

AUSTRIAN BIOCYCLES

Biobasierte Industrie als Bestandteil der Kreislaufwirtschaft

V. Reinberg, T. Steffl, M. Gronalt,
E. Ganglberger, J. Thaler,
M. Müller, A. Biebl,
J. Niederwieser, J. Kisser

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

13/2020

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

AUSTRIAN BIOCYCLES

Biobasierte Industrie als Bestandteil der Kreislaufwirtschaft

Veronika Reinberg, Johannes Kisser, Anna Biebl,
Ines Kantauer, Julia Edlinger, Marlies Müller
alchemia-nova GmbH

Manfred Gronalt, Jakob Niederwieser
Universität für Bodenkultur Wien
Produktionswirtschaft und Logistik

Erika Ganglberger, Joachim Thaler
Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik

DI Thomas Steffl
scenario editor e.U.

Wien, April 2020

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms

Produktion der Zukunft

des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Die umfassende und exzessive Nutzung fossiler und nicht erneuerbarer Ressourcen hat vor allem in den Industrienationen lange Zeit für ein kontinuierliches wirtschaftliches Wachstum gesorgt. Heute allerdings stellt diese Handlungsweise die Weltgemeinschaft vor große Herausforderungen, die im 21. Jahrhundert gelöst werden müssen – seien es der Klimawandel, die globale Umweltverschmutzung oder die allgemeine Verknappung der Ressourcen.

Speziell die EU-Mitgliedstaaten liefern sich aufgrund ihrer hohen Rohstoffimportabhängigkeit (z. B. betreffend Erdöl und Erdgas) der immer stärkeren Konkurrenz auf dem Weltmarkt aus. Mit ressourceneffizienter und nachhaltiger Nutzung biogener Rohstoffe gibt es für die Wirtschaft vielfältig nutzbare Alternativen.

Nachhaltigen Industriekonzepten wird zur Lösung eingangs genannter Herausforderungen eine entscheidende Rolle zugesprochen, die biobasierte Industrie wird hierbei ein wesentlicher Wirtschaftsfaktor sein. Diese ermöglicht die Umwandlung (Konversion) nachwachsender Rohstoffe in hochwertige Produkte und erzeugt so zusätzlichen Mehrwert. Die zielgerichtete Forschung und Entwicklung für den Ausbau der biobasierten Industrie gewährleistet Wertschöpfung im nationalen und europäischen Raum und somit realen Mehrwert für die regionale und lokale Nutzung der Rohstoffe und den Einsatz heimischer Fach- und Arbeitskräfte.

Aber auch biogene Ressourcen sind nicht unbegrenzt verfügbar. Daher ist es sowohl aus ökologischen als auch aus ökonomischen Gründen notwendig, Biomasse möglichst vollständig zu verwerten, beziehungsweise Konzepte zu entwickeln, die eine ressourceneffiziente Nutzung berücksichtigen und höhere Wertschöpfung erzielen. Zugleich soll eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft unterstützt werden, welche – neben der kaskadischen Nutzung – auf die Rückführung von biogenem Material in den Produktionskreislauf und die Verwertung von Reststoffen abzielt.

Der vorliegende Bericht dokumentiert in umfassender Weise die Ergebnisse eines Projekts im Themenbereich „Biobased Industry“ im Rahmen der FTI Initiative „Produktion der Zukunft“ der Sektion Innovation im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Unsere Motivation ist es, kontinuierlich Ergebnisse geförderter Projekte zentral und themenübergreifend zugänglich zu machen. Damit geben wir einen Anstoß zur Lösung unserer großen gesellschaftlichen Herausforderungen und folgen dem Ziel des BMK, unter der Initiative „open4innovation“ (www.open4innovation.at) die Basis für Vernetzung und für die Gestaltung von Neuem zu schaffen.

Theodor ZILLNER / René ALBERT

Thementeam Ressourcen

Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG	1
ABSTRACT	2
1 EXECUTIVE SUMMARY.....	3
1.1 Motivation	3
1.2 Inhalte und Zielsetzungen	3
1.3 Methodische Vorgehensweise.....	4
1.4 Ergebnisse	5
1.4.1 Relevante Stoffströme	5
1.4.2 Bioraffineriekonzepte, Produkte und Substitutionspotenziale	6
1.4.3 Verortung der Biomasse	7
1.4.4 Logistiknetzwerk und Wirtschaftlichkeit	8
1.4.5 Ökonomische und Ökologische Auswirkungen	9
1.4.6 Technologischer Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen	10
1.4.7 Ausblick.....	10
2 AUSGANGSLAGE UND HINTERGRUND	11
2.1 Circular Bioeconomy.....	11
2.2 Bioraffinerie	11
3 ZIEL UND RAHMEN DER STUDIE	12
4 ABSCHÄTZUNG DER RELEVANTEN BIOBASierten STOFFSTRÖME.....	13
4.1 Methodik.....	13
4.2 Potenzialbegriffsbestimmungen	14
4.3 Recherche interessanter Stoffströme und Datenquellen	14
4.3.1 Nebenprodukte aus der Land- und Forstwirtschaft.....	15
4.3.2 Nebenprodukte aus der biobasierten Industrie	17
4.3.3 Energetische Nutzung, Abfallfraktionen und Abwässer	18
4.3.4 Weitere Stoffströme	21
4.3.5 Quantifizierung der relevanten Stoffströme	21
4.3.6 Auswahlkriterien für die betrachteten Stoffströme	21
4.3.7 Berechnungen und Fehlerabschätzung	22
4.3.8 Ergebnisse im Überblick.....	22
4.3.9 Relevante Stoffströme aus der Landwirtschaft	26
4.3.10 Relevante Stoffströme aus der weiterverarbeitenden Industrie.....	27
4.3.11 Relevante Stoffströme aus der Energie- und Abfallwirtschaft	28
4.4 Vergleich mit EU-Daten	29
4.5 Diskussion der Datenquellen	32
5 BIORAFFINERIEKONZEPTE, SUBSTITUTIONSPOTENZIALE UND VERORTUNG DER BIOMASSE .	33
5.1 Methodik.....	33
5.2 Ergebnisse	35
5.2.1 Verarbeitungsprozesse	35

