://www.bau-links.de/webplugin/2014/0491.php4>, zuletzt aktualisiert am 17.03.2014, zuletzt geprüft am 26.11.2015.

Oertel, Dagmar (2001): Brennstoffzellen-Technologie: Hoffnungsträger für den Klimaschutz. Technische, ökonomische und ökologische Aspekte ihres Einsatzes in Verkehr und Energiewirtschaft. Berlin: Erich Schmidt (Beiträge zur Umweltgestaltung, Reihe A, Bd. 146).

Pehnt, Martin (2002): Energierevolution Brennstoffzelle? Perspektiven, Fakten, Anwendungen. Weinheim: Wiley-VCH (Erlebnis Wissenschaft).

Reich, Gerhard; Reppich, Marcus (2013): Regenerative Energietechnik. Überblick über ausgewählte Technologien zur nachhaltigen Energieversorgung. Wiesbaden: Springer Vieweg (SpringerLink : Bücher).

Töpler, Johannes; Lehmann, Jochen (2014): Wasserstoff und Brennstoffzelle. Technologien und Marktperspektiven. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Vieweg (SpringerLink : Bücher).

Viessmann Werke GmbH & Co. KG (2015): Brennstoffzelle | Brennstoffzellenheizung | Stromerzeugende Heizung. Online verfügbar unter <http://www.viessmann.de/de/wohnbaeude/kraft-waerme-kopplung/mikro-kwk-brennstoffzelle/vitovvalor-300-p.html>, zuletzt aktualisiert am 26.11.2015, zuletzt geprüft am 26.11.2015.

Winkler, W. (2002): Auslegung von Brennstoffzellenanlagen. Düsseldorf: VDI (VDI-Buch).

Wolkowicz, Grit (2015): Roland Berger: Stationäre Brennstoffzellen sind marktreif. Online verfügbar unter <http://www.cleantalking.de/brennstoffzelle/roland-berger-studie-stationaere-brennstoffzelle-ist-marktreif/>, zuletzt geprüft am 25.11.2015.

Zipp, Alexander (2015): Brennstoffzellenaktivitäten in Deutschland und Japan – Installationen und Patentanmeldungen. In: *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, S. 1–9.

Curriculum Vitae

Christoph Brugger

Ausbildung:

2007	Abitur am Ellenrieder Gymnasium Konstanz
2008-2013	Bachelor-Studium Verfahrenstechnik an der Hochschule Mannheim
Seit 2015	Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik an der Hochschule Konstanz

Philipp Seitz

Ausbildung:

2007	Fachhochschulreife am Berufskolleg Technische Kommunikation Mosbach
2010-2015	Bachelor-Studium Energie und Umwelt-systemtechnik an der Hochschule Ansbach
Seit 2015	Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik Hochschule Konstanz

Vergleich von Standard und PERC Solarzellen, sowie Ökobilanz eines Photovoltaikmoduls in Deutschland

Leonard Kraus¹

¹ HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: leonard.kraus@htwg-konstanz.de

Abstract

In this paper the difference between standard industrial solar cells compared to PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) solar cells should be considered. Due to the passivation of the back side of the solar cell, the efficiency of a PERC cell can be increased to 19.4%, compared to 18.7% by standard monocrystalline cells. However, the still very high contact resistance of the aluminum back contact limits the efficiency of PERC cells. Here further research on part of paste manufacturers is needed. In the second part of this paper the life cycle assessment of an installed photovoltaic system in Germany is considered. The LCA shows that mainly the production of silicon and aluminum (for the frames of the modules) consumes large amounts of electricity from not renewable sources. However, it also shows that the use of PV systems can reduce CO₂ emissions, and contributes to the prevention of radioactive waste.

Einleitung

Im ersten Teil dieses Papers wird der Unterschied zwischen Standard Industrie Solarzellen und neueren PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) Solarzellen erläutert. Bei diesem Zellkonzept wird die Rückseite der Solarzelle mittels dielektrischen Schichten passiviert, wodurch man einen höheren Wirkungsgrad erreicht. Allerdings gibt es bei der Kontaktierung der Rückseite mit Aluminiumpaste noch Probleme, die limitierend auf den Wirkungsgrad wirken. Hier sind auf jeden Fall noch weitere Forschungen nötig. Der zweite Teil des Papers betrachtet eine Photovoltaikanlage in Deutschland im Rahmen einer Ökobilanz. Dabei wird der Einfluss der einzelnen Prozesse vom Silizium bis zur fertig installierten Anlage auf verschiedene Umweltaspekte betrachtet. Es zeigt sich, dass man mittels PV-Anlagen den CO₂-Ausstoss deutlich reduzieren kann.

Funktion einer Solarzelle

Die Stromerzeugung in einer Solarzelle basiert auf der Ladungstrennung von durch lichterzeugten Elektron-Loch-Paaren. Wenn ein einfallendes Photon im Silizium absorbiert wird und dabei durch seine Energie ein Elektron aus dem Valenzband (VB) in das Leitungsband (LB) anregt und die Energie des Photons E_v mindestens so groß ist wie die Bandlücke E_g , so entsteht ein Elektron-Loch-Paar. Ist die Energie größer als die Bandlücke, wird das Elektron in einen höheren Zustand angeregt und es gibt seine überschüssige Energie anschließend durch Stöße mit dem Kristallgitter, d. h. in Form von Wärme wieder ab (siehe Abbildung 1). [Book, 2014, 11-18]

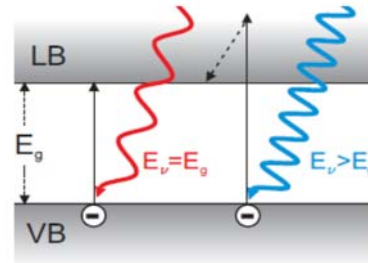


Abbildung 1: Generation von Ladungsträgern durch einfallende Photonen

Quelle: Book, 2014

Durch einbringen von Fremdatomen in das Silizium entsteht ein elektrisches Feld, welches für die Trennung der Ladungsträger sorgt. Dies führt zu einem Elektronenüberschuss (negativ oder n-dotierter Bereich) oder Elektronenmangel bzw. Löcherüberschuss (positiv oder p-dotierter Bereich). Am Übergang zwischen dem n- und p-dotierten Bereich gleichen sich die unterschiedlichen Ladungsträgerkonzentrationen durch Diffusion aus. Die in den p- und n-dotierten Bereichen verbleibenden ortsfesten ionisierten Dotieratome bilden eine Raumladungszone (RLZ) aus und erzeugen ein elektrisches Feld, welches der Diffusion entgegenwirkt. Es bildet sich ein Gleichgewichtszustand aus, bei dem durch das entstehende elektrische Feld eine Verbiegung der Bandkanten vorliegt, sodass das Fermi-niveau im thermischen Gleichgewicht über den Wafer konstant ist.

Bei der industriell gefertigten Solarzelle besteht die große Mehrzahl aus einer p-dotierten Basis mit einer n-dotierten Vorderseite, dem Emitter. Auf der Rückseite der Zelle befindet sich ein hoch p-dotierter Bereich, dem sog. Back Surface Field (BSF). Dieses führt ebenfalls zu einer Bandverbiegung und einem elektrischen Feld. Da Elektronen immer ein energetisch günstigeres Niveau einzunehmen versuchen, werden sie, falls sie durch Diffusion in der Basis den p/n-Übergang erreichen, in den Emitter getrieben. Umgekehrt werden Elektronen durch das BSF abgestoßen, Es dient damit der elektrischen Abschirmung der hoch rekombinationsaktiven Zell-Rückseite. Wenn nun die beiden Seiten kontaktiert werden, stehen die so getrennten Ladungsträger als elektrischer Strom zur Verfügung. [Book, 2014, 11-18]

Aufbau von Solarzellen

Standard Industrie Solarzelle

Industrielle Standard Solarzellen werden meist aus p-Type Silizium (mono- oder multikristallin) hergestellt. Bei p-Type Silizium wird der Schmelze, also bei der Produktion des Silizium Ingots, Bor beigemischt und das

Material so dotiert. Die Ingots werden in dünne Scheiben, die sogenannten Wafer gesägt, aus denen dann die Solarzellen gebaut werden.

Der Aufbau einer Solarzelle ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

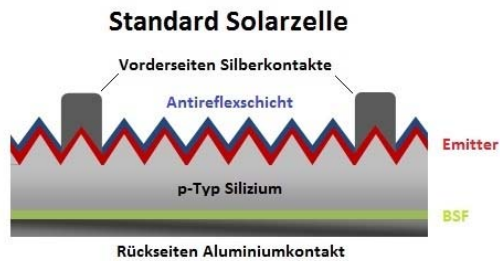


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Solarzelle

Quelle: Eigen. Nach ISFH Forschung und Entwicklung, http://www.isfh.de/institut_solarforschung/industriennahe-siebdruck-solarzelle.php, 25.11.2015

Als erster Schritt wird die Oberfläche der Wafer in einer Ätzlösung vom Sägeschaden gereinigt und mit einer Textur versehen, die die Reflexion des Siliziums reduziert. Bei monokristallinen Zellen wird eine alkalische Ätzlösung verwendet, die eine pyramidenförmige Textur erzeugt. Da diese Textur nur funktioniert, wenn die Kristallausrichtung im Wafer gleich ist, wird bei multikristallinen Wafern eine saure Textur verwendet, die eine unregelmäßige Oberfläche bewirkt. Anschließend werden die Wafer nasschemisch gereinigt und dann mit einer stark leitenden Emitterschicht versehen. Dies erfolgt bei p-Type Silizium durch die Einlagerung von Phosphor bei hohen Temperaturen in einem Diffusionsofen. Dadurch entsteht an der Oberfläche eine dünne (ca. 200nm) n-dotierte Schicht. Nach der Diffusion wird das Phosphor-glas, welches sich an der Oberfläche gebildet hat, entfernt und die Wafer müssen kantenisoliert werden. Bei der Kantenisolation wird der Emitter an den Kanten und je nach Prozess auch auf der Rückseite des Wafers entfernt, um einen Kurzschluss in der Solarzelle zu vermeiden. Auf der Vorderseite wird nun eine Antireflexschicht aus Siliziumnitrid aufgebracht. Dieser Vorgang gibt der Solarzelle ihr typisches blaues Aussehen. Es folgt nun das Aufbringen der elektrischen Kontakte mittels Siebdruckverfahren. Dabei wird auf die Vorderseite ein dünnes Muster aus Silber aufgedruckt und auf die Rückseite vollflächig Aluminium aufgebracht. Die Wafer werden nun bei ca. 860°C in einem Gürtelofen geheizt, damit sich die Kontakte mit dem Silizium verbinden. Auf der Rückseite bildet sich dabei das sogenannte Back surface field (BSF). Dabei diffundiert Aluminium in das Silizium ein wodurch sich ein stark p-dotierter Bereich bildet.

Die Herstellung ist in der Industrie stark automatisiert, die einzelnen Prozessschritte können je nach Hersteller etwas variieren.

PERC Solarzelle

Beim PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) Solarzellen-Konzept wird neben dem Emitter auf der Vorderseite auch die Basis auf der Rückseite größtenteils durch dielektrische Schichten passiviert. Ein schematischer Aufbau einer PERC-Zelle ist in Abbildung 3 dargestellt.

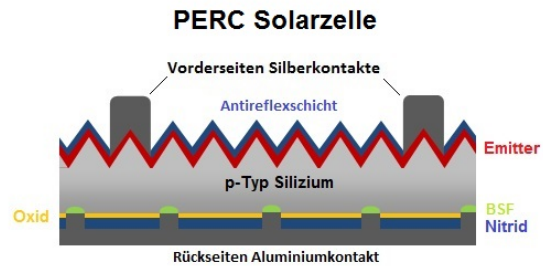


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer PERC Solarzelle

Quelle: Eigen. Nach ISFH Forschung und Entwicklung, http://www.isfh.de/institut_solarforschung/industriennahe-siebdruck-solarzelle.php, 25.11.2015

Die dielektrischen Passivierungsschichten auf der Rückseite führen zu einer deutlichen Steigerung sowohl der Passivierungsqualität als auch der internen Reflexion im Vergleich zu einem herkömmlichen ganz flächigen Aluminium-BSF. Dadurch erhöht sich die effektive Absorptionslänge des Lichts enorm, da das Licht stärker von der Rückseite wieder reflektiert wird und so eine größere Chance besteht, dass das Photon ein Elektron-Loch-Paar erzeugt. Der Hauptunterschied zur Standardzelle ist, dass auf der Rückseite ein Schichtstack aus einer Oxid- und Nitrid-Schicht aufgebracht wird. Dieses Dielektrikum wird vor dem Aufbringen der ganzflächigen Aluminiumpaste mit Hilfe eines Lasers partiell geöffnet (in Form dünner Linien). Die Aluminiumpaste kontaktiert dann die Basis nur lokal in den Gebieten, in denen die Passivierungsschicht entfernt wurde. Ähnlich wie in Industrie Solarzellen befindet sich auf der Vorderseite ein homogener Emitter, der mittels einer Silber-Siebdruckpaste kontaktiert wird. [ISFH, 2015]

Die Prozessierung erfolgt ähnlich wie bei einer Standard Solarzelle. Der Siliziumwafer wird zuerst texturiert und chemisch gereinigt, dann folgen die Emitterdiffusion und eine Kantenisolation. Nun wird auf der Rückseite die dielektrische Passivierungsschicht aufgebracht (meist Aluminiumoxid) und mit einer Siliziumnitridschicht geschützt. Auf die Vorderseite kommt eine Antireflexschicht aus Siliziumnitrid. Im folgenden Prozessschritt wird das SiN_x auf der Rückseite mittels Laserablation an den späteren Kontaktstellen geöffnet. Es folgen die Aufbringung der

Kontakte auf Vorder- und Rückseite mittels Siebdruck und das anschließende Feuern.

Vergleich von PERC und Standard Solarzellen

Tabelle 1 zeigt die charakteristischen Zelldaten einer PERC Solarzelle bei der die Rückseite mit einer Doppelschicht aus thermischem Oxid und Siliziumnitrid passiviert wurde. Eine Zelle mit ganz flächigem Al-BSF ist als Referenz gezeigt. Mit dem PERC-Konzept wurde ein Wirkungsgrad η von 19,4% erreicht, im Vergleich zu 18,7% für die Referenz. [Gatz, Hannebauer, 2011, 147–149] Die Steigerung im Vergleich zur Referenzzelle ist in erster Linie auf die um $1,4\text{mA/cm}^2$ verbesserter Kurzschluss-Stromdichte J_{sc} und die um bis zu 32mV verbesserte offene Klemmspannung V_{oc} zurückzuführen. [ISFH, 2015]

Tabelle 1: Zellparameter im Vergleich unter Standardbedingungen gemessen.

Zellart	J_{sc}	V_{oc}	η
Standard	37,1	632	18,7
PERC	38,5	664	19,4

Quelle: ISFH Forschung und Entwicklung,
http://www.isfh.de/institut_solarforschung/industrienahe-siebdrucksolarzelle.php, 25.11.2015

Nachteilig am PERC Solarzellen-Konzept ist für die Industrie der erhöhte Prozessaufwand. Allerdings müssen nur wenig neue Anlagen (wie z.B. Laser) in bestehende Produktionslinien integriert werden. Der erhöhte Arbeitsaufwand bei PERC Solarzellen wird auch durch die deutliche Steigerung im Wirkungsgrad ausgeglichen.

Zur weiteren Verbesserung des Wirkungsgrades kann die Vorderseite beider Zellarten mit einem selektiven Emitter versehen werden. PERC Zellen sind in ihrem Wirkungsgrad noch durch einen hohen spezifischen Kontaktwiderstand von $\sim 55\text{m}\Omega\text{cm}^2$ limitiert. Dieser kommt vor allem durch Probleme bei den Aluminiumpasten. Zukünftige Verbesserungen des lokalen Al-Siebdruck-Kontaktes sollten Wirkungsgrade von über 20% ermöglichen. [Gatz, 2011, 318-323]

Ökobilanz von Solarmodulen

Solarenergie wird in der Öffentlichkeit als saubere und klimafreundliche Energie wahrgenommen. Sie wird als Alternative zu konventionellen fossilen Energieträgern gesehen, die keine Treibhausgasemissionen beim Betrieb erzeugt. Allerdings ist auch Solarstrom nicht ganz klimaneutral, denn bei den verschiedenen Prozessschritten bei der Herstellung der Solarmodule, sowie dem Recycling alter Module wird Energie benötigt. Diese stammt, je nach Strommix, aus mehr oder weniger großen Anteilen fossiler Energieträger und produziert somit Treibhausgase. [ESU,1-13] Zwar ist der Klimawandel eines der dringendsten Umweltprobleme, es sollten aber auch die anderen Auswirkungen wie z.B. Humantoxizität, Fein-

staub, Überdüngung, etc. nicht vernachlässigt werden. Gerade bei der Herstellung der Grundstoffe und der Solarzellen fallen zum Teil auch giftige und umweltgefährdende Stoffe an. Die Ökobilanz bietet hier ein Mittel zur Gesamtbeurteilung der Umweltauswirkungen „von der Wiege bis zur Bahre“.

Im Rahmen der Ökobilanz wurde eine Anlage in Deutschland untersucht. Die Ergebnisse basieren, sofern nicht anders im Text beschrieben, auf Berechnungen für eine durchschnittliche 3 kWp Anlage mit Paneelen aus multikristallinen Siliziumzellen, welche auf ein Schrägdach in Deutschland montiert wurden. Dabei wurde die Lebensdauer der verschiedenen Anlagekomponenten mit 30 Jahren abgeschätzt. Ein großer Teil der zur Produktion von Silizium eingesetzten Energie stammt aus Wasserkraft. Die wichtigsten Parameter der untersuchten Photovoltaikanlage sind in Tabelle 2 aufgeführt. [ESU,1-13]

Tabelle 2: Charakterisierung der Photovoltaik Anlage

Anlagegröße (Nennleistung)	3 kWp
Zelltechnologie	Multikristalline Siliziumzellen
Zelleffizienz	14,4 %
Standort	Deutschland
Modultyp	Gerahmte Paneele
Montagesystem	Aufgesetzt auf Schrägdach
Lebensdauer der Anlage	30 Jahre
Ertrag	809 kWh / kWp

Quelle: Stucki Matthias, Flury Karin und Frischknecht Rolf,
 ESU services GmbH

Für die Restlichen Prozesse wird der Strommix in Deutschland von 2008 angenommen. Bei diesem haben die erneuerbaren Energien einen Anteil von ca. 20%, wobei der Beitrag der Photovoltaik bei gerade einmal 0,6% liegt. [Strommix Deutschland 2008] Die Energie-Rückzahldauer in Deutschland, also die Zeit, bis die Anlage die Menge Strom produziert hat, die zur Herstellung benötigt wurde, für eine Photovoltaikanlage liegt je nach Standort und Modulart bei 2,5 bis 3,5 Jahren. Deutschland liegt damit im europäischen Mittelfeld. Der Zeitraum kann durch leistungsfähigere Module und effizientere Solarzellen verkürzt werden.

Aus der Ökobilanz kann man erkennen, dass die Bereitstellung von Silizium und die Produktion der Module die dominierenden Prozesse im Verbrauch von nicht erneuerbaren Energien und dadurch auch im Ausstoß von Treibhausgasen sind. [ESU,1-13] Die meiste Energie wird bei der Schmelze von Silizium und Aluminium (für die Rahmen der Module) verbraucht. Die Bereitstellung des Siliziums trägt dabei mit ca. 35%, die Modulherstellung mit ca. 18% zum Verbrauch von nicht erneuerbaren Energien bei, bezogen auf den gesamten Herstellungs-

und Aufstellungsprozess. Die Herstellung der Solarzellen ist besonders im Bezug auf die Humantoxizität auffällig. Hierbei stellen die Schwermetallemissionen und verwendeten giftigen Chemikalien, wie z.B. Flusssäure, den Hauptanteil. Ebenfalls hat die Zellproduktion starke Auswirkungen auf die Überdüngung durch die Phosphate im Abwasser. Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen in der Photovoltaikproduktionskette und bei der Produktion des Stroms, welcher bei den einzelnen Prozessschritten verbraucht wird, tragen zur Versauerung und Smog bei. Die Herstellung des Wechselrichters hat in allen Kategorien einen Anteil zwischen 3% und 16%. (siehe Abbildung 4 im Anhang)

Im Vergleich zum Deutschen Strommix weist Solarstrom verschiedene Umweltvorteile auf. Der Deutsche Niederspannungs-Strommix (Versorgungsmix 2008) ist mit Treibhausgasemissionen von 680g CO₂-eq/kWh verbunden, wohingegen es beim heutigen Solarstrom nur 40g bis 120g CO₂-eq/kWh sind, abhängig von der eingesetzten Technologie, der Ausrichtung und dem Montagesystem. Zudem verursacht eine durchschnittliche kWh Deutscher Niederspannungsstrom 2,4 mm³ hoch radioaktive und 11,4 mm³ schwach radioaktive Abfälle. Bei Solarstrom sind dies nur 0,1-0,4 mm³ hoch radioaktive, respektive 0,5-1,6 mm³ schwach radioaktive Abfälle pro kWh, verursacht durch den Strombedarf entlang der Photovoltaikproduktionskette. [ESU,1-13]

Recycling von PV-Modulen

Die am 13. August 2012 in Kraft getretene Fassung der europäischen WEEE-Richtlinie (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive) musste bis Ende Februar 2014 in allen EU-Staaten umgesetzt sein. Sie verpflichtet Produzenten, mindestens 85% der PV Module kostenlos zurückzunehmen und zu recyceln. In Deutschland sind seit Oktober 2015 PV-Module als Haushaltsgeräte nach dem Elektro- und Elektronikgerätegesetz klassifiziert. Durch dieses Gesetz sind Rücknahme und Finanzierung in Deutschland geregelt. [Aktuelle Fakten zur Photovoltaik, ISE, 2015]

Gesamtbeurteilung

Zusammenfassend kann man sagen, dass Solarstrom nicht klimaneutral ist. Durch die Produktion und die Bereitstellung der Grundstoffe für eine PV-Anlage entstehen Treibhausgasemissionen und weitere Umweltbelastungen. Im Vergleich ergeben sich für Solarstrom allerdings deutlich geringere Umweltbelastungen als für Strom aus konventionellen Stromtechnologien. Außerdem fallen im Unterschied zu fossilen Kraftwerken bei PV-Anlagen die Umweltbelastungen größtenteils nicht im Betrieb, sondern in der Herstellung an. Durch die stetige Weiterentwicklung der Technologien in der Produktion konnten die Auswirkungen auf die Umwelt in den letzten Jahren bereits deutlich gesenkt werden. Auch in Zukunft ist hier noch Potential zum Energiesparen vorhanden. Die erhöhten Anteile von regenerativen Energien im deutschen

Strommix haben sich im Vergleich zu 2008 auf über 25% im Jahre 2014 erhöht [AEE, 2015] und senken damit den Energieverbrauch fossiler Energien bei der Produktion von PV-Anlagen. Ebenso steigt die Effizienz der Solarzellen weiter und neue Zellkonzepte wie z.B. die PERC Zellen erreichen, wie im vorhergegangenen Kapitel gezeigt, heute bereits eine Zelleffizienz von über 20%. Die Wahl strahlungsintensiver Standorte und die Verwendung effizienter Module und ressourcenschonender Montagesysteme können dazu beitragen, die Umweltperformance von Solarstrom weiter zu verbessern.

Der Bau von Photovoltaikanlagen und der Konsum von Solarstrom sind aus Umweltsicht sinnvoll, insbesondere dann, wenn Solarstrom Elektrizität aus Kohle-, Gas- oder Kernkraftwerken im In- oder Ausland ersetzen kann. Als Ersatz für Elektrizität aus Kohle- und Gaskraftwerken kann Solarstrom Bestandteil einer Klimaschutzstrategie von Entscheidungsträgern in Politik, Wirtschaft oder Haushalten sein. Im Hinblick auf den Anteil von Kernenergie im Elektrizitätsmix kann der Bau von Photovoltaikanlagen zudem zur Vermeidung von radioaktiven Abfällen aus Kernkraftwerken beitragen. Ein Ausbau der Photovoltaik kann seinen Teil dazu beitragen, die Umweltintensität der Stromproduktion zu vermindern. [ESU,1-13]

Literatur

Agentur für Erneuerbare Energie AEE, <http://www.unendlich-viel-energie.de/strommix-deutschland-2014>, 2015

Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Fraunhofer ISE,

<https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>, 7.11.2015

Book, Felix, 2014. Hocheffiziente Industriesolarzellen mit selektiver Oberflächendotierung. 11-18

ISFH Forschung und Entwicklung, http://www.isfh.de/institut_solarforschung/industrienaehsiebdrucksolarzelle.php, 25.11.2015

Stucki Matthias, Flury Karin und Frischknecht Rolf, ESU services GmbH, Warum Solarstrom nicht klimaneutral aber trotzdem umweltfreundlich ist aktuelle Ökobilanzen zu Fotovoltaik. 1-13

S. Gatz, H. Hannebauer, R. Hesse, F. Werner, A. Schmidt, T. Dullweber, J. Schmidt, K. Bothe, and R. Brendel, „19.4%-efficient large-area fully screen-printed silicon solar cells“, Phys. Status Solidi RRL, Vol. 5, No. 4, pp. 147–149, 2011

S. Gatz, T. Dullweber, and R. Brendel, Evaluation of series resistance losses in screen-printed solar cells with local rear contacts IEEE J-PV 8, pp. 318-323, 2011

Strommix Deutschland 2008, Wikipedia,
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Strommix-D-2008.png>, 2015

Curriculum Vitae

Leonard Kraus



Ausbildung:

- 2001 Fachhochschulreife an der Waldorfschule Reutlingen.
- 2004-2009 Bachelor-Studium der Bio- und Prozesstechnologie an der Hochschule Furtwangen.
- Seit 2014 Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik Hochschule Konstanz.

Beruflicher Werdegang:

- Seit 2010 Angestellt als Techniker an der Universität Konstanz in der Photovoltaik Forschung.

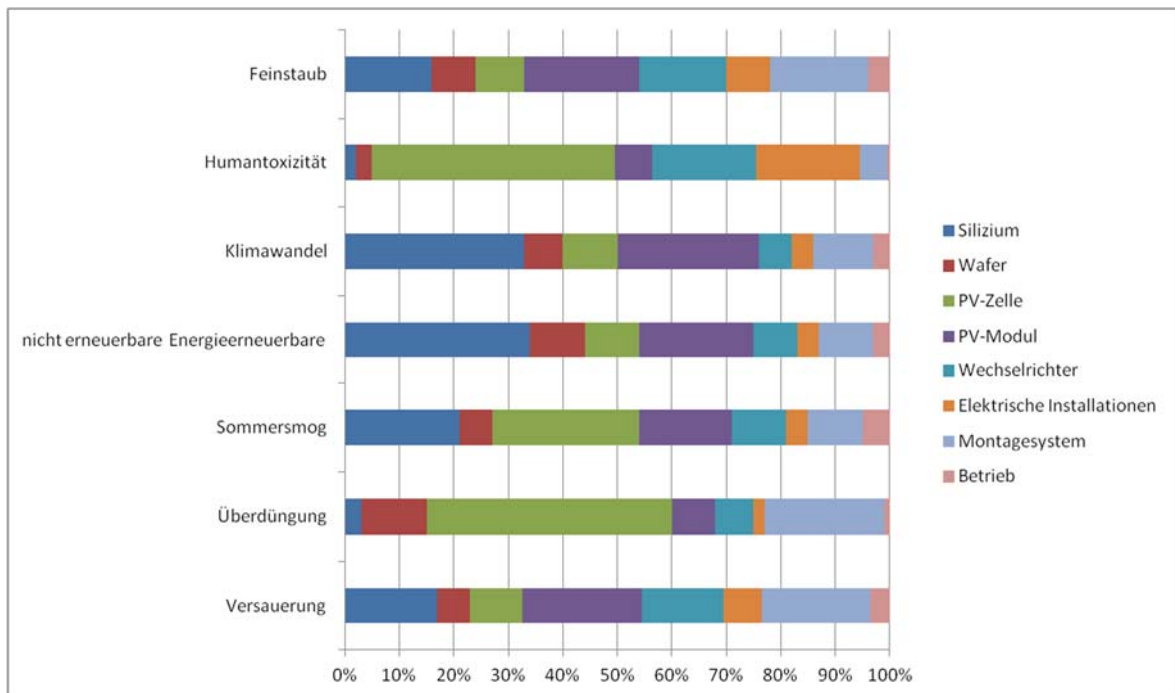


Abbildung 4: Einfluss der verschiedenen Prozesse auf unterschiedliche Umweltaspekte in Prozent.

Quelle: Eigen. Nach Stucki Matthias, Flury Karin und Frischknecht Rolf, ESU services GmbH

Transformatoren

Fabian Regnet¹

¹ HS Ravensburg-Weingarten, HTWG Konstanz, E-Mail: fabian.regnet@web.de

Abstract

The following paper introduces Transformers as important machines of the power supply. For an overview and an introduction to this complex issue, the legislative history is examined in detail. In addition, to give a general overview, the structure and function of a transformer will be discussed in more detail.

As part of the normal operation of a transformer with increasing operation time, there will be aging and wear. The focus lies on the insulation system of oil and cellulose, which is one of the essential components of a transformer and is malfunctioning within time.

The various aging processes are therefore introduced and explained in detail. To solve this problem, research is made in the field of sustainability on new materials for transformers. So important resources can be used efficiently and the environment can be protected. Some of these alternatives are presented in this report and compared with the currently used insulating materials.

Einleitung

Transformatoren sind die zentralen Maschinen unserer Stromversorgung und zählen zugleich mit zu den teuersten Betriebsmitteln. Sie stellen mittlerweile die wichtigsten Komponenten unseres Versorgungsnetzes dar und sind die Knotenpunkte in der Energieübertragung zwischen dem Stromerzeuger, der Hochspannungsfernübertragung und dem Verbraucher. Sie besitzen einen hohen Wirkungsgrad, welcher eine wirtschaftliche Übertragung ohne nennenswerte Leitungsverluste ermöglicht.

Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt eine Statistik zur Altersstruktur der betriebenen Transformatoren eines deutschen Energieversorgungsunternehmens. Daraus geht hervor, dass die Maschinen schon heute ein durchschnittliches „Lebensalter“ von 31 bis 35 Jahren erreichen.

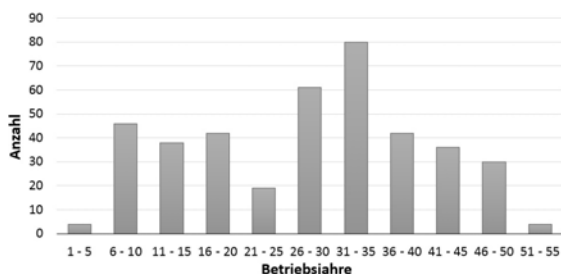


Abbildung 1: Betriebsalter von Transformatoren eines deutschen Netzbetreibers

die Abbildung wurde vom Verfasser entworfen, die Daten basieren auf der Quelle: Stach, 2002, Beitrag 4.

Wie alle Maschinen unterliegen auch diese Betriebsmittel mit zunehmender Betriebszeit und Beanspruchung einer

Alterung und Abnutzung. Die dabei auftretenden Einflussfaktoren können thermische, elektrische und mechanische Belastungen sein. Auch Betriebs- und Umgebungseinflüsse können negative Auswirkungen haben. Mit zunehmendem Alter nimmt die Wahrscheinlichkeit möglicher Ausfälle stark zu. Je nach Art des zu behebbenden Fehlers kann eine aufwendige Reparatur über einen längeren Zeitraum andauern. So können gravierende Schäden meistens nur in einem Werk behoben werden. Tritt dieser Fall ein, steht der defekte Transformator vorerst nicht mehr zur Verfügung. Ein solcher Ausfall kann nur in Ausnahmefällen problemlos kompensiert werden und ist meistens mit enormen Kosten verbunden. (Kutzer und Kornhuber, 2014, 436 – 441)

Um dieser Problematik und den ständig wachsenden ökologischen und ökonomischen Anforderungen aus der Industrie gerecht zu werden, wird daher versucht, die Lebensdauer so gut wie möglich auszunutzen. Es wird nach Möglichkeiten gesucht, um die momentan eingesetzte Transformatorengeneration langlebiger und zuverlässiger zu machen, indem neue Materialien erforscht und Etablierte ständig weiterentwickelt werden. Ziel ist es, für den Verbraucher eine beständige Energieversorgung zu gewährleisten.

Grundlagen

Transformatoren

Unter einem Transformator versteht man eine ruhende Maschine zur Energieübertragung, bei deren Betrieb keine bewegten Maschinenbauteile beteiligt sind. Das Grundprinzip besteht im Umspannen elektrischer Wechselströme, wodurch der Eingangsstrom an die technischen Erfordernisse angeglichen und wieder als sogenannter Ausgangsstrom zur Verfügung gestellt wird. Der Aufbau besteht aus zwei elektrischen Stromkreisen, die über ein Magnetfeld miteinander verbunden sind. Mit Hilfe eines angelegten elektromagnetischen Wechselfeldes kann die eingehende elektrische Energie in ein davon abgetrenntes System mit höherer oder niedrigerer Spannungsebene übertragen werden.

Die Maschinen bestehen aus einem magnetisch leitenden Eisenkern und zwei großen Spulen aus Kupfer oder Aluminium. Diese Spulen bezeichnet man als Primär- bzw. Sekundärwicklung. Den Kern bilden elektrisch gegeneinander isolierte Eisenbleche. Im betriebenen Verteilungstransformator umgibt dieses System eine Isolierung aus Feststoff und Flüssigkeit.

Bei laufenden Transformatoren wirkt auf die Primärwicklung eine angelegte Wechselspannung. Diese verursacht einen wechselnden magnetischen Fluss im Kern. Die Primärwicklung erzeugt mit dem Eisenkern ein Magnet-

feld, welches in der Sekundärwicklung zurück in eine Spannung umgewandelt wird. Das Ergebnis ist eine Spannungstransformation. (Spring, 2009, 103 – 115)

Dielektrika

Beim Transformatorenbau müssen die Leiter sowohl gegeneinander, als auch gegen die Wicklungen und geerdeten Bauteile isoliert werden. Die dafür verwendeten Stoffe haben die Aufgabe, zwei Leiter mit verschiedenen Potentialen elektrisch voneinander zu trennen. Das am meisten verwendete Isoliersystem setzt sich dabei aus den Werkstoffen Öl und Zellulose zusammen und wird als Dielektrika bezeichnet. Die verwendeten nicht- oder nur schwach-leitenden Stoffe besitzen keine frei beweglichen Ladungsträger. Die feste Isolierung bilden Faserstoffe, die vom mitverwendeten Öl bei der Befüllung der Maschine imprägniert werden. Die verwendeten Mineralöle sind niederviskose Flüssigkeiten, mit dem zusätzlichen Zweck, den aktiven Transformator zu kühlen.

Die Kombination ergibt eine hochwertige Isolierung, ermöglicht eine hohe Wärmekapazität und eine gute Wärmeabfuhr. Um Material einzusparen kommt es allgemein auf eine enge und gleichzeitig sichere Isolationsauslegung an. Die Spannungsbeanspruchung der Wicklungen, des Kerns und des Gehäuses bestimmen dabei den Aufbau. (Küchler, 2009, 492 – 497)



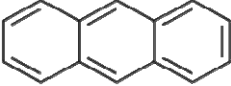
Isolierflüssigkeiten

Isolierflüssigkeiten haben nicht nur die Aufgabe einer guten Isolierung, bei ihrem Einsatz sind auch Langlebigkeit, Unempfindlichkeit gegenüber hohen Temperaturen, Kühlung, Imprägnierung von Hohlräumen und Beständigkeit gegen Korrosion von großer Bedeutung für die Lebensdauer eines Transformators. Die Leistung und der Aufgabenbereich des Betriebsmittels bestimmen dabei die Wahl des Öls. Bei der Verwendung der falschen Flüssigkeit kann die Betriebszeit drastisch verkürzt werden. (Küchler, 2009, 317 – 319)

In der Regel kommen Mineralöle zum Einsatz. Dies sind komplexe Gemische aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen, welche in der Erdöldestillation unter Normaldruck aufbereitet werden. Aus dem Rohöl werden verschiedene Bestandteile wie Benzin, Petroleum, Diesel und Spindelöl gewonnen. Das Spindelöl dient in der Industrie als Ausgangsstruktur für die Mineralöle, welche durch eine Raffination gewonnen werden. Die Destillation legt dabei unter anderem den Siedebereich und die Viskosität fest. Verschiedene Zusammensetzungen der einzelnen Bestandteile können dabei weitere Eigenschaften bestimmen. Wichtige Komponenten in Mineralölen sind gesättigte und reaktionsträge Kohlenwasserstoffverbindungen. Diese werden von paraffinischen und naphthenischen Strukturen gebildet. Paraffine können sowohl einen linearen, als auch verzweigten Kettenaufbau haben. Naphthene setzen sich aus zyklischen Verbindungen zusammen, die paraffinische Seitenketten aufweisen

können. Bei einer stattfindenden Alterung besitzen sie eine hohe oxidative Stabilität. Zusätzlich kommen in allen Isolierölen Aromate vor. Diese sind sehr stabile Ringstrukturen, welche in verschiedenen Varianten im Molekül auftreten können. Die Verbindungen haben die höchste Dichte, eine geringe Oxidationsstabilität und wirken als natürliche Alterungsschutzstoffe gegen Oxidation. Die nachfolgende Tabelle zeigt die vorgestellten Bestandteile anhand ausgewählter Beispiele. (Lütke, 2001, 51 – 66)

Tabelle: mögliche Bestandteile von Mineralölen

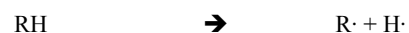
Stoffklasse	Beispiel	Strukturformel
Paraffine	Dekan	
Naphthene	Cyclohexan	
Aromate	Anthracen	

die Tabelle wurde vom Verfasser entworfen, die Daten basieren auf der Quelle: Küchler, 2009, 319.

Die Nachteile von Mineralölen sind der niedrige Brennpunkt und die damit verbundene leichte Brennbarkeit. Dazu kommt eine Wassergefährdung, falls die Stoffe austreten. Im Schadensfall werden Transformatoren zu einer Gefahr für die unmittelbare Umwelt und können große Schäden verursachen. (Tenbohlen, Seibold und Koch, 2008, 175 – 181)

Ein weiterer Nachteil besteht in der stattfindenden natürlichen Alterung. Bei Sauerstoffkontakt und Einwirkung von Wärme oder Strahlung setzen Oxidationsmechanismen ein, welche Säuren und Schlamm entstehen lassen. Als Kondensationsprodukt wird Wasser gebildet, das die dielektrischen Eigenschaften zusätzlich verringert.

Der normale Ablauf einer solchen Alterung wird durch Wärme, UV-Licht und starke elektrische Felder eingeleitet. Nach Einfluss eines oder mehrerer dieser Faktoren setzt eine Oxidation im Öl ein. Dabei werden freie Alkyl- und Wasserstoffradikale gebildet.



Die neu entstandenen freien Alkylradikale sind sehr reaktionsfreudig und reagieren mit benachbarten Sauerstoffmolekülen zu Peroxyradikalen. Kommen diese Peroxyradikale mit weiteren Kohlenwasserstoffen in Kontakt entstehen Hydroperoxide. Diese Reaktionen setzen wiederum Alkylradikale frei, welche zu neuen Reaktionen führen. Dadurch kommt es zu einer sogenannten Kettenfortpflanzung.



In einer anschließenden Kettenverzweigung zerfallen die nicht stabilen Peroxide wieder in Radikale. Durch diesen

Vorgang entstehen nun Alkoxy- und Hydroxylradikale, welche erneut die Kohlenwasserstoffe angreifen können und Alkylradikale freisetzen.



In möglichen Kettenabbruchreaktionen bilden sich aus den verschiedenen Radikalen Hydrocarbonate, Alkohole, Aldehyde, Ketone und Säuren. (Nynas Naphtenics AB, 2000, 35 – 36)

Natürliche Inhibitoren, die gegen einen solchen Alterungsverlauf wirken würden gehen zudem bei der Herstellung während der Raffination verloren. Dies führt zu einem weiteren Nachteil der sich in einer zusätzlich geringeren Oxidationsstabilität äußert. Um dem entgegen zu wirken können dem Gemisch Inhibitoren, wie monozyklische Aromate, zugeführt werden. Diese Verbindungen verbrauchen sich aber mit zunehmender Betriebszeit wieder unter dem Einfluss von Sauerstoff und der daraus resultierenden Oxidation. Daher müssen die Stoffe regelmäßig erneuert werden. (Küchler, 2009, 319 – 320)

Zur Verlängerung der Lebensdauer kommen mittlerweile neben den extra zugeführten Schutzstoffen auch neue Isolierflüssigkeiten zum Einsatz um die momentan verwendeten Mineralöle zu ersetzen.

Einen möglichen Ersatz bilden zwei Arten von Estern. Zum einen gibt es synthetisch hergestellte Ester, welche meist aus Pentaerythrit-Ester bestehen. Zum anderen existieren natürliche Ester, die aus präparierten Pflanzenölen wie Triacylglyceriden zusammengesetzt sind. Die Stoffe enthalten dank einer Hydrolyse keine Doppelbindungen mehr. In der nachfolgenden Abbildung 2 wird der typische Aufbau eines synthetischen Esters gezeigt.

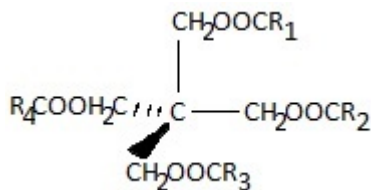


Abbildung 2: Strukturformel eines synthetischen Esters

die Abbildung wurde vom Verfasser entworfen, die Daten basieren auf der Quelle: Lütke, 2001, 51 – 66.

Die Gruppe der Ester besitzt einen hohen Brennpunkt von über 300 °C und damit eine größere Sicherheit gegen Brände. Zusätzlich haben sie im Brandfall den Vorteil einer schwachen Rauchentwicklung, was eine Löschung stark vereinfacht. Die Flüssigkeiten sind biologisch abbaubar und haben dadurch eine gute Umweltverträglichkeit, was sie für einen sensiblen Einsatz in Wassernähe interessant macht. Dadurch haben sie auch eine hohe Betriebssicherheit. Ein weiterer Vorteil besteht in einem hohen Wasserlösungsvermögen und einer daraus entste-

henden höheren Feuchtigkeitstoleranz gegenüber Mineralölen, was die Einsatzzeit eines betriebenen Transformators weiter steigert. Die Isolierflüssigkeiten haben aber auch Nachteile. Neben einer höheren Viskosität als Mineralöle, schlagen die hohen Herstellungskosten zu Buche. (Tenbohlen, Seibold und Koch, 2008, 175 – 181)

Ein weiterer Ersatz für Mineralöle geht in die Entwicklung von Silikonem. Dies sind synthetische Flüssigkeiten, auch Polyorganosiloxane genannt. Diese Verbindungen sind lineare Ketten aus angeordneten Silizium- und Sauerstoffatomen. An den Siliziumatomen sind Kohlenwasserstoffe angelagert. Abbildung 3 zeigt einen typischen Aufbau eines solchen Moleküls.

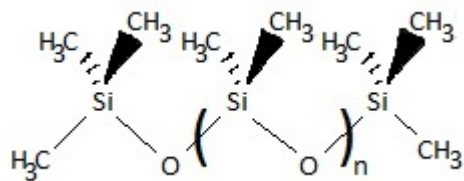


Abbildung 3: Strukturformel einer Silikonflüssigkeit

die Abbildung wurde vom Verfasser entworfen, die Daten basieren auf der Quelle: Lütke, 2001, 51 – 66.

Neben einer oxidativen Stabilität haben diese Isolierflüssigkeiten auch den Vorteil einer hohen thermischen Stabilität. Hinzu kommen eine hohe Alterungsbeständigkeit und eine geringe Viskosität bei niedrigen Temperaturen. Im Brandfall bildet sich an der Oberfläche Siliziumdioxid, welches den weiteren Sauerstoffzutritt verhindert. So verhalten sich die Stoffe selbstlöschend. Ähnlich wie bei den Estern empfehlen sich Silikone für einen umweltsensiblen Einsatz. Bei einem möglichen Austritt reagieren sie zu den unschädlichen Spaltprodukten Wasser, Kohlendioxid und Kieselsäure ab. Ökologisch sind die Stoffe unbedenklich und eignen sich auch für höhere Betriebstemperaturen. Nachteile dieser Stoffgruppe sind neben den hohen Herstellungskosten eine niedrige Wärmeübertragung und eine größere thermische Volumenausdehnung. Mit ihren elektrischen Eigenschaften sind sie auch für höhere Spannungen ungeeignet, da diese zu Teilentladungen führen, in denen gelatineartige und hochviskose Siloxane entstehen. Diese verschlechtern die elektrische Festigkeit. (Lütke, 2001, 51 – 66)

Isolierpapiere

Der Zellstoff der im Transformatorenbau verwendeten Feststoffe wird aus Nadelhölzern gewonnen. Mit Hilfe von Natriumsulfat und Natronlauge kann aus diesen Hölzern der Rohstoff hergestellt werden.

Die Papiere bestehen aus einer einzigen Schicht, welche durch die Isolierflüssigkeit imprägniert wird. So kann ein Dielektrikum ausgebildet werden. In der Festisolation eines Transformators bildet Zellulose einen großen Bestandteil und zeichnet sich durch eine hohe Durchschlagsfestigkeit aus. Zellulose ist ein unverzweigtes, lineares Polysaccha-

rid und kann als Polykondensationsprodukt aus mehreren 100 bis 10.000 β -D-Glucose-Molekülen bestehen. Diese Moleküle sind zu Kettenmolekülen aus Glucoseringen angeordnet und durch OH-Brücken miteinander verbunden. Das Material dient zur Umhüllung von Wickeldräh-ten im Transformator. Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt ein solches Zellulosemolekül.

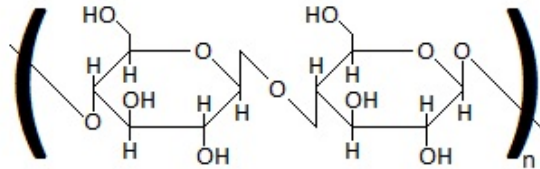


Abbildung 4: Zellulosemolekül

die Abbildung wurde vom Verfasser entworfen, die Daten basieren auf der Quelle: Kuchler, 2009, 334.

Die Zelluloseketten besitzen sowohl amorphe als auch kristalline Bereiche. Zu den Vorteilen zählen eine hohe mechanische Festigkeit und eine gute Elastizität. Die kristallinen Bereiche sind für die hohe mechanische Festigkeit verantwortlich, welche beim Betrieb des Transformators wichtig ist. Bei einem stattfindenden Kurzschluss wirken große Zugkräfte auf die Leiter. Die amorphen Zonen werden von Hemizellulose und Lignin gebildet und tragen zur Elastizität bei. Die beiden Stoffe werden bei der Herstellung nicht komplett entfernt und lagern sich zwischen den kristallinen Bereichen an. (Kuchler, 2009, 334)

Die derzeit im Transformatorenbau verwendeten Zellulosestoffe werden allgemein als Kraftpapiere bezeichnet. Diese Papiere haben einen Zelluloseanteil von etwa 90 % und werden in unterschiedlichen Dichten verbaut. Eine Alterung dieser festen Isoliermaterialien kann thermisch, oxidativ und hydrolytisch erfolgen. Die thermische Alterung ist bei den vorherrschenden Betriebstemperaturen eher von geringerer Bedeutung. Im Betrieb kann es aber im Transformator zu Fehlern in den Wicklungen kommen indem Heißstellen mit zum Teil mehreren Hundert Grad auftreten. Die Folge ist eine Aufspaltung der Glucoseringe mit der Bildung von Wasser, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und weiteren Glucoseabbauprodukten, wie 2-Furfural. Eine oxidative Alterung zeigt sich durch Produkte wie Ketone, Phenole und Säuren. Diese Form der Alterung kann in einem Transformator schon bei normalen Betriebstemperaturen einsetzen und zeigt sich in einer Zersetzung der Glucose unter Sauerstoffeinfluss.

Wie eben erwähnt geschieht der Aufbau der Zellulose über eine Polykondensation in welcher β -D-Glucosemoleküle über eine Acetalbildung miteinander verknüpft werden. Dieser Vorgang ist eine sauer katalysierte Gleichgewichtsreaktion wobei Wasser frei wird. Eine Alterung wiederum verbraucht Wasser. Dadurch kann ein erhöhter Wassergehalt mit vorhandener Säure zu einer Rückreaktion führen. Tritt dieser Fall ein setzt eine sogenannte saure Hydrolyse ein. Hier werden in der Folge

vorhandene Sauerstoffbrücken einzelner Glucoseringe aufgespalten. Das Ergebnis ist die Bildung von Rissen in der Zellulose und der Verlust der mechanischen Festigkeit der Isoliermaterialien. Im schlimmsten Fall kommt es zu einem dielektrischen Versagen und dem Ausfall des Transformators. Alle vorgestellten Produkte, welche bei den verschiedenen möglichen Alterungen entstehen können, beschleunigen zusätzlich den Abbauvorgang. Dies macht den Prozess autokatalytisch. Um die Alterungen zu minimieren beziehungsweise zu verzögern wird an möglichen Alternativen zu den vorgestellten Isoliermaterialien gearbeitet. Mittlerweile steht eine Reihe neuer Zellulosestoffe auf dem Prüfstand und kommt zum Teil auch zum Einsatz. Diese Isolationsmaterialien erhalten eine Modifizierung an ihren Glucoseeinheiten durch die Verwendung zusätzlicher Molekülgruppen, wie Dicyandiamid, wodurch sie thermisch stabilisiert werden. Dadurch sind sie für höhere Betriebstemperaturen geeignet und ermöglichen eine Verzögerung der Papieralterung. Ein Vertreter sind die Insuldurpapiere. Diese Stoffgruppe durchläuft eine Stabilisierung durch eine Mischung aus Melamin, Polyacrylamid und Dicyandiamid. (Lundgaard und Hansen, 2004, 230 – 239)

Fazit

Die Recherchen für dieses Paper haben gezeigt, dass im Bereich der Transformatoren Nachhaltigkeit klar im Fokus steht. Forschung und Entwicklung befassen sich mit den vorhandenen Rohstoffen sowie etablierten Systemen und verbessern diese stetig. So gibt es bei den Isolierflüssigkeiten mit Estern und Silikonem zwei Alternativen für die derzeit noch vorherrschenden Mineralöle. Die beiden entwickelten Stoffe kommen schon vereinzelt zum Einsatz und zeichnen sich durch gute Umweltverträglichkeit sowie Langlebigkeit aus. Noch sprechen aber die zu hohen Herstellungskosten gegen einen breiteren Einsatz, wodurch die Flüssigkeiten nur Verwendung finden, wenn die Nutzung den höheren Preis rechtfertigt. Im Bereich der vorgestellten festen Isoliermaterialien liefert die nun nachfolgende Generation an thermisch stabilisierten Kraftpapieren für den Transformatorenbau zum Teil vielversprechende Ergebnisse. Ein Einsatz dieser Stoffe wird zum Teil schon umgesetzt und getestet.

Mit den neuen Materialien wird es möglich, die Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der wichtigsten Komponenten in unserem Stromnetz weiter zu steigern und eine konstante Stromversorgung zu gewährleisten.

Inhaltsverzeichnis

- Kutzer, M. und Kornhuber S., 2014. Werterhalt von Transformatoren: Auslegung – Diagnose – Wartung. 52. OGE-Fachtagung, Elektrotechnik & Informationstechnik, Vol. 131, Iss. 8, S. 436 – 441.
- Küchler, A., 2009. Hochspannungstechnik Grundlagen – Technologie – Anwendungen. Springer Verlag, 3. neu bearbeitete Auflage.
- Lundgaard, L. und Hansen, W., 2004. Aging of oil-impregnated paper in power transformers. Power Delivery, IEEE Transactions on, Vol. 19, Iss. 1, S. 230 – 239.
- Lütke, H., 2001. Transformatoren. Seminarveranstaltung der Technischen Akademie Wuppertal e.V., Beitrag 3, S. 51 – 66.
- Nynas Naphtenics AB, 2000. Transformatorenöl Handbuch. 5. Auflage.
- Spring, E., 2009. Elektrische Maschinen - Eine Einführung. Springer Verlag, 3. Auflage.
- Stach, M., 2002. Betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte im Asset-Management im Zeitalter der Fusionen. Micafil Symposium, Stuttgart, Beitrag 4.
- Tenbohlen, S., Seibold, R. und Koch, M., 2008. Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen – Beanspruchungen, Design, Prüfverfahren, Lebensdauer. 3. ETG-Fachtagung, Vol. 112, Beitrag 26, S. 175 – 181.

Curriculum Vitae

Fabian Regnet



Ausbildung:

- | | |
|-----------|--|
| 2007-2009 | Fachhochschulreife an der Maximilian-Kolbe-Schule in Neumarkt i.d.OPf. |
| 2009-2011 | Bachelor-Studium des Bioingenieurwesens an der Hochschule München |
| 2011-2015 | Bachelor-Studium der Chemischen Technik an der Hochschule München |
| Seit 2015 | Master-Studium der Umwelt- und Verfahrenstechnik an den Hochschulen Weingarten-Ravensburg und Konstanz |

Beruflicher Werdegang:

- | | |
|-----------|---|
| 2005-2007 | Berufsausbildung zum biologisch-technischen Assistenten an der Landesgewerbeanstalt in Nürnberg |
|-----------|---|

Wasserstoff als Energieträger für die Automobilindustrie

Isabelle Maria Tucek¹

¹ HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: isabelle.tucek@gmail.com

Abstract

According to the Federal Statistical Office, around 77% of the households in Germany 2009 were owning a car. Individual mobility is crucial in our modern society. The problem is, that the majority of these cars are run by fuel. Not only do they emit massive amounts of greenhouse gases, but above all, the fossile energy sources are restricted. Their production peak is said to be reached in a few years, and we need to look for alternatives. One of these alternatives for green mobility could be hydrogen. Hydrogen is the most common element on earth, but to make use of hydrogen as an energy source, molecular hydrogen is needed, and to get it, we need energy. One can clearly see, that all hydrogen-based technologies are only environmentally sustainable, if electricity can be produced from renewable sources. The following paper shows the state of the technical knowledge concerning efficiency, production and safety of hydrogen-driven cars.

Einleitung

Die Verfügbarkeit der fossilen Energieträger neigt sich dem Ende zu, und es ist höchste Zeit, sich nach Alternativen umzusehen. Bezogen auf die Automobilbranche stellt Wasserstoff eine sehr vielversprechende Alternative zu den kommerziellen Antrieben dar. Viele große Automobilkonzerne arbeiten bereits an wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen und bringen diese zur Marktreife. Eines der größten Probleme hinsichtlich Wasserstoff als Fahrzeugtreibstoff ist die Verfügbarkeit. Laut Angaben des Handelsblatts gibt es in Deutschland zur Zeit 16 öffentlich zugängliche Wasserstofftankstellen, die Tendenz ist steigend. Der Autobauer Daimler sieht in Kooperation mit dem Industriegasproduzenten Linde vor, die Zahl der Wasserstofftankstellen bis zum Jahre 2023 auf 400 zu erhöhen. (*Manager Magazin*, 23.11.2015).

Eine weitere Herausforderung stellt die Herstellung und Speicherung von Wasserstoff dar, auf diese beiden Punkte soll im Folgenden besonders eingegangen werden. Außerdem stellt sich die Frage, ob es günstiger ist, den Wasserstoff in einem Verbrennungsmotor ähnlich eines Ottomotors umzusetzen, oder in einer Brennstoffzelle. Des Weiteren gilt es vor allem in Puncto Nachhaltigkeit zu klären, welchen Wirkungsgrad und welche CO₂-Bilanz die verschiedenen Herstellungsmethoden aufweisen, und wie unter Berücksichtigung aller Umstände (Well-to-Wheel) der Antrieb mit Wasserstoff im Vergleich zum herkömmlichen Antrieb mit Benzin oder Diesel abschneidet.

Abschließend bleibt die Frage der sicheren Handhabung von Wasserstoff für die Allgemeinheit zu klären.

Wasserstoff – das häufigste Element auf unserem Planeten

Bevor wir weiter auf die Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff eingehen, sollten zunächst einige Eckdaten in Bezug auf Wasserstoff dargelegt werden, die die Frage beantworten – warum eignet sich Wasserstoff als Energieträger?

Wasserstoff ist das leichteste und häufigste Element. 90% aller Atome auf der Erde sind Wasserstoff, allerdings liegt dieser in den meisten Fällen chemisch gebunden vor. Um Wasserstoff als Kraftstoff nutzen zu können, muss dieser molekular als H₂-Molekül vorliegen. Molekularer Wasserstoff ist unter Standardbedingungen gasförmig. Er besitzt weder Farbe, noch Geruch, noch Geschmack, er ist weder reizend noch gesundheitsschädlich. In Gegenwart von Sauerstoff stellt er jedoch in sehr breiten Mischungsverhältnissen ein explosives Gemisch dar. Die für die Zündung dieses Gemisches benötigte Energie ist circa 10-mal niedriger als bei anderen Kraftstoffen. In der Chemie ist die exotherme Reaktion von Sauerstoff und Wasserstoff als Knallgasprobe bekannt, und um genau diese energieliefernde Reaktion dreht sich das Thema Wasserstoff als Energieträger.

Wasserstoff ist das Gas mit der geringsten Dichte. Sein Siede- und Schmelzpunkt liegen ebenfalls sehr niedrig, die genauen Werte sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 1: Physikalische Daten

Aggregatzustand H ₂ (293K, 1,013mbar)	gasförmig
Dichte (293K, 1,013mbar)	0,084 g/L
Siedepunkt	20,4 K
Dichte (20,4K, 1,013mbar)	70,07 g/L
Schmelzpunkt	13,9 K

Werte übernommen aus Gleitmann, S., 2010, S.129

Diese Werte zeigen deutlich, dass Wasserstoff, insbesondere für die mobile Anwendung, stark komprimiert vorliegen muss, um sowohl platztechnisch also auch von der Reichweite her mit einem herkömmlich betriebenen Fahrzeug mithalten zu können.

Betrachten wir nun den Heizwert von Wasserstoff, so stellt man fest, dass dieser im Vergleich zu anderen Kraftstoffen deutlich geringer ist. Der untere Heizwert von Wasserstoff liegt bei Standardbedingungen bei 10,8 MJ/m³, dies entspricht in etwa 3kWh/m³. Im Vergleich dazu liegt der untere Heizwert von Methan bei 9,97kWh/m³, ist also mehr als dreimal so hoch. Verglichen mit Benzin entspricht der

Energiegehalt eines Kilogramms Wasserstoff dem von 2,75kg Benzin (Lehmann, J.; Luschtinez; 2014, S. 77f.).

Diese Zahlen mögen zunächst nicht besonders vielversprechend klingen, jedoch muss man sich dabei stets die Vorteile der Wasserstofftechnologie vor Augen halten:

- ✚ Die weltweiten Vorkommen an Wasserstoff sind (im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern) nicht begrenzt.
- ✚ Bei der Verbrennung von Wasserstoff entstehen im Wesentlichen nur Wasser und ein geringer Anteil Stickoxide als Abfallprodukte, jedoch keine Schwefelverbindungen und kein Ruß.
- ✚ Wenn die Gewinnung von Wasserstoff ausschließlich mit regenerativem Strom erfolgt, ist die Verwendung praktisch schadstofffrei.
- ✚ Wird Wasserstoff durch Elektrolyse erzeugt, so wird Wasser im Laufe der Reaktion benutzt aber nicht verbraucht – dieser zu 100% nachhaltige Kreislauf ist bislang einzigartig in der Energiewirtschaft.

Großtechnische Gewinnung

Um Wasserstoff als Energieträger und -speicher nachhaltig zu nutzen, muss der für die Gewinnung des elementaren Wasserstoffs notwendige Strom aus regenerativen Energiequellen kommen. Da der Strom aus alternativen Energiequellen nicht wie der aus konventionellen Energiequellen konstant zur Verfügung steht, würde sich anbieten, große Elektrolysegeräte bei Stromspitzen zu betreiben und die Energie in Form von Wasserstoff zu speichern. Dies ist jedoch im Moment noch nicht der Stand der Technik, sondern wird erst in Zukunft realisierbar sein.

Die Jahresproduktion von Wasserstoff liegt aktuell bei 500 Mrd. m³, davon werden circa 20 Mrd. m³ in Deutschland produziert. Der Großteil des Wasserstoffs wird durch Dampfreformierung aus Erdgas gewonnen. Bei diesem Verfahren werden Methan und Wasser bei Temperaturen von 800°C umgesetzt zu Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff. Kohlenstoffmonoxid kann wiederum mit Wasser umgesetzt werden zu Kohlenstoffdioxid und einem weiteren Äquivalent Wasserstoff. Aus einem Molekül Methan kann also unter optimalen Bedingungen 4 Moleküle Wasserstoff entstehen. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass bei einer vollständigen Umsetzung für jedes Methanmolekül stöchiometrisch Kohlenstoffdioxid entsteht. Außerdem enthält der auf diese Weise synthetisierte Wasserstoff noch Spuren von Kohlenmonoxid und muss für die Verwendung in hochsensiblen PEM-Brennstoffzellen noch nachgereinigt werden, da Kohlenstoffmonoxid als Katalysatorgift wirkt. Ein weiteres Problem dieses Synthesewegs ist, dass der Ausgangsstoff Methan nicht unbegrenzt zur Verfügung steht. Weitere 30% des Wasserstoffs werden durch die partielle Oxidation von Raffinerierückständen gewonnen. Das dabei entstehende Synthesegas muss ebenfalls vor seinem Einsatz in Brennstoffzellen gereinigt werden. Nur etwa 4%

des Wasserstoffs werden durch Elektrolyse hergestellt. Das am häufigsten eingesetzte Verfahren ist die Chlor-Alkali-Elektrolyse. Wasserstoff entsteht dabei als Nebenprodukt, denn sie dient dazu, aus Natriumchlorid und Wasser durch Elektrolyse Natronlauge und Chlor zu produzieren. Die Elektrolyse von reinem Wasser besitzt mit einem Prozent einen sehr geringen Marktanteil. Allerdings stellt sie in Puncto Nachhaltigkeit das einzige Verfahren dar, reinen Wasserstoff ohne kohlenstoffhaltige Verunreinigungen herzustellen. Es existieren jedoch aktuell so gut wie keine großtechnischen Anlagen, die dieses Verfahren nutzen. (Lehmann, J.;Luschtinez, T.; 2014, S. 79f.).

Speicherung und Transport

Der egal auf welche Art erzeugte Wasserstoff kann nur dann sinnvoll genutzt werden, wenn es entsprechende Speicherformen beziehungsweise einen entsprechende Infrastruktur gibt.

Es existieren momentan drei Speicherformen für Wasserstoff: Chemische Speicher, Kryospeicher und Druckspeicher. Alle drei besitzen unterschiedliche Vor- und Nachteile und eignen sich daher mehr oder weniger gut für den Einsatz in der Automobilindustrie. Wasserstoff kann chemisch an ein Metall gebunden werden, dieses sogenannte Metallhydrid stellt dann einen Speicher dar. Diese Metallhydride sind relativ schwer und eignen sich daher nicht für den Einsatz in Autos. Um Wasserstoff bei Normaldruck flüssig zu speichern, sind enorme Mengen an Energie für die Kühlung aufzubringen, daher eignen sich diese sogenannten Kryospeicher nur für größere stationäre Tanks. Die einzige verbleibende Speicherform, die sich für den Transport in kleineren Fahrzeugen eignet, ist der Druckspeicher. Nach der Herstellung wird der Wasserstoff mit speziellen Kompressoren komprimiert und in Druckgasflaschen gefüllt. Dafür können herkömmliche Stahlflaschen verwendet werden, da diese jedoch für den Transport im Auto sehr schwer sind, wurden sogenannte Composite Behälter entwickelt. Diese Behälter bestehen aus speziellen Kunststoffen, welche mit Glasfaser verstärkt sind, eine andere Bezeichnung ist GFK – Glasfaser verstärkter Kunststoff. Diese Tanks sind bei gleicher Stabilität wesentlich leichter als Stahltanks und senken somit den Spritverbrauch.

Da der Platz im Auto jedoch begrenzt ist, stellt sich die Frage nach der Reichweite dieser Tanks. Unter Annahme der Tatsache, dass eine Brennstoffzelle im Teillastbetrieb etwa den doppelten Wirkungsgrad eines Dieselmotors hat, ergäbe sich folgender Sachverhalt: Ein mittels 70 MPa-Technik komprimierter Wasserstoffspeicher besitzt eine Dichte von 40 kg/m³, dementsprechend beträgt seine Energiedichte umgerechnet 1,3 kWh/L. Um 100 km mit dem Dieselmotor zurückzulegen, sind rund 5 Liter Treibstoff nötig, das entspricht einer Energie von 50 kWh. Mit der Brennstoffzelle wären also folglich nur noch 25 kWh an Energiebedarf zu decken. Ein Kilo Wasserstoff umfasst im 70 MPa Behälter ein Volumen von 25 L. Die Tankgröße

von PKWs variiert zwischen 40 und 80 Litern je nach Fahrzeuggröße und bietet demnach genug Platz für zwei bis drei Kilogramm Wasserstoff. Unter diesen Bedingungen ist Wasserstoff als Brennstoff für Kraftfahrzeuge bestens geeignet. (Lehmann, J.; Lushtinez, T.; 2014, S. 88ff.).

Eines der Momentan größten Probleme der Wasserstofftechnologie besteht in der Infrastruktur. Es gibt viel zu wenige Wasserstofftankstellen, was die Anschaffung eines wasserstoffbetriebenen Fahrzeugs noch sehr unrentabel macht. Um mit dem herkömmlichen Benzin und Dieselmotoren ernsthaft konkurrieren zu können, muss das Tankstellennetz stark ausgebaut werden. Derzeit sind in Deutschland nur 16 Wasserstofftankstellen allgemein zugänglich, im Vergleich dazu existieren laut aktuellen Angaben des ADAC mehr als 14.000 herkömmliche Tankstellen.

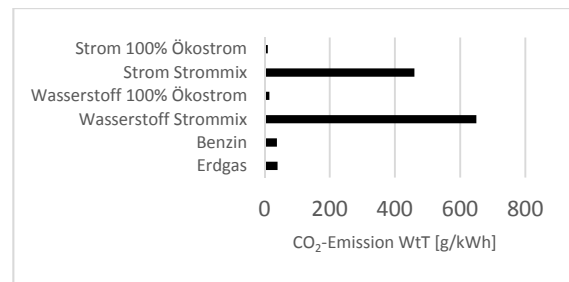
Wirkungsgradketten und CO₂-Emission

Wie bereits angesprochen bietet die Wasserstofftechnologie nur dann einen entscheidenden Vorteil in Bezug auf Nachhaltigkeit und Umweltschutz, wenn die für die Erzeugung des Wasserstoffs notwendige Energie aus regenerativen Quellen kommt. Aus diesem Grund sollte besonders die gesamte Wirkungsgradkette von der Erzeugung des Wasserstoffs bis zu seiner Verbrennung (Well-to-Wheel) genauer betrachtet werden.

Betrachtet man zunächst die Energie, die nötig ist, um einen Primärenergieträger in einen Sekundärenergieträger umzuwandeln (Well-to-Tank). Der Aufwand für die Aufbereitung von Erdöl und Erdgas ist ziemlich gering, hier werden Wirkungsgrade von 85-90% erzielt. Der Wirkungsgrad der Wasserstoffgewinnung ist abhängig von der verwendeten Herstellungsmethode – bei der Herstellung durch Dampfreformierung aus Methan werden Wirkungsgrade von bis zu 80% erzielt, Elektrolyseure erzielen Wirkungsgrade von circa 70%. Mit der Betrachtung des reinen Erzeugungswirkungsgrads ist es bei Wasserstoff noch nicht getan, schließlich müssen noch die Verluste addiert werden, die beim Verdichten oder Verflüssigen des Wasserstoffs auftreten. Beim Verdichten kann ein Wirkungsgrad von 85% angenommen werden, beim Verflüssigen ist der Wert mit rund 70% etwas niedriger. Unter Annahme des EU-Strommixes liegt der Well-to-Tank Wirkungsgrad von Wasserstoff bei einem Wert von circa 30%. Das erscheint im Vergleich zu den fossilen Energieträgern sehr gering. Auch die CO₂-Bilanz des Wasserstoffs im Schritt Well-to-Tank ist verglichen mit der von fossilen Energieträgern relativ groß, sofern man für die Herstellung des Wasserstoffs den EU-Strommix zugrunde legt. Die Kohlenstoffdioxid Emission fossiler Kraftstoffe im Schritt Well-to-Tank beträgt rund 40g/kWh, die Emission, die bei der Herstellung von Wasserstoff auftritt ist wiederum stark abhängig von der Herstellungsmethode. Nimmt man eine

ideale Stromversorgung mit 100% erneuerbaren Energiequellen an, so schlägt Wasserstoff bereits in diesem ersten Schritt die fossilen Energieträger.

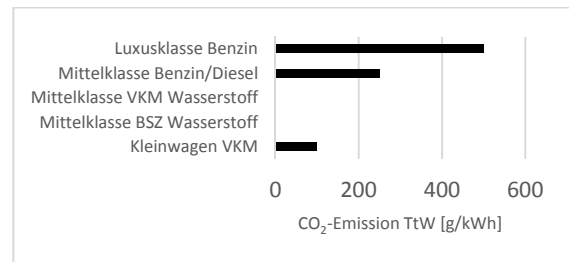
Grafik 1: Emissionswerte Well-to-Tank (WtT)



Werte übernommen aus Eichsleder, H.; Klel, M.; 2012, S.13

Betrachtet man im Folgenden den Wirkungsgrad für die Umwandlung der Sekundärenergieträger in Nutzenergie (Tank-to-Wheel), so fällt auf, dass Wasserstoff hier auch schon mit dem heutigen Strommix deutlich besser abschneidet. Allein die Betrachtung der Wirkungsgrade liefert ein eindeutiges Ergebnis. Der Wirkungsgrad eines herkömmlichen Ottomotors liegt bei maximal 35%, der eines Dieselmotors liegt etwas höher bei maximal 45%. Im Vergleich dazu betragen die Wirkungsgrade von Brennstoffzellen über 60%, mit Batterie- oder Elektroantrieben können sogar Wirkungsgrade von über 70% erzielt werden. Diese Werte sind absolute Idealwerte, welche in der Praxis nicht erreicht werden, dennoch ist der Trend deutlich zu erkennen – der Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle entspricht etwa dem doppelten Wert eines herkömmlichen Motors. Auch bei den Kohlenstoffdioxid Emissionen erzielt Wasserstoff im Schritt Tank-to-Wheel deutlich bessere Ergebnisse, schließlich emittiert eine Brennstoffzelle im idealen Fall nur Wasserdampf.

Grafik 2: Emissionswerte Tank-to-Wheel

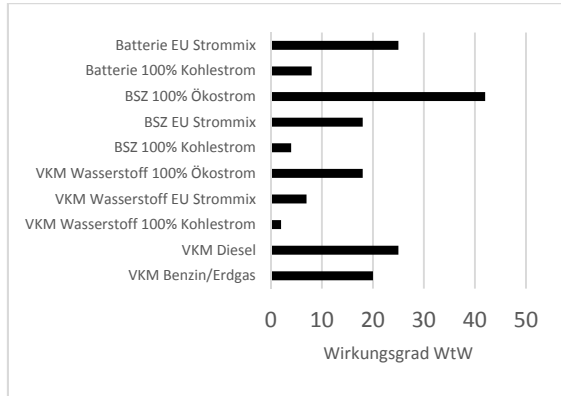


Werte übernommen aus Eichsleder, H.; Klel, M.; 2012, S.17

Fasst man die zwei Schritte Well-to-Tank und Tank-to-Wheel zusammen, so erhält man den Gesamtwirkungsgrad des Systems, Well-to-Wheel. Diese Kombination ist für herkömmliche Fahrzeuge relativ leicht aufzustellen, wird jedoch bei Wasserstoff relativ kompliziert, da die Werte je nach Stromquelle sehr stark schwanken. Die folgenden Grafiken zeigen einen beispielhaften Überblick über die verschiedenen Szenarien. Grafik 3 zeigt die Well-to-Wheel Wirkungsgrade. Die Werte für den wasserstoff-

bzw. benzinbetriebenen Verbrennungsmotor (VKM) sowie für die Brennstoffzelle (BSZ) sind im besten Fall unter Annahme von 100% Ökostrom, dann unter Zugrundelegung des EU-Strommixes für die Dampfreformierung aus Methan, und im schlechtesten Fall für die Elektrolyse mittels Braunkohlestrom berechnet worden.

