



Hochschule
Bonn-Rhein-Sieg
University of Applied Sciences



IZNE Internationales Zentrum
für Nachhaltige Entwicklung
*International Centre for
Sustainable Development*

Ökologischer Vergleich des Einsatzes von Sulfat-Zellstoff Altpapierstoff grasbasiertem Zellstoff in der deutschen Papierproduktion

06.11.2017

Im Auftrag der

CREAPAPER GmbH
Reisertstr. 5
53773 Hennef

Prof. Dr. Wiltrud Terlau, Nicolas Fuchshofen, Johannes Klement
Internationales Zentrum für Nachhaltige Entwicklung (IZNE)
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Grantham-Allee 20
53757 Sankt Augustin

Einleitung

Gegenstand der Studie ist die vergleichende Ökobilanzierung des Einsatzes von Sulfat-Zellstoff, Altpapierstoff und grasbasiertem Zellstoff in der deutschen Papierindustrie. Auftraggeber ist die CREAPAPER GmbH Hennef, die in ihrem Geschäftsfeld „GRASSFIBRE“ Lösungen zur Herstellung von Papier mit einem bis zu 60-prozentigen Anteil grasbasierten Zellstoffs (GRASPAP) entwickelt.

Die Erforschung von Einsatzmöglichkeiten alternativer Rohstoffe hat derzeit in Wissenschaft und Wirtschaft Konjunktur. Ziel ist es häufig, vorhandene fossile Rohstoffe effizienter einzusetzen und mit einem möglichst hohen Anteil an regenerativen Rohstoffen zu substituieren oder zu ergänzen. Die vergleichende Ökobilanz setzt an diesem Aspekt an, in dem sie sich mit der Frage befasst, inwieweit die Herstellung von Papier in Deutschland ökologisch vorteilhafter gestaltet werden kann.

Dazu hat CREAPAPER bereits im Jahre 2012 eine Studie zum ökologischen Vergleich ihres eigenen Produktes, des grasbasierten Zellstoffes zur Papierherstellung, mit Primär- und Sekundärzellstoff aus Holz in Auftrag gegeben. Das damals durchführende Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH kam zu dem Schluss, dass Graszellstoff in Bezug auf die Umweltauswirkungen der Produktion als vorteilhaft einzustufen ist.

Es gibt allerdings gute Gründe für eine deutlich erweiterte Betrachtung der Materie in 2017. Denn seit dem Erscheinen der ersten Studie hat sich die Datenlage bezüglich der Wertschöpfungskette von Zellstoff aus Holz stark verbessert. So stehen beispielsweise zum südamerikanischen Raum, aus dem ein großer Teil der deutschen Zellstoff-Importe stammt, qualitativ hochwertigere und genauere Daten zur Rohstoffgewinnung und Zellstoffherstellung zur Verfügung. Diese ermöglichen es nicht nur, über die geografisch eingeschränkt Betrachtung (Skandinavien) der ersten Studie hinauszugehen, sondern die Herkunftsländer deutlich besser abzubilden, als dies in der Vergangenheit möglich gewesen wäre.

So ist es mit Unterstützung der Datenbank „ecoinvent 3.3“ seit 2016 möglich, auch detaillierte Angaben zum Holzanbau, -verarbeitung und anschließendem Transport in die Analyse mit einfließen zu lassen. Weiterhin ist durch eine erweiterte Betrachtung der Wertschöpfungskette ein deutlich höherer Grad an Detailschärfe möglich. So gelingt es beispielsweise, durch den Einbezug von rund 95% des in Deutschland zur Papierproduktion eingesetzten Sulfat-Zellstoffes sowie dessen Vorprodukten, die Wertschöpfungskette präziser zu modellieren.

Papier- und Zellstoffproduktion in Deutschland 2016

Die folgenden Daten wurden auf der Grundlage der Daten und Informationen des Verbandes Deutscher Papierfabriken und des International Trade Centres sowie eigener Berechnungen zusammengestellt.

Die Menge an in Deutschland produzierten Papierprodukten schwankte in den vergangenen Jahren nur geringfügig. Wurden im Jahr 2016 in Deutschland 22,6 Millionen Tonnen Papierprodukte hergestellt, entspricht dies ungefähr der Menge, die bereits 2006 hergestellt wurde. Im Vergleich zum Vorjahr ergab sich damit ein leichter Anstieg der produzierten Papiermenge um 0,1%. In 2016 teilte sich die Produktion auf in 50,3% Papier, Karton und Pappe für Verpackungszwecke, 36,9% grafische Papiere, 6,7% Hygienepapiere und 6,1% für technische und spezielle Verwendungen.

Hierzu wurden rund 4,5 Millionen Tonnen Zellstoff eingesetzt, von denen 3,4 Millionen Tonnen nach Deutschland importiert wurden. Mit einer daraus resultierenden Importquote von 76% ist die deutsche Papierproduktion stark von ausländischer Zellstoffproduktion abhängig. Eine inländische Produktion von 1,6 Millionen Tonnen Zellstoff für 2016 ergibt sich daraus, dass gleichzeitig 0,5 Millionen Tonnen Zellstoff exportiert wurden. Dies bedeutet eine im Vergleich zum Vorjahr um 0,2% erhöhte Produktion im Inland.

Die Importabhängigkeit ergibt sich insbesondere aus der hohen Nachfrage nach kurzfasrigem Sulfat-Zellstoff, der aus schnell wachsenden Harthölzern gewonnen wird. Für die Gewinnung des kurzfasrigen Zellstoffes wird insbesondere Eukalyptus genutzt, der vor allem in äquatornahen Regionen heimisch ist und dort angebaut wird. Der kurzfasrige Zellstoff hatte in 2016 einen Anteil von etwas mehr als zwei Dritteln am Gesamtimport von Zellstoff. Der in dieser Studie betrachtete Sulfat-Zellstoff wurde hauptsächlich aus Brasilien, Finnland, Schweden, Portugal, Chile, Uruguay und Spanien importiert. Insgesamt war der mengenmäßige Sulfat-Zellstoff-Import aus Europa etwas größer als derjenige, der auf nicht-europäische Handelspartner entfiel.

Im Inland produzierter oder importierter Zellstoff ist allerdings nicht die Haupteinsatzquelle in der deutschen Papierproduktion. Die größte Bedeutung hat die Wiederverwendung von bereits eingesetztem Primärzellstoff in Form von Altpapier. Mit einem Einsatz von insgesamt 16,9 Millionen Tonnen und einem Anteil von 75% war Altpapier im Jahr 2016 die mit Abstand wichtigste Zellstoffquelle in der deutschen Papierindustrie. Im Gegensatz zum „frischen“ Zellstoff wird der mit 15,9 Millionen Tonnen größte Teil des Altpapiers aus Deutschland selbst heraus genutzt und lediglich weitere 1,0 Millionen Tonnen aus dem Ausland importiert. Dies entspricht einer Importquote von 6% (im Vergleich zu 76% bei „frischem“ Zellstoff). Die Importe selbst entfallen zum Großteil auf die direkten Nachbarländer Deutschlands (Niederlande, Polen, Frankreich, Dänemark, Schweiz, u.a.) und haben nur zu einem geringen Anteil einen größeren Transportweg hinter sich.

Systembeschreibung

Studienziel

Das Ziel und der Zweck der vorliegenden Studie ist es, die Umweltwirkungen von Sulfat-Zellstoff, Altpapierstoff und grasbasiertem Zellstoff festzustellen und miteinander zu vergleichen. Dabei wird aus Gründen der Vergleichbarkeit und der Darstellung als Bezugsgröße auf eine Tonne in Deutschland hergestelltes Papier abgestellt.