5.2.2	Produkte der Nutzungspfade.....	37
5.2.3	Lignocellulose	41
5.2.4	Ablauge aus Zellstoff-Herstellung.....	49
5.2.5	Grüne Biomasse	51
5.2.6	Ölpressekuchen	53
5.2.7	Trester.....	55
5.2.8	Braureststoffe	58
5.2.9	Molkereiabfälle.....	61
5.2.10	Tierische Reststoffe	64
5.2.11	Reststoffe von Getreidemühlen	67
5.2.12	Zuckerreststoffe.....	70
5.2.13	Biomüll	72
5.2.14	Abwasser.....	77
5.2.15	Klärschlamm	80
5.2.16	Gülle.....	83
5.2.17	Eierschalen.....	86
5.2.18	Biogene Asche.....	87
5.2.19	Weitere biogene Energieträger	88
5.2.20	Biogas.....	88
5.3	Übersicht Substitutionspotenzial.....	89
5.4	Darstellung in KUMU	92
6	ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN.....	94
6.1	Nutzung sekundärer Rohstoffe aus biobasierten Prozessen	94
6.2	Ökologische „Nebenwirkungen“	94
6.3	Methodik.....	95
6.3.1	Workshop-Ablauf.....	95
6.3.2	Aussagekraft der Ergebnisse.....	95
6.4	Workshop-Ergebnisse.....	95
6.4.1	Generelle ökologische Auswirkungen von Biomassenutzung	95
6.4.2	Molkereiabfälle.....	96
6.4.3	Stroh und Rebschnitt	96
6.4.4	Klärschlamm	97
7	ÖKONOMISCHE AUSWIRKUNGEN	98
7.1	Methodik.....	98
7.2	Workshop-Ergebnisse.....	98
8	SUPPLY CHAIN DESIGN FÜR EIN SEKUNDÄRROHSTOFFNETZWERK IN ÖSTERREICH	100
8.1	Charakterisierung und Besonderheiten von Lieferketten biogener Sekundärrohstoffe	101
8.1.1	Räumliche und zeitliche Verfügbarkeit.....	101
8.1.2	Lagerung von Biomasse	103
8.1.3	Menge und Dichte	103
8.1.4	Transport	104
8.2	Supply Chain Design Stroh.....	104
8.2.1	Problembeschreibung.....	104
8.2.2	Gestaltungsoptionen eines Liefernetzes für Sekundärrohstoffe	106

8.3	Datengrundlagen für die Ermittlung des Liefernetzes	107
8.3.1	Ermittlung des relevanten Potenzials	107
8.4	Räumliche Verteilung des relevanten Strohpotenzials.....	110
8.5	Transportdistanzen und -kapazitäten	110
8.6	Konversionsfaktoren und Produktionskapazitäten	111
8.7	Kostenschätzungen.....	112
8.7.1	Investitionsschätzung	112
8.7.2	Investitionsabhängige Fixkosten.....	113
8.7.3	Betriebsmittelverbrauchsabhängige Kosten	114
8.7.4	Rohstoffkosten.....	114
8.7.5	Transportkosten.....	114
8.7.6	Variable Pyrolysekosten	115
8.7.7	Variable Synthesekosten	115
9	MODELLSTRUKTUR ZUR STANDORTPLANUNG	117
9.1	Modell zum Liefernetzwerkdesign Stroh	118
9.2	Basisszenario	118
9.2.1	Standorte	119
9.2.2	Gesamtkosten BtL - Logistiknetzwerk.....	120
9.2.3	Verarbeitungskosten	123
10	FORSCHUNGSBEDARF UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	126
10.1	Methodik.....	126
10.2	Workshop-Ergebnisse.....	126
10.2.1	Technologischer Forschungsbedarf	126
10.2.2	Forschungspolitische Maßnahmen.....	128
10.2.3	Schließung von Kreisläufen bei biogenen Rohstoffen	129
11	AUSBLICK	131
12	QUELLEN	133
12.1	Literatur	133
12.2	Internet	145
13	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	147
14	TABELLENVERZEICHNIS	150
15	ANHANG	153
15.1	ExpertInnen-Interviews	153
15.2	Abkürzungen	154
15.3	Quellenverzeichnis für das Mengengerüst der relevanten biobasierten Stoffströme	155
15.4	Parameter zur Abschätzung der Datenqualität	160
15.5	Mengengerüst auf Länderebene nach Stoffströmen.....	163
15.6	Mengengerüst auf Bundesebene	172
15.7	Logistik-Tabellen	174

KURZFASSUNG

In der vorliegenden Studie wurde das Potenzial an sekundärer Biomasse und bisher direkt verbrannter oder verfütterter Biomasse für Österreich erhoben und daraus das Substitutionspotenzial von fossilen Produkten über verschiedene Konversionswege ermittelt. Dabei wurde das gesamte Verwertungsspektrum biogener Stoffströme innerhalb etablierter Bioraffinerie-Konzepte betrachtet und die thermische Verwertung von Biomasse erst als letzter Schritt nach einer Nutzungskaskade berücksichtigt.

Dafür wurden zunächst relevante biogene Stoffströme (Abfälle, Nebenprodukte, momentan energetisch oder als Tierfutter genutzte Biomasse) in Österreich ermittelt und auf Bundesländerebene verortet. Diese Daten und die dazugehörigen Datenquellen wurden aufbereitet, um etwaige Markt- oder Machbarkeitsanalysen zu erleichtern. In einem weiteren Schritt wurden Nutzungspfade und Bioraffinerie-Konzepte ermittelt und über Konversionsfaktoren das theoretische Substitutionspotenzial (Ersatz von fossilen Produkten) berechnet. Ein Vergleich mit einer Herstellung aus primärer Biomasse wurde auf Basis der benötigten Fläche für den Anbau vorgenommen. Darüber hinaus wurde ein logistisches Modell für ein Standortwahlmodell für ein kostenminimales Liefernetzwerk am Beispiel Stroh entwickelt, um die Machbarkeit an einem konkreten Beispiel abzuschätzen und aufzuzeigen. Begleitend wurden unter Einbeziehung von ExpertInnen mögliche ökologische und volkswirtschaftliche, sowie Auswirkungen auf die Regionalentwicklung abgeschätzt, um mögliche Risiken und Chancen zu eruieren. Technische Fragestellungen und forschungspolitische Handlungsempfehlungen, die sich aus den Recherchen ergaben, wurden gesammelt und in einem ExpertInnen-Workshop vertieft.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass theoretisch ein Substitutionspotenzial von 5,2 Mt fossiler Produkte und somit die 2,4-fache Menge des Materialeinsatzes für fossile Grundstoffe besteht (wenn die gegenseitige Beeinflussung der Stoffströme außer Acht gelassen wird). Bei einer Herstellung dieser Produktmengen aus primärer Biomasse wären dafür rund 2 Mio ha Ackerland nötig – was der 1,5-fachen Agrarfläche Österreichs entspricht. Eine reale Verfügbarkeit sehen die befragten ExpertInnen und die erhobenen Daten vor allem bei Stroh, Abwasser bzw. Klärschlamm, Biomüll und Gülle. Die enormen Material-Mengen in der österreichischen Holzwirtschaft zeigen auch hier ein großes Potenzial, das vor allem mit der direkten Biomasse-Verbrennung in Konkurrenz steht. Im Projekt erfolgte keine Quantifizierung der real verfügbaren Biomasse-Mengen, da eine seriöse Abschätzung nur auf Basis von detaillierten Erhebungen in den verschiedenen Landwirtschafts- und Industriesektoren möglich ist. Die vorliegende Studie soll einen fundierten Ausgangspunkt für weitere Detailstudien bieten. Eine vermehrte Nutzung sekundärer Biomasse wird volkswirtschaftlich und in Hinblick auf die Regionalentwicklung als positiv eingeschätzt, allerdings wurde die Wettbewerbsfähigkeit der biobasierten Produkte ohne CO₂-Bepreisung angezweifelt und die Wichtigkeit der Nahrungsmittelsicherheit hervorgehoben. Bei der Einschätzung ökologischer Auswirkungen wurden die Risiken der Entnahme von zu viel Nährstoffen aus der Landwirtschaft einerseits und der Anreicherung von Schadstoffen andererseits (z. B. bei der Nutzung von Klärschlamm) von den befragten ExpertInnen betont.