Grafik 3: Wirkungsgrade Well-to-Wheel

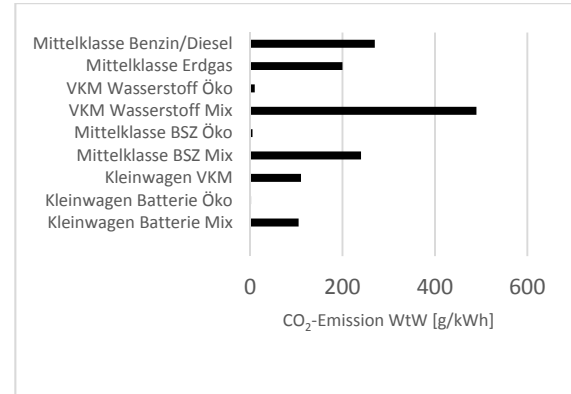


Werte übernommen aus Eichsleder, H.; Klel, M.;2012, S.18

Anhand der Grafik ist zu erkennen, dass der Einsatz von Wasserstoff in einer Brennstoffzelle mit deutlich höheren Wirkungsgraden verknüpft ist als der Einsatz im Verbrennungsmotor. Es wird daher von Seite der Automobilhersteller auch deutlich intensiver an dieser Technik geforscht. Was besonders eklatant ist, ist der Unterschied, den die Stromgewinnung bewirkt. Doch selbst im schlechtesten Fall, wenn der Strom für die Elektrolyse aus Braunkohle stammt, bleibt der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle nur unwesentlich hinter dem eines herkömmlichen Benzinmotors zurück. Im Falle einer Stromgewinnung durch vollständig erneuerbare Energien, beispielsweise Wasserkraft mit extrem hohen Wirkungsgraden, liegen die Werte noch höher, allerdings ist deutlich zu erkennen, dass bereits mit dem zur Zeit verfügbaren EU-Strommix die Wirkungsgrade für eine mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzelle mehr als doppelt so hoch sind, wie die eines Benzinmotors. Auffällig ist zudem, dass auch die Werte für batteriebetriebene Autos bereits für den EU-Strommix bei etwa 25% liegen, würde der Strom aus 100% regenerativen Quellen kommen, würden hier Wirkungsgrade von über 60% erreicht werden. In Puncto Nachhaltigkeit ist jedoch nicht nur der Wirkungsgrad zu betrachten, angesichts des anthropogenen Klimawandels und der steigenden Kohlenstoffdioxid Emissionen sind besonders letztere für eine nachhaltige Nutzung entscheidend. Wie bereits angesprochen, kommen die Kohlenstoffdioxid Emissionswerte von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen fast ausschließlich durch seine Gewinnung und den dafür benötigten Strom zustande. Ein weiterer Teil fällt bei den Produktions- und Verteilungskosten an. Im Fahrzeug selbst fällt letztendlich bei einer sauberen Niedertemperaturumsetzung nur Wasser als Nebenprodukt an, gegebenenfalls eine geringe

Menge Stickoxide, jedoch aufgrund der niedrigen Temperaturen keine schwefelhaltigen Verbindungen und da keine kohlenstoffhaltigen Verbindungen umgesetzt werden weder Kohlenstoffdioxid noch Kohlenstoffmonoxid. Die folgende Grafik soll die Kohlenstoffdioxid Emissionen der gesamten Wirkungsgradkette Well-to-Wheel für einige Beispiele veranschaulichen.

Grafik 4: Emissionswerte Well-to-Wheel



Werte übernommen aus Eichsleder, H.; Klel, M.;2012, S.19

Die Bezeichnung Öko bezieht sich auf eine Stromgewinnung aus 100% erneuerbaren Energien, Mix legt den EU-Strommix zugrunde. Anhand der Grafik wird nochmals deutlich, dass die Umsetzung von Wasserstoff in Brennstoffzellen nicht nur bezüglich des Wirkungsgrads (vgl. Grafik 3) Vorteile gegenüber der Umsetzung im Verbrennungsmotor aufweist, sondern auch in Bezug auf die Gesamtemission deutlich günstiger ist. Betrachtet man die Emissionen eines mit Wasserstoff betriebenen Mittelklasse Brennstofffahrzeugs aus aktuellen Daten, so stellt man fest, dass die Emissionswerte in etwa in derselben Größenordnung liegen, wie die eines Mittelklasse Erdgasfahrzeugs, und bereits geringer sind, als die eines Mittelklasse Benzinmotors. Ebenfalls bemerkenswert sind die Werte für batteriebetriebene Kleinwagen, sie erreichen in der gesamtheitlichen Betrachtung der Emission die Spitzenposition. Die Werte für eine Zugrundelegung von 100% Kohlestrom sind nicht mehr aufgeführt.

Für diese Berechnungen wurde der EU-Strommix aus dem Jahre 2010 zugrunde gelegt, dieser bestand zu 49% aus fossilen Brennstoffen, zu 27% aus Kernkraft und zu 24% aus erneuerbaren Energien. (Eichsleder, H.; Klel, M.;2012, S.10ff., Zusammensetzung des EU-Strommixes nach European Network of Transmission System Operators (ENTSO)). Die Zusammensetzung des deutschen Strommixes sah Ende letzten Jahres folgendermaßen aus: 52,3% bestand aus fossilen Brennstoffen, wovon fast die Hälfte, 25,6% aus Braunkohle stammte, weitere 18% aus Steinkohle und 9,6% aus Erdgas. Mit 15,9% war der Anteil an durch Kernkraft zur Verfügung gestellten Strom in Deutschland im Vergleich zum EU-Mix deutlich geringer. Der Anteil der erneuerbaren Energien betrug mit 25,8% immerhin knapp zwei Prozent mehr, 5,2% entfielen auf

sonstige Energiequellen. (*Strommix 2014, Agentur für Erneuerbare Energien*)

Sicherheit

Da Wasserstoff in molekularer Form weder Geruch, noch Farbe hat, müssen Tankstellen und Fahrzeuge mit entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen versehen sein, um im Falle eines Gasaustritts Alarm zu schlagen. Der Zusatz von Geruchsstoffen ist kritisch, da diese als Katalysatorgifte wirken könnten. Spezielle Sensoren sind jedoch bereits entwickelt. An den Tankstellen gelten die üblichen Verhaltensvorschriften wie an herkömmlichen Tankstellen – da Wasserstoff mit Luft in breiten Zusammensetzungsbereichen ein explosives Gemisch darstellt, ist Rauchen unbedingt zu unterlassen, und Zündquellen sind fernzuhalten. Werden diese Regeln eingehalten, so ist der Austritt von geringen Kraftstoffmengen unbedenklich, da dieser aufgrund seiner geringen Dichte sehr schnell diffundiert und nach oben entweicht.

Zusammenfassung

Allein die Betrachtung des Gesamtwirkungsgrades Well-to-Wheel zeigt, dass Wasserstoff als Kraftstoff für Brennstoffzellen schon mit dem derzeit verfügbaren EU-Strommix durchaus konkurrenzfähig ist. Die Mobilisierung der breiten Masse mit wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen knüpft sich an zwei entscheidende Probleme: Zum einen die Problematik der zur Zeit nur ungenügenden Verfügbarkeit, und zum anderen die Stromgewinnung. Beide Probleme werden angegangen, die Stromgewinnung verlagert sich zunehmend zu größeren Anteilen Ökostrom, und das Tankstellennetz wird weiter ausgebaut. Bis zum Jahr 2030 sollen EU-weit rund 650 Mrd. Fördergelder in den Ausbau der Wasserstofftechnologie investiert werden. Wenn eines Tages der gesamte Strombedarf aus regenerativen Quellen gedeckt werden kann, ist die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger, nicht nur in Fahrzeugen, sondern auch als Energiespeicher und zur Rückverstromung eine absolut umweltfreundliche und nachhaltige Energiequelle, wenn nicht sogar die nachhaltigste. Die Ölreserven werden erschöpft sein, und Wasserstoff bietet eine saubere Alternative. Viele Automobilkonzerne haben bereits wasserstoffbetriebene Fahrzeuge auf dem Markt, und solche die es noch nicht haben, werden in Zukunft nachziehen. Die Preise für diese Fahrzeuge liegen jedoch im Moment noch deutlich über denen eines herkömmlichen Autos. Um die Mehrheit der Bevölkerung mit Wasserstoffautos zu versorgen, muss intensiv an der Reduzierung der Kosten, vor allem für die Brennstoffzellenkomponenten geforscht werden. Durch Fortschritte in der Forschung wird es gelingen, die Wirkungsgrade noch weiter

in die Höhe zu treiben, die Menge an eingesetzten Edelmetallkatalysatoren zu reduzieren und die Speicherung von Wasserstoff einfacher und leichter zu gestalten. Was spannend bleibt, wird das Rennen zwischen batteriebetriebenen Fahrzeugen und Wasserstofffahrzeugen, hier wird die Forschung und Entwicklung in den nächsten Jahren sicherlich Antworten liefern.

Literatur

- Agentur für erneuerbare Energien: Strommix 2014, URL: <http://www.unendlich-viel-energie.de/strommix-deutschland-2014> (27.11.2015).
- Eichsleder, H.; Klell, M., 2012: Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik – Erzeugung, Speicherung, Anwendung, 3. Auflage, Springer Vieweg.
- Gleitmann, S., 2010: Alternative Kraftstoffe – Womit fahre ich am besten? H₂YDROGEIT Verlag.
- Lehmann, J.; Luschtinez, T., 2014: Wasserstoff und Brennstoffzellen – Unterwegs mit dem saubersten Kraftstoff, Springer Verlag.
- Manager Magazin Online, URL: <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/daimler-und-linde-baut-wasserstoff-tankstellen-a-995995.html> (23.11.2015).

Curriculum Vitae

Isabelle Maria Tuchek

Ausbildung:

2010	Abitur am Goethe-Gymnasium Ludwigsburg
2010-2011	Bachelor-Studium Biochemie Universität Tübingen
2011-2015	Bachelorstudium Chemie Universität Freiburg, Abschluss B.Sc. Chemie
Seit 2015	Masterstudium Umwelt- und Verfahrenstechnik HTWG Konstanz

Recycling siliziumbasierender Photovoltaikanlagen

Dario Alf¹

¹ HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: dario.alf@htwg-konstanz.de

Abstract

The following article deals with the recycling processes of silicon-based solar modules. The solar technology represents a significant share in the market of alternative energy. Since the turn of the millennium, the installation of photovoltaic systems is continuously increasing. Meanwhile 5.6% of the primary energy produced in Germany is solar energy [1]. The trend predicts a further growth of this technology for the future. Therefore environmental issues arise with regard to the recycling of solar modules. In the coming decades an exponential growth of unused solar modules is expected. Currently there is a research on these solar modules on an industrial scale for methods of recycling. Additionally the ecological disadvantages that result from the production of primary-silicon have to be considered. The recycling is described by a mechanical and thermal process. Furthermore this paper discusses the possibilities of saving resources with recycling. In addition, the impact on the payback period and the harvest factors of recycled solar modules will be discussed.

Einleitung

Die Photovoltaiktechnik ist eine Methode der Energieumwandlung, bei der solare Strahlung in elektrische Energie umgewandelt wird. Die PV-Technik gehört zur Sparte der alternativen Energien. Diese Methode der Energieumwandlung gewann in den letzten Jahren rasant an Bedeutung und wird auch zukünftig eine immer größer werdende Rolle in der Energieerzeugung einnehmen. In etwas über einem Jahrzehnt entwickelte sich ihr Anteil an der Bruttostromerzeugung in Deutschland aus dem Stand heraus auf 5,6% und nimmt nach der Windkraft (9,2%) und Biomasse (6,8%) den drittgrößten Anteil der alternativen Energieerzeugung ein [1].

Aufgrund des rasant wachsenden Anteils der Solarenergie auf dem Markt der alternativen Energien ergeben sich zwangsläufig umweltrelevante Aspekte, die es bei einer Beurteilung hinsichtlich ihrer Ökologie und der regenerativen Eigenschaften zu berücksichtigen gibt. Im Folgenden soll der Umgang mit dem bereits hohen und zukünftig weiter ansteigenden Aufkommens an Altmodulen erläutert und diskutiert werden [Abb.1]. Im Zentralen wird auf das Recycling siliziumbasierender Altmodule, die einen Großteil des Gesamtmarkts einnehmen, eingegangen. Zur Gesamtbetrachtung soll hier auf die Herstellung des Primärsiliziums als Ausgangsmaterial für die Wafer-Produktion eingegangen werden. Vor allem energetische Aspekte aus der Silizium Herstellung sowie der produktionsbedingte Materialausschluss werden betrach-

tet und schließlich mit dem Recyclingpotential der Siliziumwafer verknüpft. Desweiteren wird auf die übrigen Komponenten der Solar-Module, deren Recycling und damit verbundenen Ökoeffizienz eingegangen. Folglich können Aussagen zur Energieeinsparung durch die Recyclingverfahren gemacht werden und deren Auswirkung auf die Amortisationszeit und Erntefaktoren quantifiziert werden. Als Grundlage gilt die Betrachtung der Recyclingverfahren im industriellen Maßstab für halb- bzw. vollautomatisierte Anlagen.

Grundlagen

Herstellung Primärsilizium

Vom Rohstoff zum polykristallinem Silizium

Als Ausgangsstoff zur Herstellung von Solar-Wafern dient Siliziumdioxid. Das Rohmaterial wird unter Zugabe von Kohlenstoff knapp oberhalb des Siedepunkts bei 1460°C zu technischem Silizium reduziert. Für Anwendungen in der PV-Technologie muss das technische Silizium mit einer Reinheit von bereits 98% weiteren chemischen Reinigungen unterzogen werden [2]. Ein häufig angewandtes Verfahren ist der Trichlorsilan-Prozess. Hierzu werden bei 300°C Silizium-Partikel mit Chlor-Wasserstoffgas in das gasförmige Zwischenprodukt Trichlorsilan überführt. Der niedrige Siedepunkt von 32°C des Trichlorsilans begünstigt, dass durch fraktionierte Destillation eine Reinigung des Gasgemisches von unerwünschten Chlorverbindungen erfolgen kann. Die Synthese des polykristallinen Siliziums erfolgt durch Umkehrung des Trichlorsilan-Prozesses. Bei Temperaturen von 1100°C findet unter Zugabe von Wasserstoff die Dissoziation des Trichlorsilan-Moleküls zu Silizium und Chlor-Wasserstoff statt. Elementares Silizium schlägt sich in polykristalliner Form nieder. Im anschließenden Zonenreinigungsverfahren wird unter Vakuum und mittels Hochfrequenz-Spulen der Siliziumstab partiell geschmolzen und begünstigt das Ausdampfen der verbliebenen Verunreinigungen. Eine mehrfache Wiederholung des Zonenreinigungsverfahrens ermöglicht schließlich die Erzeugung polykristallinen Siliziums für die PV-Industrie [3].

Aufbereitung zu monokristallinem Silizium

Die Aufbereitung des polykristallinen Siliziums zu monokristallinen Silizium hat für PV-Anwendungen klare Vorteile hinsichtlich ihrer Wirkungsgrade. Die polykristallinen Siliziumstäbe aus dem Zonenreinigungsverfahren dienen hier als Grundlage. Ein bekanntes Verfahren zur Herstellung monokristalliner Stäbe ist das tiegelfreie Zonenziehen. Ähnlich des Zonenreinigungsverfahrens

wird unter Hochvakuum und einer Rotationsbewegung längs des Stabes eine definierte Zone mit Hochfrequenz-Spulen aufgeschmolzen. Somit wird das polykristalline Gitter des Siliziums partiell geschmolzen und ermöglicht den Atomen beim Verlassen der Schmelzzone monokristalline Gitterstrukturen entlang der bereits erstarrten Zone auszubilden [4].

Oberflächenbehandlung der Silizium-Wafer

Nach Abschluss des tiegfleien Zonenziehens wird der Einkristall (Ingot) mechanisch auf die gewünschte Dicke gefräst. Daraufhin folgen weitere Bearbeitungsschritte. Zu Beginn wird der Ingot mit einer Drahtsäge in Wafer zwischen 160 – 200 μm (ehemals 500 – 800 μm) gesägt. Hierbei betragen die Verluste am Einkristall bis zu 100 μm pro Wafer. In der anschließenden Oberflächenbehandlung werden die Wafer geläppt. Mit Hilfe einer Suspension aus Glycerin, Aluminiumoxid und Siliziumcarbid werden auf mechanischem Wege weitere 50 μm von der Oberfläche abgetragen. Eine Fräse entfernt Rückstände an den Kanten des Wafers, die durch Säge- und Läppprozesse entstanden sind. Mittlerweile weisen die Wafer eine Oberflächenrauheit von 2 μm auf. Für Anwendungen in der PV-Technologie werden in anschließenden Ätzprozessen mit Flusssäure und Salpetersäure verbleibende Gitterfehler, die oberflächennah aufzufinden sind, abgetragen. In einem abschließenden Prozess werden die Silizium-Wafer mit einer Suspension aus Natronlauge und Silizium-Nanopartikel fertig poliert. Die aufwendige Oberflächenbehandlung ermöglicht schließlich eine maximale Rauheit von 3nm an der Oberfläche und genügt damit den Anforderungen der PV-Technologie [5].

Recyclingpotential

Komponenten siliziumbasierender PV-Module

Der PV-Markt bietet aktuell zwei Bauformen an, die im großen Maßstab hergestellt werden. Der Markt für siliziumbasierende PV-Module deckt mit 90% einen Großteil des gesamten Marktes der PV-Technologie ab. Eine aktuell vergleichbar untergeordnete Rolle spielt der Markt für Dünnschicht-Technologien [6].

Die Komponenten einer PV-Anlage lassen sich wie folgt prozentual quantifizieren. Glas und Aluminium bilden mit ca. 74%_{Gew} und 10%_{Gew} der Gesamtmasse den größten Anteil des siliziumbasierenden PV-Moduls. Einen Anteil von 10%_{Gew} bilden Kunststoffe, die als Laminierfolie beidseitig den Halbleiter abdecken und auch als Backsheet auf der Unterseite des Moduls verarbeitet sind. Das Halbleiter-Material bildet mit lediglich 3%_{Gew} einen kleinen Anteil der Gesamtmasse. Klebstoffe sind zu rund 1%_{Gew} verarbeitet. Kupfer, Zinn, Blei und Silber sind im geringen Maß verarbeitet und stellen die übrigen Materialien dar. Sie dienen als elektrische Anschlüsse und der Elektronik eines PV-Moduls.

Aufgrund des dominierenden Anteils nehmen das Glas und die Aluminiumrahmen einen großen Stellenwert im Recycling ein. Die Halbleitermaterialien der Wafer und die kupferhaltige Leiterbahnen aus den elektrischen Anschlüssen sind ebenfalls von besonderer Bedeutung. Kunststoffkomponenten werden überwiegend der thermischen Verwertung zugeschrieben [7].

Gesetzliche Regelung zur Rücknahme ausgedienter PV-Module

Die Entsorgung alter, ausgedienter PV-Module fällt in den Geltungsbereich der Richtlinien zum WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment). Seit dem 24. Okt. 2015 dieses Jahres besteht deutschlandweit für PV-Module eine Rücknahmepflicht. Deutschland setzte somit die EU-Richtlinie über den Umgang mit defekten Elektronik Altgeräten um. Händler und Hersteller müssen demnach alle PV-Module, die nach 13. Aug. 2005 installiert wurden, kostenfrei zurück nehmen [8]. Der prozentuale Anteil an der Bruttostromerzeugung in Deutschland durch PV-Anlagen lag damals bei geringen 0,2% im Jahr, was bedeutet das nahezu alle in Deutschland installierten Module zukünftig, für den Betreiber kostenlos, dem Recycling zugeführt werden können [9].

Die Rücknahme ist sowohl über ein öffentlich-rechtliches Entsorgungsunternehmen als auch über ein eigenes Recyclingsystem möglich. Der Recycler unterliegt nicht der Bedingung, ortsnah der Sammelstellen niedergelassen zu sein. Die Erstbehandlung alter PV-Module kann sowohl innerhalb als auch außerhalb der EU liegen und unterliegt einer einheitlichen Regelung. Hier sei beispielsweise erwähnt, dass der Transport der Altmodule schonend zu erfolgen hat. Diese Regelungen beinhalten die Eventualität, dass Altmodule über weite Wegstrecken vom Betriebsort zum Recycling-Unternehmen unter hohem Aufwand transportiert werden könnten. Um die Nachhaltigkeit und Ökobilanz des Recyclings nicht zu schmälern, sollte ein Recycling möglichst ortsnah erfolgen.

Die Richtlinie sieht desweiteren vor, dass Recyclinghöfe innerhalb als auch außerhalb der EU die gleichen Anforderungen bzgl. der Minimierung des Gefahrenpotentials für Mensch und Umwelt erfüllen müssen. Um das zu garantieren fallen jährliche Zertifizierungsmaßnahmen an [8].

Optionen der Verwertung

Mechanisches Verfahren

Ein industriell angewandtes mechanisches Verfahren zum Recycling ausgedienter PV-Module wird von der Firma Reiling Glasrecycling betrieben. Siliziumbasierende PV-Module werden nach einem Verfahren aus dem Glasrecycling verarbeitet. In einer ersten mechanischen Verfahrensstufe werden die Aluminiumrahmen und Metallkomponenten durch einen Einwellenshredder entfernt. In einer

Hammermühle werden anschließend die Bruchstücke weiter zerkleinert. Der fortschreitende Zerkleinerungsprozess bewirkt ein Ablösen des Folienlaminats vom Glas. Im Folgenden werden in einer Sortieranlage grobe Verunreinigungen durch optische Verfahren entfernt. Die im Schredder-Gut verbliebenen Metalle sind überwiegend Eisen, Kupfer (Kabelverbindungen) oder Aluminium. Mittels Magnet- und Wirbelstromabscheider werden diese Komponenten entsprechend sortiert.

Die Kernaufgabe dieses Verfahrens liegt im Glasrecycling. Die gewonnene Glasfraktion weist jedoch ein hohes Maß an Verunreinigungen auf. Das Glas weist noch immer einzelne Verbunde mit den Laminierfolien auf und ist mit feinkörnigem Silizium durchsetzt. Es folgt eine Weiterverarbeitung zu Schaumglas und Glaswolle. Gegenwärtig wird an Verfahren gearbeitet die Sortenreinheit zu verbessern [10].

Thermisches Verfahren

Die Sunicon AG, eine Tochtergesellschaft der Solarworld AG, betreibt ein thermisches Verfahren im Rahmen eines Pilotprojets zum thermischen Recycling ausgedienter siliziumbasierender PV-Module. Die Auftrennung der Materialverbundes erfolgt im Unterschied zum mechanischen Verfahren am kompletten Modul. Bei Prozesstemperaturen von über 600°C werden die Laminier-, Backsheet- und Klebstoffkomponenten verbrannt. Nach der thermischen Behandlung zur Auftrennung der einzelnen Komponenten, wird in einem manuellen Schritt fraktioniert. Mit diesem Verfahren kann die Sortierung der Komponenten in Glas-, Metall-, und Solarzellenfraktionen erfolgen. Die hohe Sortenreinheit der einzelnen Fraktionen ermöglicht die Abgabe an spezialisierte Recyclingunternehmen [11].

Ein zentrales Ziel des thermischen Prozesses ist, die Solarzellen möglichst intakt zu gewinnen. Eventuell entstehender Waferbruch wird als Reduktionsmittel in der Metallurgie eingesetzt. Es wird angestrebt mittels Ätzprozesse die Front- & Rückkontakte der Solarzelle, die n-Dotierung und auch die Antireflexschichten zu entfernen, um eine Wiederverwendung zu ermöglichen. Dem Entgegen steht die Problematik, dass die Ausbeute intakter Solar-Wafer mit der Schichtdicke abnimmt. In den vergangenen Jahren nahm die durchschnittliche Schichtdicke der Wafer kontinuierlich ab. Während der neunziger Jahre und um die Jahrtausendwende maßen die Wafer noch einigen hundert Mikrometer. Inzwischen liegen die Schichtdicken der Wafer teils deutlich unter 200µm. Im konkreten Fall bedeutet das, dass Wafer mit Plattendicken von 400µm der vergangenen Jahren noch mit einer Ausbeute von 76,4% recycelt werden konnten. Bei heutigen Wafers mit immer dünner werdenden Plattendicken ist die Wirtschaftlichkeit hinsichtlich des Recyclings gering [12].

Potentiale und Herausforderungen

Vergleich mechanischer und thermischer Verwertungsverfahren

Die beiden im Kapitel der Verwertungsverfahren beschriebenen Recyclingverfahren verfolgen grundsätzlich verschiedene Ziele. Der Schwerpunkt des mechanischen Prozesses liegt, wie bereits erläutert, in der Verwertung der Glasfraktionen. Ziel des Recyclings soll es jedoch sein, einzelne Stofffraktionen mit hoher Reinheit zu gewinnen, um sie jeweils einer höherwertigen Wiederverwendung zuzuführen. Im Direktvergleich der beiden Verfahren lässt sich feststellen, dass der thermische Prozess durch hohe Sortenreinheit bei der Glasfraktion Vorteile gegenüber dem mechanischen Prozess hat. Die thermische Behandlung des gesamten Altmoduls weist durch das Verbrennen der Kunststoffkomponenten als Bindeglied des PV-Verbundes eine dementsprechend gute Trennung in die einzelnen Komponenten auf. Das gewonnene Glas kann im Gegensatz zum mechanischen Verfahren einer höherwertigen Verwendung zugeführt werden. Hier bietet sich eine Weiterverarbeitung zu Flach- und Behälterglas an. Das thermische Verfahren bringt aber auch Nachteile mit sich. Der energetische Aufwand ist entsprechend hoch. Insbesondere sind es die Prozesstemperaturen und der apparative Aufwand. Hinsichtlich der Abgasreinigung kommen hier zusätzliche Herausforderungen auf den Recycling-Prozess zu.

Neben dem rein mechanischen bzw. thermischen Recycling siliziumbasierender PV-Anlagen wird derzeit an Verfahren, die eine Kombination beider Prozesse darstellen, geforscht. Hier erfolgt auf mechanischem Weg die Zerkleinerung mittels eines zweiblättrigen Schaufelbrechers und einem Hammerbrecher. Im Anschluss erfolgt die thermische Behandlung bei rund 650°C [13].

Vorteile und Herausforderungen des recycelten Siliziums gegenüber dem Primärsilizium

Technische Aspekte

Im Kapitel der Grundlagen wurde ausführlich auf die Herstellung und Aufbereitung von Siliziumdioxid zu poly- bzw. monokristallinem Silizium eingegangen. Der Reduktions-Prozess vom Siliziumdioxid zum technischen Silizium mit 98% Reinheit wird unter hohen Temperaturen im Hüttenwerk erreicht [2]. Die folgenden Prozesse des Trichlorsilan-Prozesses, dessen Umkehrung zur Erzeugung eines Silizium-Stabes und das Zonenreinigungsverfahren sind die maßgeblichen Teilprozesse, die für den hohen Energieeinsatz zur Erzeugung von poly- bzw. monokristallinem Silizium notwendig sind. Ein Recycling macht vor allem Sinn, wenn man bedenkt, dass der überwiegende Anteil der Prozesskette der Herstellung und Aufbereitung eingespart werden kann. Sortenrein gewonnenes Silizium aus Altmodulen kann somit neu eingeschmolzen werden und durch das anschließende Zonenreinigungsverfahren die technischen Anforderungen der

PV-Technik erfüllen. Die Oberflächenbehandlungen, vom Zuschnitt des Wafers bis zur Politur müssen aufgrund der Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit nochmals erfolgen [5].

Ökonomische Aspekte

Das Recycling ausgedienter PV-Anlagen wirkt sich auch auf weitere Faktoren aus. Die Energierücklaufzeit, oder auch Erntefaktor genannt, gibt das Verhältnis erzeugter Energie zur aufgewandten Energie an. PV-Anlagen erzeugen allgemein deutlich mehr Energie als bei ihrer Produktion benötigt wurde. Prinzipiell ist der Erntefaktor an einige Bedingungen geknüpft. Der Standort trägt hier maßgeblich zum Erntefaktor bei. Desweiteren geht man von einer Betriebsdauer von 20 – 30 Jahren bei einem maximalen Leistungsverlust von 20% gegen Lebensende aus. Unter Annahme dieser Gegebenheiten erwirtschaften monokristalline PV-Module Erntefaktoren zwischen 4 – 8 und polykristalline Ausführungen Erntefaktoren zwischen 6 – 14. Die Unterschiede entstammen der Tatsache, dass die Herstellung monokristallinen Siliziums deutlich energieintensiver ist als die polykristallinen Siliziums. Die höheren Wirkungsgrade monokristallinen Siliziums von 2 – 3 % gegenüber polykristallinen Modulen unter realen Bedingungen können somit nicht das energieintensive tiegelfreie Zonenziehen kompensieren. Ein zusätzlicher Vorteil könnte die Verkürzung der Amortisationszeit sein. Derzeit wird sie für PV-Anlagen im Durchschnitt mit 11 – 13 Jahren, abhängig vom Finanzierungsmodell, angegeben. Die Auswirkungen dürften aber nicht derart signifikant wie bei den Erntefaktoren ausfallen. Grund hierfür sind maßgeblich die seit längerem fallenden Preise für PV-Module [14].

Ökologische Aspekte

Ein Recycling alter PV-Module könnte somit die Erntefaktoren weiter Erhöhen und die Effizienz verbessern. Ein weiterer umweltrelevanter Aspekt ist der CO₂-Ausstoß, der mit 20 – 50 g pro erzeugte Kilowattstunde Strom angegeben wird. Ein konsequentes Recycling des Siliziums könnte die Umweltbelastung durch entstehende Treibhausgase bei der Primärsilizium Produktion senken [14].

Das Recycling wirkt sich im Weiteren auch auf die Reduktion giftiger Chemikalien, die zur Herstellung des technischen Siliziums benötigt werden, aus. Die Herstellung erfolgt u.a. durch die Verwendung von giftigem Chlorwasserstoffgas im Trichlorsilan-Prozess. Hier kommt es zwar zu keiner direkten Exposition am Mitarbeiter, dennoch ist die mögliche Einsparung dieses Gases für die Umwelt nicht von Nachteil.

Eine Reduktion der Prozess-Chemikalien Glycerin, Salpetersäure, Flusssäure oder Natronlauge erfolgt nicht. Diese Substanzen sind für die Oberflächenbehandlungen der Wafer notwendig [5].

Die Verwendung des Ethylvinylacetat als Laminierfolie ist hinsichtlich der thermischen Verwertung unkritisch. Es liegen laut GHS keine entsprechenden Gefahrensymbole vor. Polyvinylbutyral ist im PV-Modul ebenfalls als Laminierfolie verarbeitet. Es ist laut GHS als reizend deklariert. Beim Recycling entsprechend autoklaviert verbrennt es jedoch bei Temperaturen oberhalb von 500°C rückstandsfrei [15].

Aspekte des Glas- und Aluminiumrecyclings

Glas und Aluminium stellen den weitaus größten Massenanteil eines PV-Moduls. Aluminium ist mit rund 10%_{Gew} die größte Metall-Komponente. Die Aluminiumrahmen der PV-Module werden überwiegend manuell demontiert. Der Nutzen des Recyclings dieser Komponenten steht außer Frage. Die Herstellung von einem Kilogramm Aluminium aus Erzen ist sehr energieintensiv und benötigt in verfahrenstechnisch modernen Anlagen ca. 13 kWh elektrischer Energie. Aluminium aus Recyclingmaterial benötigt hingegen rund 5% der ursprünglichen Energie [16]. Die Glasfraktion alter PV-Module stellt mit über 70%_{Gew} den größten Massenanteil des kompletten Moduls. Bei hoher Sortenreinheit lässt sich das Altglas, wie jedes andere Glas der Behälter- und Verpackungsindustrie, problemlos beliebig oft mit gleichbleibender Qualität recyceln. Durch das flächendeckende Glasrecycling konnte in den letzten 25 Jahren beispielsweise die Abluft-Emission um 75% gesenkt werden. Große Gewinnmargen können jedoch aufgrund des niedrigen Glaspreises mit dem Recycling von PV-Modulen nicht erzielt werden [17].

Ausblick

Das Recycling siliziumbasierender PV-Module hat Potentiale bezüglich der Wertstoffgewinnung und steht vor Herausforderungen hinsichtlich seiner Wirtschaftlichkeit.

Die in Zukunft stark zunehmende Anzahl alter PV-Module fordert mit Hinblick auf die Nachhaltigkeit dieser Methode der regenerativen Energieerzeugung eine funktionierende Kreislaufwirtschaft, bei der das Recyceln der Komponenten im Vordergrund steht. Die auf dem Markt etablierten Verfahren des Recyclings decken derzeit in etwa den damit entstehenden Kostenaufwand. Es ist unabdingbar, weiterhin an der Sortenreinheit beim Recycling der Komponenten zu arbeiten. Das Recycling der Glas- und Aluminiumfraktion steht hierbei vor eher geringen Herausforderungen. Das Recycling der Wafer, insbesondere der Silizium-Komponente, stellt die größte Herausforderung dar. Die frühen Modelle der Solar-Wafer weisen noch einen relativ hohen Massenanteil an Silizium auf, der das Recycling lukrativ macht. Die Tendenz zu dünneren Wafern wie auch der Markt an Dünnschicht-Technologien (Silizium- und Verbindungshalbleiter) bewirken einen stets wachsenden Aufwand hinsichtlich der Wertstoffgewinnung durch Recycling. Es muss

folglich an Verfahren und Methoden geforscht werden, bei denen mit wirtschaftlich und verfahrenstechnisch vertretbarem Aufwand auch prozentual geringe Anteile im Modul gewinnbringend recycelt werden können.

Literatur

[1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiestatistiken-grafiken>, Seite 37, Stand Aug. 2015, Berlin

[2] U. Hilleringmann, Silizium-Halbleitertechnologie, 6. Auflage 2013, S. 7, Kap. 2.2.1: „Herstellung von technischem Silizium“

[3] U. Hilleringmann, Silizium-Halbleitertechnologie, 6. Auflage 2013, S. 8f, Kap. 2.2.2: „Chemische Reinigung des technischen Siliziums“

[4] U. Hilleringmann, Silizium-Halbleitertechnologie, 6. Auflage 2013, S. 9f, Kap. 2.2.3: „Zonenreinigung“

[5] U. Hilleringmann, Silizium-Halbleitertechnologie, 6. Auflage 2013, S. 15f, Kap. 2.2.4: „Kristallbearbeitung“

[6] H. Wirth, Fraunhofer ISE, Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Kap. 18, S.71, Stand Nov. 2015

[7] K. Sander, Studie zur Entwicklung eines Rücknahme- und Verwertungssystems für photovoltaische Produkte, Kap. 3.1, S. 34, Tab. 10, Hamburg 2007

[8] Neuordnung Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG2, Stand 20.Okt.2015 <http://www.elektrogesetz.de/elektrog2/>

[9] Statista 2015, Statistisches Bundesamt

[10] S. Kernbaum, T. Hübner, Recycling von Photovoltaikmodulen, Kap. 4.1.1, S. 550

[11] K. Sander, Studie zur Entwicklung eines Rücknahme- und Verwertungssystems für photovoltaische Produkte, Kap. 6.1.9.1, S. 102f, Hamburg 2007

[12] K. Sander, Studie zur Entwicklung eines Rücknahme- und Verwertungssystems für photovoltaische Produkte, Kap. 6.1.9.3, S. 106f, Hamburg 2007

[13] G. Granata, F. Pagnanelli, E. Moscardini, T. Havlik, L. Toro, Recycling of photovoltaic panels by physical operations, Journal, S. 247, Rom 2013

[14] Regenerative Zukunft, Kap. Umweltproblematik, <http://www.regenerative-zukunft.de/photovoltaik>

[15] Gestis-Stoffdatenbank: Polyvinylbutyral

[16] J. Schäfer, Gesamtverband der Aluminiumindustrie GDA, <http://www.aluinfo.de/index.php/aluminium-und-ressourcenschonung.html>

[17] Bundesverband der Glasindustrie BVG, Stand 2015, <http://www.bvglas.de/umwelt-energie/glasrecycling/>

Curriculum Vitae

Dario Alf¹

Ausbildung

2007	Fachhochschulreife, Freie Waldorfschule Vaihingen a. d. Enz
2009-2014	Bachelor-Studium der Verfahrens- & Umwelttechnik (B.Sc.) HS Heilbronn
Seit 2015	Master-Studium der Umwelt- & Verfahrenstechnik (M.Eng.), HS Konstanz

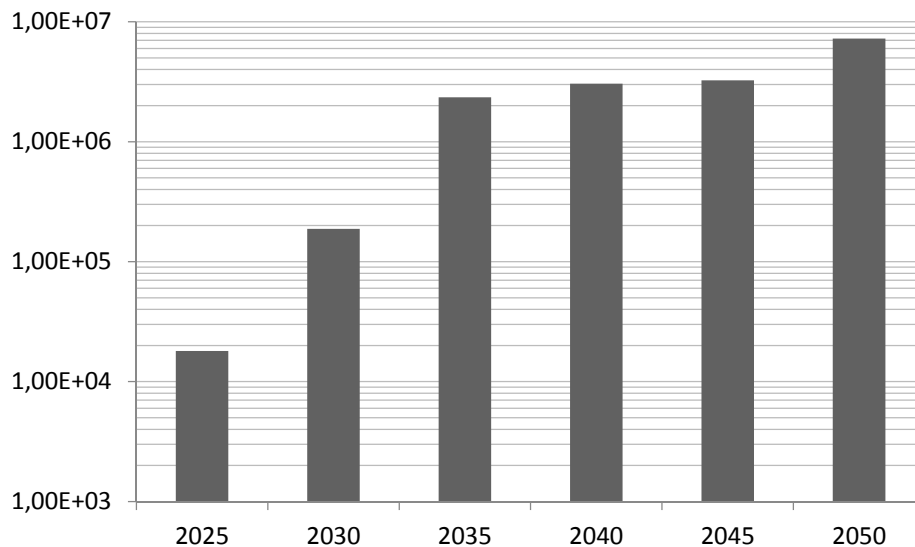


Abb. 1: gemittelte Prognose des Abfallaufkommens von PV-Altmodulen in Tonnen bis 2050
Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt

Verwertung von Kunststoffabfällen

Alexander Gegelmann

HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: algeelm@htwg-konstanz.de

Abstract

This paper shows the ways, the methods and the process of plastic-recycling. The rate of the total exploitation of the plastic waste is over 99%. The exploitation is divided in material exploitation (42%), raw material exploitation ($\leq 1\%$) and energy exploitation (57%). After the mechanical process, shredding and classifying of the plastic waste, the process of exploitation begins. The material exploitation is the process of melting plastic for the reusing of the plastic. The raw material exploitation is the process of transforming the plastic waste through chemical reactions in to the raw materials of the plastics, like oil and some gases. The energy exploitation is the process of incinerating the plastic waste to use the incinerating energy.

The recycling of plastic waste has some positive aspects to the environment. Almost no plastic waste ends up on disposal sites. Reasons for this development is the changing environmental awareness in Germany and the laws made by the government since the nineties.

Einleitung

Die Bevölkerung und somit auch das Konsumverhalten in der Welt steigen immer weiter an. Dies hat zur Folge, dass auch mehr Abfall produziert wird. Durch ein steigendes Umweltbewusstsein und drohende Rohstoffknappheit, ist die Verwertung des Abfalls, ein wichtiger Bestandteil geworden um dem entgegenzukommen. In den letzten Jahren, wurden viele Forschungen und Entwicklungen zu diesem Thema betrieben. Es wurden auch einige Fortschritte gemacht.

Ein Bestandteil im Abfall sind die Kunststoffabfälle aus Verpackungsmaterialien und sonstigen Produkten. Die Kunststoffherstellung ist stark vom geförderten Rohöl abhängig und wird in der Zukunft, bei Ressourcenknappheit, stark beeinträchtigt sein. Auch tragen die Kunststoffabfälle, durch die schlechte biologische Abbaubarkeit und zum Teil giftigen Substanzen, zur Umweltverschmutzung bei. Deshalb werden, so gut es geht, die Kunststoffabfälle in Deutschland verwertet oder verbrannt.

Dieses Paper soll die wichtigsten Methoden und Kriterien veranschaulichen, wie diese Kunststoffabfälle wieder- und weiterverwertet werden und was die Vorteile und Folgen die Verwertung beinhaltet.

Kunststoffe

Als Kunststoffe werden synthetisch hergestellte Werkstoffe bezeichnet, die aus einfachen Grundstoffen, wie Alkohol, Benzol, Naturkautschuk usw. hergestellt werden. Der Hauptbestandteil der Kunststoffe sind die Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff, aus denen langkettige Makromoleküle polymerisiert werden. Neben diesen beiden Elementen können die Kunststoffe auch Nebenbestandteile,

wie Chlor, Fluor, Sauerstoff, usw. beinhalten. [Quelle: VDI Bericht 1288, 1996]

Stand der Dinge

Deutschland hat in Europa den größten Kunststoffverbrauch. Im Jahre 1999 betrug dieser 14.1 Millionen Tonnen, was 29% des Verbrauchs in Europa ausmachte. An zweiter Stelle kam Frankreich, mit 20%, an dritter Spanien, 16%, und an vierter Stelle Italien, mit 15%. [Quelle: Verband Kunststoffherzeugende Industrie e.V. Kaiserslautern 2013] Dementsprechend ergibt sich daraus auch ein hoher Anteil am Kunststoffabfall. In den letzten Jahren ist Abfallaufkommen erheblich angestiegen. Laut dem statistischen Bundesamt, fiel in Deutschland im Jahr 2013 im Schnitt 617kg Abfall pro Kopf an. Dies liegt deutlich über dem europäischen Durchschnitt von 481kg Abfall pro Kopf. [Quelle: Statistisches Bundesamt 2015]

Den größten Anteil an Kunststoffabfällen machen Kunststoffe aus Verpackungsmaterialien aus.

Tabelle 1: Verpackungsabfälle, Gesamtverbrauch, Verwertung, Quoten 1991 bis 2013 (in 10^3kg) in Deutschland [Quelle: eigene Darstellung basierend auf Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit 23.11.2015]

Verpackungsmaterial	1991	1997	2001
Gesamtverbrauch	15620,3	13730,7	15017,8
Gesamtverwertung	6127,3	11341,0	11915,7
Gesamtverwertungsquote	39,2%	82,6%	79,3%

Verbrauch Kunststoff	1655,9	1502,1	1889,9
Verwertungsmenge	(192,9)	916,2	978,9
Verwertungsquote	11,6%	61,0%	51,8%

2005	2007	2008	2010
15470,5	16112,5	16044,8	16002,6
12149,2	12759,7	13099,7	13447,8
78,5%	79,2%	81,6%	84,0%

2367,9	2643,8	2732,4	2690,1
1127,0	1645,4	1869,1	2016,7
47,6%	62,2%	68,4%	75,0%

2011	2012	2013
16486,2	16586,6	17126,9
15974,0	15977,9	16712,4
96,9%	96,3%	97,6%

2775,8	2836,7	2873,3
2737,4	2808,5	2863,1
98,6%	99,0%	99,6%

Tabelle 1 zeigt den Gesamtverbrauch an Verpackungsabfällen und der Gesamtverwertung, sowie den Anteil an Kunststoffabfällen und deren Verwertungsanteil, in den Jahren 1991 bis 2013.

In der Tabelle wird deutlich, dass die Gesamtmenge am Abfall und Kunststoffabfällen deutlich angestiegen ist. Zu Beginn der 90er Jahre gab es nur eine geringe Verwertung des Abfalls, insbesondere der Kunststoffabfälle. Durch

Umdenken der Betriebe und der Politik, insbesondere der neuen Gesetze und Regularien, stieg die Verwertung der Abfälle in einem erheblichen Ausmaß, so dass fast der gesamte Kunststoffabfall verwertet wird. Der Kunststoffabfall wurde in den letzten Jahren zu 99% verwertet.

Die Mülltrennung, insbesondere die Nutzung des gelben Sackes, hat sich für Recycling von Kunststoffabfällen als nützlich erwiesen. Dennoch muss stets eine Nachsortierung erfolgen, um den Kunststoff von anderen Materialien zu trennen.

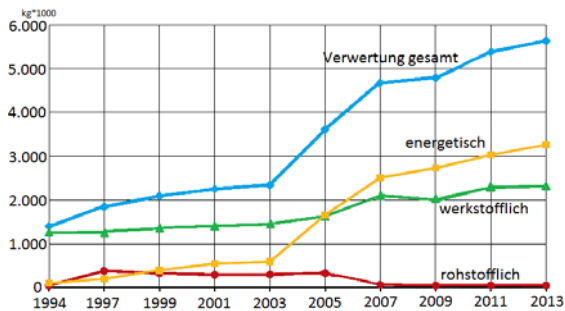


Abbildung 1: Entwicklung der Verwertung der Kunststoffabfälle [Quelle: eigene Darstellung, basierend auf Umweltbundesamt Kunststoffe – Produktion, Verwendung und Verwertung, 26.11.2015]

In Abbildung 1 wird die Entwicklung der Verwertung der Kunststoffabfälle von 1994-2013 gezeigt. Gezeigt wird neben dem Verlauf der Gesamtverwertung, den Anteil und den Verlauf der werkstofflichen Verwertung, der energetischen Verwertung und der rohstofflichen Verwertung. Die Gesamtverwertung der Kunststoffabfälle ist in den Jahren erheblich angestiegen. Zu Beginn der 90er Jahre fand die Verwertung von Kunststoffabfällen, beinahe nur in Form von werkstofflicher Verwertung statt. Zu Beginn des neuen Jahrtausends, gab es auf Grund der neuen gesetzlichen Regelungen, einen Anstieg, bei der werkstofflichen und der energetischen Verwertung. Es wurde im Jahr 2013 mehr energetisch, also verbrannt, als werkstofflich verwertet. Im Jahr 2013 betrug dabei die werkstoffliche Verwertung 42% der gesamten Verwertung und die energetische 57%. Die rohstoffliche Verwertung liegt dabei bei unter 1%, was deutlich macht, dass diese Variante der Verwertung im Recyclingprozess der Kunststoffe nur eine untergeordnete Rolle spielt. Gründe dafür sind komplexere und wirtschaftlich nicht umsetzbare oder nützliche Verfahrensprozesse.

Mechanische Aufbereitung

Das Aufbereiten von Kunststoffabfällen erfolgt in mehreren Schritten, wobei die mechanische Aufbereitung an erster Stelle des Recyclingprozesses steht. Folgend wird genannt, wozu die mechanische Aufbereitung benötigt wird und was dabei geschieht:

- Ändern zum Herabsetzen der Korngröße: Zerkleinern, Brechen, Mahlen

- Ändern zum Heraufsetzen der Korngröße: Agglomerieren, Brikettieren, Pelletieren
- Trennen nach Korngröße: Klassieren
- Trennen nach Stoffart: Sortieren
- Trennen nach Phasenart (fest - gasförmig): Entstauben
- Trennen nach Phasenart (fest - flüssig): Entwässern
- Ordnen nach Stoffzusammensetzung: Mischen, Vergleichmäßigen

[Quelle: Kranert Martin, Cord-Landwehr Claus, 2010 4. Auflage. Einführung in die Abfallwirtschaft, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden]

Die wichtigsten Vorgänge der mechanischen Aufbereitung bei Kunststoffabfällen, ist die Zerkleinerung, die Siebung und das Sortieren.

Zerkleinerung

Die Zerkleinerung des angelieferten Kunststoffabfalls hat viele Gründe, zum Beispiel muss bei einem Teil des Abfalls eine Aufschlusszerkleinerung zur Freilegung von Materialverbunden erfolgen oder für die Herstellung einer oberen Korngröße bzw. von Korngrößenverteilungen wird benötigt, um Stoffe sortierfähig zu machen. Dabei wird in Grobzerkleinerung (bis ca. 150mm), Mittelzerkleinerung (bis ca. 50mm) und Feinzerkleinerung (bis ca. 10mm) unterschieden.

Folgend sind die wichtigsten Zerkleinererarten mit einigen Beispielen aufgelistet:

Zerkleinerer mit schneidender Beanspruchung: Das zugegebene Material wird mit Hilfe von zwei gegenläufigen Messern zerkleinert. Beispiele dafür sind Rotorscheren, Einwellenzerkleinerer oder Schneidemühlen.

Zerkleinerer mit reißender Beanspruchung: Material wird durch Reißen, Quetschen und Scheren beansprucht. Beispiele dafür sind Kammwalzenzerkleinerer oder Schneckenmühlen.

Zerkleinerer mit Prall- und Schlag-Beanspruchung: Das Material wird durch schnelle Schläge zerkleinert. Beispiele dafür sind Hammermühlen und Schredder oder Prallmühlen und Prallbecher.

[Quelle: Kap 5.3, Kranert Martin, Cord-Landwehr Claus, 2010 4. Auflage. Einführung in die Abfallwirtschaft]

Siebung

Bei Kunststoffabfällen wird in der Regel ein Trommelsieb verwendet, der die verschiedenen Korngrößen durch Rütteln bzw. Vibrationen sortiert. Das Siebblech, über das der Kunststoffabfall geleitet wird, weist im vorderen Bereich meist kleinere Sieböffnungen auf. Die Materialien mit größeren Korngrößen, werden durch die schräge Anordnung und die Vibrationen, weitergetragen und passieren die für

sie bestimmte Sieböffnung im hinteren Bereich. Deshalb, ermöglicht diese Variante auch eine Trennung in verschiedenen Fraktionen.

[Quelle: Kap 5.4, Kranert Martin, Cord-Landwehr Claus, 2010 4. Auflage. Einführung in die Abfallwirtschaft]

Sortieren

Da die Kunststoffabfälle meist nicht rein sondern gemischt mit anderen Materialien sich im Abfall befinden und da die einzelnen Kunststoffsorten getrennt werden müssen, ist eine Sortierung notwendig. In der folgenden Tabelle sind die Trennverfahren, Trennkriterien und Sortiermaschinen aufgelistet die für die Sortierung von Kunststoffabfällen verwendet werden:

Tabelle 2: Sortierverfahren [Quelle: eigene Darstellung basierend auf Tabelle S. 159, Kranert Martin, Cord-Landwehr Claus, 2010 4. Auflage. Einführung in die Abfallwirtschaft]

Trennkriterien	Verfahren, Trennmedium	Häufig verwendete Sortiermaschinen
Elektrische Leitfähigkeit, Dielektrizitätszahl	Elektrosortierung Luft	(Korona-) Walzenscheider, Freifallscheider
Stoffdichte, Korngröße, Kornform	Windsichtung Luftherdtrennung Luft	Aufstrom- und Querstromwindsichter, Luftherde
Stoffdichte, Korngröße, Kornform	stat.- Schwimm-Sink-Trennung Trennung im Zentrifugalfeld Wasser/Suspensionen	Trommel- und Trogscheider, Hydro- und Schwertrübezyklone
Stoffdichte	Trennung im Zentrifugalfeld Wasser/Salzlösungen	Sortierzentrifugen, Hydrozyklone
Farbe, Lichtadsorption, elektr. Leitfähigkeit, Stoffdichte	Sensorgeschützte Sortierung Luft	Farbsortierer, Nahinfrarot-Trenner, Röntgensortierer, LIBS-Trenner
Sprödigkeit, Duktilität, Korngröße	Selektive Zerkleinerung und Siebklassierung Luft	Hammer- oder Prallmühlen und Siebe

Bei Kunststoffabfällen kommen meistens Windsichter oder Sensorgeschützte Sortierung zum Einsatz

Recycling

Nach der mechanischen Aufbereitung, also der Zerkleinerung der Siebung und dem Sortieren des Kunststoffabfalls erfolgt der eigentliche Recyclingprozess. Dabei wird in 4 Möglichkeiten unterteilt, was mit dem Kunststoffabfall

nach der mechanischen Aufbereitung geschieht bzw. geschehen kann:

- Werkstoffliche Verwertung: Aufbereitung zum Grundwerkstoff, Granulat.
- Rohstoffliche Verwertung: Aufbereitung in die Grundstoffe, z.B. Öle und Gase.
- Energetische Verwertung: Verbrennung und Nutzung der Verbrennungsenergie.
- Deponierung: Abfall landet auf der Deponie.

[Quelle: Kranert Martin, Cord-Landwehr Claus, 2010 4. Auflage. Einführung in die Abfallwirtschaft]

Es muss dabei entschieden werden wie mit dem Kunststoff weiter umgegangen wird, welche Art der Verwertung des Kunststoffabfalls erfolgt. Folgend sind die Kriterien genannt:

- Welcher Kunststoff ist es?
- Genügt der Kunststoff den Qualitätsanforderungen?
- Ist der Kunststoff stark verunreinigt
- Ist der Kunststoff wasserlöslich?

Zum eigentlichen Recycling gehört nur die werkstoffliche und rohstoffliche Verwertung. Ist der Kunststoff nicht für die werkstoffliche oder rohstoffliche Verwertung nutzbar, wird dieser meistens energetisch verwertet, somit verbrannt. Die hohe Verwertungsquote in Deutschland, liegt daran, dass der Kunststoff fast immer weiterverwertet wird. Das Ziel des Recyclings, ist zu vermeiden, dass der Kunststoffabfall auf einer Deponie landet und somit auch die Umwelt entlastet.

Werkstoffliche Aufbereitung

Die werkstoffliche Aufbereitung ist ein einfacher Aufbereitungsprozess. Dabei wird der zerkleinerte Kunststoffabfall in die Schmelze gebracht und entweder rein oder gemischt, meist in Form von Granulat, wieder zum Grundwerkstoff verarbeitet. Diese Variante der Verwertung betrug im Jahr 2013 42% der Gesamtverwertung von Kunststoffabfällen [Quelle: Umweltbundesamt 2015]. Ein bekanntes Beispiel für diese Verwertung ist die Verwertung von PET-Flaschen. Diese werden gesammelt, zerkleinert und werkstofflich aufbereitet. Daraus werden meist entweder neue PET-Flaschen hergestellt oder Textilfaser.

Rohstoffliche Aufbereitung

Die rohstoffliche Aufbereitung soll zum Ziel haben, den Kunststoffabfall mittels chemischen Reaktionen in die Rohstoffe umzuwandeln. Dabei beträgt diese Art der Verwertung kein 1 % der Gesamtverwertung von Kunststoffabfällen [Quelle: Umweltbundesamt 2015]. Der Grund dafür sind die meist aufwendigen und wirtschaftlich nicht rentablen Verfahren.

Der Prozess für die rohstoffliche Aufbereitung wird mit dem Oberbegriff Solvolyse bezeichnet. Dabei werden die Makromoleküle der Kunststoffe bei erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck unter Einsatz bestimmter Reagenzien gespalten. Dies kann man als Umkehr der Polymer-synthese verstehen. Zur Solvolyse gehören folgende Prozesse:

- Glykolyse: Spaltung mit Glykogen.
- Hydrolyse: Spaltung mit Wasser.
- Aminolyse: Spaltung mit Ammoniak, Amiden, Aminoalkoholen.
- Thermolyse: Thermische Abbaureaktionen unter kontrollierten atmosphärischen Bedingungen. Z.B. Pyrolyse und Hydrierung.

[Quelle: Brandrup, Bittner, Michaeli, Menges, Die Wieder-vertwertung von Kunststoffen 1995]

Energetische Aufbereitung

Die energetische Verwertung von Kunststoffabfällen macht 57% der Gesamtverwertung aus [Quelle: Umweltbundesamt 2015]. Auf Grund der gesetzlichen Regelungen der letzten Jahre werden nun mehr Kunststoffabfälle verbrannt als diese auf einer Deponie landen. Hier werden alle verunreinigten und für die werkstoffliche und rohstoffliche Verwertung nicht brauchbaren Kunststoffabfälle verbrannt. Dies geschieht meist nicht in Reinform, sondern der Abfall wird gemischt der Müllverbrennung zugeführt. Die durch die Verbrennung entstehende Wärmeenergie wird anschließend oft genutzt.

Auswirkungen auf die Umwelt

Der Kunststoffabfälle haben global einen großen Anteil an der Umweltverschmutzung. Das Recycling von Kunststoffabfällen führt zu einer Entlastung der Umwelt. Durch den sehr hohen Anteil, 99%, an verwerteten Kunststoffabfällen, landet fast kein Kunststoff mehr auf den heutigen Deponien. Dennoch muss beachtet werden, dass die Umweltverschmutzung durch Kunststoffabfälle viel von Entwicklungsländern abhängt. Die meisten fortgeschrittenen Länder recyceln viel und schonen damit die Umwelt. Die Entwicklungsländer müssen ihr Handeln ändern, um diese Art der Verschmutzung einzudämmen.

Die Drei Verwertungsarten haben alle ihre Vor- und Nachteile. Folgend wird ihr Einfluss auf die Umwelt genannt:

Die werkstoffliche Verwertung hat den Vorteil, dass der Kunststoffabfall, meist ohne Nebenprodukte, nach der Aufbereitung, direkt wieder verwendet werden kann. Durch die Wiedernutzung des Grundstoffes werden die Ressourcen geschont und die Umwelt entlastet. Diese Aspekte sprechen für diese Verwertungsart, dennoch stehen einige Produkte, z.B. Textilfaser, unter Verdacht Verschmutzungen im Mikropartikelbereich zu verursachen. [Quelle: Kranert Bund für Umwelt, 2015]

Die rohstoffliche Verwertung schont wie die werkstoffliche, die Ressourcen. Durch den hohen Energieverbrauch

und schwierige Verfahren wird diese Variante jedoch selten angewendet. Ein Problem bei einigen Prozessen besteht darin, dass cancerogene Nebenprodukte entstehen können.

Die energetische Verwertung wird hauptsächlich angewandt, weil gesetzliche Regularien dies bestimmen. Auch eine Gefährdung der Umwelt, durch Immissionen kann meistens ausgeschlossen werden, da die modernen Müllverbrennungsanlagen auf dem neusten Stand der Technik in der Hinsicht des Immissionsschutzes sind. Müllverbrennungsanlagen minimieren im Allgemeinen den Schadstoffausstoß [Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit 2015]

Diskussion, Bewertung

Das Kunststoffrecycling zu Beginn der 90er Jahre, hatte zur Folge, dass beinahe gar kein Kunststoffabfall mehr auf den Deponien landet. Vergleicht man die drei Verwertungsarten, werkstoffliche Verwertung, rohstoffliche Verwertung und energetische Verwertung, bietet die werkstoffliche Verwertungsart die sinnvollsten Aspekte. Diese Art der Verwertung des Kunststoffabfalls, führt zu einer Senkung der Ressourcen und ist einfacher und sparsamer als die rohstoffliche Verwertung. Da die rohstoffliche Verwertung durch den komplexeren Prozess, der werkstofflichen Verwertung einen Nachteil hat. Deshalb wird diese Art der Verwertung als sinnvollste, nachhaltigste und Umweltfreundlichste Verwertungsart angesehen. Dennoch müsste die Quote durch werkstoffliche Verwertung noch erheblich steigen um dem Problem der Ressourcenknappheit in der Zukunft etwas deutlich entgegenzusetzen. Das ca. 57% des Kunststoffabfalls energetisch verwertet wird, schadet der Wiederverwendung, da der Kunststoffabfall verbrannt wird und dadurch nicht weiter- oder wiederverwertbar wird. Obwohl es Versuche und Untersuchungen zur Verwendung der Verbrennungsprodukte existieren.

Ein anderer wichtiger Aspekt ist die Wirtschaftlichkeit und die Komplexität der einzelnen Prozesse. Obwohl es in der Gegenwart viele Wege und Möglichkeiten existieren, beinahe alle Kunststoffabfälle werkstofflich oder auch rohstofflich zu verwerten, lohnt es sich nicht diese aufgrund des Kosten-Nutzungsfaktors zu betreiben. Das erklärt den hohen Anteil der energetischen Verwertung und erst recht, den sehr geringen Anteil von 1%, der rohstofflichen Verwertung. Deshalb werden auch die meisten Kunststoffabfälle verbrannt, da dies billiger ist als die rohstoffliche und werkstoffliche Verwertung.

In Hinsicht auf die Zukunft, wird wahrscheinlich, wenn eine Ressourcenknappheit einsetzt, der Anteil der werkstofflichen und rohstofflichen Verwertung ansteigen. Ein anderer Aspekt, der in der Zukunft wichtig sein wird, ist die Nutzung und das Recycling der Abfälle, somit auch der Kunststoffabfälle, der bestehenden und alten Deponien.

Ein großer Vorteil, der die Abfallverwertung allgemein umfasst ist, dass die Verwertung ca. 1% des fossilen Primärenergieaufwandes einspart und die CO₂-Bilanz der Abfallwirtschaft deutlich entlastet. [Quelle: Dipl. Ing. Speth, Peter, Bausch Engineering GmbH, 2015]

Im Hinblick auf die Verwertungsmengen und Quoten stellt sich dennoch die Frage, in wie weit diese Daten stimmen, da ein großer Anteil der Kunststoffabfälle exportiert wird und im Ausland verwertet wird.

Literatur

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit Verpackungen gesamt, Verbrauch, Verwertung, Quoten 1991 bis 2013 in der BRD, 23.11.2015,
URL:
http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Bilder_Infografiken/verpackungen_gesamt_bf.pdf

Bund für Umwelt, Naturschutz, Mikroplastik, die unsichtbare Gefahr, 02.12.2015,
URL: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit Verpackungen gesamt, Verbrauch, Verwertung, Quoten 1991 bis 2013 in der BRD, 23.11.2015,
URL:
http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Bilder_Infografiken/verpackungen_gesamt_bf.pdf

Brandrup Johannes, Bittner Muna, Michaeli Walter, Menges Georg, 1995. Die Wiederverwertung von Kunststoffen. Hanser, München / Wien

Dipl. Ing. Speth, Peter, Bausch Engineering GmbH, 2015, Bericht und Firmenführung Recyclingzentrum Herbertingen

Kranert Martin, Cord-Landwehr Claus, 2010 4. Auflage. Einführung in die Abfallwirtschaft, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden

Löhr Karsten, Melchiorre Michelle, Kettemann Bernd-Uwe, 1995, Aufbereitungstechnik, Recycling von Produktionsabfällen und Altprodukten, Hanser, München / Wien

Statistisches Bundesamt 617kg Abfall pro Kopf: Deutschland deutlich über dem EU-Durchschnitt, 26.11.2015,
URL: https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/zdw/2015/PD15_026_p002.html

Umweltbundesamt Kunststoffe – Produktion, Verwendung und Verwertung, 26.11.2015,
URL: <http://www.umweltbundesamt.de/daten/abfall-kreislaufwirtschaft/entsorgung-verwertung-ausgewahlter-abfallarten/kunststoffabfaelle>

VDI Bericht 1288, Verwertung von Kunststoffabfällen, VDI-Gesellschaft Energietechnik, VDI-Verlag 1996

Verband Kunststoffherzeugende Industrie e.V. Kaiserslautern 2013,
URL: <https://web.archive.org/web/20070928051159/http://www.vke.de/download/pdf/autolang.pdf>

Curriculum Vitae

Alexander Gegelmann

Ausbildung:

2008	Abitur am Gymnasium Kenzingen
2009-2014	Bachelor-Studium der Verfahrenstechnik mit Schwerpunkt Umwelttechnik Hochschule Offenburg
Seit 2015	Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik Hochschule Konstanz

Industrielle Abwärmenutzung

Kevin Rehm¹

¹ Hochschule Ravensburg-Weingarten, 88250 Weingarten, kr-152519@hs-weingarten.de

Abstract

Industrial waste heat recovery uses the heat which develops in a big amount in many industrial processes. Complete avoid of waste heat is impossible. Through industrial waste heat recovery costs for energy carriers could be reduced and consequently economical efficiency of a factory could be raised. Important factors for using waste heat are its temperature, the amount and the purity of the fluid carrying the waste heat. Possible disadvantages for waste heat recovery are the required space and the costs for infrastructure. Waste heat stored in fluids could be used easier than diffuse waste heat which is transported with radiation. Furthermore waste heat could be used in the same plant in which it was built or in the same factory but in another plant. Extern waste heat recovery means that it is used in another factory. Thereby it should be noted that it could come to dependences between the consumer and the provider of the waste heat. For an economical transport of the waste heat the distance should not be too long. Besides using waste heat for thermal processes like distillation or for heating buildings and process water it could also be used for cooling and the generation of electricity. This transformation of waste heat into other forms of energy belongs like the change of the waste heat temperature using a heat pump to the indirect waste heat recovery. The direct waste heat recovery which uses heat exchangers for example is less expensive. Heat accumulators are an important technique for storing the waste heat if it does not occur when it is needed. This text discusses the ORC process as technique for generating electricity out of waste heat. As example for industrial waste heat recovery was taken a factory which uses the waste from its production for heating and lighting the building by using a chimney shaft.

Einleitung

Industrielle Abwärme entsteht bei industriellen Prozessen und wird meist nicht praktisch genutzt. So werden heiße Verbrennungsabgase z.B. an die Umgebung abgegeben. Es wurde geschätzt, dass ca. 20-50 % des industriellen Energiebedarfs letztlich als Abwärme abgeführt werden. Abwärmeverluste entstehen durch ineffiziente Ausstattung und Prozesse sowie durch thermodynamische Begrenzungen (U.S. DOE 2008, S. 1). Abwärme entsteht bei handwerklichen und industriellen Betrieben sowohl bei der Fertigung als auch beim Betreiben von Nebenanlagen und Gebäuden (LfU, 2012, S. 5). Bei der industriellen Abwärmenutzung soll die angefallene Abwärme verwertet werden (Hirzel et al., 2013, S. 6). 2011 wurden 75 % der in der Industrie eingesetzten Energieträger zur Bereitstellung von Wärme genutzt. Davon werden 66 % für die Prozesswärmeerzeugung, 1 % für Warmwasser und 8 % für die Raumwärme benötigt (Rohde, 2012, S. 13). Dabei entsteht meist Abwärme (Pehnt et al. 2010, S. 3). Durch

Umwandlungsverluste und Reibung entsteht auch bei Verfahren bei denen keine Wärme erzeugt werden soll Abwärme (Hirzel et al., 2013, S. 5). Abwärme sollte wenn möglich immer vermieden werden, indem z.B. keine überflüssige Energie verbraucht und der Energieverbrauch, z.B. durch eine Verbesserung der Betriebsabläufe, verringert wird. Auch durch einen energiesparenden Betrieb und eine gute Wärmedämmung der Maschinen kann die abgegebene Wärme nur verringert nicht aber komplett vermieden werden. Deswegen ist die Nutzung von Abwärme deren Entstehung nicht verhindert werden kann wichtig für den effizienten Umgang eines Unternehmens mit Energie. Dadurch können auch Kosten für Energieträger eingespart werden was das Unternehmen wirtschaftlicher macht. Desweiteren können sich durch die Abwärmenutzung auch die Investitionen in die Heizung eines Gebäudes verringern, da diese evtl. weniger in Anspruch genommen werden muss (LfU, 2012, S. 5).

Industrielles Abwärmepotenzial in Deutschland

Da bisher nur wenige Studien über die belastbaren Abwärmepotenziale veröffentlicht wurden, wurden die Ergebnisse der Abwärmepotenzialstudie des norwegischen Energieversorgers ENOVA von 2009 auf die deutsche Industrie übertragen. Daraus leitete sich ein technisch/wirtschaftliches Abwärmepotenzial von 160 PJ pro Jahr bzw. 6 % des industriellen Energieverbrauchs für 60 bis 140 °C. Für Temperaturen über 140 °C ergab sich ein Abwärmepotenzial von ca. 316 PJ pro Jahr bzw. 12 % des Bedarfs an Endenergie der deutschen Industrie. Diese Abwärmepotenziale gelten vor allem für große Unternehmen. Auch in kleinen mittleren Unternehmen existieren Abwärmepotenziale (Pehnt et al. 2010, S. 3 und 19f.).

Grundlagen der industriellen Abwärmenutzung

Um das Potenzial der Abwärme sowie die passende Verwendung dafür zu ermitteln müssen die Maschinen und Verfahren eines Unternehmens zunächst untersucht werden. Dann muss eine genaue Untersuchung der Abwärmeeinstellungsorte sowie der möglichen Maschinen welche die Abwärme nutzen können nach folgenden Gesichtspunkten erfolgen. Wichtige Einflussgrößen für die Abwärmenutzung sind die Höhe der Temperatur der entstandenen Abwärme, die zur Verfügung stehende Menge an Abwärme, das zeitliche Angebot sowie der Verbrauch der Wärme, die Eigenschaften des Wärmeübertragers, der zur Verfügung stehende Platz in dem Unternehmen und die Entfernung zwischen Abwärmeeinstellungsort und Wärmeverbraucher (LfU, 2012, S. 6). Auch die Verunreinigung des Wärmeträgermediums mit brennbaren oder zu Korrosion führenden Stoffen kann die zur Verfügung stehende Abwärme beeinflussen. Im Gegensatz zur Stärke der Verunreinigung des Wärmeträgermediums und der Abwärmetemperatur lässt sich die

exakte Leistung der Abwärme oft nur schwer ermitteln. Der für die Berechnung der Wärmeleistung benötigte Volumenstrom kann durch die Messung der Geschwindigkeit oder Massenbilanzen ermittelt werden (Saena GmbH, 2012, S. 6 f.).

Abwärmtemperatur

Für eine wirtschaftliche Abwärmenutzung müssen Abwärmequelle und Wärmeverbraucher miteinander kompatibel sein (LfU, 2012, S. 13). So muss die Temperatur dort wo die Abwärme anfällt mindestens um fünf bis zehn Kelvin größer sein als dort wo sie verbraucht wird. Für eine möglichst gute Übertragung der Abwärme sollte der Temperaturunterschied möglichst groß sein. Bei einem großen Temperaturunterschied werden somit auch kleinere Wärmetauscher benötigt wodurch sich die Kosten für die Anschaffung verringern. Wenn eine Anwendung bei niedrigen Temperaturen läuft ist die Auswahl an Möglichkeiten der dafür nutzbaren Abwärme größer (LfU, 2012, S. 7 und 13).

Abwärmeangebot

Die zur Verfügung stehende Abwärme kann durch den Wirkungsgrad und den Energieverbrauch einer Maschine bestimmt werden (LfU, 2012, S. 7). Wenn die verfügbare Abwärme größer als der Verbrauch ist muss die restliche Wärme an anderer Stelle genutzt oder an die Umwelt entlassen werden. Bei einem größeren Wärmeverbrauch als der vorhandenen Wärme muss mit zusätzlicher Energie aus einer anderen Quelle geheizt werden. Bei mehreren Abwärmequellen und -verbrauchern müssen die unterschiedlichen Leistungen, Temperaturen sowie zeitliche Bereitstellung und Abnahme der Abwärme aufeinander eingestellt werden. Bei empfindlichen Verfahren muss aber beachtet werden, dass das Abführen der Abwärme zu Veränderungen der Verfahrenseigenschaften, wie z.B. Korrosion, führen kann (LfU, 2012, S. 8). Für eine gute Abwärmenutzung müssen Angebot und Verbrauch der Abwärme möglichst zur gleichen Zeit stattfinden. Wenn dies nicht der Fall ist kann z.B. ein Abwärmeüberschuss durch Wärmespeicherung aufgefangen werden (LfU, 2012, S. 13). Außerdem sollte die Entfernung zwischen der Quelle und dem Verbraucher der Abwärme möglichst gering sein um Wärmeverluste und Kosten für die Anschaffung und den Betrieb von Pumpen und Leitungen zu verringern. Die Entfernung für einen wirtschaftlichen Wärmetransport hängt unter anderem von der zu übertragenen Abwärmemenge und von den Kosten des ersetzten Brennstoffes ab (LfU, 2012, S. 10). Durch die chemische Zusammensetzung und den Aggregatzustand des Abwärmestroms ergibt sich dessen Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit, wovon der Wärmeaustausch im Wärmetauscher abhängt. Dies beeinflusst auch die Effizienz des Wärmetauschers sowie dessen Bauform und Materialien (U.S. DOE 2008, S. 10). Außerdem kann es je nach Beschaffenheit des Wärmestroms zu Biofilmbildung und Ablagerungen kommen, wodurch sich der

Wärme- und Stofftransport im Wärmetauscher verringern kann (Hirzel et al., 2013, S. 9).

Art der Abwärmenutzung

Wichtig für die Abwärmenutzung ist auch, ob die Abwärme durch ein Medium wie Kühlöl, Abgas, Abluft oder Prozesswasser oder diffus durch Konvektion oder Abstrahlung von Oberflächen transportiert wird. Abwärme in Fluiden fällt oft in großen Mengen an und ist technisch einfacher nutzbar als diffuse Abwärme. Durch die bessere Wärmeübertragung von Flüssigkeiten an den Kontaktflächen ist die Abwärmenutzung aus Flüssigkeiten technisch besser umsetzbar als bei Gasen oder Dämpfen. (Saena GmbH, 2012, S. 6). Es gibt verschiedene Arten Abwärme zu nutzen. Wenn die Abwärme in der Maschine bzw. dem Verfahren in der sie entstand genutzt wird spricht man von Wärmerückgewinnung. Bei der betriebsinternen Abwärmenutzung wird die Abwärme im gleichen Betrieb, aber in einer Maschine bzw. einem Verfahren eingesetzt aus der sie ursprünglich nicht entstand. Bei der externen Abwärmenutzung wird die Wärme nicht im Betrieb eingesetzt sondern in der Nähe oder durch Fernwärmenetze weitergeleitet. Die Wärmerückgewinnung ist wohl die einfachste Art der Abwärmenutzung und sollte bevorzugt werden, da dabei normalerweise nur geringe Entfernungen bestehen und keine gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen unterschiedlichen Verfahren und Maschinen entstehen. Bei der Verwendung der Abwärme außerhalb des Betriebes ist zu beachten, dass der Bezieher der Abwärme nicht richtig bestimmen kann wann ihm diese zur Verfügung steht und umgekehrt. Auch müssen z.B. Leitungen für die Fernwärme geschaffen werden und beim Transport der Abwärme kommt es zu Wärmeverlusten (Hirzel et al., 2013, S. 7).