Funktionelle Einheit

Die Funktionelle Einheit beschreibt als zentrales Element der Ökobilanz die Größe, auf die die Umweltwirkungen der zu betrachtenden Rohstoffe und ihrer Wertschöpfungsketten bezogen werden.

Für die vorliegende Studie bedeutet dies, dass die jeweilige Rohstoffmenge der drei verschiedenen Grundstoffe zu Grunde gelegt wird, die als Basis für die Herstellung einer Tonne Papier in Deutschland benötigt wird. Auf sie werden die spezifischen Inputs (Energie, Wasser und Chemikalien) und Outputs (Abwasser, Emissionen und Abfall) bezogen, die für die Herstellung einer Tonne Papier in Deutschland notwendig waren.

Im Falle von Sulfat-Zellstoff werden 2,2 Tonnen Holz, im Fall von Altpapierstoff 1,25 Tonnen Altpapierstoff, denen in der Produktion von Recyclingpapier zusätzlich 5% Sulfat-Zellstoff zugeführt werden, und für grasbasierten Zellstoff schließlich 1,07 Tonnen Grundstoff angenommen.

Systemgrenzen und Methode

Grundsätzlich bestimmen die Systemgrenzen einer Ökobilanz diejenigen Teilbereiche einer Wertschöpfungs- und Prozesskette, die in der jeweiligen Analyse betrachtet werden. Dazu ist zu definieren, welche Produkte, Rohstoffe und Prozesse überhaupt betrachtet werden und inwieweit diese Betrachtung räumlich und zeitlich auszudehnen ist. Es wurde eine vergleichende Ökobilanzierung nach ISO 14040 durchgeführt. Die Inputs und Outputs wurden im Rahmen der gewählten und unten dargestellten Systemgrenzen in die Sachbilanz einbezogen. Im Mittelpunkt der Untersuchung stehen holzbasierter Zellstoff, Altpapierstoff und grasbasierter Zellstoff.

Für den holzbasieren Zellstoff wurde Sulfat-Zellstoff als global bedeutendstes Aufschlussverfahren zur Zellstoffgewinnung gewählt. Bezogen auf den Sulfat-Zellstoff gelang es, 95% des in Deutschland zur Papierproduktion eingesetzten Sulfat-Zellstoffes sowie dessen Vorprodukte zu betrachten. Für die Modellierung der Wertschöpfungsketten wurden die Vorgänge zwischen dem Abbau der für die Zellstoffgewinnung notwendigen Rohstoffe und der Lieferung der Grundstoffe bis ans Fabriktor als Systemgrenzen gewählt. Die Wirkungsabschätzung erfolgt schließlich in den Kategorien „Energieeinsatz“, „Wasserverbrauch“, „Treibhauseffekt/CO₂-Emissionen“ und „Versauerung“.

Angewandt auf den Fall der vorliegenden vergleichenden Ökobilanz legen die Systemgrenzen fest, welcher Teil der Wertschöpfungskette innerhalb der Papierherstellung Berücksichtigung findet

und bis zu welchem Punkt die Wertschöpfungsketten vorgelagerter Prozesse ebenfalls Eingang in die Analyse finden. Die Systemgrenzen werden im Rahmen der unten folgenden Prozessbeschreibungen detailliert dargestellt. Ein grundlegender Unterschied in den Wertschöpfungsketten der hier betrachteten Rohstoffe besteht darin, dass die Grundstoffe für Sulfat-Zellstoff und grasbasierten Zellstoff primär gewonnen werden, während die beim Altpapierstoff abgesehen von den zugesetzten Primärfasern nicht der Fall ist. Der Altpapierstoff hat bereits einen Lebenszyklus hinter sich, bevor er in Recyclingpapier eine weitere Verwendung findet.

Grundsätzlich wurden die Systemgrenzen so gezogen, dass sie die Prozesse der Rohstoffgewinnung, der Verarbeitung, der Aufbereitung, des Transports, der Lagerung sowie der Veredelung zum angestrebten Grundstoff (der Funktionellen Einheit) beinhalten. Dies bedeutet, dass vorgelagerte Schritte wie die Pflanzung/der Anbau der Rohstoffe oder die Erstellung von Vorprodukten ebenso wenig Berücksichtigung findet, wie der ökologische Aufwand, der bei der Erstellung der notwendigen Infrastruktur (z.B. Schiffbau, Straßenbau) entstanden ist.

Um der Besonderheit des Altpapierstoffes Rechnung zu tragen, wurde zudem eine Annahme getroffen. Für die Trennung der Wertschöpfungsketten von Sulfat-Zellstoff und Altpapierstoff wurden die in dieser Analyse vorgelagerten Prozesse nicht mit berücksichtigt. Vielmehr wurden nur die tatsächlichen (variablen) Verbräuche innerhalb der Wertschöpfungsketten betrachtet.

Geografischer Bezug

Für den Produktionsprozess des Sulfat-Zellstoffes wurden der Holzeinschlag, die Holzverarbeitung sowie die Zellstoffproduktion in folgenden Ländern und Regionen betrachtet: Deutschland, Finnland, Schweden, Spanien, Portugal, Brasilien, Uruguay, Chile sowie Osteuropa.

Der Altpapierstoff besteht zum größten Teil aus Grundstoffen aus Deutschland und der angrenzenden Nachbarstaaten wie den Niederlanden, Polen, Frankreich, Dänemark und der Schweiz. Nur ein geringer Teil des Altpapieres stammt aus Übersee.

In Bezug auf grasbasierten Zellstoff wurde von einem Produktionsprozess ausgegangen, der innerhalb der Grenzen Baden-Württembergs (Schwäbische Alb) stattfindet und bezogen auf die angewandte Technologie repräsentativ für Deutschland ist.

Zeitlicher Bezug

Den Referenzzeitraum für die hier vorgenommene Betrachtung bildeten die Jahre 2015 und 2016. Dies bezieht sich insbesondere auf die Quantifizierung der untersuchten Wertschöpfungsketten anhand der Daten des Verbandes der Deutschen Papierindustrie, der Welthandelsorganisation (WTO) sowie des Statistischen Amtes der Europäischen Union.

In Bezug auf die Umwelteinwirkungen von Technologien wurde auf ältere Daten zurückgegriffen, die sich aus einem realistischen Einsatz dieser Technologien ergeben. So wurde im Rahmen der vergleichenden Ökobilanz davon ausgegangen, dass die im Prozess eingesetzten Maschinen nicht durchweg dem neuesten technischen Stand entsprechen.

Prozessbeschreibung

Sulfat-Zellstoff

Im Rahmen der vergleichenden Ökobilanzierung wurden für die Beurteilung der ökologischen Wirkung von Sulfat-Zellstoff als Herkunftsregionen und -länder des Holzes bzw. Zellstoffes Skandinavien (Schweden, Finnland), Südeuropa (Spanien, Portugal), Lateinamerika (Brasilien, Chile, Uruguay) und schließlich auch Deutschland betrachtet. Die genutzten Hölzer umfassten Kiefer, Fichte, Eukalyptus und andere wie beispielsweise Birke, die in deutlich geringeren Mengen genutzt wurden. Ein Teil dieser Hölzer wurde als Rohstoff aus den Herkunftsregionen nach Deutschland exportiert, während der andere Teil bereits vor Ort zu Sulfat-Zellstoff verarbeitet wurde. Dieser Teil gelangte erst anschließend als Grundstoff für die Papierproduktion in den deutschen Markt. In der Analyse wurde davon ausgegangen, dass zur Herstellung einer Tonne Papier im Durchschnitt 2,2 Tonnen Holz zum Einsatz kamen.

