

Alexandra Pehlken



Leiterin des Steinbeis-Transferzentrums Ressource

Dr.-Ing. Alexandra Pehlken studierte Bergbau an der RWTH Aachen. Praktika auf Bergbauzechen im Rheinland, in der Eisenerzaufbereitung in Australien, der Kohleaufbereitung in China und Bleirecycling in Südafrika schafften Einsicht in diverse Kulturen und deren Umgang mit Technologie. Getrieben von einem hohen Umweltbewusstsein promovierte sie im Fachbereich Aufbereitung-Bergbau an der RWTH Aachen in 2002 über den Sekundärrohstoffbereich. Sie begleitete u. a. den Start der Gelben Sack-Sammlung. Zwei Jahre forschte sie an der Natural Resources Canada (NRCan) zum Thema Recycling von Altreifen. Zurück in Deutschland arbeitete sie mehrere Jahre außeruniversitär in der Mischfutterproduktion.

Sie hat einen Lehrauftrag an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Studiengang PPRE Bioenergy zum Thema Erneuerbare Energien und engagiert sich am dortigen Zentrum für Umwelt und Nachhaltigkeit. Seit 2014 leitet sie dort eine Forschergruppe über die Kaskadennutzung von Produkten und dessen Gesamteinfluss auf die Energie- und Materialbilanz. Ihre Ergebnisse aus der Forschung und ihre Erfahrung setzt sie pragmatisch zum Nutzen ihrer Kunden um. In diesem Kontext gründete sie 2015 das Steinbeis-Transferzentrum Ressource, wo sie ihre 20 Jahre Erfahrung in Forschung und Anwendung von Abfalltechnik und Abfallwirtschaft und ihr internationales Netzwerk einbringt. Sie begleitet Firmen, die ihre Material- und Energieeffizienz verbessern und dies prozessbegleitend gestalten wollen. Aber auch die Sichtbarkeit und Vermarktung der gesteigerten Effizienz nach außen bietet das Steinbeis-Transferzentrum Ressource an.

*www.steinbeis.de/su/1942
Kontakt: Alexandra.Pehlken@stuw.de*

Kein Abfall – sondern wertvoller Rohstoff

Einleitung

Wer kennt sie nicht: die Berater, die kurz durch den Betrieb huschen, vielleicht mal den einen oder anderen Mitarbeiter befragen und dann wieder weg sind um am Schreibtisch im Büro einen Bericht zu verfassen, der enthält, wie der Betrieb effizienter werden kann. Einzig vergessen wurde: Sind die vorgeschlagenen Maßnahmen überhaupt realistisch umsetzbar? Ist es auch sozialverträglich und ist dies auch nach Jahren noch vertretbar? Ein Betrieb, bei dem ein gutes Arbeitsklima herrscht, ist unersetzlich. Mitarbeiter, die sich mit dem Betrieb identifizieren, bleiben länger, sind somit erfahrener und leisten damit oft weniger Fehler. Es ist auch bewiesen, dass motivierte Mitarbeiter effizienter arbeiten. Egal welche Bilanz aufgestellt wird: hinter den Zahlen stehen meist Menschen.

Als Leiterin des Steinbeis-Transferzentrums Ressource schaue ich mehr als auf Zahlen und betrachte den Betrieb ganzheitlich, sodass in der Summe und auch langfristig Erfolge erzielt werden. Als Methode dient dabei die Stoffflussanalyse mit der alle Stoff- und Energieströme aufgezeigt werden. Diese Daten können zum Beispiel excelbasiert eingelesen und auch dauerhaft im Betrieb weiterverwendet werden. Diese Werte sind somit nutzbar für das interne Energiemanagementsystem. Natürlich

kennt der Betrieb seine eigenen Materialflüsse oft besser als der hinzugezogene Berater, aber besonders im Bereich Reststoffe und Produktionsausschuss ist ein Denken über den eigenen Tellerrand hilfreich. Reststoffe des einen Unternehmens können zu Rohstoffen eines anderen werden. Ganz im Sinne der Kaskadennutzung werden somit Materialien wiedervernutzt (auch wenn für einen anderen Zweck) und teure Abfallgebühren bleiben erspart. Zur Realisierung braucht es aber ein Netzwerk, eine „shared economy“. Die eigenen aktuellen Forschungen an der Carl von Ossietzky Universität zeigen, dass Energieeffizienz und Materialeffizienz miteinander korrelieren. Abwärmennutzung ist zum Beispiel ein hoch aktuelles Thema, aber wer will schon über die Wiederverwertung von Produktionsausschuss oder Reststoffen sprechen.