Vor- und Nachteile

Vorteile der Abwärmenutzung sind, dass Energie und entsprechende Kosten eingespart und die Produktion effizienter wird. Auch wird die Umwelt entlastet und die Energieautarkie erhöht. Bei ständiger und verlässlicher Abwärmenutzung kann auch der quasi zusätzliche Heiz- und Kühlaufwand verringert werden (Hirzel et al., 2013, S. 10). Mögliche Nachteile für die Abwärmenutzung sind der zusätzliche Aufwand für das Anschaffen, Betreiben und Instandhalten entsprechender Maschinen sowie die Schulung von Personal. Für den (Teil)ausfall des Abwärmesystems müssen Ersatzabwärme-Anbieter und -verbraucher vorgehalten werden. Auch benötigt das Abwärmenetz Platz. Wenn Maschinen und Verfahren zur Abwärmenutzung von mehreren Betrieben gemeinsam genutzt werden könnte es bei technischen Problemen oder betrieblichen Veränderungen zu Schwierigkeiten kommen (Hirzel et al., 2013, S. 10). Fördernd auf die Entwicklung der Abwärmenutzung könnten sich steigende Energiepreise auswirken, da sich dadurch entsprechende Investitionen eher lohnen würden. Desweiteren wären z.B. schon vorhandene Anlagen wie Blockheizkraftwerke

sinnvoll um bei dem Ausfall von Abwärme die Versorgungssicherheit zu gewähren. Außerdem sollte für die Abwärmenutzung ein Wärmeverbraucher dessen benötigte Temperatur ungefähr der der Abwärme entspricht in der Nähe sein (U.S. DOE 2008, S. 21, 26 und 28).

Technologien zur Abwärmenutzung

Abwärme kann unmittelbar aus dem Umfeld oder einer Anlage zurückgewonnen werden indem sie z.B. mittels Wärmetauscher auf einen Träger wie Luft oder Wasser übertragen wird und für andere Verfahren genutzt werden kann. Man spricht von indirekter Abwärmenutzung wenn die Abwärmtemperatur unter zusätzlichem Energieeinsatz erhöht oder verringert wird oder die Abwärme in eine andere Energieart wie z.B. elektrischen Strom transformiert wird. Die direkte Abwärmenutzung ist meist billiger und einfacher zu bauen (Saena GmbH, 2012, S. 6). Um aus Abwärme Strom oder Kälte zu gewinnen kann diese entweder direkt umgewandelt oder zunächst in technische Arbeit umgewandelt werden. Daraus kann mit einer Kältemaschine oder einem Generator Kälte oder Strom erzeugt werden (Hirzel et al., 2013, S. 14).

Thermische Abwärmenutzung

Technologien für die thermische Abwärmenutzung sind vor allem Wärmetauscher, Wärmepumpen und Wärmespeicher. Wärmetauscher sind elementare Komponenten der Abwärmenutzung. Wärmetauscher können auch zur thermischen Erzeugung von Kälte und elektrischen Strom verwendet werden (Hirzel et al., 2013, S. 14). Mit Wärmetauschern kann die Luft die den Sauerstoff für eine Verbrennung bereitstellt erwärmt werden indem die Abwärme der Verbrennungsabgase auf die Luft übertragen wird. Durch das Vorwärmen der Luft werden weniger Energieträger für die Verbrennung benötigt wodurch weniger Verbrennungsluft benötigt wird was zu weniger Abgasen und weniger Abwärmeausstrag durch den Abgasstrom führt. Da die Einsparung an benötigter Energie mit der Temperatur der Abgase steigt lohnt sich dieses Verfahren vor allem für thermische Verfahren bzw. Öfen mit hohen Temperaturen (Saena GmbH, 2012, S. 35). Wenn die Abwärme zu einem anderen Zeitpunkt anfällt als sie benötigt wird sollten Wärmespeicher eingesetzt werden. Bei der Abwärmenutzung innerhalb eines Betriebes muss die Abwärme maximal für Tage gespeichert werden. Für die Heizung von Gebäuden muss die Abwärme mehrere Wochen bis Monate gespeichert werden, wodurch entsprechend große Wärmespeicher benötigt werden. Je nach Technik der Wärmespeicherung werden drei Arten von Wärmespeichern eingesetzt. Bei sensiblen Wärmespeichern verändert sich dessen Temperatur bei Zu- und Abfuhr der Abwärme. Die Menge an speicherbarer Abwärme hängt von der Masse und der Wärmekapazität der Speicherstoffe sowie von dem zu nutzenden Temperaturunterschied ab. Durch Latentwärmespeicher wird ein Phasenwechsel des Speichermediums zur Speicherung der Abwärme genutzt. Die zu speichernde Abwärmemen-

ge hängt von der für die Aggregatzustandsänderung benötigten Energiemenge ab. Die volumenbezogene Aufnahmefähigkeit von Abwärme durch thermochemische Speicher hängt von exo- oder endothermischen Reaktionen der Speicherstoffe ab. Neben der Häufigkeit des Ein- und Austrags von Abwärme hängt die Effektivität von Abwärmespeichern von der Dimensionierung, den Verlusten an Abwärme sowie der volumenspezifischen Speicherfähigkeit ab. Wärmespeicher müssen gut wärmeisoliert sein und ihr Oberflächen-Volumen-Verhältnis sollte möglichst gering sein, da die Abwärme des Wärmespeichers über dessen Oberfläche an das kältere Umfeld abgegeben wird und somit verloren geht. Die Wärmeisolierung des Abwärmespeichers hängt von der Wandstärke und dem Wärmedurchgangskoeffizient der Isolierung ab. Der Verlust an Abwärme hängt außerdem von dem Temperaturunterschied zwischen dem Abwärmespeicher und seiner Umwelt ab. Ein weiterer wichtiger Faktor für die Wirtschaftlichkeit eines Abwärmespeichers ist die Dauer der Abwärmespeicherung (Saena GmbH, 2012, S. 26). Durch Wärmepumpen kann Abwärme indirekt genutzt werden, da dadurch die Abwärmtemperatur verändert wird (Saena GmbH, 2012, S. 37). Wärmepumpen eignen sich dazu die Abwärmtemperatur zu erhöhen, wenn die Temperatur bei der Abwärmeentstehung für die Abwärmenutzung zu niedrig ist (LfU, 2012, S. 7). In einer Wärmepumpe wird die Abwärme eines Fluides mittels eines Verdampfer auf ein Arbeitsmedium übertragen. Dieses geht leicht in den gasförmigen Zustand über und wird dann komprimiert und bei einer höheren Temperatur im Verflüssiger die Energie wieder entzogen (LfU, 2012, S. 29). Die benötigte Antriebsenergie der Wärmepumpe wird bei Kompressionswärmepumpen durch Zufuhr von elektrischem Strom und bei Sorptionspumpen durch Wärme erzeugt (Saena GmbH, 2012, S. 37). Je geringer der Temperaturunterschied zwischen der Abwärmequelle und dem Wärmeverbraucher ist, desto effizienter ist die Wärmepumpe. Da Abwärme meist deutlich wärmer als ihre Umgebung ist eignet sie sich gut zum Betrieb einer Wärmepumpe (LfU, 2012, S. 29).

Kälteerzeugung mittels Abwärme

Wenn die Abwärme eines Betriebes nicht zur Deckung der benötigten Wärme ausreicht kann die Abwärme zur Kälteerzeugung verwendet werden. Mit Adsorptions- und Absorptionskälteanlagen wird mithilfe einer Wärmequelle Kälte gewonnen. Durch die bei der Verdampfung einer Flüssigkeit entstehende Kälte wird der Umwelt Wärme entnommen wodurch die Temperatur sinkt (LfU, 2012, S. 29). Bei den Sorptionsverfahren lagert sich wie bei den entsprechenden Wärmepumpen ein Arbeitsmedium umkehrbar an ein Sorptionsmedium an. Wenn dieses flüssig ist handelt es sich um eine Adsorption. Bei einer Adsorption ist es fest. Bei der thermomechanischen Erzeugung von Kälte wird Abwärme in technische Arbeit umgewandelt. Mit dieser kann ein externer Verdichter zur Kälteerzeugung betrieben werden (Hirzel et al., 2013, S. 19).

Stromerzeugung mittels Abwärme

Die Abwärmenutzung kann auch zur Herstellung von elektrischem Strom verwendet werden. Die Temperatur des Abwärmeerzeugers und des Wärmeverbrauchs bestimmt dabei den thermodynamisch höchstmöglichen Wirkungsgrad der thermischen Stromherstellung in einem geschlossenen Kreisprozess. Der maximal zu erreichende Wirkungsgrad ist der Carnot-Wirkungsgrad. Bei einer geringen Abwärmtemperatur bzw. Temperaturdifferenz ist der maximale Wirkungsgrad aufgrund der Thermodynamik eher niedrig. Bei der Stromerzeugung aus Abwärme gibt es Verfahren mit mechanischer Zwischenstufe und ohne. Erstere werden in der Praxis bereits verwendet (Hirzel et al., 2013, S. 19ff.). Die wichtigsten Verfahren dafür sind die Dampfturbine, der Stirlingmotor und der Organic Ranking Cycle (ORC)-Prozess. Die passende Auswahl sowie die entsprechend erreichbaren Leistungen und elektrischen Wirkungsgrade hängen vor allem von der Abwärmtemperatur ab. Abwärme mit einer zu hohen Temperatur kann für eine bestimmte Abwärmenutzung auch zuerst für die Verstromung einzusetzen (Saena GmbH, 2012, S. 41). Der ORC-Prozess eignet sich für die Verstromung von Abwärme bei Temperaturen der Abwärme von ca. 95-300 °C. Dabei wird ein organisches Arbeitsmittel mit niedrigem Siedepunkt mithilfe von Abwärme verdampft. Das gasförmige Arbeitsmittel wird dann über eine Turbine geleitet wodurch ein Generator zur Strombereitstellung betrieben wird. Das Verfahren ähnelt einem Dampf-Kraft-Prozess ohne Wasser. Die Restwärme im Arbeitsmittel kann für weitere Wärmeverbraucher bereitgestellt werden. Um den elektrischen Wirkungsgrad des Verfahrens zu maximieren sollte die Temperatur der restlichen Wärme so gering wie möglich sein. Auch führen ein möglichst dauerhafter Anlagenbetrieb unter Vollast und hohe Temperaturen der Abwärme zu einem effizienten Prozess (LfU, 2012, S. 31).

Anwendungen der Abwärme

Typische Einsatzgebiete der Abwärmenutzung sind die Heizung von Gebäuden, die Wassererwärmung und die Bereitstellung von Prozesswärme. Bei ersterem ist es am einfachsten wenn der Abwärmestrom direkt in die zu temperierenden Zimmer geführt wird. Dies bietet sich bei sauberer Abluft mit hohen Temperaturen an. Sonst kann die Abwärme über einen Wärmetauscher in die Heizungsanlage eingetragen werden. Wenn die Abwärmtemperatur über der Vorlauftemperatur (ca. 35-90 °C) der Heizungsanlage ist kann das Gebäude nur mit Abwärme beheizt werden. Falls die Temperatur dafür zu gering ist kann durch die Abwärmenutzung trotzdem Brennstoff eingespart werden, wenn die Abwärmtemperatur über der Rücklauftemperatur des Heizsystemes ist. Mit der Abwärme kann das Heizwasser im Rücklauf vortemperiert und in einem Kessel nachgewärmt werden. So kann die Heizung unterstützt und der Bedarf an maximaler Heizungsleistung verringert werden. Bei der Brauchwasserbereitung kann kaltes Trinkwasser mithilfe der Ab-

wärme auf ca. 40-65 °C erwärmt werden. Der Erwärmung von Brauchwasser kann komplett durch die Abwärme erfolgen, wenn deren Temperatur über der benötigten ist und der Abwärmestrom groß genug ist. Bei zu geringen Abwärmtemperaturen kann das benötigte Wasser durch die Abwärme vortemperiert werden. Zu beachten ist, dass der Wasserverbrauch schwanken kann. Bei passenden Temperaturen kann die Abwärme in thermischen Verfahren wie beim Trocknen, Reinigen und der Destillation eingebunden werden. Durch die Vorwärmung eines Produktes wie Klärschlamm mit Abwärme kann der Energieeinsatz für das Verfahren verringert werden. Verschiedene Prozesse benötigen verschiedene Temperaturen (LfU, 2012, S. 27 f.).

Beispiel

Das deutsche Unternehmen SAUER Polymertechnik GmbH & Co. KG wollte seine Energieeffizienz erhöhen indem es die bei der Kunststoffherstellung entstandene Abwärme zum Heizen seines Produktionsgebäudes wiederverwendete, wodurch eine zentrale Heizungsanlage ersetzt werden konnte. Dazu wurde beim Umbau der neuen Fabrik für das Blasformen 2002 ein entsprechendes Verfahren eingesetzt. 2014 wurde mithilfe der Colt-Gruppe dieses Verfahren erweitert bzw. ein Verfahren umgesetzt in dem die Abwärme der Produktionsprozesse nicht nur zum Heizen sondern auch zur Herstellung der für die Beleuchtung der Fabrik benötigten elektrischen Energie verwendet wird. Dafür wurde eine Art Aufwindschacht (Chimney Dynamo) eingesetzt. Dieser Kamin ist in einem, an die Fabrik angrenzenden, Hochregallager untergebracht. Im unteren Teil des Kamins befinden sich Ventilatoren für die an warmen Tagen nötige Luftumwälzung. Durch Wärmetauscher die sich über der Zuluftansaugung befinden wird die heiße Prozessabluft gekühlt. Über einen entsprechenden Kühlwasserkreislauf des Wärmetauschers wird die eingebrachte Außenluft somit erhitzt und steigt dann in dem Kamin auf. Durch am oberen Ende des Kamins angebrachte Windturbinen wird aus dem thermischen Auftrieb dieser Luft elektrische Energie erzeugt. Im Winter wird ein Teil der Wärme zur Gebäudeheizung zurückgewonnen. In dem bisherigen ca. zweijährigen Betrieb dieses Prozesses konnte durch die Ausnutzung der Verdunstungskühlung und der natürlichen Luftbewegung in Verbindung mit dem aus Prozessabwärme erzeugten elektrischen Stromes merkbar Energie eingespart werden. Durch das Ersetzen der zentralen Heizungsanlage der Fabrik konnten laut der SAUER Polymertechnik GmbH & Co. KG jährlich ca. 100000 € an Kosten eingespart werden. Außerdem spart das Unternehmen jährlich ca. 67000 € durch das Nutzen von Verdunstungskühlung anstatt einer Klimaanlage ein. Desweiteren werden jährlich zwischen 60000 € und 230000 € durch das Erzeugen der Energie mithilfe des Dynamos eingespart. Das Verfahren amortisiert sich somit voraussichtlich in relativ kurzer Zeit (Colt Group Ltd, 2015; SAUER Polymertechnik GmbH & Co. KG).

Literatur

- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2012. Abwärmennutzung im Betrieb, Klima schützen – Kosten senken.
- Colt Group Ltd, 2015. Sauer Polymer Technology: a cooling system that generates energy. <http://www.coltgroup.com/sauer-polymer-technology.html>, aufgerufen: 29.11.2015.
- Hirzel, Simon, Sontag, Benjamin und Rohde, Clemes, 2013. Kurzstudie: Industrielle Abwärmennutzung. Karlsruhe: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI).
- Pehnt, Martin, Bödeker, Jan, Arens, Marlene, Jochem, Eberhardt, Idrissova, Farikha, 2010. Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung. Bericht im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiati-
ve“. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu).
- Rohde, Clemens, 2012. Erstellung von Anwendungsbilanzen für das Jahr 2011 für das verarbeitende Gewerbe. Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB). Karlsruhe: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI).
- Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH, 2012. Technologien der Abwärmennutzung. 1. Auflage.
- SAUER Polymertechnik GmbH & Co. KG. Umweltschutz. http://www.sauer-polymertechnik.de/qual_umwelt_2.html, aufgerufen: 29.11.2015.
- U.S. Department of Energy (U.S. DOE) (Hrsg.), 2008. Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in the U.S. Industry.

Curriculum Vitae

Kevin Rehm

Ausbildung:

- | | |
|-----------|--|
| 2010 | Abitur am Humboldt-Gymnasium Ulm |
| 2010-2011 | zwei Semester Energie- und Ressourcenmanagement an der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen |
| 2011-2015 | Bachelor-Studium der industriellen Biotechnologie an der Hochschule Biberach |
| Seit 2015 | Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik an der Hochschule Ravensburg-Weingarten und der Hochschule Konstanz |

Feinstaub: Gefahren, gesetzliche Normen und Reduzierungsmaßnahmen

Arne Wenger¹

¹ HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: arwenger@htwg-konstanz.de

Abstract

The term particulate matter describes a mixture of solid and liquid particles with a maximum diameter of 10 microns. These are not visible to the human eye. Several studies in recent years documented a negative impact of a high concentration of particulate matter on health, especially on the respiratory system.

Main producers of particulate matter is the man, by emissions from motor vehicles, furnaces in homes, or in the steel and metal production

For environmental protection and for the protection of human health, there are limits on the concentration of particulate matter in EU. To comply with these limits, the policy has created environmental zones, which should ensure a better air, especially in metropolitan areas and large cities. New technical measures also ensure a less polluted air.

Einleitung

Der Begriff Feinstaub bezeichnet ein Gemisch fester und flüssiger Partikel, mit einem maximalen Durchmesser von 10 µm. Diese sind für das bloße Auge nicht sichtbar. Mehrere Studien der letzten Jahre belegten einen negativen Einfluss einer hohen Feinstaubkonzentration auf die Gesundheit, vor allem auf die Atemwege. (UBA 2009)

Haupterzeuger von Feinstaub ist der Mensch. Sei es durch Emissionen von Kraftfahrzeugen, Öfen in Wohnhäusern, oder bei der Stahl- und Metallerzeugung. (Hainsch 2003)

Zum Umweltschutz und zum Schutze der menschlichen Gesundheit gibt es europaweit Grenzwerte für die Feinstaubkonzentration. Zur Einhaltung dieser Grenzwerte hat die Politik unter anderem Umweltzonen geschaffen, welche vor allem in Ballungsgebieten und Großstädten für eine bessere Luft sorgen sollen. Um den gesetzlichen Anforderungen zu genügen und für eine nachhaltige Zukunft zu sorgen, müssen und werden von der Industrie Methoden entwickelt um die Emissionen von Kraftfahrzeugen und großindustriellen Anlagen zu verringern.

Was versteht man unter „Feinstaub“

Der Begriff Feinstaub (engl. particulate matter) bezeichnet alle kleinen Teilchen in der Atmosphäre, welche in der Luft schweben und nicht sofort zu Boden sinken. Bei Staub, welcher direkt aus der Quelle stammt (wie zB. bei einem Verbrennungsprozess), handelt es sich um einen sogenannten Primärfeinstaub. Eine andere Möglichkeit zur Bildung von Feinstaub ist die Entstehung aus gasförmigen Substanzen, wie Ammoniak, Kohlenwasserstoffe oder Stickoxide. Diese Stäube werden dann als Sekundärfeinstäube betrachtet. (UBA 2009)

Particulate Matter

Zur besseren Charakterisierung von Staub in der Luft dient der Particulate Matter Standard (PM-Standard). Die Einteilung von Stäuben geschieht hierbei über ihren aerodynamischen Durchmesser in µm. Dies ist der Durchmesser einer Kugel mit einer Dichte von 1 g/cm³, welche dieselbe Sinkgeschwindigkeit aufweist wie das zu charakterisierende Partikel. Vernünftig ist die Angabe des aerodynamischen Durchmessers bei Partikeln mit einer Größe von mehr als 0,5µm, da bei diesem der entscheidende Ablagerungsprozess die Sedimentation ist. Für Feinstaub sind die zwei Größenklassen PM10 und PM2,5 gebräuchlich, also Teilchen mit einem maximalen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm. Bei größeren Stäuben handelt es sich um normalen Schwebstaub, welcher teilweise auch sichtbar sein kann. (Kappis 2007; Hainsch 2003)

Bestandteile

Die Bestandteile des PM10 teilen sich in viele verschiedene Stoffe auf. In nachfolgender Tabelle sind die von ihrer Anzahl Wichtigsten (welche mehr als jeweils ein Prozent Bestandteil des Feinstaubes ausmachen) aufgelistet. Die genauen Bestandteile und Prozentsätze variieren je nach Ort der Messung. Für die Tabelle wurden Messwerte einer städtischen Messstelle herangezogen.

Tabelle 1: Feinstaubbestandteile

Inhaltsstoff	Anteil in %
Natriumoxid	1,7
Calciumoxid	1,9
Chlorid	2,6
Eisenoxid	4,9
Ammonium	7,9
Sulfat	13
Nitrat	14
Ruß	15
Semivolatile organische Verbindungen	23

Quelle: Kappis 2007

Verhalten in der Luft

Die Bildung, Umwandlung und Entfernung von Partikeln in der Atmosphäre findet kontinuierlich statt. Beispielsweise können mehrere Feinstaubpartikel aneinander anhaften und nach dieser Koagulation nicht mehr in die Definition des PM10 fallen. Außerdem findet auch bei Feinstaub langsame Sedimentation in Richtung Boden statt. Kommt es zu Regen, so werden Partikel von den Tropfen eingefangen und aus der Luft ausgewaschen. Im Umkehrschluss werden aber auch durch verdampfendes Regenwasser wieder neue Partikel freigesetzt. Die Verweildauer von Stäuben in der Luft hängt von ihrer Größe, Form und Masse ab, da diese Faktoren bestimmen, wie

schnell die Teilchen sedimentieren. Bei Partikeln der Kategorie PM_{2,5} ist davon auszugehen, dass die Verweildauer lediglich vom Niederschlag abhängig ist, da die Erdanziehung bei solch kleinen Partikeln nicht für eine Sedimentation ausreicht. Aufgrund ihrer im Vergleich zu größeren Stäuben langen Verweilzeit in der Atmosphäre, können Feinstäube über relativ große Distanzen transportiert werden. (Kappis 2007; Hainsch 2003)

Gesundheitliche Risiken für den Menschen

Im folgenden Abschnitt wird die gesundheitsschädliche Wirkung des Feinstaubes auf den Menschen erläutert. Dieser hat natürlich ebenfalls negative Wirkung auf die Tier- und Pflanzenwelt, an dieser Stelle soll aber lediglich die Auswirkung auf den Menschen beschrieben werden. (Hainsch 2003)

Im Gegensatz zu anderen Luftschadstoffen gibt es bei Feinstaub keine Schwelle unter der dieser als nicht gefährlich einzustufen ist. Dies macht ihn zu einer besonderen Gefahr. Die Toxizität des Feinstaubes ist vor allem von dessen Größe abhängig. Die Größe ist entscheidend dafür, wie tief Stäube in den Atemtrakt und somit in den menschlichen Körper eindringen können. Partikel welche größer als 10 µm sind (und somit nicht zur Kategorie Feinstaub gehören) werden bereits in der Nase, bzw. im Mund/Rachenraum zurückgehalten. PM₁₀-Partikel werden von den körpereigenen Schutzmechanismen nicht zurückgehalten, und dringen in die Lunge ein, wo sie sich an den Bronchien und Lungenbläschen ablagern. Kleinere Partikel der Kategorie PM_{2,5} können in die Lungenbläschen eindringen und über diese in den Blutkreislauf gelangen. Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal von PM_{2,5} ist, dass sich an ihrer Oberfläche polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Schwermetalle anlagern können, welche kanzerogen wirken. Durch die verhältnismäßig größere Oberfläche können kleine Teilchen mehr PAKs und Schwermetalle anlagern, als gleichvolumige größere Partikel. (UBA 2009; Sukopp und Blume 1993, 74-75)

Durch die verbundenen Systeme Atmung und Blutkreislauf, kann ein System das andere negativ beeinträchtigen. Dies hat zur Folge, dass erhöhte Feinstaubkonzentrationen nicht nur die Lunge, sondern auch Herz und Kreislauf, schädigen. Die genauen Wirkungen von PM₁₀ in der Atmosphäre werden in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 2: Wirkung von PM₁₀

Kurzzeiteffekte	Langzeiteffekte
Entzündungen in der Lunge	Zunahme der Symptome im unteren Atemtrakt
Symptome im Atemtrakt	Reduzierte Lungenfunktion

Kurzzeiteffekte	Langzeiteffekte
Effekte auf das Herz-Kreislaufsystem	Chronische Bronchitis
Zunehmender Medikamentenbedarf	Zunahme von Asthma
Zunahme von Krankenhausaufnahmen	Reduzierte Lebenserwartung
Erhöhung der Mortalität	

Quelle: Kappis 2007

Eine Studie der EU-Kommission fand heraus, dass durch die Luftverschmutzung (vor allem Feinstaub) in der EU, jährlich ca. 370.000 Menschen vorzeitig sterben und die durchschnittliche Lebenserwartung um 9 Monate sinkt. Zu erwähnen sind an dieser Stelle noch die Kosten der gesundheitlichen Schäden für die Wirtschaft von zwischen 430 und 790 Milliarden Euro jährlich. (Europäische Kommission 2005)

Wer sind die Haupterzeuger?

Die Feinstaubexposition variiert von Ort zu Ort. Weltweit betrachtet sind nur 10 % der atmosphärischen Partikel anthropogenen Ursprungs (Hainsch 2003). Wird die Atmosphäre aber regional bzw. lokal betrachtet, so sind die menschlichen Einflussfaktoren weitaus größer. Wichtig bei der Herangehensweise zur Suche nach den Erzeugern ist es zu wissen, dass Feinstaub über große Entfernungen über Luftwinde transportiert werden kann. Die Folge ist eine komplexe Partikelherkunft an einer beliebigen Messstation, sei diese in urbanen oder ländlichen Regionen aufgestellt.

Anthropogene Erzeuger

Kraftfahrzeuge

Bei Messungen zeigt sich, dass Überschreitungen der Grenzwerte (auf welche im nächsten Kapitel genauer eingegangen wird) meist in Bereichen mit einem hohen Verkehrsaufkommen stattfinden. PKW, LKW und Busse können auf verschiedene Arten Kleinstpartikel erzeugen. (SRU 2005)

Eine Quelle stellt der Abrieb von Bremsbelägen und Reifen dar. Durch den Kontakt der Reifen mit der Straßenoberfläche entstehen Reibungskräfte. Diese werden in Wärme umgesetzt, oder lösen Teilchen aus dem Reifen, welche aufgewirbelt in die Luft gelangen. Die Größe der Teilchen variiert, und erreicht PM₁₀, nicht aber PM_{2,5}. Bei Bremsbelägen zeigt sich durch Abnutzung der gleiche Effekt. (Hainsch 2003)

Eine weitere relevante Quelle ist die Dieselrußemission. Bei dem Einspritzen des Kraftstoffs in den Brennraum, entsteht zusammen mit der Ansaugluft ein Gemisch aus Luft und Kraftstoff, welches selbstentzündend ist bei Temperaturen über 1000 °C. Teilweise kommt es in diesem Gemisch zu unvollständigen Verbrennungen,

wodurch Dieselruß entsteht und daraufhin emittiert wird. (Hainsch 2003)

Bei der Messung von Feinstaub, welcher unmittelbar von dem Verkehr verursacht wird, wurde festgestellt, dass dieser teilweise aus mineralischen Materialien zusammengesetzt ist. Diese können bei Abrieb von Reifen und Bremsen, ebenso wie bei der Dieselrußemission nicht entstehen. Mineralische Anteile des Feinstaubes können nur auf eine Aufwirbelung von sedimentiertem Staub auf der Fahrbahnoberfläche zurückgeführt werden. Dieser Vorgang wird Resuspension bezeichnet. (Hainsch 2003)

Industrie und Landwirtschaft

Bei der Landwirtschaft, insbesondere der Tierhaltung, entstehen gasförmige Stoffe, wie zB. Ammoniak. Diese können durch chemische Reaktion zu sekundären Feinstaubpartikeln werden. Primäre Partikel können bspw. bei der Bearbeitung der Felder entstehen.

In industriellen Anlagen kann eine Vielzahl an unterschiedlichen Verarbeitungsprozessen, eine Feinstaubemission zur Folge haben. Nachfolgend sind sie Branchenspezifisch aufgelistet.

Tabelle 3: Industrielle Erzeuger

Industrie	Anteil in %
Metallverarbeitung	58,1
Baustoffe, Keramik, Glas, Steine	21,8
Bergbau	7,8
Chemische Industrie	6,6
Zellstoff, Holz	3,7
Nahrungs- und Futtermittel	1,3
Abfallbeseitigung	0,7

Quelle: Hainsch 2003

Private Haushalte

Der Hausbrand stellt eine weitere wichtige Quelle der Feinstaubemission dar. Die Erzeugung von Heizwärme und Warmwasser erfolgt meist durch Kleinf Feuerungsanlagen, welche durch Erdgas, Kohle und Öl betrieben werden. Da bei der Verbrennung von Erdgas keine Partikel freigesetzt werden, ist diese Art der Heizung für die Feinstaubbelastung irrelevant. Bei der Verbrennung von Kohle und Öl schwankt die Partikelemission je nach der Verbrennerart und der Verwendeten Öl- und Kohleart. Mehr als 90 % der entstehenden Partikel fallen in die Kategorie PM10. Durch die Entwicklung zu einem vermehrten Einsatz von Erdgas, reduzierte sich die Feinstaubemission durch Hausbrand in den letzten Jahren. (Hainsch 2003)

Natürliche Erzeuger

Global betrachtet spielt der, durch natürliche Prozesse entstandene, Feinstaub die größte Rolle. Eine Quelle ist die Winderosion. Hierbei werden kleine Partikel des Erdbodens durch Wind abgetragen und gelangen in die Atmosphäre. Zu einem großen Teil handelt es sich dabei um groben Staub, es werden aber auch Feinstaubpartikel gemessen. (Hainsch 2003; UBA 2009)

Die relevanteste Quelle sind Waldbrände und Vulkanausbrüche. Hier werden enorme Mengen an Partikeln freigesetzt. Meist werden sie im Laufe der Zeit sedimentiert, oder durch Niederschlag aus der Luft ausgewaschen. (Hainsch 2003; UBA 2009)

Feinstaubquellen am Beispiel Berlin

Zur Übersicht über die prozentualen Anteile der verschiedenen Quellen werden diese, in folgender Tabelle am Beispiel Berlin, aufgelistet. Die lokale Belastung beschreibt hier die Quellen, welche sich in näherer Umgebung der Messstation befinden, der urbane Hintergrund bezieht sich auf ganz Berlin und der regionale Hintergrund auf das Umland.

Tabelle 4: Feinstaubbelastung in Berlin

	Quellen	Anteil in %
Lokale Belastung	Aufwirbelung/Abrieb	15
	Auspuffabgase	11
Urbane Hintergrund	Auspuffabgase	9
	Sonstige Quellen	7
	Aufwirbelung/Abrieb	6
	Hausbrand	3
	Industrie	1
	Heiz/Kraftwerke	1
Regionaler Hintergrund	Industrie	14
	Heiz/Kraftwerke	9
	Sonstige Quellen	7
	Auspuffabgase	7
	Hausbrand	5
	Landwirtschaft	4
	Aufwirbelung/Abrieb	1

Quelle: SRU 2005

Grenzwerte

Aufgrund der Fähigkeit von Feinstaub über lange Strecken hinweg transportabel sein zu können, ist es für den Schutz der Gesundheit wichtig, nicht nur lokal die Feinstaubzeugung zu verringern, sondern flächendeckend. Deswegen gelten seit dem 01. Januar 2005 europaweit gesundheitliche Grenzwerte für die Außenluft. Diese betragen $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) für den Tagesmittelwert und $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) für den Jahresmittelwert (UBA 2009). Dabei ist es zulässig, dass der Tagesmittelwert bis zu 35-mal pro Jahr überschritten werden darf. Diese Grenzwerte konnten in den letzten Jahren mehrfach nicht eingehalten werden. Im Jahr 2014 kam es allein in Stuttgart zu mehr als 60 Tagen an denen der Grenzwert überschritten wurde. Üblicherweise begünstigen bestimmte Witterungsverhältnisse, wie lange Trockenheit, eine erhöhte Feinstaubkonzentration. (SRU 2005; UBA 2009)

Für heimische Kamine oder Kachelöfen gilt ein Grenzwert von $150 \text{ mg}/\text{m}^3$. Sollte der jeweilige Kamin den Anforderungen nicht genügen, so gilt ein langfristiger Zeitplan zur Umrüstung desselbigen. (UBA)

Reduzierungsmaßnahmen

Zur Reduzierung der Feinstaubkonzentration in der Luft, und um die gesetzlichen Grenzwerte einzuhalten, gibt es zwei verschiedene Ansätze: Erstens alle nicht-technischen Maßnahmen, wie die Verringerung des allgemeinen Verkehrsaufkommens, und zweitens technische Maßnahmen, wie zB. die Verminderung der Emissionen durch bessere Filter, oder ähnliches. Keine richtigen Lösungen sind bspw. punktuelle Verkehrsbeschränkungen, welche den Verkehrsfluss lediglich verlagern, wodurch sich durch den hohen Grad an Mobilität der Partikel auch lokal keine Verringerung der Feinstaubkonzentration ergibt. (SRU 2005; UBA 2009)

Nicht-technische Maßnahmen

Selektive Verkehrsbeschränkungen/Umweltzonen

Der Staat hat viele Möglichkeiten auf eine Verringerung des Feinstaubes in der Atmosphäre hinzuwirken. Eine Möglichkeit sind selektive Verkehrsbeschränkungen. Diese sogenannten Umweltzonen dürfen nur von Fahrzeugen mit geringen Schadstoffemissionen befahren werden. Dies senkt nicht nur die Feinstaubbelastung lokal, sondern stellt außerdem für den Verbraucher einen Anreiz dar, umweltschonendere Fahrzeuge zu erwerben. Messungen haben gezeigt, dass Umweltzonen die Feinstaubbelastung um 10-12 % senken können, was etwa 20 Grenzwertüberschreitungstagen entspricht. (UBA 2015; UBA 2009; Böhme et al. 2012, 144-145)

ÖPNV/Radverkehr

Eine weitere Möglichkeit um die PM10, und PM2,5-Konzentration zu verringern, sind die Ausweitung des ÖPNV, so wie die Förderung einer fußgänger- und fahrradfreundlichen Stadt. Beides führt zu weniger Straßen-

verkehr. Die Erneuerung alter Busse ist ebenfalls erstrebenswert, da diese oftmals keine, oder nur sehr schlechte Partikelfilter eingebaut haben. (Kappis 2007; UBA 2009)

Geschwindigkeitsbegrenzungen

Auch strengere Geschwindigkeitsbegrenzungen können zu einer Feinstaubverringerung beitragen. In Berlin wurde bspw. mit einer Tempo 30 Zone in einer Hauptverkehrsstraße die Feinstaubkonzentration in der Luft um 6 % reduziert. Es wird davon ausgegangen, dass ein Tempolimit von 80 km/h auf Schnellstraßen und Autobahnen die Feinstaubemissionen um 30-70 % verringern würde. (UBA 2009)

Technische Maßnahmen

PKW

Der Einsatz von Rußpartikelfiltern ist der wesentliche Ansatz zur Verringerung der Verkehrsemissionen. Diese modernen Partikelfilter können die Teilchenemission um bis zu 90 % reduzieren. Sie sind zudem in der Lage auch die Partikel der Kategorie PM2,5 aus den Abgasen herauszufiltern, welche besonders gesundheitsschädlich sind. Da die Rußpartikel durch eine unvollständige Verbrennung innerhalb des Motors entstehen, stellt die Optimierung von Motorbauweisen ebenfalls ein technisches Mittel dar zur Minderung der Emission. Hilfreich sind bspw. verbesserte Brennraumgeometrien und elektronisch gesteuerte Kraftstoffdosierungen für optimierte Verbrennungsabläufe. Da der Abrieb von Reifen und Bremsen zudem eine wichtige Feinstaubquelle darstellt, können abriebarme Reifen/Bremsen ebenso zu einer Feinstaubminderung beitragen. (SRU 2005; UBA 2009; Buchwald 1978, 155)

Industrie

Durch verbesserte Abgasreinigung und modernere Entstaubungstechniken sanken die Feinstaubemissionen aller Industrieprozesse zusammengenommen um 19 % in den Jahren von 1990 bis 2003. Neben besseren Reinigungsmethoden ist eine weitere Methode das Einhausen von Anlagen. Hierbei finden staubproduzierende Abläufe nicht im freien statt, sondern in geschlossenen Räumen, bei welchen die Abluft gefiltert werden kann. (UBA 2009)

Wie bei Abrissbaustellen des Öfteren zu beobachten ist, wirkt eine Befeuchtung des staubenden Materials ebenfalls staubmindernd.

Landwirtschaft

Wie oben beschrieben, trägt auch die Landwirtschaft zur Feinstaubkonzentration in der Atmosphäre bei. Folgende Tabelle zeigt einige Maßnahmen, wie in den Bereichen Tierhaltung und Pflanzenanbau, der Entstehung von Feinstaub entgegengewirkt werden kann:

Tabelle 5: Emissionsminderung in der Landwirtschaft

Tierhaltung	Verkürzung der Mastdauer
	Verringerter Stallaufenthalt/ Verlängerung des Weidegangs
	Abluftanlagen in Ställen
Pflanzenanbau	Abdeckung der Düngerlagerstätten
	Optimierte Düngermengen
	Verringerter Einsatz von Harnstoffdüngern

Quelle: Bultjes et al. 2012

Ausblick

Zahlreiche Studien der letzten Jahre belegen einen negativen Einfluss des Feinstaubes auf Mensch und Umwelt. Die Politik ist gewillt, die Feinstaubexposition zu reduzieren. Hierfür gibt es bereits mehrere Maßnahmen, wie zB. Umweltzonen. Messungen zeigen jedoch, dass trotz allem vorwiegend in Ballungsgebieten die gesetzlichen Vorgaben regelmäßig überschritten werden. Deshalb ist es wichtig, in der Zukunft ganzheitliche Methoden entwickelt und umgesetzt werden. Denn durch diverse Transportprozesse des Feinstaubes sind lokale Lösungen immer nur begrenzt wirksam.

Literaturverzeichnis

- Böhme, Christa; Kliemke, Christa; Reimann, Bettina; Süß, Waldemar, 2012: Handbuch Stadtplanung und Gesundheit. 1. Aufl. s.l.: Verlag Hans Huber. Online verfügbar unter <http://elibrary.hogrefe.de/9783456950440/A>. 139 - 148
- Buchwald, Konrad (Hg.), 1978: Handbuch für Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt. München. 143 - 161
- Bultjes, Peter; Jörß, Wolfram; Stern, Rainer; Theloke, Jochen, 2012: Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/strategien-zur-verminderung-feinstaubbelastung>, zuletzt geprüft am 06.12.2015.
- Europäische Kommission, 2005: Thematische Strategie zur Bekämpfung der Luftverschmutzung - Fragen und Antworten. Brüssel. Online verfügbar unter http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-05-334_de.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2015.
- Hainsch, Andreas, 2003: Ursachenanalyse der PM10-Immission in urbanen Gebieten am Beispiel der

Stadt Berlin. Dissertation. Technischen Universität Berlin, Berlin.

Kappis, Christel, 2007: Studie zum wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential (qualitativ und quantitativ) von Pflanzen. Unter Mitarbeit von Olga Gorbachevskaya, Christel Kappis, Rafael Valbuena, Hendrikje Schreiter, Anne Bergsträßer, Heidi Riedel und Babett Waschke. Hg. v. Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin, (IASP). Berlin.

SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2005: Feinstaub durch Straßenverkehr – Bundespolitischer Handlungsbedarf (6). Online verfügbar unter http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2005_Stellung_Feinstaub_durch_Strassenverkehr.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2015.

Sukopp, Herbert; Blume, Hans-Peter (Hg.), 1993: Stadtökologie. 96 Tabellen. Stuttgart: Fischer. 74 - 76

UBA, Umweltbundesamt: Kamin und Co. werden sauberer: neue Grenzwerte ab 2015, 2013. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/kamin-co-werden-sauberer-neue-grenzwerte-ab-2015>, zuletzt geprüft am 14.11.2015.

UBA, Umweltbundesamt, 2009: Feinstaubbelastung in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3565.pdf>, zuletzt geprüft am 06.12.2015.

UBA, Umweltbundesamt, 2015: Umweltzonen in Deutschland. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/feinstaub/umweltzonen-in-deutschland>, zuletzt geprüft am 29.11.2015.

Curriculum Vitae

Arne Wenger

Ausbildung:

- | | |
|-----------|--|
| 2011 | Abitur am Gymnasium am Mosbacher Berg, Wiesbaden |
| 2011-2015 | Bachelor-Studium des Physikalischen Ingenieurwesens an der nta Hochschule Isny |
| Seit 2015 | Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik Hochschule Konstanz |

Biokraftstoffe – Chancen und Herausforderungen

Konstantin Bode

HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: Konstantin.Bode@htwg-konstanz.de

Abstract

Biofuels are fuels which are produced from renewable biological raw material. This makes biofuel very interesting, both for its long-term availability and for its beneficial carbon dioxide balance. Biofuels are used in order to support and reduce the amount of fossil fuels used in transportation. Biodiesel, Bioethanol, and Biogas are the most prominent types of biofuels nowadays. However, biofuels are far from being inerrant: the crop area used for biofuels is often in direct competition with the crop area for aliment. Moreover, some countries destroy tropical rainforest to gain crop area for sugar cane or palm-oil plantations – raw material for biofuel. Therefore, it is of high importance to investigate and develop new processes, which generate biofuel not from foodstuff, but from agricultural leftovers, like straw. Processes as such do exist and build the foundation for the future use of biofuels in transportation.

Einleitung

Biokraftstoffe unterscheiden sich von konventionellen Kraftstoffen dadurch, dass sie aus nachwachsenden Rohstoffen (Biomasse) hergestellt werden. Die wichtigsten Biokraftstoffe sind Biodiesel, Bioethanol und Biogas. Die ersten beiden sind flüssige Kraftstoffe, welche sich aufgrund Ihrer vergleichbaren Eigenschaften zu konventionellen Kraftstoffen (z.B. Energiedichte) leicht in das bestehende Transportsystem implementieren lassen. Da Biokraftstoffe aus nachwachsenden Ressourcen hergestellt werden, sind sie nahezu unbegrenzt verfügbar. Dies hat außerdem zur Folge, dass bei der Verbrennung von Biokraftstoffen nur die Mengen an Kohlenstoffdioxid frei werden, welche zuvor von derselben Biomasse fixiert wurden. Das heißt jedoch nicht, dass Biokraftstoffe Kohlenstoffdioxid-neutral sind. Herstellungsverfahren und Transport sorgen auch hier bisher für eine negative Kohlenstoffdioxid-Bilanz. Biokraftstoffe der so genannten „ersten Generation“, werden oftmals aus Feldfrüchten hergestellt (z.B. Mais oder Raps) die auch ernährungsphysiologische Relevanz haben. So werden auf landwirtschaftlichen Anbauflächen vermehrt Pflanzen für die Biokraftstoffherstellung angebaut welche auch für die Nahrungsmittelindustrie verwendet werden könnten. Neuere Herstellungsverfahren konzentrieren sich deswegen auf die Kraftstoffgenerierung aus landwirtschaftlichen Überresten, z.B. Stroh, oder speziellen Energiepflanzen, um Biokraftstoffe der „zweiten Generation“ zu generieren (FNR, 2014; UBA, 2015).

Kraftstoffarten

Biodiesel, Bioethanol, Pflanzenöle und Methan aus Biogas sind die Biokraftstoffe die in Deutschland die größte Rolle spielen. Konkrete Zahlen werden in Abbildung 1 ersichtlich. Hier wird deutlich, dass Biodiesel mit 55,9% der Gesamtmasse der verbrauchten Biokraftstoffe, den größten

Anteil der Biokraftstoffe in Deutschland darstellt. Als zweithäufigster Biokraftstoff wird Bioethanol, mit 27,1% von der Gesamtmasse aufgeführt. Die übrigen Biokraftstoffe nehmen einen geringeren Stellenwert ein (FNR, 2014). Seit der Verabschiedung des Biokraftstoffquotengesetzes (BioKraftQuG) im Jahr 2006, musste fossilen Kraftstoffen ein steigender Anteil an Biokraftstoffen beigemischt werden. Seit 2015 bezieht sich das BioKraftQuG nicht mehr auf eine prozentuale Beimischung der Biokraftstoffe in fossile Kraftstoffe, sondern auf eine Verminderung der Treibhausgase (i.Bes. Kohlenstoffdioxid). So sollen im Jahr 2015, 3 %, im Jahr 2017 4,5 % und im Jahr 2020 schließlich 7,0 % Treibhausgase eingespart werden (FNR, 2014; BMUB, n.bek.).

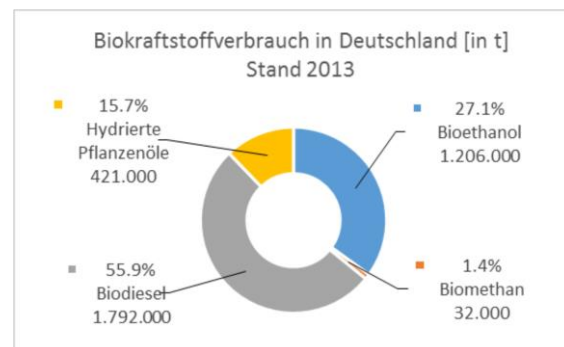


Abbildung 1: Biokraftstoffverbrauch in Tonnen (t) 2013

Quelle: verändert nach FNR 2014

Biodiesel

Biodiesel wird in Deutschland hauptsächlich aus Raps hergestellt, welcher in Deutschland in großen Mengen angebaut wird. Unter anderen klimatischen Bedingungen werden Palmöl (Asien) oder Sojaöl (USA) als Grundlage für die Biodieselproduktion verwendet. Grundsätzlich kommt für die Produktion von Biodiesel, auch die Verwertung von Altpeisefetten in Frage. Jedoch nimmt dieses „Fettrecycling“ im Moment nur 13% der Biodieselproduktion in Deutschland ein. Biodiesel wird hauptsächlich durch Umesterung von Pflanzenölen mit Methanol hergestellt. Das verwendete Methanol kann im Prozess recycelt werden. Als Nebenprodukt entsteht Glycerin. Dieses kann nach entsprechender Aufreinigung in der Kosmetik- und Pharmaindustrie weiterverwendet werden. Außerdem erschließen sich Anwendungsbereiche in der Biotechnologie oder Glycerin in Kombination mit Isobuten als Kraftstoffzusatz. Biodiesel wird entweder als Beimischung B5 oder B7 (jeweils 5% bzw. 7% Biodiesel) zu konventionellen Kraftstoffen oder als Reinkraftstoff B100 verwendet. Der Biodieselabsatz in Deutschland ist seit 2007 rückläufig. Vor allem die Verwendung von Reinstoff geht immer weiter zurück. So wurde im Jahr 2013 fast nur noch Biodiesel als

Kraftstoffbeimischung verwendet (biotechnologie.de, 2009; innovations report, 2005; FNR, 2014).

Bioethanol

Zur Herstellung von Bioethanol wird in Deutschland hauptsächlich Weizen, Zuckerrüben und Roggen vergoren. Als Nebenprodukte entstehen hierbei Proteine, welche als Kraftfutter in der Viehzucht verwendet werden können. Bioethanol wird in Deutschland hauptsächlich 10% (v/v) zu Otto-Kraftstoff hinzugefügt (E10). Diese Beimischung erhöht die Klopfestigkeit des Gemischs. Jedoch hat Ethanol einen deutlich niedrigeren Brennwert als Ottokraftstoff und zusätzlich einen wesentlich höheren Dampfdruck. Der daraus resultierende höhere Kraftstoffverbrauch pro Kilometer und dessen schwierigeres Handling beeinflussen dennoch nicht die Absatzzahlen von Bioethanol. Diese stiegen bis zum Jahr 2012 kontinuierlich an (FNR, 2014).

Biomass to liquid (Btl)

„Biomass to liquid“ ist ein Sammelbegriff für eine Vielzahl an Biokraftstoffen. Biomass to liquid (Btl) ist eigentlich eine Verfahrensbeschreibung. Hierbei wird Biomasse zuerst thermochemisch vergast. Bei der anschließenden Synthese werden aus den Gasen flüssige Kohlenwasserstoffe generiert. Diese Prozesse sind seit langem aus der Ölindustrie bekannt und somit sehr weit fortgeschritten. Allerdings wird Btl noch nicht kommerziell vertrieben (FNR, 2014). Es ist jedoch eine zukunftssträchtige Methode, da sowohl eine größere Vielzahl an Rohstoffen (z.B. Abfallstoffe aus der Landwirtschaft) genutzt werden kann als bei anderen Biokraftstoffen, als auch die Kraftstoffqualität äquivalent der heute genutzten fossilen Rohstoffe ist (dena, 2006). In Deutschland ist seit 2014 eine Pilotanlage in Betrieb, welche wichtige Erkenntnisse für die Zukunftsfähigkeit dieser Technologie sammelt (bioliq®, 2014).

Anbau der Biomasse

Der Anbau von Biomasse erfolgt in unterschiedlichen Umgebungen. Zum einen gibt es agrarwirtschaftlich genutzte Flächen auf denen Feldfrüchte angebaut werden, zum anderen gibt es Forstflächen, auf denen Biomasse in Form von Energiepflanzen angebaut wird (dena, 2006). In Deutschland werden für die Biokraftstoffherstellung hauptsächlich Raps, Zuckerrüben und Getreide angebaut (Bundesregierung, 2015). Sowohl das BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) als auch die FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) unterstützen den Anbau von Biomasse für Biokraftstoffe in der Landwirtschaft da Sie Potentiale in neuen, abwechslungsreichen Fruchtfolgen, auch für die Nahrungsmittelherstellung sehen (BMEL, n.bek.). Gerade im Zusammenhang mit dem Anbau von Biomasse für die Biokraftstoffproduktion in der Landwirtschaft gibt es jedoch Debatten darüber, ob die angebauten Feldfrüchte nicht auch als Nahrungsmittel dienen könnten. So argumentieren Umweltschützer, dass der Anbau von Energiepflanzen (Mais, Palmöl, Raps,

Soja) den Anbau von Nahrungsmitteln verdrängt und somit den „Hunger der Welt“ weiter anheizt (Greenpeace, 2015). Dies wird besonders deutlich, wenn man sich die Zahlen der Food and Agricultural Organization (FAO) vor Augen führt, welche besagen, dass auch heute noch 793 Millionen Menschen auf der Erde chronisch hungern (FAO, 2015). Weiterhin stelle die (Brand-)Rodung von Regenwäldern um Anbaufläche für Energiepflanzen zu gewinnen, sowie deren extensive Düngung, eine große Rolle beim Klimawandel dar und trage zur negativen CO₂-Bilanz der „Biokraftstoffe“ bei. Da Deutschland nach Aussagen der Umweltschützer fast 40% der Rohstoffe für die Biokraftstoffproduktion importiert, ist die Bundesrepublik auch mit ihrer „Biokraftstoff“-Politik beteiligt an der Misere der globalen Erwärmung (Greenpeace, 2014). Diesen Aussagen widerspricht die deutsche Bundesregierung in dem Sie darauf verweist, dass Biokraftstoffe in Deutschland zum Großteil aus heimischer Biomasse hergestellt werden und nur geringe Mengen an z.B. Palmöl für die Biodieselproduktion importiert werden (Bundesregierung, 2015). Besonders sind hierfür unabhängige Kontrollen anzuführen bei denen komplett gegensätzliche Messergebnisse dargestellt werden. Hier stehen Aussagen der Umweltschützer, gegen Aussagen der Bundesregierung (Greenpeace, 2015; Bundesregierung, 2015).

Im Jahr 2009 wurde in Deutschland die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) eingeführt um genau jenen Problemen der Kraftstoff-Nahrungsmittel-Konkurrenz und der Abholzung von Regenwäldern entgegenzuwirken. In dieser wird aufgelistet, welche Arten von Biomasse zukünftig nicht für die Biokraftstoffproduktion verwendet werden dürfen. Konkret geht es dabei um Biomasse aus „Flächen mit hohem Naturschutzwert, Kohlenstoffbestand oder Torfmooren“ (BMJV, 2015). Weiterhin muss die Emissionsbilanz von Biokraftstoffen gegenüber fossilen Brennstoffen einer Emissionsminderung von mindestens 35% gerecht werden. Um diese umfangreichen Anforderungen sicher überprüfen zu können wurde ein aufwendiges Zertifizierungssystem entwickelt, welches die gesamte Produktions- und Lieferkette mit einschließt (BMJV, 2015).

Biokraftstoffe aus Rest- und Abfallstoffen

In Anbetracht des steigenden Bedarfs an Biokraftstoffen und den gleichzeitigen Importeinschränkungen aufgrund der Biokraft-NachV, kann es dazu kommen, dass auch in Deutschland, Anbaufläche von Lebensmitteln mit der von Energiepflanzen für Biokraftstoffe konkurriert. So kommen einige Fragen auf: Beeinflusst der Energiepflanzenanbau den Lebensmittelpreis? Gibt es genug Anbaufläche für Lebensmittel und Energiepflanzen? Rechtfertigt der Kosten/Nutzen-Aufwand die Herstellung und Verwendung von Biokraftstoffen? Um diese Fragen beantworten zu können, oder auch um Sie zum Teil gar nicht erst aufkommen zu lassen wird vermehrt in die Entwicklung von Biokraftstoffen der zweiten Generation investiert. Hierbei

handelt es sich im weitesten Sinne um Biokraftstoffe, welche aus biogenen Rest- und Abfallstoffen, oder Energiepflanzen hergestellt werden. Rest- und Abfallstoffe gibt es in verschiedenen Formen und aus verschiedenen Bereichen der Futter- und Nahrungsmittelproduktion, sowie aus der Forstwirtschaft, so zum Beispiel Stroh, Speisereste, Waldrestholz und Gülle, bzw. Mist. Vielfach werden diese Komponenten heutzutage rein thermisch verwertet. Es besteht jedoch ein großes Potential diese „Rest- und Abfallstoffe“ in Biomass to liquid (Btl)-Anlagen einzusetzen um aus ihnen Biokraftstoffe herzustellen (FNR, 2014).

Energiebilanz Biokraftstoffe Deutschland

„2014 betrug der Primärenergieverbrauch in Deutschland 13.077 PJ. Der Bioenergieanteil am gesamten Primärenergieverbrauch lag bei 7.5 %“ (FNR, 2014). Ungefähr 50% dieser Energiemenge wurde aus biogenen Rest- und Abfallstoffen gewonnen. Laut Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. ist nochmals dieselbe Energiemenge in nicht genutzten Rest- und Abfallstoffen zu finden (FNR, 2014). Diese Zahlen umfassen den gesamten Energieverbrauch in Deutschland. Berücksichtigt man nun, dass der Biokraftstoffanteil nur ungefähr 10 % des Bioenergieanteils, ergo 0.75 % des gesamten Energieverbrauchs in Deutschland beträgt, so sind dies fast schon ernüchternd kleine Zahlen (UBA, 2015). Nichtsdestotrotz entwickeln Forschungsinstitute und Unternehmen Prozesse, um die Herstellungsverfahren von Biomass to liquid voran zu bringen (dena, 2006). Ein weiteres Standbein der zukunftsträchtigen Herstellung von Biokraftstoffen der zweiten Generation liegt in der Herstellung von Bioethanol aus Lignocellulose und Cellulose. So können technische Innovationen nachhaltig umgesetzt werden (Somerville C, 2010).

Herstellungsverfahren von Biokraftstoffen der zweiten Generation

Das bioliq®-Verfahren

Das bioliq®-Verfahren wurde am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) in Kooperation mit einigen Industriepartnern entwickelt. Es ist in zwei große Prozessschritte aufgeteilt. So wird, zur Einsparung von teurem Transport von Biomasse, ebendiese dezentral in einem Schnellpyrolyse-Schritt vorverdichtet. Das so gewonnene bioSyncrude (eine hochviskose Flüssigkeit) kann als „crude-oil“ (Rohöl) Äquivalent der Ölindustrie gesehen werden. Der anschließende Transport dieses Zwischenprodukts zur zentralen Weiterverarbeitungsanlage hat eine bessere Kohlenstoffdioxidbilanz im Vergleich zur „roh“-Biomasse, da es energiedichter und somit weniger volumenintensiv ist. In der zentralen Weiterverarbeitung wird das bioSyncrude zuerst vergast und nach einer Gasreinigung zur Kraftstoff- oder chemischen Grundstoff-Synthese verwendet. Aufgrund der intensiven Nutzung anfallender Prozesswärme und damit verbundener Stromgenerierung, kann das bioliq®-Verfahren in der Pilotanlage seine Prozessenergie weitgehend selbst bereitstellen. Außerdem interessant ist, dass der Prozess nicht nur zur Kraftstoffgenerierung dient,

sondern auch zur Grundstoffchemikaliensynthese verwendet werden kann (Abbildung 2, Methanolsynthese).

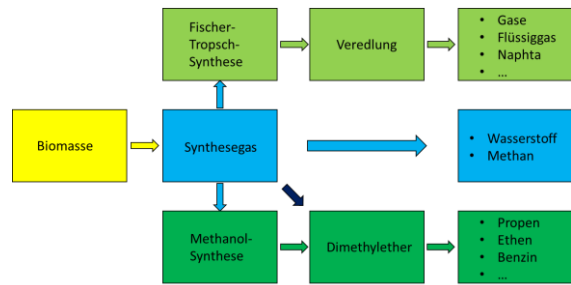


Abbildung 2: Produkt-Pfade des bioliq®-Verfahrens.

Quelle: verändert nach Biomass to liquid Karlsruhe (bioliq®)

In Abbildung 2 wird gezeigt, dass es im Prinzip möglich ist, mit Hilfe des bioliq®-Verfahrens, aus dem generierten Synthesegas verschiedene Prozesswege zu beschreiten. So eröffnen sich über die Fischer-Tropsch-Synthese Endprodukte, wie z.B. Diesel oder Kerosin, oder die Herstellung von Grundstoffchemikalien wie z.B. Ethen oder Propen über die Methanol-Synthese. Die genutzten Technologien entstanden in starker Anlehnung an die Prozesse der Rohölverarbeitung. Insofern kann bei Anlagen dieser Art auf ein großes Know-how in einem verwandten Bereich zurückgegriffen werden. Des Weiteren sind mit Btl-Kraftstoffen keine Änderungen der Fahrzeugantriebstechnik notwendig. Darüber hinaus kann im Prinzip eine breite Produktpalette (Diesel, Benzin, Kerosin) mit vergleichbaren Eigenschaften wie bisherige fossile Kraftstoffe aus einer Vielzahl von biogenen Reststoffen hergestellt werden. Diese Nutzerfreundlichkeit und Vielfältigkeit spricht für die Extension der Entwicklung und die industrielle Inbetriebnahme von Btl-Anlagen (bioliq®, 2014).

Das Sunliquid®-Verfahren

Das sunliquid®-Verfahren, vom Schweizer Spezialchemie-Konzern Clariant entworfen, funktioniert grundlegend anders. Bei diesem Verfahren wird aus Lignocellulose enthaltenden Reststoffen (vorwiegend Stroh) Bioethanol hergestellt. Der Prozess basiert auf biotechnologisch hergestellten Mikroorganismen deren spezielle Enzyme für die Lignocellulose-Verwertung zuständig sind. Die Pilotanlage von Clariant steht in Straubing, Bayern, einer landwirtschaftlichen Region, welche geeignete Mengen an landwirtschaftlicher Restbiomasse bereitstellt. Der Transport der Strohballen, als Rohstoff, findet hier über kurze Wege ohne vorherige Verarbeitung statt. In der Anlage selber erfolgt der Herstellungsprozess in mehreren Schritten. Nach kurzer mechanischer und thermischer Vorbehandlung, beginnt schon die eigentliche Besonderheit der Anlage. Hier werden Enzymproduktion (in speziellen Mikroorganismen) und enzymatische Hydrolyse der Lignocellulose gekoppelt. Die so hergestellten Zucker-Bausteine werden im nächsten Prozessschritt mithilfe weiterer Mikroorganismen zu Ethanol vergoren. In der darauffolgenden Aufreinigung des Ethanols werden innovative Techniken

verwendet, welche laut Hersteller eine Energieeinsparung bis zu 50% gegenüber herkömmlichen Aufreinigungsmethoden versprechen (sunliquid®, n.bek.).

bioliq® und sunliquid® im Vergleich

Das bioliq® und das sunliquid®-Verfahren sind grundsätzlich voneinander zu unterscheiden. Vorteilhaft des sunliquid®-Verfahrens gegenüber dem bioliq®-Verfahren ist die hohe Spezifität der verwendeten Enzyme welche eventuell eine vollständigere energetische Ausbeute des Rohmaterials ermöglichen. Weiterhin entfällt der dezentrale Aufarbeitungsschritt, welcher höhere Investitionskosten des bioliq®-Verfahrens nahelegt. Außerdem werden im sunliquid®-Verfahren keine extremen Drücke benötigt, was im Vergleich zum bioliq®-Verfahren zu einem geringeren Energieverbrauch im Prozess führt. Andererseits kann mit dem sunliquid®-Verfahren nur Ethanol hergestellt werden. Dieses hat einen niedrigeren Brennwert als Benzin oder Diesel und kann in herkömmlichen Motoren nur anteilig verwendet werden. Weiterhin entfällt die Möglichkeit nicht nur einen Kraftstoff zu generieren, sondern auch an der Grundstoffchemikalienherstellung teil zu haben (bioliq®, 2014; sunliquid®, n.bek.).

Beide Verfahren haben somit ihre eigenen Vor- und Nachteile. Interessant wäre weiterhin zu beleuchten, welcher der beiden Prozesse der insgesamt energetisch günstigere ist. Hierfür liegen noch keine endgültigen Daten vor, da bisher nur Pilotanlagen der jeweiligen Prozesse existieren. Beide Verfahren haben jedoch eine positive Gemeinsamkeit: In beiden werden vorwiegend landwirtschaftliche Reststoffe als Rohmaterialien verwendet. Diese fallen in der Landwirtschaft immer an und stehen nicht in Konkurrenz zu Nahrungsmitteln sondern ermöglichen eine weitere Wertschöpfung der Feldfrüchte. Beide Verfahren können so einen entscheidenden Beitrag dazu leisten die Kohlenstoffdioxidemissionen zu senken.

Zukunftsaussichten

Landwirtschaftliche Reststoffe, bestehen zu beträchtlichen Teilen aus Cellulose und Lignocellulose und kommen weltweit vor. In Abbildung 3 wird ersichtlich, dass es besonders in Asien und Nordamerika große Mengen an bisher ungenutzten landwirtschaftlichen Reststoffen gibt.

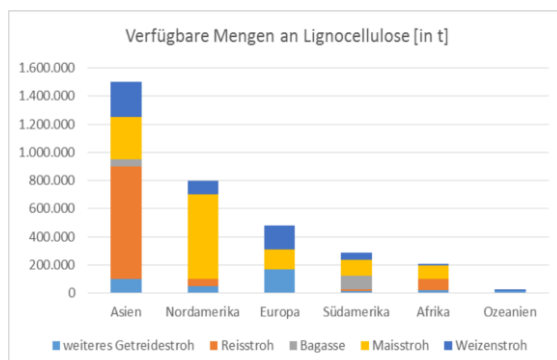


Abbildung 3: Verfügbarkeit von Lignocellulose weltweit.

Quelle: verändert nach Koltermann et al. 2014

Würde man laut Koltermann die in der EU jährlich ungefähr anfallenden 240 Mio. t Weizenstroh zu ca. 60% verwenden, könnte man daraus mit dem sunliquid®-Verfahren rund 27 Mio. t Ethanol herstellen, vergleichbar mit 18 Mio. t fossilem Kraftstoff (Koltermann A, 2014). Das entspräche ungefähr 300 Mio. Tankfüllungen à 60 Liter – zu wenig, um den Kraftstoffverbrauch der EU zu decken. Weiterhin gibt es Ideen für den spezifischen Anbau von Energiepflanzen, z.B. Miscanthus, zur ausschließlichen Herstellung von Biokraftstoffen (Somerville C, 2010). Aus einer Kombination dieser Möglichkeiten abstrahiert die Agentur Bloomberg – New Energy Finance, das Biokraftstoffe in Europa im Jahre 2020 bis zu 62% der fossilen Kraftstoffe ersetzen könnten (Bloomberg, 2010).

Fazit

Biokraftstoffe werden in der Öffentlichkeit vielfach als zweischneidiges Schwert dargestellt. Zum einen sorgen Sie für eine verbesserte Kohlenstoffdioxid-Bilanz und verringern die Abhängigkeit von Kraftstoffimporten, zum anderen sind sie mit Schuld am stetig vorangehenden Abholzen des Regenwalds. Außerdem stehen sie im Verdacht Lebensmittel zu verteuern oder mit deren Anbauflächen zu konkurrieren. Objektiv betrachtet muss man beide Sichtweisen relativieren. Biokraftstoffe liefern einen wichtigen Beitrag zur Verringerung des Kohlenstoffdioxid-Ausstoßes und sind in Deutschland ein Teil des großen Vorhabens der Energiewende. Für die Nachhaltigkeit der Herstellung garantiert mittlerweile die Biokraft-NachV, weswegen Waldrodungen und leere Teller nicht mehr mit Biokraftstoffen in Verbindung gebracht werden sollten.

Andererseits sind Biokraftstoffe mitnichten die alleinigen Heilsbringer des Kraftverkehrs. Dafür haben sie einen zu geringen Stellenwert, noch können sie gegen aktuell stärker geförderte Ansätze (z.B. Elektromobilität) konkurrieren. Trotzdem wird aus verschiedenen Bereichen der Wissenschaft und Wirtschaft viel Aufwand betrieben um die Biokraftstoffherstellung besonders mit nachhaltigen Verfahren (Btl, oder Ethanol aus Lignocellulose), welche nicht mit Nahrungsmitteln oder wertvollen Ökosystemen konkurrieren, voranzubringen. Grund hierfür ist sicherlich auch, dass Flüssigenergeträger, welche für den Verkehrssektor heutzutage unabdingbar sind, importiert werden müssen und nur noch begrenzte weltweite Reserven vorhanden sind. Besonders zukunftssträftig scheinen Biokraftstoffe aus dem „Biomass to liquid“-Verfahren zu sein. Diese haben nicht nur das Potential zur biogenen Kraftstoffherstellung auf Basis bereits weit entwickelter Technologien sondern liefern darüber hinaus die Möglichkeit Grundstoffchemikalien unabhängig von fossilen Rohstoffen zu generieren. Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass Biokraftstoffe, besonders solche der zweiten Generation, gemeinsam mit der Elektromobilität und Wasserstofftechnologien, einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung von Kohlenstoffdioxid-Emissionen durch reduzierte Nutzung fossiler Kraftstoffe liefern können werden.

Literatur

- Bioliq® – Biomass to liquid Karlsruhe, 2014
<http://www.bioliq.de/>; 25.10.15
- biotechnologie.de – Die Informationsplattform, 2009 *Aus einzelnen Bakterien eine Mannschaft formen*
<http://www.biotechnologie.de/99194> ; 25.10.15
- Bloomberg – New Energy Finance, (2010) *Next-generation ethanol and biochemicals: what's in it for Europe*, 8-9
<http://www.novozymes.com/en/sustainability/benefits-for-the-world/biobased-economy/white-papers-on-biofuels/Documents/2010%20-%20Bloomberg%20-%20Next-generation%20ethanol%20and%20biochemicals%20what's%20in%20it%20for%20Europe.pdf>
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), n.bek. *Nachhaltiger Anbau von Biokraftstoffen und Biostrom*
http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachwachsende-Rohstoffe/Bioenergie/e10/_texte/Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung.html ; 28.10.2015
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV), 2015 *Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen (Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung - Biokraft-NachV)*
<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/biokraft-nachv/gesamt.pdf> ; 28.10.2015
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), n.bek. *Entwurf eines Gesetzes zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen*
http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/entw_foerderung_biokraftstoff.pdf
- Die Bundesregierung, 2015 *Bioenergie und Biokraftstoffe*
http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Fragen-Antworten/3_ErneuerbareEnergien/_bioenergie-biokraftstoffe/_node.html;
28.11.2015
- Deutsche Energie Agentur GmbH (dena), 2006 *Biomass to Liquid – Btl Realisierungsstudie*
http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Verkehr/Dokumente/BtL_Realisierungsstudie.pdf ; 28.10.2015
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2014
<http://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/einfuehrung/> ;
25.10.15
- http://bioenergie.fnr.de/fileadmin/biz/pdf/gesetzeslage/BioKrQuotengesetz_Text.pdf ; 25.10.15
- <http://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/biodiesel/> ;25.10.15
- <http://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/bioethanol/>; 25.10.15
- <http://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/btl-biomass-to-liquid/>; 25.10.15
- <http://bioenergie.fnr.de/bioenergie/biomasse/biomasse-potenziale/potenziale-von-rest-und-abfallstoffen/>; 28.10.2015
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2015 *Nutrition*
<http://www.fao.org/nutrition/en/>; 28.10.2015
- Greenpeace, 2015 *Noch mehr Essen im Tank*
<https://service.greenpeace.de/themen/landwirtschaft/noch-mehr-essen-im-tank> ; 28.10.2015
- Greenpeace, 2014 *Biosprit ist umweltpolitischer Unfug*
<https://service.greenpeace.de/themen/landwirtschaft/biosprit/biosprit-ist-umweltpolitischer-unfug/>;
28.11.2015
- innovations report – Forum für Wissenschaft, Industrie und Wirtschaft, 2005 *Bio im Tank: Chemieingenieure entwickeln umweltfreundliche Benzinzusätze*
<http://www.innovations-report.de/html/berichte/biowissenschaften-chemie/bericht-40363.html> ; 25.10.15
- Koltermann A, Kraus M, Rarbach M, Reisinger C, Zavrel M, et al. (2014) *Cellulosic Ethanol from Agricultural Residues – An Advanced Biofuel and Biobased Chemical Platform*. JSM Biotechnol Bioeng 2(1): 1024
- Umweltbundesamt (UBA), 2015 *Alternative Kraftstoffe*
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/kraft-betriebsstoffe/alternative-kraftstoffe/>;
28.11.2015
- Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren*
<http://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/energieverbrauch-nach-energie-traeger-sektoren/>; 28.10.2015
- Anteile der erneuerbaren Energieträger*
<http://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/anteile-der-erneuerbaren-energie-traeger/> ; 28.10.2015
- Somerville C, Youngs H, Taylor C, Davis SC, Long SP. (2010) *Feedstocks for Lignocellulosic Biofuels*. Science; 329:790-2
- Sunliquid® 7. Forschungsrahmenprogramm (Fp7) der EU, n.bek.
<http://sunliquid-project-fp7.eu/> ; 25.10.15

Curriculum Vitae - Konstantin J.B. Bode

Ausbildung:

- | | |
|-----------|---|
| 2012-2015 | Master Studium „Biological Sciences“ an der Universität Konstanz |
| 2015 | Master-Studium „Umwelt- und Verfahrenstechnik“ an der HTWG Konstanz |

Biokraftstoff E10 (Kraftstoff aus Bioethanol) – Nachhaltig sinnvoll oder Unfug?

Dominik Homberger und Florian Tegel¹

¹ HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: dominik.homberger@htwg-konstanz.de, florian.tegel@htwg-konstanz.de

Abstract

The global warming and the influence of mankind is nowadays in the focus of media more than ever. CO₂ is named as the main reason for the greenhouse effect. It is produced by burning fossil energy like we do it in our cars every day. To reduce the production of CO₂ the European Union has adopted a new regulation. This regulation defines that till 2020 every country of the European Union has to use at least 10% of its energy consumption at the transport sector from renewable resources. To fulfill this regulation, the German government has introduced the biofuel E10 in Germany. This biofuel should reduce the effective production of CO₂ and reduce the amount of fossil fuel. The biofuel E10 has earned a lot of criticism at its introduction. People are saying that it harms the environment more than it will save it. This article looks at the life cycle assessment of E10 and bioethanol, the effects to the agriculture and does E10 really save the environment and what are the other options to using E10 biofuel.