In der Rohstoff-Gewinnung wurden insbesondere das Fällen, der Abtransport, das Sägen und Schnitzeln sowie der großräumige Weitertransport, entweder zum Zellstoffwerk vor Ort oder nach Deutschland, betrachtet. Die Herstellung des chlorfrei gebleichten Sulfat-Zellstoffes umfasste die Holzbehandlung, die chemische Herstellung und das Bleichen, das Trocknen, die Energieerzeugung vor Ort sowie die Aufbereitung von Chemikalien und Abwasser. Die Transporte erfolgten sowohl auf der Straße und der Schiene, als auch auf dem Seeweg.

Zu dem Zweck, die jeweiligen Inputs und Outputs für eine Tonne Papier zu bestimmen, wurde ein so genannter Durchschnittsbaum (für die Zusammensetzung siehe Abb. 1) bestimmt, der in seiner Zusammensetzung der Verteilung an Hölzern entspricht, wie sie in der deutschen Papierindustrie zur Herstellung dieser Tonne Papier eingesetzt werden. Dazu wurden Daten von Eurostat, der Welthandelsorganisation (WTO) und des Verbandes Deutscher Papierfabriken herangezogen. Der errechnete und definierte Durchschnittsbaum wiegt 2,2 Tonnen, besitzt ein Volumen von 3,3 Kubikmetern und kommt zu 49% aus Südamerika, zu 45% aus Nord- und zu 6% aus Südeuropa sowie aus anderen Ländern.

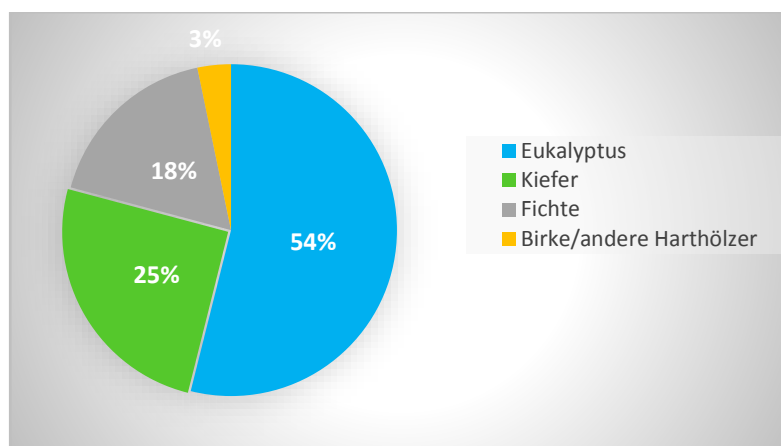


Abbildung 1: Zusammensetzung des Durchschnittsbaumes (eigene Darstellung).

Entlang der Lieferkette wurde der Durchschnittsbaum entweder in Form von Stammholz, Holzschnitzeln oder Zellstoff durchschnittlich über eine Distanz von 13.000 Kilometern transportiert. Heruntergebrochen auf eine Tonne Papier entspricht dies einer Wegstrecke von 5.900 Kilometern. Die großen Distanzen sind in der Hauptsache der hohen Importquote aus Südamerika geschuldet, wobei 10.175 Kilometer auf den Transport per Schiff, 1.700 Kilometer auf den Transport per Zug und 1.150 Kilometer auf den LKW-Transport entfielen.

Der Berechnung dieser Transportdistanzen lagen folgende Überlegungen zu Grunde: Die Länge der Transportwege zur See entspricht den Transportrouten für Massengutschiffe zwischen Hamburg (bzw. Rostock für die Ostseeroute) und der jeweils bedeutendsten ausländischen Hafenanlage in der Nähe der jeweils größten Zellstofffabrik. Daraus ergibt sich beispielsweise als Berechnungsgrundlage für den Transport von Zellstoff aus Brasilien die Frachtschiffverbindung zwischen Hamburg und Porto Alegre. Die genauen Werte wurden mit Hilfe der Webseite www.searates.com ermittelt. Für den LKW- und Zugtransport wurden durchschnittliche Werte angenommen, die den Transport vom Wald zum jeweiligen Sägewerk und zur Zellstofffabrik, zum entsprechenden Hafen und schlussendlich vom Hafen zur Papierfabrik in Deutschland berücksichtigen.

Für die Prozesse der Zellstoffherstellung sowie des Holzeinschlages wurde eine einheitliche Technologie für Südamerika und für Europa angenommen, die sich jeweils am Volumen des zu verarbeiteten Holzes orientierte. Der Prozess des alkalischen Aufschlusses im Sulfat-Verfahren geht so vonstatten, dass das im Holz vorhandene Lignin mit Hilfe von Chemikalien vom Zellstoff (Cellulose) in einer Kochlauge abgetrennt wird, um eine Weiterverarbeitung zu ermöglichen. Im Anschluss an einen Waschvorgang werden die Fasern auf Länge gebracht, Füll-, Leim- und Farbstoffe (wie Kaolin, Talkum, Stärke, Calciumcarbonat und weitere) hinzugegeben und nach einer Entwässerung getrocknet. In einem letzten Schritt wird der in Bögen geschnittene Grundstoff in Ballen verschnürt und zur Papierfabrik transportiert.

Die folgende Abb. 2 enthält in grafischer Form die Beschreibung der Wertschöpfungskette und die als Grundlage verwendeten Datensätze. Diese Datensätze wurden in Bezug auf ihre Zusammensetzung und die in ihnen enthaltenen Prozesse modifiziert, um die Realität für die Zwecke dieser vergleichenden Ökobilanz besser darzustellen. Sie enthält zudem den Hinweis darauf, welche Inputs ins und welche Outputs aus dem dargestellten Produktsystem für Sulfat-Zellstoff geflossen sind.