**Für den
Produktlebenszyklus
muss es mehr geben
als nur den Blick
auf eine effiziente
Produktion.**

Das Steinbeis-Transferzentrum Ressource legt Wert auf eine ehrliche und konstruktive Zusammenarbeit. Vertrauen steht bei uns an höchster Stelle und wir respektieren die Wünsche des Kunden. Gerne unterstützen wir auch in der Außendarstellung in Form von Beiträgen zur Ressourceneffizienz auf der Firmenhomepage oder auch als App Entwicklung (Android) für den Playstore. Zum Beispiel lassen sich Methoden oder Inhalte zur Ressourceneffizienz gut als Spiel darstellen, mit denen Mitarbeiter oder Kunden mehr zur Effizienz oder Effizienztechnologien erfahren und lernen. Gerne möchten wir diesen Bereich erweitern, da wir damit auch die jüngere Generation leicht erreichen. Auf der Website des Steinbeis-Transferzentrums Ressource und im Playstore gibt es mit Stand Juni 2017 bisher zwei kostenfreie Apps, die das Thema „Ressource“ beinhalten.



Abbildung 1: Comtess-App Screenshot als spielerischer Zugang zum Thema „Regionale Ökosystemdienstleistungen und wertvolle Landschaften“.

Quelle: Steinbeis-Transferzentrum Ressource

Weitere konkrete Forschungsbeispiele, die in dieser Publikation vorgestellt werden, stellen die Themen Bioenergie und Recycling von Autoreifen dar.

Anwendungsfall Altreifen im Kontext Ressourceneffizienz

Autoreifen stehen exemplarisch für eine Vielzahl fester Abfallstoffe, bei denen sich eine ähnliche Methodik und Vorgehensweise anwenden lässt. Sie sind ein ideales Beispiel zur Veranschaulichung der Ressourceneffizienz unter den Aspekten Material- und Energieeffizienz. Zum einen können Altreifen durch mechanische Aufbereitung in weiterverwendbare Gummigranulate (z. B. als Einsatz in Kunstrasen) aufgeschlossen werden und zum anderen erreichen wir mit der Weiternutzung des Gummirohstoffes eine gute Energiebilanz, da kein neuer Gummirohstoff synthetisch hergestellt werden muss oder aber natürliche Rohstoffe wie Kautschuk gänzlich geschont werden.

Für Altreifen kommen grundsätzlich die stoffliche und energetische Verwertung in Frage. Die energetische Verwertung beschränkt sich auf den Einsatz der Altreifen in Zementwerken und Heizkraftwerken. Derzeit ist zu beobachten, dass der Altreifeneinsatz in Zementwerken mit einem Anteil von ca. 40% mit der stofflichen Verwertung über Granulat- und Mehlherstellung gleichgezogen hat (wdk 2016). Vor etwa 10 Jahren war das Verhältnis noch 2:1, d. h. ein Großteil ging in die Zementwerke. Dies zeigt einen deutlichen Wandel in Deutschland zur stofflichen Verwertung. Der stoffliche Verwertungsweg wird unterschieden in die werkstoffliche und rohstoffliche Verwertung. Die Aufbereitung der Altreifen zu Granulat und Mahlgut fällt unter die werkstoffliche Verwertung, welche den Rohstoff Gummi meist für Produkte mit geringeren technischen Anforderungen und für den Einsatz im Ursprungsprodukt liefert. Mit dem Ziel, durch Verfahren wie Pyrolyse, Hydrierung oder Hochtemperaturvergasung chemische Grundstoffe zu erzeugen, die als synthetische Öle, Gase oder Feststoffe dem Stoffkreislauf wieder zugegeben werden können, befasst sich die rohstoffliche Verwertung. Die rohstoffliche Verwertung taucht bisher vor allem in Forschungsprojekten auf, da sich noch keine entsprechende Technologie wirtschaftlich durchgesetzt hat.

Es ist durchaus ökologisch sinnvoll, Altreifen stofflich zu verwerten und nicht als Brennstoffersatz zu verwenden, da Rohstoffe eingespart werden, um neu hergestelltes Gummi zu substituieren. Aber auch hier gibt es Grenzen des Recyclings.