Einleitung

Die Erwärmung unseres Klimas und der Einfluss der Menschen auf diesen Vorgang stehen immer wieder im Fokus. Hauptsächlich wird hier die übermäßige Produktion von Treibhausgasen wie CO₂ angebracht. Das CO₂ entsteht vor allem bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas (co2online gGmbH). Die Produktion von Treibhausgasen, zu denen neben Kohlenstoffdioxid (CO₂) auch Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) gehören ist durch die Industrialisierung der menschlichen Lebensweise seit etwa 1750 stark angestiegen (Klima ohne Grenzen gemeinnützige GmbH Christian Bachmann). Um den Klimawandel zu stoppen bzw. auszubremsen werden von den Ländern immer wieder neue Verordnungen erlassen, welche die Produktion von Treibhausgasen verringern soll. Durch die Vorgabe in der Richtlinie 2009/28/EG der Europäischen Union wird vorgeschrieben, dass bis zum Jahr 2020 jeder EU Mitgliedstaat mindestens 10% seines Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor aus erneuerbaren Energiequellen bezieht (Amtsblatt der Europäischen Union, 2009). Um diese Zielvorgabe zu erfüllen wurde unter anderem in Deutschland im Januar 2011 der Ottokraftstoff E10 für Benzinfahrzeuge eingeführt. Dieser Kraftstoff enthält einen Anteil von minimal 5 und maximal 10 % Bioethanol (Wikipedia). Neben der Reduzierung des CO₂ Ausstoßes soll durch die Verwendung von Bioethanol auch der Verbrauch von fossilen Energieträgern verringert werden. Bioethanol ist die Bezeichnung von Ethanol, welcher nur aus Biomasse oder biologisch abbaubaren Abfällen hergestellt wird (Wikipedia). Die Einführung von E10 als Kraftstoff ist sehr umstritten und der Klimaschutz von E10 wird von den Medien infrage gestellt.

Dieser Artikel beschäftigt sich mit der Frage ob, die Einführung des Ottokraftstoffs E10 ökologisch sinnvoll ist und sich positive auf die Verhinderung des Klimawandels auswirken kann oder ob die viele Kritik an E10 berechtigt ist.

E10 in der öffentlichen Diskussion

Seit Einführung des Biokraftstoffs E10 in Deutschland gab es kritische Stimmen aus der Bevölkerung. Mit Beginn der Einführung war er aus der täglichen medialen Präsenz nicht mehr weg zu denken. E10 wurde als unüberlegte schnelle Handlung der Bundesregierung auf die Beschlüsse der EU zur Reduzierung von CO₂-Emissionen im Verkehrswesen bis 2020 denunziert.

Es wird in erster Linie der Autoindustrie vorgeworfen, für die Einführung des Biosprits E10 hauptverantwortlich zu sein, um so die erlaubten CO₂-Emissionen ihrer Fahrzeuge so hoch wie möglich zu halten (Totz, 2011).

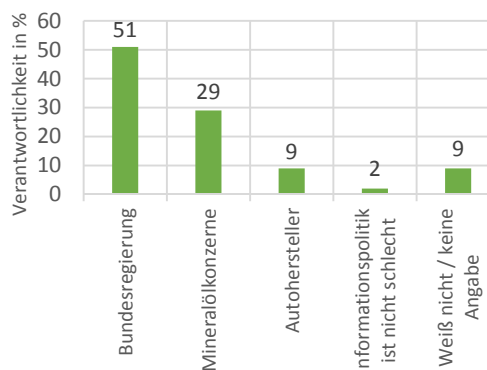


Abbildung 1: Befragung der Bevölkerung zur schlechten Information über E10, eigene Darstellung (ARD, 2011).

Analog dazu zeigt Abb. 1 eine Umfrage der Bevölkerung der ARD zur Informationspolitik über E10 im Einführungsjahr 2011. Die Bevölkerung sieht die Schuld hauptsächlich bei der Bundesregierung (51 % der Befragten).

Des Weiteren hat die Akzeptanz des Ottokraftstoff E10 mit massiven Vorurteilen zu kämpfen. Von einer nicht weit entfernten Ökobilanz zu seinem Pendant, dem rein fossilen Kraftstoff. Weiterhin wird auch kritisiert, dass im großen Stil Nahrungsmittelanbauflächen für die Produktion von Bioethanol verwendet werden.

Es gibt aber auch durchaus positive Stimmen, die die Biokraftstoffe und insbesondere E10 als da hergehaltenen Sündenbock der Gegner sehen. So sind laut dem Bundesamt für Erneuerbare Energien e.V. 3,4 Mio. Tonnen Rohölimporte eingespart worden (Bundesverband Erneuerbare Energien e.V., 2012). Laut dem Verband sollte erst einmal die Massentierhaltung in die energiepolitische Kritik gestellt werden.

Ökobilanz von Bioethanol

Ein wichtiges Kriterium für den Ottokraftstoff E10 ist seine Ökobilanz bzw. seine Energie- und Treibhausgasbilanz bei Anbau des nachwachsenden Rohstoffs sowie Transport- und Erzeugungsauswirkungen auf diese Bilanzen. In der Öffentlichkeit wird diese Bilanz von Bioethanol immer wieder angegriffen. Auch spielen der Vergleich der Erzeugungskosten von Bioethanol und fossilem Benzin eine große Rolle bei der Durchsetzungskraft des Biokraftstoffs.

In den folgenden Diagrammen wird zur besseren Veranschaulichung das in dem Schritt des Biomasseanbaus aufgenommene CO₂ erst beim Verbrennen des Biokraftstoffs gegengerechnet. Das verwendete Synonym Bereitstellung fasst die Bestandteile Biomasseanbau, Transport der Biomasse, die Kraftstofferzeugung und den Transport des Kraftstoffs zusammen.

Energie und Treibhausgasbilanzen von Bioethanol im Vergleich zu fossilem Benzin

Im Folgenden wird die Bioethanol-Erzeugung aus Zuckerrüben und Weizen mit fossilem Benzin verglichen. Im Gegensatz zu seinem fossilen Gegenstück weist Bioethanol eine neutrale Bilanz bei den CO₂-Emissionen bei seiner Verbrennung auf. Denn CO₂, das bei der Verbrennung frei wird, hat die Zuckerrübe oder der Weizen bei seiner Entstehung aus der Umwelt aufgenommen (Böttcher, et al., 2014 S. 272).

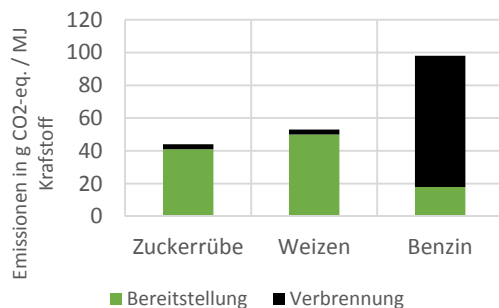


Abbildung 3: Vergleich der Treibhausgasemissionen von Bioethanol (aus Zuckerrüben und Weizen) und fossilem Benzin, eigene Darstellung (Böttcher, et al., 2014 S. 272)

Wie zu erwarten war, ist wie in Abb. 2 dargestellt, die CO₂-Bilanz bezogen auf ein Mega-Joule Kraftstoff bei Bioethanol aus Zuckerrübe und Weizen besser. Laut dieser Studie um ca. 50 g pro MJ weniger CO₂-eq. Emissionen als bei fossilem Ottokraftstoff, dies liegt hauptsächlich an den Verbrennungsemissionen von fossilem Ottokraftstoff. Der kleine Anteil an Verbrennungsemissionen bei Zuckerrübe und Weizen fallen auf nicht verbrannte Kohlenwasserstoffe (z.B. Methan) zurück und gehen deshalb in die Treibhausgasbilanz ein (Böttcher, et al., 2014 S. 273)

Was auf den ersten Blick auffällt, ist der Anteil der Bereitstellung, besonders bei den Bioethanol Vertretern. Bei

den dargestellten Biokraftstoffen sind der Biomasseanbau und die Biokraftstofferzeugung hauptverantwortlich für den hohen CO₂-eq. Wert gegenüber fossilem Ottokraftstoff. Dies ist zugleich der größte Nachteil der aktuellen Biomasse zur Bioethanol-Herstellung. Bei der Zuckerrübe liegt der CO₂-eq. Wert bei ca. 40 g/MJ und damit doppelt so hoch wie bei Benzin. Bei Weizen übersteigt der CO₂-eq. Wert das Benzin um fast das Dreifache. Dies liegt hauptsächlich an der Bestellung der Felder auf denen die Biomasse angebaut wird. Der erforderliche hohe Einsatz von Stickstoffdüngemitteln, welche verantwortlich sind für Lachgas-Freisetzungen, diese fördern den Treibhauseffekt enorm (Böttcher, et al., 2014 S. 273).

Die höheren, im Vergleich zu Benzin, Bereitstellungsemissionen liegen zusätzlich noch bei der Veredelung des Ethanol durch den hohen Wärmebedarf der Destillation und Rektifikation. Dieser Wärmebedarf wurde bei dieser Studie mit fossilem Erdgas gedeckt (Böttcher, et al., 2014 S. 273).

Emissionen mit versauernder Wirkung

Neben dem Verbrauch energetischer Ressourcen werden bei der Erzeugung von Bioethanol nicht nur Treibhausgasemissionen frei. Es gibt weitere Umwelteinwirkungen wie die hier behandelte versauernde Wirkung, Eutrophierung sowie Photosmog.

In Abb. 3 sind die Emissionen mit versauernder Wirkung dargestellt.

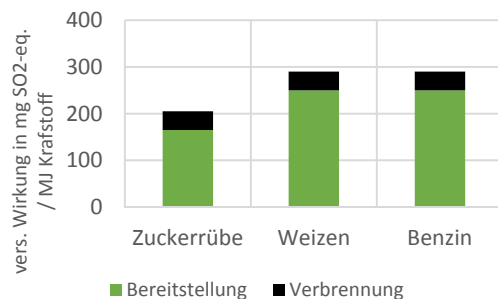


Abbildung 2: Emissionen mit versauernder Wirkung der Biokraftstoffe im Vergleich zum fossilen Pendant, eigene Darstellung (Böttcher, et al., 2014 S. 274)

Auf den ersten Blick erkennt man, dass Bioethanol aus Weizen und fossiles Benzin gleichauf mit den Emissionen liegen, welche eine versauernde Wirkung haben. Der Wert beträgt ca. 290 mg SO₂-eq. / MJ Kraftstoff. Die Zuckerrübe hingegen liegt bei ca. 200 mg SO₂-eq. / MJ Kraftstoff). Die Verbrennung hat bei allen einen eher kleinen Anteil (ca. 40 mg SO₂-eq. / MJ Kraftstoff), deswegen richtet sich der Fokus auf die Bereitstellung.

Wie bei den Treibhausgasemissionen haben die Emissionen mit versauernder Wirkung, dargestellt in SO₂-eq., bei der Bereitstellung den Hauptanteil ihrer Emissionen. Dies liegt, wie auch bei den CO₂-eq.-Emissionen, an dem hohen Stickstoffdüngereinsatz, insbesondere bei Weizen.

Der Düngereinsatz bei der Zuckerrübe ist im Verhältnis zu Weizen geringer. Bei dem fossilen Ottokraftstoff setzt sich der Wert aus dem Raffinerieprozess zusammen.

Bereitstellungskosten von Bioethanol im Vergleich

Für eine allgemein konstruktive Betrachtung von Bioethanol ist es wichtig zu wissen, wie viele Kosten entstehen im Vergleich zu dem jetzigen Ottokraftstoff. Die Bereitstellungskosten setzen sich aus Transport-, Rohstoff-, Konversionskosten, sowie Einnahmen durch Nebenprodukte und den Kosten für die Verteilung zusammen (Dr. Quirin, et al., 2004 S. 32).

Die Bandbreiten bei den Preisen ergeben sich aus dem Vergleich vieler Studien aus der angegebenen Quelle (Dr. Quirin, et al., 2004).

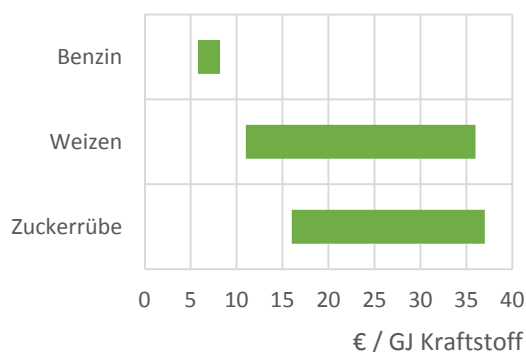


Abbildung 4: Bereitstellungskosten im Vergleich von Bioethanol aus Zuckerrübe und Weizen im Vergleich mit dem fossilen Referenzkraftstoff, eigene Darstellung (Dr. Quirin, et al., 2004 S. 32).

Wie in Abb. 4 eindeutig zu sehen ist sind die Kosten in € pro GJ Kraftstoff für fossiles Benzin (ca. 6-8 € / GJ Kraftstoff) eindeutig geringer, als die von Weizen (11-36 € / GJ Kraftstoff) sowie von der Zuckerrübe (16-38 € / GJ Kraftstoff). Dies liegt vor allem an den Rohstoffkosten der beiden Bioethanol-Vertreter, sie sind in der Regel doppelt so hoch wie die Konversionskosten bei der Bereitstellung von Bioethanol.

Wichtig ist aber, dass man nicht zu dem Trugschluss kommt, dass Bioethanol ein zu teures Produkt ist. Denn das dargestellte Ergebnis ist nur eine Momentaufnahme. Welche aus unterschiedlichsten Bezugsräumen zusammengestellt wurden. Denn die Herstellungskosten unterscheiden sich stark von Land zu Land. Die Bereitstellungskosten hängen vom aktuellen Weltmarktpreis für Rohöl, landesspezifische Subventionspraktiken und ebenfalls länderspezifische Personal- und Transportkosten ab (Dr. Quirin, et al., 2004 S. 32).

Konkurrenz zum Anbau von Nahrungsmitteln

Manchen Menschen wird die „Tortilla-Krise“ 2007 noch im Gedächtnis sein. Damals stieg der Preis für Mais

(Hauptbestandteil für Fladenbrote) innerhalb weniger Wochen auf das Doppelte und wurde für viele Mexikaner daraufhin unbezahlbar. Ursache dafür war die stark anwachsende Produktion von Bioethanol aus Mais in den USA. Dieses historische Ereignis zeigt, dass der Anbau von Biomasse zur Energieproduktion durchaus in Konkurrenz zum Nahrungsanbau treten kann, weil es nicht unendlich viel Anbaufläche gibt. Die oftmals in den Medien präsentierte „Tank oder Teller“ Debatte bringt das Thema auf den Punkt. Es könnten weitere Probleme durch den steigenden Energiehunger auf der Welt entstehen bzw. bestehende Probleme verschärfen (Bundesministerium für Bildung und Forschung).

Aufgrund dieser Tatsachen gilt es genau zu prüfen, in wie weit momentan der Flächenanteil der Biokraftstoffzeugnisse ist, insbesondere dem hier behandelten Bioethanol. Und in wie weit der theoretische Flächenbedarf nach den aus der Vorgabe in der Richtlinie 2009/28/EG der Europäischen Union (10% bis 2020) ist. Als Datengrundlage für die spätere Flächenbetrachtung ist die Studie des britischen Verkehrsministeriums Ecofys. Das Ministerium hat berechnet welcher Flächenbedarf sich ergibt, wenn 10% des Endenergieverbrauchs im Bereich Verkehr durch Biokraftstoffe abgedeckt werden (Ecofys, 2008).

Vergleich momentan genutzter Flächen in Deutschland

Um eine objektive Betrachtung für den Standort Deutschland zu erhalten, muss als erstes eine Momentaufnahme der aktuellen Landnutzungsflächen gemacht werden, um qualitative Aussagen gegenüber der Flächenkonkurrenz treffen zu können.

Wie Abb. 5 deutlich zu erkennen gibt, gibt es in Deutschland wenig Potential zum Thema Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion.

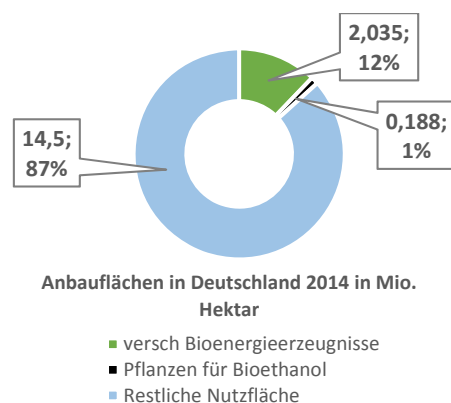


Abbildung 5: Vergleich der Landnutzungsflächen, eigene Darstellung aus den Quellen (Statistisches Bundesamt) und (FNR).

Gerade für die Bioethanol Produktion werden in Deutschland gerade mal 1% der genutzten Fläche verwendet. Dies ist bei ca. 17 Mio. Hektar Nutzfläche zu vernachlässigen.

Betrachtung der europa- bzw. weltweiten benötigten Anbauflächen

Es gibt viele verschiedene Ansätze die Szenarien für die benötigten Flächen zu betrachten. Laut der Ecofys Studie (Ecofys, 2008) wurden verschiedene Szenarien betrachtet, die daraus entstehenden Bandbreiten des Flächenbedarfs können der Abb.6 entnommen werden.

Um auf die Ziele im Verkehrssektor zu kommen (10% Anteil erneuerbare Biokraftstoffe) benötigt es im schlechtesten Fall bis zu 31,5 Mio. Hektar Anbaufläche, welches etwa 17 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen der 27 EU-Mitgliedsstaaten entspricht. Ein weiteres Szenario welches auf Treibhausgasreduktion und den Einsatz von Reststoffen (Stroh, Gülle, etc.) hin weiter entwickelt wurde benötigt hingegen nur 16,5 Mio. Hektar (Agentur für Erneuerbare Energien, 2013 S. 3).

Wichtig für eine Einschätzung der Nachfrage an Flächen in der EU und weltweit ist jedoch, dass die genannten Werte als Brutto-Flächenbedarf dargestellt werden. Bei der Biokraftstoffproduktion, insbesondere bei dem in dieser Arbeit betrachteten Bioethanol fallen stets Koppelprodukte an, die weiterverwendet werden können, beispielsweise Getreidetrockenschlempe und Rübenschnitzel als Futtermittel. Durch den Biokraftstoff-Anbau werden gleichzeitig Futtermittel als Nebenprodukte produziert. Ecofys leitet damit eingesparte Futtermittelflächen ab, welchen den Flächenbedarf weiter reduzieren (Agentur für Erneuerbare Energien, 2013 S. 3).

Laut der EU-Kommission werden zur Erreichung des 10% Ziels ca. 17,5 Mio. Hektar, entspricht ca. 9,5 % der landwirtschaftlich genutzten EU-Flächen, benötigt (Agentur für Erneuerbare Energien, 2013 S. 3).

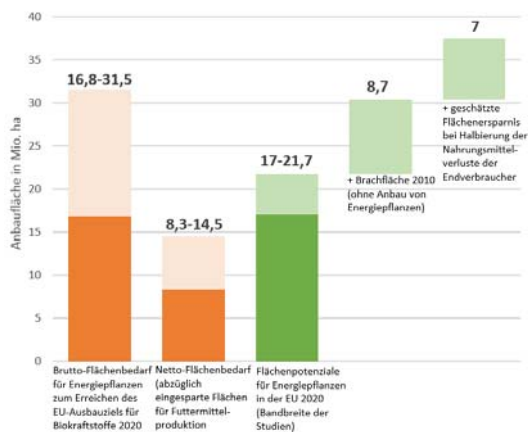


Abbildung 6: Darstellung der Flächenbedarfs-Bandbreiten um die Ziele der EU zu erreichen, eigene Darstellung (Agentur für Erneuerbare Energien, 2013 S. 4).

Wie Abb.6 zu entnehmen ist, kann der theoretische Flächenbedarf auf bis zu 50 % reduziert werden, wenn man die laut der Ecofys erzeugten Synergien sinnvoll nutzt und mit dem Anbau von Energiepflanzen gleichzeitig Futtermittel produziert. Wie man dem rechten Bereich der

Abbildung entnehmen kann übersteigen laut der EU-Studie die Flächenpotentiale deutliche die benötigten Flächen. Alle Berechnungen von Flächenpotenzialen sind unter der Annahme getroffen, dass die Futter- und Nahrungsmittelproduktion der EU nicht eingeschränkt wird (Agentur für Erneuerbare Energien, 2013 S. 4).

Um die dargestellten Sachverhalte für die weltweiten Auswirkungen veranschaulichen zu können muss der Einfluss der Biokraftstoffe auf die globale Flächenverfügbarkeit überprüft werden. 2012 wurden weltweit Energiepflanzen auf ca. 20 bis 55 Mio. Hektar angebaut. Das klingt auf den ersten Blick enorm viel, vergleicht man dies aber auf die gesamt verfügbare Fläche so kommt man auf ca. 2 bis 3,5 % der global verfügbaren Nutzflächen von ca. 1.500 Mio. Hektar (IEA, 2011), (Nova-Institut, 2012), (DBV, Pressemitteilung, 19. Januar 2012).

In den Jahren 2000 bis 2008 hat die Nachfrage in der EU-Biokraftstoffproduktion eine Steigerung der Flächennutzung um 1,3 Mio. Hektar verursacht (University/IASA/Winrock, Oktober 2011). Seit dieser letzten Betrachtung 2008 ist der Biokraftstoffverbrauch in der EU allerdings um ca. 50% gestiegen (EurObserver, Juli 2013), somit ist mit Sicherheit auch die globale Flächennachfrage gestiegen. Die höhere Nachfrage kann natürlich in anderen Staaten, besonders in Schwellen- und 3. Länder, dazu führen, dass Futtermittel oder Nahrungsmittelflächen für den Energiepflanzenanbau verwendet werden. Im besten Fall werden die Energiepflanzen auf bisher brachliegenden oder degradierten Flächen angebaut. Es kann aber auch den umgekehrten negativen Fall erzeugen, dass Energiepflanzen in empfindlichen Regionen, wie beispielsweise in Regenwald-Regionen angebaut werden. Um dagegen vorzugehen hat die EU Nachhaltigkeitskriterien festgelegt, welche den Import solcher Pflanzen verhindern, die auf solchen Anbauflächen angebaut wurden. Im Verhältnis zu den oben genannten Zahlen (2 bis 3,5 % der weltweiten Anbaufläche) kann man aber aktuelle den Nachfragedruck für Biokraftstoffe vernachlässigen.

Welche Alternativen gibt es, um den CO₂-Ausstoß im Verkehrswesen zu senken?

Durch die viele Kritik am Biokraftstoff E10 stellt sich die Frage, welche Alternativen es gibt, um fossile Brennstoffe einzusparen und den CO₂ Ausstoß zu senken. Als reine Alternative zu den fossilen Brennstoffen gibt es hier drei Arten die für Fahrzeuge im Verkehr verwendet werden können, diese sind:

- Biokraftstoffe erster, zweiter sowie dritter Generation
- Wasserstoff als Treibstoff
- Elektrizität als Energiequelle für Fahrzeuge

All diese drei Alternativen haben ihre Vor- und Nachteile.

Biokraftstoffe erster, zweiter sowie dritter Generation

Biokraftstoffe der ersten Generation, aus dem aktuell auch das Bioethanol für E10 gewonnen wird, werden speziell aus Anbaupflanzen, welche einen hohen Öl-, Zucker oder Stärkegehalt aufweisen hergestellt. Dabei wird bei den Pflanzen nur der Fruchtkörper der Pflanze selbst verwendet und es entsteht eine energetische Ineffizienz. Dies ist vor allem im Hinblick auf den CO₂ Ausstoß problematisch. Um den Prozess der Bioethanol-Gewinnung effizienter zu gestalten wurden Biokraftstoffe der zweiten Generation entwickelt. Bei diesen Kraftstoffen wird die komplette Biomasse umgesetzt und dabei auch die Rest- und Abfallstoffe verwendet. Die Herstellung ist daher deutlich effizienter als bei der ersten Generation. Da bei Biokraftstoffen zweiter Generation aber hauptsächlich Biogas hergestellt wird, ist aus Klimaschutzgründen der Einsatz des Biogases zur Erzeugung von Strom oder als Kraft-Wärme-Kopplung deutlich sinnvoller als die Verwendung im Verkehr. Für die Verwendung im Verkehr muss das Biogas erst in Verfahren, welche erst kurz vor der Massenmarktreife sind, weiter aufbereitet werden. Alternativ gibt es in der zweiten Generation von Biokraftstoffen das Bestreben das Bioethanol aus Lignocellulose herzustellen. Hier würde sich der Vorteil ergeben, dass der Kraftstoff in flüssiger Form vorliegt und sich daher eine deutlich größere Speicherdichte an Energie ergibt als bei Biogas. Leider ist der Verfahren zur Herstellung des Bioethanols aus Lignocellulose noch nicht marktreif und befindet sich noch in der Technikumsphase (Umwelt-Bundesamt, 2015). Zusätzlich wird schon an der dritten Generation von Biokraftstoffen geforscht. Hierbei soll dieser aus Mikroalgen gewonnen werden. Dies bietet den Vorteil, dass die Menge an gewonnenem Kraftstoff pro benötigte Anbaufläche deutlich größer ist (Deutsches Forschungsnetz e.V.). Obwohl noch nicht einmal die zweite Generation an Biokraftstoffen auf dem Markt ist, wird bereits eine Markteinführung zwischen den Jahren 2020 und 2025 geplant (Handelsblatt, 2008). Die auf die unterschiedlich gewonnenen Arten an Biokraftstoff werden dann als Biodiesel oder Bioethanol verarbeitet und verwendet. Hierbei wird nicht nur der Kraftstoff E10 durch Beimischung zu fossilem Kraftstoff hergestellt, sondern auch E85, mit 85% Bioethanol Anteil, oder E100, der aus reinem Bioethanol besteht. Je nach Herstellungsverfahren ergibt sich eine unterschiedliche Ökobilanz und CO₂ Belastung für die Umwelt. Je effektiver der Biokraftstoff gewonnen werden kann und verwendet wird, desto mehr fossile Rohstoffe lassen sich einsparen. Allerdings ist eine Verstromung des Biokraftstoffes meist effektiver als diesen für den Einsatz im Verkehr zu verwenden.

Wasserstoff als Treibstoff

Eine ganz andere Alternative zu E10 oder allgemein Biokraftstoffen ist die Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff. Als wohl größter Vorteil des Wasserstoffes

gilt, dass bei seiner Verbrennung kein CO₂ entsteht, sondern lediglich Wasser. Da Wasserstoff allerdings keine Primärenergie ist muss dieser hergestellt werden. Dieser kann beispielsweise mit Hilfe von Elektrolyse von Wasser hergestellt werden. Hierzu wird elektrischer Strom benötigt, der aus Primärenergie hergestellt werden muss. Auch andere Herstellungsverfahren benötigen Primärenergiequellen, welche in der Regel auf fossile Energieträger zurückgreifen. Aus diesem Grund muss hier die gesamte Produktionskette analysiert werden, um einen Rückschluss auf die CO₂-Belastung der Umwelt zu schließen. Ein Nachteil von Wasserstoff ist seine geringe Energiedichte bei Normalbedingungen. Die sich hieraus ergebende Speicherproblematik können heutzutage als gelöst betrachtet werden. Viele Automobilhersteller haben bereits Wasserstofffahrzeuge in der Entwicklung oder sind teilweise sogar bereits auf dem Markt. Die Verbreitung ist hier allerdings noch sehr gering und das Netz an Wasserstofftankstellen sehr klein. (PLANET GbR)

Elektrizität als Energiequelle für Fahrzeuge

Eine weitere Alternative um die CO₂-Belastung der Umwelt durch fossile Brennstoffe zu reduzieren ist die Verwendung von Elektrofahrzeugen. Hierbei fallen beim Betrieb der Fahrzeuge oder Maschinen keinerlei direkte Emissionen an, da der Strom bei Verwendung keine CO₂ erzeugt und die Verbreitung, Akzeptanz und Entwicklung von Elektrofahrzeugen ist schon sehr weit. Auch wenn beispielsweise noch Probleme mit Akkus und der Reichweite von Fahrzeugen gegenüber Benzin- und Dieselfahrzeugen bestehen. Um hier allerdings eine gute CO₂-Bilanz zu erreichen muss wie schon bei Wasserstoff die Produktion der Energie berücksichtigt werden. Würde man dann Strom aus fossilen Energieträgern erzeugen, würde sich der CO₂-Ausstoß aus dem Verkehrssektor lediglich in den Sektor der Stromerzeugung verschieben. Hier ist es wichtig, dass der Strom aus regenerativen Energiequellen erzeugt wird. Die Energie sollte dann idealerweise dann aus Wind- und Wasserenergie oder Photovoltaik, kann aber auch aus der direkten Verstromung von Biokraftstoffen womit diese dann wiederum indirekt als Kraftstoff für den Verkehrssektor dienen (Kasten, 2015).

Umdenken und Änderung der Gewohnheiten

Neben alternative Energie zu Schutz des Klimawandels kann aber auch jeder einzelne effektiv zum Schutz der Umwelt beitragen. Denn wir selbst erzeugen beim Benutzen dieser Kraftstoffe den CO₂ Ausstoß. Wenn jeder sich genau überlegt, ob er wirklich sein Kraftfahrzeug benutzen muss oder er den Weg mit dem Fahrrad, zu Fuß oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln bestreitet, so senkt jeder die persönlich von ihm erzeugten CO₂-Werte. Dies ist ein wichtiger Schritt, allerdings muss dieses Umdenken und Ablegen von Bequemlichkeiten bei jedem erfolgen. Nur

so ist es möglich in der Summe eine große Menge an CO₂ einzusparen.

Schützt E10 die Umwelt

Nach dem Betrachten der reinen Daten stellt sich immer noch die Frage ob der Biokraftstoff E10 die Umwelt schützt. Die Idee hinter der Einführung von Biokraftstoffen klingt für den Laien sehr plausibel, denn die Biomasse aus dem der Bioethanol hergestellt wird erzeugt bei der Verbrennung zwar ebenso CO₂, hat aber beim Anbau auch mindestens die gleiche Menge an CO₂ beim Wachstum aufgenommen. Allerdings muss man sagen, dass es natürlich immer auf die Flächen, welche für den Anbau verwendet werden, ankommt. In Deutschland wurde daher in der Nachhaltigkeitsverordnung festgelegt, dass das Bioethanol im Vergleich zu Benzin aus Mineralölen in der Gesamtbilanz mindestens 35% weniger Treibhausgase erzeugen muss. Wird dieses Vorgehen auf der Welt allgemein umgesetzt, ist sichergestellt, dass nicht durch den Anbau der Pflanzen für Bioethanol mehr Schaden als Nutzen entsteht.

Leider ist beim Anbau von Biomasse für die Biospritherstellung bisher nicht bekannt, ob durch die vielen Monokulturen anderweitige ökologische Schäden, durch beispielsweise erhöhte Stickstoff-Düngung, entstehen. Hierzu müssen aussagekräftige Studien und Berechnungen durchgeführt werden. Daraus entsteht die Frage, ob sich in Europa unter diesen Kriterien überhaupt genug geeignete Anbauflächen finden um die Zielvorgaben zu erfüllen. Wird das Bioethanol stattdessen importiert, so muss sichergestellt sein, dass die Vorgaben eingehalten werden.

Die „Tank oder Teller“ Diskussion könnte mit einer Änderung der Herstellung von Biokraftstoffen beseitigt werden und gleichzeitig noch zum Umweltschutz beitragen. Hierfür wären mindesten Biokraftstoffe der zweiten Generation notwendig. Da diese aus den Reststoffen der Biomasse hergestellt werden, kann der Fruchtkörper selbst als Futtermittel verwendet werden. Da das Futtermittel sowieso benötigt wird und der Biokraftstoff aus den Resten und Abfällen gewonnen wird erfolgt hier ein sinnvolles Recycling, das dem Umweltschutz helfen würde. (VCD Verkehrsclub Deutschland e.V., 04/2011)

Die Auswirkungen von E10 auf den Endkunden

Die Einführung von E10 in Deutschland brachte bezüglich der Verträglichkeit des Kraftstoffes von Fahrzeugen zahlreiche bedenken. So wurde in den Medien propagiert, dass sehr viele Fahrzeuge den Biokraftstoff nicht vertragen und das Betanken des Fahrzeugs mit diesem zu Motorschäden führen können. Doch die meisten Autos in Deutschland (ca. 90%) vertragen E10 problemlos. Hierzu haben die Hersteller der Fahrzeuge Listen bereitgestellt um den Fahrer zu Informieren ob sein Fahrzeug den Biokraftstoff trägt. Nur bei Fahrzeugen welche älter

als 10 Jahre sind kann es zu Schwierigkeiten kommen. Hier können durch den Biokraftstoff verschiedene Dichtungen angegriffen werden oder sich der Verschleiß von bestimmten Teilen, welche mit dem Kraftstoff in Kontakt treten, erhöhen.

Neben dem Verträglichkeitsproblem wurde weiter behauptet, dass sich mit E10 der Spritverbrauch des Fahrzeugs erhöht. Vergleich man den Heizwert von Ethanol mit dem von herkömmlichem Benzin so ergibt sich für Ethanol ein um 34,4% geringerer Wert. Rechnet man dieses auf die 10 % Beimischung von Ethanol zum Benzin so ergibt sich ein etwa um 3,4 % erhöhter Verbrauch. Hier muss dazu beachtet werden, dass das herkömmliche Benzin an der Tankstelle ebenfalls bis zu 5% Bioethanol enthält. Somit halbiert sich der theoretische Wert für den erhöhten Verbrauch. Damit ist die Auswirkung auf den Endkunden kaum wahrnehmbar. Dieser geringe Mehrverbrauch egalisiert allerdings den oftmals etwas günstigeren Preis von E10 gegenüber E5 Benzin, der an der Tankstelle angeboten wird. Dieser vergünstigte Preis wird angeboten um den Absatz von E10 zu erhöhen und das Tanken attraktiver zu machen (Verkehrsclub Deutschland e.V.).

Ausblick

Der Gedanke der Einführung von E10 ist deutlich zu begrüßen und als Signal zu verstehen, dass etwas für unsere Umwelterhaltung für uns und folgende Generationen getan werden muss. Hierbei stellt E10 allerdings nur einen ersten Schritt dar. Auch die Umsetzung der Einführung des E10 Kraftstoffes und die dazugehörige Informationspolitik lässt stark zu wünschen übrig. Um einen Erfolg mit den gewählten Maßnahmen zu erzielen müssen diese weiter stärker verfolgt werden. So ist nicht nur wichtig, dass E10 auch verwendet wird sondern die Technik muss sich ebenso weiterentwickeln um die gesetzten Ziele zu erreichen. Vor allem die aktuelle Art der Produktion von Bioethanol ist unvorteilhaft. Hier muss darauf geachtet werden, dass möglich schnell neue Technologien die deutlich effizienter sind, marktreif werden. Auch sollte man darauf Wertlegen, dass sich durch Biomasseanbau keine Nachteile in der Lebensmittelproduktion und deren Preise für 3. Welt Länder ergibt. Neben den ganzen technischen Aspekten sollte sich aber auch die Erdbevölkerung der Lage bewusstwerden und ein Umdenken der Verwendung von Energie stattfinden. Durch eine nachhaltigere Lebensweise aller Menschen lässt sich nochmal sehr viel Energie einsparen und damit allgemein den CO₂ Ausstoß zu verringern. Nur durch ein Zusammenspiel aller Parteien kann das Ziel, den Klimawandel zu stoppen, erreicht werden.

Literaturverzeichnis

- Agentur für Erneuerbare Energien. 2013.** www.unendlich-viel-energie.de. [Online] 11. 10 2013. [Zitat vom: 25. 11 2015.] http://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/197.RenewsKompakt_Kritik_an_Biokraftstoffen_im_Faktencheck_okt13.pdf.
- Amtsblatt der Europäischen Union. 2009.** RICHTLINIE 2009/30/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES. 23. April 2009.
- ARD. 2011.** Wer ist aus Ihrer Sicht in erster Linie für die schlechte Information über den neuen Kraftstoff E10 verantwortlich? [Online] In Statista - Das Statistik-Portal, 03. 08 2011. [Zitat vom: 17. 11 2015.] <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/181593/umfrage/verantwortung-fuer-schlechte-information-ueber-biosprit-e10/>.
- Böttcher, Jörg, et al. 2014.** *Biokraftstoffe und Biokraftstoffprojekte*. Heidelberg : Springer Verlag; ISBN 978-3-642-55066-9, 2014.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung.** Die Zukunft der Energie. [Online] [Zitat vom: 23. 11 2015.] http://www.zukunft-der-energie.de/energieinkuerze/energie_im_zoom/mensch_tank_oder_teller.html.
- Bundesverband Erneuerbare Energien e.V. 2012.** [Online] 20. 08 2012. [Zitat vom: 14. 11 2015.] <http://www.bee-ev.de/home/presse/mitteilungen/detailansicht/bioenergie-taugt-nicht-als-suendenbock-fuer-verfehlte-agrarpolitik/>.
- co2online gGmbH.** co2online. [Online] [Zitat vom: 15. 11 2015.] <http://www.co2online.de/klimaschuetzen/klimawandel/ursachen-des-treibhauseffekts/>.
- DBV. Pressemitteilung, 19. Januar 2012.** *Etwa 3 Prozent der Weltackerfläche für Biokraftstoffe*. Pressemitteilung, 19. Januar 2012.
- Deutsches Forschungsnetz e.V.** <http://www.shuttle.de>. [Online] [Zitat vom: 20. 11 2015.] <http://www.hh.shuttle.de/hh/g15/seiten/1Wiki-Treibstoffe/Biokraftstoff.html>.
- Dr. Quirin, Markus, et al. 2004.** *CO₂-neutrale Wege zukünftiger Mobilität durch Biokraftstoffe*. Heidelberg : IFEAU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, 2004.
- Ecofys. 2008.** *Land use requirements of different EU biofuel scenarios in 2020*. Utrecht : s.n., 2008.
- EurObserver. Juli 2013.** *Biofuels Barometer 2012*. Juli 2013.
- FNR.** Anbaufläche von Energiepflanzen in Deutschland in den Jahren 2007 bis 2015 (in 1.000 Hektar). In Statista - Das Statistik-Portal. [Online] [Zitat vom: 25. 11 2015.] <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/153070/umfrage/gesamte-anbauflaeche-von-energiepflanzen-in-deutschland-seit-2007/>.
- Handelsblatt. 2008.** <http://www.handelsblatt.com>. [Online] 2008. [Zitat vom: 20. 11 2015.] <http://www.handelsblatt.com/auto/test-technik/verkehrsbiosprit-der-dritten-generation-in-arbeit/3062084.html>.
- IEA. 2011.** *Technology Roadmap. Biofuels for Transport*. Paris : s.n., 2011.
- Kasten, Peter. 2015.** <http://www.oeko.de>. [Online] 2015. [Zitat vom: 22. 11 2015.] <http://www.oeko.de/presse/presseinformationen/archiv-presseinformationen/2015/elektromobilitaet-in-deutschland-co2-bilanz-haengt-vom-ladestrom-ab-zusaetzlicher-ausbau-erneuerbarer-energien-waere-fuer-emissionsreduktion-notwendig/>.
- Klima ohne Grenzen gemeinnützige GmbH Christian Bachmann.** Klima ohne Grenzen. [Online] [Zitat vom: 15. 11 2015.] <http://klimaohnegrenzen.de/klimawissen>.
- Nova-Institut. 2012.** *Stoffliche Nutzung von Biomasse. Basisdaten*. Hürth : s.n., 2012.
- PLANET GbR.** <http://www.planet-energie.de>. [Online] [Zitat vom: 20. 11 2015.] http://www.planet-energie.de/de/planet/zukunft_h2/strassenverkehr.html.
- Statistisches Bundesamt.** Landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland nach Nutzungsart im Jahr 2014 (in Millionen Hektar). In Statista - Das Statistik-Portal. [Online] [Zitat vom: 25. 11 2015.] <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/183734/umfrage/landwirtschaftliche-nutzflaeche-in-deutschland-2010/>.
- Totz, Sigrid. 2011.** Greenpeace. [Online] 05. September 2011. [Zitat vom: 17. 11 2015.] <http://www.greenpeace.de/themen/landwirtschaft/biosprit/dauerbrenner-e10>.
- Umwelt-Bundesamt. 2015.** [Online] 09. 04 2015. [Zitat vom: 18. 11 2015.] <http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/kraft-betriebsstoffe/alternative-kraftstoffe#textpart-1>.
- University/IIASA/Winrock, Ecofys/Agra CEAS/Chalmers. Oktober 2011.** *Biofuels baseline 2008*. Oktober 2011.
- VCD Verkehrsclub Deutschland e.V. 04/2011.** *Faktencheck E10-Benzin*. 04/2011.
- Verkehrsclub Deutschland e.V.** VCD Verkehrsclub Deutschland. [Online] [Zitat vom: 18. 11 2015.] <https://www.vcd.org/themen/auto-umwelt/alternative-antriebe/e10-benzin/>.

Wikipedia. Wikipedia - Bioethanol. [Online] Wikipedia.
[Zitat vom: 15. 11 2015.]
<https://de.wikipedia.org/wiki/Bioethanol>.

—. Wikipedia - E10 (Kraftstoff). [Online] Wikipedia.
[Zitat vom: 15. 11 2015.]
[https://de.wikipedia.org/wiki/E10_\(Kraftstoff\)](https://de.wikipedia.org/wiki/E10_(Kraftstoff)).

Curriculum Vitae

Dominik Homberger

Ausbildung:

- | | |
|-----------|---|
| 2007-2010 | Ausbildung als Chemikant bei Evonik Industries, Rheinfelden |
| 2010-2011 | Berufskolleg Weil am Rhein, Erwerb der Fachhochschulreife |
| 2011-2015 | Bachelor-Studium Verfahrens- und Umwelttechnik, HTWG Konstanz |
| Seit 2015 | Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik HTWG Konstanz |

Beruflicher Werdegang:

- | | |
|------|--|
| 2010 | Assistent Produkteinführung und Technologieübertrag, Umicore AG & Co. KG Rheinfelden |
| 2015 | Anlageningenieur Energiebetrieb Technische Betriebsbetreuung, Evonik Rheinfelden |

Florian Tegel

Ausbildung:

- | | |
|------------|---|
| 2009 | Ten-Brink-Realschule Rielasingen |
| 2009-2011 | Hohentwiel-Gewerbeschule Singen
Berufskolleg für Chemisch-Technische Assistenten (CTA) mit Erwerb der Fachhochschulreife |
| 2011- 2015 | Bachelor-Studium Bio- und Prozesstechnologie Hochschule Furtwangen |
| Seit 2015 | Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik HTWG Konstanz |

„Ressourcen schonen – Nachhaltiger Umgang mit der Ressource Boden in der Landwirtschaft“

M. Liebert¹, Christian Glökler²

¹HS Weingarten, 88250 Weingarten, Email: ml-153352@hs-weingarten.de

²HS Weingarten, 88250 Weingarten, Email: cg-153345@hs-weingarten.de

Abstract

This paper should give an overview about the current use of the soil in the agriculture. The following topics will be discussed: the chemical and mechanical load of the modern agriculture and their influences on the environment. Furthermore the ecological agriculture as a sustainable alternative will be explained. After all the sustainable methods to prevent the effects on the environment like erosion, contamination and the compression of the soil will be explained.

Einleitung

Boden ist Leben – diese drei einfachen Worte bringen alles zum Ausdruck, was nährstoffreicher und biologisch intakter Boden für die Menschheit, sowie die Tier- und Pflanzenwelt bedeutet.

Der Boden unseres Planeten übernimmt viele grundlegende Aufgaben, die für den Erhalt des Lebens auf unserer Erde existentiell sind. Ein nährstoffreicher Boden ist unabdingbar für die Quantität und Qualität unserer Lebensmittelproduktion. Alles Leben hängt von einem intakten Ökosystem Boden ab. Die Pflanzen versorgt er mit den entsprechenden Nährstoffen und Wasser, welche wiederum die Nahrungsmittelgrundlage für Mensch und Tier bilden. Eine weitere Aufgabe des Bodens ist es, das Regenwasser zu filtern und zu reinigen, wodurch sauberes Trinkwasser entsteht, welches unentbehrlich für jede Form von Leben ist. Der Boden ist auch für unser Klima unabdingbar, denn nach den Ozeanen ist er der größte Kohlenstoffspeicher unseres blauen Planeten. Ein gesunder Boden lebt. Er ist Heimat unzähliger Mikroorganismen und Kleinstlebewesen, denn mehr als zwei Drittel aller Arten der Welt werden vom Boden beherbergt. Das macht ihn zu einem der wichtigsten Faktoren zum Erhalt der nahezu grenzenlosen Biodiversität unserer Erde. Durch all diese Funktionen ist nicht zu leugnen, dass der Boden für uns lebenswichtig ist und trotzdem schützen wir ihn nicht hinreichend. Durch die moderne, intensive Landwirtschaft werden Nährstoffverarmung, Bodenverdichtung, sowie Wind- und Wassererosion gefördert. Die

Verwendung großer Mengen von synthetischen Mineraldüngern und Pflanzenschutzmitteln steigern die Belastungswerte von Böden und Gewässern immer mehr an und verursachen einen Schwund der Biodiversität. Durch die Ausweitung des Straßennetzes und das Wachstum der Städte wird immer mehr fruchtbarer Boden versiegelt und somit unwiderruflich geschädigt und zerstört. Jeder dieser Faktoren führt dazu, dass allein in Deutschland jeden Tag mehrere Hektar fruchtbaren Bodens geschädigt oder gar zerstört werden. All diese Phänomene sind weltweite Probleme und bedürfen daher globaler Lösungsansätze (Bauer, 2015, S. 6 – 7).

Bodenbelastungen durch die industrielle Landwirtschaft am Beispiel Deutschlands

Die Fruchtbarkeit eines Bodens hängt im Wesentlichen von seiner Biodiversität ab. Mikroorganismen und Kleinstlebewesen bilden aus abgestorbenen Pflanzenteilen wieder Humus, welcher Nährstoffe und Wasser bindet, und verteilen ihn im Erdreich. Die Bodenorganismen lockern den Boden auf, wodurch eine Porenstruktur entsteht, welche für eine gute Durchlüftung des Bodens unabdingbar ist. Denn eine gute Durchlüftung ist die Basis für die Sauerstoffversorgung von Tieren und Pflanzen im Erdreich (Ehlers, 2015, S. 12).

Die heutige, intensive Landwirtschaft bringt dieses Zusammenspiel der Natur aus dem Gleichgewicht und ist Grund für verschiedene negative Belastungen unserer Böden.

Stoffliche Belastungen

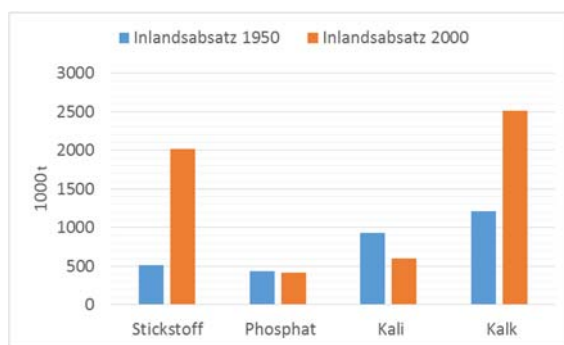
Der Einsatz von Agrarchemikalien, wie Mineraldüngern und Pflanzenschutzmitteln, erbrachte in der modernen Landwirtschaft hohe Erträge im Ackerbau und der Tierhaltung. Allerdings ist diese exzessive Agrarchemisierung auch mit großen Auswirkungen auf die natürlichen Produktionsfaktoren verbunden. Denn sie schadet der Biodiversität des Bodens, was wiederum zu einer Verarmung natürlicher Nährstoffe im Boden (Rau-Schamfuß, 1998,

S. 23-24) und einer Erhöhung der Belastungen von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln in Grund- und Oberflächengewässern führt (Rau-Schamfuß, 1998, S. 85).

Mineralische Düngemittel

Die in der Landwirtschaft größtenteils verwendeten Mineraldünger sind Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumverbindungen, welche die Hauptnährstoffe der Pflanzenwelt darstellen. Allerdings bewirkt die Einbringung dieser synthetischen Mineraldünger eine unnatürliche Ernährung der Pflanzen. Stellten zuvor Bodenorganismen die für das Pflanzenwachstum benötigten Nährstoffe zur Verfügung, werden diese bei Verwendung von Mineraldüngern künstlich ins Erdreich eingeführt. Diese Form der Düngung schadet allerdings der Biodiversität des Bodens und die künstliche Nährstoffversorgung der Pflanzen muss in dem Maße erfolgen, wie durch die Verdrängung der Bodenorganismen verloren geht, um den Ausfall der natürlich eingebrachten Nährstoffe zu kompensieren (Rau-Schamfuß, 1998, S. 94-95). Letztendlich führt die Mineraldüngung mit jeder Ernte zu einer Verringerung des Humuskörpers im Boden, weil durch diese Art der Düngung die organische Substanz der Böden nicht regeneriert wird (Rau-Schamfuß, 1998, S. 63). Abbildung 1 zeigt, dass der Düngemiteleininsatz in Deutschland innerhalb der letzten 50 Jahre des 20. Jahrhunderts dennoch extrem gestiegen ist.

Abbildung 1: Entwicklung des Inlandsabsatz von Mineraldüngern in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung; Daten aus Statistisches Bundesamt, 2001

Pflanzenschutzmittel

Der Einsatz von Pflanzenschutzmittel dient der Bekämpfung von Lebewesen, welche sich mit dem Menschen um die Ernte streiten. Bei diesen Agrarchemikalien handelt es sich um biologisch aktive Verbindungen (Schinner, 1997, S. 65), welche in Gruppen eingeteilt werden, die je nach der Zielgruppe des zu bekämpfenden Schädlinge benannt

werden. Die wichtigsten Verbindungsgruppen dabei sind die Herbizide, die Fungizide, die Insektizide, sowie die Bodenentseuchungsmittel (Schinner, 1997, S.68-70). Dem großen Vorteil von vermindertem Schädlingsbefall durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln stehen aber mehrere Nachteile gegenüber.

Die Auswirkungen, welche die ausgebrachten Pflanzenschutzmittel verursachen, sind von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Neben der molekularen Struktur und der Zusammensetzung der Agrarchemikalien haben auch die Häufigkeit der Ausbringung und die vorhandene Bodenstruktur Einfluss auf die Folgen deren Einsatzes (Rau-Schamfuß, 1998, S. 102).

Dabei hängt die Kontamination der Böden mit Pestizidrückständen größtenteils von deren Persistenz ab. Die Persistenz beschreibt die Fähigkeit der Moleküle im Boden zu verweilen. Dabei gibt es Pflanzenschutzmittel, welche von Mikroorganismen abgebaut werden können, aber auch Stoffe die aufgrund ihrer Molekularstruktur über Jahre im Boden nachweisbar sind (Rau-Schamfuß, 1998, S. 105-106).

Die heutige Landwirtschaft sollte nach den Grundregeln des integrierten Pflanzenschutzes arbeiten, welcher aus einer Kombination von biologischen, biotechnischen und züchterischen Maßnahmen besteht (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2015a, S. 16). Chemische Pestizide sollten lediglich in dem Maße eingesetzt werden, wie nötig ist die natürlichen Erzeugnisse so zu schützen, dass die gewünschte Qualität erreicht werden kann. Es sollte aber auch nicht mehr verwendet werden, damit die Belastungen für Böden und Gewässer möglichst gering bleiben.

Bodenerosion

Unter Bodenerosion versteht man den Abtrag von Bodenmaterial durch Wind oder Wasser. Momentan gilt sie als größte Bedrohung der weltweiten Agrarflächen. Es gibt mehrere Faktoren für das Ausmaß der Bodenabtragung. Dabei spielen die Bodenart und Lage der Agrarfläche eine ebenso entscheidende Rolle, wie die Bewirtschaftungstechniken der Landwirte oder Naturgewalten, wie Niederschläge (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2014, S. 2-3) und Wind. Die im Boden tätigen Organismen bestimmen dessen natürliche Struktur. Die Struktur eines intakten Bodens, ist krümelig, gut durchlüftet und besitzt einen schwammähnlichen Aufbau, welcher ihn vor Erosion durch Wind und Wasser bewahrt. Allerdings wird dieses schützende Bodengefüge bei

unsachgemäßer landwirtschaftlicher Bewirtschaftung zerstört (Rau-Schamfuß, 1998, S. 54-56).

Die in den letzten 50 Jahren zunehmend zu beobachtende Bodenerosion hat mehrere Gründe. So werden die Böden durch größer und schwerer werdende Landmaschinen, immer stärkeren mechanischen Belastungen ausgesetzt. Wendende Bodenbearbeitung, wie Pflügen, führt dazu, dass der Boden seine natürliche Stabilität verliert und fehlende wind- und wasserbremsende Strukturen, wie Hecken, sind an den Ackergrenzen kaum noch vorhanden. Auch der ständige Anbau von Reihenkulturen ist schädigend. All diese Maßnahmen der modernen Landwirtschaft fördern den Verlust fruchtbaren Bodens durch Erosion (Frielinghaus, 2002, S. 13).

Im Jahr 2002 war der Anteil erosionsgefährdeter Agrarflächen in Mecklenburg-Vorpommern so weit gestiegen, dass in diesem Bundesland bereits ca. 53% der landwirtschaftlich genutzten Fläche wassererosionsgefährdet benannt wurden. Dabei wurden 24% der Böden als gering, 19% als mittel, 9% als sehr stark und 1% als sehr stark gefährdet eingestuft (Frielinghaus, 2002, S. 26).

Die auf Ackerflächen entstehenden Schäden infolge von Erosion sind vielseitig. Es entstehen sowohl Schäden, welche für die Landwirte sichtbar sind, als auch Schäden, die für den Menschen optisch nicht erkennbar sind. Zu den sichtbaren Schäden gehören beispielsweise die Verletzung und Entwurzelung von Nutzpflanzen, die Entstehung von Erosionsrinnen auf den Agrarflächen, sowie der Abtransport von Saatgut und Agrarchemikalien durch Wind und Wasser oder die starke Verschmutzung von Straßen. Schäden des Bodens, welche nicht mit dem bloßen Auge identifizierbar sind, sind der Schwund von Humuskörper und Nährstoffen, sowie die Minderung der Ertragsfähigkeit, der Verlust der Bodenhomogenität und die Anreicherung von Schadstoffen im Boden. Da die Folgen der Bodenerosion oft irreversibel sind, gefährdet dieses Phänomen unsere fruchtbaren Agrarflächen (Frielinghaus, 2002, S. 14).

Bodenverdichtung

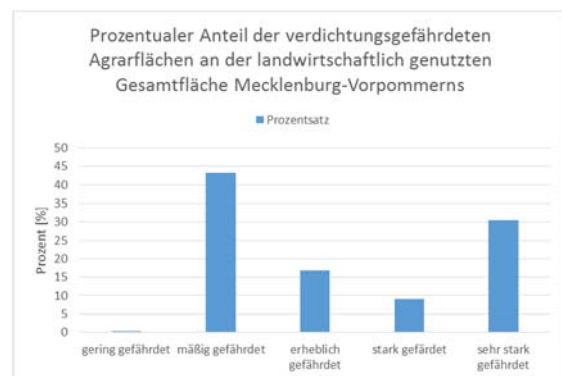
Bei der Bodenverdichtung handelt es sich um eine mechanische Veränderung der Bodenstruktur. Der Aufbau des Bodens ändert sich bei der Verdichtung dahingehend, dass der Feststoffanteil pro Bodenvolumen relativ zunimmt, da durch die Verdichtung die Porosität des Bodens verringert wird (Frielinghaus, 2003, S. 12). Das große Gewicht der modernen Landmaschinen spielt eine große Rolle bei diesem Phänomen. Durch die immer leistungsstärker und dadurch schwerer werdenden Land-

maschinen werden unsere Agrarflächen mechanisch immer stärker belastet. Zum Beispiel kann ein moderner Mährescher bis zu 27 Tonnen auf die Waage bringen (Marahrens, 2015, S. 53). Des Weiteren verstärkt sich der Effekt der Bodenverdichtung im nassen Zustand, da das Wasser in den Poren des Bodens als Gleitmittel für die Verschiebung der Bodenpartikel wirkt und daher den Effekt der Bodenverdichtung unterstützt (Frielinghaus, 2003, S. 12).

Bis zu einem gewissen Grad ist die Verdichtung des Bodens legitim. Wenn die Bodenverdichtung aber zu einer zeitweisen oder gar dauerhaften Schädigung der Produktions-, Regelungs- und Lebensraumfunktion des Bodens führt wird von schadhafter Verdichtung gesprochen (Frielinghaus, 2003, S. 12-13).

Eine Untersuchung des Landesamts für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern ergab (siehe Abbildung 2), dass der Großteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche des Landes verdichtungsgefährdet ist.

Abbildung 2: Gefährdung der Agrarfläche Mecklenburg-Vorpommerns durch Bodenverdichtung



Quelle: Eigene Darstellung; Daten aus Frielinghaus, 2003, S. 26

Dabei sind lediglich 0,3 Prozent der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche des Landes gering gefährdet und mehr als 50% erheblich bis stark verdichtungsgefährdet.

Die Verdichtung des Bodens hat auf Agrarflächen verschiedene, meist negative Folgen:

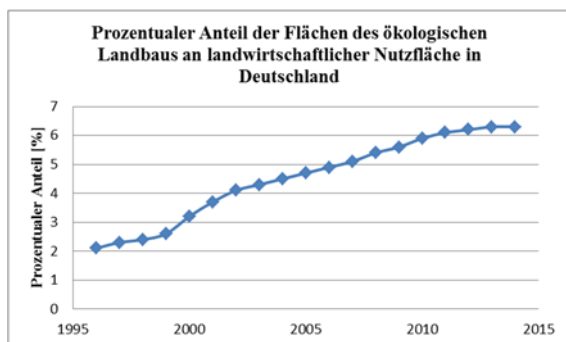
- Verminderung einer ausgeglichenen Bodenatmung (Ram-Schamfuß, 1998, S. 72)
- Deformierung und Fehlwachstum von Pflanzenwurzeln durch Verdichtungsplatten. Die Bildung von Feinwurzeln wird unmöglich (Ram-Schamfuß, 1998, S. 74-75)

- Sauerstoffmangel im Boden, was schädlich für Tiere und Pflanzen ist (Walter, 2015, S. 29)
- Verminderung der Wasserabführung, Regenwasser staut sich entweder in Pfützen oder wird durch oberflächliche Rinnen abgeleitet und führt dabei Pflanzennährstoffe ab (Rau-Schamfuß, 1998, S. 77)

Bisher wurden lediglich die Belastungen und Gefährdungen der Ressource Boden durch die moderne industrielle Landwirtschaft, sowie deren Folgen für unsere Böden behandelt. Um aufzuzeigen, wie mit der Ressource Boden nachhaltig gearbeitet werden kann, werden im folgenden Teil umweltschonende Arbeitsmethoden des Ökolandbaus und nachhaltige Methoden zum Schutz der Bodens erläutert.

Ökolandbau

Abbildung 3: Prozentualer Anteil der Flächen des ökologischen Landbaus an landwirtschaftlicher Nutzfläche in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung; Daten aus Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2015b

Angesichts der Produktionsmengen stellt der Ökolandbau, wie in Abbildung 3 zu sehen, keine Konkurrenz zur intensiven, konventionellen Landwirtschaft dar. Allerdings nimmt er durch die Anwendung, sowie Weiterentwicklung umwelt- und bodenschonender Anbaumethoden eine Stellung als Wegbereiter zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft ein. Dabei stehen vor allem im Zusammenhang der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit die Bodenorganismen im Mittelpunkt. So zeigt der ökologische Landbau beispielsweise durch einen durchschnittlichen Ertrag von 92% gegenüber dem der konventionellen Anbaumethoden, dass eine nachhaltige Wirtschaftsweise bezüglich der Produktionsleistung konkurrenzfähig wäre (Beste, 2015, S. 34-35)

Da sich der ökologische Landbau dazu verpflichtet hat die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten oder gar zu verbesser

ern, die Bodenstabilität und Biodiversität zu steigern und in diesem Zusammenhang Bodenerosion und Bodenverdichtung zu vermeiden sind Methoden erforderlich welche dies nachhaltig gewährleisten können. Um dieses Ziel zu erreichen sind unter anderem mehrjährige Fruchtfolgen, welche Pflanzen zur Gründung beinhalten, sowie das Ausbringen organischer Dünger aus Tierhaltung oder Biogasproduktion notwendig. Um auf Pflanzenschutzmittel verzichten zu können sind ein gesunder Boden, die geeignete Wahl der Fruchtarten, thermische Verfahren und für den Pflanzenschutz optimierte Anbauverfahren die hilfreichsten Mittel (RAT DER EUROPÄISCHEN UNION, 2007, S. 20-21).

Im weiteren Verlauf soll auf die verschiedenen Aspekte der nachhaltigen Landwirtschaft genauer eingegangen werden. Dabei wird gezielt auf ihre Umsetzung, sowie ihre Wirkungsweise eingegangen.

Nachhaltige Methoden der Landwirtschaft zum Schutz des Bodens

Da die ökologische Landwirtschaft aufgrund des besonderen Augenmerks auf Nachhaltigkeit und umweltschonende Methoden einen innovativen Vorteil diesbezüglich besitzt, soll diese in den folgenden Kapiteln als Beispiel dienen (Beste, 2015, S. 34-35).

Aufgrund gesetzlicher Bestimmungen und ökonomischer Gesichtspunkte, wie Ertragssteigerung oder Förderung sind einige der folgenden Methoden bereits vollständig oder in Teilen in der konventionellen Landwirtschaft bereits umgesetzt worden.

Organischer Dünger als alternative zu Mineraldünger

Die nachhaltige Alternative zum reinen Einsatz von Mineraldünger, welche durch den fehlenden Eintrag von organischem Material eine Humusneubildung verhindert, ist die Verwendung von organischem Dünger, der aus unterschiedlichen Quellen bezogen werden kann (Wendland, 2015, S. 54).

So können durch organische Düngung die Lebensbedingungen der Bodenflora, welche 75-80% und –fauna, welche 20-25% des Bodenlebens ausmacht, gefördert werden. Dies führt zu einem höheren Humusgehalt des Bodens was der Bodenfruchtbarkeit zuträglich ist (Hemerling, 2014, S. 41-42).

Dazu können die in der Tierhaltung anfallenden Mist- und Güllekapazitäten als organische Dünger ausgebracht werden (Wendland, 2015, S. 54).

Der Eintrag organischen Materials dient nicht nur der Ernährung der Pflanze, sondern dient auch der Ernährung der Bodenorganismen. Diese scheiden bei der Humifizierung und Weiterverarbeitung des organischen Materials Substanzen aus, welche wiederum von den Pflanzen als Nährstoffe verwendet werden können. Ein gut strukturierter Humuskörper verhindert zusätzlich ein Abschwemmen oder Versickern des Düngers und wodurch die Belastungen von Oberflächen- und Grundwasser verringert werden. Letztendlich fördert dieser Eintrag also die Bioaktivität des Bodens, da der natürliche Nährstoffkreislauf unterstützt wird (Beste, 2015, S. 34-35).

Der positive Effekt, welcher sich zum Beispiel an dem Regenwurmbesatz widerspiegelt, hat wiederum förderliche Auswirkungen auf die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens und bietet daher einen Schutz gegen Erosion, welcher im folgenden Kapitel näher erläutert wird (Schmidt, 2015, S. 44).

Umweltgerechter Pflanzenschutz

Um nachhaltigen Pflanzenschutz zu betreiben ist in erster Linie ein gesunder Boden mit hoher Biodiversität ausschlaggebend. Dieser verhindert durch die höhere Widerstandskraft der darauf wachsenden Pflanzen, sowie seiner eigenen krankheitshemmenden Wirkung, die Notwendigkeit von Pflanzenschutzmitteln. So können die meisten Schädlinge durch Nützlinge bekämpft werden, die in einem biologisch aktiven Boden vorkommen. Ein zusätzlicher Stoffeintrag ins Erdreich ist nicht von Nöten. Trotzdem auftretende Schädlinge und Krankheiten können statt mit Hilfe von Gentechnik oder konventionellen Pestiziden durch den Einsatz geeigneter Naturstoffe und Mikroorganismen angegangen werden (Borowski, 2009, S. 24-25).

Diese haben den Vorteil, dass die Störung der natürlichen Bodenflora und -fauna nicht beeinträchtigt wird und somit die Fruchtbarkeit des Bodens und dessen Nährstoffkreislauf gewahrt bleiben.

Methoden zur Vermeidung von Bodenerosion

Um der Bodenerosion entgegenzuwirken sind unterschiedliche Maßnahmen möglich. Eine Strategie besteht darin den Boden mit Hilfe der umliegenden Vegetation zu schützen. Pflanzen, wie Bäume und Büsche, befestigen den Boden mit Hilfe ihrer Wurzeln, was den Abtrag an Erdreich durch Wind und Wasser verringert. In der Landwirtschaft können aber auch organisatorische Maßnahmen zum Schutz vor Erosion getroffen werden. Beispielsweise können Brachzeiten veranschlagt werden,

welche dem Boden Zeit zur Erholung bieten. Dabei sollten nach Möglichkeit die Pflanzen, welche während der Brache auf dem Boden gedeihen, nicht oder nur in geringem Maße verwertet (Futtermittel) werden. So wird ein neuer Eintrag organischer Substanz in den Boden gewährleistet, was wiederum die Biodiversität fördert und die dem Boden entzogenen Nährstoffe wieder regeneriert (Mundy, 2015, S. 38-39).

Maßnahmen, welche durch die Anbaumethode die Erosion durch Wasser und Wind vermindern können sind nach Schmidt (Schmidt, 2015, S. 40) zum Beispiel eine schützende Bodenabdeckung. Diese hat mehrere Funktionen die der Wasser- und Winderosion entgegenwirken. Zum Beispiel wird durch die Verwurzelung einer deckenden Bepflanzung die Stabilität des Bodens stark verbessert. Auch der direkte Aufprall von Regen auf die Erdschicht und eine damit einhergehende Zerstörung von bestehenden Bodenstrukturen kommt nicht zustande, was das Auflösen und Abschwemmen des vorhandenen Oberbodens verhindert. Die Bodenabdeckung kann dabei aus Mulch, Stroh, Zwischenfrüchten oder deren Resten bestehen. Um die positiven Effekte hinsichtlich der Erosionsbeständigkeit in Abhängigkeit der Anbauform zu beschreiben wurden nach Schmidt drei Anbauformen gegenübergestellt (Schmidt, 2015, S. 40-43):

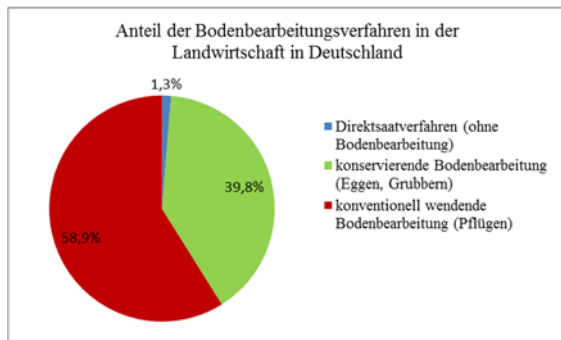
Erstens konventionelle Bodenbearbeitung, welche sich durch eine hohe Intensität der Bodenbearbeitung auszeichnet. Durch den Einsatz von Pflügen wird der Boden bis in eine Tiefe von 35cm gewendet. Zweitens konservierende Bodenbearbeitung in welcher auf den Einsatz von Pflügen verzichtet wird. Hier wird ausschließlich eine Lockerung des Bodens realisiert, welche je nach Bearbeitung in eine Tiefe von 25 cm vordringt. Und letztens die Direktsaat, welche vollständig auf eine Vorbereitung des Bodens verzichtet und das Saatgut nur in der dafür vorgesehenen Tiefe einsetzt. Es zeigt sich, dass eine verminderte Bodenbearbeitung einen zunehmend positiven Einfluss auf die Wasseraufnahmekapazität des Erdreichs hat. Die Direktsaatfläche zeigte eine um 215% höhere Infiltrationsrate bei gleicher Beregnung wie die konventionell gepflügte Fläche. Die konservierende Bodenbearbeitung lag im Versuch bei einer 175%igen Erhöhung der aufgenommenen Wassermenge. Auch im Vergleich des direkten Bodenabtrags durch die Bearbeitungsvarianten zeigt sich, dass eine geringere mechanische Bearbeitungsintensität des Bodens die besseren Ergebnisse erzielt. Der Versuch ergab, dass sich der Abtrag bei konservierender Bodenbearbeitung um den Faktor 5 und bei Direktsaatverfahren sogar um den Faktor

50 im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung reduziert hat (Schmidt, 2015, S. 43-44).

Ausschlaggebend für die Beständigkeit des Bodens gegen Erosion ist zum einen die Funktionstüchtigkeit und Aufrechterhaltung der natürlichen Bodenstrukturen, die durch Poren, welche die Absorption von Wasser gewährleistet wird. Zum anderen durch den Oberflächenschutz, welcher vom Verbleib von Mulch und Ernteresten auf dem Feld abhängig ist (Schmidt, 2015, S. 45).

Die Resultate zeigen, dass durch die Bearbeitung der Flächen mit relativ geringem Aufwand bereits starke Verbesserungen bezüglich der Bodenerosion erzielt werden können. So ist der Trend zu einer konservierenden Bodenbearbeitung bereits in der konventionellen Landwirtschaft ersichtlich.

Abbildung 4: Anteil der Bodenbearbeitungsverfahren in der Landwirtschaft in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung, Daten aus Hemerling, 2014, S.43

Die Produktivität dieser Anbauformen zeigt sich auch dadurch, dass bereits 2010 39,8% des Ackerlandes mittels konservierender Bodenbearbeitung bewirtschaftet wurden. Direktsaatverfahren waren allerdings mit 1,3% noch wenig verbreitet (Hemerling, 2014, S. 43).

Entlastung des Bodens und Verhinderung schädlicher Bodenverdichtung

Bodenverdichtungen können wie bereits beschrieben einen drastischen Einfluss auf das Bodengefüge haben und sollten daher verhindert oder zumindest reduziert werden. Von zentraler Bedeutung ist hierbei die Verringerung der mechanischen Belastung auf den Boden. Um diese zu erreichen können verschiedene Ansätze verfolgt werden (Frielinghaus, 2003, S. 44):

Technische Reduzierung der Bodenbelastung

Um die Traglast des Bodens zu verringern ist der Einsatz von leichteren Gerätschaften mit geringerer Radlast ein

erster Lösungsansatz. Da dies jedoch nur begrenzt die Ansprüche der Landwirtschaft erfüllen kann ist zudem eine Reduzierung dieser Last durch schonendere Fahrwerke, sowie eine höhere Anzahl von Achsen, auf welche sich das Arbeitsgewicht der Maschine stützt. Eine weitere Möglichkeit zur Verminderung der Bodenbelastung ist die Erhöhung der Auflagefläche durch Bandfahrwerke, Zwillingsreifen oder im einfachsten Fall durch die Erniedrigung des Reifeninnendrucks. Um Schlupf zu vermeiden und somit eine möglichst schonende Kraftübertragung zu gewährleisten ist der Einsatz von Allradantrieben und der Verzicht auf gezogene Geräte sinnvoll (Frielinghaus, 2003, S. 44).

Arbeitsverfahren zur Entlastung des Bodens

Zur Optimierung der Arbeitsabläufe des Bodenschutzes gegen Schadverdichtung können Arbeitsschritte auf den Äcker und Feldern kombiniert werden. Auch durch die Reduzierung der Zuladung bezüglich Kraftstoff und Last unter Verwendung von Zwischenspeichern kann eine Schädigung der Bodenstruktur abgeschwächt oder sogar verhindert werden. Eine weitere bodenschonende Maßnahme ist es nur tragfähige Böden zu befahren und beispielsweise während des Pflügens außerhalb der Furchen zu fahren (Frielinghaus, 2003, S. 44).

Angepasste Bodenbearbeitung

Um die Belastbarkeit des Bodens zu erhöhen können vor allem in Bezug auf die Bodenbearbeitung Erfolge erzielt werden. So kann durch Direktsaat oder eine konservierende Bodenbearbeitung die Oberflächenstruktur des Bodens gefestigt und die mechanische Belastbarkeit verbessert werden. Des Weiteren dient eine Bepflanzung des gelockerten Bodens, zum Beispiel durch den Anbau von Zwischenfrüchten, einer Steigerung der Stabilität durch deren Verwurzelungen. Durch die Reduzierung von lockernder Bodenbearbeitung, egal ob oberflächlich oder in der Tiefe des Bodens, wie Pflügen, kann die Tragfähigkeit des Bodens weiter verbessert werden. Am wichtigsten ist jedoch, dass eine Befahrung des Bodens nur stattfindet, wenn die Witterungseinflüsse und somit die Bodenbedingungen dies zulassen, da der Verdichtungseffekt bei nassem Boden erheblich ansteigt (Frielinghaus, 2003, S. 44).

Fazit

Ein nachhaltiger Umgang mit dem Boden unter unseren Füßen ist in unserer heutigen Welt unabdingbar. Zum einen werden durch die wachsende Bevölkerung immer mehr Flächen versiegelt und zum anderen muss die Landwirtschaft eine immer größere Zahl an Menschen

ernähren. Diese Anforderungen durch eine maximale Produktivität bei möglichst geringem Aufwand erzielen zu wollen hat angesichts der Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt keine Zukunft. Im Gegenteil bei anhalten dieses Trends muss die Fruchtbarkeit, also die Fähigkeit des Bodens Erträge hervorzubringen, nachhaltig gesteigert werden um uns und zukünftigen Generationen als Nahrungsquelle, Lebens- und Erholungsraum dienen zu können.