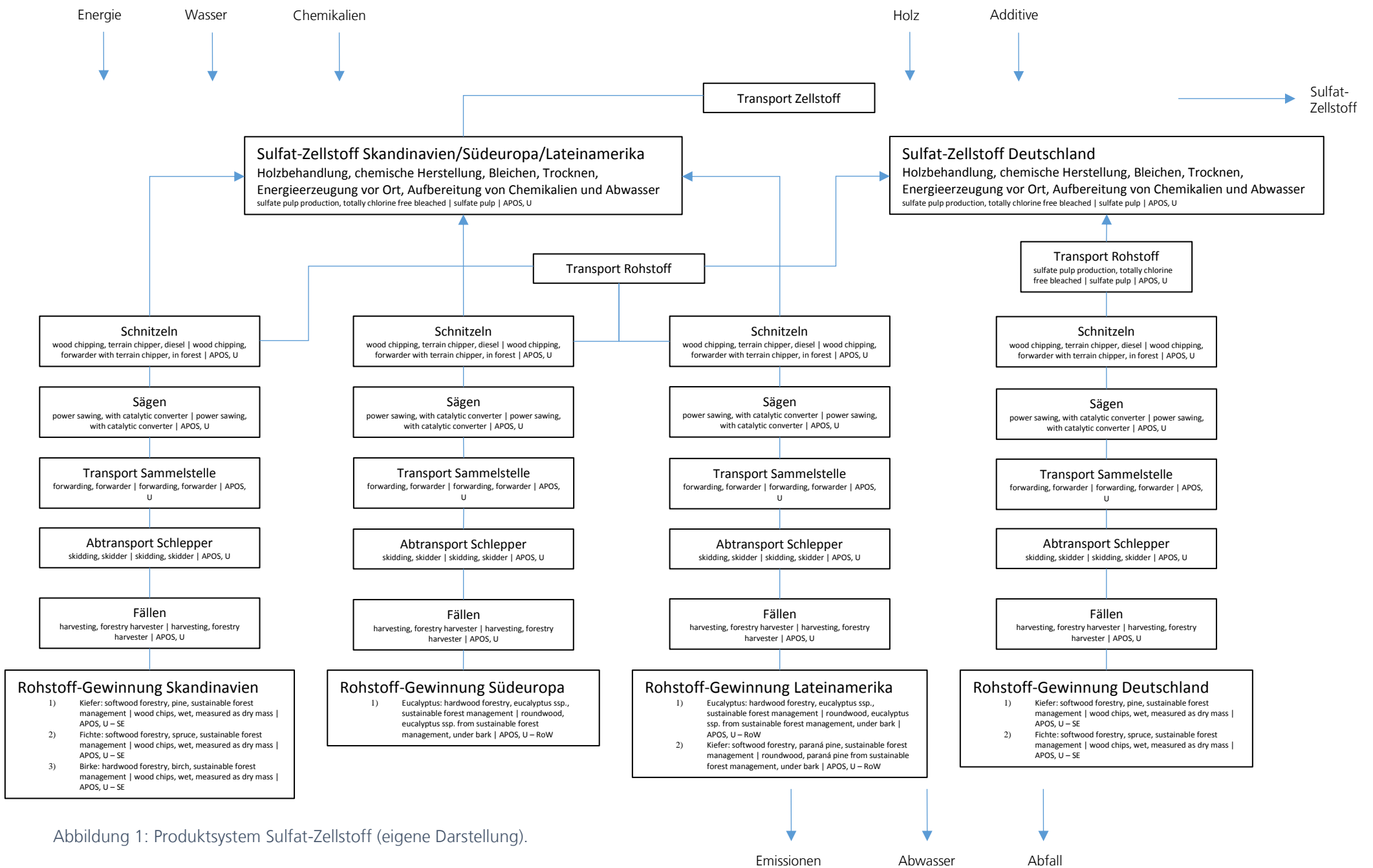


Abbildung 1: Produktsystem Sulfat-Zellstoff (eigene Darstellung).

Altpapierstoff

Deutschland ist hinter China, den USA und Japan das Land mit dem vierthöchsten Aufkommen und Verbrauch an Altpapier. Im Jahr 2016 wurden in Deutschland 16,9 Millionen Tonnen Altpapier eingesetzt, um daraus Recyclingpapier herzustellen. Dies entsprach einer leichter leichten Steigerung von 0,1% gegenüber dem Vorjahr und einer Einsatzquote von 75% an den gesamten verwendeten Grundstoffen. In Bezug auf den Außenhandel wurden in 2016 2,8 Millionen Tonnen Altpapier exportiert und gleichzeitig 4,3 Millionen Tonnen Altpapier importiert. Der Importbedarf deckte sich dabei hauptsächlich aus den Deutschland umgebenden Staaten wie den Niederlanden, Polen und Frankreich und hat nur zu einem geringen Teil eine größere Wegstrecke (z.B. aus den USA) zurückgelegt. Dem gegenüber steht ein Aufkommen von 12,5 Millionen Tonnen Altpapier in Deutschland selbst, das für den Verbrauch im Inland bestimmt war.

Verlassen die in Gebrauch befindlichen Papierprodukte ihren Lebenszyklus, wird ein Großteil (75%) des Altpapiers für die spätere Herstellung von Recyclingpapier gesammelt, gereinigt, deinkt und zu Altpapierstoff aufbereitet (siehe Abb. 3). Der Prozess des Deinking bedeutet, dass die Druckfarben mittels Zugabe von Chemikalien (Seifen und Natriumsilicat) entweder durch Waschen oder Flotation (mittels Luft) vom Papier abgelöst werden, um einen möglichst großen Anteil an Zellstoff für die weitere Verwendung zurückzugewinnen. Anschließend werden in Siebvorgängen restliche Fremdstoffe vom Zellstoff getrennt. Hieran schließt sich der Prozess (waschen, Fasern auf Länge bringen, Zugabe von Füll-, Leim- und Farbstoffen, etc.) an, der auch bei der Behandlung von Primärfasern zum Tragen kommt.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass 1,25 Tonnen Altpapier für eine Tonne Recyclingpapier benötigt werden, wobei während des oben beschriebenen Deinking-Vorgangs geringe Materialverluste einkalkuliert wurden. Diese Materialverluste mussten in dieser Analyse einkalkuliert werden, weil die Fasern beim Deinking-Prozess an Länge verlieren. Durch Recycling können ursprüngliche Primärfasern mehrfach verwendet werden, bis sie schließlich durch eine zu kurze Faserlänge für den Einsatz in der Papierproduktion untauglich werden.

Im Ergebnis bedeutete das, dass dem zu produzierenden Recyclingpapier rechnerisch 5% Sulfat-Zellstoff (wie oben beschrieben) beigemischt wurden. Insgesamt sind hier wiederum die Transportwege über die gesamte Wertschöpfungskette, global, innereuropäisch und innerdeutsch, berücksichtigt. Die Berechnung der Transportwege beinhaltete die Altpapierimporte aus elf europäischen Ländern sowie eine Approximation des restlichen Importbedarfs.

Im Nachgang an den Transport und die Sammlung des Altpapiers an zentralen Sammelstellen sowie die Sortierung und Reinigung in der Altpapier-Fabrik erfährt es dann im Nachgang an das Deinking, in dem die alten Farbstoffe chemisch abgelöst und wieder Zellstoff gewonnen wird, seinen Zustand als Altpapierstoff. Schließlich wurde im Rahmen dieser vergleichenden Ökobilanz so vorgegangen, dem entstandenen Altpapierstoff anteilig die in der Herstellung des Sulfat-Zellstoffes genutzten Inputs und angefallenen Outputs zuzuschreiben.