Die erarbeiteten Forschungsfelder umfassen vor allem energie- und kosteneffiziente Trenntechnologien, Optimierungen bei Umwandlungstechnologien (u. a. Fermentation, Katalysatoren) und analytische Verfahren für biobasierte Rohstoffe und Produkte.

ABSTRACT

In this study the potential of secondary biomass and currently directly combusted or fed biomass was surveyed for Austria and the substitution potential of fossil products via different conversion routes was determined. The entire utilisation spectrum of biogenic material flows within established biorefinery concepts was considered and the thermal utilisation of biomass was only considered as the last step after a utilisation cascade.

To this end, relevant biogenic material flows (waste, by-products, biomass currently used for energy or animal feed) were first identified and located at provincial level for Austria. These data and the corresponding data sources were processed in order to facilitate possible market or feasibility analyses. In a further step, utilisation paths and biorefinery concepts were determined and the theoretical substitution potential (replacement of fossil products) was calculated by means of conversion factors. A comparison with production from primary biomass was made on the basis of the area required for cultivation. In addition, a logistic model for a cost-minimised supply-network was developed using straw as an example, in order to estimate and demonstrate the feasibility using a concrete example. At the same time, possible ecological and economic effects as well as effects on regional development were assessed with the involvement of experts in order to identify possible risks and opportunities. Technical questions and research policy recommendations for action - that resulted from the research - were collected and discussed in depth in an expert workshop.

In summary, it can be stated that there is a hypothetical substitution potential of about 5.2 Mt of fossil products and thus 2.4 times the amount of material input for fossil raw materials (if the mutual influence of material flows is disregarded). If these product quantities were produced from primary biomass, about 2 million hectares of arable land would be required for this purpose - which corresponds to 1.5 times Austria's agricultural area.

The experts interviewed and the data collected indicate that straw, wastewater or sewage sludge, organic waste and manure are available in real terms. The enormous quantities of material in the Austrian wood industry also show a great potential, which is in competition with direct biomass combustion particularly. The project did not quantify the actually available biomass quantities, because a serious estimation is only possible on the basis of detailed surveys in the various agricultural and industrial sectors. The present study should provide a sound starting point for further detailed studies.

An increased use of secondary biomass is seen as positive from an economic and regional development point of view. However, the competitiveness of bio-based products without CO₂-pricing was questioned and the importance of food safety was emphasised. In the assessment of ecological effects, the risks of extracting too much nutrients from agriculture on the one hand and the accumulation of pollutants on the other (e.g. when using sewage sludge) were emphasised by the experts interviewed.

The necessary research fields include above all energy- and cost-efficient separation technologies, optimisation of conversion technologies (including fermentation, catalysts) and analytical processes for bio-based raw materials and products

1 EXECUTIVE SUMMARY

1.1 MOTIVATION

Zahlreiche Strategien auf nationaler und EU-Ebene, sowie eine große Zahl an wissenschaftlichen Veröffentlichungen betonen die Bedeutung der Nutzung von biogenen Abfällen und Nebenströmen für eine Transformation in Richtung einer Circular Bioeconomy, die ohne fossile Rohstoffe auskommt. Entsprechend der Prinzipien der Kreislaufwirtschaft werden lediglich stofflich nicht mehr verwendbare Reststoffe der thermischen Verwertung zugeführt. Die EU schreibt in ihrer „Updated Bioeconomy Strategy“¹ (European Commission 2018), dass die Europäische Bioökonomie Nachhaltigkeit und Kreislauffähigkeit als Herzstück beinhalten soll, wobei damit auch diese biobasierte Industrie erneuert werden soll, nicht zuletzt mit der Schaffung von neuen Wertschöpfungsketten die auf organischen Reststoffströmen basieren. Auch die noch aktuellere Veröffentlichung der Eckpunkte des European Green Deals² lässt auf weitere ehrgeizige Schritte in Richtung der kreislauffähigen Bioökonomie schließen.

Obwohl es bereits eine Vielzahl an Bioraffinerie-Konzepten zur Nutzung der unterschiedlichen Biomassen gibt, wurden diese bisher nur in wenigen Bereichen im industriellen Maßstab umgesetzt. Eine wichtige Voraussetzung für eine vermehrte Etablierung von Bioraffinerien ist die Ermittlung von logistischen und wirtschaftlichen Faktoren.

1.2 INHALTE UND ZIELSETZUNGEN

Das Projekt „Austrian BioCycles“ hatte zum Ziel Eckpfeiler abzustecken, wie eine zukünftige Vernetzung von biogenen Stoffflüssen in einer Kombination von lokalen und zentralen Bioraffinerieeinheiten auf technologischer und logistischer Ebene aussehen kann.

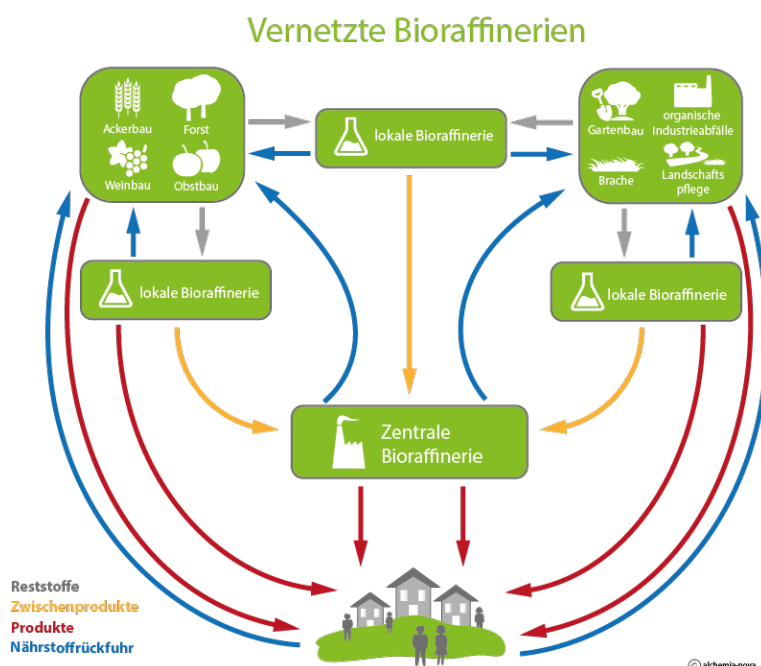


Abbildung 1: Konzept vernetzte Bioraffinerien (eigene Darstellung)

¹ European Commission: https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf, 14.01.2020

² European Commission: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, 14.01.2020