Zusammensetzungen der Altreifen

Die Aufbereitung bzw. das Recycling von Altreifen geht mit der Besonderheit einher, dass Altreifen aus nicht wiederverwendbaren Reifen unterschiedlicher Herkunft, Alter und Größe bestehen. Sie stellen daher ein nicht genau zu spezifizierendes Gemisch von verschiedenartigen Reifen unterschiedlicher Zusammensetzung dar. Ein Wissen über die genaue Zusammensetzung eines Altreifens, der in die Aufbereitungsanlage gelangt, ist in der Praxis aufgrund von Herstellerbetriebsgeheimnissen ausgeschlossen und meist werden Durchschnittszusammensetzungen von Reifenherstellern verwendet, um eine Anlage zu konzipieren. In der Regel werden in einer Anlage zudem sowohl LKW-Reifen als auch PKW-Reifen verwertet, deren Verhältnis aufgrund logistischer Problematik oft nicht genau bezeichnet werden kann. Erschwerend dazu kommt die saisonale Schwankung unterschiedlicher Reifenfabrikate (Beispiel: Sommerreifen – Winterreifen). In der Praxis der Aufbereitung bedingt dies unterschiedliche Belastungen einzelner Aggregate, da LKW-Reifen zu einem höheren Anteil aus Stahl bestehen als PKW-Reifen, aber im Gegenzug weniger Textilanteil beinhalten. Qualitätsunterschiede der Gummiprodukte können außerdem darin basieren, dass nicht nur das Verhältnis von LKW- zu PKW-Reifen variiert, sondern LKW-Reifen einen höheren Anteil an Naturkautschuk und PKW-Reifen mehr synthetischen Kautschuk aufweisen. Eine Kenntnis der oben beschriebenen Sachverhalte kann von existenzieller Wichtigkeit einer Aufbereitungsanlage sein. Eine Übersicht über eine durchschnittliche stoffliche Zusammensetzung eines LKW- oder PKW-Reifens gibt Tabelle 1 (Pehlken 2004).

Zusammensetzung	PKW in Gew.-%	LKW in Gew.-%
Naturkautschuk	22,0	30,0
Synthesekautschuk	23,0	15,0
Aktive Füllstoffe	28,0	20,0
Rayon	4,0	-
Nylon	1,0	1,0
Stahl	13,0	25,0
Öle, weitere Zuschlagstoffe	9,0	9,0

Tabelle 1: Durchschnittliche Zusammensetzung von Altreifen.
Quelle: Pehlken, 2004 nach Asplund 1996

Die in Tabelle 1 angegebenen Werte sind demnach lediglich als Durchschnittswerte anzusehen und können von Fabrikat zu Fabrikat unterschiedlich ausfallen. Genaue Angaben sind von den Herstellern nicht zu erlangen, da besonders im PKW-Bereich un-

terschiedliche Rezepturen für spezielle Qualitäten sorgen, die den Wettbewerb sichern. Bedeutsam sind folgende Unterschiede:

Verhältnis Stahl zu Textilien

LKW-Reifen besitzen einen höheren Anteil an Stahl und weniger Textil als PKW-Reifen. PKW-Reifen neuester Bauart ersetzen Stahlcord durch hochfeste Garne und Corde aus Aramidfasern. Dadurch steigt tendenziell der Textilanteil während der Stahlanteil prozentual sinkt. Es ist zu vermuten, dass über 90 % des Stahlanteils in der Wulst verarbeitet werden und darüber auch wiedergewonnen werden können. Dies sind bedeutende Merkmale, welche in der Aufbereitung der Altreifen Berücksichtigung finden müssen.

Verschiedene Kautschukarten und Mischverhältnisse

Weitere Unterscheidungsmerkmale bei PKW- und LKW-Reifen sind die verschiedenen Kautschukarten und deren Mischungsverhältnis, die in den Reifenmischungen verwendet werden. Besonders im Bereich der PKW-Reifen sorgen verschiedene Kautschukmischungen für unterschiedliche Qualitätsmerkmale, zum Beispiel für Sommer-, Winter- und Hochgeschwindigkeitsreifen. Somit ist die Herstellung eines reinen Gummiproduktes aus Altreifen mit einer definierten Zusammensetzung kaum möglich, da der Aufbereiter oft nicht die Wahl hat, nur eine Sorte an Altreifen anzunehmen. Dies wäre nur über eine werkseigene Rücknahmestelle für Altreifen möglich, in dem der Hersteller seine eigenen ausgedienten Produkte zurücknimmt und diese gezielt in seinem Prozess wieder einsetzt. Jedoch kann dies aufgrund logistischer und wirtschaftlicher Seite kaum eine Alternative darstellen (Pehlken 2005).

Naturkautschuk wird wegen seiner hervorragenden Flexibilität in den Seitenwänden der Reifen eingesetzt, die besonders stark dynamisch beansprucht werden. Daher hat Naturkautschuk im LKW-Reifensektor immer eine besondere Bedeutung gehabt. Bei diesen größer dimensionierten Reifen müssen die verwendeten Kautschuke eine hohe Elastizität aufweisen, um eine zu starke Hitzeentwicklung zu vermeiden. Dies gewährleisten z. B. Naturkautschuk-Vulkanisate durch deren geringe Wärmeleitfähigkeit (Baumann / Ismeier 1998).

Der synthetische Kautschuk wird aus Kohlenwasserstoffverbindungen hergestellt und stellt ebenso Polymere dar, die mit Zusatzstoffen gemischt je nach Anforderungsprofil unterschiedliche Eigenschaftsmerkmale mit sich bringen.