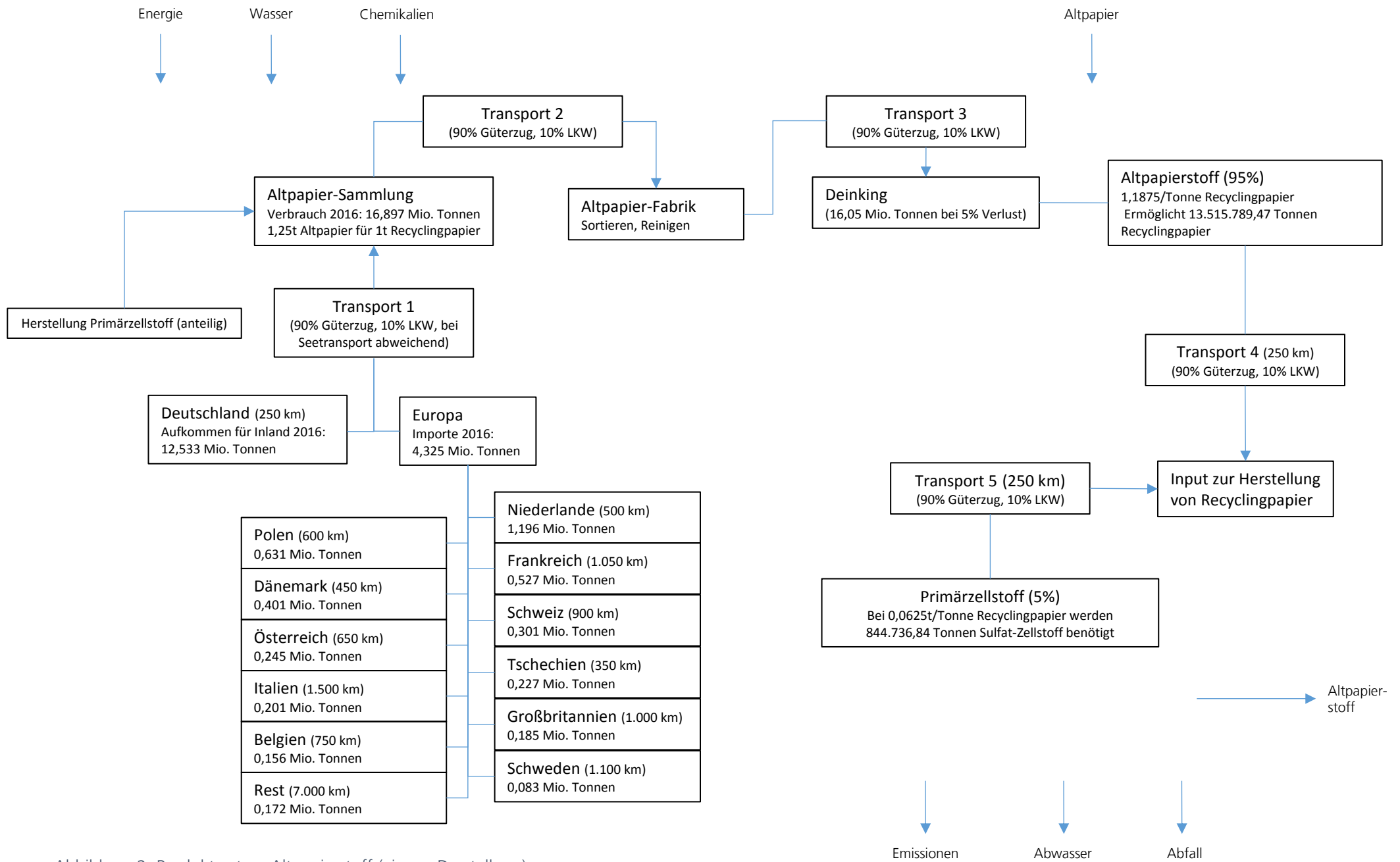


Abbildung 2: Produktsystem Altpapierstoff (eigene Darstellung).

Grasbasierter Zellstoff

Die alternative Untersuchung eines weiteren Grundstoffes für die deutsche Papierproduktion bezog sich auf den Rohstoff Gras. Die Gewinnung dieses Rohstoffes nimmt CREAPAPER von einer landwirtschaftlichen Ausgleichsfläche vor, die maximal 50 km von der Papierfabrik - auf deren Grund die Graspellet-Maschine steht - entfernt liegt. Derzeit gewinnt CREAPAPER den Rohstoff von ungenutzten landwirtschaftlichen Ausgleichsflächen auf der Schwäbischen Alb.

Im Rahmen dieser vergleichenden Ökobilanz wurde der jährliche Ernteertrag in der Form modelliert, dass von einer nicht gedüngten Wiese ein durchschnittlicher jährlicher Ernteertrag (bei halbjährlichem Mähen) von fünf Tonnen Trockenmasse pro Hektar zu erwarten ist. Dieser Wert entspricht zugleich einem in Deutschland im Durchschnitt zu erwarteten Ertrag für vergleichbare Flächen. Das Abmähen des Grases wird entweder direkt vom Landwirt als dem Vertragspartner von CREAPAPER durchgeführt oder von der zuständigen Kommune organisiert.

Die ausschließliche Nutzung von landwirtschaftlichen Ausgleichsflächen ist Grundlage des Geschäftsmodells von CREAPAPER. Weiterhin sollen diese Ausgleichsflächen in der näheren Umgebung (max. Entfernung: 50 km) der jeweiligen, weiterverarbeitenden Papierfabrik liegen, um die benötigten Transportwege so gering als möglich zu halten. In der hier verwandten Berechnung wurde der Transportweg mit 100 km angesetzt, um Abweichungen und Leerfahrten zu berücksichtigen (siehe Abb. 4). Für den Transport werden Fahrzeuge mit einer Gesamtkapazität von 20 Tonnen eingesetzt. Die Graspellet-Maschine, die das Gras in die von der Papierfabrik benötigte Form bringt, steht auf dem Gelände der Fabrik, so dass im letzten Produktionsschritt keine oder nur geringste Transportwege entstehen.

Die Gewinnung des Rohstoffes Gras von einer Ausgleichsfläche schließt das Mähen, Wenden (mit einer durchschnittlichen Trocknungszeit von vier Tagen und einer maximalen Restfeuchte von 14%), Sammeln, die Pressung der Ballen sowie das anschließende Laden ein. Dabei wurden sämtliche Transporte von der Wiese bis zum Fabriktor einbezogen. Die Graspellet-Maschine benötigt für die Erzeugung von einer Tonne Graspellets 134 kWh an Energie sowie einen Wasseraufwand von zwei Litern. In dieser Analyse wurde davon ausgegangen, dass das abschließende Papierprodukt zu 50% aus Graspellets und zu jeweils 25% aus Primärzellstoff (Sulfat) und Altpapierstoff entsteht. Dabei werden als Input zur Herstellung einer Tonne Graspapier 1,07 Tonnen Graspellets benötigt.

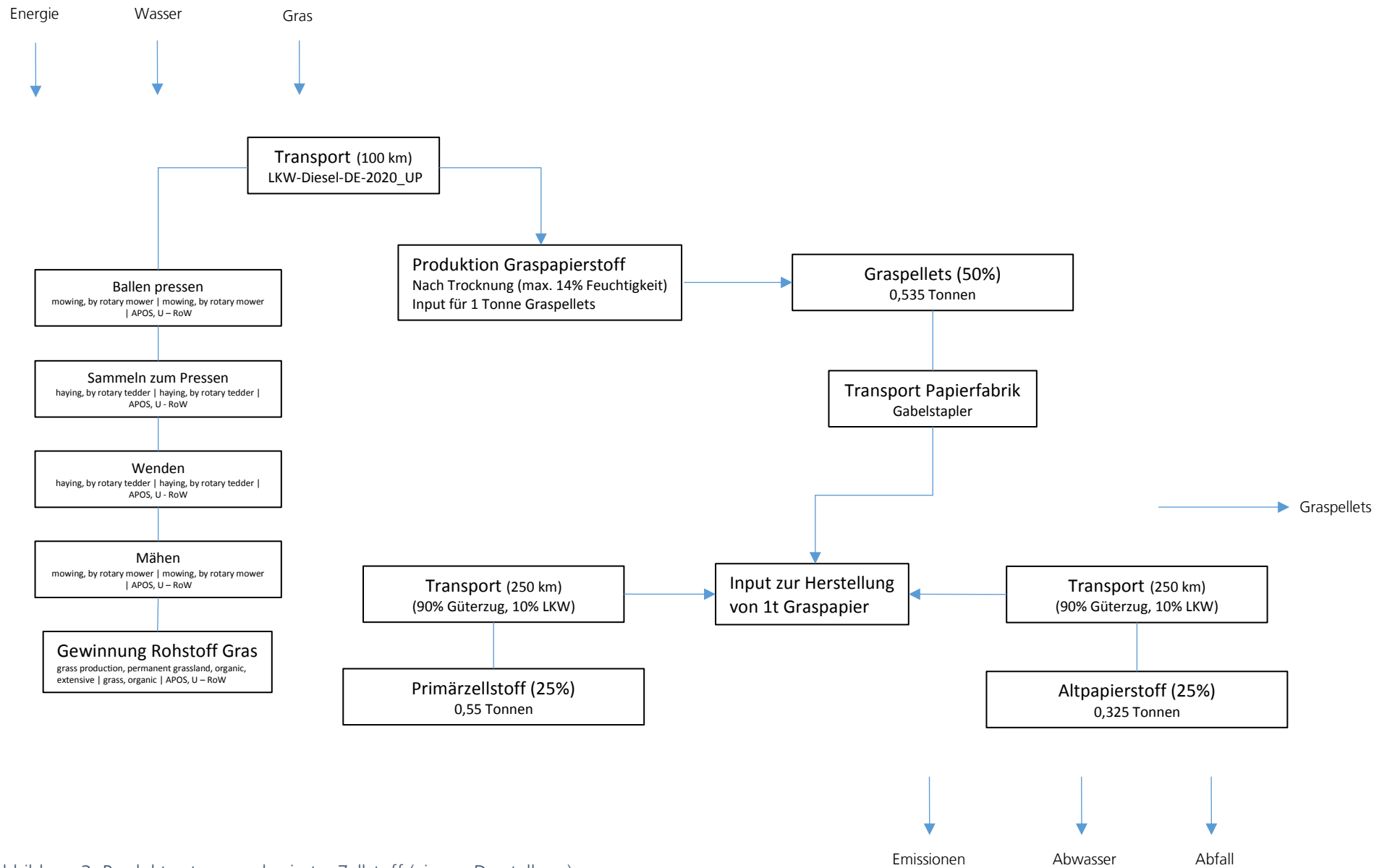


Abbildung 3: Produktsystem grasbasierter Zellstoff (eigene Darstellung).