Dazu wurden relevante biogene Stoffströme (Abfälle, Nebenprodukte, momentan energetisch oder als Tierfutter genutzte Biomasse) in Österreich ermittelt und auf Bundeslandebene verortet. Im nächsten Schritt wurden Nutzungspfade und Bioraffineriekonzepte erarbeitet und über Konversionsfaktoren das theoretische Substitutionspotenzial (Ersatz von fossilen Produkten) berechnet. Ein Vergleich mit einer Herstellung aus primärer Biomasse wurde auf Basis der benötigten Fläche für den Anbau vorgenommen. Um die Machbarkeit der Nutzung der eruierten Biomassen abzuschätzen, wurde ein logistisches Modell für ein Liefernetzwerk am Beispiel Stroh entwickelt. Unter Einbeziehung von ExpertInnen wurden mögliche ökologische und volkswirtschaftliche, sowie Auswirkungen auf die Regionalentwicklung abgeschätzt, um mögliche Risiken und Chancen zu eruieren. Technischen Fragestellungen und forschungspolitische Handlungsempfehlungen, die sich aus den Recherchen ergaben, wurden gesammelt und in einer Auflistung beschrieben.

1.3 METHODISCHE VORGEHENSWEISE

Für die Erhebung der relevanten Stoffströme (qualitativ und quantitativ) wurden Daten aus öffentlichen Statistiken verwendet, die in Anbau und Ernte, weiterverarbeitendes Gewerbe und Industrie, sowie Abfallaufkommen und weitere Stoffströme geclustert wurden. Bei der Quantifizierung wurden inhaltliche Überschneidungen so weit wie möglich vermieden. Die Ergebnisse wurden als Balkendiagramme, sowie als Kacheldiagramm dargestellt.

Für die ermittelten Stoffströme wurden mittels Literaturrecherchen Bioraffineriekonzepte und Nutzungspfade erstellt und die jeweiligen TRLs beurteilt. Aus den Angaben in der Literatur wurden Konversionsfaktoren berechnet, mit denen die Berechnung des Substitutionspotenzials vorgenommen wurde. Für einen Flächenvergleich bei einer Herstellung aus primären Quellen wurden Zuckerrüben und Miscanthus (für Pyrolyse-Öl) herangezogen. Eine Abschätzung der in den Stoffströmen enthaltenen Nährstoffe Stickstoff und Phosphor wurde ebenfalls mit Werten aus der Literatur vorgenommen.

Parallel wurden 21 Leitfaden-gestützte ExpertInnen-Interviews an Hand von Leitfäden durchgeführt. Dabei wurden unter anderem um eine Einschätzung der aussichtsreichsten Biomassen und Produkte gebeten. Weiters wurden technische sowie sonstige Hemmnisse abgefragt.

Am Beispiel von Stroh, Rebschnitt und Klärschlamm wurde eine Verortung der Biomasse-Mengen auf Gemeindeebene mittels GIS als Grundlage für das Supply Chain Design vorgenommen. Die weiteren Schritte im Supply Chain Design wurden am Beispiel von Stroh und einer Pyrolyse mit anschließender Synthese zu Dimethylether (DME) durchgeführt (Bioliq®-Verfahren). Die potenziellen Pyrolyse-Standorte wurden auf bereits bestehende Infrastruktur und ein Minimum von anfallender Biomasse (14 kt) eingeschränkt. Aus den Distanzen zwischen den potenziellen Standorten wurden Szenarien für eine dezentrale oder zentrale Synthese-Anlage berechnet. Durch Programmierung eines logistischen Planungsmodells wurde ein kostenoptimiertes Liefernetzwerk berechnet (Standorte, Kapazitäten).

Die Abschätzung ökologischer und ökonomischer Auswirkungen der verstärkten Nutzung sekundärer Biomasse wurde in 2 Workshops mit ExpertInnen vorgenommen.

Die im Projekt eruierten Forschungsfragen und Handlungsempfehlungen wurden aus der Literatur, aus den ExpertInnen-Interviews und aus einem ExpertInnen-Workshop zusammengestellt.

1.4 ERGEBNISSE

1.4.1 Relevante Stoffströme

Bei den ermittelten Biomassen aus der Landwirtschaft stellen als Feuchtmasse mengenmäßig Gülle, Grünfutter (30% der momentan verfütterten Mengen angenommen) und Stroh (anfallende Menge minus 52% für Verbleib am Feld und Einstreu) die größten Ströme dar. In der weiterverarbeitenden Industrie macht die Feuchtmasse von Reststoffen der Molkereien, der Zuckerindustrie und der Tierverarbeitung (70% der anfallenden Mengen) die größten Anteile aus. Aus Statistiken der Energie- und Abfallwirtschaft wurden mit kommunalen Abwässern, Holzabfällen, Ablauge aus der Zellstoffindustrie und Energieholz die größten Feuchtmassen ermittelt.

Betrachtet man die Trockenmassen stechen die theoretisch nutzbaren Mengen an Holzabfällen (v.a. Hackschnitzel), Energieholz (v.a. Scheitholz), Grünfutter, Gülle und Stroh hervor, wobei die stoffliche Nutzung hierbei der energetischen vollständig vorgezogen wird und somit die derzeit gesamten Mengen an thermisch genutztem Holz als stoffliches Potenzial herangezogen wurde. Abbildung 2 zeigt eine Übersicht als Vergleich der Trockenmassen.

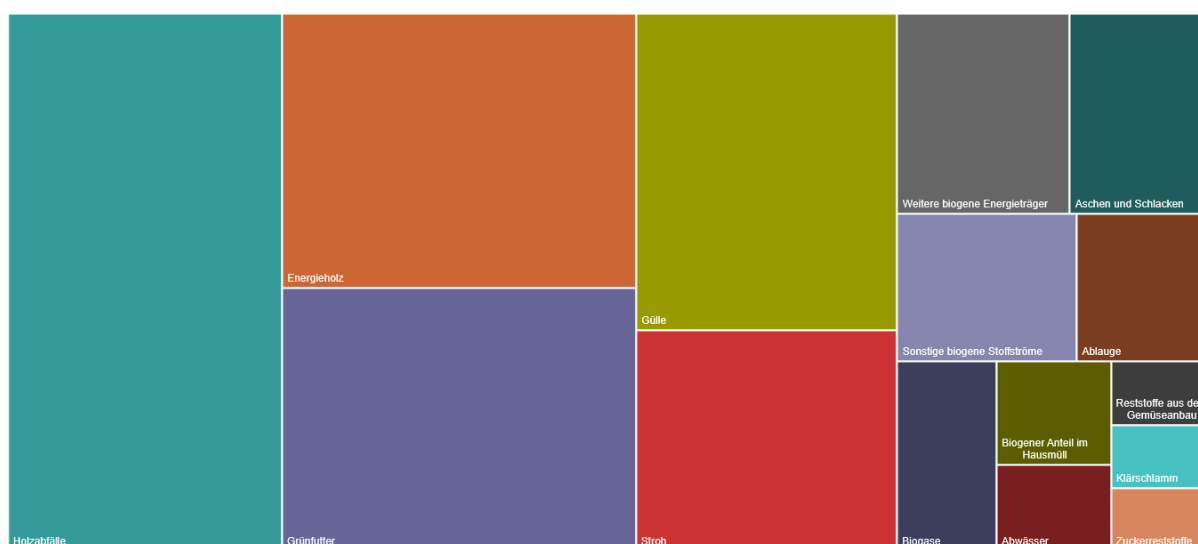


Abbildung 2: Vergleich relevanter biobasierter Stoffströme als Trockenmasse (eigene Darstellung)

Bei einem Vergleich mit den verfügbaren Zahlen auf EU-Ebene zeigt sich, dass in Österreich relativ große Mengen an Milch verarbeitet werden (136 kg Milchprodukte/Kopf) und viel feste Biomasse verbrannt wird (mehr als die doppelte Menge pro Kopf im Vergleich mit dem EU-Durchschnitt) (Eurostat 2020)^{3,4,5,6}.