Vulkanisation des Gummis

In der Aufbereitung muss zudem die Vulkanisation des Gummis, welche ein wichtiger Verfahrensschritt in der Herstellung der Reifen ist, berücksichtigt werden. Durch den beigemischten Schwefel werden in einem als Vulkanisation bezeichneten Arbeitsschritt die langen, fadenförmigen Moleküle des Natur- und Synthetikgummis dreidimensional miteinander zu Gummi vernetzt. Nur durch diese Fixierung der Makromoleküle ist es möglich, die elastischen Eigenschaften, die charakteristisch für den Werkstoff Gummi sind, in einem weiten Temperaturbereich zu gewährleisten. Da die Vulkanisation ein irreversibler Prozess ist, ist eine Zerlegung in die Ausgangsbestandteile nahezu unmöglich, was ein weiteres Recycling erschwert. Jedoch zeichnen sich Verfahren ab (zum Beispiel bakterielles oder mechanisches Entvulkanisieren), die die Querverbindungen der Molekülketten zumindest teilweise wieder aufbrechen können (Rohstoffwelt 2013).

Recycling von Altreifen

Nachdem nun die Zusammensetzung der Altreifen unbekannt ist, stellt sich die Frage nach dem *richtigen* Recyclingverfahren. Ein richtig oder falsch gibt es nicht, sondern eher: Was will der Markt? Vorherrschend ist die werkstoffliche Verwertung der Altreifen, die die Herstellung von Gummigranulaten und -mehlen unterschiedlicher Korngröße auf mechanischem Wege umfasst. Durch die Zerkleinerung sollen die stofflichen Bestandteile des Reifens aufgeschlossen werden, um somit separiert werden zu können. Dies gilt insbesondere für die Hauptbestandteile Gummi, Stahl und Gewebe.

Die Zerkleinerung erfolgt generell durch zwei Methoden: Bei der kryogenen Vermahlung wird das Altgummi unter Zuhilfenahme von Stickstoff auf ca. -100°C heruntergekühlt. Dabei verspröden die Gummienteile und lassen sich nach der selektiven Zerkleinerung in einer Hammer- oder Prallmühle von Stahl und Faseranteilen trennen. Im Gegensatz dazu werden bei der ambienten Vermahlung die Altreifen bei Umgebungstemperatur vermahlen und daher ist diese Verfahrensweise durch den Verzicht auf flüssigen Stickstoff in der Regel kostengünstiger.

Während Chips der Korngröße 10 bis 50 mm schon über zwei Zerkleinerungsstufen zu erreichen sind, erfordert die Herstellung von Granulaten (1 bis 10 mm) und Feinmehlen $< 0,5$ mm meist über vier bis sechs Zerkleinerungsstufen. Dabei richtet sich der Einsatz der Zerkleinerungsaggregate an die Anforderungen an das zu erhaltene Produkt. Sehr oft werden Kreislaufführungen des Zerkleinerungsgutes eingesetzt, welche das unerwünschte Grobkorn über eine Absiebung wieder demselben Zerkleinerer zurückführen, um die gewünschte Korngröße und Kornverteilung zu erhalten. Granulate von

einer Korngröße von 4 mm lassen sich theoretisch schon mit zwei Zerkleinerungsstufen herstellen, jedoch ist die Massenausbeute und die Kornverteilung des Produktes eine andere, als die eines Granulates, welches vier oder fünf Zerkleinerungsstufen durchlaufen hat. Im Folgenden werden einige eingesetzte Aggregate in der Altreifenzerkleinerung vorgestellt, die Gummigranulate und -mehle mit unterschiedlichen Eigenschaften erzielen können (Pehlken 2004).

Je nach Korn- oder Granulatgröße aus den verschiedenen Zerkleinerungsarten sind unterschiedliche Einsatzgebiete zur Verwertung möglich, wie in Tabelle 2 vorgestellt. (Pehlken 2005).

Für die rohstoffliche und energetische Verwertung kann die Aufbereitung von Altreifen unter Umständen viel kostengünstiger ausfallen. Verwendung der warmvermahlenden Granulate zeigt sich unter anderem in der Zugabe bei Neureifenmischungen (Anteil nur maximal 1,5 Gewichtsprozent, laut Herstellerangaben) oder anderen technischen Elastomerprodukten, wie Fußbodenbelägen, Teppichrücken oder Sportplatzböden in Form von Unterboden für Kunstrasen. Außerdem kann das Granulat als Ölbindemittel eingesetzt werden und findet Verwendung als Gummiasphalt im Straßenbau.