Sachbilanz

Datengrundlage

Grundlage für die qualitative und die quantitative Ermittlung der Wertschöpfungsketten des in Deutschland eingesetzten Sulfat-Zellstoffes und Altpapierstoffes sind die Statistiken des Verbandes Deutscher Papierfabriken (VDP), der Welthandelsorganisation (WTO) sowie die Produktionsstatistiken der Europäischen Union (EuroStat). Die Abschätzung lokaler Gegebenheiten basiert insbesondere auf den Angaben der Zellstoffwerke Stendal und der CREAPAPER GmbH (Deutschland), Asociacion Technica de la Celulosa y el Papel (Chile), StoraEnso (Finnland), Skogsindustrierna (Schweden), Bradesco Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos, eucalyptus.com.br (Brasilien), American Forest & Paper Association, Wood Resources International (USA). Die ökologische Wirkungsabschätzung erfolgte insbesondere auf Grundlage der Datenbanken „ecoinvent v3.3“ (Stand 2017) und den „Prozessorientierten Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente (ProBas)“ des deutschen Umweltbundesamtes (Stand 2015).

Wirkungskategorien

In unserer Analyse haben wir die folgenden vier Wirkungskategorien berücksichtigt:

- Anthropogener Treibhauseffekt
- Versauerung
- Energieverbrauch
- Wasserverbrauch

Anthropogener Treibhauseffekt

Als anthropogener Treibhauseffekt wird in der Ökobilanzierung die zusätzliche Erwärmung der Erde über den natürlichen Treibhauseffekt hinaus bezeichnet, die durch die Emission von Gasen durch den Menschen verursacht wird. Der zusätzliche Temperaturanstieg hat seine Ursache in der Konzentration dieser Gase in der Troposphäre. Die Wirkung der einzelnen Gase in der Troposphäre ist unterschiedlich hoch und wird vereinfacht als Kohlenstoffdioxidäquivalenz bzw. Treibhauspotential beschrieben: Es gibt den Faktor an, um wieviel stärker die angenommene Wirkung der emittierten Masse eines Gases im Vergleich zu der gleichen emittierten Masse Kohlenstoffdioxid auf den Treibhauseffekt ist. Die nachfolgende Tabelle gibt die an dieser Stelle für die Ermittlung des Treibhauspotentials berücksichtigten Gase sowie ihr angenommenes Kohlenstoffdioxidäquivalent an.

Gas	Faktor Kohlenstoffdioxidäquivalenz
Kohlenstoffdioxid (CO ₂)	1
Methan (CH ₄)	25
Lachgas (N ₂ O)	300

Versauerung

Der Begriff der Versauerung umfasst die Abnahme des pH-Wertes in Böden und nährstoffarmen Gewässern sowie Vegetationsschäden, die ihre Ursache in der direkten und indirekten Emission von Gasen durch den Menschen hat. Eine der Hauptursachen für die Abnahme von pH-Werten ist saurer Regen, der wiederum durch Luftverschmutzung bedingt ist. Insbesondere durch Verbrennung gelangt Schwefel in die Atmosphäre, der durch Regen als schwefelhaltige Säure zurück auf die Erdoberfläche gelangt. Weiterhin sorgt Überdüngung dafür, dass überschüssige Nitrate durch Wasser aus dem Boden gelöst werden (Basenauswaschung). Das Versauerungspotential durch Emissionen wird in Schwefeldioxidäquivalenten gemessen. Es gibt den Faktor an, um wie viel stärker die angenommene Wirkung der emittierten Masse eines Gases im Vergleich zu der gleichen emittierten Masse Schwefeldioxid auf die Versauerung ist. Folgende Emissionen wurden in unserer Analyse berücksichtigt:

Gas	Faktor Schwefeldioxidäquivalenz
Schwefeldioxid (SO ₂)	1
Stickoxide	0,7
Ammonium	1,88

Energieverbrauch

Der Energieverbrauch eines Produktionsprozesses ergibt sich einerseits aus dem Brennwert der verbrauchten Energieträger im Maschinenersatz und andererseits aus der Leistung mit Strom betriebener Geräte.

Wasserverbrauch

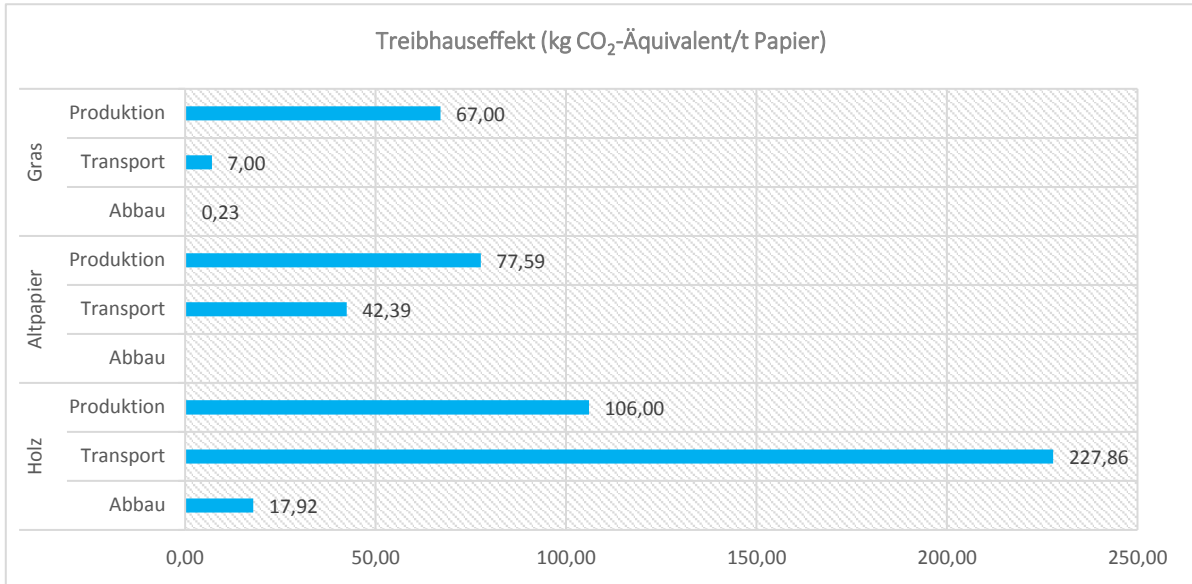
Der hier berücksichtigte Wasserverbrauch ergibt sich direkt aus der Zellstoffherstellung für die Weiterverarbeitung zu Papierprodukten. Der Wasserverbrauch in weiteren Prozessschritten, wie z.B. als Kühlwasser für Maschinen, wurde nicht berücksichtigt