³ Eurostat: <https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/u33K8Gi1MFYGN7HyHUNhg>, 20.01.2020

⁴ Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=tgs00096>, 20.01.2020

⁵ Eurostat: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/apro_mk_pobta, 20.01.2020

⁶ Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>, 20.01.2020

1.4.2 Bioraffineriekonzepte, Produkte und Substitutionspotenziale

Neben einer Übersicht über die verfügbare aktuelle Literatur mit Bioraffineriekonzepten zu den unterschiedlichen Stoffströmen wurden Konversionsfaktoren zur Umrechnung in Produkte ermittelt. Es ist zu betonen, dass die in den Veröffentlichungen als bevorzugte Nutzungspfade dargestellten Optionen oft Nutzungen betrifft, die keinen direkten Vergleich mit fossil basierten Produkten ermöglichen. So wird zum Beispiel die Produktion von Enzymen oder Bakterien für den Pflanzenschutz als aussichtsreichste Wertschöpfung aus Biomüll beschrieben (Vea, Romeo, and Thomsen 2018), es war allerdings kein Substitutionspotenzial für diese Optionen berechenbar. Daher wurden zum Großteil Grundstoffe wie Ethanol, Milchsäure oder Methan als Produkte für die Ermittlung des Substitutionspotenzials herangezogen. Damit entspricht eine Herstellung dieser Stoffe nicht automatisch den aussichtsreichsten Nutzungspfaden für eine Umsetzung in Österreich. Stattdessen ist die Wahl der Nutzungswege der Fragestellung nach dem Substitutionspotenzial geschuldet. Aus den errechneten Produktmengen wird auch sichtbar, dass für einige Stoffströme die nötigen Rohstoffmengen für eine Umsetzung zu Grundchemikalien gar nicht verfügbar wären, um diese in einer Großanlage herzustellen. Da die TRLs (Technology Readiness Level) der meisten eruierten Technologien bisher bei 4-6 liegen (Erprobung im Labormaßstab bis zum ersten Prototyp ohne langjährigen Betrieb), sind sowohl die Umrechnungsfaktoren mit einer großen Unsicherheit belegt, als auch noch wichtige Schritte in der Entwicklung bis zur Marktreife zu überbrücken.

Am Beispiel der Kategorie Lignocellulose (mehr als 50% der ermittelten Trockenmasse) sind in den folgenden Grafiken die einbezogenen Stoffströme (Abbildung 3) und die Darstellung eines Nutzungspfades (Hydrothermal Liquefaction, Abbildung 4) zu finden. Die gleichen Grafiken wurden auch für die anderen Stoffströme erstellt.

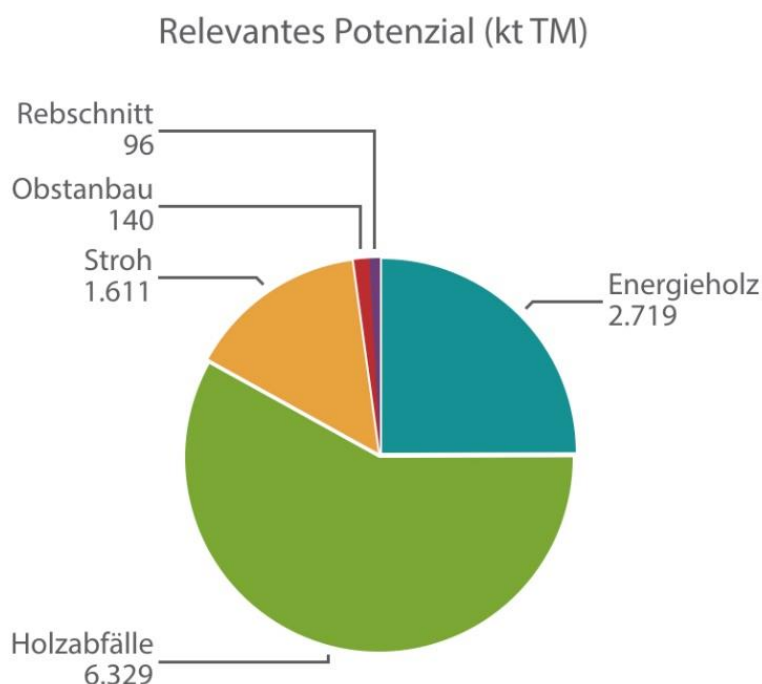


Abbildung 3: Zusammensetzung des Relevanten Potenzials der Kategorie Lignocellulose in kt (7kt Energiegräser in der Grafik nicht abgebildet) (eigene Darstellung)



Abbildung 4: theoretisches Substitutionspotenzial durch HTL von Lignocellulose (eigene Darstellung) berechnet nach (Arturi, Kucheryavskiy, and Sogaard 2016; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei Vernachlässigung der Beeinflussung der Stoffströme untereinander, theoretisch ein Substitutionspotenzial von 5,2 Mt fossiler Produkte und somit die 2,4-fache Menge des Materialeinsatzes für fossile Grundstoffe (Steffl et al. 2018) besteht. Bei einer „klassischen“ Herstellung aus primärer Biomasse wären dafür 2 Mio. ha Ackerland nötig – was der 1,5-fachen Agrarfläche Österreichs entspricht.

Da die betrachteten Stoffströme allerdings momentan fast vollständig thermisch, als Futtermittel oder als Düngemittel genutzt werden, liegt ein reales Potenzial mit Sicherheit bei einem Bruchteil des theoretischen Substitutionspotenzials. Eine reale Verfügbarkeit sehen die befragten ExpertInnen vor allem in Stroh, Abwasser bzw. Klärschlamm, Biomüll und Gülle. Die enormen Material-Mengen in der österreichischen Holzwirtschaft zeigen auch hier ein großes Potenzial, das vor allem mit der direkten Biomasse-Verbrennung in Konkurrenz steht.

1.4.3 Verortung der Biomasse

Die Verortung auf Bundeslandebene wurde für 16 Stoffstrom-Kategorien auf einer Österreichkarte vorgenommen. In Abbildung 5 ist als Beispiel das relevante Potenzial an Lignocellulose abgebildet. Als Ort des Aufkommens und auch der potenziellen Weiterverarbeitung wurde in diesem Beispiel eine Auswahl an Biomassewerke, holzverarbeitenden Betriebe und Sägewerke eingezeichnet.