Produkt	Korngrößen	Zerkleinerungsart
Sporthallenböden, Laufbahnen	2–5 mm	ambient
Gummiformsteine (Spielplatz), Hockeyfußballplätze	3–7 mm	ambient
Unterlageteppich	0,8–2,5 mm	ambient
Automatten	bis 0,8 mm	ambient / kryogen
Modifizierung von Bitumen	bis 0,8 mm	ambient / kryogen
Dachbahnen	bis 0,4 mm	ambient / kryogen
Bautenschutzmatten	0,8–2,5 mm	ambient
Kautschukmischungen für Reifen, Schuhsohlen, Gummimatten	0,2–0,8 mm	ambient / kryogen
oberflächenbehandeltes Gummimehl	bis 0,8 mm	ambient / kryogen
Ölbindemittel	0,8–3 mm	ambient

Tabelle 2: Gummiprodukte aus Gummi von Altreifenrecycling.
Quelle: Pehlken, 2005

Der gewonnene Stahl aus den Reifen hat Drahtqualität und ist mit verschiedenen Legierungen versehen, die von einigen Stahlhütten nicht gewünscht sind. Allerdings ist

noch kein Altreifenrecycler auf seinem Stahl sitzen geblieben, die Erlöse liegen auf dem Niveau von Stahlschrott.

Die Textilfasern dagegen stellen immer noch ein Aufbereitungsproblem dar. Für diesen Materialstrom kommt nur die energetische Verwertung in Frage. Hier sind die derzeit interessantesten Forschungsvorhaben zu finden, die sich in der Mehrzahl in der Bau-branchen wiederfinden.

Kaskadische Verwertung

Herstellung von Synthetikautschuk in der Altreifenaufbereitung ist sehr energieintensiv mit 43,4 kWh / kg. Der Heizwert von Altreifen beträgt aber nur 9,0 kWh / Kg. Diese Zahlen zeigen deutlich, dass hier bei der energetischen Verwertung von Altreifen ein hoher Verlust in der ganzheitlichen Energiebilanz zu sehen ist. Daher ist zu empfehlen, Altreifen stets kaskadierend zu nutzen. Nachdem der Reifen nicht mehr am Auto wiederverwendet (Reuse) werden kann, sollte er mechanisch aufbereitet und in die Materialströme Gummi, Fasern und Stahl getrennt werden. Hier tritt nun der 2. Lebenszyklus einer neuen Nutzungsphase (Recycle) an, wonach sich immer noch in einer letzten Kaskade die energetische Verwertung (Recovery) anschließt.

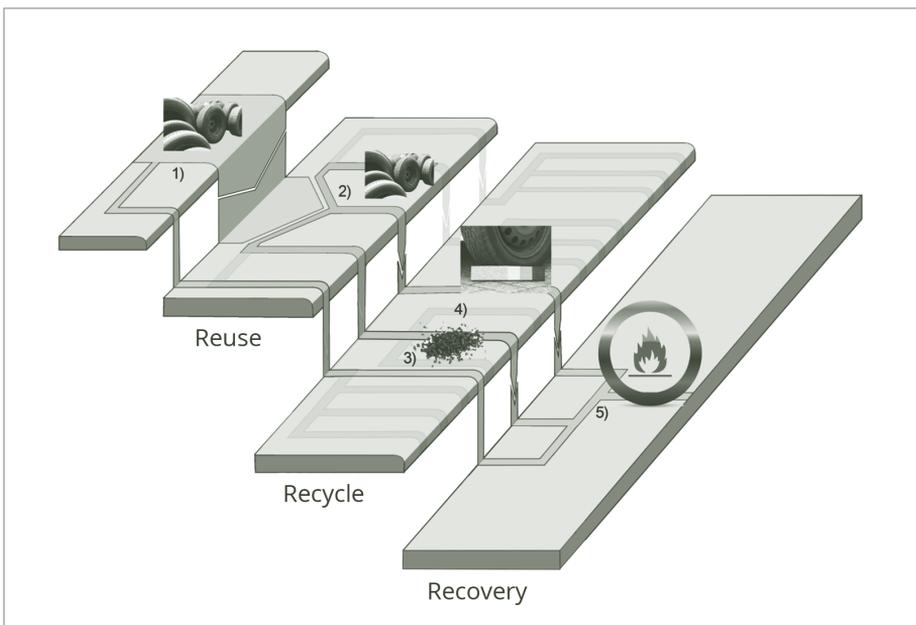


Abbildung 2: Kaskade Reifenverwertung.
Quelle: Cascade Use, Carl von Ossietzky University, 2016

Anwendungsfall Bioenergie

Das Thema Bioenergie wird in der Politik derzeit kontrovers diskutiert. Einen großen Vorteil wird Bioenergie immer behalten: *die verfügbare regionale Biomasse direkt in speicherbare erneuerbare Energie umzuwandeln.*

Dies lässt sich jedoch nur umsetzen, wenn Bioenergie nachhaltig und regional betrieben wird. Bei größeren Transportwegen oder durch den Konflikt mit der Futtermittelindustrie gilt der Vorteil nicht mehr. Allerdings sind Synergieeffekte zwischen den Branchen zu erkennen, die für beide Branchen – der Bioenergie UND der Futtermittelindustrie – vorteilhaft sind