Umgang mit Unsicherheit

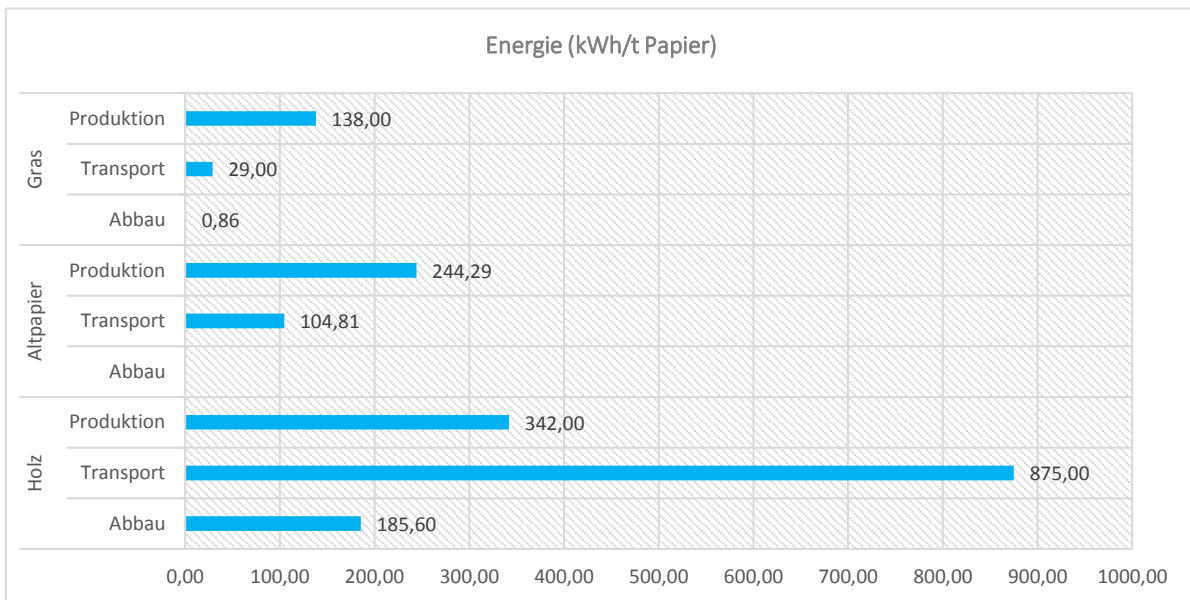
Die Wirkungsabschätzung einer Wertschöpfungskette ergibt sich aus der Summe ihrer Teilprozesse. Die Daten zu einzelnen Teilprozessen basieren häufig auf unterschiedlichen Annahmen, wurden zu verschiedenen Zeiten, an verschiedenen Orten und in unterschiedlicher Detailschärfe erhoben. So sind die Angaben zum Umweltverhalten einzelner Prozesse oft nur relativ schwer vergleichbar und bedürfen einer Plausibilitätsprüfung. Um den vergleichenden Charakter dieser Studie so gut als möglich zu erhalten, sind in dieser Studie nur Emissionen und Umweltwirkungen aufgeführt, die sich aus allen betrachteten Prozessen trennscharf ableiten ließen. Aus diesem Grund wurden in der vergleichenden Ökobilanz beispielsweise keine Angaben zu weiteren Wirkungskategorien wie Humantoxizität oder Eutrophierung gemacht. Ebenso wurde auf Annahmen und eine Approximation der Wirkung einzelner Stoffe wie synthetisch persistenter Chemikalien verzichtet.

Wirkungsabschätzung und Auswertung

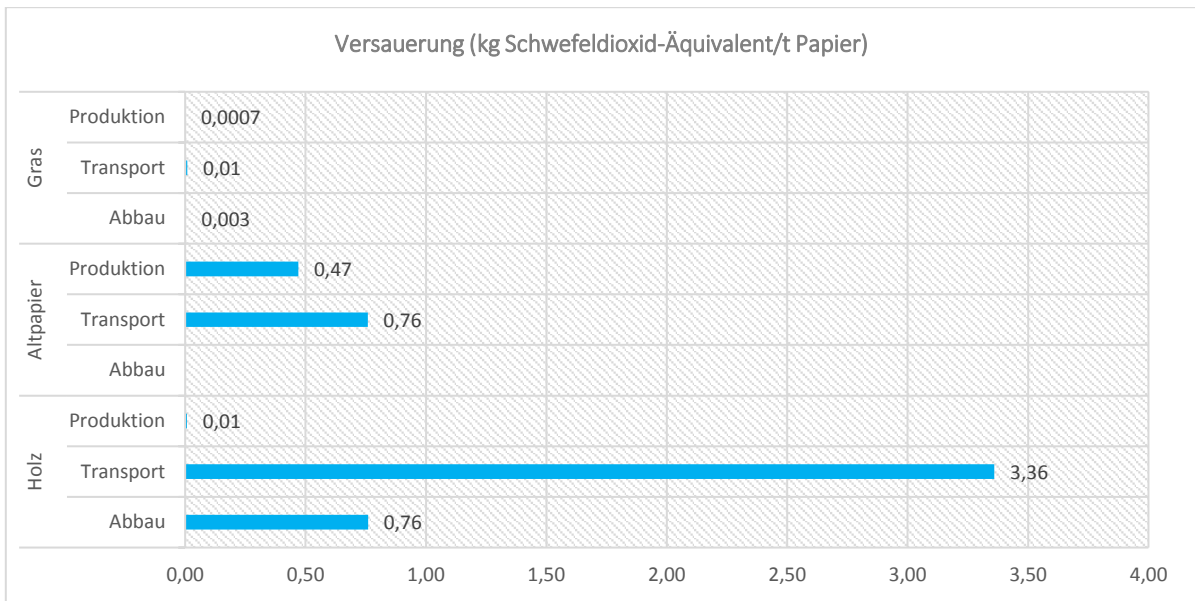
Treibhauseffekt



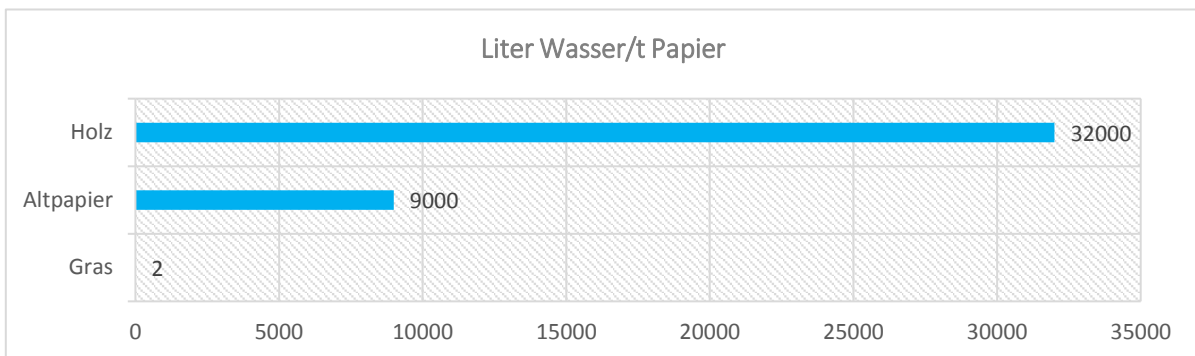
Energieverbrauch



Versauerung



Wasserverbrauch



Ergebnis

Zusammenfassung

Grasbasierter Zellstoff schneidet im Rahmen der vorliegenden vergleichenden Ökobilanzierung bezüglich des Energie- und Wassereinsatzes, des Versauerungspotenzials und der Emissionsbilanz deutlich besser ab als die Alternativen holzbasierter Sulfat-Zellstoff und Altpapierstoff. Dies liegt daran, dass eine im Vergleich zu Holzeinschlag ähnlich große Menge an Grundstoff (mindestens 5 Tonnen pro Jahr und Hektar) gewonnen werden kann. Einzig Eukalyptus verspricht einen deutlich höheren Ertrag pro Jahr und Hektar. So werden in Brasilien von Erträgen bis zu 60 Tonnen pro Jahr und Hektar berichtet.