Literaturverzeichnis:

- Bauer, Barbara; Unmüßig, B.; Töpfer, K.; Weiger, H., 2015. „Vorwort“, in: *Bodenatlas 2015 Daten und Fakten über Acker, Land und Erde*, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland u.a. (Hg.), Berlin, S. 6-7
- Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2014, *Bodenerosion – Wie stark ist die Bodenerosion auf meinen Feldern?*, Freising-Weihenstephan
- Beste, Andrea, 2015, „ÖKO-LANDBAU: DER LANGE KAMPF FÜR BESSERE BÖDEN“, in: *Bodenatlas 2015 Daten und Fakten über Acker, Land und Erde*, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (Hg.) u.a., Berlin, S. 34-35
- Borowski, Bianca; Gerber, Alexander; Röhrig, Peter; Gräbnitz, Dorit, 2009, *NACHGEFRAGT: 28 Antworten zum Stand des Wissens rund um Öko-Landbau und Bio-Lebensmittel*, Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft e.V. (Hg.), 3. Überarbeitete Auflage, Berlin
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2015a, *Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung 2015*, Berlin
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2015b, *Betriebe und Flächen des ökologischen Landbaus in Deutschland (1994 bis 2014)*, Online URL: https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachhaltige-Landnut-zung/Oekolandbau/_Texte/Tabelle2OekolandbauInD.html (Letzter Zugriff am 08.12.2015)
- Ehlers, Knut, 2015, „Das unsichtbare Ökosystem“, in: *Bodenatlas 2015 – Daten und Fakten über Äcker, Land und Erde*, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland u.a. (Hg.), Berlin, S. 12-13
- Frielinghaus, Monika; Deumlich, Detlef; Funk, Roger; Helming, Katharina; Thiere, Jürgen u.a., 2002, „Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern – Bodenerosion“, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (Hg.), 2. Auflage, Güstrow
- Frielinghaus, Monika; Petelkau, Heinz; Seidel, Klaus; Winnige, Barbara; Völker, Lidia, 2003, „Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern – Bodenverdichtung“, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (Hg.), Güstrow
- Hemerling, Udo; Pascher, Peter; Naß, Silke; Gaebel, Christian; Deutscher Bauernverband, 2014, *SITUATIONSBERICHT 2014/15 TRENDS UND FAKTEN ZUR LANDWIRTSCHAFT*, Deutscher Bauernverband (Hg.) Berlin
- Marahrens, Stephan; Schmidt, Simone; Frauenstein, Jörg; Mathews, Jeannette; Bussian, Bernd-Michael u.a., 2015, „Bodenzustand in Deutschland zum internationalen Jahr des Bodens“, Umweltministerium (Hg.), Dessau-Roßlau
- Mundy, Paul, 2015, "TRADITIONELLE SYSTEME: REGENERATION VON BÖDEN: WAS BAUERN TUN KÖNNEN“, in: *Bodenatlas 2015 Daten und Fakten über Acker, Land und Erde*, Bund für Umwelt –und Naturschutz Deutschland (Hg.) u.a., Berlin, S. 38-39
- Schinner, Franz, Sonnleitner, Renate, 1997, *Bodenökologie: Mikrobiologie und Bodenenzymatik Band 3*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg
- Schmidt, Walter, 2015, „Nachhaltiger Schutz vor Bodenerosion durch ackerbauliche Maßnahmen“, in: *Tagungsband „Jahr des Bodens“ Schwere Maschinen, enge Fruchtfolgen, Gärreste – eine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit?*, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.), Bonn, S. 40-54
- Statistisches Bundesamt, 2001, *50 Jahre Düngemittelstatistik in Deutschland*, Online URL: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/50JahreDuengemittelstatistik_52001.pdf?__blob=publicationFile (Letzter Zugriff am 01.12.2015)
- Rau-Schamfuß, Cornelia, 1998, *Chemie in der Landwirtschaft*, S. Hirzel Verlag Stuttgart, Leipzig
- Walter, Roswitha; Burmeister, Johannes; Brandhuber, Robert, 2015, „Regenwürmer – aktuelle Gefahren und positive Entwicklungen in landwirtschaftlich genutzten Böden“, in: *Tagungsband „Jahr des Bodens“ Schwere*

Maschinen, enge Fruchtfolgen, Gärreste – Eine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit?, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.), Bonn, S. 26-39

Wendland, Matthias, 2015, „Wirtschaftsdünger und Bodenfruchtbarkeit – Möglichkeiten und Grenzen“, in: *Tagungsband „Jahr des Bodens“ Schwere Maschinen, enge Fruchtfolgen, Gärreste – eine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit?*, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.), Bonn, Seite 54-58

Curriculum Vitae

Michael Liebert

Ausbildung:

- | | | | |
|-----------|--|----------------|--------------------------------------|
| 2010 | Abitur | Technisches | Gymnasium |
| | | Schwäbisch | Gmünd |
| 2011-2015 | Bachelor-Studium der | Physikalischen | Technik an der Hochschule Ravensburg |
| | | Weingarten | |
| Seit 2015 | Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik | Hochschule | Ravensburg |
| | | Weingarten | |

Christian Glökler

Ausbildung:

- | | | | |
|------------|--|---------------------------------------|------------------------|
| 2010 | Abitur am Technischen Gymnasium der | Gewerblichen | Schule Ehingen (Donau) |
| 2010-2011 | Zivildienst bei der Sozialstation Erbach | (Donau) | |
| 2011- 2015 | Bachelor-Studium der Physikalischen | Technik an der Hochschule Ravensburg- | Weingarten |
| Seit 2015 | Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik an der Hochschule Ravensburg- | Weingarten | |

Biokunststoffe in der Verpackungsindustrie

Katrin Merk¹

¹ HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: katrin.merk@htwg-konstanz.de

Abstract

Plastics are very important in the packaging industry. Due to the limitation of crude oil and high CO₂ emissions in plastic disposal it is important to get alternatives like bioplastics. These are produced in different ways, for instance biosynthesis of polymers. Also, they can be disposed variably like composting or recycling. Currently, the packaging industry is the major industry of bioplastics. Applications are e.g. bags or bottles. In future, the main focus of bioplastics will be on using renewable raw material instead of biodegradability. PLA, TPS, bio-PE and bio-PET will be the most important bioplastics. In 2018 more than 6 million tons of bioplastics will be produced what is 3 times more than in 2015. Despite, bioplastics are still in the early stages of development. Their high price is an obstacle in commercialisation. The shortage in crude oil can't be stopped by the manufacture of bioplastics from renewable raw material. Furthermore, its climate-neutrality is disputable.

Einleitung

Kunststoffe sind durch ihre gute und flexible Verarbeitbarkeit und technische Eigenschaften wie beispielsweise dem geringen Gewicht, Formbarkeit, chemische Beständigkeit und Elastizität die erste Werkstoffwahl für viele industrielle und gewerbliche Anwendungen. Im Jahre 2014 wurden weltweit 311 Millionen Tonnen Kunststoffe hergestellt, die meisten davon aus dem fossilen Rohstoff Erdöl. (Thielen, 2014, S.6; PlasticsEurope, 2015, S.8) Neben beispielsweise der Herstellung von Baumaterialien oder in der Automobilindustrie werden allein 40 % aller Kunststoffe in der Verpackungsindustrie benötigt. (PlasticsEurope, 2015, S.12) Folgende zwei Punkte stellen die wesentlichen Gründe dar, weshalb nach alternativen Verpackungsmöglichkeiten zu erdölbasierten Kunststoffverpackungen gesucht werden sollte:

1. Die begrenzte Verfügbarkeit von Erdöl.
2. Die Tatsache der Freisetzung von CO₂ bei der Verbrennung von Produkten, die aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden, was wiederum zur globalen Erwärmung führt und somit zum Klimawandel beiträgt. (Thielen, 2014, S.10, Türk, 2014, 3ff)

Kunststoffe, die aus nachwachsenden Rohstoffen produziert werden, stellen eine alternative Möglichkeit zu erdölbasierten Kunststoffen dar. (Thielen, 2014, S.10) Im Folgenden wird auf diese sogenannten Biokunststoffe insbesondere im Bereich der Verpackungsindustrie ein-

gegangen. Dabei wird der Begriff „Biokunststoff“ definiert und die Herstellung, Verwendung und Entsorgung von Biokunststoffverpackungen dargestellt. Des Weiteren werden Vor- und Nachteile von Biokunststoffverpackungen im Vergleich zu konventionellen Kunststoffverpackungen aufgeführt. Neben der aktuellen Marktsituation und der Geschichte der Biokunststoffe wird auch deren mögliche zukünftige Entwicklung in der Verpackungsindustrie dargelegt.

Im Verpackungssektor bestehen neben der Verwendung von Biokunststoffen weitere Möglichkeiten, die Erdölressourcen zu schonen und CO₂-Emissionen zu vermeiden und somit nachhaltig zu handeln. Im folgenden Abschnitt wird daher zunächst ein Überblick über diese Alternativen gegeben.

Nachhaltigkeit im Verpackungsbereich

Neben der Herstellung von Biokunststoffen gibt es weitere Möglichkeiten, den Erdölverbrauch in der Verpackungsindustrie einzusparen oder CO₂-Emissionen zu verringern. Ein Weg wäre, Verpackungsmaterialien zu reduzieren. Dies kann durch Reduktion der eingesetzten Materialien oder die Verringerung von Abfall an der Quelle durch Wieder- und Weiterverwertung und vermehrter Kreislaufwirtschaft erfolgen. (Zach-Polt, 2010, S.14) Ein Beispiel für ein bereits bestehendes Kreislaufsystem sind Mehrwegverpackungen wie es beim Kreislauf von Getränkeverpackungen der Fall ist. (Sourin, 2001, S.2) Auch die Verwendung von Alternativen wie Stofftaschen anstelle von Plastiktüten ist eine mögliche nachhaltige Vorgehensweise.

Biokunststoffverpackungen

Definition Biokunststoff

Unter dem Begriff „Kunststoff“ versteht man eine Werkstoffgruppe aus Polymeren, die synthetisch oder halbsynthetisch hergestellt werden und organische Gruppen besitzen. Dabei wird zwischen den Hauptgruppen Elastomere, Duroplaste und Thermoplaste unterschieden. (Beucker et al., 2007, 7f) Der Gebrauch des Begriffs „Biokunststoff“ ist nicht eindeutig. Von Biokunststoffen wird sowohl bei biogenen Kunststoffen (Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen) als auch bei Kunststoffen, die biologisch abbaubar sind, gesprochen. Die nachwachsenden Rohstoffe biogener Kunststoffe sind beispielsweise Früchte, Stängel oder Blätter von Pflanzen, aber auch Abfallströme (z.B. Abwasser) können eine Ressource für biogene Kunststoffe sein. Biogene Kunststoffe können sowohl biologisch abbaubar als auch beständig sein.

Von biologischer Abbaubarkeit wird gesprochen, wenn die Kunststoffe durch Mikroorganismen wie Pilze, Bakterien oder Protozoen abgebaut werden können. Auch biologisch abbaubare aber auf petrochemischer Basis hergestellte Kunststoffe zählen zu den Biokunststoffen. (Thielen, 2014, S.7f; Türk, 2014, S.53) Abbildung 1 stellt die Einteilung der Biokunststoffe bezüglich ihrer Abbaubarkeit und Rohstoffe schematisch dar.

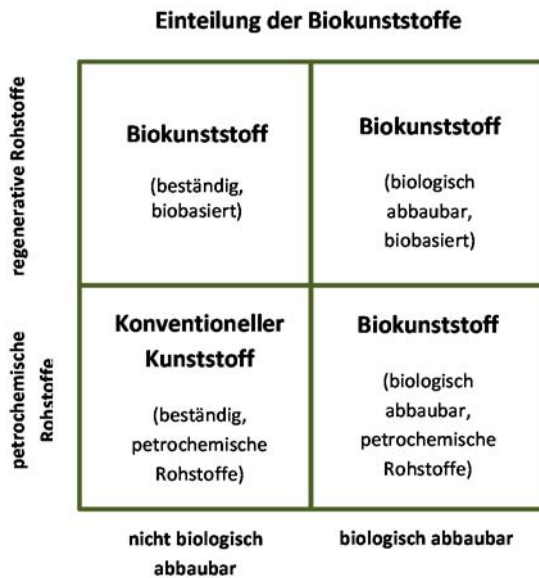


Abbildung 1: Einteilung der Biokunststoffe bezüglich ihrer Abbaubarkeit und Rohstoffe (Thielen, 2014, S.7f; Türk, 2014, S.53; nach: Röchling, 2015)

Im Folgenden wird überwiegend auf die biobasierten Kunststoffe eingegangen, da Biokunststoffe aus petrochemischen Rohstoffen nicht zur Verringerung des Erdölverbrauchs beitragen können.

Herstellung und Verarbeitung

Vergleichbar mit Biokraftstoffen werden biobasierte Biokunststoffe in zwei Generationen gegliedert. Biokunststoffe der ersten Generation werden direkt aus natürlichen Polymeren wie Polysacchariden, Proteinen oder Lignin hergestellt. Beispiele für Biokunststoffe erster Generation sind Cellulose (-acetate) oder thermoplastische Stärken. Biokunststoffe der zweiten Generation basieren auf Monomeren wie beispielsweise Milchsäure, Bernsteinsäure, Monosacchariden wie Glukose und Fruktose oder Alkoholen. Diese Monomere aus nachwachsenden Rohstoffen werden polymerisiert und somit zu Kunststoffen und Polymeren verarbeitet. Beispiele für solche Kunststoffe sind Polyhydroxyalkanoate und Polylactide. (Beucker et al., 2007, 9f; Thielen, 2014, S.13ff)

Biokunststoffe können auf folgenden Wegen hergestellt werden: der chemischen Synthese von petrochemischen Rohstoffen oder biotechnologisch hergestellten Polymer-Rohstoffen, der direkten Biosynthese von Polymeren, der Modifizierung von molekularen nachwachsenden Rohstoffen oder über eine Mischung der genannten Wege.

(Endres et al., 2011, 73ff) Im Folgenden wird ausschließlich auf die Herstellung einiger der wichtigsten biobasierten Biokunststoffe genauer eingegangen. Auf die Verwendung dieser Biokunststoffe in der Verpackungsindustrie wird im nächsten Kapitel eingegangen.

Die am häufigsten zur Herstellung von Biokunststoffen verwendeten Rohstoffe sind die *Thermoplastische Stärke (TPS)*, *Polylactide (PLA)*, *Cellulose (-acetate)* und *Polyhydroxyalkanoate (PHA)*. (Beucker et al., 2007, 4) Die Herstellung von *TPS* findet durch Destrukturierung von Stärkekörnern durch Extrusionsprozesse statt. Dabei werden unter Anwesenheit von Weichmachern wie Wasser oder Glycerin die Kristallinität und granuläre Struktur der Stärke zerstört. Um die Stärke beispielsweise in Folienblasanlagen weiterzuverarbeiten, muss diese mit anderen Biokunststoffen gemischt (geblendet) werden. (Thielen, 2014, S.21) *PLA* wird aus Milchsäure hergestellt, welche meist fermentativ durch Mikroorganismen aus Stärke oder Zucker gewonnen wird. Aus zwei Milchsäuremolekülen wird unter verschiedenen Kombinationen der beiden isomeren Formen ein Lactid gebildet. Der *PLA*-Kunststoff erhält die gewünschten Eigenschaften, indem diese unterschiedlichen Lactide variabel kombiniert werden. Um das *PLA* weiterzuverarbeiten, wird es üblicherweise ebenso wie *TPS* geblendet oder durch Beimischen von Zuschlagstoffen aufbereitet (compoundiert). (Thielen, 2014, S.30f) *Celluloseacetat* ist ein Celluloseester, der durch die Veresterung von Cellulose mit Essigsäure hergestellt wird. (Thielen, 2014, S.23) *PHA* wird direkt durch Mikroorganismen fermentativ produziert. Zur industriellen Herstellung werden Bakterien Stärke, Zucker, Pflanzenöle oder andere kohlenstoffhaltige Stoffe zugeführt, welche diese dann als Reserve- oder Speicherstoff zu *PLA* umwandeln. (Thielen, 2014, S.28)

Durch Compoundieren erhalten die so produzierten Biokunststoffe die Zieleigenschaften wie thermische- und mechanische Eigenschaften oder Farbe. (Thielen, 2014, S.46f) Durch z.B. Extrusion, Spritzgießen, Blasformen, Thermoformen, Schäumen oder Gießen erhalten die Kunststoffe ihre endgültige Form. (Thielen, 2014, S.47ff)

Verwendung

Biokunststoffe werden in der Verpackungsindustrie vor allem als Alternative für die konventionellen Kunststoffe Polyethylenterephthalat (PET), Polystyrol (PS), Polypropylen (PE) und Polyethylen (PE) verwendet. (Detzel et al., 2012, S.1) Dabei haben sie sich in der Verpackungsindustrie bei einigen Anwendungen etabliert. Dazu zählen Tragetaschen, Beutel und Netze für Gemüse und Obst, Schalen für Gemüse, Obst, Eier und Fleisch, Einleger für Pralinen, Becher für Brotaufstriche, Margarine oder Molkereiprodukte, Flaschen, Blisterverpackungen, Folien, Füllkörper und Tuben oder Dosen im Kosmetikbereich. (Thielen, 2014, S.56, Beucker et al., 2007, S.4)

In Abbildung 2 ist eine kompostierbare Biokunststofftüte dargestellt.

Einige der wichtigsten Biokunststoffe und Beispiele ihrer Anwendungen in der Verpackungsindustrie sind im Folgenden aufgeführt: (Thielen, 2014, S.21ff, Beucker et al., 2007, S.4)

- *Poly lactide (PLA)*: Folien z.B. zur Verpackung von Gemüse (geringe Wasserdampfbarriere), Joghurtbecher, Obst-/ Gemüse-/ Fleischschalen, Dosen, Becher, Flaschen
- *Thermoplastische Stärke (TPS)*: Tragetaschen, Joghurtbecher, Verpackungschips
- *Cellulose (-acetate)*: Folien
- *Thermoplastische Elastomere*: Folien
- *Polyhydroxyalkanoate (PHA)*: Shampooflaschen

Bereits 2005 wurde beispielsweise in den USA eine Mineralwasserflasche eingeführt, die aus dem Biokunststoff PLA hergestellt wurde. Vorteile von PLA sind z.B. die hohe Festigkeit, Transparenz und Thermoplastizität. (Thielen, 2014, S.31) Durch Probleme bei der Abbaubarkeit, durch welche für die Flaschen geworben wurde, verschwanden diese jedoch wieder vom Markt. Dagegen konnten sich Flaschen durchsetzen, welche aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden und die recycelt oder zur Energiegewinnung verbrannt werden. (Thielen, 2014, S.56; Beucker et al., 2007, S.11) Weitere Biokunststoffe, die sich in letzter Zeit stark entwickelten, sind die sogenannten Drop-in-Lösungen. Dabei handelt es sich um Biokunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wie Bio-PE oder Bio-PET. Diese unterscheiden sich durch ihre Kunststoffart und damit verbundenen Eigenschaften nicht von den entsprechenden petrochemisch hergestellten Kunststoffen. (Kreindl, 2013, S.28)

Vorteile von Biokunststoffen zu konventionellen Kunststoffen sind Eigenschaften wie gute Bedruckbarkeit und hohe Wasserdampfdurchlässigkeit. (Beucker et al., 2007, S.10) Dies hat beispielsweise Vorteile bei der Verpackung von Lebensmitteln, die nur eine kurze Haltbarkeit besitzen wie Obst und Gemüse. Die Wasserdampfdurchlässigkeit der Biokunststoffe führt dazu, dass die Lebensmittel länger frisch bleiben. (AD Kunststoffindustrie, 1983, S.39) Auch bei Bio-Lebensmittel spielt die nachhaltige Verpackung eine Rolle. Verbraucher von Bio-Lebensmitteln erwarten ein rundum ökologisches Produkt, weshalb sich bei der Verpackung die Frage stellt, ob Biokunststoffe als Rohstoff verwendet werden. (Seidel und Gerber, 2011, S.366f)



Abbildung 2: Kompostierbare Biokunststofftüte aus nachwachsenden Rohstoffen wie Maisstärke oder pflanzlichen Ölen

End-of-Life

Die Entsorgung von Kunststoffen erfolgt je nach Zustand, Material oder Anwendung auf verschiedene Art und Weise. Ebenso werden Biokunststoffe je nach Produktart, dem verfügbaren Verwertungssystem und dem verwendeten Material verwertet. Dabei kommen folgende Möglichkeiten zum Einsatz: sowohl stoffliches als auch chemisches Recycling, Kompostierung, energetische Nutzung bzw. thermische Verwertung und das Deponieren. Beim stofflichen Recycling bleibt der Werkstoff bezüglich seines chemischen Aufbaus erhalten. Dies geschieht durch Reinigen, Zerkleinern, Wiederaufschmelzen und Regranulieren des Kunststoffs. Das chemische Recycling beinhaltet dagegen das Zurückführen des Kunststoffs in seine chemischen Bausteine (Monomere), wie es beispielsweise bei PLA durchgeführt wird. Die Kunststoffe, die biologisch abbaubar sind, können durch Kompostieren mit Mikroorganismen in Biomasse, Wasser und CO₂ umgesetzt werden. Sinnvoll ist dies z.B. bei der Entsorgung von verdorbenen Gemüse- oder Obstabfällen in kompostierbaren Verpackungen. Das in Europa am häufigsten genutzte Verfahren zur Entsorgung von Kunststoffen ist deren Verbrennung und der daraus resultierenden Erzeugung von Energie (Strom) und Wärme. Auch die Biogasifizierung in Biogasanlagen ist eine Möglichkeit zur energetischen Nutzung von Kunststoffabfällen. Die schlechteste Methode zur Biokunststoffentsorgung stellt die Deponierung dar. Kunststoffabfälle können somit nicht weiter genutzt werden und es kann eventuell Methan entstehen. (Thielen, 2014, S.68ff)

Geschichte und heutige Situation

Betrachtet man die Geschichte der Kunststoffproduktion so stellt sich heraus, dass diese zu Beginn nicht durch fossile Rohstoffe angetrieben wurde. Ganz im Gegenteil wurden viele Kunststoffe auf der Basis nachwachsender Rohstoffe entwickelt. (Kabasci, 2014, S.3f) Der auf Basis von Cellulose hergestellte Kunststoff Celluloid gilt als erster Kunststoff der Welt, welcher 1855 erfunden wurde. Auch Zellglas gehört zu den ersten Kunststoffen. Sowohl Celluloid als auch Zellglas wurden jedoch schnell durch petrochemische Kunststoffe verdrängt. (Thielen, 2014, S.16, Beucker et al., 2007, S.8) In den letzten Jahrzehnten wurden, basierend auf petrochemischen Rohstoffen, die ersten biologisch abbaubaren Polymere entwickelt.

Trotz der vielen Vorteile der petrochemischen Kunststoffe in Herstellung und Gebrauch wurde aufgrund deren Abhängigkeit von limitierten Ressourcen und negativen Eigenschaften bei der Entsorgung der Fokus auf Biokunststoffe gelegt. Zunächst spielte die Bioabbaubarkeit eine wichtige Rolle, heute wird das Hauptaugenmerk bei der Biokunststoffproduktion auf die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen gelegt. (Endres und Siebert-Raths, 2011, S.20) Heutige Biokunststoffe können mit Standardverfahren auf handelsüblichen Maschinen verarbeitet werden. (Beucker et al., 2007, S.8) Die Hauptproduzenten von Biokunststoffen sind Asien, Europa und Südamerika. (Kreindl, 2013, S.269) Abbildung 3 stellt die weltweiten Produktionskapazitäten von Biokunststoffen nach Marktsegment im Jahr 2014 dar. Von insgesamt 1,7 Millionen Tonnen hergestellter Biokunststoffe wurde der mit Abstand größte Teil von knapp 68 % für die Verpackungsindustrie produziert. Im Vergleich mit den gesamten im Jahre 2014 hergestellten 311 Millionen Tonnen Kunststoffen stellen die Biokunststoffe jedoch noch einen relativ kleinen Teil dar. (PlasticsEurope, 2015, S.8)

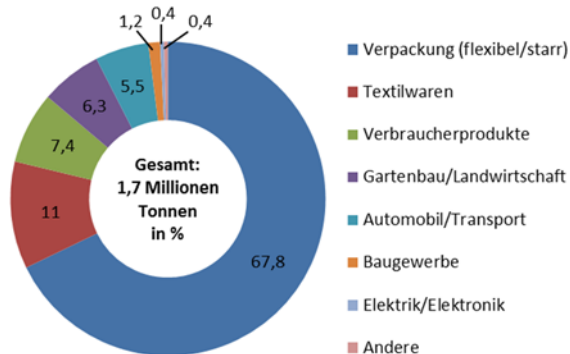


Abbildung 3: Weltweite Produktionskapazitäten für Biokunststoffe nach Marktsegment im Jahr 2014 (nach: European Bioplastics, 2015)

In Deutschland gibt es verschiedene gesetzliche Rahmenbedingungen für Biokunststoffe. Beispielsweise gibt es Normen und Zertifizierungen zu den Themen „Kompostierbar“ und „Bio-basiert“. Außerdem regelt die Verpackungsverordnung (VerpackV), wie gebrauchte Verpackungen behandelt werden sollten. (Thielen, 2014, S.82f)

Nachhaltigkeit

Kunststoffe machen mit ungefähr 4-7 % nur einen geringen Teil des gesamten Erdölverbrauchs aus. Die Ölverknappung kann daher nicht durch den Einsatz von Kunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen an Stelle von erdölbasierten Kunststoffen verhindert werden. Die Kunststoffindustrie kann sich jedoch durch biobasierte Kunststoffe von den schwankenden Erdölpreisen unabhängig machen. Außerdem kann durch Biokunststoffe gewährleistet werden, dass auch in Zukunft genügend Kunststoffe, welche eine wichtige Werkstoffklasse darstellen, verfügbar sind. Biobasierte Kunststoffe gelten als „klimaneutral“, da bei deren Verbrennung nur so viel CO₂ abgegeben werden kann, wie die Pflanzen, aus welchen

sie produziert wurden, zuvor durch Photosynthese aufgenommen haben. Diese Aussage ist jedoch nicht sehr genau da bei der Ernte und Verarbeitung der Rohstoffe ebenso wie bei der Herstellung und dem Transport der Kunststoffe Energie benötigt wird, die teilweise von fossilem Ursprung ist. (Thielen, 2014, S.10/79)

Die Verfügbarkeit von Agrarflächen und dem damit zusammenhängenden Hunger der Welt ist eine oft gestellte Frage. Würde die gesamte weltweite Kunststoffproduktion auf natürliche Rohstoffe umgestellt werden, benötigt man lediglich 4-5 % aller verfügbaren Landwirtschaftsflächen. (Thielen, 2014, S.79)

Zukünftige Entwicklung

Der Trend bei Biokunststoffen in der Verpackungsindustrie geht in Richtung Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen. Die biologische Abbaubarkeit tritt dabei immer mehr in den Hintergrund. Drop-in-Lösungen werden an Bedeutung gewinnen. (Kreindl, 2013, S.289)

In Abbildung 4 ist die weltweite Produktionskapazität von Biokunststoffen (Biopolymeren) bis 2018 dargestellt. Laut der Statistik wird sich die jetzige (Stand 2015) Produktionskapazität von ungefähr 2 Millionen Tonnen auf über 6 Millionen Tonnen im Jahre 2018 mehr als verdreifachen. Außerdem kann aus dem Schaubild entnommen werden, dass der Anteil an biologisch abbaubaren Biokunststoffen stark sinken wird. Im Jahr 2015 beträgt der Anteil abbaubarer Biokunststoffe ca. 39 %, im Jahre 2018 voraussichtlich nur noch ungefähr 17 %. Dies würde das in den Hintergrund treten der biologischen Abbaubarkeit bestätigen.

Unter den Biokunststoffen werden zukünftig neben PLA und TPS vor allem Bio-PE und Bio-PET die wichtigste Rolle spielen. Der mit Abstand größte Anteil an Biokunststoffen wird auch weiterhin Anwendung in der Verpackungsindustrie finden. (IfBB, 2015, S.45)

Der größte Teil der Biokunststoffe sind heute aus ökonomischer Sicht noch nicht der Konkurrenz mit petrochemisch hergestellten Kunststoffen gewachsen. Meist liegen Biokunststoffe im Preisniveau mit mindestens Faktor 2 deutlich höher als petrochemische Kunststoffe. Jedoch sind die Fertigungsmengen der Biokunststoffe im Vergleich zu petrochemischen Kunststoffen noch sehr niedrig und bei steigender Menge werden Biokunststoffe billiger werden. (Türk, 2014, 82f)

Trotz der hohen Marktzuwächse befinden sich Biokunststoffe noch immer am Beginn ihrer Entwicklung. Aus technischer Sicht könnten bis zu 90 % aller fossil hergestellten Kunststoffe auf Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen umgestellt werden. Aufgrund wirtschaftlicher Hürden und der verfügbaren Biomasse wird dies jedoch auf kurze Sicht nicht möglich sein. (Thielen, 2013, 52f)

Literatur

- AD Kunststoffindustrie, 1983. Kunststoffe Werkstoffe unserer Zeit, 15. Auflage. Arbeitsgemeinschaft deutsche Kunststoffindustrie, Frankfurt
- Beucker, Severin; Marscheider-Weidemann., Frank, 2007. Zukunftsmarkt Biokunststoffe. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- Detzel, Andreas; Kauertz, Benedikt; Derreza-Greeven, Cassandra, 2012. Untersuchung der Umweltwirkungen von Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- European Bioplastics, <http://en.european-bioplastics.org/press/press-pictures/labelling-logos-charts/>, 26.11.2015
- Endres, Hans-Josef; Siebert-Raths, Andrea, 2011. Engineering biopolymers. Carl Hanser Verlag, München
- IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites, 2015. Biopolymers facts and statistics. Hochschule Hannover, Hannover
- Kabasci, Stephan, 2014. Bio-Based Plastics: Materials and Applications. John Wiley & Sons Ltd, Chichester
- Kreindl, Gernot, 2012. Einsatz von Biokunststoffverpackungen aus Sicht der Abfallwirtschaft. In: Recycling und Rohstoffe, 6, 262-290
- PlasticsEurope Association of Plastics Manufacture, Plastics the facts 2015, <http://www.plasticseurope.de/Document/plastics-the-facts-2015.aspx?FoIID=2>, 26.11.2015
- Röchling Kompetenz in Kunststoff, <http://www.roechling.com/de/artikel/gesucht-technische-anwendungen-fuer-biokunststoffe.html>, 26.11.2015
- Seidel, K; Gerber, A., 2011. Nachhaltige Verpackung von Biolebensmitteln: Ein Leitfaden für Unternehmen. In: Band 1 des Tagungsbandes der 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Verlag Dr. Köster, Berlin
- Statista, <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/258991/umfrage/entwicklung-der-weltweiten-produktionskapazitaet-von-biopolymeren/>, 26.11.2015
- Souren, Rainer, 2001. Konsumgüterverpackungen in der Kreislaufwirtschaft. Springer Fachmedien, Wiesbaden

- Thielen, Michael, 2013. Biokunststoffe. Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow-Prüzen
- Thielen, Michael, 2014. Biokunststoffe – Grundlagen. Anwendungen. Märkte. Polymedia Publisher GmbH, Mönchengladbach
- Türk, Oliver, 2014. Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Zach-Polt, Verena, 2010. Erhebung des Potenzials für eine Markteinsparung am Beispiel von drei Verpackungstypen. Diplomarbeit, Universität Wien

Curriculum Vitae

Katrin Merk

Ausbildung:

- | | |
|-----------|--|
| 2011 | Abitur am Pestalozzi-Gymnasium Biberach |
| 2011-2015 | Bachelor-Studium der Industriellen Biotechnologie an der Hochschule Biberach |
| Seit 2015 | Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik Hochschule Weingarten und Hochschule Konstanz |

Praktika:

- | | |
|------|---|
| 2014 | 9-monatiges Praxissemester am Algae R&D Centre der Murdoch University in Perth (Australien) |
|------|---|

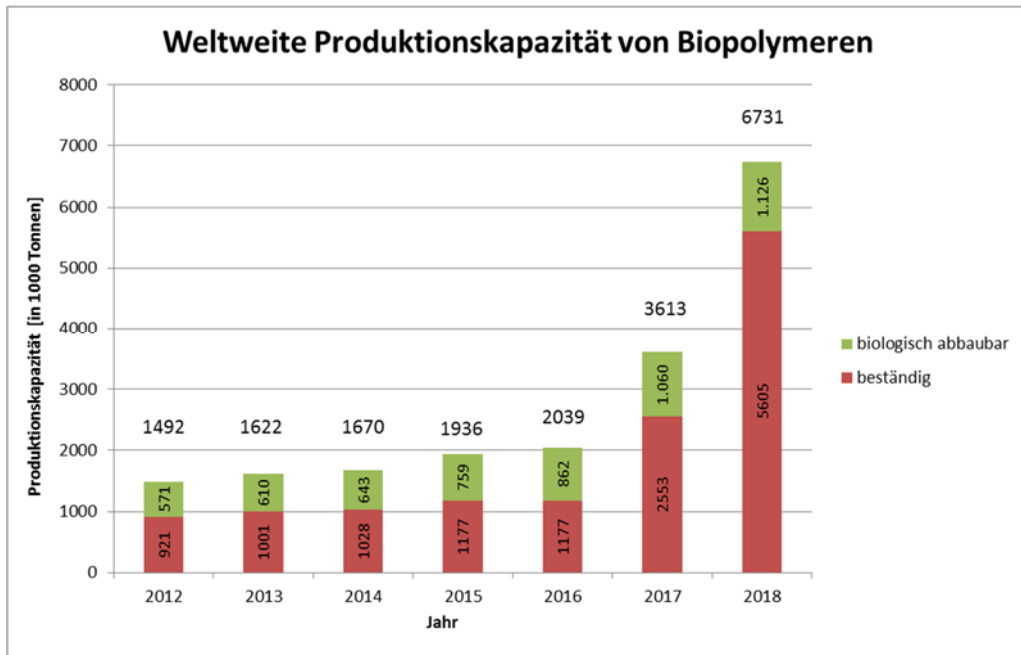


Abbildung 4: Weltweite Produktionskapazität von Biokunststoffen (Biopolymeren) bis 2015 und Prognose bis 2018. Angabe der Kapazitäten in Gesamtproduktion pro Jahr (Angaben oberhalb der Säulen) und eingeteilt in biologisch abbaubar und beständig. (nach: Statista, 2015)

Medikamenteneinsatz bei Nutztieren

Vanessa Schweikart

HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: Vanessa.Schweikart@htwg-konstanz.de

Abstract

Drugs are omnipresent in the life of humans and animals. Due to the demographic change the intake of medications in the society is an upward trend. In the livestock in Germany particularly vaccine, parasiticides, hormones and antibiotics are used. Livestock is defined as animals are providing food. The medication involves risks like generation of resistances and hormonal changes in the bodies of animals and humans. Drugs residue in the ground and groundwater show effects on the environment too. To control sustainable negative impacts of the rising consume of drugs instructions and rules of action are generated by the "Medicines Protection Act", Federal Chamber of Veterinarians and the Federal Ministry of Health.

Einleitung

Mit dem demographischen Wandel steigt die Tieranzahl je Nutzbestand. Je größer ein Bestand ist, desto größer ist das Risiko von Krankheiten, die sich auf den gesamten Bestand ausbreiten. Um das Risiko einer Seuche zu reduzieren werden wiederum Medikamente eingesetzt (Ebert et al, 2014, S.5).

Medikamente werden in der Intensivtierhaltung zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt. Neben der Behandlung von Infektionskrankheiten werden Arzneimittel zur Prophylaxe, zur Hormontherapie bzw. Leistungssteigerung in der Zucht und als Entzündungshemmer verabreicht. Weitere häufige Einsatzbereiche sind die Therapie gegen Parasitenbefall, an Haut, Euter und Augen. Im Jahr 2012 wurden in der Veterinärmedizin 1.600 t Antibiotika für Nutztiere verschrieben (Ebert et al, 2014, S.5).

Die Anwendung von Medikamenten bei Nutztieren unterliegt einer Reihe von Vorschriften. Parameter wie die Vermeidung von Nebenwirkungen, die Lebensmittelsicherheit und der Tierschutz stellen Grenzen dar (BMEL, 2009, S.2). Zusätzlich ist der Verbraucherschutz betroffen. Eine übermäßige Medikamentenanwendung an Tieren kann die Wirkung der Arzneimittel vermindern und Resistenzen bilden. Diese Resistenzen können, aufgrund der genetischen Ähnlichkeit von Mensch und Tier auf den Menschen übertragen werden. Dies gilt auch für umgekehrt, bei übermäßigem Arzneimittelkonsum beim Menschen. Krankheitserreger, die für beide ein Infektionsrisiko darstellen, können mit den konventionellen Medikamenten nur schwer behandelt werden (BMG, 2015, S.3).

Das Thema dieses Papers „Medikamenteneinsatz bei Nutztieren“ wird in neun Kapiteln dargestellt. Das erste Kapitel definiert die Begriffe Nutztiere und Arzneimittel

zum Einsatz bei Nutztieren. Anschließend werden die laut der Literatur am häufigsten verabreichten Medikamente Impfstoffe, Antiparasitika, Hormone und Antibiotika mit Anwendungsbeispielen vorgestellt. Nachfolgend werden die Auswirkungen des Medikamenteneinsatzes erörtert. Den Abschluss finden die Kapitel zur Rechtsgrundlage, dem Einsatz von Medikamenten in ökologischen Tierhaltungsbetrieben und Maßnahmen zur nachhaltigen Arzneimittelverabreichung.

Begriffsdefinitionen

Nutztiere

Nutztiere werden durch das deutsche Arzneimittelgesetz (AMG) als „Lebensmittel liefernde Tiere“ definiert. Nutztiere werden in erster Linie zur Gewinnung von Lebensmitteln gehalten. Hierzu gehören folgende Tiere:

Tabelle 1: Nutztierarten (Sommerhäuser, 2014, S.2)

Säugetiere	Geflügel	Weitere Untergruppen
Rinder	Hühner	Fische
Schweine	Enten	Wild
Schafe	Gänse	
Ziegen	Tauben	
Kaninchen	Wachteln	
	Strauße	

Hunde, Katzen und weitere Haustiere werden als „Tiere Allgemein“ bezeichnet. Pferde, Esel und Maultiere können sowohl den Nutztieren, als auch den nicht Lebensmittel liefernden Tieren zugeordnet werden. Die Entscheidung über die Zuordnung wird vom Tierhalter getroffen (Sommerhäuser, 2014, S. 2f).

Im Jahr 2014 wurden laut dem Statistischen Bundesamt in Deutschland rund 83 Mio. Nutztiere gehalten. Die produzierte Schlachtmenge betrug 8,2 Mrd. Tonnen (BVL, 2015).

Arzneimittel zum Einsatz bei Nutztieren

Arzneimittel werden gleich wie die Abgrenzung von Nutztieren im Arzneimittelgesetz festgehalten. Die Begriffsdefinition zeigt dabei keinen Unterschied zwischen Arzneimittel für den Menschen und für Tiere (AMG, §2). „Arzneimittel sind Stoffe oder Zubereitungen aus Stoffen die zur Anwendung im oder am menschlichen oder tierischen Körper bestimmt sind und als Mittel mit Eigenschaften zur Heilung oder Linderung oder zur Verhütung menschlicher oder tierischer Krankheiten oder krankhafter Beschwerden bestimmt sind oder die im oder am

menschlichen oder tierischen Körper angewendet oder einem Menschen oder einem Tier verabreicht werden können, um entweder die physiologischen Funktionen durch eine pharmakologische, immunologische oder metabolische Wirkung wiederherzustellen, zu korrigieren oder zu beeinflussen oder eine medizinische Diagnose zu erstellen.“ (§2 Abs.1 Nr.1,2 AMG)

Die am meisten eingesetzte veterinärmedizinische Medikation bei Nutztieren sind Antibiotika und Antiparasitika. Zusätzlich werden Hormone, Impfstoffe zur Prophylaxe und Entzündungshemmer verabreicht (Ebert et al, 2014, S.5, S. 10).

Die Anwendung der Arzneimittel in der Intensivtierhaltung erfolgt auf verschiedene Wege. Die Medikation erfolgt nach Anweisungen des Tierarztes entweder durch oral anzuwendende Fertigarzneimittel (OAF), durch Lösung im Trinkwasser oder über Fütterungsarzneimittel (FüAM) (BMEL, 2009, S.1f).

Neben der Verabreichung von Medikamenten durch die Verschreibung und den Anweisungen des Tierarztes gilt für Lebensmittel liefernde Tiere eine Nachweispflicht über die exakt verabreichte Dosis und Dauer der Medikation. Der Nachweis muss vom Tierhalter über mindestens fünf Jahre aufbewahrt werden (Sommerhäuser, 2014, S.4).

Tierimpfstoffe

Impfstoffe sind „Mittel, die dazu bestimmt sind, an Tieren oder tierischen Embryonen zur Erzeugung spezifischer Abwehr oder Schutzstoffe angewendet zu werden.“ (§1 Nr.1Satz3. TierImpfStV 2006). Ziel ist es durch biologisch hergestellte Wirkstoffe Tierseuchen (Virus- und bakterielle Erkrankungen) vorzubeugen oder zu heilen (TierImpfStV, 2006, §1).

Die Impfstoffe sind in kommerziell und bestandspezifisch immunbiologisch Wirkstoffe eingeteilt. Kommerzielle Impfstoffe werden durch das Paul-Ehrlich-Institut in Deutschland auf ihre Wirksamkeit geprüft und zugelassen. Der Impfstoff kann für die vorgesehene Tierart, bestandsunspezifisch eingesetzt werden. Dabei werden abgeschwächte oder abgetötete Erreger einer Tierseuche eingesetzt. Durch eine Injektion wird eine kontrollierte Infektion ausgelöst und die Bildung von körpereigenen Antikörpern beim Nutztier hervorgerufen. Bestandspezifische Impfstoffe werden aus den Erregern aus einem bestimmten Tierbestand hergestellt und dürfen ausschließlich diesem Bestand verabreicht werden (LAVES, 2015).

Bestandspezifische Impfstoffe für Schweine sind beispielsweise Clostridium perfringens Typ A β 2-Toxin gegen Streptococcus suis. Streptokokken oder Enzootische Streptokokkenmeningitis siedeln sich in an den Mandeln und im Halsrachenraum bei Schweinen an und verursachen Lungen-, Hirnhaut- und Mittelohrentzündun-

gen. Über die Luft werden die Streptococcus Erreger auf andere Schweine im Bestand übertragen. Auch für den Menschen ist eine Infektion mit Streptokokken möglich und gefährlich. Beim Menschen äußert sich die Krankheit in einer Hirnhautentzündung (Tschenischer, 2010, S.6).

Eine Vielzahl von Krankheiten sind nicht tierspezifisch. Der vorbeugende Impfwirkstoff kann auch bestandsübergreifend verschiedenen Tierarten geimpft werden. Die folgende Tabelle zeigt einige Anwendungsbeispiele von kommerziellen Impfstoffen, die vorzubeugende Krankheit und die Tierart an, welcher das Medikament angewendet wird (Paul-Ehrlich-Institut, 2015).

Tabelle 2: Impfwirkstoffe (Paul-Ehrlich-Institut, 2015)

Impfstoff	Krankheit	Tier
Aftopur Alsap Aftopur DOE	Maul- und Klauenseuche	Rind Schafe Schweine
Bovicol	E. coli-Infektion	Rind
Bovilis BTV8 BTVPUR	Blauzungen- krankheit	Rind Schafe
Rabisin	Tetanus	Schafe
Pestiffa CL	Schweinepest	Schwein

Hormone

In Deutschland werden Hormonbehandlungen in der Nutztierhaltung durchgeführt. Die Zielsetzung ist die Leistungssteigerung durch Hochleistungszucht bei Kühen, Schweinen und Geflügel. Durch den gezielten Eingriff in den Fruchtbarkeitszyklus werden Lebensmittel liefernde Tiere gezüchtet, die Milchproduktion und Fleischproduktion durch Steigerung der Geburten- und Legerate von Eiern steigert. Die Leistungssteigerung zwischen 1990 bis 2011 der genannten Tiergruppen hat sich um rund die Hälfte gesteigert (Hörning - Qualzucht, 2013, S.2).

Tabelle 3: Leistungssteigerung bei Nutztieren durch Hormone (Hörning - Qualzucht, 2013, S.2)

Jahr	Kühe Milchproduktion [kg/a]	Sauen Geburten [Ferkel/a]	Hennen [Eier/a]
1990	5.897	18,8	259
2011	8.173	26,6	298

Im Bereich der Schweinezucht werden durch die Verabreichung von natürlich oder synthetisch hergestellten Gestagenen, Oxytocinen und Prostaglandinen die Fruchtbarkeitsereignisse gesteuert. Die Geburtenleistung wird durch die Bildung großer Sauengruppen, die nach dem Abferkeln schneller wieder in die Brunst kommen, gesteigert. Zusätzlich kann durch eine exakte Terminierung der Zyklen der Schweine eine Arbeitersparnis und ver-

besserer Hygienestandard eingestellt werden. Jeder Schritt - Brunst, Besamung, Geburt - findet in einem gesonderten Raum statt. Dieses wird Rein-Raus-Verfahren genannt. (Hörning, 2013, S.3)

Antiparasitika

Antiparasitika sind Parasiten-Therapeutika, die eine Wirkung gegen Parasiten zeigen. Parasiten können Bakterien, Viren, Pilze, Gliederfüßer (Arthropoden, Insekten, Tausendfüßler, Spinnen) und Ektoparasiten (Flöhe, Zecken, Läuse) sein. Zudem werden Urtierchen Protozoen) und Würmer (Helminthen) in der Parasiten-Definition mit eingeschlossen.

Die Arzneimittel greifen in den Metabolismus der Parasiten ein. Es wirkt als Hemmstoff der Larvenentwicklung, als Störung in der Reizübertragung im Nervensystem oder als Kontaktgift für Parasiten (Ecker et al, 2008, S. 543f). Der Einsatz der Antiparasitika ist durch die Wirkung, Dosis, Umweltverträglichkeit und Verträglichkeit für den Anwender festgelegt. Bei Nutztieren ist die Wahl des Arzneimittels durch den Verbraucherschutz eingeschränkt, da die Arzneimittel eine lange Verweildauer im Tierkörper zeigt (Eckert et al, 2008, S. 542).

Die Anwendung der Antiparasitika erfolgt durch Bade-, Wasch- oder Sprühbehandlung. Abhängig vom zu verabreichenden Antiparasitikum kann es auch peroral oder parenteral angewendet werden (Ecker et al, 2008, S. 543).

Ein Beispiel für den Einsatz von Antiparasitika ist ein Insektizid als Sprühmittel zur Bekämpfung von Fliegen in Rinderbestellungen. Hierzu kann ein Ektoparasitika eingesetzt werden. Der in diesem Bereich verwendete Wirkstoff Pyrethrin ist beispielsweise ein Gift, dass die Schließung der Na⁺-Kanäle im Nervensystem hemmt. Auswirkung ist eine anhaltende Erregung der Nerven mit dem Tod der Parasiten zur Folge (Eckert et al, 2005, S. 543).

Antibiotika

Antibiotika wird zur Behandlung von bakteriellen Infektionen eingesetzt. Gegen Virus- und Pilzkrankungen zeigt Antibiotikum keinerlei Wirkung (BTK, 2015, S.1).

Antibiotika werden in Breitband- und Schmalspektrumantibiotika eingeteilt. Breitbandantibiotika können gegen ein großes Spektrum an Bakterien eingesetzt werden. Die Wirkung des Schmalspektrumantibiotika dagegen begrenzt sich auf ein spezifisches Bakterium (BTK, 2015, S.9). Beide Antibiotikatyten zeigen eine selektive Toxizität auf und bewirken durch typspezifische Interaktion mit den bakteriellen Zellstrukturen eine Hemmung des bakteriellen Wachstums und die Abtötung des Erregers (BTK, 2015, S 12).

Im Jahr 2014 wurden rund 1.200 Tonnen Antibiotika nachweislich verabreicht (BVL, 2015).

Penicillin und Tetracyclin sind Breitbandantibiotika. Penicillin wird zur Bekämpfung von Streptokokken

eingesetzt. Beispielsweise bei Infektionen mit dem E. coli Bakterium (Abbildung 1) (BTK, 2015, S.12).

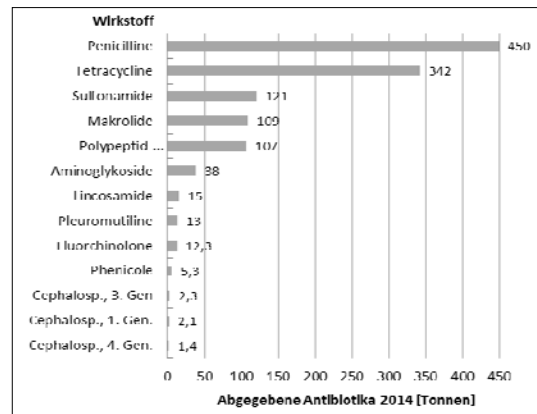


Abbildung 1: Abgegebene Menge Antibiotika in der Veterinärmedizin in Deutschland (Eigene Grafik nach BVL, 2015)

Auswirkungen des Arzneimitteleinsatzes

Der Medikamenteneinsatz bei Nutztieren zeigt unterschiedlichste Auswirkungen. Abhängig vom verabreichten Arzneimittel können die Konsequenzen ausschließlich für das behandelte Tier sichtbar werden oder auch den Menschen und die Umwelt betreffen (BMG, 2015, S.1)

Die Verabreichung von Impfstoffen an Nutztiere zielt auf die Vorbeugung von Krankheiten und zeigt damit eine Auswirkung auf den Gesamtmedikamenteneinsatz. Durch die Reduktion von ausbrechenden Krankheiten wird der Arzneimittelverbrauch rückläufig und die auftretenden Nebenwirkungen werden vermindert oder vermieden (LAVES, 2015).

Im Gegensatz zu Impfstoffen führen langfristige Hormontherapien bei Tieren zu Fruchtbarkeitsstörungen und Eierstockzysten. (Hörning „Qualzucht“, 2013, S.6-9) Die verabreichten Hormone aus der Veterinär- und der Humanmedizin gelangen über die Ausscheidung in die Umwelt. Die in Kläranlagen nicht entfernten und die in der Gülle der Tiere enthaltenen Hormone gelangen über die Böden ins Grundwasser und werden wiederum von den Tieren und Menschen mit Trinkwasser aufgenommen (Hörning, 2013, S.11).

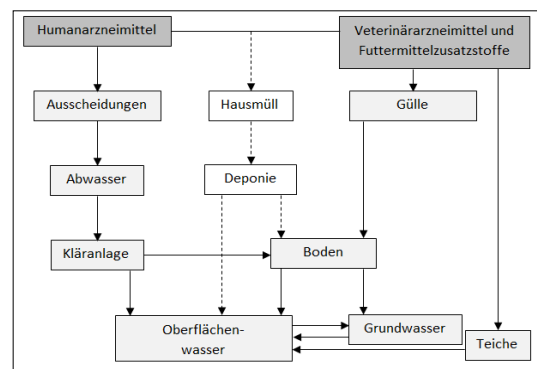


Abbildung 2 Weg der Arzneimittel in die Umwelt (Eigene Grafik nach Hörning, 2013, S.11)

Die konkreten Langzeitauswirkungen der in Deutschland zugelassenen Hormone sind noch nicht vollständig untersucht. Mögliche Auswirkungen können Brust- und Hodenkrebs, Vorverlagerung der weiblichen Pubertät, Minderung der männlichen Fruchtbarkeit, genitale Fehlbildungen und Übergewicht beim Menschen sein (Hörning, 2014, S.3f).

Eine nicht ordnungsgemäße, übermäßige Verabreichung von Antibiotika und Antiparasitika zur Prophylaxe, zum Ausgleich von mangelnder Hygiene, schlechten Haltingsbedingungen und Managementfehler zeigen drastische Auswirkungen für die gesamte Umwelt (BTK, 2015). Es bilden sich sogenannte Resistenzen, welche nicht nur zwischen Tieren übertragen werden, sondern auch zwischen Tier und Mensch (BMG, 2015, S.9). Von einer Resistenz wird gesprochen, wenn das Medikament keine Wirkung auf den Erreger zeigt und nicht mehr zur Behandlung eingesetzt werden kann. Diese erworbene Resistenz entsteht, wenn das bakterielle Erbgut durch Mutation und Selektion verändert wird. Im Falle des Antibiotikas werden zum Beispiel neue Enzyme im Erreger gebildet, die das Antibiotikum inaktivieren oder aus der Bakterienzelle wieder heraus transportieren. (BMG, 2015, S.5; Eckert et al, 2005, S. 548)

Rechtsgrundlage

Hormone, Antiparasitika und Antibiotika sind Arzneimittel und werden im Arzneimittelgesetz aufgeführt. Das Arzneimittelgesetz regelt die ordnungsgemäße Versorgung und die Sicherheit des Umgangs mit Medikamenten bezüglich der Qualität, Wirksamkeit und Unbedenklichkeit (AMG, 2005, §1).

Der Einsatz von immunbiologischen Tierimpfstoffen wird in Deutschland nicht durch das Arzneimittelgesetz, sondern durch das Tiergesundheitsgesetz (bis 1.Mai 2014 Tierseuchengesetz) und der Tierimpfstoffverordnung geregelt (LAVES, 2015). Medikamente für den Einsatz bei Lebensmittel liefernden Tieren werden im AMG mit einem Zusatz, der Wartezeit versehen. Die Wartezeit besagt, wie lange nach Verabreichung des Medikaments keine Produkte des Tiers in den Lebensmittelkreislauf gelangen dürfen. Dies ist in der Richtlinie EU 37/2010 definiert (Hörning, 2013, S.10). Die Wartezeit die Dauer des Abbauprozesses des Medikaments im Tierkörper bis zur Unterschreitung des Rückstandshöchstwertes andauert (Sommerhäuser, 2014, S.7). Penicillin hat beispielsweise eine Wartezeit von 50 Tagen.

Neben den Vorgaben zur Verabreichung von Arzneimitteln werden besonders Hormonpräparate regelmäßigen Prüfungen auf unterzogen, um deren Zulassung zu rechtfertigen. Diese Prüfungen werden in Deutschland durch das BLV (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen) und BfR (Bundesamt für Risikobewertung) durchgeführt (Hörning, 2013, S.10).

Medikamenteneinsatz in der ökologische Nutztierhaltung

Der Medikamenteneinsatz in der ökologischen Nutztierhaltung sind durch das AMG Grenzen gesetzt. Verabreicht werden dürfen alle Arzneimittel, die für Nutztiere zugelassen sind. Für die ökologische Haltung ist die festgelegte Wartezeit jedoch zu verdoppeln (Sommerhäuser, 2014, S.8). Wird das Tier mehr als drei Mal im Jahr mit chemischen Arzneimitteln behandelt, darf es nicht mehr als „Biotier“ bezeichnet werden. (Sommerhäuser, 2014, S.10) Ausgenommen ist der Hormoneinsatz zur Zykluskontrolle und Leistungssteigerung. Dieser ist in der ökologischen Nutztierhaltung verboten. Die genetische Vielfalt und der Naturursprung der Tiere, also die Nutztierassenerhaltung steht im Vordergrund (Hörning – Qualzucht, 2013, S.5).

Maßnahmen zur Nachhaltigkeit

Durch Verordnungen und Leitfäden durch die Bundesministerien und der Zusammenarbeit von Human- und Veterinärmedizin wurden Maßnahmen zum nachhaltigen Medikamenteneinsatz bei Nutztieren entwickelt. Zum Beispiel zeigt der Leitfaden für den sorgfältigen Umgang mit antibakteriell wirksamen Tierarzneimitteln auf, wie Tierärzte und -halter mit dem Einsatz mit Antibiotika umgehen sollten um Resistenzen zu vermeiden. Mensch und Tier können von denselben bakteriellen Erregern infiziert werden, somit wirkt sich eine Antibiotika-Resistenz auf beide Anwendergruppen aus (BMG, 2015, S.10). Neben Vorbeugungsmaßnahmen wie Impfungen zur Minderung des Medikamenteneinsatzes, können Tiere, die sich in Behandlung befinden vom restlichen Tierbestand getrennt gehalten werden, der Tierkot gesondert entsorgt und nicht als Gülle auf dem Feld ausgebracht werden (Unterbrechung der Infektionskette). Hierdurch wird das Übertragungsrisiko der Erreger auf den Restbestand und der Eintritt in die Umwelt reduziert (Ebert et al, 2014, S. 15f). Eine weitere Nachhaltigkeitsmaßnahme ist das Arzneimittel-Monitoring. Hierbei wird gemäß der Richtlinie 2003/99/EG die Erfassung, Auswertung und Veröffentlichung von Resistenzen durch Bakterien durchgeführt. Dies wird anhand von Stichproben und Resistenztests repräsentativ durch das Bundeinstitut für Risikobewertung in Deutschland gesammelt (BMG, 2015, S.12).

Konkrete Beispiele in der Parasitenbekämpfung ist die Verminderung des Selektionsdrucks. Durch die Reduktion der Behandlungen, Einhaltung der Dosiervorschriften und die Wahl des Behandlungszeitpunktes und ein jährlicher Wechsel der Wirkstoffgruppe senken den Druck auf die Parasitenpopulation. (Eckert et al, 2005, S. 548).

Außerdem sind Aufklärungssitzungen bei Ärzten und Tierärzten, sowie die Förderung der Medikamentenforschung von Bedeutung (BMG, 2015, S.13ff)

Literatur

Arzneimittelgesetz (AMG), Stand 2005

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), Zugriff: Nov. 2015, Abgegebene Menge Antibiotika in der Veterinärmedizin in Deutschland nach Wirkstoffklassen in den Jahren von 2011 bis 2014 (in Tonnen).

URL:

<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/371869/umfrage/abgegebene-menge-antibiotika-in-der-veterinaermedizin-in-deutschland-nach-wirkstoffklassen/>

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMEL), 2009, Orale Anwendung von Tierarzneimitteln im Nutztierbereich über Futter oder das Trinkwasser,

Bundesministerium für Gesundheit (BMG), 2015, DART 2020 Deutsche Antibiotika-Resistenzstrategie,

Bundestierärztekammer (BTK), 2015, Leitlinien für den sorgfältigen Umgang mit antibakteriell wirksamen Tierarzneimitteln

Ebert Ina, Arnato Riccardo, Hein Arne, Konradi Sabine, (Herausgeber: Umweltbundesamt), 2014, Arzneimittel in der Umwelt – vermeiden, reduzieren, überwachen

Eckert Johannes, Friedhoff Karl Theodor, Zahner Horst, Deplazes Peter, 2008, Lehrbuch der Parasitologie für die Tiermedizin, 2. Auflage

Hörning Bernhard, 2013 „Qualzucht“ Bei Nutztieren – Probleme und Lösungsansätze

Hörning Bernhard, 2013 Zum Einsatz von Hormonen in der intensiven Sauenhaltung (Kurzfassung) – Studie im Auftrag des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland

Hörning Bernhard, 2014, Mögliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit durch Einträge von Hormonen in die Umwelt – Ergänzung zur Studie „, Zum Einsatz von Hormonen in der intensiven Sauenhaltung“

Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit Niedersachsen (LAVES), 2015;

URL:

http://www.laves.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=20070&article_id=73935&psmand=23

Paul-Ehrlich-Institut, Aktualisiert: 19.11.2015, Impfstoffe für Tiere; URL:

<http://www.pei.de/DE/arzneimittel/impfstoff-impfstoffe-fuer-tiere/impfstoff-impfstoffe-fuer-tiere-inhalt.html>

Sommerhäuser Jürgen, (Herausgeber: Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Land Brandenburg), 2014, Merkblatt zur Anwendung von Arzneimitteln bei Nutztieren

Statistisches Bundesamt, Zugriff: Nov. 2015, Auf einen Blick

URL:

<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/TiereundtierischeErzeugung/TiereundtierischeErzeugung.html>

Tierimpfschutzverordnung (TierImpfStV), Stand 2006

Tschenscher Astrid, 2014, Bestandsspezifische Impfstoffe und ihre Bedeutung in der modernen Veterinärmedizin

Curriculum Vitae

Vanessa Schweikart

Ausbildung:

2009	Abitur an der Justus-von-Liebig Schule Überlingen
2012-2015	Bachelor-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik Hochschule Augsburg
Seit 2015	Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik Hochschule Konstanz

Beruflicher Werdegang:

2013-2014	Praxissemester Schneider-Leibner Ingenieurgesellschaft mbH, Augsburg
Seit 2014	Werkstudent Schneider-Leibner Ingenieurgesellschaft mbH, Augsburg

Nachhaltigkeit in der Abwasserreinigung - Einführung einer 4. Reinigungsstufe in kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffelimination am Beispiel des Rheins

Silvan Halmosi¹, Susann Zabo²

¹ HS -Ravensburg-Weingarten, 88250 Weingarten, E-Mail: silvan.halmosi@web.de

² HS -Ravensburg-Weingarten, 88250 Weingarten, E-Mail: zabosusann@gmail.com

Abstract

The 4th purification stage in municipal purification plants is used to remove micropollutants from wastewater. Previous three-stage purification plants clean the accumulating household and industrial sewages from dirt, nitrate and phosphorus compounds, but micropollutants such as pharmaceuticals and hormones can't be removed with this technology. Further, they return to the waters and the hazard to aquatic life is foreseeable in perpetuity. With activated carbon purification or ozone-oxidation these trace substances were be removed, but this requires a larger investment. To illustrate the problem of micropollutants, the example of the Rhine is selected. It explains how the trace substances are initiate into the Rhine and how an additional purification stage is necessary for the environment.

Einleitung

Die Abwasserreinigung spielt in unserer heutigen Zeit eine wichtige Rolle. Durch Verunreinigungen aus den Haushalten und auch aus der Industrie müssen die kommunalen Kläranlagen viel Arbeit leisten, um das Abwasser zu reinigen. Die drei herkömmlichen Reinigungsstufen werden aber auf Dauer nicht ausreichen um alle Verunreinigungen zu entfernen. Ein Problem stellen dabei Mikroverunreinigungen dar, wie z.B. Hormone oder Arzneimittel. Diese Stoffe können mit der biologischen und chemischen Reinigungsstufe nicht entfernt werden und fließen ungehindert zurück in die Flüsse und Bäche. Eine vierte zusätzliche Stufe wird daher immer wichtiger um nachhaltig Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen, die bisher zurück in die Gewässer gelangen und dem aquatischen Leben schaden können. Im folgenden Artikel werden verschiedene Methoden einer zusätzlichen Reinigungsstufe vorgestellt, welche bereits in einigen Kläranlagen Anwendung finden. Auch die Vor- und Nachteile werden diskutiert, da eine solche Maßnahme eine große Investition darstellt. Veranschaulicht wird das Problem der Mikroverunreinigungen am Beispiel des Rheins, weil er einer der größten Flüsse Europas ist und hier eine Reihe von Messstationen vorhanden sind. Hier werden die Konzentrationen der einzelnen Mikroverunreinigungen untersucht und mit verschiedenen Projekten auf das Thema der Nachhaltigkeit einer 4. Reinigungsstufe aufmerksam gemacht.

Einführung in die Abwasserbehandlung

Um das in den Kanalisationen gesammelte, verschmutzte Abwasser zu reinigen, werden Kläranlagen bzw. Abwasserbehandlungsanlagen eingesetzt. Sie bestehen in der Regel aus drei Stufen, in welchen das Abwasser mit mechanischen, biologischen und chemischen Verfahren gereinigt

wird. In Abbildung 1 sind diese drei Stufen schematisch dargestellt. Bei einigen Kläranlagen wird die biologische und chemische Stufe auch in einem Becken durchgeführt. Jede Kläranlage verfügt außerdem über ein Regenüberlaufsystem, welches bei Starkregen zum Einsatz kommt. Hier wird der Regen entweder mit einem Regenüberlauf direkt zur Kläranlage geleitet oder in einem Regenüberlaufbecken gespeichert, nicht weiter behandelt und in ein Gewässer abgeleitet.

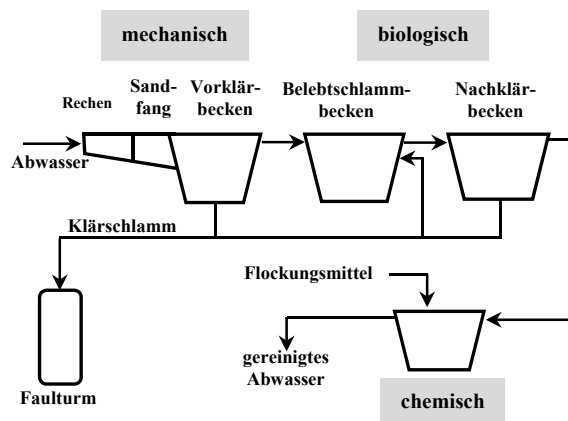


Abbildung 1: drei Stufen einer kommunalen Kläranlage [Eigene Darstellung]

Stufe 1: mechanische Vorreinigung

In der ersten mechanischen Stufe wird das Abwasser nach dem Zulauf in der Rechenanlage von groben Verschmutzungen befreit. Bei den Verschmutzungen handelt es sich beispielsweise um Steine, Laub und tote Tiere. Diese könnten ohne das Herausziehen im späteren Verlauf der Abwasserreinigung die Pumpen verstopfen oder das Reinigungsergebnis in den folgenden Stufen verringern. Im zweiten Schritt der mechanischen Vorreinigung wird das Abwasser in einen Sandfang geleitet. Hier werden in einem Absetzbecken grobe und absetzbare Verunreinigungen wie Sand, Glassplitter und kleine Steine entfernt. Der Sand wird anschließend gewaschen und im Straßen- und Landschaftsbau verwendet. Der letzte Schritt besteht aus einem Vorklärbecken. Das Abwasser wird entweder mit geringer Fließgeschwindigkeit durchgeleitet oder mit einer Verweildauer im Becken gelassen um ungelöste Stoffe, wie Fäkalien und Papier, absetzen oder aufschwimmen zu lassen. Dabei entsteht am Boden des Vorklärbeckens Klärschlamm, der nach Eindickung durch Wasserentziehung in einen Faulturm abgeführt wird.

Stufe 2: biologische Stufe

In das Abwasser wird vor allem durch Harnstoff (Urin) Stickstoff eingebracht. In der biologischen Stufe werden diese organischen Kohlenstoff-Nitrat-Verbindungen mittels des Belebtschlammverfahrens und eines Nachklärbeckens durch Mikroorganismen in mineralische Produkte umgewandelt. Im Belebtschlammbecken werden dafür die natürlichen Selbstreinigungsprozesse der Gewässer nachgeahmt und die Stoffwechselverfahren verschiedener Bakterien und Einzeller genutzt. Die Stickstoffverbindungen werden dazu in zwei Stufen, der Nitrifikation und Denitrifikation, oxidativ abgebaut und aus dem Abwasser entfernt.

In der ersten Stufe, der Nitrifikation, wird der Belebtschlamm mit Abwasser vermischt und über Belüftungsfelder geleitet. Hier wird das Abwasser-Schlamm-Gemisch mit Luftsauerstoff versetzt. Die im Schlamm enthaltenen Nitrifikanten zersetzen in diesem aeroben Umwandlungsprozess die Ammonium-Stickstoff-Verbindungen in Nitrat-Stickstoff. Hier werden vor allem Kohlenhydrate, Eiweiße und Fette abgebaut. Anschließend gelangt das Abwasser in den anaeroben (nicht belüfteten) Teil des Beckens, in dem die Denitrifikanten die vorher gebildeten Nitrat-Stickstoff-Verbindungen in gasförmigen Stickstoff und Sauerstoff umwandeln, welche aus dem Abwasser aufsteigen.

Anschließend wird das Wasser-Schlamm-Gemisch in das Nachklärbecken geleitet, welches die gleiche Funktion, wie das Vorklärbecken erfüllt. Der Belebtschlamm setzt sich ab und das Abwasser kann in die chemische Stufe überführt werden. Ein Teil des Schlammes wird in das Belebtschlammbecken zurückgeführt (Rückführschlamm) um die Konzentration und die biologischen Prozesse aufrecht zu erhalten. Der andere Teil (Überschussschlamm) wird abgeführt, eingedickt und in den Faulturn transportiert [AZV Südholstein].

3. Stufe: chemische Stufe

In der dritten chemischen Stufe wird schließlich durch Flockungsmittel, welches aus Metallsalzen besteht, Phosphor entfernt (Phosphorelimination). Die Zugabe des Flockungsmittels richtet sich dabei nach dem Phosphatgehalt des Abwassers. Die Metallsalze bilden mit dem Phosphor eine unlösliche Verbindung, welche sich am Boden des Beckens absetzt und mit einem Schlammabzug entfernt wird. Diese Stufe dient dazu, eine Überdüngung in den Gewässern zu vermeiden, in die das abgeklärte Wasser eingeleitet wird. Nach Beenden der 3. Stufe kann das gereinigte Wasser in den benachbarten Fluss oder Bach eingeleitet werden [Wasserverband Eifel-Rur].

Die 4. Reinigungsstufe

Mit den herkömmlichen drei Reinigungsstufen in kommunalen Kläranlagen ist es nicht möglich Mikroverunrei-

gungen (MV) zu filtern. Zu diesen MV zählen Arzneimittel, Körperpflegeprodukte, Röntgenkontrastmittel, Reinigungsmittel, Pestizide, Biozide, Hormone und Süßstoffe. Die Konzentrationen der Verunreinigungen sind in den Flüssen und Bächen oftmals unerwünscht hoch und die Folgen für das aquatische Leben absehbar, aber noch nicht durch Langzeitstudien bestätigt. Beispielsweise beeinträchtigen die im Gewässer enthaltenen Hormone die Fortpflanzung der Fische und das Schmerzmittel Diclofenac schädigt Leber und Niere der Tiere [Eversberg, 2014]. Außerdem entstehen multiresistente Keime durch Antibiotika in den Gewässern. Eine vierte zusätzliche Reinigungsstufe ist daher notwendig um die unerwünschten Konzentrationen an Arzneimittel, Hormonen usw. herauszufiltern und die Risiken für die Gewässer zu senken.

Methoden der 4. Reinigungsstufe

Seit 1980 wird bereits an Methoden geforscht und daraus haben sich fünf Varianten zur Entfernung der MV ergeben.

PAK und GAK

Bei der ersten Variante handelt es sich um die Entfernung mittels Aktivkohle (Graphitkristalle). Da die Aktivkohle eine große Oberfläche ($1000 \text{ m}^2/\text{g}$) durch ihre poröse Oberflächenstruktur besitzt, kann eine große Anzahl an MV angelagert werden. Es handelt sich hierbei um ein adsorptives Verfahren, bei dem sich z.B. Arzneimittelrückstände und Hormone ohne chemische Reaktion durch elektrostatische Wechselwirkungen an die Aktivkohle anlagern [EFRE]. Ist die Adsorptionskapazität der Aktivkohle erschöpft, muss sie ausgetauscht werden. In Deutschland wird eher das Verfahren mit granulierter Aktivkohle (GAK) durchgeführt, in der Schweiz wird Pulveraktivkohle (PAK) verwendet. [KOMS]

Das Verfahren mit granulierter Aktivkohle wird meistens schon direkt nach der biologischen Reinigung eingesetzt. Dabei durchströmt das vorgereinigte Abwasser ein festes Filterbett aus Aktivkohle mit einer Körnung von 0.5 bis 4 mm (Abbildung 2). Im Gegensatz zum Verfahren mit PAK, können hier durch das Filterbett höhere Beladungen erreicht werden. Außerdem ist eine Regeneration der körnigen Aktivkohle ohne größere Verluste möglich, was den Verbrauch neuer Aktivkohle senkt.

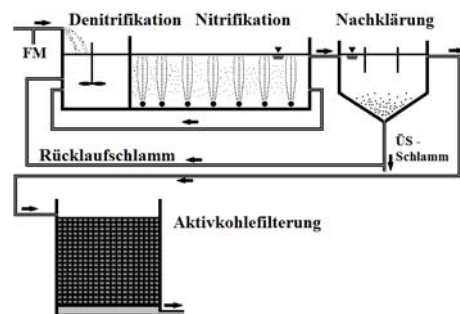


Abbildung 2: Aufbau einer nachgeschalteten Filtration mit granulierter Aktivkohle (GAK) in Kläranlagen [Angelehnt an: W. Firk, 2013, S 12]

Wird die 4. Reinigungsstufe mit Pulveraktivkohle durchgeführt, wird Aktivkohle mit einer Körnung kleiner 0,045mm verwendet. Diese wird dem vorgereinigten Wasser direkt zu dosiert (Abbildung 3). Nach einer Verweilzeit von 15-20 Minuten wird das Kohle-Wasser-Gemisch in einer nachgeschalteten Filtration getrennt. Dazu werden entweder Fällmittel (FM), wie Eisen-Aluminium-Salze, oder Flockungshilfsmittel (FHM), wie Polyelektrolyte zugesetzt. Dadurch wird eine bessere Sedimentation des Kohle-Schlamm erreicht. Ein Teil des Schlammes wird als Überschussschlamme abgeführt und kann entweder weiter verwendet oder entsorgt werden [Stadtwerke Bad Oeynhausen, 2012].