Im Rahmen meiner Universitätsstelle konnte ich eine deutsch-niederländische Kooperation im Bereich dezentrale Energieversorgung begleiten¹. Das Biomassepotenzial, welches die Grundlage zur Bioenergieproduktion darstellt, ist in jeder Region anders. Vorherrschendes Klima, Topografie, Boden und Vegetation bestimmen ein charakteristisches Landschaftsbild. Siedlungs- und Wirtschaftsstrukturen ergänzen die natürlichen Landschaftseinheiten und ergeben so eine regional typische Landschaft, die sich hinsichtlich der Möglichkeiten der Biomassegewinnung von anderen Regionen unterscheiden kann. Ein gutes Beispiel im norddeutschen Raum geben hier küstennahe und binnenländische Regionen. Sie unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich ihrer natürlichen Gegebenheiten und den damit verbundenen Einflüssen auf die Vegetation und deren Wuchsbedingungen. Dieses gilt für die natürliche Vegetation, aber auch für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion. Darüber hinaus zeigen diese Regionen auch wirtschaftliche, kulturelle oder soziale Unterschiede, die sich in Fragen der Verfügbarkeit von Restbiomasse aus verschiedenen Produktionsbereichen oder auch der Akzeptanz der Bioenergieproduktion widerspiegeln.

Aufgrund der oben genannten Überlegungen wurde sowohl für den maritimen als auch für den terrestrischen Bereich im Nordwesten Deutschlands eine Modellregion für wissenschaftliche Untersuchungen ausgewählt. In jeder dieser beiden Regionen wurden Biogasanlagenbetreiber als Praxispartner gewonnen, die bereit waren sich mit Änderungen im Sinne einer nachhaltigeren Biogasproduktion auseinanderzusetzen und auch in der Praxis umzusetzen. Dies umfasste Veränderungen in der Zusammensetzung der Einsatzstoffe, mit einem Fokus auf einer Reduzierung des Maisanteils und Erhöhung der Diversität sowie einer gezielteren Aufbereitung der Biomasse. Die untersuchten

1 Projekt „Dezentrale Energielandschaften Niederlande-Deutschland – DELaND“ des Zentrums für Umwelt und Nachhaltigkeit – COAST der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, gefördert als ein Teil des deutsch-niederländischen INTER-REG IVA Vorhabenprogramms „GroenGas / GrünesGas“, das bis Anfang 2015 bestand.

Biogasanlagen in den Modellregionen unterscheiden sich hinsichtlich der Energienutzung und der verwendeten Substrate. Allen ist jedoch gemeinsam, dass sie Anlagengrößen unter 1MW besitzen und daher die Durchschnittsgrößen der in Deutschland befindlichen Biogasanlagen darstellen. In der Regel sind dies Familienbetriebe, die nicht mehr als 1 bis 2 Mitarbeiter eingestellt haben.

Wichtig war auch die Einbindung von regionalen Akteuren – Fachleute, Behörden- und Verbandsvertreter – in die Überlegungen, ob und wie noch nicht energetisch verwertete Biomasse nutzbar gemacht werden kann. Inspiration, Austausch und Kommentierung erfuhren die Arbeiten in Deutschland durch die niederländischen Partner und Akteure, die sich aktiv in gemeinsame Informations- und Diskussionsveranstaltungen eingeschaltet haben.

Durch die Zunahme der Maisanbauflächen, Biogas- und Futtermittelproduktion, und die damit oftmals verbundene Verengung der Fruchtfolge wird in einigen Regionen das Landschaftsbild, die Artenvielfalt aber auch die Boden- und Wasserqualität beeinflusst. In diesem Zusammenhang wird vermehrt die Frage nach Alternativen gestellt. Eine nachhaltige Mobilität kann nur mithilfe einer nachhaltigen Bioenergiestrategie erreicht werden. Besonders bei Biomasse im Kontext Bioenergie ist die Transportlogistik ausschlaggebend für einen nachhaltigen Umgang mit Ressourcen. Daher lag der Fokus unserer Arbeiten auf der Bewertung der Wertschöpfungsketten.

Angewandte Methoden zur Bewertung von Wertschöpfungsketten

Bei der Bewertung von Wertschöpfungsketten stoßen Betrachter schnell auf sehr komplexe Zusammenhänge, welche sich kaum überblicken lassen. So erscheint zum Beispiel die ausschließliche Verwendung von Substraten aus der Natur- und Landschaftspflege zunächst als ein umweltschonendes Vorgehen. Bei näherer Betrachtung wird jedoch deutlich, dass die Verwendung des alternativen Biomassesubstrates u. a. deutlich längere Transportwege zur Folge hat. Dadurch erhöhen sich neben den Transportkosten sowohl der CO₂-Ausstoß zur Bereitstellung des Substrates als auch die Anzahl der Arbeitsstunden, welche wiederum der Region zu Gute kommen würden. Die Anlage wird jedoch geringere Gaserträge erhalten, welche die bereitgestellte Menge elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen verringert.