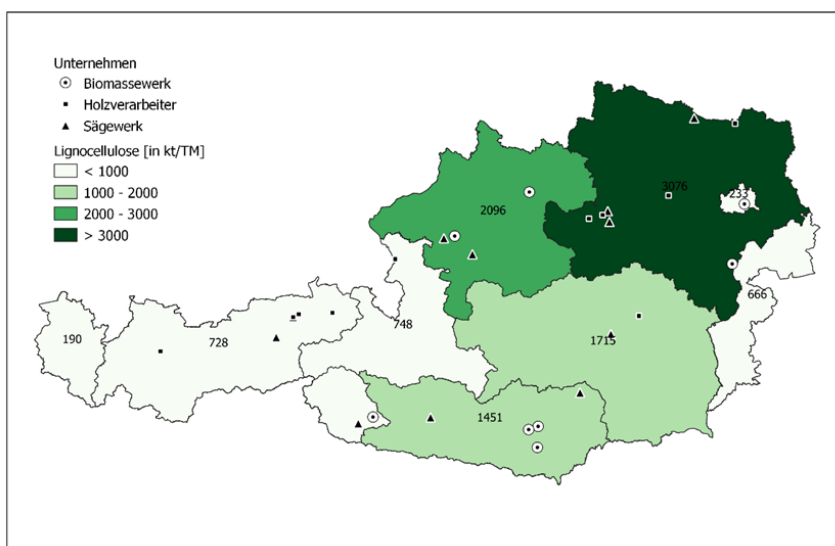


Abbildung 5: Relevantes Potenzial an Lignocellulose auf Bundeslandebene mit Biomassewerken, holzverarbeitenden Betrieben und Sägewerken (Auswahl) (eigene Darstellung)

1.4.4 Logistiknetzwerk und Wirtschaftlichkeit

Für die Ermittlung eines kostenminimalen Sekundärrohstoff-Liefernetzes wurde ein mathematisches Optimierungsmodell für eine Nutzung des Bioliq® Verfahrens aus Stroh erstellt, das das kostenminimale Design (Anzahl Standorte und Transportwege) berechnet. Als Inputgröße dient das ermittelte relevante Potenzial auf Gemeindebasis. Als Kostengrößen wurden Transportkosten und Errichtungs- und Betriebskosten der Bioraffinerien eingesetzt. Diese Kosten konnten aus Schätzwerten vergleichbarer Arbeiten hergeleitet werden. Bei der integrierten Version des Logistikkonzepts erfolgt der Biomassetransport direkt an eine zentrale Pyrolyse- und Syntheseanlage, welche sich an einem Standort befinden, während bei einer dezentralen Version (siehe Abbildung 6) mehrere Pyrolyse-Anlagen für die Herstellung von „Slurry“ vorhanden sind, der dann in einer Synthese-Anlagen weiterverarbeitet wird.

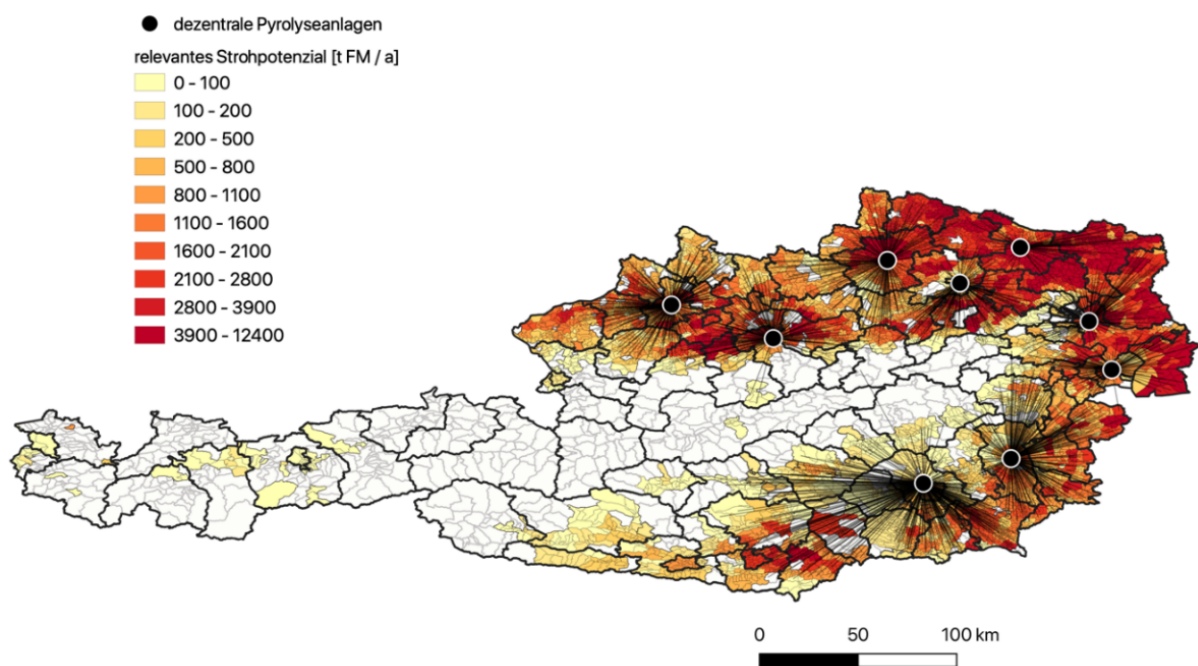


Abbildung 6: Dezentrales Logistikkonzept für Stroh mit regionalen Pyrolyseanlagen (eigene Darstellung)

Die Modellrechnungen ergeben Gesamtkosten (Verarbeitungskosten + Investitionen) von 1.072 Mio. € für das dezentrale bzw. 998 Mio. € für das zentrale Logistikkonzept. Bei diesen Ergebnissen sind die Erlöse durch den Verkauf überschüssiger elektrischer Energie aus der Syntheseanlage bereits mit eingerechnet. Diese betragen beim dezentralen Konzept rund 26 Mio. € und beim zentralen Konzept rund 17 Mio. €. Diese Erlöse reduzieren sich um die betriebsmittelverbrauchsabhängigen Kosten der Synthese und sind in den variablen Synthesekosten der beiden untersuchten Konzepte miteingerechnet. Bei einer verarbeiteten Slurrymenge von 1.207.440 t ergeben sich 21,4 Mio. € beim dezentralen bzw. -11,89 Mio. € beim zentralen Konzept. Die aus Literaturdaten geschätzten einmaligen Investitionen zur Errichtung der technischen Infrastruktur (Pyrolyse- und Syntheseanlagen) betragen rund 795 Mio. € im dezentralen bzw. 743 Mio. € (~52 Mio. €; -6,5%) im zentralen Logistikkonzept.

Abbildung 7 stellt die Gesamtkosten der berechneten Logistiknetzwerke gegenüber. Beide Logistikkonzepte weisen die gleichen Rohstoff-, Syntheseerrichtungs- und Synthesefixkosten auf.