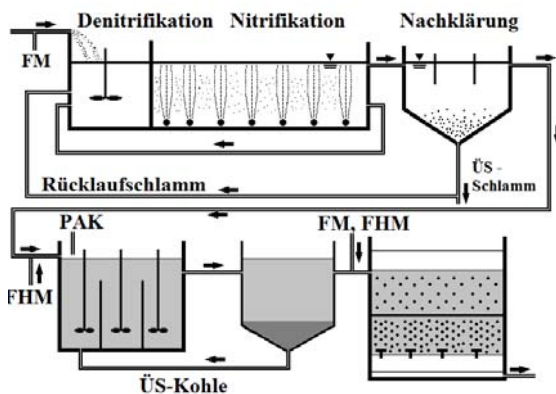


Abbildung 3: Aufbau einer nachgeschalteten Filtration mit Pulveraktivkohle (PAK) in Kläranlagen [Angelehnt an: W. Firk, 2013, S 10]

Vorteil dieser Methode ist die leichte Entsorgung der Aktivkohle. Jedoch ist dieses Verfahren durch den immensen Verbrauch der Aktivkohle teuer und es müssen zusätzlich Filter eingebaut werden, um Reste der Kohle aus dem gereinigten Abwasser zu entfernen.

Ozonung

Bei der zweiten Methode handelt es sich um die Ozonung. Dabei werden mit einer chemischen Reaktion mit Ozon die Verbindungen der MV in weniger komplexe Moleküle gespalten. Nachteil dieser Methode ist, dass bei der Spaltung der Verbindungen auch sogenannte Transformationsprodukte entstehen können. Diese gefährlichen Produkte entstehen vor allem bei Industrie- und Gewerbeabwasser. Um prüfen zu können, ob ein Abwasser für eine Ozonbehandlung geeignet ist oder nicht, sind bereits Testverfahren entwickelt worden [EAWAG, 2015].

Auch die Ozonung wird vorwiegend nach der biologischen Stufe eingesetzt (Abbildung 4). Das Ozon wird direkt vor Ort hergestellt, indem elektrische Entladungen in Sauerstoffatmosphäre erzeugt werden, wozu viel Energie notwendig ist. Das hergestellte Ozon wird anschließend mit einem Ozongenerator in das Abwasser eingebracht und oxidiert die Verbindungen der Spurenstoffe. Überschüssiges Ozon wird mit einem Ozonvernichter zu Sauerstoff reduziert. Optional kann ein Filter nachgeschaltet werden,

der unerwünschte reaktive Oxidationsprodukte aus dem gereinigten Abwasser herausfiltert.

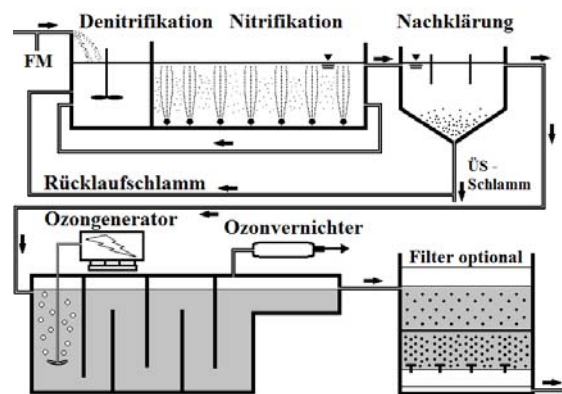


Abbildung 4: Aufbau einer nachgeschalteten Ozonung und optionaler Filtration in Kläranlagen [Angelehnt an: W. Firk, 2013, S 14]

Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist die gleichzeitige Desinfektion, die die Ozonung mit sich bringt. Allerdings ist auch dieses Verfahren sehr teuer, da hier zusätzliche Filter notwendig sind, die verwendeten Materialien ozonbeständig sein müssen und das überschüssige Ozon thermisch oder katalytisch zerstört werden muss, um eine Ozonemission zu verhindern. [Lenntech]

Entfernungen der MV mit Ferrat, AOP's und dichte Membranen

Bis auf die Elimination der Spurenstoffe mit Aktivkohle und Ozonung, sind noch drei weitere effektive Verfahren bekannt.

Zum einen können Spurenstoffe durch instabiles Ferrat in wässriger Lösung oxidiert werden. Dafür wird dem vorgereinigten Abwasser Ferrat in gelöster Form zu dosiert. Dabei dient es als Oxidationsmittel, in dem die Verbindungen der MV zerstört werden, und als Fällungsmittel, sodass eine bessere Trennung von Schlamm und gereinigtem Wasser erfolgt.

Eine weitere Methode ist die des Advanced Oxidation Processes (AOPs). Hierbei wird dem Abwasser Wasserstoffperoxid zugesetzt, welches dann über UV-Lampen geführt wird. Dabei entstehen vor Ort sehr reaktive Hydroxylradikale, die die Verbindungen der Verunreinigungen spalten können. Für dieses Verfahren gibt es bisher noch keine funktionierenden Anlagen, sondern nur Pilotprojekte und Laborversuche.

Auch dichte Membranen in einer Nanofiltration und Umkehrosmose können zur Spurenstoffelimination verwendet werden. Jedoch ist dies nur notwendig, wenn das gereinigte Abwasser danach wieder Trinkwasserqualität benötigt. Diese Methode ist mit einer Ausbeute von 75-90 % sehr effektiv, wobei nur 10-25 % Abwasser als Konzentrat anfallen. Das konzentrierte Abwasser muss schließlich weiter behandelt oder entsorgt werden.

Vor- und Nachteile der 4. Reinigungsstufe

Da eine vierte Reinigungsstufe in den Kläranlagen mit hohen Investitionskosten und Mehrkosten verbunden ist, muss die Entscheidung für eine zusätzliche Klärstufe gut abgewogen werden.

Ein großer Vorteil der vierten Reinigungsstufe ist zum ersten die allgemeine Vorsorge. Die MV können nachweislich verringert und das aquatische Leben und die Umwelt nachhaltig geschützt werden. Nicht nur die Umwelt zieht Vorteile aus der zusätzlichen Stufe, sondern auch der Mensch. Es wird dadurch eine Verbesserung der Trinkwassergewinnung erreicht. Da die technischen Verfahren dazu bereits anwendungsreif und einsatzbereit sind, entwickelt sich zunehmend ein politischer und administrativer Druck zur Einrichtung einer zusätzlichen Reinigungsstufe in Kläranlagen.

Gründe, die gegen eine zusätzliche Klärstufe sprechen, sind zum einen die MV an sich. Das Problem liegt hierbei bei der Konzentration der Spurenstoffe. Oft liegen diese unter der Wirkschwelle und eine moderne Analytik muss eingesetzt werden, um diese nachweisen zu können. Zudem sind die Eintragspfade der Verunreinigungen so komplex, dass nie eine vollständige Stoffausschleusung erreicht werden kann. Es können außerdem Transformationsprodukte, wie z.B. bei der Ozonung, entstehen, die noch gefährlicher für die Umwelt sein können. Weiterer Nachteil ist die Steigerung des Energieverbrauchs, der mit der Einführung einer zusätzlichen Stufe verbunden ist. Es müssen mehrere Millionen Euro investiert werden, um ein solches Projekt zu realisieren.

Der Rhein

Der Rhein wurde als Beispiel ausgewählt, da er mit seinen 1238,8 Kilometern einer der längsten Flüsse Europas ist, und in seinem Einzugsgebiet ca. 58 Millionen Menschen leben [H. Singer et al, 2013, S. 17]. Von seiner Quelle am Tomasee in der Schweiz bis zu seiner Mündung in den Niederlanden durchfließt er und seine Nebenflüsse neun Länder und liefert Trinkwasser für fast 20 Millionen Menschen. Mit 62 % hat Deutschland den größten Anteil an Personen, die im Einzugsgebiet des Rheins leben [M.S. Müller, 2011, S.16].

Im Jahr 1986 löste ein tragischer Brand in einer Chemiefabrik bei Basel ein Fischsterben im Rhein aus, wobei Löschwasser zusammen mit hochgiftigen Chemikalien in den Rhein floss. Daraufhin wurde die internationale Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein (RÜS) gegründet. Es ist die weltweit erste Überwachungsstation, die von zwei Staaten gleichzeitig geführt wird [Amt für Umwelt und Energie, 2014, S.1]. Die Hauptaufgabe der RÜS ist das Messen und Aufzeichnen von Substanzen und ihrer Konzentrationen. Veränderungen an Parametern und Substanzhäufigkeiten können somit über einen langen Zeitraum aufgezeigt werden und nachverfolgt

werden. Zudem wird das Wasser immer auf kritische Vorkommnisse untersucht, um im Notfall sofort Alarm geben zu können [H. Singer et al, 2013, S. 17].

Aktuelle Situation

Auf Informationsplattformen wie der Undine (Datengrundlagen zur Einordnung und Bewertung hydrologischer Extrem) und der Internetseite des IKSR (Internationale Kommission zum Schutz des Rheins) kann man sich über die aktuelle Situation informieren.

Momentan werden entlang des Rheins regelmäßige Messungen an mehreren Messstationen durchgeführt. Diese Stationen werden von mehreren Landesämtern, der angrenzenden Staaten oder im Auftrag derer betrieben. Die Messungen können oft nur bis zu einem bestimmten Schwellenwert (allgemeiner Schwellenwert für gemessene Substanzen im Rhein: 0,1 µl/g [Chèvre N., 2005, S.1]) und nicht darüber hinaus bestimmt werden. Sollte eine Substanz, beispielsweise im Nanogrammbereich, vorliegen, wird angegeben, dass der Stoff den Schwellenwert nicht überschritten hat [LANUV NRW, 2015]. An den Messstationen entlang des Rheins werden bei Weil am Rhein die meisten Substanzen in den niedrigsten Konzentrationen gemessen (ca. 288 Substanzen täglich) [H. Singer et al, 2013, S. 20].

Mikroverunreinigungen und ihre Eintragspfade

Mikroverunreinigungen

Entlang des Rheins kommen sehr viele unterschiedliche MV vor, welche nur kaum bis gar nicht durch eine herkömmliche Kläranlage herausgefiltert werden können. Dabei werden unter anderem Pharmazeutika, Süßstoffe und Pestizide/Biozide gemessen. Des Weiteren werden Hormone, Korrosionsschutzmittel und Drogenabbauprodukte in Gewässern gefunden. Wie sich diese MV im Einzelnen auf die Umwelt auswirken, ist oftmals nicht bekannt, da Langzeitstudien fehlen. Das Thema der MV hat erst in den letzten Jahren an Popularität gewonnen und ist deshalb noch nicht ausreichend erforscht. Viele der Stoffe, wie beispielsweise die Korrosionsschutzmittel, weisen ein toxisches Verhalten auf. Pestizide und Biozide sind Stoffe, die eigens dafür hergestellt wurden um vorbeugend, zerstörend und abwehrend gegen andere Organismen zu wirken [U.S. Environmental Protection Agency, 2014], hier ist also eine negative Auswirkung absehbar. Für mehrere Substanzen gibt es bereits Studien zu Ihren Auswirkungen, welche allerdings oft nur unter Labormaßstäben oder in deutlich zu kurzen Zeiträumen stattgefunden haben. Wie sich Substanzen allein oder in Kombination auch auf längere Zeiträume auswirken, muss daher noch genauer untersucht werden.

Eintragspfade von Mikroverunreinigungen

Die Wege auf denen die verschiedensten MV in den Rhein und die Umwelt gelangen sind oftmals, je nach Substanz,

sehr unterschiedlich. Trotzdem lassen sich diese möglichen Eintragungspfade kategorisieren.

Direkte Eintragungspfade

Hierbei gelangen die Substanzen ohne Umwege in die Umwelt bzw. die Gewässer. Zu den Substanzen, die direkt eingebracht werden, gehören vorrangig die Pestizide und Anti-Fouling Produkte. Pestizide werden direkt auf die jeweiligen Pflanzen ausgebracht. Einsetzender Regen direkt nach der Ausbringung kann sie dann wegspülen, wodurch sie in erhöhten Konzentrationen in die Gewässer gelangen. Anti-Fouling Produkte werden gegen Veralgung vor allem in Kühlsystemen und in der Schifffahrt eingesetzt. Beim Entleeren der Kühlsysteme werden die Abwässer oft direkt in die Umwelt entleert.

In der Landwirtschaft gelangen über Hofabwässer und Felddünger auch Antibiotika, natürliche Hormone und Insektizide von Nutztieren auf die Felder. Dort werden sie durch Erosion, oberflächlichen Abfluss oder Drift in die Umwelt gebracht. Andere Substanzen gelangen beispielsweise durch Bildung von Aerosolen oder tägliche Abnutzung, beispielsweise durch Verkehrsmittel jeder Art in die Umwelt [Fenner et al., 2010, S.4].

Indirekte Eintragungspfade

Die Substanzen gelangen hier vorwiegend über die Kläranlagen in die Umwelt. Biozide, die im häuslichen Gebrauch verwendet werden kommen durch die Kanalisation in die Kläranlagen. Süßstoffe werden im Körper nicht verstoffwechselt und gelangen so in die Kanalisation.

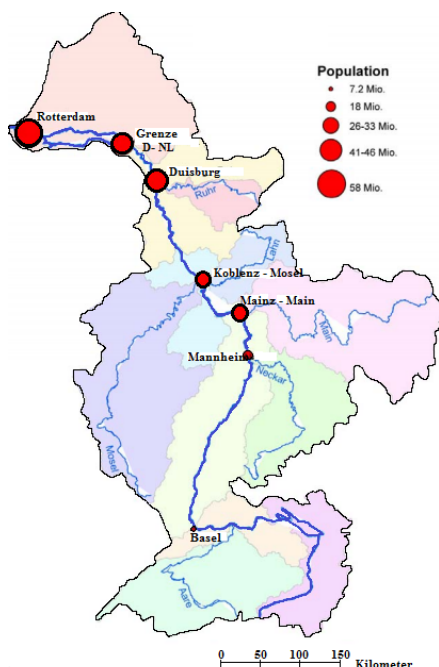


Abbildung 5: Population entlang des Rheins [Abgeändert aus: Kathrin Fenner et al., Diffuse Einträge von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässer, 2010, S.8]

Pharmazeutika oder ihre Abbauprodukte gelangen ebenfalls über die Ausscheidungen des Menschen in die Kanalisation. Umfragen ergaben allerdings auch, dass viele Menschen alte Arzneimittel nicht fachgerecht entsorgen und einfach herunterspülen [Keil F. et al., 2008, S7.]. Nur manche dieser Substanzen können teilweise in den Kläranlagen abgebaut werden. Ein weiteres Problem besteht dann in den Überlaufbecken der Kläranlagen. Diese sind notwendig, da jede Kläranlage nur ein bestimmtes Fassungsvermögen besitzt. Bei starken Regenfällen kann dies schnell überschritten werden und die Regenüberlaufbecken laufen voll. Ist dies der Fall, werden sie ungehindert und ohne Filter in die Gewässer entlassen, wodurch hohe Spitzen an MV entstehen können.

Mit zunehmender Länge des Rheins kommen immer weitere Nebenflüsse hinzu und die Bevölkerung, deren Abwässer im Fluss landen, wächst an. Abbildung 6 zeigt hierbei den Anwuchs der Population. Durch diesen ist eine erhöhte Konzentration entlang des Rheins anzunehmen.

Gesetzliche Lage zu Grenzwerten

Im Allgemeinen gibt es keine bekannten gesetzlichen Grenzwerte für die MV. Es gibt Umweltqualitätsnormen, Trinkwasserleitwerte, Trinkwassermaßnahmewerte, Werte bei denen international und Werte bei denen auf nationaler Ebene bei den Rheinüberwachungsstationen Alarm gegeben wird und viele weitere. Im Allgemeinen wird für Pestizide das willkürlich festgelegte Qualitätskriterium mit einem Wert von 0,1 µg/L, was 100 ng/L entspricht, herangezogen. Dieser Wert beachtet allerdings nicht die jeweilige Wirkweise der einzelnen Pestizide in Bezug auf die Umwelt und steht daher auch in der Kritik [Chèvre N., 2005, S.1]. Für Süßstoffe, Korrosionsschutzmittel und Pharmazeutika wurden keine gesetzlichen Grenzwert oder Kriterien gefunden. Auch sind viele Substanzen in den Messprogrammen der meisten Rheinüberwachungsstationen nicht vorhanden.

Messwerte entlang des Rheins

Die aktuellen Messwerte können für die Überwachungsstation Weil am Rhein unter <http://www.aue.bs.ch/umwelt-analytik/rheinueberwachungsstation-weil-am-rhein.html> (Stand 19.11.1991 15:00) mit sehr genauen Messwerten in Jahres- oder Monatsberichten betrachtet werden oder sind unter der jeweiligen Messstation unter <http://maps.wasserblick.net:8080/dkrr-zt/> (Stand 19.11.1991 15:00) einsehbar. Es zeigt sich hier, dass die meisten gemessenen Substanzen den Grenzwert von 0,1 µg/L nicht überschreiten. Jedoch gibt es bei bestimmten Substanzklassen deutlich höhere Werte. Dazu gehören die Süßstoffe (Bsp: Acesulfam, im Jahr 2014, mit einem Maximalwert von 1,5 µg/L an der Messstation Basel) und die Röntgenkontrastmittel (Bsp: Iomeprol und Iopamidol mit einem Maximalwert von 1,2 µg/L) [BAFU; LUBW; AUE, 2014, S.10-12]. Diese Werte liegen nur knapp über dem Grenzwert. Es muss jedoch bedacht werden, dass diese Werte bereits in

Basel gemessen wurden und somit ein höherer Wert im Laufe des Rheins zu erwarten ist. Zudem muss die kumulierte Fracht der MV bedacht werden. Die gesamten Mengen, welche über den Rhein transportiert werden, gelangen in die Nordsee. So summieren sich auch vermeintlich kleine Werte im Rhein zu Großen in der Nordsee. Als Beispiel wird näherungsweise die Fracht des Arzneimittel Metoprolol berechnet, welches als Betablocker unter anderem gegen Herzrhythmusstörungen und Blockhochdruck eingesetzt wird [Warnke, A. und Blume, H., 2004 S. 456-465]. An der Messstation Bimmen/Lobith wird die Substanz mit einem jährlichen Mittelwert von ca. 0,0628 µg/L gemessen. Der jährliche mittlere Abflusswert des Rheins an seiner Mündung beträgt 2900 m³/s [Undine, 2012]. Dies würde einer jährlichen Fracht von ca. 5743 kg entsprechen, die in die Nordsee eingebracht werden.

Zusammenfassung

Um verschmutztes Abwasser zu reinigen bevor es in die Umwelt gelangt wird dieses in einer Kläranlage behandelt. Dabei sind im Normalfall drei Stufen vorhanden. Die erste Stufe ist die mechanische Vorreinigung, die das Abwasser mit Rechen, Sandfang und anderen Methoden von ersten groben Verschmutzungen reinigt. Die zweite Stufe ist meist biologisch. Hierbei werden bioverfügbare Stoffe, wie Stickstoffverbindungen, durch Bakterienstämme ab- oder umgebaut. Die dritte Stufe ist die chemische Stufe. Durch Flockungsmittel wird Phosphor entfernt und somit einer Überdüngung entgegen gewirkt.

Mit diesen drei herkömmlichen Stufen können viele MV nur sehr schwer oder gar nicht eliminiert werden, so dass diese ungehindert in die Umwelt gelangen können. Dafür wird die vierte Stufe eingesetzt. Zwei Methoden haben sich bis heute als am besten geeignet erwiesen. Die erste davon ist die Methode der Polyaktivkohle (PAK) bzw. der Granulierten Aktivkohle (GAK). Durch ihrer adsorptiven Eigenschaften kann die Aktivkohle die MV binden und aus dem Abwasser entfernen. Die Aktivkohle kann dem Abwasser zugemischt und anschließend wieder entfernt (PAK) oder als Filter durchströmt werden (GAK). Die zweite Methode ist die Ozonung, wobei dem Abwasser reaktives Ozon beigemischt wird, welches die MV zu weniger gefährlichen Stoffen oxidiert. Das Ozon muss anschließend mit einem Ozonvernichter entfernt werden. Es gibt zudem noch andere Methoden deren Technik aber noch nicht weit genug ausgereift bzw. erprobt wurde.

Der Rhein ist die wichtigste Kultur- und Handelsachse Mitteleuropas. In seinem Einzugsgebiet leben ca. 58 Millionen Menschen wovon 20 Millionen ihr Trinkwasser vom Rhein beziehen. Entlang des Rheins gibt es mehrere Messstationen die von verschiedenen Ländern oder in Kooperation zwischen Ihnen betrieben werden. Die Messungen erfolgen in zeitlich geregelten Abständen um notfalls sofort Alarm geben zu können. Dabei wird im Allgemeinen der Grenzwert von 0,1 µl/g für MV angewandt. Es gibt

keine bekannten gesetzlichen Grenzwerte. Die meisten gemessenen Stoffe liegen unterhalb des Grenzwertes. Es gibt jedoch Überschreitungen. Substanzen die nicht eliminiert werden können, reichern sich so im Verlauf des Rheins und schlussendlich in der Nordsee an.

Im Rhein werden verschiedenste MV werden unter anderem Pharmazeutika, Süßstoffe, Pestizide/Biozide, Hormone, Korrosionsschutzmittel und Drogenabbauprodukte gemessen. Wie sich diese MV im Einzelnen oder in Kombination auf die Umwelt auswirken, ist oftmals nicht bekannt, da Langzeitstudien fehlen.

Die MV gelangen entweder auf direktem Wege in die Umwelt oder indirekt über die Kläranlage. Dabei kommt es auf die einzelne Substanz an, wie sie in die Umwelt eingetragen werden. Entlang des Rheins wachsen auch die Bevölkerung und die landwirtschaftliche Nutzfläche stetig an, was dazu führt, dass die gemessenen Konzentrationen immer weiter zunehmen.

Ausblick

Um in Zukunft den Eintrag von Substanzen, welche einen Einfluss auf die Umwelt haben, zu verringern, ist eine Aufklärung im öffentlichen und landwirtschaftlichen Sektor unabdingbar. Schon jetzt befinden wir uns auf einem guten Weg dahin. Alle Landwirte, die Pflanzenschutzmittel benutzen, sind vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft gesetzlich dazu verpflichtet an Weiterbildungen zum Thema Anwendung, Lagerung und Umweltschutz für Pflanzenschutzmittel teilzunehmen. Dabei ist vor allem der verantwortungsbewusste Umgang mit Pflanzenschutzmitteln wichtig. Die Schulungen enthalten Tipps und Ratschläge, wann der ideale Zeitpunkt für welche Art von Wirkstoff ist. Zudem soll auf bewährte kulturtechnische Maßnahmen zurückgegriffen werden. Das Pestizid soll nicht den ersten, sondern den letzten Weg darstellen. Durch diese Weiterbildung können unnötige Austragungen vermieden werden [Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2010].

Durch Information der Öffentlichkeit soll diese für den Umweltschutz sensibilisiert werden. Es muss gezeigt werden, dass etwas bewegt werden kann und zwar von jedem Einzelnen. Durch verschiedenste Informationsplattformen und Projekte wie beispielsweise „Rheines-Wasser“, im Zuge dessen Prof. Dr. Fath von der Hochschule Furtwangen in Schwenningen durch den Rhein schwamm und dabei Proben entnahm, konnte die aktuelle Situation des Rheins wiederspiegelt werden. Es wird vielen Menschen erst dadurch bewusst, wer der Hauptverursacher der MV ist. Durch diese Aufklärung soll ein Umdenken stattfinden.

Durch die Arbeit der IKSR sind in den Jahren 1986-2000 viele punktuell eingeleitete Schadstoffe um 70-100 % zurückgegangen. Dies ist vor allem der Aufklärung zu verdanken. So wurden beispielsweise u.a. Empfehlungen an Betriebe für Störfälle und Anlagensicherheit umgesetzt,

um Unfälle mit umwelt-toxologischen Stoffen zu vermeiden. (IKSR, 2013)

Ein weiterer Ausblick auf eine Verbesserung, ist das Vorrantreiben der Etablierung der 4. Reinigungsstufe von Kläranlagen. Nur durch einen flächendeckenden Einsatz dieser kann versucht werden der Umweltverschmutzung entgegen zu wirken. In der Schweiz sind bereits Kläranlagen mit vier Reinigungsstufen aktiv und es sollen die größten 100 Kläranlagen aufgerüstet werden [Hollinger, 2012, S.2]. Da in Deutschland auch der Steuerzahler in die Investition eingebunden wird und dadurch Zusatzkosten entstehen, hat sich das Verfahren noch nicht vollständig durchgesetzt. Weiterhin ist es sinnvoll neue Methoden zu entwickeln um die MV bereits zu eliminieren bevor sie in die Gewässer gelangen.

Literaturverzeichnis

Amt für Umwelt und Energie, Juli 2004. [Online].
URL:<http://www.aue.bs.ch/umweltanalytik/rheinueberwachungstation-weil-am-rhein.html>. [Zugriff: 16.11.2015]

AZV Südholstein,
URL:<http://www.azv.sh/unsere-leistungen/abwasserbehandlung/biologische-stufe.html> [Zugriff 14.11.2015]

Bundesanstalt für Gewässerkunde: *Pegeldaten Rees bei UNDINE* (Datengrundlagen zur Einordnung und Bewertung hydrologischer Extreme), abgerufen am 17.11.2015

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 2010. Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz - Grundsätze für die Durchführung. BMELV, Referat 512, Bonn

EAWAG, Chèvre N. und Escher B., 2005. Welches Risiko stellen Pestizide für die Gewässer dar?. Zürich

EAWAG, Fachartikel - Behandelbarkeit von Abwasser mit Ozon, 2015,
URL:http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/News/2015/0805/ozonierung-test_a_g.pdf
[Zugriff: 16.11.2015]

EAWAG, Fenner K., Singer H. und Stamm C., 2010. Diffuse Einträge von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässer. Bonn

Eversberg, Anette, Deutschlandfunk, 2014. Neue Reinigungsstufe in Klärwerken,
URL:http://www.deutschlandfunk.de/arzneimittelreste-neue-reinigungsstufe-in-klarwerken.697.de.html?dram:article_id=300848 [Zugriff: 17.11.2015]

Firk, Wolfgang, 2013. Mikroschadstoffe: Erkenntnisse und Schlussfolgerungen für die Wasserwirtschaft in NRW. Recklinghausen

Günther, F.W., Institut für Wasserwesen, Universität der Bundeswehr München, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, 2013. Abschlussbericht: Bewertung vorhandener Technologien für die Elimination anthropogener Spurenstoffe auf kommunalen Kläranlagen

Hollinger, Ingenieurbüro Gujer AG, 2012. Erste Ozonung auf einer kommunalen ARA in der Schweiz. Dübendorf

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), 2013. [Online].
URL:<http://www.iksr.org/index.php?id=165>.
[Zugriff:12.11.2015]

Keil, Florian (Projektleiter start). Humanarzneimittelwirkstoffe: Handlungsmöglichkeiten zur Verringerung von Gewässerbelastungen - Eine Handreichung für die Praxis. Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH - Forschungsprojekt start. Frankfurt am Main : s.n., 2008. S. 7.

Klaerwerk.info, aktuelle Fachinfos rund ums Klärwerk,
URL:<http://www.klaerwerk.info/Abwasserreinigung/zueindokrinen-stoffen-und-interessante-berichte-zu-arzneimittel-im-abwasser#endokrin55> [Zugriff: 14.11.2015]

KOMS - Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg,
URL:<http://www.koms-bw.de/technologien/adsorptiv/>
[Zugriff: 14.11.2015]

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2013,
URL:http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/243039/spurenstoffinventar_2012_2013.pdf?command=downloadContent&filename=spurenstoffinventar_2012_2013.pdf [Zugriff: 14.11.2015]

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW. Messwerte der Messstation Kleve-Bimmen. 2015, [Online].

URL:http://luadb.lids.nrw.de/LUA/gues/probe.php?messstellen_nr=000504&ersterAufruf=aktuelle+Werte&yAchse=Standard&hoehe=400&breite=724. [Zugriff:11.11.2015]

Lenntech,
URL:<http://www.lenntech.de/systeme/ozon/zerstoe-er/ozon-vernichter.htm> [Zugriff:14.11.2015]

Müller M. S., 2011. Polar Organic Micro-pollutants in the River Rhine: Multi-compound Screening and Mass Flux Studien of Selected Substances. Berlin

Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung (RWB) 2007-2013, Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE),
URL: <http://www.rwb-efre.baden-wuerttemberg.de/doks/Beispielprojekte/Dezember%202011/RWB-EFRE%20Projekt%20Klarranlage%20Boeblingen%20Sindelfingen.pdf> [Zugriff: 20.11.2015]

Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, Singer H., Ruff M., Ruppe S., Mazacek J., Dolf R. und Leu C., 2013. 20 Jahre Rheinüberwachung - Erfolge und analytische Neuausrichtung in Weil am Rhein. Zürich

Stadtwerke Bad Oeynhausen, Erläuterungsbericht: Kläranlage Bad Oeynhausen Einsatz von Aktivkohle/alternative Verfahrenstechniken, 2012,
URL: http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearch-projects/Abschlussbericht_klaeranlage_oeynhausen.pdf [Zugriff: 14.11.2015]

Umweltministerium Baden-Württemberg, Bundesamt für Umwelt, Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt, „Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein – Jahresbericht 2014“, Basel, 2014.

U.S. Environmental Protection Agency, 2014. [Online].
URL: http://www.epa.gov/pesticides/about/index.htm#what_pesticide. [Zugriff: 15.11.2015].

Wasserverband Eifel-Rur (WNER),
URL: <https://www.wver.de/index.php/abwassertechnik/funktion-einer-klaeranlage> [Zugriff: 15.11.2015]

Warnke, A. und Blume, H., Verbesserte Therapie durch optimierte Arzneiformen? Pharm. Unserer Zeit 33 (2004) S. 456-465

Curriculum Vitae

Silvan Halmosi



Ausbildung:

- | | |
|-----------|--|
| 2011 | Abitur Gymnasium Trossingen |
| 2011-2014 | Bachelor-Studium der Bio- und Prozesstechnologie an der Hochschule Furtwangen University in Schwenningen |
| Seit 2015 | Master-Studium der Umwelt- und Verfahrenstechnik an der Hochschule Ravensburg-Weingarten & HTWG Konstanz |

Beruflicher Werdegang:

- | | |
|-----------|--|
| 2014-2015 | Praxissemester in der Abteilung F&E bei Alfred Kärcher GmbH und Co. KG |
|-----------|--|

Curriculum Vitae

Susann Zabo‘



Ausbildung:

- | | |
|-----------|--|
| 2009 | Abitur Leibniz Gymnasium Rottweil |
| 2009-2012 | Bachelor-Studium der Chemie an der Universität Stuttgart |
| 2012-2015 | Bachelor-Studium der Bio- und Prozesstechnologie an der Hochschule Furtwangen University in Schwenningen |
| Seit 2015 | Master-Studium der Umwelt- und Verfahrenstechnik an der Hochschule Ravensburg-Weingarten & HTWG Konstanz |

Beruflicher Werdegang:

- | | |
|-----------|---|
| 2013-2014 | Praxissemester bei der Mahle GmbH Rottweil |
| 2014-2015 | Bachelor-Thesis bei der Mahle GmbH Rottweil |

Ökologische Verbesserungsmaßnahmen an Wasserlaufkraftanlagen gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz

Igor Rogowski

Hochschule Ravensburg-Weingarten, Doggenriedstr., 88250 Weingarten, E-Mail: ir-153344@hs-weingarten.de

Abstract

Hydroelectric power stations as a renewable energy source play an important role for the energy revolution, which is determined by the German government. Thus operators can improve the ecologic conditions of their plants with improvement measures to get higher remunerations of the produced electricity. This is declined in the Renewable Energy Act that works as a motivation to establish such improvements. An environmental expert who works together with the Water Authority has to confirm that the plant works ecological sustainable after the improvements, which have been done on the plant. There are directives decided by the European Commission, which have the goal to protect the nature and habits of animals and plants in Europe. These improvement measures could be for example renaturation of rivers and channels, shallow water zones, planting of shores and banks or fish ladders. Expenses for the environmental condition are often compensated by the Renewable Energy Act levy. The amount of the power remunerations depends on the rated power of the plant and if it's an existing or a new one.

Einleitung

Die Wasserkraft als regenerative Energie spielt eine wesentliche Rolle bei der von der Regierung beschlossenen Energiewende. Vor allem die Fischerei betrachtet diesen Schritt kritisch, da die Wasserkraftanlagen einen erheblichen Eingriff in die Gewässer und somit auch in den Lebensraum der Fische darstellen. An bestehenden Anlagen sind oftmals die Mindestanforderungen der Ökologie, die durch das Wasserhaushaltsgesetz vorgeschrieben werden, nicht erfüllt. Den ersten Ansatz für Verbesserungen an solchen Anlagen liefert seit einigen Jahren das Erneuerbare Energien Gesetz, kurz EEG genannt. Dieses Gesetz dient den Wasserkraftanlagenbetreibern als Motivation die Gewässer ökologisch zu verbessern. Der Anreiz hierfür ist eine höhere Einspeisevergütung, die Investitionskosten und energetische Verluste mindestens kompensiert. Bei vielen Wasserkraftanlagen werden Verbesserungen aus ökologischer Sicht unzureichend oder fragwürdig umgesetzt. Dadurch können hohe Investitionskosten die durch klare Vorgaben hätten besser eingesetzt werden können, unnötig und nicht zielgerichtet ausgegeben. Wie bekannt ist, zahlt der Stromkunde die EEG-Mehrvergütung in Form einer Umlage auf den regulären Strompreis (Meyr Christoph, Pfeifer Hansjörg, Schnell Johannes, Hanfland Sebastian, November 2011, Seite 3-5.). Umweltgutachter tragen die größte Verantwortung, da durch ihre Unterschrift für die Dauer von 20 Jahren erhebliche Geldmittel zu Lasten der allgemeinen Stromverbraucher umgeschichtet werden. Diese Energiepreissteigerungen treffen oftmals die sozial schwächeren Gruppen stärker. Jedoch ist vor allem in

dem Zeitalter des Anthropozän die Wasserkraft eine wichtige tragende Säule zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes der Bevölkerung. Deutschland mit einem hohen Energieverbrauch und einer hohen Wirtschaftsleistung wirkt dabei als Vorreiter in Sachen Erfüllung der Einsparziele (Sippel Maike, 2015, Skriptfolien). Dies ist wesentlich durch das EEG vorangebracht worden. Dem Leser soll ein Einblick in die möglichen Maßnahmen für eine ökologische Nachhaltigkeit der Fließgewässer ermöglicht werden. Es soll vermittelt werden wer sich beteiligt und was die Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Verbesserung der Ökologie sind.

Wirtschaftliche Maßstäbe für ökologischen Verbesserungsmaßnahmen

Der wichtigste Punkt ist dass Leistung und Gegenleistung im Einklang stehen. Laut volkswirtschaftlicher Definition sind Energieressourcen und Finanzmittel rationell und sparsam einzusetzen. Die Voraussetzung für die Anlagenbetreiber ist die Bereitstellung eines bestimmten Budgets für ökologische Verbesserungsmaßnahmen. Die Höhe dieses Budgets hängt von dem Standort der Wasserkraftanlage und den ökologischen Erfordernissen ab. Die komplette Beseitigung aller ökologischen Defizite ist nicht möglich. Jedoch muss ein wesentlicher finanzieller Vorteil beim Betreiber verbleiben und die Verbesserungen müssen eindeutig als wesentlich eingestuft werden können. Anlagenbetreiber gehen oftmals davon aus, dass nur durch eine einzige ökologische Verbesserungsmaßnahme die Unterschrift durch den Umweltgutachter für den Mehrerlös geleistet wird. Je nach Standort können jedoch mehrere Maßnahmen erforderlich sein. In einigen Fällen werden deshalb meistens nur minimal Lösungen umgesetzt um hohe Investitionskosten oder umfangreichere Leistungseinbußen zu vermeiden (Meyr Christoph, November 2011, Seite 9). Im Bezug zu den steigenden Ölpreisen und des Klimawandels darf der Ausbau emissionsfreier erneuerbarer Energiequellen nicht behindert werden. Deshalb muss zuerst die Überwindung der Grenze für die freiwilligen Verbesserungsmaßnahmen erfolgen um dann die Mehrerlöse für den produzierten Strom zu erhalten.

Rechtliche Grundlagen für ökologische Verbesserungen im Sinne des EEG

Der Leitgedanke ist die nachhaltige Nutzung der Gewässer zur Bewirtschaftung und gleichzeitig ihren Schutz zu gewährleisten (Meyr Christoph, November 2011, Seite 17 ff.).

Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

Die Regelungen zum Umgang mit Gewässern wird in Deutschland im Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts, dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) zusammengefasst. In diesem Gesetz sind untergeordnet die Rege-

lungsbereiche wie z.B. die Wasserrahmenrichtlinie, das Bundesnaturschutzgesetz, die Umweltverträglichkeitsprüfung, die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie sowie baurechtliche Regelungen automatisch mit einbezogen. Das Ziel des Gesetzes ist die nachhaltige Gewässerbewirtschaftung als Lebensgrundlage des Menschen, als Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie als nutzbares Gut zu schützen. Nach § 34 dürfen Stauanlagen nur dann errichtet und zugelassen werden, wenn die Durchgängigkeit des Gewässers erhalten oder wiederhergestellt werden kann. Der § 33 WHG regelt die Mindestwasserführung in Restwasserstrecken in dem man das Entnehmen oder Ableiten von Wasser nur durch Gewährleistung der Abflussmenge des Gewässers durchführen darf (Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts, Ausfertigungsdatum: 31.07.2009, Seite 5, 19). Als Nachweis für die durchgeführten ökologischen Maßnahmen dient ein ausführliches Umweltgutachten. Durch die qualitativ hochwertige und verlässliche Arbeit des Umweltgutachters sollte eine Nachprüfung durch die Wasserrechtsbehörde entfallen. Dabei arbeiten die Gutachter eng zusammen mit den Wasserrechtsbehörden. Zusätzlich entlastet sich der Betreiber und die Stadt durch nachträglich angeordnete Entschädigungszahlungen, sofern man auf freiwilliger Basis Verbesserungen durchgeführt hat.

Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL)

Die für alle EU-Staaten verpflichtende Wasserrahmenrichtlinie, entstand im Jahr 2000 durch Beschluss der Europäischen Kommission. Ziel ist der Schutz der Gewässer und ihre Weiterentwicklung nach ökologischen Kriterien. Ein zentraler Punkt der Richtlinie ist der Erhalt der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer, der Landökosysteme und Feuchtgebiete, die direkt in Verbindung stehen und der Schutz des Wassers als natürliche Ressource. Dabei werden Gewässer als zusammenhängende Systeme betrachtet. Verstärkt wird auf die natürliche Formgebung des Flussbettes und der Ufer geachtet. Zum Vergleich wurde davor nur die Vermeidung und Reduzierung von Schadstoffeinträgen in die Gewässer fokussiert. Stark ausgebaut oder künstliche Gewässer auch HMWB (heavy modified water bodies) genannt, können keinen guten ökologischen Zustand erreichen. Hier verwendet man den Begriff des guten ökologischen Potentials, das erreicht wird wenn alle technisch und wirtschaftlich möglichen Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt worden sind (Europäisches Parlament, 2000, Seite 10,13).

Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG)

Das BNatSchG beinhaltet die europäischen Richtlinien zum Arten- und Biotopschutz, die FFH- (Fauna-Flora-Habitat) und Vogelschutzrichtlinie sowie die Landschaftspflegeziele. Als Ziel ist die dauerhafte Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes definiert. Einschließlich die Bewahrung vor negativer

Beeinträchtigungen von natürlichen und naturnahen Gewässern einschließlich ihrer Ufer, Auen und Rückhalteflächen. Unter dem Biotopverbund werden die oberirdischen Gewässer, ihre Randstreifen, Uferzonen und Auen als Lebensstätten für natürlich vorkommende Tier- und Pflanzenarten zusammengefasst. Diese sollen erhalten und verbessert werden damit sie ihre großräumige Vernetzungsfunktion auf Dauer erfüllen können. Zudem muss der Austausch zwischen Populationen, ihre Wanderungen und Wiederbesiedlung ermöglicht werden. (Bundesnaturschutzgesetz, vom 20.12.1976, Seite 3574 ff.)

Wasserkraftnutzung in Deutschland

In Deutschland gibt es ca. 7000 Wasserkraftanlagen mit einer Leistung kleiner als 1 MW. Dies summiert sich auf ca. 650 MW installierte Leistung im ganzen Land. Ein Nachteil bei Kleinanlagen ist die alte Anlagenausstattung und die nicht vorhandenen ökonomischen Ziele. (Ammermann Kathrin, 2011, Folie 3)

Wasserkraftanlagentypen

Wasserkraftanlagen müssen als Ganzes betrachtet werden. Die bedeutet von ihrer Stauwurzel ab bis hin zur unterwasserseitigen Zusammenmündung des Triebwassers mit dem eigentlichen Gewässer. Bezüglich dem EEG sind zwei Kraftwerkstypen zu unterscheiden: die Ausleitungs- und Flusskraftwerke. Im Vergleich zu Speicherkraftwerken werden nur geringe Wassermengen gespeichert so dass der ankommende Abfluss unmittelbar abgearbeitet werden kann.

Ausleitungskraftwerke

Dieser Kraftwerkstyp kommt am häufigsten vor. Dabei wird ein das Flusswasser nach dem Aufstauen über einen künstlich angelegten Kanal zum Maschinenhaus geleitet.

Flusskraftwerk

Bei diesem Kraftwerkstyp liegen das Maschinenhaus und das Wehr auf einer gemeinsamen Achse. Dem Maschinenhaus wird das aufgestaute Wasser direkt zugeleitet und anschließend wieder in das Fließgewässer zurückgegeben, wobei es sich erst an den Flusslauf anpassen muss (Meyr Christoph, November 2011, Seite 27 ff.).

Umweltgutachten gemäß §23 EEG 2009

Um eine Erhöhung der Vergütung zu erzielen, muss nachweislich ein guter ökologischer Zustand oder ein wesentlich verbesserter Zustand gegenüber davor erreicht werden. Dafür wird ein Umweltgutachter herangezogen. Folgende Kriterien, die ausschlaggebend für die Ökologie des Gewässers sind, werden dabei untersucht (Flussgebietsgemeinschaft Weser, letzter Zugriff: 02.12.2015, Poster):

- Verbesserung der Stauraumbewirtschaftung
- Verbesserung der biologischen Durchgängigkeit
- Verbesserung bei dem Mindestwasserabfluss
- Verbesserung bei der Feststoffbewirtschaftung

- Verbesserung bei der Uferstruktur

Zu all den oben genannten Punkten können Anlagenbetreiber Einfluss nehmen.

Allgemeines zum §23 EEG 2009

Der § 23 des Erneuerbaren Energien Gesetzes 2009 regelt die Stromvergütung für Wasserkraftwerke. Es wird unterschieden zwischen Vergütung für Neuanlagen und Bestandsanlagen, die auch sanierte Anlagen beinhalten. Der Vergütungssatz richtet sich nach der elektrischen Leistung des Kraftwerks. Umso größer die Anlage gemessen an ihren kWh ist, desto geringer wird die Vergütung. Speziell bei Anlagen mit 5 MW ändert sich die Vergütung im Laufe der Jahre (Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien, 2009; Ausfertigungsdatum 25.10.2008, Seite 12).

Verbesserung des ökologischen des ökologischen Potentials des Mühl-Hettenbachkanals in Augsburg

Das Projektmanagement wurde durch das Ingenieurbüro – Deubler für den Auftraggeber Mühl-Hettenbach Genossenschaft durchgeführt. Das Ziel ist der Umbau eines Kanalabschnitts in ein naturnahes Fließgewässer. Im vorliegenden Projekt kann dies durch Maßnahmen im Bereich der Stauraumbewirtschaftung des Kanals erreicht werden. Ziel ist die Verbesserung der Hydromorphologie im Bereich der Stauhaltung und die Verbindung von Kanal und Flachwasserzonen. Durch konkrete Maßnahmen der Renaturierung und Schaffung neuer Lebensräume werden deutliche Habitat Verbesserungen für Flora und Fauna erreicht. Eine Fischbewirtschaftung ist auf Grund der nicht herstellbaren Durchgängigkeit des Kanals nicht möglich. Gerade im stark versiegelten Innenstadtbereich haben diese kleinräumigen Lebensraumstrukturen, die Kleinbiotope, eine sehr wichtige Funktion als Lebensräume. Für ihre Funktionsfähigkeit ist jedoch eine räumliche Nähe von mehreren Kleinbiotopen von Bedeutung. Ein Wasserlauf wie der Mühl-Hettenbachkanal im innenstädtischen Bereich bietet außerdem die Möglichkeit die Lebensqualität der Bevölkerung zu verbessern. Deshalb werden durch die Maßnahmen, die Sicht der Einwohner durch eine verbesserte Zugänglichkeit zum Kanal und einer Informationstafel zur Besonderheit der neu gestalteten Biotope positiv beeinflusst (Deubler Hubert, 2009, Seite 2).

Leitarten

Die ökologische Kanalsanierung erzielt eine Verbesserung des Lebensraums folgender Leitarten:

Libellen: an offenen Gräben durch ausreichendem Bewuchs. Da die Libellenlarven sehr empfindlich gegen Austrocknung reagieren, bietet die Flachwasserzone des Kanals, durch seinen beständig gleich bleibenden Wasserspiegel, den Libellen ein geeignetes Brutbiotop an.

Zauneidechse: durch Trockenmauern.

Ringelnatter und Amphibien: im Bereich der Beruhigungszonen die durch Felsbrocken ermöglicht werden.

Förderung der *Schwalbenpopulation:* durch Lehm zur Auslegung des Wassergrabens der den Schwalben als gutes Nistmaterial dient und das zusätzlich erhöhte Insektenaufkommen durch die Sanierung.

Einschränkende Vorgaben für die Ausgestaltung der Maßnahmen zwischen Ingenieurbüro und der Stadt wurden getroffen. Die Grundwassermessstelle im südlichen Teil muss verbleiben, der Kanalquerschnitt darf nicht verändert werden und die Ver- / Entsorgungseinrichtungen der Stadt Augsburg, müssen in der Planung der Sanierungsmaßnahmen beachtet werden.

Der Kanal wird auf einer Länge von ca. 33 m um einen Meter über die gesamte Tiefe verbreitert. An den Kanalrändern werden Felsbrocken über die gesamte Höhe des Wasserkörpers aufgeschichtet. Dadurch erhält der Wasserlauf eine leichte S-Krümmung, ohne dass der Kanalquerschnitt verringert wird. Das Kanalbett wird außerdem mit Schwellsteinen über die gesamte Breite ausgelegt, wodurch eine zusätzliche Reduktion der Fließgeschwindigkeit erreicht wird. (Deubler Hubert, 2009, Seite 3 ff.)

Ausführung der Verbesserungsmaßnahmen

Bei dem Wasserkraftwerk T93 am Mühl-Hettenbachkanal hat die Stadt Augsburg als damaliger Anlagenbetreiber Teile der Oberwasserseite durch eine Sanierung und eine naturnahe Gestaltung des Uferbereichs nach ökologischen Gesichtspunkten umgestaltet. Zum Beispiel kann eine Verbreiterung und Renaturierung des Kanals auf der Höhe von angrenzenden Grundstücken schlecht realisiert werden, da dazu die Grundstücksbesitzer Teile ihres Grundstücks abgeben und eine Einverständniserklärung unterzeichnen müssten. Somit werden diese Zonen für die freiwillige ökologische Verbesserung nicht in Betracht gezogen.

Es wurden Flachwasserzonen angelegt, Bäume gefällt um einer im Zugangsbereich des Kanals ausgiebigen Flachwasserzone Platz zu schaffen und zusätzlich Feuchtbiotope durch einen Graben als Zufluss geschaffen. Ebenfalls wurden zukünftige Maßnahmen als Auflagen im Umweltgutachten vermerkt. So sollten unter anderem in den Bereichen an denen Veränderungen vorgenommen wurden Stellen geschaffen werden, an denen Mehlschwalben an Material zum Nestbau gelangen können. Ebenso gilt die Auflage Schwellen am Kanalboden mit Sand aufzufüllen. Eine schematische Skizze einer Flachwasserzone ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die Flachwasserzonen sind mit einer wechselnden Wassertiefe anzulegen. Entsprechend den vorgefundenen Untergrundbedingungen kann die Abdichtung entweder mit gestampftem Lehm oder Teichfolie erfolgen. Als Bodensubstrat sollten den geologischen Bedingungen entsprechende, rein mineralische Stoffe wie Schotter,

Kies oder Sand verwendet werden. Um keine ortsfremde Elemente einzutragen ist es deshalb sinnvoll das Material direkt aus dem benachbarten Gewässer zu gewinnen. Im Bereich der unbepflanzten Flachwasserzonen sind zusätzlich größere Steine oder Felsbrocken zur Dynamisierung der Wasserbewegung und als Ankerpunkt für Kleinlebewesen einzubringen.

Praxis ist zu beobachten dass formelle Lösungen getroffen werden, die keine wesentlichen Verbesserungen erzielen. Ein Nachweis über die ökologische Funktionsweise einer Anlage wird durch die zuständige Wasserbehörde oder durch einen Umweltgutachter erbracht. In diesem Sinne wird eine nachhaltiger ökologischer Zustand/ Potential zur Entlastung der Umwelt hergestellt.

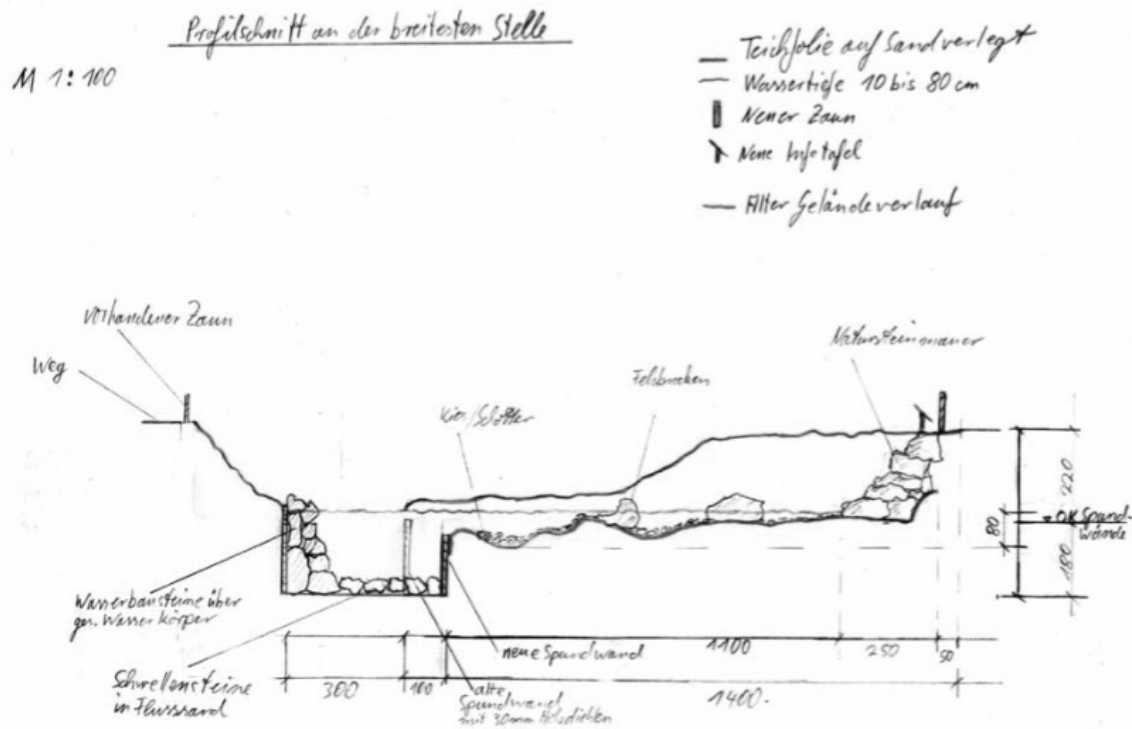


Abbildung 1: Querschnittsskizze der Kanalsanierung an der breitesten Stelle

Quelle: Deubler Hubert, 2009, Verbesserung des ökologischen Zustands/ des ökologischen Potentials des Mühl-Hettenbachkanals, Augsburg“, Ingenieurbüro Deubler, Marktschellenberg

Die Bepflanzung mit Ufer- und Wasserpflanzen unterstützt die Ansiedlung vieler Tierarten (Nistplatz, Futterquelle, Schutz vor Räufern). Hierfür ist auf einen kräftigen Bewuchs am Rande und auf ganzjährig ungestörte Bereiche unter Gehölzen zu achten.

Im Bereich der größeren Flachwasserzonen ist die Böschungsbefestigung in Form einer Trockensteinmauer aus Kalkstein mit Natursteinmaterial (Wassersteinen) auszuführen. Die Steinbrocken unterschiedlicher Größe sind terrassenförmig zu schichten, damit ein ungehinderter Aufstieg für Tiere möglich ist und sich auf den Terrassen kleine Trockenbiotope ausbilden können (Deubler Hubert, 2009, Seite 5 ff.).

Fazit

Nach dem EEG 2009 können Wasserkraftwerke mit einer Bemessungsleistung bis 500 kW ihren Stromvergütungserlös von 7,67 auf 11,67 Ct/kWh steigern. Das Gesetz basiert dabei auf Gewährung höherer Strompreise durch Erfüllung bestimmter ökologischer Bedingungen. In der

Nutzen ziehen daraus Anlagenbetreiber, Städte und ihre Einwohner. Besonders in unserer heutigen Welt der Globalisierung ist darauf zu achten, dass man die Umwelt gemeinsam schützt und sich auch nicht scheut vor dem ersten Schritt auch falls sich dadurch keine wirtschaftlichen Vorteile für gewisse Parteien ergeben. Anhand des konkreten Beispiels am Mühl-Hettenbach wurde dem Betreiber eine höhere Vergütung des Stromes durch die Umweltbehörde EVIT GmbH gewährleistet. Vor allem bei kleinen Wasserkraftanlagen ist es sinnvoll sich mit dem Thema der ökologischen Verbesserungsmaßnahmen auseinander zu setzen.

Quellen

Ammermann Kathrin, 2011, Ökologische Verbesserungen bei der Modernisierung von Wasserkraftanlagen, Bundesamt für Naturschutz, URL: https://www.clearingstelle-eeg.de/files/01-Vortrag_Ammermann.pdf (Stand: 02.12.2015)

Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) vom 20.12.1976

Deubler Hubert, 2009, Verbesserung des ökologischen Zustands/ des ökologischen Potentials des Mühl-Hettenbachkanals, Augsburg, Ingenieurbüro Deubler, Marktschellenberg.

Flussgebietsgemeinschaft Weser, Erneuerbare Energien Gesetz - Vergütung von Strom aus Wasserkraft, Online im Internet unter URL: http://www.fgg-weser.de/Download-Dateien/poster_eeg_1_strom.pdf (Stand: 02.12.2015)

Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) 2009; Ausfertigungsdatum 25.10.2008

Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG); Ausfertigungsdatum: 31.07.2009

Meyr Christoph, Pfeifer Hansjörg, Schnell Johannes, Hanfland Sebastian, November 2011. Ökologische Verbesserungsmaßnahmen an Wasserkraftanlagen gemäß EEG, Landesfischereiverband Bayern e.V., EVIT GmbH Ingenieurbüro Unternehmensberatung

Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, 23. Oktober 2000

Sippel, Maïke, 2015. Skript zur Vorlesung: Nachhaltigkeit im industriellen Umfeld, HTWG-Konstanz

Curriculum Vitae

Igor Rogowski

Ausbildung:

2007-2010	Abitur am Technischen Gymnasium Leutkirch im Profulfach Gestaltungs- und Medientechnik
2011-2015	Bachelor-Studium der Energiesysteme an der Hochschule Ulm
Seit 2015	Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik Hochschule Ravensburg-Weingarten

Beruflicher Werdegang:

2010	Zivildienst bei OWB Oberschwäbische Werkstätten GmbH
2011	Praktikum bei GLW GmbH in der Abteilung Werkzeugbau
2013-2015	Werkstudent bei AEROFLEX Europe GmbH im Bereich Entwicklung

Nachhaltigkeit des Wasserkonsums in Deutschland

Thomas Vögele¹

¹ HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: thomas.voegele@htwg-konstanz.de

Abstract

With 14 billion liters of mineral water in bottles consumed in Germany every year and increasing numbers of disposable PET bottles entering the market in the last years, mainly replacing reusable glass bottles, a closer look at their ecologic sustainability is necessary. Therefore, three life cycle assessments for different clients are compared to derive recommendations. In addition, the ecologic impact of drinking water as an alternative to bottled water is discussed.

Most important ecologic impacts of bottled water are found to be the consumption of fossil resources and the climate change. Returnable PET bottles show the best ecologic profile in all cases. Returnable glass bottle systems show ecologic benefits compared to systems with disposable PET bottles, which show the worst profile. As a guidance, reusable bottles with short distribution distances should be preferred. Drinking water has a much better ecologic profile and often similar quality in comparison to bottled water.

Einleitung

In Deutschland werden jährlich (Stand 2013) fast 14 Milliarden Liter in Flaschen abgepacktes Wasser konsumiert, was einem Pro-Kopf-Verbrauch von etwa 173 l entspricht (GVM, 2015, S. 29). Als Verpackung kommen heute mit 59 % meist Kunststoff-Einwegflaschen zum Einsatz, gefolgt von Glas-Mehrwegflaschen mit 22,3 % und Kunststoff-Mehrwegflaschen mit 18,3 % sowie sonstigen Verpackungen mit 0,4 % (GVM, 2015, S. 37).

Der Anteil an Kunststoff-Einwegflaschen hat in den letzten Jahren kontinuierlich auf Kosten der Glas-Mehrwegflaschen zugenommen (IFEU, 2010, S. 3). Es wird vermutet, dass dieser Trend mit dem wachsenden Geschäftsanteil der Discounter zusammenhängt. Diese setzen auf zentrale Distributionsstrukturen (fünf Großabfüller mit 16 Standorten), aufgrund derer sie sich für Einwegverpackungen entschieden haben, während im klassischen Lebensmittel- und Getränkehandel der Schwerpunkt bei Mehrwegflaschen liegt (IFEU, 2008, S. 30).

Getränkeverpackungen machen Schätzungen zufolge etwa 20 % des Gewichts aller Verpackungen aus (Europäische Kommission, 2006, S. 8). Aufgrund dieses hohen Aufkommens und oben genannten Trends lohnt sich eine genauere Betrachtung der genannten Verpackungen hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit. Der Rahmen dieser Arbeit beschränkt sich dabei auf den ökologischen Nachhaltigkeitsaspekt, indem verschiedene Ökobilanzen kritisch verglichen und darauf basierend Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Soziale oder ökonomische Aspekte werden nicht betrachtet. Als Seitenblick soll

auch die Ökobilanz von Trinkwasser aus der Wasserleitung Beachtung finden.

Vorgehensweise

Um im Rahmen dieser Arbeit eine differenzierte Betrachtung des Themas zu gewährleisten, sollen die folgenden Studien zu Mineralwasserverpackungen in Betracht gezogen werden:

- IFEU-Ökobilanz der GDB-Mehrwegflaschen im Vergleich zu PET-Einwegflaschen (2008)
- IFEU-PET-Ökobilanz für die Industrievereinigung Kunststoffverpackungen (2010)
- PricewaterhouseCoopers-Studie zu Mehrweg- und Recyclingsystemen für Getränkeverpackungen (2011)

Die beiden Studien des Instituts für Energie und Umweltforschung GmbH (IFEU) wurden für Auftraggeber mit teilweise gegensätzlichen Interessen erstellt. Während die Genossenschaft Deutscher Brunnen (GDB) Träger des Mehrwegpools der deutschen Mineralbrunnen ist und damit tendenziell zu den Mehrweg-Befürwortern zählen dürfte, hat die Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. (IK) typischerweise eher Interesse an einem verstärkten Einsatz von PET, wie er insbesondere bei PET-Einwegsystemen auftritt. Das Spektrum wird ergänzt durch die Studie der PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PwC) im Auftrag der Deutschen Umwelthilfe, die zum großen Teil auf den IFEU-Studien aufbaut und dadurch deren Einordnung erleichtern soll. Der Seitenblick auf das ökologische Profil von Trinkwasser rundet die Analyse ab und zeigt Alternativen auf.

Dieses Vorgehen gewährleistet eine Betrachtung des Themas unter verschiedenen Blickwinkeln und soll durch kritischen Vergleich und Zusammenfassung der Studien zu einem aussagekräftigen Ergebnis führen. Im Rahmen dieser Arbeit können jedoch lediglich die wichtigsten Annahmen, Rahmenbedingungen und Kernaussagen der Studien behandelt werden.

Vergleich der Studien

IFEU-Ökobilanz der GDB-Mehrwegflaschen im Vergleich zu PET-Einwegflaschen

Auftraggeber und Ziele

Die vom IFEU durchgeführte Studie wurde von der GDB beauftragt, um den Mehrwegpool der deutschen Mineralbrunnen mit tendenziell eher regionalen Distributionsstrukturen mit dem PET-Einwegsystem zu vergleichen, bei dem zentralisierte Distributionsstrukturen vorherr-

schen. Verglichen wurden die 0,7-l-Glas- und die 1,0-l-PET-Mehrwegflaschen der GDB mit der 1,0-l-PET-Stoffkreislaufflasche (PET-SK, Rücktransport in Kästen zum Abfüller mit anschließender Verwertung) und der 1,5-l-PET-Einwegflasche (Rücktransport unterschiedlicher Flaschen über das bundesweit einheitliche Rücknahmesystem). Als funktionelle Einheit wurde dabei die Bereitstellung von 1000 l Füllgut im Handel betrachtet (IFEU, 2008, S. 12–14). Betrachtet wurde der gesamte Lebenszyklus der Verpackungssysteme von der Extraktion der Rohstoffe (inkl. Transportprozessen und erforderlichen Umverpackungen) bis zur Entsorgung, unabhängig von der Herstellung des jeweiligen Füllguts (IFEU, 2008, S. 14–15).

Wichtigste Annahmen

Rezyklat-Einsatz: 50% bei PET-Stoffkreislaufflasche (basierend auf Mengenstromnachweis), 0% bei PET-Mehrweg- und PET-Einweg-Flasche (IFEU, 2008, S. 31)
 Umlaufzahl: Glas-Mehrweg-Flaschen 40 Umläufe; PET-Mehrwegflaschen 15 Umläufe (basierend auf Daten der GDB); PET-Mehrweg-Kasten und PET-Stoffkreislauf-Kasten 100 Umläufen, Glas-Mehrweg-Kästen 150 Umläufe (IFEU, 2008, S. 31)
 Transportentfernungen: Mehrwegsysteme knapp 260 km, PET-EW 480 km (IFEU, 2008, S. 46–47)
 Erfassungsquoten: Mehrwegsysteme 99%, PET-SK Flaschen 97% (basierend auf Mengenstromnachweisen), PET-Einwegflaschen 90% angenommen (keine Nachweise verfügbar) (IFEU, 2008, S. 33)

Ergebnisse

Im Rahmen der Studie wurde eine Normierung der Umweltwirkungen durchgeführt, d.h. die Umweltauswirkungen des betrachteten Systems wurden auf ihren Beitrag zu den durchschnittlich von einem Einwohner Deutschlands verursachten bezogen. Auf diese Weise ermittelte, hohe spezifische Beiträge weisen auf ein besonders hohes Umweltverbesserungspotential bei Reduktion des jeweiligen Indikators hin. Sie treten bei den Indikatoren für die Wirkungskategorien fossiler Ressourcenverbrauch, Klimawandel, Versauerung und terrestrische Eutrophierung auf. Bei PET-Einwegsystemen ist zusätzlich der Beitrag zum Sommersmog relevant (IFEU, 2008, S. 93).

Die wesentlichen Untersuchungsergebnisse in diesen Wirkungskategorien sind vergleichend in

Tabelle 1 dargestellt. Wie zu sehen ist, liegen insbesondere in der Kategorie Klimawandel, der eine große ökologische Bedeutung zugeschrieben wird, die Indikatorwerte der PET-Stoffkreislauf- bzw. PET-Einwegsysteme um 50 % bzw. 66 % deutlich über denen des Glas-Mehrwegsystems. Die PET-Mehrwegflasche liegt jedoch 22 % darunter (IFEU, 2008, S. 100–101). Diese Tendenz zeigt sich auch bei den übrigen Indikatoren mit relevantem spezifischem Beitrag.

Tabelle 1: Indikatorwerte relativ zur Glas-Mehrwegflasche der GDB (IFEU, 2008, S. 72)

Indikator	PET-SK 1,0 l	PET-EW 1,5 l	PET-MW 1,0 l
Klimawandel	+50 %	+66 %	-22 %
Fossiler Ressourcenverbrauch	+29 %	+60 %	-3 %
Sommersmog	+132 %	+215 %	+27 %
Versauerung	+22 %	+47 %	-28 %
Terrestrische Eutrophierung	-7 %	+13 %	-47 %

Die Sensitivität der Ergebnisse auf getroffene Annahmen wurde ebenfalls geprüft. Der Einfluss einer Erhöhung der angenommenen Erfassungsquote für PET-Einwegflaschen von 90 % auf 95 % ist nicht entscheidend (IFEU, 2008, S. 102). Die Verwendung eines alternativen PET-Datensatzes führt hingegen zu Veränderungen mit Vorteilen für die PET-Einwegsysteme, die insgesamt keinen eindeutigen ökologischen Vorteil für eines der beiden Systeme mehr ableiten lassen wobei die Vorteile für die Glas-Mehrwegflasche in Kategorien besonders großer ökologischer Bedeutung bestehen bleiben (IFEU, 2008, S. 102–103). Eine Veränderung der Allokation, also der Zuordnung von Eingangs- und Ausgangsströmen zu einem von mehreren Produkten eines Prozesses führt zu wesentlichen Veränderungen im Umweltwirkungsprofil. Dies betrifft insbesondere die PET-Einwegsysteme, bei denen eine volle Allokation der Recyclinggutschriften zu deutlichen Verbesserungen führt. Die Ergebnisausrichtung bleibt jedoch unberührt (IFEU, 2008, S. 103–104).

Bei der Bewertung der Ergebnisse wird darauf hingewiesen, dass diese nur für eine definierte Distributionslogistik Gültigkeit haben und daher nur eingeschränkt auf andere Mehrweg-Systeme übertragen werden können (IFEU, 2008, S. 109). Die Verfasser der Studie kommen zu den folgenden abschließenden Aussagen:

„Die Glas-Mehrwegflasche ist der PET-Mehrwegflasche ökologisch insgesamt unterlegen, ist aber als Baustein einer regionalen Vertriebsstrategie einer stark zentralisierten und über deutlich längere Distributionskanäle verlaufenden Vermarktung von Einwegflaschen überlegen.“ (IFEU, 2008, S. 111–112).

„Das ökologisch insgesamt günstigste Verpackungssystem ist die 1,0-L-PET-Mehrwegflasche der GDB. Sie zeigt [...] deutlich und durchgängig das ökologische Umweltwirkungsprofil mit den niedrigsten potentiellen Umweltwirkungen“ (IFEU, 2008, S. 111). Als Grund wird die Mehrfachnutzung bei gleichzeitig geringem Gewicht gesehen (IFEU, 2008, S. 112).

Weiter werden „kurze[r] Vertriebswege und funktionierende[r] Flaschenpools“ als ökologisch besonders relevant gesehen und die zunehmende Erweiterung der Dis-

tributionsradien und Verwendung von PET-Einwegflaschen besonders im Discounterhandel kritisch gesehen (IFEU, 2008, S. 112).

IFEU PET-Ökobilanz 2010 für die Industrievereinigung Kunststoffverpackungen

Auftraggeber und Ziele

Die ebenfalls vom IFEU durchgeführte „Ökobilanzielle Untersuchung verschiedener Verpackungssysteme für kohlenstoffhaltige Mineralwässer und Erfrischungsgetränke sowie stille Mineralwässer“ (PET-Ökobilanz 2010) wurde im Auftrag der Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. erstellt, um die ökologischen Auswirkungen von PET-Einweg- und Mehrwegsystemen vor dem Hintergrund des technologischen Fortschritts und einer aktualisierten Datenbasis zu bewerten. Als funktionelle Einheit wurde ebenfalls die Bereitstellung von 1000 l Füllgut im Handel gewählt. Darüber hinaus wurde im Bereich der PET-Mehrwegsysteme ein Vergleich zwischen verschiedenen Individualgebinden und den GDB-Poolgebinden angestellt. Die in der Studie außerdem erarbeiteten Verbesserungspotenziale von PET-Einwegflaschen und einer optimierten Abfüllung von Mehrweggebinden sollen hier nicht weiter thematisiert werden (IFEU, 2010, S. 1–2).

Datengrundlage und Annahmen

Die zugrunde gelegte, aktualisierte Datenbasis basiert auf der Befragung von sechs großen PET-Einwegabfüllern in Deutschland, die 59 % des Marktes abdecken. Dabei wurde im Vergleich zur Ökobilanz im Auftrag der GDB 2008 ein um 38 % geringeres Verpackungsgewicht und um 14 % geringere Distributionsentfernungen bestimmt. Der Rezyklateinsatz wurde mit 25 % statt 0 % höher angesetzt. Darüber hinaus wurde ein neues Umweltprofil für die Herstellung von PET (PlasticsEurope) zugrunde gelegt (IFEU, 2010, S. 2).

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die wichtigsten Ergebnisse sind zusammenfassend in Tabelle 2 dargestellt. Aufgrund der Ergebnisse kommt das IFEU zu der Aussage, dass die mit 81,3 % Marktanteil bei den kohlenstoffhaltigen Mineralwässern relevanteste 1,5-L-PET-Einwegflasche ein „ökobilanzielles Wirkungsprofil aufweist, welches keine eindeutigen Vor- oder Nachteile gegenüber der Glas-Mehrwegflasche aufweist.“ Die Wirkungsprofile der übrigen untersuchten PET-Gebinde werden als „gegenüber den jeweiligen Referenzsystemen nicht gleichwertig“ eingestuft (IFEU, 2010, S. 6). Hierbei ist anzumerken, dass diese Formulierungen euphemistisch erscheinen, wenn man bedenkt, dass nur die im Vergleich mit der 0,7-L-Glas-Mehrwegflasche sehr viel größere 1,5-L-PET-Einwegflasche (bei den CO₂-haltigen Wässern) ein annähernd äquivalentes Wirkungsprofil aufweist und die übrigen PET-Einweggebinde mit ein bis zwei Ausnahmen in allen Wirkungskategorien, insbesondere jenen höherer ökologischer

Bedeutung (Klimawandel und Ressourcenverbrauch) schlechter abschneiden.

Bezüglich der PET-Mehrwegflasche werden die guten Ergebnisse der GDB-Ökobilanz 2008 bestätigt. Die Studie weist allerdings darauf hin, dass die Ergebnisse nur für die untersuchte GDB-PET-Mehrwegflasche Gültigkeit haben und nicht ohne weiteres auf andere Poolssysteme oder individualisierte Mehrwegsysteme übertragen werden können (IFEU, 2010, S. 6).

Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse der IFEU-PET-Ökobilanz 2010 (IFEU, 2010, S. 5)

Untersuchungsgruppe	1,5-l-PET-EW vs. 0,7-l-Glas-MW		0,5-l-PET-EW vs. 0,5-l-Glas-MW	
	1,5-l-PET-EW vs. 0,75-l-Glas-MW	0,5-l-PET-EW vs. 0,5-l-Glas-MW		
Markt	CO ₂ -haltige Getränke		stilles Mineralwasser	
Marktanteil	81,3 %	8,5 %	9,9 %	0,4 %
Klimawandel	=	+	+	+
Fossiler Ressourcenverbrauch	+	+	+	+
Sommersmog	+	+	+	+
Versauerung	-	+	=	+
Terrestrische Eutrophierung	-	=	-	=

+ höher = gleich - niedriger

PwC-Studie zu Mehrweg- und Recyclingsystemen für Getränkeverpackungen

Auftraggeber und Ziele

Die für das Umweltbundesamt von der PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (PwC) durchgeführte Studie ist die aktuellste der betrachteten Studien und geht in ihrem Ansatz weit über die beiden zuvor betrachteten hinaus. Zum einen ist neben Ein- und Mehrwegsystemen auch die Entsorgung über das Duale System Teil der Studie, zum anderen werden neben der reinen Ökobilanzierung auch die sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeitsaspekte betrachtet. Dabei handelt es sich weitestgehend um Sekundärforschung, die unter anderem auch auf die Daten der zuvor betrachteten Ökobilanzen aufbaut. Im Kontext dieser Arbeit ist sie insbesondere aufgrund ihrer kritischen Anmerkungen zur PET-Ökobilanz 2010 des IFEU von Interesse, die dessen Einordnung erleichtern und darüber hinaus Optimierungspotenziale sowohl für die Ökobilanzierung als auch für die Gestaltung von Getränkeverpackungssystemen aufzeigen.