Das regionale Wertschöpfungsketten-Management erfasst in einem ersten Schritt die soziokulturellen, ökonomischen und ökologischen Zielsetzungen, die im politischen Raum bestehen und so einen rechtlichen wie gesellschaftlichen Rahmen für eine nach-

haltige Bioenergielösung setzen. In einem zweiten Schritt wird die Wertschöpfungskette detailliert betrachtet. Dazu wird die Kette in fünf Prozessstufen unterteilt (Abbildung 2). Bei allen Stufen sind die Minimierung von Umweltauswirkungen, die Steigerung wirtschaftlicher und technologischer Effizienz und auch die Einbindung gesellschaftlicher Ansprüche verbindliche Aspekte der weitestgehend quantitativen Analyse (Pehlken 2016):

- *Bereitstellen von Biomasse:* In dieser Stufe werden Parameter hinsichtlich der Produktion und auch Beschaffung von Biomasse betrachtet. Biodiversität und Bodenschutz beim Pflanzenanbau sind berücksichtigt.
- *Logistik:* In dieser Stufe wird der Transport von Biomasse erfasst. Ein wichtiger Faktor ist dabei der CO₂-Ausstoß, der durch den Transport verursacht wird. Darüber hinaus spielt dieser Aspekt auch in Bezug auf Geruchs- und Lärmbelastigungen, die beim Transport auftreten können, eine Rolle.
- *Umwandlung:* Diese Stufe bildet das Kerngeschäft der Bioenergieproduktion ab. Dabei sind Parameter wie die Anlagengröße, die Effizienz der Anlage, der Emissions- und Immissionsgrad sowie die Arbeitsbedingungen beim Betrieb der Anlage die ausschlaggebenden Faktoren. Verbesserungen in der Biomasseaufbereitung oder auch der Aufbereitung von Gärresten, z. B. zur Nährstoffbehandlung, werden hier betrachtet.
- *Logistik:* In dieser Stufe wird die Einspeisung und Verteilung der unterschiedlichen Formen produzierter Bioenergie in eigene oder bestehende Energienetze untersucht. Ebenso untersucht werden zudem Formen, Kosten und Auswirkungen des Gärresttransports.
- *Nutzung:* Diese Stufe betrachtet den Erlös, der bei der Nutzung der unterschiedlichen Energieformen erzielt werden. Erfasst werden aber auch die regionalen Effekte, die sich aus der Re-Investition für die Region in andere Wirtschaftszweige ergeben.

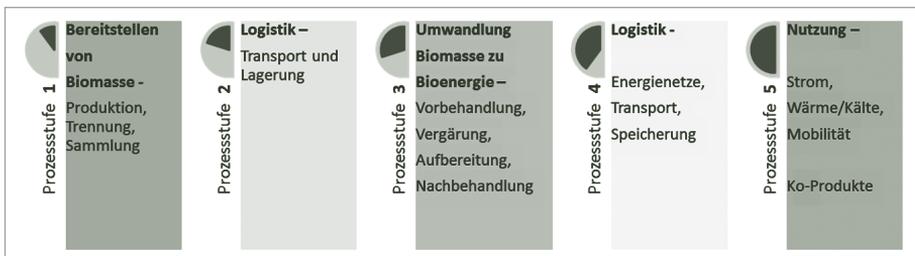


Abbildung 3: Wertschöpfungsketten.
Quelle: Pehlken, 2016

Energiemanagement

Die Wertschöpfungsketten „Umwandlung“ und „Nutzung“ stehen in Bezug auf das Energiemanagement in engem Zusammenhang. Die Energieflussbetrachtung des Betriebes ist wesentlich für ein gutes Energiemanagement und die kontinuierliche Verbesserung. Dabei stellen die sogenannten Sankey-Diagramme die genauen Aufteilungen der Energieströme sehr gut dar, wie exemplarisch in Abbildung 3 dargestellt. Die Entscheidung, wie die Energie vorrangig genutzt werden soll und auch kann (als Wärme oder Elektrizität), wird die Effizienz des gesamten Ansatzes stark beeinflussen. Wärme kann zum Beispiel schlechter transportiert werden als Gas, daher ist die Entscheidung, wo ein BHKW (Blockheizkraftwerk) installiert wird von Bedeutung, denn die Nähe zum Wärmeverbraucher muss gegeben sein

Energie- und Stoffstrombilanzen von Unternehmen der Bioenergie zu optimieren ist deshalb eine zentrale Aufgabe meines Steinbeis-Unternehmens. Auch Antragsbegleitung für Fördermittel des Bundes, der Länder oder Stiftungen können wir über eine ganze Projektlaufzeit mit begleiten, um anschließend die Material- und / oder Energiebilanz zu bewerten.