Im dezentralen Konzept fallen in der zweiten Distributionsstufe Kosten für den Slurrytransport in Höhe von rund 13 Mio. € an. Im dezentralen Netzwerk fallen Pyrolysefixkosten von rund 30 Mio. €. Im zentralen Konzept betragen die Pyrolysefixkosten rund 22 Mio. € und fallen somit im Vergleich um rund ein Viertel (-26,5%) geringer aus. Dies ist auf Skaleneffekte bzw. Größendegression der Kosten bei Anlagen mit höherer Kapazität zurückzuführen. Der größte Kostenunterschied ist bei den variablen Pyrolysekosten zu erkennen. Im dezentralen Konzept betragen diese rund 33 Mio. €, was rund dem 20-Fachen der Kosten der zentralen Lösung bei 1,6 Mio. € entspricht (+1920%).

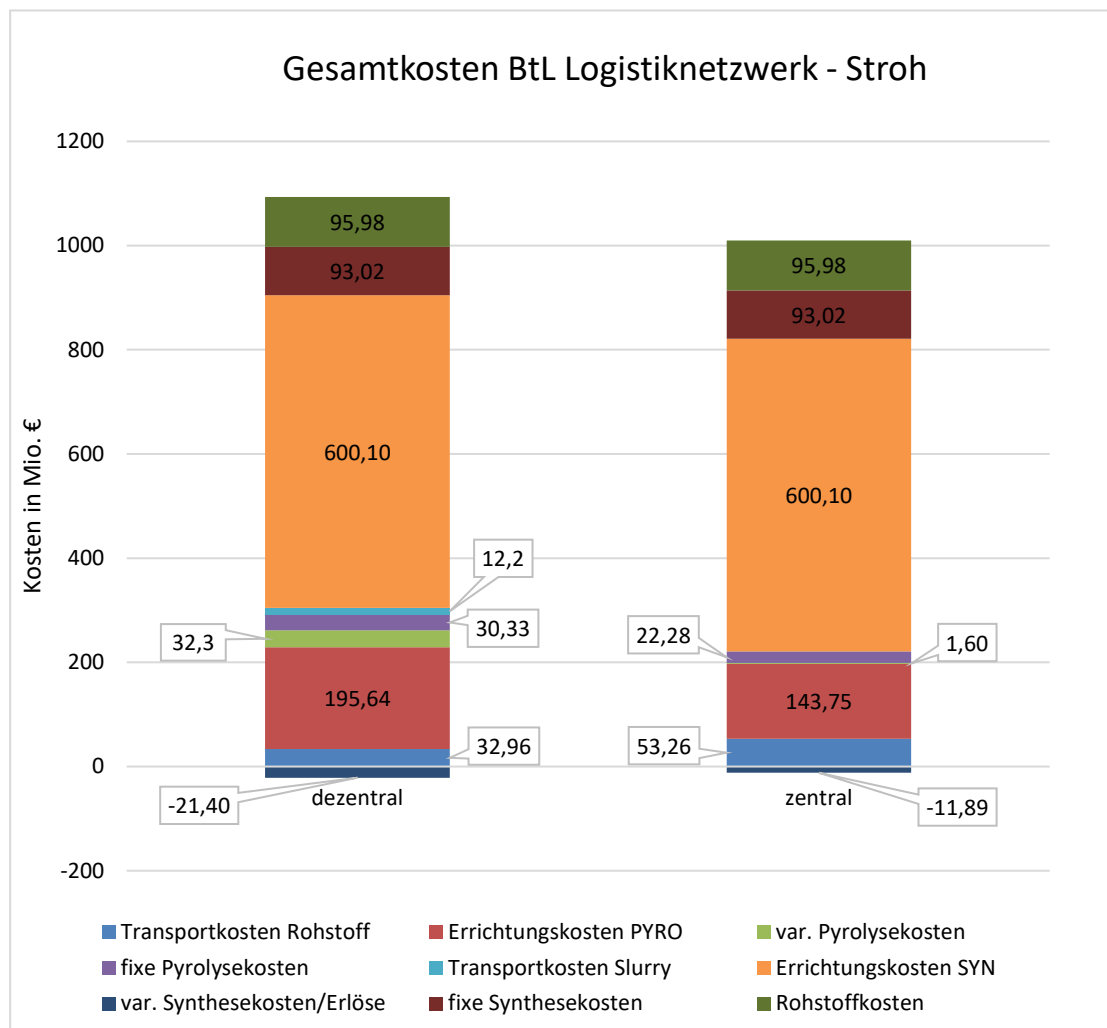


Abbildung 7: Gesamtkosten BtL Logistiknetzwerk Stroh (eigene Darstellung)

1.4.5 Ökonomische und Ökologische Auswirkungen

Die Auswirkungen der vermehrten Nutzung sekundärer Biomasse werden aus volkswirtschaftlicher Betrachtung und in Hinblick auf die Regionalentwicklung als positiv eingeschätzt, allerdings wurde die Wettbewerbsfähigkeit der biobasierten Produkte ohne CO₂-Bepreisung angezweifelt und die Wichtigkeit der Erhaltung und Steigerung der Biodiversität und Bodengesundheit hervorgehoben.

Bei der Einschätzung ökologischer Auswirkungen durch die befragten ExpertInnen wurden die Risiken der Entnahme von zu viel Nährstoffen aus der Landwirtschaft (Rebschnitt und Stroh als Rohstoff statt Einbringen in den Boden) einerseits und der Anreicherung von Schadstoffen andererseits (z.B. bei der Nutzung von Klärschlamm) betont.

1.4.6 Technologischer Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen

Der erhobene **technologische Forschungsbedarf** liegt insbesondere bei:

- energie- und kosteneffiziente **Trenntechnologien**,
- Optimierungen bei **Umwandlungstechnologien** (u.a. Fermentation, Katalysatoren) und
- **analytischen Verfahren** für biobasierte Rohstoffe und Produkte.

Handlungsempfehlungen der ExpertInnen umfassen unter anderem:

- guter Mix aus thematischen und themenoffenen Förderprogrammen, die durch **Einbindung von Stakeholdern** Praxisrelevanz aufweisen
- **Anbindung** nationaler Ausschreibungen an die **Forschungspolitik der EU**
- **Abstimmung zwischen verschiedenen Förderungen und Fördergebern**
- Formate um **Austausch zwischen Stakeholdern** zu intensivieren
- **Angewandte Forschung** im Universitätsbetrieb stärken
- Schutz vor dem Scheitern im „**Tal des Todes**“
- Anreize zum **Teilen von Forschungsinfrastruktur**
- Förderung von **interdisziplinärer Forschung**
- **Aufstockung von Fördermitteln**
- Förderung interdisziplinärer Forschung

1.4.7 Ausblick

Für die Umsetzung von Bioraffinerie-Konzepten zur Nutzung der erhobenen Stoffströme sind Detailstudien zur realen Verfügbarkeit und den Preisen der Biomassen nötig, die die Konkurrenz mit der energetischen Verwendung und dem Einsatz als Futtermittel berücksichtigen und auf die jeweiligen Rahmenbedingungen des gewählten Bioraffineriekonzeptes sowie der Vermarktungsstrategie im Detail eingehen zu können.