Kritik an der IFEU-PET-Ökobilanz 2010

Kritisiert wird der Vergleich kleinerer Mehrweg-Füllvolumina (0,7 l) mit größeren Einweggebinden (1,5 l), da größere Volumina in der Regel unabhängig vom Verpa-

ckungssystem eine höhere Effizienz aufweisen (PwC, 2011, S. 134). Der Vergleich des Einwegsystems mit seinen modernen Abfüllanlagen mit dem GDB-Mehrwegsystem, das aufgrund seines längeren Bestehens über deutlich ältere, weniger effiziente Abfüllanlagen verfügt sei nicht zeitgemäß, da moderne Mehrweg-Abfüllanlagen weniger Wasser und Energie benötigen (PwC, 2011, S. 134).

Nach Berechnungen des Fraunhofer IML betrage die Umlaufzahl des 59 statt der angenommenen 40 Umläufe (PwC, 2011, S. 134). Gemäß Erhebungen der Deutsche Umwelthilfe e. V. liege das Gewicht von Einweg-Markenflaschen um bis zu 33 % über dem vom IFEU angenommenen. Als Grund wird die Wahl der untersuchten Abfüller angeführt, die überwiegend im unteren Preissegment für Discounter abfüllen. Die nicht untersuchten PET-Flaschengrößen von 1,25 l und 1 l seien nach Untersuchungen der DUH schwerer als die untersuchte 1,5-l-Flasche. Für künftige Untersuchungen wird daher eine statistisch fundierte Erfassung von Flaschengewichten empfohlen (PwC, 2011, S. 136).

Distributionsentfernungen für Einwegsysteme seien mit nur 212 km um 19 % kürzer als die der Mehrweg-Flaschen aus Glas und PET angenommen worden, obwohl von gleichen Vertriebswegen ausgegangen werde. Darüber hinaus sei der nicht berücksichtigte Import von Wässern relevant, da beispielsweise bei den stillen Wässern die drei französischen Brunnen Volvic, Vittel und Evian einen Marktanteil von 90 % besäßen, in der Untersuchung jedoch nur nationale Abfüller berücksichtigt worden seien. (PwC, 2011, S. 136–137)

Der angenommene Rezyklat-Anteil von 25 % sei nicht verlässlich, da die aufwändige Aufbereitung auf Lebensmittelqualität von stark schwankenden Rohstoffpreisen abhängen. Hier sei eine transparente, herstellerübergreifende Dokumentation erforderlich (PwC, 2011, S. 137).

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass die PET-Ökobilanz 2010 des IFEU an verschiedenen Punkten verbesserungswürdig ist, die bei genauerer Betrachtung zu einer Verschiebung der Ergebnisse zugunsten der Mehrwegsysteme führen.

Fazit der PwC-Studie

Die Studie kommt zu dem abschließenden Fazit: „Mehrweggetränkeverpackungen sind in ökologischer Hinsicht Einwegverpackungen überlegen, solange sie nicht über sehr lange Transportentfernungen distribuiert werden. Durch die vielfache Wiederverwendung werden grundsätzlich weniger Ressourcen verbraucht und weniger klimaschädliche Treibhausgase produziert als bei Einweggetränkeverpackungen, die nur einmal befüllt werden.“ (PwC, 2011, S. III) Die ökologische Vorteilhaftigkeit von Mehrwegsystemen steige mit der Nutzung einheitlicher Flaschenpools und verringere sich durch

Individualflaschen, die eine aufwändigere Logistik erforderlich machen (PwC, 2011, S. III).

Jedoch sind die Autoren der Meinung, dass „eine aktuelle, möglichst vollständige Untersuchung verschiedener Verpackungssysteme für verschiedene Getränkesegmente von neutraler Seite“ erforderlich ist, da die Ergebnisse der Studien stark von Rahmenbedingungen und Annahmen abhängen (PwC, 2011, S. 207).

Trinkwasserkonsum als mögliche Alternative

Trotz der nur bedingten Vergleichbarkeit lohnt sich ein Seitenblick auf den Konsum von Trinkwasser. Dieser kann laut Stiftung Warentest in Deutschland aufgrund der hohen Qualität und strenger Kontrollen eine Alternative zum abgefüllten Mineralwasser sein (Stiftung Warentest, 2014). Der oft als Grund für den Mineralwasserkonsum angeführte höhere Mineraliengehalt erweist sich als höchstens eingeschränkt belastbar. So erwiesen sich zwei Drittel der Mineralwässer in einer Untersuchung als mineralstoffarm (Stiftung Warentest, 2014). Die Mineraliengehalte von Trinkwasser liegen durchaus auf Augenhöhe mit diesen Mineralwässern. Ihr Gehalt variiert jedoch regional und kann beim örtlichen Versorger in Erfahrung gebracht werden kann. Wird die Qualität nicht durch das häusliche Wassernetz beeinträchtigt, kann Trinkwasser qualitativ also oft mit Mineralwasser aus Flaschen mithalten.

Eine Studie im Auftrag des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfachs (SVGW) zur Ökobilanz von Trinkwasser kommt zu dem Schluss, dass die Umweltbelastungen von ungekühltem, stillem Wasser bei Mineralwasser 450-mal höher liegen als bei Trinkwasser. Wird das Trinkwasser mittels Sodagerät aufgesprudelt, sind die Umweltauswirkungen im Vergleich zu sprudelndem Mineralwasser aus der PET-Einwegflasche immer noch 60 mal geringer (bei einer Nutzung über 5 Jahre mit täglich 2 l) (Jungbluth et al., 2014).

Trinkwasser ist aus ökologischer Sicht also eindeutig dem in Flaschen abgefüllten Wasser gegenüber zu bevorzugen. In Sachen Qualität kann es in Deutschland oft mit Mineralwässern, insbesondere den günstigeren, mithalten und stellt damit eine ernstzunehmende Alternative dar.

Fazit und Empfehlungen

Wichtigste umweltrelevante Wirkungen von Getränkeverpackungen ergeben sich in den ökologisch besonders bedeutsamen Bereichen fossiler Ressourcenverbrauch und Klimawandel. Außerdem sind relevante Beiträge zu Versauerung, terrestrischer Eutrophierung und Sommersmog (im Falle von PET) zu verzeichnen. Das Abschneiden der verschiedenen Systeme hängt maßgeblich von sinnvoll gewählten Rahmenbedingungen und einer verlässlichen Datenbasis ab.

Hohen Einfluss auf das Abschneiden eines Verpackungssystems hat neben der eigentlichen Verpackung das zuge-

hörige Distributionssystem. Weiterer wichtiger Faktor ist das Gewicht der Verpackung, sowie deren Stabilität (hohe Umlaufzahlen). Als besonders relevanter Faktor tritt bei PET-Einwegsystemen die Herstellung des PET auf (Recyklateinsatz, Gutschriften-Allokation, technischer Stand), da diese für jede Bereitstellung des Füllguts im Handel erneut aufgebracht werden muss.

Mehrwegsysteme sind Einwegsystemen in der Regel ökologisch überlegen. Insbesondere gilt dies für die PET-Mehrwegflasche, die die Vorteile des geringen Gewichts mit der Mehrfachverwendung kombiniert. Diese erweisen sich als besonders vorteilhaft, wenn möglichst viele Abfüller ein einheitliches Pool-System (wie das der GDB) benutzen. Mehrwegsysteme mit Glasflaschen sind, den Einsatz in regionalen Distributionssystemen vorausgesetzt, dem PET-Einwegsystem gegenüber zu bevorzugen.

PET-Einwegsysteme schneiden aus ökologischer Sicht meist am schlechtesten ab, was zum einen im hohen Ressourcenverbrauch bei der für jeden Bereitstellungsprozess erforderlichen Flaschenherstellung und zum anderen in den meist mit dieser Verpackungsform einhergehenden großen Distributionsentfernungen begründet ist.

Als Empfehlung kann aus obiger Zusammenfassung abgeleitet werden, dass bei der Wahl des Wassers Mehrwegverpackungen in der Regel zu bevorzugen sind. Es sollte aber immer die Kombination aus ökologisch möglichst vorteilhafter Verpackung und möglichst kurzem Distributionsweg betrachtet werden. Vor diesem Hintergrund ist zu hinterfragen, ob insbesondere Importe mit besonders langen Distributionswegen, nicht durch gleichwertige, regionale Wässer ersetzbar sind.

Der Seitenblick auf das Trinkwasser aus der Leitung zeigt eine deutlich ökologischere Alternative, die oft auch in Sachen Qualität auf Augenhöhe mit Mineralwasser ist und im Rahmen einer ökologisch nachhaltigen Lebensweise in Betracht gezogen werden sollte.

Literaturverzeichnis

Europäische Kommission (2006): Bericht der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament über die Umsetzung der Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle und ihre Auswirkungen auf die Umwelt sowie auf das Funktionieren des Binnenmarkts. Online verfügbar unter

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0767:FIN:DE:PDF>, zuletzt geprüft am 13.11.2015.

GVM, Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (2015): Abfüllung von Getränken in Mehrweg- und ökologisch vorteilhaften Einwegverpackungen in Deutschland für die Jahre 2012 und 2013. Unter Mitarbeit von Jürgen Heinisch. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (TEXTE, 66/2014). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_66_2014_abfuellung_von_getraenken.pdf, zuletzt geprüft am 01.12.2015.

IFEU, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (2008): Ökobilanz der Glas- und PET-Mehrwegflaschen der GDB im Vergleich zu PET-Einwegflaschen. Im Auftrag der Genossenschaft Deutscher Brunnen eG.

IFEU, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (2010): Ökobilanzielle Untersuchung verschiedener Verpackungssysteme für kohlenensäurehaltige Mineralwässer und Erfrischungsgetränke sowie stille Mineralwässer.

Jungbluth, Niels; König, Alex; Keller, Regula (2014): Ökobilanz Trinkwasser: Analyse und Vergleich mit Mineralwasser sowie anderen Getränken. ESU-services im Auftrag des Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfachs SVGW.

PwC, PricewaterhouseCoopers AG (2011): Mehrweg- und Recyclingsysteme für ausgewählte Getränkeverpackungen aus Nachhaltigkeitssicht. Eine Analyse der ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen sowie Lösungsansätze zur Weiterentwicklung von Mehrweg- und Recyclingsystemen.

Stiftung Warentest (2014): Leitung oder Flasche. In: *test* (9/2014), S. 28–29.

Curriculum Vitae

Thomas Vögele

Ausbildung:

- | | |
|-----------|---|
| 2010 | Abitur am Kreisgymnasium Riedlingen |
| 2010-2011 | Zivildienst |
| 2011-2015 | Bachelor-Studium Verfahrens- und Umwelttechnik an der Hochschule Konstanz |
| Seit 2015 | Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik Hochschule Konstanz |

Beruflicher Werdegang:

- | | |
|-----------|--|
| 2013-2014 | Praxissemester bei der Bühler AG, Uzwil |
| 2014-2015 | Bachelorand bei der Sulzer Chemtech AG, Winterthur |

Nachhaltigkeit in der pharmazeutischen Industrie

Jana Mahlke¹, Judith Löbert²

¹ HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: jana.mahlke@htwg-konstanz.de

² HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: judith.loebert@htwg-konstanz.de

Abstract

The objective of this paper is the comparison of the sustainability concepts of three different pharmaceutical enterprises, in each case one location. The companies are Novartis Pharma AG in Basel, Switzerland, Sanofi-Aventis Deutschland GmbH in Frankfurt, Germany, and Pfizer Corporation Austria GmbH in Vienna, Austria. For all three companies it turns out that the main efforts concern the reduction of CO₂-Emission and consumption of electricity. A high priority is also given to decrease water and raw material consumption as well as amount of waste and effluents.

The current study shows that Sanofi-Aventis Deutschland GmbH in Frankfurt is the most eco-friendly company of the three compared pharmaceutical enterprises. Pfizer Corporation Austria GmbH in Vienna is finished up second and Novartis Pharma AG in Basel has the most room for improvement concerning an environmentally friendly production. Nevertheless, it has to be pointed out that each company could campaign more for the biodegradability of new pharmaceutical products and further improvements need to be made.

Einleitung

In der heutigen Zeit spielt eine nachhaltige Produktion in allen Industriezweigen eine große Rolle. Diese hat zum Ziel, die Ressourcen zu schonen und einer weiteren Erwärmung des Klimas entgegenzuwirken. Demgegenüber stehen wirtschaftliche Interessen der Unternehmen (BMW, 2015).

Der Verband der forschenden Arzneimittelhersteller (vfa) erstellt jährlich einen Nachhaltigkeitsbericht, aus welchem hervor geht, dass die pharmazeutische Industrie und deren Firmen sich ihrer Verantwortung gegenüber dem Schutz der Umwelt und der Ressourcen bewusst ist. Schwerpunkte des nachhaltigen Handelns sind in dieser Industriesparte eine hohe Energie- und Rohstoffeffizienz, verringerte Abfall- und Abwassermengen sowie eine Senkung der Treibhausgasemissionen trotz steigender Produktionskapazitäten. Die Pharmaunternehmen müssen hohe Auflagen des Umweltrechts einhalten, aber auch Eigeninitiative in Bezug auf Umweltschutz aufweisen (vfa, 2014, 20). Neben der ökologischen Verantwortung gehört auch soziales Engagement zu einer effizienten sowie wirtschaftlichen Nachhaltigkeit in der Pharmaindustrie (vfa, 2014, 26).

In diesem wissenschaftlichen Paper sollen die Nachhaltigkeitsleistungen mehrerer Firmen der pharmazeutischen Industrie gegenübergestellt werden. Zum Vergleich werden die Firmen Novartis, Sanofi-Aventis und Pfizer herange-

zogen. Im Folgenden werden die drei Unternehmen vorgestellt und deren Nachhaltigkeitsstrategien erläutert. Anschließend werden ihre getroffenen Maßnahmen zur Schonung der Umwelt beschrieben und deren Effizienz gegeneinander abgewogen. Auch ein Ausblick bezüglich Verbesserungsmöglichkeiten der Nachhaltigkeitsstrategien der Firmen wird in diesem Paper gegeben.

Vorstellung der Firmen

Novartis

Bei der Firma Novartis handelt es sich um ein Gesundheitsunternehmen mit Hauptsitz in Basel, Schweiz. Hauptsächlich forscht Novartis im Bereich innovativer Arzneimittel, Augenheilkunde und Generika. Gegründet wurde Novartis 1996 durch die Fusion von Ciba-Geigy und Sandoz (Novartis Schweiz, 2015c). Der derzeitige Geschäftsführer ist Joseph Jimenez (Novartis Schweiz, 2015a). 2014 konnte Novartis einen Umsatz von 53 Milliarden Franken erreichen. Insgesamt sind über 130.000 Mitarbeiter in ca. 140 Ländern bei Novartis angestellt. In der Schweiz beschäftigt die sog. Novartis Pharma AG zurzeit 13.000 Mitarbeiter, welche auf die Standorte Basel, Stein, Freiburg, Schaffhausen, Schlieren, Rotkreuz, Genf und Locarno verteilt sind (Novartis Schweiz, 2015b). In diesem Bericht wird hauptsächlich auf den Standort Basel eingegangen. Dort arbeiten ca. 10.952 Wissenschaftler, Ärzte und Experten (Novartis Pharma AG, 2015).

Sanofi

Sanofi ist das viertgrößte Pharmaunternehmen weltweit mit Hauptsitz in Paris, Frankreich. Schwerpunktmäßig forscht Sanofi an Lösungen für Diabetes, Impfstoffen sowie innovativen Medikamenten. Im Jahr 2004 entstand die Firma Sanofi, eine Aktiengesellschaft nach französischem Recht, hervorgegangen aus der Übernahme von Aventis durch Sanofi-Synthelabo. Insgesamt unterhält Sanofi 110.000 Mitarbeiter in 100 Ländern. Der weltweite Umsatz von Sanofi betrug im Jahr 2014 33,8 Milliarden Euro. Die Firma wird von Serge Weinberg (Chairman of the Board of Directors) und Olivier Brandicourt (Chief Executive Officer) geleitet. Zum Vergleich der Nachhaltigkeit wurde die sog. Sanofi-Aventis Deutschland GmbH mit Sitz im Industriepark Höchst in Frankfurt herangezogen. Weitere Standorte der Sanofi Gruppe in Deutschland sind Leimen, Berlin und Garching (Sanofi, 2015). Die Beschäftigtenzahl insgesamt von Sanofi in Deutschland beträgt 8500 Mitarbeiter (Stand Dezember 2014). Davon fallen 7200 Arbeitnehmer auf den Standort Frankfurt. Im Jahr 2014 verzeichnete Sanofi Deutschland einen Umsatz von 6 Milliarden Euro (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 16-17).

Pfizer

Die Firma Pfizer gehört zu den führenden Arzneimittelherstellern der Welt. Der Fokus ihrer Forschung und Entwicklung liegt u. a. in den Therapiegebieten Entzündungskrankheiten, Krebs, Schmerz und Impfstoffen. Der Konzern wurde 1849 von Charles Pfizer und Charles Erhart in New York, USA, gegründet. Der Vorsitzende der Geschäftsleitung ist Ian C. Read. Mehr als 80.000 Beschäftigte sind bei Pfizer weltweit tätig. Die Firma erbrachte im Jahr 2014 einen Umsatz von 49,6 Milliarden US-Dollar (Pfizer, 2015b). Das Unternehmen ist in mehr als 80 Ländern vertreten. Für das vorliegende Paper wurde die Pfizer Corporation Austria GmbH näher betrachtet, dessen Geschäftsführer Robin Rumler ist. Der Standort liegt in Wien, an welchem ca. 250 Mitarbeiter angestellt sind. Dort wurde im Jahr 2014 ein Umsatz von 200 Millionen Euro erwirtschaftet (Pfizer, 2015a).

Nachhaltigkeitsstrategien

Novartis Pharma AG

Die Novartis AG wurde bereits früh auf das Thema Umweltschutz aufmerksam. 1986 ereignete sich eine Brandkatastrophe am Standort Basel in dem Gebäude „Schweizerhalle“. Danach entschlossen sich Sandoz und Ciba-Geigy, die Vorgängerfirmen von Novartis, in bessere Technik und effizientere Verfahrensabläufe zu investieren. Dieser Brand war der Auslöser dafür, dass sich die Vorläuferfirmen mit dem Thema Umwelt und den Auswirkungen ihrer eigenen industriellen Produktion auf diese, näher auseinandersetzten. Erstmals konnte Novartis bereits im Jahr 2006 eine Reduktion der Treibhausgasemission vermerken, obwohl ihre Produktion im selben Zeitraum stark anstieg. Die Verringerung der Treibhausgasemission betrug 3 % der produktions- und geschäftsbedingten Ausstöße bezogen auf den ganzen Konzern. Des Weiteren konnten insgesamt 0,8 % an Emissionen bei zugekauften Energieträgern eingespart werden. Nun gehört Novartis zu den Vorreitern in Sachen Nachhaltigkeit und Umweltschutz (Gusewski, 2008).

Da die Arzneimittelherstellung zwangsläufig an den Verbrauch von Rohstoffen, Energien und Wasser gebunden ist, sieht sich Novartis verpflichtet, einen Ausgleich zu schaffen und die Umwelt nach Möglichkeiten zu schonen. Dazu hat die Firma eine Maßregel mit dem Titel „Richtlinie für Gesundheit, Sicherheit und Umwelt – Globale Richtlinie von Novartis“ entwickelt, welche im März 2014 in Kraft getreten ist. Mittels dieser Richtlinie möchte die Firma Risiken in wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Bereichen minimieren. In den Werken am Standort Basel gilt die Richtlinie sowohl in Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen, Produktionsstätten, Gebäuden mit Vertrieb der pharmazeutischen Produkte und administrativen Tätigkeiten. Die Richtlinie zählt zu dem Grundelement der Nachhaltigkeitsstrategie von Novartis (Novartis Pharma AG, 2015, 2). Inhalte dieser sind neben ihrem Geltungsbereich sowie ihrer Umsetzung auch Grundsätze und

Regeln innerhalb der Firma Novartis. Diese sind Vorschriften bezüglich eines sparsameren Umgangs mit Energien, einer Senkung der Treibhausgasemissionen, des Recyclings bzw. der Minimierung von Abfällen sowie der Einsparung von Wasser (Novartis AG, 2014, 4).

Zur Kompensation der entstehenden Treibhausgasemissionen realisierte Novartis mehrere Aufforstungsprojekte in Argentinien, Mali, Kolumbien und China. Beispielsweise wurden in Argentinien mehr als drei Millionen Bäume gepflanzt. Mittels dieser Aufforstung sollten 75 % der einheimischen Baumarten erhalten bleiben und nachhaltige Holzprodukte hergestellt werden können (Novartis AG, 2015). Durch die Projekte in Mali und Argentinien wurden bis 2013 über 96.000 Tonnen CO₂ kompensiert, welche dem Unternehmen sog. Emissionszertifikate verschaffte (Novartis International AG, 2013, 70).

Die Novartis Pharma AG veröffentlicht jedes Jahr einen Nachhaltigkeitsbericht über den Standort Basel. Ein Blick auf die CO₂-Emissionen zeigt, dass sich auch dort eine Reduzierung sichtbar macht. Zwischen 2011 und 2014 konnte jährlich eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes um 2900 Tonnen in den Werken Basel verzeichnet werden. Somit konnten in diesem Zeitraum 11.500 Tonnen CO₂ weniger an die Umwelt abgegeben werden. Im Jahr 2014 trugen vor allem milde klimatischen Bedingungen zu den beschriebenen Entwicklungen bei (Novartis Pharma AG, 2014, 12). Ein weiterer Grund dieser Reduzierung war ein neuer Dampfliefervertrag mit der Firma IWB (Novartis Pharma AG, 2013, 14).

Ein weiterer Vorteil dieses Vertrages war eine Energiereduzierung von 2600 MWh pro Jahr im Werk St. Johann. Der Rückgang von weiteren 2000 MWh konnte durch andere Projekte realisiert werden. Wird der Zeitraum 2011 bis 2014 insgesamt betrachtet, ergibt sich eine Verringerung des Energieverbrauchs um 155 TJ. Durchschnittlich wurden somit in den vier Jahren 10 GWh an Energie eingespart. Außerdem wirkte sich eine verringerte Produktion am Standort Basel positiv sowohl auf die Energiereduzierung als auch auf den CO₂-Ausstoß aus (Novartis Pharma AG, 2014, 14).

Der Standort Basel weist zudem kontaminierte Bodenflächen auf, welche im Jahr 2014 um ca. 4 % reduziert werden konnten. Grund für die Verminderung der Kontamination ist die Sanierung von 5000 m² Bodenfläche, welche als belastet klassifiziert war (Novartis Pharma AG, 2015, 12). Damit soll erreicht werden, dass das Werk St. Johann in Basel aus dem Kataster der belasteten Standorte ausgetragen wird. Dort wird es gemäß der Altlastenverordnung aufgeführt (Novartis Pharma AG, 14).

Tabelle 1: Numerische Fakten der Novartis Pharma AG in Basel

Bereich	Betrag 2011	Betrag 2014
Mitarbeiter	9750	10.952
Umsatz	Not available	700 Mio. CHF = 644 Mio. EUR
Energieverbrauch	ca. 1500 TJ = 0,42 Mio. MWh	ca. 1300 TJ = 0,36 Mio. MWh
Wasserverbrauch	ca. 21 Mio. m ³	ca. 17 Mio. m ³
CO ₂ -Emission	ca. 75.000 t	ca. 75.000 t
Abluft-Emissionen	ca. 30 t	ca. 20 t
Abfall	ca. 70.000 t	ca. 50.000 t

Quelle: Novartis Pharma AG, 2015, 14-15.

Sanofi-Aventis Deutschland GmbH

Die Sanofi-Aventis Deutschland GmbH untergliedert ihren Verantwortungsbereich in die Felder Patient, Ethik, Mensch und Planet. Dabei steht der Patient mit seinen Bedürfnissen und den daraus resultierenden medizinischen Anforderungen im Mittelpunkt jeglichen unternehmerischen Handelns der GmbH. Damit einher geht die soziale und ökologische Verantwortung des Unternehmens, die die Chance auf ein nachhaltiges Wachstum gewährleisten soll (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 11). In diese Verantwortung bezieht Sanofi sowohl Lieferanten als auch Auftragnehmer mit ein und möchte dabei als Vorbild für Zulieferer, Kunden und Partnerunternehmen dienen (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 32).

Sanofi ist sich seiner Verantwortung gegenüber den natürlichen Ressourcen bewusst, denn sie liefern die Grundsubstanzen für innovative Medikamente zur Bekämpfung von Krankheiten. Aus diesem Grund besteht ein großes Interesse des Unternehmens darin, die Ökosysteme sowie natürlichen Lebensräume und damit den Artenreichtum auf der Erde zu erhalten (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 86).

Zur Verringerung der Auswirkung ihrer Geschäftsaktivitäten und Produkte auf die Umwelt, hat Sanofi ihre Nachhaltigkeitsleistungen in folgende drei Punkte eingeteilt (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 86):

1. „Reduktion des Umwelteinflusses von Arzneimitteln“
2. „Ressourcenmanagement“
3. „Verbesserung der Klimabilanz“

1. Reduktion des Umwelteinflusses von Arzneimitteln

Durch die Herstellung und Nutzung von Arzneimitteln sowie deren einhergehende Akkumulation in der Umwelt entstehen mögliche Langzeiteffekte, welche von Sanofi erforscht werden. Dabei steht im Vordergrund, den Eintrag von Arzneimitteln in die Umwelt zu minimieren (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 86).

Als Maßnahme versucht das Unternehmen seinen Wasserverbrauch zu reduzieren. Zwischen den Jahren 2010 und 2014 ist dies um 21 % gelungen. Des Weiteren beabsichtigt Sanofi, die über das Abwasser ihrer chemischen Produktionsanlage emittierten Mikroverunreinigungen durch die Installation einer Extraktionsstufe zu verringern (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 86).

2. Ressourcenmanagement

Mit Hilfe des Ressourcenmanagements verfolgt Sanofi eine ressourcenschonende Produktion, bei der Energie und Material effizient eingesetzt werden sollen (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 86).

Die technische Umsetzung erfolgte im Jahr 2014 beispielsweise über eine Filtrationsanlage für Mikroverunreinigungen in der chemischen Produktion. Zudem möchte Sanofi seinen Wasserbedarf stetig verringern und sucht sowie nutzt hierzu Möglichkeiten. Gleichzeitig wird unvermeidbares Abwasser am Standort gereinigt (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 86).

Maßnahmen sind hierbei zum Beispiel der Umbau von Aggregaten wie Vakuumpumpen oder anderen Verbrauchern, die in Folge der apparativen Veränderung vollentsalztes Wasser wiederverwenden können. Das stoffspezifische Abfallaufkommen wird durch die Wiederverwendung von Kunststofffrays minimiert (Reduzierung: 25 %) (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 87).

3. Verbesserung der Klimabilanz

Um seine CO₂-Emission zu verringern, beabsichtigt das Unternehmen seinen Energieeinsatz zu reduzieren und eine Treibhausgas-Bilanzierung durchzuführen (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 87).

Praktische Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele sind die Identifizierung von Energieeinsparungspotentialen über das sog. Energiemanagement nach DIN EN ISO 50001, die Verwendung von umweltfreundlich erzeugtem Strom sowie die Nutzung der Abwärme aus verschiedenen Anlagen zur Dampferzeugung. Durch die Umsetzung von Energieeffizienz-Programmen hat sich in der Zeitspanne 2013-2014 der Energieverbrauch der GmbH um mehr als 3 % vermindert. Weitere Maßnahmen sind die Nutzung umweltfreundlicher Verkehrsmittel sowie der Einsatz moderner Kommunikationsmittel. Sanofi hat es geschafft, die direkten Kohlendioxid-Äquivalente um 8 % unter den Wert des Vorjahres zu senken (Stand 2014) (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 87).

Konkrete Aktivitäten zur CO₂-Reduzierung, die im Jahr 2014 unternommen wurden, sind beispielsweise das Abschalten von Beleuchtungsanlagen einer Produktionsanlage, die Verkürzung der Ansatzzeit eines Fermenters, Optimierung der Temperatur eines Inaktivierungsgefäßes der Produktion und die Erneuerung der Kälteanlagen. Allein die Modernisierung der Kälteanlagen bewirkt eine jährliche Einsparung von 2000 MWh Strom und damit eine Reduzierung des CO₂-Ausstoßes von 600 Tonnen pro Jahr (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 88).

Tabelle 2: Numerische Fakten der Sanofi-Aventis Deutschland GmbH in Frankfurt.

Bereich	Betrag 2011	Betrag 2014
Mitarbeiter	7270	7200
Umsatz	Not available	5,918 Mrd. EUR
Energieverbrauch	0,54 Mio. MWh	0,47 Mio. MWh
Wasserverbrauch	7,5 Mio. m ³	6,3 Mio. m ³
Rohstoffeinsatz	87.103 t*	83.436 t
CO ₂ -Emission	114.628 t	114.882 t
Abluft-Emissionen	17 t	11 t
Abwasser-Emissionen	1,28 Mio. m ³	1,52 Mio. m ³
Abfall	19.080 t	16.034 t

*Dieser Betrag ist auf das Jahr 2012 bezogen, da noch keine Daten im Jahr 2011 vorlagen.

Quelle: Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 17, 36, 90-91.

Pfizer Corporation Austria GmbH

Auch die Firma Pfizer möchte ihre CO₂-Emission und ihren ökologischen Fußabdruck verringern. Dies bezweckt sie durch umweltfreundlichere Prozesse sowie die Verminderung von Abfällen und des Wasserverbrauchs (Pfizer Corporation Austria GmbH, 2014, 52).

Um die Umweltauswirkung seiner Produkte zu reduzieren, entwickelt Pfizer umweltfreundliche Verpackungen und nutzt verstärkt die Versorgung durch erneuerbare Energien. Des Weiteren liegt der Fokus des Unternehmens auf der Verwirklichung nachhaltiger Prozesse und einer ökologischeren Versorgungskette. Als Ziel definiert Pfizer zudem die Verminderung von Abfällen und das Recycling des Mülls. Auch das eingesetzte Wasser wird gereinigt und im Betrieb erneut verwendet (Pfizer Corporation Austria GmbH, 2014, 52).

Durch das sog. unternehmensintegrierte „Green Office“ bezweckt die GmbH, ihren Energie- und Ressourcenver-

brauch zu verkleinern. Dabei wird darauf geachtet, Gemeinschaftsdrucker, umweltschonendes Kopierpapier sowie ungiftige Druckertinte zu verwenden. Mittels der Nutzung elektronischer Kommunikationsmedien soll zudem der Papierverbrauch reduziert werden. Durch Mülltrennung sowie den Gebrauch von Wasserkaraffen statt Einwegflaschen wird ein weiterer Beitrag zur Schonung der Umwelt geleistet (Pfizer Corporation Austria GmbH, 2014, 53).

In einigen Bereichen ist es dem Unternehmen gelungen, den Verbrauch zu senken und dadurch insgesamt 1,8 Tonnen CO₂ einzusparen. Verbesserungspotential besteht hingegen bezüglich Kühlung und Heizung. Außerdem konnte keine Tendenz hinsichtlich des Wasserverbrauchs festgestellt werden, da eine Bestimmung des tatsächlichen Verbrauchs der Firma nicht möglich war (Pfizer Corporation Austria GmbH, 2014, 53).

Auch das sog. „Green Behaviour“ wird bei Pfizer großgeschrieben. Hierbei wird ein ökologisches Verhalten beispielsweise durch eine spritsparende Fortbewegungsweise unterstützt. Maßnahmen sind die Einführung konkreter Grenzen hinsichtlich des Treibstoffverbrauchs sowie der CO₂-Emission und das Verbot von Premiumkraftstoffen. Die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel sowie des Fahrrads auf dem Arbeitsweg werden tatkräftig unterstützt (Pfizer Corporation Austria GmbH, 2014, 54).

Die Reduzierung von Transportwegen wird bei Pfizer durch einen zentralen europäischen Knotenpunkt zur effizienteren Koordination und Planung des Straßentransports für Arzneimittel verfolgt. Zur weiteren Einsparung von Transportwegen wird außerdem das Zentrallager der GmbH von Karlsruhe nach Österreich verlegt (Pfizer Corporation Austria GmbH, 2014, 55).

Auch bei Partnerunternehmen, welche für den Transport und die Distribution der Arzneimittel verantwortlich sind, achtet Pfizer auf ein umweltfreundliches Verhalten (Pfizer Corporation Austria GmbH, 2014, 55).

Tabelle 3: Numerische Fakten der Pfizer Cooperation Austria GmbH in Wien

Bereich	Betrag 2011	Betrag 2013*
Mitarbeiter	327	269
Umsatz	226,4 Mio. EUR	198,8 Mio. EUR
Energieverbrauch	0,66 Mio. MWh	0,72 Mio. MWh
Wasserverbrauch	938 m ³	1452 m ³
CO ₂ -Emission	829 t	581 t

*Diese Beträge sind auf das Jahr 2013 bezogen, da noch keine Daten für das Jahr 2014 vorliegen.

Quelle: Pfizer Corporation Austria GmbH, 2014, 6, 53-54.

Vergleich und Bewertung der Nachhaltigkeitsstrategien

In Tabelle 4 (siehe Seite 8) sind die Umweltdaten der Firmen umgerechnet auf ihre Umsätze angegeben. Diese Zahlen dienen einem direkten Vergleich der Unternehmen in Bezug auf ihre Nachhaltigkeit. Zur Umrechnung von CHF in EUR wurde der Wechselkurs des 23. November 2015 verwendet ($1 \text{ CHF} \cong 0,92 \text{ €}$) (Deutsche Bank, 2015). Die Daten von Novartis und Sanofi sind jeweils auf das Jahr 2014, die Werte von Pfizer hingegen auf das Jahr 2013 bezogen. Grund hierfür ist, dass für das Jahr 2014 bei Pfizer noch keine Daten vorliegen. Außerdem können nicht alle Kriterien miteinander verglichen werden, da nicht jede Firma dieselben Kennzahlen veröffentlicht. Die in den folgenden vier Abschnitten aufgezeigten Daten entstammen alle der Tabelle 4 und sind somit auf 1 Mrd. EUR Umsatz bezogen.

Sanofi zeigt mit 0,08 Mio. MWh einen deutlich geringeren Energieverbrauch als die anderen zwei Unternehmen. Pfizer hat mit 3,61 Mio. MWh den höchsten Verbrauch, dahinter liegt Novartis mit 0,56 Mio. MWh.

Bezüglich des Wasserverbrauchs zeigt hingegen Pfizer die besseren Daten ($7,3 \cdot 10^{-3}$ Mio. m^3). Sanofi steht mit 1,06 Mio. m^3 an zweiter Stelle, gefolgt von Novartis mit 26 Mio. m^3 .

Beim CO_2 -Ausstoß ergab sich für Novartis eine Zahl von 116.459 Tonnen CO_2 -Emission. Sanofi erzielte einen Betrag von 19.412 Tonnen CO_2 -Ausstoß. Pfizer hatte eine Emission von 2923 Tonnen CO_2 .

Bei der Abluft-Emission liegt Sanofi mit einem Wert von 1,9 t vor Novartis, welche einen Wert von 31,1 t zu verzeichnen hat. Im Bereich des Abfalls zeigt Sanofi wiederum den besseren Wert im Vergleich zu Novartis. Hier liegt Sanofi bei 2709 t und Novartis bei 77.640 t. Weitere Vergleiche sind auf Grund fehlender bzw. unveröffentlichter Kennwerte nicht möglich.

Auffallend ist auch, dass die Kennzahlen der drei Standorte generell gesehen sehr starke Abweichungen voneinander zeigen. Grund hierfür könnten unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich des Energie- und Rohstoffbedarfs der jeweiligen Forschung bzw. Produktion sein. Auf diesen Aspekt wird in diesem Paper jedoch nicht weiter eingegangen, da es den Umfang der vorliegenden Arbeit weit überschreiten würde.

Die Pharmaindustrie-online.de bestätigt, dass die Sanofi-Gruppe sich viel in Sachen Nachhaltigkeit engagiert. Diese Aussage bezieht sich hierbei nicht nur auf den Standort Frankfurt sondern auf den ganzen Konzern. Der Bericht der Online-Zeitung vom 17. September 2015 zeigt auf, dass Sanofi bereits zum neunten Mal in Folge für seine Anstrengungen im Bereich Unternehmensverantwortung durch die Aufnahme in den weltweiten Dow Jones Nachhaltigkeits-Index, kurz DJSI, geehrt worden ist. Dabei belegt der Konzern sogar zum ersten Mal den fünften Platz

unter allen im Index verzeichneten europäischen Pharmaunternehmen (Pharmaindustrie-online.de, 2015).

Derzeit weist Sanofi 86 von 100 möglichen Punkten im Ranking des DJSI auf. Für das Unternehmen bedeutet dies eine Verbesserung von drei Punkten in Bezug auf das Vorjahr. Die Auszeichnung berücksichtigt wirtschaftliche Ergebnisse sowie soziales bzw. gesellschaftliches Engagement und die Umweltstrategien der Unternehmen. Fakt ist, dass Sanofi hinsichtlich des Umweltkriteriums in den Jahren 2010 bis 2014 eine Reduktion ihres CO_2 -Ausstoßes um 15 % erbracht hat (Pharmaindustrie-online.de, 2015). Zudem bestätigt ein Bericht der Rating-Agentur oekom research vom Jahr 2009, dass bereits damals das Pharma Unternehmen Sanofi-Aventis nach der Bewertung einer Vielzahl von sozialen und ökologischen Kriterien das beste Ergebnis unter den Pharmakonzernen erzielte (Oekom research, 2009). Im Jahr 2012 wurde der Standort Frankfurt zudem gemäß dem weltweiten Standard zum Energiemanagement ISO 50001 zertifiziert (vfa, 2014, 25). Mittels dieser Energiemanagementnorm ist es Unternehmen und Organisationen möglich, ihre Energieeffizienz kontinuierlich zu steigern. Die Norm tangiert nur die von den Unternehmen beeinflussbaren Faktoren und kann an individuelle Anforderungen der Firmen angepasst werden. Des Weiteren ermöglicht sie Kostenentlastungen, die der jeweils zertifizierten Firma einen Wettbewerbsvorteil auf dem Markt verschaffen. Dies ist der Antrieb, aus welchem viele Firmen geneigt sind, die ISO 50001 zu nutzen, wie auch die Sanofi-Aventis Deutschland GmbH. Positive Folgen sind unter anderem die Senkung des betrieblichen Gesamtenergieverbrauchs und den Verbrauch an Grund- sowie Zusatzstoffen der zertifizierten Firmen (Umwelt Bundesamt, 2013).

In der Schweiz wurden 20 Firmen, welche im SMI (Swiss Market Index) erfasst sind, in Bezug auf ihr nachhaltiges Handeln durch die Firma Inrate bewertet. Inrate ist eine weltweit tätige Nachhaltigkeitsbewertungs-Firma. Diese errechnet eine Note auf einer Skala von +6 bis -6. Die Gesamtnote +6 ist hier die beste, -6 die schlechteste Note. Als Basis für die Berechnung der Note dienen 100 Kriterien, die das nachhaltigkeitsorientierte Handeln der Firmen näher beleuchten. Das Unternehmen Novartis erreichte die Bewertungsnote +4 und liegt damit auf dem fünften Platz der 20 bewerteten Unternehmen. Mit diesem Ergebnis befindet sich Novartis oberhalb des Branchendurchschnitts, welcher sich in der Gesundheitsbranche bei +1 befindet. Für diesen Durchschnitt wurden weltweit 1800 Firmen der betrachteten Branche zum Vergleich herangezogen (Barmettler, 2011, 65-66). In der Schweiz erreichte Novartis Platz 2 der nachhaltigsten Unternehmen aus dem Bereich Gesundheit. Lediglich Roche weist dort ein umweltschonenderes Vorgehen auf. Novartis zeichnet sich im Ranking vor allem durch ein gutes Umwelt- und Sozialmanagement aus (Bilanz, 2012). Der in diesem Paper auf Basis der Geschäftszahlen der drei Nachhaltigkeitsberichte vorgenom-

mene Vergleich der drei Firmen zeigt allerdings, dass Novartis noch einiges verbessern kann. Durch eine Optimierung des umweltschonenden Verhaltens könnte das Unternehmen nicht nur in der Schweiz, sondern auch international beim Thema Nachhaltigkeit auf den oberen Rängen – und nicht lediglich über dem Branchendurchschnitt – landen. Vor allem der Wasserverbrauch und die CO₂-Emissionen weichen stark von den Werten der zwei anderen Firmen, welche in diesem Paper betrachtet werden, ab.

Auffallend ist allerdings, dass bei den zwei betrachteten Standorten Basel (Novartis) und Wien (Pfizer) jeweils nur die direkt am Produktionsort beeinflussbaren Umweltfaktoren beleuchtet werden. Hingegen wird nicht der gesamte Lebenszyklus der hergestellten Medikamente betrachtet. Beispielsweise geht keine der zwei Firmen auf das Thema Gewässerschutz ein. Es zeigt sich jedoch, dass die an den Menschen oder ans Tier verabreichten Medikamente als Stoffwechselprodukte ausgeschieden werden und folglich in die Umwelt gelangen. Fakt ist, dass der Großteil der ins Abwasser gelangenden Medikamente aus dem privaten Haushalt und nicht aus der Industrie stammt. Von den insgesamt eingetragenen Stoffen kann nur ca. ein Viertel abgebaut werden. Aufgrund dessen sollte als Ergänzung der bereits verwendeten Umweltkennzahlen zudem das Verhältnis von biologisch nicht abbaubaren Wirkstoffen zur insgesamt produzierten Menge verwendet werden (vfa, 2014, 24). Allein die Firma Sanofi erkennt das Problem der Langzeitfolgen von Arzneimitteln in der Umwelt (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 86).

Aufgrund der Problematik der Arzneimittelakkumulation in der Umgebung wird schon seit einigen Jahren bei der Zulassung von neuen Medikamenten eine Umweltbewertung durchgeführt. Diese sog. Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) ist seit dem Jahr 1993 in Europa Pflicht. Seit 2006 liegt zudem eine standardisierte Vorgehensweise für die UVP vor, die von der Europäischen Arzneimittelagentur herausgegeben wird (vfa, 2014, 36).

Aber hinsichtlich aktiver Maßnahmen zur Schonung der Umwelt sind nicht nur die Pharmakonzerne in die Verantwortung zu nehmen. Denn jeder einzelne kann etwas für die Umwelt leisten, indem er durch eine gesunde Lebensweise sowie Impfungen Krankheiten vorbeugt und somit der Einnahme und der damit verbundenen Produktion von Medikamenten entgegenwirkt. Außerdem sollten abgelauene oder nicht verwendete Arzneimittel im Restmüll entsorgt werden, da dieser verbrannt wird. Unter keinen Umständen dürfen Medikamentenreste z. B. über die Toilette ins Abwasser gelangen (Throm, 2013).

Eine Bekämpfung der Arzneimittelanreicherung im natürlichen Lebensraum könnte dadurch erfolgen, dass die Hersteller möglichst nur biologisch abbaubare Arzneimittel produzieren. Doch in der Pharmaforschung liegt das Hauptaugenmerk auf der Maximierung der Wirksamkeit, Zuverlässigkeit und Verträglichkeit ihrer Medikamente und weniger auf der biologischen Abbaubarkeit. Auch die

Akzeptanz der Arzneimittel bei den Ärzten und Patienten spielt eine wichtige Rolle. Denn diese werden immer das wirksamere Arzneimittel dem umweltschonenderen Medikament vorziehen. Zudem würden weitere Anforderungen an Medikamente deren Zulassung zusätzlich erschweren. Denn von ursprünglich 10.000 Arzneiwirkstoffen erreicht bei den derzeit bestehenden Kriterien allein eines die Marktreife (Throm, 2013). Trotz alledem liegt im Bereich der biologischen Abbaubarkeit der Arzneimittel weiterhin Potential, welches die Pharmafirmen bei der Herstellung ihrer Medikamente so weit wie möglich ausschöpfen sollten.

Zusammenfassung

Hauptbestandteil aller Nachhaltigkeitsstrategien der drei Firmenstandorte ist die Reduktion der CO₂-Emissionen. Die Firma Novartis setzt am Standort Basel außerdem auf eine verbesserte Energieeffizienz und hat eine firmeninterne Richtlinie als Grundelement des Nachhaltigkeitskonzeptes herausgegeben. Bei Sanofi-Aventis in Frankfurt-Höchst steht im Vordergrund, den Wasserverbrauch zu reduzieren sowie Energie und Rohstoffe so effizient wie möglich einzusetzen. Mittels unternehmensintegriertem „Green Office“ möchte die Firma Pfizer am Standort Wien den Verbrauch von Energie und Ressourcen effizienter gestalten.

Die Umweltkriterien, welche in den Nachhaltigkeitsberichten der Firmen aufgeführt werden, wurden in Bezug auf den Unternehmensumsatz miteinander verglichen. Hier zeigte sich, dass die Firma Sanofi deutlich bessere Daten als die beiden anderen Unternehmen aufwies. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass Sanofi in ihrer Berichterstattung mehr Kriterien als Novartis und Pfizer aufführte. Pfizer überbot Sanofi durch einen geringeren Wasserverbrauch sowie eine geringere CO₂-Emission, allerdings schloss die Pfizer GmbH dafür bei der Energieeffizienz-Bewertung am schlechtesten ab. Die Novartis Pharma AG wies bei den restlichen Daten die umweltfreundlichsten Werte auf.

Die festgestellte umweltfreundliche Unternehmensführung von Sanofi aufgrund der berechneten Daten (siehe Tab. 4, Seite 8) konnte mittels externer Bewertungen nachgewiesen werden. Beispielsweise beurteilte die Rating-Agentur oekom research Sanofi-Aventis bereits im Jahr 2009 als den nachhaltigsten Pharmakonzern. Novartis wurde aufgrund der allgemein schlechtesten Werte als am wenigsten nachhaltig eingestuft. Ein Ranking, durchgeführt von der Firma Inrate, zeigte allerdings, dass Novartis mittels ihres starken Umwelt- und Sozialmanagements punktet und dadurch den zweiten Platz in der schweizerischen Gesundheitsbranche einnimmt. Über Pfizer konnten keine externen Bewertungen bezüglich eines Vergleichs der Effizienz ihrer Strategien mit anderen Unternehmen gefunden werden.

Über alle drei Firmen lässt sich zudem sagen, dass noch Potential im Ausbau ihrer Nachhaltigkeitsstrategien steckt. Beispielsweise sollten die Arzneimittelhersteller immer den gesamten Lebenszyklus ihrer Medikamente betrachten, an dessen Ende deren unweigerliche Akkumulation in der Umgebung steht. Diesbezüglich macht Sanofi als einzige der drei Firmen schon erste Fortschritte. Abhilfe kann u. a. durch die Herstellung von überwiegend biologisch abbaubaren Arzneimitteln erfolgen.

Alles in allem kann gesagt werden, dass sich jede der drei Firmen ihre Gedanken über mögliche Maßnahmen zur Verringerung der Umweltbelastung macht und folglich eine positive Entwicklung in Richtung Schonung der Umwelt vorliegt. Allerdings gibt es weiterhin Ausbaumöglichkeiten hinsichtlich einer ökologischeren Produktion.

Literatur

- Barmettler, Stefan, 2011. Öko-Spezial Nachhaltigkeits-Ranking: Die Sieger, In: Bilanz: Das Schweizer Wirtschaftsmagazin, 15/11, 64-66.
- Bilanz, 2012. Nachhaltigkeits-Ranking: Die Champions der Branchen. URL: <http://www.bilanz.ch/unternehmen/nachhaltigkeits-ranking-die-champions-der-branchen>, Zugriff: 18.11.2015
- BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015. Leitprinzip Nachhaltigkeit. URL: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/Industrie-und-Umwelt/leitprinzip-nachhaltigkeit.html>, Zugriff: 10.12.2015
- Deutsche Bank, 2015. DevisenRechner. URL: <https://www.deutsche-bank.de/pfb/content/marktinformationen/maerkte-devisen-devisenrechner.uebersicht.html?LANG=de&DATE=2015-11->, Zugriff: 28.11.2015
- Gusewski, Mark, 2008. Industrie löst sich vom Erdöl, In: Handelszeitung. URL: <http://www.handelszeitung.ch/unternehmen/die-industrie-loest-sich-vom-erdoel>, Zugriff: 18.11.2015
- Novartis AG, 2015. Energy and climate – Carbon-offset projects. URL: <https://www.novartis.com/about-us/corporate-responsibility/our-world/energy-and-climate#ui-id-1=3>, Zugriff: 20.11.2015
- Novartis AG, 2014. Richtlinie für Gesundheit, Sicherheit und Umwelt – Globale Richtlinie von Novartis. URL: <https://www.novartis.com/sites/www.novartis.com/files/HSE-policy-march-2014-German.pdf>, Zugriff: 20.11.2015
- Novartis International AG, 2014. Novartis Geschäftsbericht 2013. URL: <https://www.novartis.com/sites/www.novartis.com/files/novartis-annual-report-2013-de.pdf>, Zugriff: 18.11.2015
- Novartis International AG, 2015. Novartis Geschäftsbericht 2014. URL: <https://www.novartis.de/sites/www.novartis.de/files/novartis-annual-report-2014-de.pdf>, Zugriff: 18.11.2015
- Novartis Pharma AG, 2014. Nachhaltigkeitsbericht 2013 – Novartis Werke Basel. URL: http://www.glivec.it/cs/www.novartis.ch-v3/downloads/140218-NVS_GeBericht_13_Basel_d_rz-new.pdf, Zugriff: 18.11.2015
- Novartis Pharma AG, 2015. Nachhaltigkeitsbericht 2014 – Novartis Werke Basel. URL: http://www.glivec.it/cs/www.novartis.ch-v3-/downloads/NVS_GeBericht_14_Basel_d_S8.pdf, Zugriff: 18.11.2015
- Novartis Schweiz, 2015a. Geschäftsleitung. URL: <https://www.novartis.ch/de/gesch%C3%A4ftsleitung>, Zugriff: 16.11.2015
- Novartis Schweiz, 2015b. Novartis in der Schweiz. URL: <https://www.novartis.ch/de/ueber-uns/novartis-in-der-schweiz>, Zugriff: 16.11.2015
- Novartis Schweiz, 2015c. Unser Unternehmen. URL: <https://www.novartis.ch/de/ueber-uns/unser-unternehmen>, Zugriff: 16.11.2015
- Oekom research, 2009. Nachhaltigkeit in der Pharma- und Biotechnologiebranche: mit kleinen Schritten voran. URL: http://www.oekom-resarch.com/homepage-/german/Presseinfo_PH&BIO_09.pdf, Zugriff: 23.11.2015
- Pfizer Corporation Austria GmbH, 2014. Nachhaltigkeitsbericht 2012/13. URL: <https://www.pfizer.at/verantwortung-/nachhaltigkeitsberichte.html>, Zugriff: 14.11.2015
- Pfizer, 2015a. Pfizer Österreich – Medikamente, Arzneimittel, Pharma. URL: <http://www.pfizer.at/>, Zugriff: 14.11.2015
- Pfizer, 2015b. Pfizer.de: Home. URL: <https://www.pfizer.de/ueber-pfizer/daten-fakten.htm>, Zugriff: 14.11.2015
- Pharmaindustrie-online.de, 2015. Sanofi als nachhaltiges Pharmaunternehmen geehrt. URL: <http://www.pharmaindustrie-online.de/management/sanofi-als-nachhaltiges-pharmaunternehmen-geeht>, Zugriff: 23.11.2015
- Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015. CSR-Report, Ausgabe 2015.

URL: <http://www.sanofi.de/l/de/de/-/lay-out.jsp?scat=15D71D6D-37D8-429E-9DD4-4D7BA17CC69>, Zugriff: 14.11.2015

Sanofi, 2015. Sanofi Deutschland - Das Wichtigste ist die Gesundheit!

URL: <http://www.sanofi.de/l/de/de/index.jsp>, Zugriff: 14.11.2015

Throm, Siegfried (Hrsg. vfa), 2013. Medikamente und Umwelt.

URL: <http://www.vfa.de/de/arzneimittel-forschung/artikel-arzneimittel-forschung-/medikamente-und-umwelt.html>, Zugriff: 25.11.2015

Umwelt Bundesamt, 2013. Energiemanagementsystem gemäß ISO 50001.

URL: <http://www.umweltbundesamt.de/themen-/wirtschaft-konsum/wirtschaft-umwelt/umwelt-energiemanagement/energiemanagementsystem-gemaess-iso-50001>, Zugriff: 25.11.2015

vfa - Verband Forschender Arzneimittelhersteller e.V., 2014. Verantwortung für Gesundheit und Gesellschaft - Der Nachhaltigkeitsbericht der forschenden Pharma-Unternehmen.

URL: <http://www.vfa.de/download/nachhaltigkeitsbericht-verantwortung-fuer-gesundheit-und-gesellschaft.pdf>, Zugriff: 24.11.2015

Curriculum Vitae

Jana Mahlke

Ausbildung:

2011	Abitur am Kolleg St. Blasien
2011-2015	Bachelorstudium der Bio- und Prozesstechnologie an der Hochschule Furtwangen
Seit 2015	Masterstudium im Fach Umwelt- und Verfahrenstechnik an der Hochschule Konstanz

Judith Löbert

Ausbildung:

2011	Abitur am Bertha-von-Suttner Gymnasium, Neu-Ulm
2011-2015	Bachelorstudium der Industriellen Biotechnologie an der Hochschule Biberach
Seit 2015	Masterstudium im Fach Umwelt- und Verfahrenstechnik an der Hochschule Konstanz

Tabelle 4: Numerische Daten der Firmen Novartis (Basel), Sanofi (Frankfurt) und Pfizer (Wien) bezogen auf ihren Umsatz.

Firma	Kriterium (pro Mrd. EUR Umsatz)						
	Energieverbrauch	Wasserverbrauch	Rohstoffeinsatz	CO ₂ -Emission	Abluft-Emission	Abwasser-Emission	Abfall
Novartis 2014	0,56 Mio. MWh	26 Mio. m ³	n. a.	116.459 t	31,1 t	n. a.	77.640 t
Sanofi 2014	0,08 Mio. MWh	1,06 Mio. m ³	14.099 t	19.412 t	1,9 t	0,26 Mio. m ³	2709 t
Pfizer 2013	3,61 Mio. MWh	7,3*10 ⁻³ Mio. m ³	n. a.	2923 t	n. a.	n. a.	n. a.

*Die Abkürzung n. a. steht für „not available“.

Quellen: Novartis Pharma AG, 2015, 14-15. Pfizer Corporation Austria GmbH, 2014, 6, 53-54. Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, 2015, 36, 90-91.

Nachhaltigkeit als Vision der Festo AG & Co. KG

Marina Moosmann¹

¹HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: marina.moosmann@htwg-konstanz.de

Abstract

Festo is a company divided in two parts: Festo Automation and Festo Didactic. Sustainability is considered as vision in the Corporate Philosophy. Two main parts are mentioned: Corporate Responsibility and Corporate Educational Responsibility. Six fields of action have been established: Technical education, Energy efficiency, Material usage, Environment, energy and construction, Health and safety and Lifelong learning. Festo attaches great importance to build their facilities energy-neutral, so they use as much renewable energy like solar energy as energy supply. Festo also founded a Bionic learning network, to copy energy efficient solutions from nature in technical applications. For their activities in the field of energy efficiency, Festo has won many awards in the last few years. In conclusion, Festo is a pioneer in the field of sustainability. But there are no data to compare the activities with other companies in the field of automation technology.

Einleitung

Die Festo AG & Co. KG ist ein international führendes Unternehmen in der Automatisierungstechnik und zudem Weltmarktführer in der technischen Aus- und Weiterbildung. 1925 wurde das Unternehmen in Esslingen am Neckar gegründet. Aktuell beschäftigt Festo weltweit rund 17.800 Mitarbeiter. Der Umsatz des Unternehmens lag im Jahr 2014 bei 2,45 Mrd. €, der F+E-Anteil nimmt dabei über 7% des Unternehmensumsatzes ein. Aufgeteilt ist die Festo Gruppe in zwei Geschäftsbereiche: Festo Automation und Festo Didactic (Festo, 2015a). Festo sieht seine Mission als „Impulsgeber der Industrie-Automatisierung“, Nachhaltigkeit wird als Vision des Unternehmens betrachtet (Festo, 2014a, 26). Die Festo-Gruppe orientiert sich am globalen Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung und betrachtet bei seinem Handeln die Notwendigkeit, die Interessen der Umwelt, der Gesellschaft und der Wirtschaft in Einklang zu bringen. Dazu wurden sechs Handlungsfelder festgelegt. Laut eigener Aussage legt Festo zudem großen Wert auf den energieeffizienten Betrieb seiner Gebäude. Im Bionic learning network werden Strukturen von der Natur in technischen Entwicklungen umgesetzt. Im Bereich Nachhaltigkeit hat Festo in den letzten Jahren viele Auszeichnungen erhalten (Festo, 2014b).

Nachhaltigkeit als Vision

Festo bezeichnet seinen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung als Corporate Responsibility. Eine der grundlegenden Zielsetzungen stellt hierbei die Schonung

von Ressourcen und die Produktion mit wenig Aufwand dar. Als Corporate Educational Responsibility bezeichnet Festo seinen Beitrag im Bereich Bildung und Wissen. Intern hat Festo ein Selbstverständnis als Lernunternehmen, extern ist Festo Partner der industriellen Bildung. Von Festo wird Bildung weltweit als Basis für eine erstrebenswerte Zukunft angesehen, weshalb Festo konsequent in die Nachhaltigkeit von Bildungssystemen investiert. Um die Aktivitäten des Unternehmens im Bereich Nachhaltigkeit zu fokussieren, wurden sechs Handlungsfelder definiert, welche das Bekenntnis zu Technologie und Innovation sowie Bildung und Wissen darstellen (Festo, 2014b, 10-11). Die sechs Handlungsfelder sind in *Abbildung 1* dargestellt und werden im Folgenden genauer beschrieben.

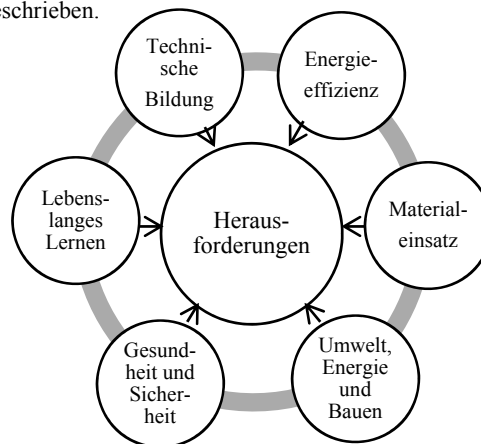


Abbildung 1: Übersicht über die sechs Handlungsfelder von Festo zu den Aktivitäten im Bereich Nachhaltigkeit. *Quelle: Vom Verfasser erstellt nach (Festo, 2014b, 10-11)*

Technische Bildung

Menschen für die Weiterentwicklung technischer Möglichkeiten zu begeistern und auszubilden ist Grundlage der Existenzsicherung von Festo. Die Förderung der technischen Bildung ist im Sinne der Corporate Educational Responsibility zentrale und langfristige Aufgabe der Festo Didactic. Ausbildungs-Know-how wird über Projekte und Partnerschaften in Schulen, Hochschulen und Unternehmen eingebracht, um für Technikunterricht zu begeistern. Neue Lernformen werden entwickelt, um auch Menschen in Entwicklungsländern einfachen Zugang zu Bildung zu ermöglichen (Festo, 2014b, 12-13).

Energieeffizienz

Ein großes Anliegen von Festo ist die Entwicklung von innovativen Lösungen für den effizienten Einsatz von Energie. Hier kann Festo nach eigenen Angaben als

Spezialist der Automatisierungstechnik mit Industriekunden in vielen Branchen beitragen. Festo übernimmt bei seinen Kunden die Analyse und Beratung im Bereich Energieeffizienz, bietet energieeffiziente Produkte an, sowie passende Softwaretools und Trainingskonzepte. Nach Unternehmensangaben können bei den Kunden so bis zu 60% der Energie eingespart werden. Um Kunden mit den energieeffizienten Systemen vertraut zu machen, werden Trainingsangebote im Rahmen von Industrial Education von Festo Didactic angeboten. Der Festo Energy Saving Service bietet ein komplettes Servicepaket zur bestmöglichen Ausschöpfung von Einsparpotentialen an und unterstützt den Kunden bei der Implementierung von energiesparenden Lösungen. Ziel des Services ist die volle Ausschöpfung der Einsparungspotentiale bei pneumatischen Anlagen durch die Senkung des Druckluftverbrauchs, eine effizientere Druckluftherzeugung und eine Vermeidung von Druckluftverlusten. Bei der Entwicklung pneumatischer Antriebe werden leichte Materialien verwendet, die Dichtungskonzepte werden ständig verbessert und hermetisch dichte Antriebssysteme werden eingesetzt, um beim Einsatz einen geringen Energieverbrauch zu gewährleisten (Festo, 2014c, 1-60).

Materialeinsatz

Festo möchte mit vorhandenen Ressourcen verantwortungsvoll umgehen, um eine Grundlage für das Leben jetziger und künftiger Generationen zu schaffen. Bei der Konstruktion sollen Kundenanforderung und neuste Erkenntnisse bei gleichzeitig schonendem Materialeinsatz umgesetzt werden. Bauraum und Gewicht von Teilen werden reduziert, mehrere Funktionen werden integriert. Der Trend bei der Produktentwicklung geht zur Miniaturisierung. Um Grundsätze des Leichtbaus und des reduzierten Materialeinsatzes in die Produktentwicklung integrieren zu können, werden viele Forschungen im Bereich Bionik durchgeführt, vergleiche Abschnitt *Bionic Learning Network*. Das Fertigungsverfahren des Umformens wird bei Festo verstärkt eingesetzt, um Materialabfälle bei der Herstellung der Produkte und den Einsatz von Chemikalien so weit wie möglich zu vermeiden. In der Fertigung wurde der Einsatz nasschemischer Verfahren reduziert und der Einsatz von Plasma- und Wärmeprozesse für die Oberflächenveredelung verstärkt. Wert wird laut Festo außerdem auf eine vereinfachte Entsorgung der Produkte und deren weitere Verwendung gelegt (Festo, 2014b, 16-17).

Umwelt, Energie und Bauen

An allen deutschen Standorten von Festo wird ein Umweltmanagementsystem betrieben. 1996 wurden die Standorte Berkheim und Rohrbach nach dem Eco-Management and Audit Scheme EMAS registriert. Besonders umwelt- und gesundheitsschädliche Substanzen wurden aus der Produktion verbannt, Energie, Abfälle und Wasser werden eingespart, die Mengen jedoch nicht angegeben. Die Standorte sind nach der internationalen

Umweltmanagementnorm ISO 14001 zertifiziert. Zudem wurden auch Ziele für den Umweltschutz der Lieferanten und der Anwendung der Produkte festgelegt. Der effiziente Energieeinsatz bei den Gebäuden wurde als permanentes Ziel festgelegt, siehe Abschnitt *Gebäudeversorgungsstruktur*. Die Emissionen, welche durch Stromnutzung und fossile Energieträger verursacht werden, sollen bis 2020 um 20% gegenüber 2008 reduziert werden (Festo, 2014b, 18-19). Hier sind jedoch keine Daten angegeben, inwieweit dieses Ziel bis heute umgesetzt wurde.

Gesundheit und Sicherheit

Der Mensch steht als zentraler Faktor bei Festo im Mittelpunkt. Die Mitarbeiter sollen langfristig gesund, motiviert, begeistert und leistungsfähig bleiben, weshalb Festo im Bereich Gesundheit viele Angebote anbietet. Im „Internationalen Handbuch für Sicherheit“ werden zudem Standards für die Arbeitssicherheit festgelegt (Festo, 2014b, 20-21).

Lebenslanges Lernen

Lebenslanges Lernen ist bei Festo fest in der Unternehmenskultur verankert und Teil der Corporate Educational Responsibility. Weltweite Qualifizierungsprogramme ermöglichen den Mitarbeitern, Fähigkeiten zu erwerben und auszubauen. Die Festo Academy, das Festo Lernzentrum und die Virtual Academy sind Institutionen und Plattformen, mit welchen Aus- und Weiterbildung durchgeführt wird (Festo, 2014b, 22-23).

Die sechs oben genannten Handlungsfelder decken alle Bereiche des Nachhaltigkeitsdreiecks, bestehend aus Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft, ab. Konkrete Daten zu den Einsparungen bei CO₂-Emissionen und umweltgefährdenden Chemikalien oder zum Energieverbrauch werden jedoch nicht genannt.

Gebäudeversorgungsstruktur

Bei der Planung und dem Bau der Gebäude in Deutschland achtet Festo auf energieeffiziente Gebäudetechnik. So sind das Technologie Center in Esslingen-Berkheim, die Technologiefabrik in Scharnhäusen und der Produktions- und Logistikstandort St. Ingbert im Saarland mit innovativer Gebäudetechnik ausgerüstet.

Technologie Center

Beim 1999 – 2001 gebauten Technologie Center in Esslingen-Berkheim erfolgte die Gebäudeplanung nach ökologischen, ökonomischen, soziokulturellen und funktionellen Aspekten. Bereits bei der Planung wurde der Energieeinsatz über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes betrachtet. Effiziente und innovative Technologien werden laut Festo verwendet, um den Energieverbrauch des Gebäudes und die Emissionen zu reduzieren (Festo, 2014b, 18). Die gesamte Gebäudetechnik ist voll automatisiert und an die klimatischen Gegebenheiten angepasst. Temperiert wird das Gebäude über Abwärme aus der Produktion und Kälte aus der Erde. Die Kälte des

Bodens wird über 400 Betonbohrpfähle dem Gebäudekreislauf zugeführt. Die Decken des Gebäudes sind waserdurchflossen, um die Energie in den Büroräumen zu verteilen. Das Technologie Center besteht größtenteils aus verglasten Fronten und Dächern. Über flexible Sonnenschutzelemente wird im Sommer der Kältebedarf zur Klimatisierung der Gebäude verringert. Die Sonneneinstrahlung in die aus Glas bestehenden Fronten der Atrien des Administrationsgebäudes wird über Großsegel reguliert. Die Verglasung macht das Tageslicht nutzbar, sie ist mit Kryptongas gefüllt, was isolierend wirkt. Elektrische Energie kann durch die Nutzung der natürlichen Helligkeit eingespart werden (Festo, 2015b, 1-20). Auf dem Dach der drei Atrien des Administrationsgebäudes befinden sich 3-lagige pneumatische Kissen. Die mittlere und äußere Folie sind gegenläufig schachbrettartig bedruckt. Durch eine Veränderung des Drucks in den Kissen können die Folien zur Deckung oder auf maximale Entfernung gebracht werden. Eine geschlossene Fläche kann also gebildet werden, um die Sonneneinstrahlung in das Gebäude zu verringern (Achammer-Trithart, et al., 2004, 64). Drei Adsorptionskältemaschinen mit jeweils 353 kW Leistung produzieren Kälte für die Klimatisierung des Gebäudes. Sie werden durch überschüssige Hitze von den Kompressoren der Produktion, mit einem Gasheizkessel sowie mit einem solar-thermischen System als Hitzequelle betrieben. So kann die Abwärme aus der Produktion auch im Sommer, wenn keine Beheizung der Räume nötig ist, genutzt werden. Das solar-thermische System dient zur Brennstoffeinsparung beim Gasheizkessel. Auf einer Fläche von 1330 m² auf dem Flachdach der Produktion befinden sich Vakuum-Röhrenkollektoren. Wasser wird als Wärmetransfermedium verwendet, was den Einsatz eines Wärmetauschers überflüssig macht. Von einer jährlichen Sonneneinstrahlung von 1563 MWh werden 481 MWh als Wärme genutzt, was einem Wirkungsgrad von 31% entspricht. Das gesamte Energiesystem ermöglicht eine Einsparung von 760 Tonnen CO₂ pro Jahr (K. Huber, et al., 2009, 1-24). Mit welcher Art der Energieerzeugung der Vergleich jedoch durchgeführt wurde, um die Einsparung zu berechnen, bleibt unklar.

Technologiefabrik Scharnhausen

In der Technologiefabrik in Scharnhausen werden hauptsächlich Ventile und Ventilinseln produziert. 20% des dafür benötigten Stroms stammt aus Eigenerzeugung. Bereits in der Planungsphase ab 2001 wurde auf Energieeffizienz und einen sparsamen Materialeinsatz bei der Produktion geachtet. Energetische Wechselwirkungen zwischen der Gebäudeausrüstung und den Produktionssystemen wurden von Beginn an berücksichtigt. Durch die Erstellung verschiedener Energiekonzepte konnte während der Gebäudeplanung das effizienteste ermittelt werden. Die energetische Grundversorgung des Standorts wird mit zwei erdgasbetriebenen Blockheizkraftwerken (BHKWs) mit einer Gesamtleistung von 1,8 MW gesichert. Mit einem Gesamtwirkungsgrad von 95% produ-

zieren diese Strom und Wärme. Die Wärme wird im Winter zum Heizen genutzt. Im Sommer wird aus der Wärme und der Abwärme der Druckluftkompressoren mit Hilfe einer Adsorptionskältemaschine Kälte produziert. Um weitere Energie zu sparen wurde die Galvanik aufwändig isoliert und die Druckniveaus wurden in der Produktion von acht auf sechs bzw. von 18 auf 13 bar gesenkt. Festo spart somit jährlich 1500 Tonnen CO₂ ein im Vergleich mit einem konventionellen Betrieb der Technologiefabrik (Festo, 2015c, 1-28). Auch hier wird der Energieträger für den konventionellen Betrieb nicht genannt.

Produktions- und Logistikstandort St. Ingbert

Am Produktions- und Logistikstandort St. Ingbert im Saarland wird ein Brennstoffzellenblock, ein BHKW und eine Photovoltaikanlage zur Erzeugung von umweltfreundlicher Energie vor Ort genutzt. Auch hier wird ein flexibles Energiesystem eingesetzt, um optimal auf die sich schnell ändernden Anforderungen in der Produktion zu reagieren. Der Strom aus Eigenproduktion nimmt einen Anteil von 12% an. Druckluft wird effizient eingesetzt, was den Verbrauch um 20% reduziert. Hierfür hat Festo den Druckluft Energy Award 2007 erhalten, siehe *Auszeichnungen und Preise* (Heindl Server GmbH, 2007). Die Einsparung an CO₂ liegt beim Produktions- und Logistikstandort St. Ingbert bei 3750 Tonnen pro Jahr. Diese Einsparung ergibt sich aus einer Verbrauchsreduzierung und durch Substitution fossiler Energieträger (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2008, 1-2).

Das Unternehmen Festo spart somit laut eigenen Angaben an den drei oben genannten Standorten rund 6000 Tonnen CO₂ pro Jahr ein. Grund hierfür sind die an den Standorten genutzten solarthermischen Anlagen und Adsorptionskältemaschine. Anhand welcher alternativen Energieerzeugung diese Einsparung berechnet wurde, bleibt jedoch unklar. Außerdem sind zu Standorten außerhalb Deutschlands keine Angaben zu finden.

Bionic Learning Network

Die in der Natur vorhandenen Anpassungsstrategien in den Bereichen Energieeffizienz, Leichtbau und Lernfähigkeit wird vom Bionic Learning Network auf Technik übertragen. Projekte der Bionik-Abteilung haben zum Ziel, den Materialeinsatz zu reduzieren und energieeinsparende Bewegungsabläufe für die industrielle Produktion zu entwickeln um nachhaltigere Produkte zu gestalten (Festo, 2014b, 16-17). Beispielhaft wird im Folgenden auf die Entwicklung eines Kängurus und eines Greifers nach dem Vorbild eines Geckos eingegangen.

BionicKangaroo

Im BionicKangaroo wurde der Springmechanismus von Kängurus nachgebildet. Ein Känguru kann seine Geschwindigkeit erhöhen, ohne dabei seinen Energieverbrauch zu steigern. Bei jedem Sprung wird die Energie der Landephase zwischengespeichert und im nächsten

Sprung wieder eingesetzt, was auf das BionicKangaroo übertragen wurde. Die Achillessehne des Känguru wurde mit einem Federelement aus Gummi nachgebildet, das den Sprung dämpft und die kinetische Energie aufnimmt und für den nächsten Sprung freisetzt. Für die Konstruktion des BionicKangaroo wurde eine Leichtbauweise verwendet, um das Gewicht so weit wie möglich zu reduzieren. Mit den Erkenntnissen aus der Entwicklung des BionicKangaroo können nun energieeffizientere Bewegungsabläufe gestaltet werden (Festo, 2014d, 1-6).

NanoForceGripper

Der NanoForceGripper dient dazu, empfindliche Gegenstände mit glatter Oberfläche nahezu energiefrei zu greifen. Die Oberfläche des Greifers besteht aus vielen kleinen saugnapfähnlichen Strukturen, wie es bei den Fußflächen eines Geckos vorkommt. Van-der-Waals-Kräfte dienen der Anziehung zwischen Greifer und Produkt. Das Halten des Produkts findet somit ohne den Einsatz elektrischer Energie statt. Zum Lösen der Verbindung werden die Flächen von einer geraden in eine gebogene Form verändert, was die Haltefläche verringert und das Produkt sanft vom Greifer löst. Hierfür ist nur eine sehr geringe Energiemenge notwendig. Mit dem NanoForceGripper wurde ein energieeffizientes Greifkonzept entwickelt, was demonstriert, dass auch bei bestehenden Automatisierungskonzepten noch ein hohes Energieeinsparpotential vorhanden ist (Festo, 2012, 1-4).