Darüber hinaus ist der Transportweg, der im Rahmen dieser vergleichenden Ökobilanzierung sehr detailliert untersucht wurde, bei der Bewertung der Umweltleistung entscheidend. Um eine Tonne Sulfat-Zellstoff in der Papierproduktion einzusetzen, werden im Durchschnitt 14.000 Tonnenkilometer Zellstoff in Form von Stammholz, Holzschnitzeln oder bereits raffiniertem Zellstoff bewegt. So ist ein Ergebnis, dass der Aufwand an Energie und Emissionen für den Transport einer Tonne Sulfat-Zellstoff höher ist als bei dem gesamten Herstellungsprozess von zwei Tonnen Altpapierstoff oder drei Tonnen grasbasiertem Zellstoff.

In den vergangenen Jahren ist der Einsatz von Wasser in der Produktion von Sulfat-Zellstoff stark gesunken. Dennoch liegt er in dem dieser Untersuchung zugrundeliegenden Szenario bei 32.000 Litern pro Tonne Sulfat-Zellstoff, 9.000 Litern pro Tonne Altpapierstoff und bei zwei Litern pro Tonne grasbasiertem Zellstoff.

Relativer Umweltvorteil von grasbasiertem Zellstoff

Im Vergleich zur Herstellung von Sulfat-Zellstoff und Altpapierstoff ergibt sich für den grasbasierten Zellstoff insgesamt ein deutlicher Umweltvorteil. So ist die Produktion von grasbasiertem Zellstoff sechsmal energiesparender als die von Sulfat-Zellstoff, verursacht lediglich 26% der Emissionen, benötigt 16.000 mal weniger Wasser und hat ein um den Faktor 18 geringeres Versauerungspotential.

Im Vergleich zu Altpapierstoff ist der Produktionsprozess von grasbasiertem Zellstoff 1,5 mal energiesparender, verursacht lediglich 77% der Emissionen, benötigt 4.500 mal weniger Wasser und hat ein um den Faktor 5 geringeres Versauerungspotential.

Bedeutung von Treibstoff- und Energieeinsatz für die Ökobilanz von Zellstoff

Entscheidend für den ökologischen Vorteil von Graspapier ist insbesondere der geringe Treibstoff- und Energieeinsatz im Produktionsprozess, der sich insbesondere aus den kurzen Transportwegen ergibt. Grasbasierter Zellstoff kann seinen ökologischen Vorteil in dieser Größenordnung nur aufrechterhalten, wenn die Produktion lokal begrenzt bleibt und auf Ausgleichsflächen geschieht. Werden jedoch ähnliche Transportweg unterstellt, ist Graszellstoff zwar immer noch umweltfreundlicher als Sulfat-Zellstoff, aber nicht mehr umweltfreundlicher als Altpapierstoff. Gleichzeitig ist eine Reduktion der Transportwege für Sulfat-Zellstoff hypothetisch, verbraucht doch die deutsche Zellstoffindustrie ca. 15 Millionen Bäume jährlich, welche lokal überhaupt nicht bereitgestellt werden können.

Relativer Umweltvorteil bezüglich Landnutzung und Biodiversität

Über die dargestellte Ökobilanzierung ergibt sich für Graszellstoff weiterhin sowohl ein ökologischer Vorteil in Bezug auf Flächenreservierung und -transformation, als auch in Bezug auf Eingriffe in Ökosysteme und damit verbundene Folgen für die Biodiversität.

So erfolgt die Gewinnung von grasbasiertem Zellstoff auf Ausgleichs- und Brachflächen, die für diesen Zweck nicht extra kultiviert werden müssen. Weiterhin sind Grasanbau und Mähen auch kurzfristig auf Flächen möglich, welche auf Grund gesetzlicher Bestimmungen freigehalten werden, wie es bspw. der Anbau von Elefantengras am Amsterdamer Flughafen Schiphol zeigt. Auch sind die Erntezyklen (halbjährlich) so kurz, dass eine langfristige Flächenreservierung nicht zwangsläufig notwendig ist.

Im Fall der Gewinnung von Zellstoff durch Holz sind diese Fristen länger. So dauert ein Zyklus für brasilianischen Eukalyptus sieben Jahre und für europäische Kiefer mit rund 15 Jahren noch einmal deutlich länger. Der Holzeinschlag nach einer solchen Periode ist daher mit einem Rückgang der Biodiversität verbunden, mit einem erhöhten Risiko an Bodenverlust und mit möglichen Veränderungen des Mikroklimas. Diese Nachteile ergeben sich durch das Mähen von Gras nicht in diesem Ausmaß und sind, sofern sie auftreten, kurzfristiger Natur.

Zuletzt besteht trotz großer Anstrengungen der Zellstoffindustrie und der Gesetzgeber immer noch das Risiko, dass illegal geschlagenes Holz in der Papier-Wertschöpfungskette verarbeitet wird und so geschützte Naturräume zerstört werden. Auch dieses Risiko besteht beim Einsatz von grasbasiertem Zellstoff so nicht.

Literatur

- Abteilung für Forschung und Wirtschaftliche Studien (Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos – DEPEC)(2017): Papel e Celulose, Banco Bradesco, São Paulo, Brasilien.
- American Forest & Paper Association: Printing and Writing Papers Life-Cycle Assessment. Frequently Asked Questions, online unter <http://www.afandpa.org/docs/default-source/default-document-library/final-faq-document-12-3-10.pdf?sfvrsn=0> [18.09.2017].
- Ansaharju, Aulis (2007): Paper, packing & forest products. Challenges for the Pulp and Paper Industry in Finland – Barnets Forest Forum, Joensuu, AA, Forest Forum/JW, hl, Stora Enso, Finland.
- Couto, Laércio, Nicholas, Ian und Wright, Lynn (2011): Short Rotation Eucalypt Plantations for Energy in Brazil. Promising resources and systems for producing bioenergy feedstocks, IEA Bioenergy Task 43.
- DIN Deutsches Institut für Normierung (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006), Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normierung (2009): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006), Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- El Espectador (2014): Análisis de la producción de celulosa en Uruguay tras la apertura de la planta de Montes del Plata, in: El Espectador, vom 27.06.2014, online unter <http://www.espectador.com/economia/294215/analisis-de-la-produccion-de-celulosa-en-uruguay-tras-la-apertura-de-la-planta-de-montes-del-plata> [18.09.2017].
- Eucalyptus.com.br (2017): Eucalyptus Online Book, online unter <http://www.eucalyptus.com.br/disponiveis.html> [18.09.2017].
- Europäische Kommission (2013): Characterisation factors of the LCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods. Database and supporting information, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, EUR 25167 EN – 2012.
- Happe, Barbara (2002): Der Kampf gegen die „Grüne Wüste“. Brasilianische Zellstoffindustrie boomt auf Kosten von Mensch und Natur, ökozidjournal Nr. 23.
- International Trade Centre [Intracen] (2017): Trade statistics for international business development, online unter <http://www.trademap.org> [18.09.2017].
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2011): Ermittlung von Erträgen auf dem Grünland. In Grünland Aktuell, April 2011.
- Statistisches Amt der Europäischen Union [Eurostat] (2017): Statistiken zur Produktion von Waren, online unter <http://ec.europa.eu/eurostat/de/web/prodcom/data/database> [18.09.2017]
- Swedish Forest Industries Federation: Pulp and Paper Industry, online unter <http://www.forestindustries.se/forest-industry/statistics/pulp-and-paper-industry/> [18.09.2017].
- Swedish Forest Industries Federation: Swedish Forests, online unter <http://www.forestindustries.se/forest-industry/statistics/swedish-forests/> [18.09.2017].
- Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (2017): Ein Leistungsbericht. Annual Report 2017.
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230, online unter <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8> [18.09.2017].