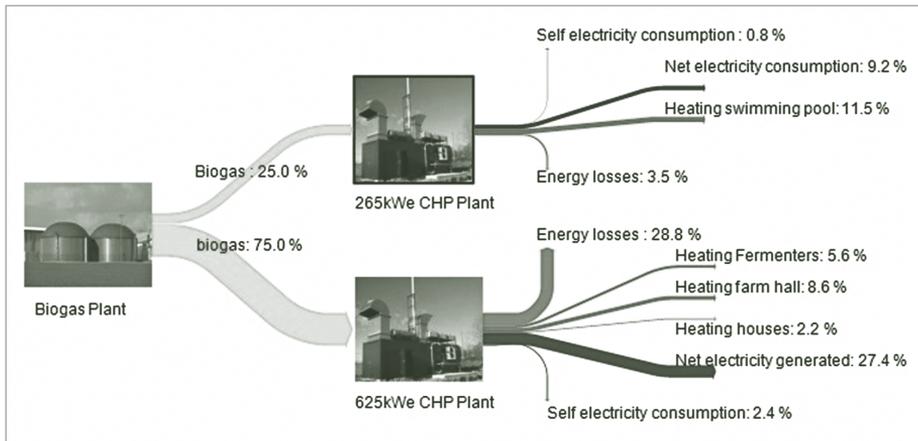


Abbildung 4: Sankey Diagramm einer Biogasanlage – beispielhaft als Lösung mit zwei BHKWs (Legende: CHP = Blockheizkraftwerk, kWe= KiloWatt elektrisch).
Quelle: Cascade Use, Carl von Ossietzky University, 2016

Zusammenfassung

Die Beispiele Bioenergie und Altreifen zeigen, dass es mehr geben muss als nur die Sicht auf eine (effiziente) Produktion. Eine Berücksichtigung der Vor- und Nachketten im gesamten Lebenszyklus eines Produktes kann die ganzheitliche Energiebilanz erheblich beeinflussen. Normalerweise fehlt dem Unternehmen die Zeit für solche Betrachtungen. Die langjährige Erfahrung, die Kombination von Forschung mit Dienstleistung und ein innovatives Team ermöglichen uns, die verschiedenen Alternativen und Methoden rund um die Themen Material- und Energieeffizienz gezielt und passend zur Unternehmenskultur und Größe umzusetzen.

Literatur

- Asplund, J. (1996):** Scrap Rubber – An Unpredictable Waste or Useful Raw Material, in: Rubber in the Environmental Age: Progress in Recycling; Seminar Paper No. 2, Rapra Technology Ltd, Shawbury, Shrewsbury, UK.
- Baumann, W.; Ismeier, M. (1998):** Kautschuk und Gummi – Daten und Fakten zum Umweltschutz, Band 1, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Abschlussbericht BMBF-Verbundvorhaben FKZ 01RV 9703-9710 (2001):** Werkstoffliches Recycling von TSE-Gummireststoffen im Feinstkornbereich, Schlussbericht 2001, Deutschland. Online verfügbar: <http://www.cleaner-production.de/index.php/de/themen/energie-und-materialeffizienz/chemie/3003-werkstoffliches-recycling-von-tse-gummireststoffen-im-feinstkornbereich#zusammenfassung>, Abrufdatum 30.04.2017.
- Pehlken, A. (2004):** Überblick über die Aufbereitung von Altreifen unter besonderer Berücksichtigung der Zerkleinerungstechnik, in: Aufbereitungstechnik, Vol. 45, Nr. 5 / 2014, S. 37–46.
- Pehlken, A. (2005):** Einsatz von Gummi aus Altreifen im gummimodifizierten Asphalt, in Müll und Abfall, Oktober 2005, S. 506–512.
- Pehlken, A. (2006):** Altreifenrecycling unter der Lupe – Elektronenmikroskopische Oberflächenanalyse des Stoffstromes Gummi nach mechanischer Beanspruchung, in: Aufbereitungstechnik, Vol. 47, Nr. 5 / 2006, S. 26–34.
- Pehlken, A.; Madena, K.; Aden, Ch.; Klenke, Th. (2016):** Forming stakeholder alliances to unlock alternative and unused biomass potentials in bioenergy regions, in: International Journal on Cleaner Production Vol. 110, pp. 66–77, 2016.

Reschner, Kurt: www.entire-engineering.de (Stand 31.03.2017) sowie persönliche Gespräche.

Rohstoffwelt (2013): Kautschuk – Anhaltendes Überangebot:

<http://www.rohstoff-welt.de/news/artikel.php?sid=44412> (Stand 21.9.2013).

Rohstoffwelt (2012): Kautschuk, Palmöl: Daheim in Asien, gebunden an die Welt:

<http://www.rohstoff-welt.de/news/artikel.php?sid=35985> (Stand 21.9.2013).

Wdk (2016): Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie: Die Kautschukindustrie 2012. Frankfurt.