Mit dem Bionic Learning Network zeigt das Unternehmen Festo deutlich, dass Energieeffizienz und Leichtbauweise in der Automatisierungstechnik noch verbessert werden können. Festo kann somit als Vorreiter im Bereich Energieeffizienz und Nachhaltigkeit angesehen werden.

Auszeichnungen und Preise

In den letzten Jahren hat Festo viele Auszeichnungen und Preise für seine Bemühungen im Bereich Nachhaltigkeit erlangt. Vier davon werden im Folgenden dargestellt.

Energy Efficiency Award 2008

Der Energy Efficiency Award von der Energie-Agentur GmbH wird an Unternehmen verliehen, die betriebliche Projekte zur Steigerung der Energieeffizienz umgesetzt haben. So soll die Machbarkeit von Energieeffizienzprojekten demonstriert werden. Vergleicht man die Energietechnik von Festo am Standort St. Ingbert mit der Nutzung konventioneller Energietechnik, so wird deutlich, dass Festo pro Jahr 3750 Tonnen CO₂-Emissionen einspart bei einer Erhöhung der Investitionskosten um 4,73 Mio. €. Die CO₂-Einsparung setzt sich zusammen aus einer Verbrauchsreduzierung und der Substitution fossiler Energieträger. Durch die neue Energietechnik wird durchschnittlich 38% weniger Energie pro Jahr verbraucht als bei konventionellen Firmen wofür Festo 2008 mit dem Energy Efficiency Award ausgezeichnet wurde (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2008, 1-2).

Umwelttechnikpreis 2009

Im Jahr 2009 erhielt Festo den Umwelttechnikpreis des Landes Baden-Württemberg für seinen Energy Saving Service. Der Festo Energy Saving Service ist modular aufgebaut: Im ersten Schritt wird eine gründliche Bestandaufnahme und eine Analyse der gesamten pneumatischen Anlage beim Kunden durchgeführt, um Schwachstellen aufzudecken. Anschließend werden gezielt Verbesserungsmaßnahmen definiert und umgesetzt. Leckagen werden beseitigt und energiesparende pneumatische Module eingesetzt. So kann bis zu 60% Druckluft eingespart werden und Festo ermöglicht dem Kunden ein effizienteres pneumatisches System (Umwelttechnikpreis 2009, 2009).

Blauer Engel 2015

Das Rechenzentrum der Technologiefabrik in Scharnhausen wurde im Jahr 2015 mit dem Blauen Engel ausgezeichnet. Der blaue Engel wird von der Jury Umweltzeichen in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie dem Umweltbundesamt für Produkte und Dienstleistungen, die über eine optimale Umweltbilanz verfügen, verliehen. Aufgrund einer effizienten Klimatisierungstechnik sowie der intelligenten Stromversorgung des Rechenzentrums erhielt Festo den Blauen Engel. Festo wird hierbei als Musterbeispiel von Energie- und Ressourceneffizienz bezeichnet (Data Center Group, 2015).

Zertifizierungsstatus Platin der deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen 2015

Für seine Technologiefabrik in Scharnhausen hat Festo die höchste Auszeichnung „Platin“ der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen erzielt. Grund hierfür sind die ökologischen und ökonomischen Standards, welche umgesetzt wurden, sowie der optimale Ablauf während des Baus der Fabrik (Festo, 2015d).

Fazit

Festo wird als Vorreiter in der Automatisierungsbranche im Bereich Energieeffizienz und Nachhaltigkeit angesehen, was die oben aufgeführten Auszeichnungen belegen. Viele energieeinsparende Maßnahmen werden intern genutzt, um die CO₂-Emissionen zu senken. Auch für seine Kunden ermöglicht Festo mit seinem Energy Saving Service ein nachhaltigeres Handeln. Forschungen im Bereich Bionik belegen zudem die Bemühung des Unternehmens, Nachhaltigkeit in technische Entwicklungen umzusetzen. Ein Branchenvergleich im Bereich Automatisierungstechnik ist jedoch aufgrund fehlender Daten der gesamten CO₂-Emissionen von Festo nicht möglich. Des Weiteren sind die Angaben zu den Einsparungen von CO₂-Emissionen kritisch zu sehen, da die Energieerzeugung, mit welcher die Emissionen verglichen werden, nicht angegeben wird. Trotzdem strebt das Unternehmen Festo ein nachhaltiges Handeln an und kann Nachhaltigkeit zu Recht als seine Vision bezeichnen.

Literatur

- Achammer-Tritthart & Partner, Benthem Crouwel Architekten, Ingrid Hackermüller-Habenschuss, Hadler bis Hausdorf, Georg W. Reinberg, SHL Architekten, Schnögass + Partner, Durchblicke - Bauen mit Membranen, architektur Fachmagazin, Heft 5, 2004, 61-66
http://form-tl.de/fileadmin/user_upload/redakteur/download/Fachinformationen//Membranen_Teil3.pdf, 24.10.2015
- Data Center Group, Die Festo AG & Co KG: Mit Sorptionskälte zum Blauen Engel, 2015, 1-13
www.future-thinking.de/wp-content/uploads/2015/05/2015-04-21_Future-Thinking_Festo-AG_DCG_Wilkens.pdf, 24.10.2015
- Deutsche Energie-Agentur GmbH, 1. Preis: Energy Efficiency Award 2008., 2008, 1-2
http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Stromnutzung/Dokumente/Datenblaetter_2008_deutsch.pdf, 08.12.2015
- Festo AG & Co. KG, Unternehmenshomepage, 2015a
<https://www.festo.com/group/de/cms/10250.htm>, 23.10.2015
- Festo AG & Co. KG, Technologie Center, 2015b, 1-20
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/8574/Festo_TC_Broschuere_de.pdf, 24.10.2015
- Festo AG & Co. KG, Technologiefabrik Scharnhausen, 2015c, 1-28
https://www.festo.com/PDF_Flip/corp/Festo_Technologiefabrik_Scharnhausen/de/index.html, 24.10.2015
- Festo AG & Co. KG, Technologiefabrik von Festo erhält Platin-Zertifikat für nachhaltiges Bauen, 2015d
https://www.festo.com/net/de_corp/SupportPortal/Details/380180/PressArticle.aspx?show=image, 28.10.2015
- Festo AG & Co. KG, Performance, 2014a, 1-26
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/195991/performance_2014_de.pdf, 23.10.2015
- Festo AG & Co. KG, Corporate Responsibility, 2014b, 1-28
https://www.festo.com/PDF_Flip/corp/Festo_Corporate_Responsibility/de/index.html, 23.10.2015
- Festo AG & Co. KG, Energieeffizienz@Festo, 2014c, 1-60
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/9820/EEF_de_V13_M.pdf, 24.10.2015
- Festo AG & Co. KG, BionicKangaroo, 2014d, 1-6
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/334102/Festo_BionicKangaroo_de.pdf, 28.10.2015
- Festo AG & Co. KG, NanoForceGripper, 2012, 1-4
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/156739/Brosch_FC_NanoForceGripper_DE_lo_L.pdf, 28.10.2015
- K. Huber, E. Bollin, E. Scheck, D. Jödicke, E. Wiemken, J. Wewior, U. Eicker, D. Rietruschka, A. Dalibard, R. Meißner, C. Kettner, Operation Analysis and Energy Evaluation of a Solar-thermal System Assisting the Air Conditioning of an Office/Administration Building, 2009, 1-24
http://renknownet2.iwes.fraunhofer.de/pages/solar_thermal_energy/data/Festo_englisch.pdf, 25.10.2015
- Heindl Server GmbH, Festo AG: Zukunftsweisendes Energiekonzept mit Solarthermie, Photovoltaik, BHKW und Brennstoffzelle, 2007
<http://www.solarserver.de/news/news-7681.html>, 25.10.2015
- Umwelttechnikpreis 2009, Festo Energy Saving Services, 2009
<http://utp.umwelttechnikportal.de/umwelttechnikpreis/detailseite.html?id=24>, 25.10.2015

Curriculum Vitae

Marina Moosmann

Ausbildung:

- | | |
|-----------|--|
| 2011 | Abitur am Gymnasium Schramberg |
| 2011-2015 | Bachelor-Studium der Biotechnologie an der Hochschule Esslingen |
| Seit 2015 | Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik an der HTWG Konstanz und der Hochschule Ravensburg-Weingarten |

Umweltmanagementsysteme – Ziele, Vorgehensweise und Beispiele

Iris M. Ranz¹

¹HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: iris.ranz@gmx.de

Abstract

Environmental management systems are established to coordinate and manage organizations' or enterprises' environmentally relevant activities. The procedure during the application of environmental management systems are carried out according to the Plan-Do-Check-Act (PDCA Cycle). Due to this repetitive cycle of planning, taking action and reviewing, a continuous improvement of environmental protection in an organization is guaranteed. Four of the very best known environmental management systems in Germany are the Eco-Management and Audit Scheme (EMAS), the ISO 14001, the "Qualitätsverbund umweltbewusster Betriebe" (network of ecology-minded enterprises, QuB) and ÖKOPROFIT. EMAS is especially used by manufacturing enterprises in the German states of Baden-Württemberg and Bavaria. Besides Italy, Spain and Austria, Germany is one of the countries with the highest number of EMAS organizations in Europe.

Einleitung

Unter einem Managementsystem wird die Gesamtheit des Instrumentariums, der Regeln, Institutionen und Prozesse verstanden, mit denen Managementfunktionen erfüllt werden (Schierenbeck, H., 2003, S.113). So gibt es Managementsysteme in den verschiedensten Bereichen eines Unternehmens: vom Qualitätsmanagement über das Sicherheitsmanagement bis hin zum Energiemanagement und vielen weiteren (TÜV-SÜD, 2015a). Auch für den Aspekt Umweltschutz in Betrieben bestehen Managementsysteme, sogenannte Umweltmanagementsysteme. Hierbei wird ein Mitarbeiter damit beauftragt, sich um stetige Verbesserungen in Sachen Umweltschutz zu kümmern. Um dies umzusetzen, benötigt er ein Umweltmanagementsystem. Die grundsätzliche Idee dahinter: Durch Aspekte wie Abfalltrennung, Energieeinsparungen, Vermeidung von schädlichen Emissionen oder die schonende Verwendung von Ressourcen trägt ein Unternehmen aktiv zum Thema Umweltschutz bei. Zusätzlich lohnt sich diese Maßnahme auch finanziell für ein Unternehmen: Betriebe, die ein zertifiziertes Umweltmanagement vorweisen können, werden bei Gebühren entlastet. Außerdem werden bei den Verbesserungen beispielsweise Anschaffungskosten, Abfallkosten oder Energiekosten verringert. Zuletzt kann ein Unternehmen sein erfolgreiches Umweltschutzprogramm auch zu Marketing-Aspekten nutzen (Köhn-Ladenburger, C., 2013, S.135-138 und Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2014, S. 1).

Im Folgenden werden die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Anwendung von Umweltmanagementsystemen

erklärt, sowie einige Beispiele zu Umweltmanagementsystemen angebracht. Dabei werden die unterschiedlichen Systeme verglichen und ein besonderes Augenmerk auf das Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung (EMAS) gelegt. Zudem wird die Anwendung dieses Systems in Deutschland und Europa betrachtet. Zuletzt wird ein kurzer Ausblick gegeben.

Vorgehensweise bei der Anwendung von Umweltmanagementsystemen

Die Vorgehensweise bei der Anwendung eines Umweltmanagementsystems verläuft meist nach dem PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act). Dieser Zyklus kann auf jedes komplexe System übertragen werden und wird dann verwendet, wenn es um die Optimierung von Prozessen geht. So wird er auch bei anderen Managementsystemen, wie etwa dem Qualitätsmanagement oder dem Prozessmanagement, angewandt (Weigert, J., 2010, S.60).

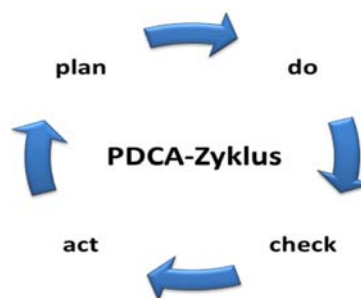


Abbildung 1: Schema des PDCA-Zyklus (Eigene Darstellung basierend auf Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2014, S.2f.)

Der Zyklus beinhaltet die vier Einzelschritte Planung, Umsetzung, Überprüfung und Verbesserung. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte und ihre Aufgaben kurz erläutert:

- Plan: Der erste Schritt beinhaltet die Planung. Hier wird festgelegt, an welchen Stellen eine Verbesserung notwendig und sinnvoll ist.
- Do: In diesem Schritt werden die Ziele durch geeignete Maßnahmen effizient umgesetzt.
- Check: Hier wird kontrolliert, ob die erreichten Verbesserungen mit den geplanten Zielen auf dem Plan-Schritt übereinstimmen. Es wird also der sogenannte „Ist-Zustand“ mit dem vorher geplanten „Soll-Zustand“ verglichen.
- Act: In diesem Schritt ist Zeit für Korrekturen. Wurde ein gesetztes Ziel nicht erreicht, werden zunächst die Voraussetzungen und Rahmenbe-

dingungen geprüft und gegebenenfalls verändert. Anschließend beginnt mit neuer oder veränderter Zielsetzung und den darauf folgenden Maßnahmen der zweite Zyklus.

Durch diesen wiederkehrenden Kreislauf der ständigen Neu-Planung, -Steuerung, -Überwachung und -Verbesserung der Betriebsabläufe steigt die Qualität des Umweltschutzes im Betrieb kontinuierlich (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2014, S. 2f.).

Vorstellung einiger Umweltmanagementsysteme

Da die Einführung eines Umweltmanagementsystems auf freiwilliger Basis beruht, können Unternehmen auch die Art des Systems selbst wählen. Im Lauf der Jahre haben sich verschiedene Umweltmanagementsysteme mit unterschiedlichen Anforderungen entwickelt, von denen im Folgenden einige vorgestellt werden.

EMAS

Im Beschluss des Europäischen Parlaments und des Rates über das sechste Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft von 2002 ist die Verbesserung der Zusammenarbeit und Partnerschaft mit Unternehmen als ein strategisches Konzept zur Erfüllung der Umweltziele genannt (Europäisches Parlament und Rat, 2009, S. 1). EMAS (Eco- Management and Audit Scheme) ist ein 1995 von der europäischen Union ins Leben gerufenes Programm, das Unternehmen und Organisationen dabei unterstützen soll, ihre Umweltleistung kontinuierlich zu verbessern (Umweltgutachterausschuss, 2015a). Die aktuelle Rechtsgrundlage ist die Verordnung (EG) Nr. 1221/20090 (Umweltbundesamt, 2015). Dabei sind die Teilnehmer verpflichtet, im Zuge einer Umweltklärung jährlich Bericht über ihre persönlich gesetzten Umweltziele und deren Verwirklichung zu erstatten. Die Validierung und Kontrolle der Umsetzung und Einhaltung der Umweltvorschriften erfolgt durch einen staatlich beaufichtigten, unabhängigen Umweltgutachter (Umweltgutachterausschuss, 2015b).

ISO14001

Die ISO14001 ist eine erstmals 1996 von der Internationalen Organisation für Normung veröffentlichte und im Jahr 2000 novellierte Norm mit weltweitem Geltungsbereich. Sie wird somit auch international als Grundlage zum Aufbau und der Zertifizierung eines Umweltmanagement-Systems anerkannt (Umweltbundesamt, 2015 und TÜV-SÜD AG, 2015b). Als grundlegendes Ziel nennt die Norm, den Umweltschutz und die Verhinderung von Umweltbelastungen mit wirtschaftlichen, sozialen und politischen Erfordernissen aufeinander abzustimmen. Aufgrund ihrer Allgemeingültigkeit ist die Norm in Organisationen jeder Größe und unabhängig von kulturellen, geographischen und sozialen Voraussetzungen anwendbar. Die international gültige Zertifizierung erfolgt durch akkreditierte Zertifizierungsstellen (TÜV-SÜD AG,

2015b). Diese haben weltweit bereits 26.000 und in Deutschland ca. 6000 Unternehmen und Organisationen erlangt (Umweltbundesamt, 2015).

Qualitätsverbund umweltbewusster Betriebe

Der Qualitätsverbund umweltbewusster Betriebe (QuB) wurde 1997 von Heinrich Mosler, damaliger Präsident der Handwerkskammer für Mittelfranken, gegründet. (Damals hieß er noch QuH – Qualitätsverbund umweltbewusster Handwerksbetriebe.) Grund der Gründung war, dass sich die bereits existierenden Umweltmanagementsysteme wie die DIN 14001 oder die EMAS nur teilweise mit den Strukturen in Handwerksbetrieben in Einklang bringen ließen. So sollte der auch auf Nicht-Handwerksbetriebe bezogene QuH einer einfacheren Anwendbarkeit von Qualitätsmanagementsystemen im Betriebsalltag kleinerer Unternehmen dienen. Durch reduziertere Anforderungen sollten so auch diese Unternehmen die Möglichkeit bekommen, ein Qualitäts- und Umweltmanagementsystem zu installieren und zertifizieren zu lassen. Diese Zertifizierung erfolgt durch die LGA InterCert GmbH oder deren autorisierte externe Prüfer. Die Grundvoraussetzung, um an der QuB teilnehmen zu dürfen, ist die Einhaltung der gesetzlichen Umweltvorschriften. Daneben gibt es weitere Kriterien wie z.B.:

- Eine schriftliche Dokumentation über den gesamten Input und Output, Betriebsanlagen, Schulungen der Mitarbeiter zu Themen des Umweltschutzes und Regelung der Zuständigkeiten im sogenannten Umweltordner.
- Bereitstellen von Informationen über die Umweltverträglichkeit der verwendeten Stoffe und Produkte.
- Durchführung mindestens einer Umweltmaßnahme pro Jahr.
- Regelmäßige externe Überwachung der umweltbewussten Betriebsführung und Veröffentlichung einer Umwelterklärung. (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2014, S. 8f. und Handwerkskammer für Mittelfranken - zentrale QuB-Stelle, 2015)

ÖKOPROFIT

ÖKOPROFIT ist die Kurzform für „Ökologisches Projekt für integrierte Umwelt-Technik“ und wirbt mit dem Leitthema Umwelt- und Klimaschutz mit Gewinn. Das Projekt wurde Anfang der 90er Jahre in Graz entwickelt und 1998/99 von der Stadt München übernommen und an deutsche Umstände angepasst. Die Idee ist, dass durch Verringerung des Energie- und Ressourcenverbrauchs der Unternehmen sowohl die Umwelt entlastet wird, als auch Betriebskosten gesenkt werden können. Außerdem ist ÖKOPROFIT ein System, bei dem Unternehmen und Kommunen zusammenarbeiten. Die Unternehmen können Profit aus diesem Zusammenschluss mit den Kommunen

und anderen Unternehmen im Umkreis ziehen und werden zudem organisatorisch von ihnen unterstützt. Durch Workshops kommt es zum Erfahrungsaustausch und der Grundausbildung durch geschulte Berater, anschließend wird eine Umweltprüfung durchgeführt und die Auszeichnung des „ÖKOPROFIT-Betriebs“ verliehen (B.A.U.M. Consulting GmbH, 2012, S. 4).

Vergleich der Systeme

Die verschiedenen Systeme unterscheiden sich unter anderem in ihren Mindestanforderungen: Das EMAS-System fordert von den vier vorgestellten am meisten (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2014, S. 2). Seit 2001 enthält die EMAS-Verordnung alle Inhalte der internationalen Norm ISO 14001 (Umweltbundesamt, 2015). Wer also das EMAS-Logo tragen darf, hält sich auch automatisch an die in der ISO 14001 festgelegten Aspekte. Anders herum gilt dies jedoch nicht. Die EMAS-Verordnung verlangt durch die verpflichtende jährliche Umwelterklärung sowie eine Eintragung in das deutsche und europäische Standortregister beispielsweise mehr Öffentlichkeitsarbeit (TÜV-SÜD AG, 2015c). Dafür besitzt die EMAS-Verordnung ein offizielles Logo, welches nur EMAS-zertifizierten und registrierten Unternehmen oder Organisationen zu führen erlaubt ist. In der ISO 14001 wird nicht nach einer Umwelterklärung verlangt, außerdem werden keine indirekten Umweltaspekte berücksichtigt (siehe folgendes Kapitel). Außerdem werden keine Verbesserungen der Umweltleistung verlangt, lediglich eine stetige Verbesserung des Managementsystems. Die Mitarbeiter müssen ebenfalls nicht zwingend in den Prozess miteinbezogen werden, es wird jedoch empfohlen (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2014 S. 7f.). Für Unternehmen, die weltweit aktiv sind, ist die ISO 14001 die bessere Wahl, da sie, im Gegensatz zu den anderen drei Umweltmanagementsystemen, international anerkannt ist. Außerdem ist sie für Betriebe geeignet, die weniger Interesse an einem Imagegewinn haben, da hier auf die Veröffentlichung der Umwelterklärung verzichtet wird. Für Betriebe, die bereits ein Qualitätsmanagement gemäß der ISO 9001 besitzen, lässt sich dieses aufgrund der Kompatibilität gut mit der ISO-Norm 14001 kombinieren (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2015). Außerdem besteht hier auch die Möglichkeit, sich nur bestimmte Unternehmensbereiche zertifizieren zu lassen. Die EMAS verlangt hingegen die Zertifizierung des gesamten Standortes (Becke, G., 2012, S. 43f.).

Der Qualitätsverbund umweltbewusster Betriebe und ÖKOPROFIT reduzieren die Anforderungen noch weiter. Hier müssen weder das Managementsystem dokumentiert noch Korrekturmaßnahmen festgelegt werden. Auch die Notfallplanung und die Umweltbetriebsprüfungen fallen weg (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2014, S. 8f.). Diese beiden Umweltmanagementsysteme bilden eine gute Voraussetzung für den späteren Einstieg in ein Umweltmanagementsystem nach ISO 14001 oder EMAS

(Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, 2015).

EMAS und seine Anwendung

Unternehmensbefragungen bestätigen, dass EMAS positiv auf die Entwicklung der Ressourceneffizienz wirkt (Umweltbundesamt, 2010, S. 6). Aufgrund seiner weit verbreiteten Anwendung wird nun näher auf dieses Umweltmanagementsystem eingegangen, mit besonderem Blick auf die Anwendung in Deutschland und Europa.

Als Zielsetzungen hat die EMAS festgelegt: Es soll eine kontinuierliche Verbesserung der betrieblichen Umweltaspekte, der Umweltauswirkungen und der Umweltleistung erreicht werden. In diesen Prozess sollen die Mitarbeiter der Organisationen einbezogen werden, weshalb sowohl eine interne als auch eine externe Kommunikation des Engagements im Umweltschutz notwendig ist. Außerdem sollen Unfälle und Notfallsituationen verhindert werden, aber trotzdem Notfallmaßnahmen zur Vorsorge geplant sein. Verwirklicht wird dies vor allem über die Verbesserung der sogenannten umweltrelevanten Aspekte. Dies sind die Aspekte der betrieblichen Tätigkeiten und der Produkte, die Auswirkungen auf die Umwelt haben. Es wird dabei unterschieden zwischen direkten Umweltaspekten, also jenen, auf die die Organisation durch ihr Handeln unmittelbar Einfluss nimmt und indirekten Umweltaspekten.

Direkte Umweltaspekte sind unter anderem der Verbrauch an Ressourcen und Energie, produktions- oder verkehrsbedingte Abwasser, Emissionen und Abfälle oder durch Bau bedingten Flächenverbrauch. Zu den indirekten Umweltaspekten zählen beispielsweise das Umweltverhalten von Auftragnehmern und Lieferanten oder die Verwendung und Entsorgung der erstellten Produkte. Aus diesen Umweltaspekten wird bei der Umweltprüfung eine betriebliche Umweltbilanz erstellt, die alle relevanten Inputs und Outputs beinhaltet. Anschließend kann hieraus ein Schluss gezogen werden, welche Aspekte die größten negativen Auswirkungen auf die Umwelt haben, wodurch wiederum die Ziele festgelegt werden. In der neuen EMAS-Verordnung von 2010 wurde verlautbart, dass gewisse Kernindikatoren in der jährlichen Umwelterklärung abgehandelt werden. Es handelt sich hierbei um Umweltleistungen, die folgende Bereiche betreffen:

- Energieeffizienz: Gesamtenergieverbrauch mit Anteil der erneuerbaren Energien pro Jahr
- Materialeffizienz: Massenstrom der verschiedenen Einsatzmaterialien pro Jahr
- jährlicher Wasserverbrauch
- jährliches Abfallaufkommen, insbesondere Aufkommen gefährlicher Abfälle
- biologische Vielfalt in Bezug auf den Flächenverbrauch

- jährliche Gesamtemissionen von Treibhausgasen und anderen Emissionen

EMAS ist weder auf den europäischen Kontinent noch auf eine bestimmte Organisationsart beschränkt. Lediglich eine eigene Funktion und Verwaltung der Organisation ist notwendig, wodurch beispielsweise auch öffentliche oder private Einrichtungen daran teilnehmen können. Zur Fortschreibung, also zur weiteren Teilnahme am Öko-Audit, muss die Umwelterklärung jährlich aktualisiert werden. Es werden neue Umweltziele gesetzt, und der PDCA-Zyklus beginnt von Neuem (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2014, S. 3-7).

Anwendung von EMAS in Deutschland



Abbildung 2: Verteilung der EMAS Organisationen in Deutschland nach Wirtschaftszweig, Stand: Oktober 2015 (Eigene Darstellung basierend auf Umweltgutachterausschuss, 2015c).

Das „verarbeitende Gewerbe“ umfasst die Herstellung von Waren, die nach ihrer Fertigung als Vorleistungsgüter, Investitionsgüter, Gebrauchs- oder Verbrauchsgüter verwendet werden. Dabei wird neben der industriellen und handwerklichen Fertigung auch die Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen mit einbezogen. Abbildung 2 zeigt, dass die meisten EMAS Organisationen (39 %) aus diesem Wirtschaftsbereich stammen (Statistisches Bundesamt, 2015a und Umweltgutachterausschuss, 2015c). Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass der Anteil des verarbeitenden Gewerbes an der Bruttowertschöpfung aller Wirtschaftsbereiche in Deutschland im Jahr 2014 bei 22,3 % lag, wodurch die hohe Anzahl in diesem Bereich erklärbar wird (Statistisches Bundesamt, 2015c). Insgesamt gab es im Oktober 2015 1202 Organisationen mit 1995 Standorten in Deutschland, die bei EMAS registriert sind. Über 50 % der EMAS Organisationen stammen aus den Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg (Umweltgutachterausschuss, 2015c). Die hohen Anteile dieser beiden Bundesländer rühren vermutlich unter anderem von ihrer hohen Wirtschaftlichkeit her. Bayern steht direkt vor Baden-Württemberg an Stelle zwei, was das Bruttoinlandsprodukt der Länder 2014 anbelangt (Statistisches Bundesamt, 2015b).

Anwendung von EMAS in Europa

Tabelle 1: Anzahl der EMAS Organisationen und Standorte der Länder Deutschland, Italien, Spanien und Österreich, Stand: Oktober 2015 (Eigene Darstellung basierend auf Umweltgutachterausschuss, 2015c und Statista GmbH, 2015)

Land	DE	IT	ES	AT
Anzahl Standorte	1995	5801	1082	1044
Anzahl Standorte pro 1 Millionen Einwohner	24,7	95,5	23,3	122,7
Anzahl Organisationen	1202	1006	942	286
Anzahl Organisationen pro 1 Millionen Einwohner	14,9	16,6	20,3	33,6

In Tab. 1 werden die vier Länder der europäischen Union aufgezeigt, die die größte Anzahl an EMAS-Organisationen aufweisen. Die Anzahl ist in Deutschland am größten, bezieht man die Daten jedoch auf die Einwohnerzahl, so zeigt Österreich mit Abstand den größten Wert. In allen anderen Ländern der EU beträgt die Zahl weniger als 100 Organisationen und Unternehmen. Insgesamt haben sich in der EU bis Oktober 2015 3883 Organisationen mit 11403 Standorten für das Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung entschieden (Umweltgutachterausschuss, 2015c und Statista GmbH, 2015).

Ausblick

Nicht nur für die Umwelt sind Umweltmanagementsysteme von Vorteil. Durch Ressourcen- und Emissionseinsparungen und daraus folgende Verminderungen der Betriebskosten können die Unternehmen und Organisationen selbst davon profitieren. Außerdem lässt sich ein erfolgreich geführtes Umweltmanagementsystem hervorragend als Marketing-Objekt verwenden, da der Trend hin zum Umweltschutz kontinuierlich steigt. Der Bevölkerung wird immer bewusster, dass die Umwelt eine natürliche Lebensgrundlage darstellt. Daraus folgt unweigerlich, dass mit den natürlichen Ressourcen, die begrenzt sind, sparsam umgegangen werden muss (Rogalla, C., 2004, Kap. 2.8).

Leider ist es durch gesellschaftliche und wirtschaftliche Gegebenheiten für die meisten Unternehmen schwierig, die Einführung eines Umweltmanagementsystems allein durch die Verantwortung gegenüber der Umwelt, deren Bewohnern und den zukünftigen Generationen zu begründen, da es der unternehmerische Profit ist, der stets als Maß der Dinge gilt.

Literaturverzeichnis

- B.A.U.M. Consulting GmbH, 2012. ÖKOPROFIT in NRW - Umfrage unter 1.200 ÖKOPROFIT-Betrieben in Nordrhein-Westfalen
- Bayrisches Landesamt für Umwelt, zuletzt abgerufen am 11.11.2015. Infozentrum UmweltWirtschaft, URL:http://www.izu.bayern.de/praxis/detail_praxis.php?pid=0205010100207
- Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2014. UmweltWissen - Gesellschaft. Betrieblicher Umweltschutz mit Umweltmanagementsystemen
- Becke, G., Meschkutat, B., Gangloff, T., Weddige, P., 2012. Dialogorientiertes Umweltmanagement und Umweltqualifizierung: Eine Praxishilfe für mittelständische Unternehmen
- Drews A., Förtsch G., Krinn H., Mai G., Meinholz H., Pleikies M., Seifert E., 1996. Realisierung eines Integrierten Umweltmanagementsystems
- Europäisches Parlament und Rat, 2009. Verordnung (EG) Nr. 1221/2009: Verordnung über die freiwillige Teilnahme von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung
- für Mittelfranken - zentrale QuB-Stelle, zuletzt abgerufen am 09.11.2015. Der QuB und Kriterien und Anforderungen, URL: http://qub-info.de/derquh/der_quh.php und http://qub-info.de/derquh/kriterien_und_anforderungen.php
- Köhn-Ladenburger Christiane, 2013. Eine nachhaltige Vision und Umweltmanagementsysteme im Unternehmen. In: Marketing für LOHAS - Kommunikationskonzepte für anspruchsvolle KundenHandwerkskammer
- Rogalla, C., 2004. Umweltmanagementsysteme
- Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, zuletzt abgerufen am 11.11.2015, Umweltallianz, URL: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/ua/8897.htm>
- Schierenbeck Henner, 2003. Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre
- Statista GmbH, zuletzt abgerufen am 29.11.2015. Europäische Union: Gesamtbevölkerung in den Mitgliedsstaaten im Jahr 2014, URL: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/164004/umfrage/prognostizierte-bevoelkerungsentwicklung-in-den-laendern-der-eu/>
- Statistisches Bundesamt, zuletzt abgerufen am 28.11.2015,
- a, Industrie, Verarbeitendes Gewerbe, URL: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/IndustrieVerarbeitendesGewerbe.html>
- b, Volkswirtschaftlich Gesamtrechnungen – Bruttoinlandsprodukt, URL: http://www.statistikportal.de/Statistik-Portal/de_jb27_jahrtab65.asp
- c, Anteil der Industrie am BIP seit 20 Jahren nahezu konstant, URL: https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2015/04/PD15_124_811.html
- TÜV-SÜD AG, zuletzt abgerufen am 28.10.2015
- a, Managementsysteme, URL: http://www.tuev-sued.de/management_systeme
- b, ISO 14001, URL: <http://www.tuev-sued.de/management-systeme/umwelt/iso-14001>
- c, http://www.tuev-sued.de/management-systeme/umwelt/iso-14001#anchor_1369663748121423980778
- Umweltbundesamt, 2010. Rohstoffeffizienz - Wirtschaft entlasten, Umwelt schonen
- Umweltbundesamt, zuletzt abgerufen am 28.11.2015. ISO 14001 – Umweltmanagementsystemnorm, URL: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/wirtschaft-umwelt/umwelt-energiemanagement/iso-14001-umweltmanagementsystemnorm>
- Umweltgutachterausschuss (UGA) beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, zuletzt abgerufen am 28.11.2015, EMAS
- a, Über EMAS, URL: <http://www.emas.de/ueber-emas/>
- b, Umwelterklärung, URL: <http://www.emas.de/teilnahme/umwelterklaerungen/>
- c, EMAS in Zahlen - Statistiken, URL: <http://www.emas.de/ueber-emas/emas-in-zahlen/>
- Weigert, J., 2010. Der Weg zum Leistungsstarken Qualitätsmanagement

Curriculum Vitae

Iris Maria Ranz

Ausbildung:

- | | |
|-----------|--|
| 2011 | Abitur Nikolaus Kopernikus Gymnasium Weißenhorn |
| 2011-2014 | Bachelor-Studium der Technischen Biologie an der Universität Stuttgart |
| Seit 2015 | Master-Studium Umwelt- und Verfahrenstechnik an der Hochschule Ravensburg-Weingarten |

Umweltbewusster Weg zur Arbeit – Wie können die Unternehmen den Arbeitsweg ihrer Mitarbeiter nachhaltig gestalten?

Andrea Brunner¹, Veronika Ochs²

¹HTWG Konstanz, 78462 Konstanz, E-Mail: a.brunner91@web.de

²Hochschule Ravensburg-Weingarten, 88250 Weingarten, E-Mail: VeronikaOchs@gmx.de

Abstract

The topic of the following article is how companies can shape commuting of their employees in a sustainable and eco-friendly way.

First, the current situation of commuters in Germany is analyzed. Average commuting distance and time are pointed out, as well as the use of different means of transportation for commuting. Burdens, both psychological ones of commuters and environmental burdens based on CO₂-emission are outlined.

Furthermore, this article shows strategies how companies can intervene in the commuting process. Therefore, various examples of different companies are given.

Embraced by the term “mobility management”, corporate strategies to build carpools or to promote the use of public transport are discussed. One focal point of this paper is bicycle traffic. Since a bicycle or an e-bike is handled by law as a company vehicle, interesting funding programs are possible for employees.

The last part of the article shows that company programs for a sustainable commuting process are well accepted by commuters. However, mobility management is still not well-established in every company. It's still a long way to go until commuting is sustainable and eco-friendly.

Gründe für die nachhaltige Gestaltung des Arbeitsweges

Rund 17 Millionen Menschen in Deutschland pendeln zwischen Heimat- und Arbeitsort. 8,5 Millionen Beschäftigte sind länger als eine Stunde lang unterwegs. Gut sechs Millionen von ihnen fahren weiter als 25 km zur Arbeit. Tagtäglich werden so etliche Kilometer zurückgelegt. (Claas, 2014, S.1) Zusammengerechnet entspricht dies jeden Tag der Strecke zur Sonne und zurück.

Wie diese Strecke nachhaltig zurückgelegt werden kann und welche Möglichkeiten Unternehmen haben um den Arbeitsweg ihrer Mitarbeiter¹ aktiv zu beeinflussen, soll im Rahmen dieses Papers anhand verschiedener Beispiele aus der Industrie aufgezeigt werden.

¹ Aufgrund der besseren Lesbarkeit wird in diesem Artikel der Einfachheit halber nur die männliche Form verwendet. Die weibliche Form ist selbstverständlich immer miteingeschlossen.

Aufgabe der Unternehmen

Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein wird in vielen Unternehmen oftmals nur mit technischen Innovationen verbunden. Maschinen und Anlagen sollen noch effizienter arbeiten, dabei weniger Strom und Medien verbrauchen und weniger Emissionen in die Umwelt abgeben. Doch eine langfristig gelebte Nachhaltigkeit bedarf mehr als nur einer stetig verbesserten Technik. Es bedarf der umweltbewussten Einstellung eines jeden Arbeitnehmers. Dies vorzuleben und attraktiv zu machen ist Aufgabe der Unternehmenspolitik.

Distanz zum Arbeitsort

Im Rahmen des letzten Mikrozensus im Jahr 2012 führte das statistische Bundesamt eine Befragung aller deutschen Arbeitnehmer bezüglich ihres Arbeitsweges durch. Betrachtet wurden sowohl die räumliche Distanz vom Wohnort zum Arbeitsplatz als auch die Zeit, die benötigt wird um diesen Weg zurückzulegen.

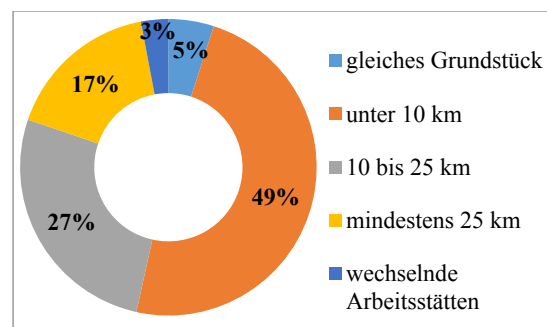


Abbildung 1: Räumliche Distanz zum Arbeitsort (nach: Statistisches Bundesamt, 2014)

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen deutlich auf, dass über die Hälfte aller deutschen Arbeitnehmer täglich einen einfachen Arbeitsweg von bis zu 10 km zurücklegt (siehe Abbildung 1, 54%). Von den restlichen Beschäftigten haben 17% einen einfachen Weg von 25 km oder mehr zur Arbeitsstelle und rund ein Viertel (27%) arbeitet zwischen 10 und 25 km vom Wohnort entfernt. (Statistisches Bundesamt, 2014, S.1)

Zeitlich gesehen brauchen circa dreiviertel aller Erwerbstätigen weniger als eine halbe Stunde vom Verlassen ihrer Wohnung bis zum Erreichen ihres Arbeitsplatzes. Knapp ein weiteres Viertel legt seinen Arbeitsweg in 30 bis 60 Minuten zurück. Nur 5% aller Arbeitnehmer pendeln eine Stunde und länger zur Arbeit, wie Abbildung 2 zeigt (Statistisches Bundesamt, 2014, S.1).

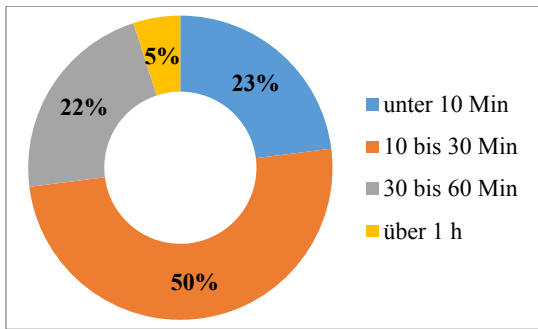


Abbildung 2: Zeitliche Distanz zum Arbeitsort (nach: Statistisches Bundesamt, 2014, S.1)

Psychische Belastung durch Pendeln

Die psychische Belastung durch das Pendeln wird von jedem Arbeitnehmer individuell anders wahrgenommen. Pendeln stellt einen enormen Stressfaktor dar, der nachweislich zu einem erhöhten psychischen und somatischen Leidensdruck führt (Blickle, 2005, S.84). Dabei ist laut Blickle die Zeit, die für den Weg zur Arbeit und nach Hause aufgewandt wird entscheidender als die zurückzulegende Distanz.

In einer Studie des US-Psychologen Daniel Kahneman wurden 900 texanische Arbeitnehmerinnen zu ihrer Lebenseinstellung und ihren Alltagsaktivitäten befragt. In dieser Studie wurde unter anderem die Stimmung der Probandinnen bei den jeweiligen Tagesabschnitten betrachtet. Dabei kristallisierte sich heraus, dass der Weg zur Arbeit negativer und mit mehr Stress belegt war als die Arbeitszeit selbst. Die Frauen waren schlechter gelaunt, gereizt und verspürten insgesamt weniger Freude. Einzelne Mitarbeiter sprachen vom Pendeln sogar als „Horrortrip“ (Kahneman et al, 2004, S.1776)

Aber nicht nur die Psyche der Berufspendler leidet. Auch die Umwelt wird durch Schadstoffemissionen und Lärm belastet. Vor allem in Ballungsräumen ist Stau und Smog ein großes Problem.

CO₂-Emissionswerte nach Verkehrsmittel

In der folgenden Tabelle findet sich ein Vergleich an CO₂-Emissionen verschiedener Personentransportmittel auf Kurzstrecken (Verkehrsclub Deutschland, 2015, S.1). Betrachtet wurde in diesem Beispiel eine deutsche, innerstädtische Kurzstrecke, wie sie in ihrer Länge tagtäglich von tausenden Arbeitnehmern zurückgelegt wird. Die Teststrecke befindet sich in Berlin und erstreckt sich dort vom Schlesischen Tor bis zur Humboldt-Universität. Per Luftlinie beträgt die Strecke circa 4 km, die kürzeste Route für Kraftfahrzeuge ist ungefähr um den Faktor 1,5 länger (6,5 km).

Tabelle 1: CO₂-Emissionen verschiedener Personentransportmittel auf Kurzstrecken (nach: Verkehrsclub Deutschland, 2015, S.1)

Kurzstrecke	Rad	Öffentliche Verkehrsmittel	PKW (1 Person)	Zu Fuß
Entfernung	4,0 km	5,9 km	6,5 km	4,0 km
Kosten	0,36 €	2,10 €	3,64 €	0,00 €
Zeit	14 min	26 min	23 min	49 min
CO ₂ -Ausstoß	0,0 kg	0,4 kg	1,1 kg	0,0 kg

Radfahren und zu Fuß gehen liegen laut Tabelle 1 bezüglich der anfallenden Kosten und CO₂-Emissionen mit deutlichem Abstand auf Platz 1.

Unter den Berufspendlern, welche diese beiden Fortbewegungsarten aus Zeitmangel oder aufgrund Witterungsbedingungen nicht wahrnehmen können, zeichnet sich im Vergleich zwischen öffentlichen Verkehrsmitteln und der alleinigen Fahrt im eigenen PKW ein sehr deutlicher Vorteil der öffentlichen Verkehrsmittel ab. Bus und Bahn brauchen für diese Strecke nur 3 Minuten länger als die Fahrt mit dem Auto dauert (siehe Tabelle 1) Dafür werden bezogen auf den PKW rund 45% der Fahrtkosten und zwei Drittel der CO₂-Emissionswerte eingespart (Verkehrsclub Deutschland, 2015, S.1).

Anhand der CO₂-Emissionswerte für Bus und PKW lassen sich auch Fahrgemeinschaften trotz fehlender expliziter Daten sehr gut charakterisieren. Die CO₂-Emission bei öffentlichen Verkehrsmitteln (Bus, Bahn) liegt bei 0,4 kg CO₂ / Person. Um einen ähnlichen Wert mit Fahrgemeinschaften im PKW zu erreichen, müssten sich mindestens drei oder mehr Berufspendler zusammenschließen (PKW mit einer Person: 1,1 kg CO₂ + Toleranz, da Gewichtszunahme bei mehreren Mitfahrern).

Prozentuale Nutzung der jeweiligen Fortbewegungsmittel im Berufspendelverkehr

Tabelle 1 zeigt nicht nur auf, wie viele Emissionen durch die Wahl der jeweiligen Verkehrsmittel eingespart werden können, sondern auch welche Alternativen es zur Fahrt mit dem eigenen PKW gibt:

- Zu Fuß gehen
- Fahrrad oder eBike
- Öffentliche Verkehrsmittel (Bus, Bahn)
- Fahrgemeinschaften

Allerdings werden diese Alternativen bislang wenig genutzt. Wie die Stiftung für Zukunftsbefragung in einer Studie aus dem Jahr 2014 zeigt, gelangen über die Hälfte aller deutschen Arbeitnehmer mit dem eigenen PKW zur Arbeit. Rund jeder Fünfte (19%, siehe Abbil-

dung 3) nutzt Bus und Zug (sowohl öffentlicher Nahverkehr als auch die Deutsche Bahn auf Fernstrecken), während ein Viertel zu Fuß oder mit dem Fahrrad zur Arbeit gelangt. (Stiftung für Zukunftsbefragung, 2014, S.1)

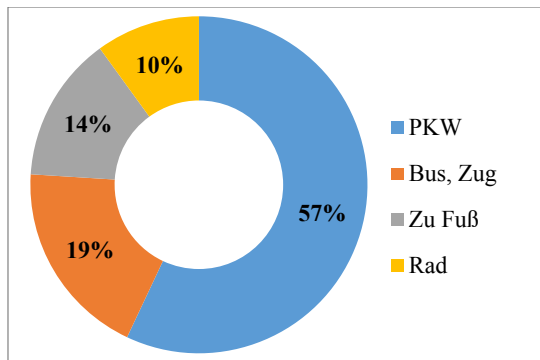


Abbildung 3: Prozentuale Verkehrsmittelnutzung im deutschen Pendlerverkehr 2014 (nach: Stiftung für Zukunftsbefragung, 2014)

Betriebliches Mobilitätsmanagement

Vermeint zeigen Firmen ihr Interesse daran, den Arbeitsweg ihrer Mitarbeiter nachhaltig zu gestalten, um so Emissionen aus dem Pendelverkehr zu reduzieren und einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten. (VAUDE, 2015, S.1) Dafür setzen Unternehmen gezielt das sogenannte betriebliche Mobilitätsmanagement als Instrument ein. (Wesp, 2015, S.1) Parallel zur umweltorientierten Verkehrsgestaltung und der daraus resultierenden Verringerung der Abgas- und Lärmemissionen, fließen auch soziale, gesundheitliche und wirtschaftliche Vorteile in ein betriebliches Mobilitätsmanagement hinein. (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, o. J., S.1-2) Jedes Unternehmen gestaltet sein Mobilitätsmanagement individuell, passt es seinen Unternehmenszielen an und bietet seinen Mitarbeitern dadurch unterschiedliche Möglichkeiten und Anreize an. (VAUDE, 2015, S.1)

Im Folgenden werden einige Maßnahmen, die im Rahmen des betrieblichen Mobilitätsmanagements umgesetzt werden, genannt und beschrieben.

Fußgängerverkehr

Um den Fußgängerverkehr zu steigern, sind Maßnahmen im Bereich der Infrastruktur, Verkehrsorganisation und Komfort erforderlich. (Herry, Schuster, Thaler. 2000, S.30)

Verbesserungen der Infrastruktur

Fußwege zu Bahnhöfen oder Bushaltestellen sollten ins Bauprogramm von Unternehmen aufgenommen werden. Zur Steigerung der Verkehrssicherheit sollten Gehwege gekennzeichnet sein und Schutzwege, Aufpflasterungen und Überquerungshilfen bei den Zugängen zum Betrieb errichtet werden. (Herry, Schuster, Thaler. 2000, S.30)

Komfort für Fußgänger

Wegweiser erleichtern den Weg zum Arbeitsort. Durch günstig gelegene Fußgängereingänge auf das Betriebsgelände lassen sich unnötige Umwege minimieren. Im Winter können Unternehmen den Arbeitsweg für ihre Arbeitnehmer durch einen konsequenten Winterdienst erleichtern und zeigen, dass die Fußgänger als Verkehrsteilnehmer geschätzt werden. (Herry, Schuster, Thaler. 2000, S.30-31)

Fahrradverkehr

Ist ein Spaziergang für Arbeitnehmer zu lang oder zu zeitaufwendig, kann der Weg vom Wohn- zum Arbeitsort auch mühelos mit dem Fahrrad gefahren werden. Da das Fahrrad ein gesundheitsförderndes und umweltfreundliches Verkehrsmittel ist, haben viele Unternehmen ein sogenanntes „Radförderprogramm“ aufgestellt. (VAUDE, 2015, S.1)

Bereitstellung von Fahrrädern

Damit mehr Mitarbeiter mit dem Fahrrad zur Arbeit kommen, stellen Unternehmen ihren Mitarbeitern kostenfreie Fahrräder zur Verfügung. Mitarbeiter, welche kein oder ein defektes Fahrrad besitzen, können sich mühelos eins leihen. Mitarbeiter, die mit dem Zug anreisen, haben so die Möglichkeit die restliche Strecke vom Bahnhof zur Arbeitsstelle bequem mit dem Fahrrad zu fahren. So können sie einen Beitrag zur nachhaltigen Gestaltung des Arbeitsweges leisten. (Arvato, 2014, S.1) Einige Betriebe übernehmen die zusätzlichen Kosten für die Mitnahme des Fahrrades im Zug. (Herry, Schuster, Thaler. 2000, S.34)

Komfort für Radfahrer

Eine weitere Förderung aus Unternehmenssicht ist die Bereitstellung ausreichender Fahrradstellplätze. Die Fahrradstellplätze sind zudem überdacht, beleuchtet (VAUDE, 2015, S.1) und sind an geeigneten Stellen platziert, wie am Werkstor, vor jeweiligen Gebäudeeingängen oder in Tiefgaragen. Durch die Installation von speziellen Fahrradschleusen und Drehkreuzen an den Eingangstoren erhalten auch mit dem Rad anreisende Mitarbeiter Zugang zum Betriebsgelände. Die Radförderprogramme umfassen auch die Bereitstellung von Umkleieräumen, Trockenschränken und Duschmöglichkeiten. So bekommen Mitarbeiter, welche mit dem Rad zur Arbeit kommen, die Gelegenheit, ihre feuchte Kleidung vor Arbeitsbeginn zu wechseln, aufzuhängen und bei Bedarf zu duschen. Einschließmöglichkeiten für Fahrradzubehör, Taschen und Helme sind ebenfalls inbegriffen. (Deutsches Institut für Urbanistik, 2010, S.3)

Fahrradservice

Wartungs- und Reparaturwerkstätten auf dem Unternehmensgelände ermöglichen es, kleinere Fahrraddefekte während eines Arbeitstages zu beheben. (Deutsches Institut für Urbanistik, 2010, S.4) Fahrtechnik- und Reparaturkurse (VAUDE, 2015, S.1) sowie eine betriebliche Förderung einer Fahrraddiebstahlversicherung sind gutes Mittel zur Förderung der Attraktivität

des Radfahrens. Durch gezielte Serviceaktionen kann speziell die Zielgruppe der Arbeitnehmerinnen ihre Fahrräder auf Verkehrstauglichkeit überprüfen. Bei den Reparaturen müssen nur die Materialkosten bezahlt werden; die Personalkosten werden vom Betrieb übernommen. (Herry, Schuster, Thaler. 2000, S.32-33)

Bereitstellung von eBikes

Für Mitarbeiter, welche den Arbeitsweg nicht vollständig mit dem Fahrrad zurücklegen können, bietet das eBike eine umweltfreundliche Alternative. Zahlreiche Unternehmen stellen ihren Mitarbeitern nicht nur kostenlose Fahrräder sondern auch Leih-eBikes zur Verfügung. Zusätzlich können Mitarbeiter ihre privaten eBikes kostenlos auf dem Betriebsgelände betanken. (VAUDE, 2015, S.1)

eBike- Leasingverträge

Weil die Anzahl an eBikes meist nur begrenzt ist und die private Anschaffung mit hohen Kosten verbunden ist, geben nachhaltig engagierte Arbeitgeber oft Zuschüsse oder bieten vergünstigte Leasingverträge an. (Wesp, 2015, S.1) So ist dank steuerlicher Vorteile und betrieblicher Zuschüsse eine Ersparnis von bis zu 45% gegenüber dem privaten Kauf möglich. (Arvato, 2014, S.1) In der folgenden Tabelle ist ein eBike-Leasingvertrag beispielhaft dargestellt. (KNOLL, 2015)

Tabelle 2: Beispiel für ein eBike-Leasingvertrag

	Gehaltsabrechnung ohne eBike	Gehaltsabrechnung mit eBike im Wert von 2.299€
Bruttogehalt	2.000,00 €	2.000,00 €
Abzüglich Leasingrate	0,00 €	-80,25 €
Zuzüglich geldwerter Vorteil (1% vom Neupreis)	0,00 €	+22,00 €
Berechnungsgrundlage zur Versicherung	2.000,00 €	1.941,75 €
Abzüglich Steuern und Sozialversicherungsbeiträge	-642,83 €	-615,96 €
Nettogehalt	1.357,17 €	1.325,78 €
Abzüglich versteuerten geldwerter Vorteil	0,00 €	-22,00 €
Auszahlungsbetrag auf das Konto	1.357,17 €	1.303,78 €

Viele erfüllen sich auf diesem Weg einen Herzenswunsch, wenn teure Geräte dank eines günstigen Lea-

singmodells plötzlich erschwinglich sind. Das Leasingmodell basiert darauf, dass Dienstfahräder seit 2012 dem Dienstauto steuerlich gleichgestellt sind und die private Nutzung unter Anwendung der 1-Prozent-Regelung erlaubt ist. Das bedeutet, dass Dienstradnutzer einen kleinen Teil ihres Bruttogehaltes in ein Dienstfahrrad umwandeln. 1% des Bruttopreises ihres Fahrrades wird als geldwerter Vorteil steuerlich geltend gemacht. (Wesp, 2015, S.1) Die Leasingraten werden dabei bequem über die Entgeltabrechnung beglichen (siehe Tabelle 2). Ein weiterer Vorteil ist die Rundumschutzversicherung, die in der monatlichen Leasingrate enthalten ist. Diese bewirkt, dass alle sonstigen, anfallenden Kosten für die Dauer des Leasingvertrags gedeckt sind. (KNOLL, 2015)

Vergleicht man beide Gehaltsabrechnungen miteinander, so ergibt sich eine monatliche effektive Leasingrate von 53,39 € (=1.357,17 € - 1.303,78 €).

Die Leasinglaufzeit beträgt in der Regel drei Jahre. So betragen die Gesamtkosten über die gesamte Leasinglaufzeit 1.922,04 € (=53,39 € * 36 Monate).

Zum Vergleich: Das eBike hat einen Wert von 2.299 €, somit ergibt sich ein Kostenvorteil von 376,96 € plus gesparte Kosten für Reparatur- und Verschleißkosten, welche innerhalb der drei Jahre ohne Rundumschutzversicherung anfallen würden. (KNOLL, 2015)

Einige Unternehmen wie die Arvato AG planen für die Zukunft auch eine Kombinationsmöglichkeit mit dem Dienstwagen. Mitarbeiter, welche freiwillig auf ein umweltfreundlicheres Fahrzeug umsteigen, sollen für den Differenzbetrag zum ursprünglichen Dienstwagen zusätzlich ein E-Bike, Mountain-Bike, City-Bike oder Rennrad erhalten. Die Arvato AG möchte auf diesem Weg aktiv die Bereitschaft seiner dienstwagenberechtigten Mitarbeiter zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes unterstützen. (Arvato, 2014, S.1)

Kfz-Verkehr

Förderung von Fahrgemeinschaften

Weil viele Arbeitnehmer auf ihr Auto angewiesen sind, empfehlen Unternehmen die Bildung von Fahrgemeinschaften und unterstützen ihre Mitarbeiter dabei. (Ecotastic, 2013, S.1)

Einige Firmen kooperieren deshalb mit dem sogenannten „social mobility network“. Auf Plattformen wie beispielsweise „flinc“, bilden Unternehmen eigene Mitfahrgruppen und die Mitarbeiter bekommen die Möglichkeit geboten schnell, unkompliziert und kostenlos Fahrten anzubieten und Mitfahrten zu finden. (VAUDE, 2015, S.1) Im firmeneigenen Intranet bieten Unternehmen ihren Mitarbeitern an, ebenfalls Fahrgemeinschaften aufzusuchen und sich auf diese Weise mit anderen Kollegen zusammenzufinden. (Ecotastic, 2013, S.1) Mitarbeiter des Softwarekonzern SAP entwickelten sogar eine App, welche Fahrgemeinschaften blitzschnell per E-Mail zusammenbringt. (Claas, 2014, S.1)

Anreize für Fahrgemeinschaften werden außerdem gesetzt, indem Pendler mit mehreren Fahrgästen im

Auto Vorrang bei der Parkplatzvergabe haben. (Claas, 2014, S.1) Für größere Fahrgemeinschaften stellen engagierte Unternehmen sogar jeweils einen Firmenwagen zur Verfügung. Die Mitarbeiter sparen so Geld, die Unternehmen Parkplätze und die Umweltbelastungen durch Emissionen und Energieverbrauch werden reduziert. Um möglichst viele Mitarbeiter zu Fahrgemeinschaften zu motivieren, hat das Unternehmen VAUDE das sogenannte „Mobilitätslotto“ eingeführt. Hier wird wöchentlich ein Sachpreis unter allen Mitarbeitern verlost, die in Fahrgemeinschaften zur Arbeit kommen. Die Mitarbeiter können so Restaurantgutscheine, vegetarische Kochbücher, Fahrradzubehör, Strommessgeräte, etc. für zu Hause gewinnen. (VAUDE, 2015, S.1)

Corporate Car-Sharing

Der Trend zum Car-Sharing ist im privaten Bereich in den letzten Jahren besonders in größeren deutschen Städten angestiegen. Bundesweit stehen die Gemeinschaftsautos in 270 Städten bereit.

Die Vorteile des Konzepts sind in erster Linie geringere Kosten für den Nutzer, da nur ein Mitgliedsbeitrag (Fixkosten für Kfz-Steuer, Versicherungen, etc.) und Kosten für die Nutzung des Fahrzeugs aber keine Anschaffungskosten entrichtet werden müssen. Da die Fahrzeuge nur zur Nutzung geliehen werden, entfallen längere Standzeiten, die Fahrzeugauslastung ist damit effizienter.

Doch Car-Sharing im privaten Sektor geht auch mit Nachteilen einher. Nutzer müssen ein gewisses Maß an Flexibilität mitbringen und sich schnell auf verschiedene Fahrzeuge einstellen. Außerdem war bislang ein großes Manko, dass sich Car-Sharing nicht für Berufspendler eignete. Da die Fahrzeuge über die Nutzungsdauer abgerechnet werden, fallen unrentabel hohe Kosten an, wenn das Fahrzeug den ganzen Tag lang auf dem Firmenparkplatz steht. (Handelsblatt online, 2015, S.1)

Diesem Manko wird beim sogenannten „Corporate Car-Sharing“ entgegen gewirkt. Hierbei sind nicht die Privatpersonen die Car-Sharing-Teilnehmer, sondern die Unternehmen. Das Konzept „Corporate Car-Sharing“ setzt auf eine effizientere und nachhaltigere Nutzung von Fahrzeugen. Im Gebrauch sind meist kleinere, benzinsparende Wagen. Mitarbeiter von teilnehmenden Unternehmen leihen sich nach online-Reservierung das Fahrzeug aus, die Abrechnung erfolgt als Dienstfahrt über die Firmen.

Für Berufspendler ist das Corporate-Car-Sharing insofern interessant, dass die geliehenen Dienstwagen gegen geringe Gebühr nach Dienstschluss zur privaten Verfügung stehen. So kann ein Berufspendler beispielsweise morgens mit dem Gemeinschaftsauto zur Arbeit, das Fahrzeug wird tagsüber für verschiedene Dienstfahrten anderer Mitarbeiter oder gar anderer Unternehmen genutzt, abends kann er mit demselben oder mit einem anderen Fahrzeug nach Hause fahren. (Hecking, 2015; S.1) Dies bietet eine gewisse Flexibili-

tät für den Arbeitnehmer. Er kann beispielsweise morgens mit dem Fahrrad oder öffentlichen Verkehrsmitteln anreisen und abends mit einem Car-Sharing-Auto nach Hause fahren.

Corporate Car-Sharing ist in Deutschland bislang erst in der Anlaufphase. In Frankreich wurden damit vor allem in wirtschaftsstarken Regionen viele große Unternehmen bedient, beispielsweise L’Oreal, Airbus und Danone. (Hecking, 2015; S.1)

Öffentliche Verkehrsmittel

Einige Unternehmen fördern das Vorhaben „umweltbewusster Arbeitsweg“ aktiv, in dem sie die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel für ihre Mitarbeiter attraktiver gestalten.

Fahrtkostenzuschuss für ÖV-Fahrer

Finanzielle Anreize werden gesetzt, indem Unternehmen die Kosten für öffentliche Verkehrsmittel teilweise oder sogar ganz übernehmen. (Herry, Schuster, Thaler, 2000, S.34) Manche Firmen setzen sich mit den ortsansässigen Verkehrsunternehmen in Verbindung und vereinbaren preiswerte Jobtickets für ihre Mitarbeiter. (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, o. J., S.3, 6)

Verbesserung von Infrastruktur und Angebot des ÖV

Statt in weitere Parkplätze zu investieren, verbessern Unternehmen die Erreichbarkeit ihrer Standorte mit öffentlichen Verkehrsmitteln.

Neben der qualitativen Verbesserung der Zugangswege zu den Bushaltestellen und der ansprechenderen Gestaltung der Bushaltestellen (z. B. Sitzbank und Überdachung), können Unternehmen in Zusammenarbeit mit den Verkehrsverbänden die Ab- und Anfahrzeiten der Busse an die Arbeitszeiten ihrer Mitarbeiter anpassen. Durch zusätzlich verbesserte Abend- und Wochenendangebote wird mehr Flexibilität für den Arbeitnehmer geschaffen. (Herry, et al. 2000, S.34-35)

Ein großes Projekt zu diesem Thema hat die Firma VAUDE gestartet: Der Tettlinger Ortsteil Obereisenbach, in dem sich die Firmenzentrale befindet, war lange Zeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln nur schwer zu erreichen. VAUDE hat hierzu mit Unterstützung des Landkreises Bodenseekreis eine Berufspendlerverbindung eingerichtet, die den Ort an das öffentliche Bus- und Bahnnetz anbindet und so die Infrastruktur enorm verbessert. Die Firmenzentrale wurde auf diese Weise gut in das öffentliche Verkehrsnetz angebunden und Mitarbeiter aus den nahe liegenden Städten haben so im Jahr 2014 mehrere hundert Kilometer mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurücklegen können. (VAUDE, 2015, S.1)

Informationen und Aufklärung für Arbeitnehmer

Damit das Thema „Umweltbewusster Weg zur Arbeit“ stets präsent bleibt, führen Unternehmen sogenannte Mobilitätstage und Aktionswochen durch. Mobilitätsinformationen werden über das Intranet, als Beilage zum

Lohnzettel oder über das Internet kommuniziert. Eine aktive und gezielte Aufklärung von Seiten der Unternehmensleitung ist eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz, Glaubwürdigkeit und den Erfolg des Mobilitätsmanagements. (Herry, Schuster, Thaler, 2000, S.28)

In größeren Unternehmen lassen sich auch zeitweise oder dauerhafte Mobilitätsbeauftragte finden. Ihre Aufgaben sind die verkehrsmittelübergreifende Information (Fahrzeiten, Fahrwege), die individuelle Beratung über Mobilitätsangebote und das betriebsinterne Mobilitätsmanagementprogramm. (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, o. J., S.3) Offene Fragen, ob von Seiten der Mitarbeiter oder der Geschäftsführung, werden von ihnen beantwortet. Außerdem arbeiten Mobilitätsbeauftragte neue Aktionen aus und implementieren diese.

Schlussfolgerung und Ausblick

Mit zunehmendem Bewusstsein über die Bedeutung des Klimawandels ist auch auf Unternehmensebene das Thema Nachhaltigkeit im industriellen Umfeld wichtiger geworden. Dabei sollte sich Umweltbewusstsein und Nachhaltigkeit in Unternehmen nicht nur auf den Produktionsbetrieb und dort auf technische Innovationen beschränken, sondern in allen Unternehmensbereichen gelebt werden. Unternehmen sollen ihre Mitarbeiter dazu motivieren, in Sachen Umweltschutz selbst aktiv zu werden und einen Beitrag zur Emissionseinsparung zu leisten. Dies beginnt bereits auf dem Weg zum Arbeitsort. Durch einfache Maßnahmen und gezielte Anreize ist es Unternehmen möglich, den Arbeitsweg maßgeblich nachhaltig zu gestalten. Ein betriebliches Mobilitätskonzept trägt für eine effizientere und umweltgerechtere Mobilität bei. (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, o.J., S.2)

Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, haben 54% der deutschen Arbeitnehmer einen Arbeitsweg von unter 10 km. Besonders bei dieser Arbeitnehmergruppe besteht großes Potential für einen Umstieg auf Fahrradfahren oder zu Fuß gehen, wenn es das Gelände zulässt. Viele Unternehmen bieten hierfür bereits attraktive Angebote an. Mit Erfolg, wie man am Beispiel der VAUDE GmbH sehen kann. Auf Rückfrage wie die Förderaktionen für Radfahrer und die Bereitstellung von eBikes bei den Mitarbeitern ankommen, kam ein sehr positives Feedback zurück. Die Mitarbeiter nehmen das Angebot besonders in den Sommermonaten sehr gerne an.

Zusätzlich zur Nachhaltigkeitskomponente kommt bei dieser Zielgruppe nämlich der gesundheitliche Aspekt dazu. Nicht nur der Energieverbrauch und die CO₂-Einsparungen sind ein Anreiz, sondern vor allem auch die Steigerung der persönlichen Fitness und ein körperlicher Ausgleich zum schreibtischlastigen Arbeitsalltag. Von gesunden und fitten Mitarbeitern profitieren letztendlich auch die Unternehmen. Außerdem muss Radfahren keineswegs länger dauern als die Fahrt mit

öffentlichen Verkehrsmitteln, wie in Tabelle 1 ersichtlich ist. Meist hat man eine Strecke schneller mit dem Rad zurückgelegt, als an der Bushaltestelle zu warten und anschließend mit dem Bus durch Innenstadtbereich zu fahren.

Auch Radförderprogramme erzielten gute Ergebnisse. Sie bessern das Umwelt-Image der Unternehmen auf und wirken nebenbei dem Parkplatzmangel entgegen. (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, o. J., S.2) Mobilität und Umweltschutz sind in der heutigen Zeit gleichsam mit Gesundheit und Wohlbefinden für Unternehmen und Arbeitnehmer wichtige Themen. (Herry, Schuster, Thaler, 2000, S.11) Bei richtiger Umsetzung kann ein positiver Effekt für beide Parteien erzielt werden.

Auch Strecken über 10 km, wie sie 46% der deutschen Arbeitnehmer täglich zurücklegen (siehe Abbildung 1) müssen nicht zwangsläufig mit dem Auto gefahren werden. Mit der richtigen Verbindung können sie problemlos und bequem mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden. Während Berufspendler mit dem Auto im Stau stecken, kann in öffentlichen Verkehrsmitteln gemütlich Zeitung gelesen werden. (Ecostatic, 2013, S.1) Zusätzlich wird das Verkehrssystem entlastet. Durch finanzielle Anreize in Form von Fahrtkostenzuschüssen erhöhen Unternehmen die Motivation ihrer Mitarbeiter, die öffentlichen Verkehrsmittel in Anspruch zu nehmen.

Und selbst Arbeitnehmer, die ohne Alternative auf ein Auto angewiesen sind, können ihren Beitrag zur Nachhaltigkeit durch die Nutzung von Fahrgemeinschaften leisten. Die Aktionen, Fahrgemeinschaften durch beispielsweise Parkplatzprivilegien oder Intranet-Ausschreibungen zu fördern, wie wir es beispielsweise bei VAUDE gesehen haben, motivieren die Mitarbeiter sehr. Zusätzlich zur Nachhaltigkeit kommt hier der soziale Aspekt hinzu. Beim gemeinsamen zurücklegen des Arbeitsweges ergeben sich gute soziale Kontakte quer durch das gesamte Unternehmen. Die psychische Belastung des Pendelns wird durch die Gemeinschaft gesenkt und auch die Unternehmen profitieren von besserer Kommunikation zwischen den einzelnen Abteilungen, wenn die Mitarbeiter sich persönlich besser kennen.

Letztendlich liegt die Wahl des Fortbewegungsmittels für den Arbeitsweg jedoch beim Arbeitnehmer selbst. Die Rolle der Unternehmen liegt darin, durch finanzielle und soziale Anreize den Mitarbeiter in eine nachhaltige Richtung zu lenken.

Dies wird trotz vieler Beispiele in diesem Artikel noch von lange nicht allen Unternehmen getan. Für die Zukunft ist zu sagen, dass besonders größere Konzerne noch sehr viel Potenzial besitzen, auf die Bedürfnisse der Berufspendler einzugehen. (Claas, 2014, S.1)

Literatur

- Arvato AG (Hrsg). 2014. Arvato fördert Mobilität, Nachhaltigkeit und Gesundheit per Rad, URL: <http://www.bertelsmann.de/verantwortung/projekte/projekt/arvato-foerdert-mobilitaet-nachhaltigkeit-und-gesundheit-per-rad.jsp>, 09.12.2015
- Blickle, Wolfgang. 2005. Darstellung und Analyse besonderer Belastungseffekte bei Berufspendlern (Dissertation). Universität Ulm, Seite 65-84
- Claas, Tatje. 2014. Die Pendlerrepublik. In: Zeit Online, URL: <http://www.zeit.de/2014/22/mobilitaet-pendler-arbeitsweg/komplettansicht>, 07.12.2015
- Deutsches Institut für Urbanistik (Difu) GmbH (Hrsg). 2010. Betriebliches Mobilitätsmanagement- Mit dem Fahrrad zur Arbeit, URL: http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/transferstelle/downloads/for_s-01_betriebliches-mobilitaetsmanagement.pdf, 05.12.2015
- Ecotastic. 2013. Nachhaltig handeln auf dem Arbeitsweg und am Arbeitsplatz, URL: <http://www.ecotastic.de/nachhaltigkeit-arbeitsweg-arbeitsplatz>, 04.12.2015
- Handelsblatt (Hrsg.). 22.11.2010. Die Vor- und Nachteile von Car-Sharing. In: Handelsblatt Online, URL: <http://www.handelsblatt.com/auto/ratgeber-service/auto-die-vor-und-nachteile-von-carsharing/3644740.html>, 8.12.2015
- Hecking, Mirjam. 2015. Car-Sharing bei Unternehmen – Dienstwagen für alle! In: Spiegel Online, URL: <http://www.spiegel.de/karriere/berufsleben/dienstwagen-corporate-carsharing-a-1034430.html>, 8.12.2015
- Herry, Max. Schuster, Markus. Thaler, Robert. 2000. Betriebliches Mobilitätsmanagement, URL: http://www.stuttgart.de/europa/moviman/downloads/dokumente/LEBENS MINISTERIUM_AT_Betriebl_MM_DE.pdf, 09.12.2015
- Kahneman, Daniel et al. 2004. A Survey Method for Characterizing Daily Life Experience: The Day Reconstruction Method. In: Science Magazine 306, S. 1776
- KNOLL Maschinenbau GmbH (Hrsg). 2015. In: KNOLLGESUND
- Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden Württemberg. Ohne Jahr. Mobilitätsmanagement für Unternehmen, URL: <https://mvi.baden-wuerttemberg.de/de/mobilitaet-verkehr/nachhaltige-mobilitaet/mobilitaetsmanagement/>, 09.12.2015
- Statistisches Bundesamt. 2014. Berufspendler: Infrastruktur wichtiger als Benzinpreis. URL: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/STATmagazin/Arbeitsmarkt/2014_05/2014_05Pendler.html, 26.11.2015
- Stiftung für Zukunftsfragen. 2014. Forschung aktuell: Mehr als jeder zweite fährt mit dem eigenen PKW zur Arbeit... und braucht hierfür Täglich eine halbe Stunde. In: Newsletter Ausgabe 253, 31.03.2014
- VAUDE GmbH & Co. KG (Hrsg). 2015. Nachhaltigkeitsbericht 2014, URL: <http://nachhaltigkeitsbericht.vaude.com/gri/umwelt/arbeitsweg.php>, 07.12.2015
- Verkehrsclub Deutschland. Ohne Jahr. Verkehrsmittel im Vergleich: Intelligent mobil. URL: <https://www.vcd.org/themen/klimafreundliche-mobilitaet/verkehrsmittel-im-vergleich/>, 02.12.2015
- Wesp, Roswitha. 2015. Work-Bike-Balance per Dienstrad. In: Lebensmittel Zeitung 43, URL: <http://www.lebensmittelzeitung.net/handel/Work-Bike-Balance-per-Dienstrad-112802>, 09.12.2015

Curriculum Vitae

Andrea Brunner

Ausbildung:

- | | |
|-----------|--|
| 2011 | Abitur am Immanuel-Kant-Gymnasium Tuttlingen |
| 2011-2015 | Bachelorstudium Pharmatechnik an der Hochschule Albstadt-Sigmaringen |
| Seit 2015 | Masterstudium Umwelt- und Verfahrenstechnik an der HTWG Konstanz |

Veronika Ochs

Ausbildung:

- | | |
|-----------|---|
| 2011 | Abitur am Wirtschaftsgymnasium Bad Saulgau |
| 2011-2015 | Bachelorstudium Pharmatechnik an der Hochschule Albstadt-Sigmaringen |
| Seit 2015 | Masterstudium Umwelt- und Verfahrenstechnik an der Hochschule Ravensburg-Weingarten |