Obwohl die direkte Verbrennung von Biomasse nicht dem Konzept der Kreislaufwirtschaft entspricht (sondern nur eine thermische Verwertung am Ende einer möglichst langen Kaskade), ist eine Integration der stofflichen und energetischen Nutzung wichtig für eine nachhaltige Bioraffinerie, bei der alle Fraktionen verwertet werden. Für eine wirtschaftliche Umsetzung müssen strategische, politische Entscheidungen getroffen werden, die eine Rücknahme der Bevorzugung der thermischen Nutzung von Biomasse beenden. Notwendig ist auch die Bepreisung von CO₂, um fossil basierter Produkte nicht länger besser zu stellen.

Sobald ein höherer Anteil der Biomasse genutzt wird, muss auch die Rückführung der Nährstoffe auf die Felder sichergestellt werden. Im Sinne der Kreislaufwirtschaft ist die sichere Nutzung von Abwasser oder Klärschlamm unabdingbar, da auch alle essentiellen Pflanzennährstoffe neben Phosphor enthalten sind.

Welche Nutzungspfade sich für die verschiedenen Stoffströme tatsächlich umsetzen lassen, hängt neben den verfügbaren Rohstoffmengen auch von der erzielbaren Wertschöpfung aus den diversen Fraktionen ab. Neben der Möglichkeit der Umsetzung von Biomasse zu bereits jetzt in fossilen Raffinerien verwendeten Stoffen (wie z.B. Ethylen oder Methan), ist die Etablierung neuer biobasierter Raffinerien mit der Nutzung alternativer Grundstoffe (die einen höheren Grad der Syntheseleistung der Organismen erhalten) möglich.

2 AUSGANGSLAGE UND HINTERGRUND

2.1 CIRCULAR BIOECONOMY

Laut der “Bioeconomy Strategie” der EU wird eine nachhaltige Bioökonomie als der Erneuerbare Anteil der Kreislaufwirtschaft betrachtet. Dabei ist vor allem eine Nutzung von Reststoffen und Abfällen von Bedeutung (European Commission 2018). Auch in der österreichischen Bioökonomie-Strategie wird die Rolle von Reststoffen und neuen Rohstoffen (wie Algen) hervorgehoben. Effiziente Nutzungskaskaden sollen den nötigen Material- und Energieeinsatz auf ein Minimum reduzieren (“Bioökonomie Eine Strategie Für Österreich” 2019). Dabei ist allerdings zu beachten, dass der Wert der nachwachsenden Materialien, im Sinne der Keislaufwirtschaft – möglichst lange erhalten bleibt, was im Vergleich mit mineralischen Stoffen oder Metallen oft schwieriger zu bewerkstelligen ist. Außerdem kann das organische Recycling (bei biologisch abbaubaren Stoffen) in bestimmten Anwendungen eine wichtige Rolle spielen (Carus and Dammer 2018).

2.2 BIORAFFINERIE

Um die Ansprüche der Kreislaufwirtschaft zu erfüllen und negative ökologische Konsequenzen einzuschränken, wurden in den letzten Jahren zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten zu Bioraffineriekonzepten unterschiedlichster Biomasse-Ströme veröffentlicht. Dabei soll eine möglichst große Bandbreite an Input-Strömen vollständig in eine weite Palette an Produkten umgewandelt werden. Bisher wurden allerdings nur wenige Bioraffinerie-Konzepte wirklich umgesetzt.

Die Bioraffineriekonzepte lassen sich nach de Jong und Jungmeier in folgende Kategorien einteilen (de Jong and Jungmeier 2015):

- „Whole Crop Biorefinery“ (Stroh- und Kornverwertung)
- „Oleochemical Biorefinery“ (Biodiesel und hochwertige Produkte aus Öl/Fett)
- „Lignocellulosic Feedstock Biorefinery“ (Holz und Stroh werden zu Lignin, Cellulose und Hemicellulosen bzw. deren Derivate verarbeitet)
- „Next Generation Hydrocarbon Biorefinery“ (chemische Umwandlung von biogenen Molekülen u.a. zu Furanen)
- „Green Biorefinery“ (Verarbeitung von grüner Biomasse) und „Marine Biorefinery“ (Verarbeitung von Mikro- und Makroalgen)

Die Nomenklatur in der Benennung konkreter Bioraffinerie-Anlagen erfolgt nach dem Prinzip Anzahl der Plattformen (Name Plattformen)/Feedstock/Produkte/Prozesse, wobei Plattformen universelle Zwischenprodukte bzw. Energieformen wie C6-Zucker, Biogas, Syngas oder Elektrizität darstellen (Van Ree and Van Zeeland 2014). In Zukunft wird erwartet, dass sich die Zahl der Produkt-orientierten (product-driven) Bioraffinerien erhöht, bei deren Konzipierung hochwertige Produkte im Mittelpunkt stehen, während bei den meisten heutigen Anlagen bereits etablierte Prozesswege und die Energienutzung im Vordergrund stehen.

Wie öffentliche Strategien zeigen (European Commission 2018; “Bioökonomie Eine Strategie Für Österreich” 2019), wächst das Interesse von öffentlicher Seite an der Nutzung sekundärer Biomasse bzw. wird die Notwendigkeit alternativer Rohstoffe betont. Für Deutschland wurde bereits 2012 eine Roadmap für Bioraffinerien erstellt, in der die Verwertung von land- und forstwirtschaftlichen

Reststoffen, biogenen Reststoffen aus der Verarbeitung und von biogenen Abfallstoffen empfohlen wird (Wagemann 2012).

Auch wenn sich die Recherchen im Projekt Austrian BioCycles auf die stoffliche Nutzung konzentriert, ist zu betonen, dass bei der Betrachtung der Effizienz und den Umweltwirkungen der Biomasse-Nutzung eine Kombination aus stofflicher und energetischer Nutzung enorme Vorteile bringen kann. So zeigt eine Arbeit von (Laser et al. 2009) ein Beispiel, bei dem die rein thermochemische Verwertung (Verbrennung) 49% Effizienz bringt, während eine kombinierte Nutzung (Ethanol, Treibstoff und Energie als Produkte) bis zu 80% Effizienz erreicht (Celebi et al. 2017). Im Gesamtblick ist es jedoch wesentlich, dass die stoffliche gegenüber der energetischen Nutzung im Vordergrund steht und sich dieses auch in etwaigen Marktmodellen und Subventionen widerspiegelt.

Ein wichtiger Bereich bei der Etablierung von Bioraffinerien ist die Verwendung von „Green Chemistry“ bei der Extraktion von Naturprodukten. Dabei sollen schnellere und Energie-effizientere Prozesse, erhöhter Massen- und Wärmetransfer, eine Verringerung der Anlagenteile und eine Reduktion der Verfahrensschritte erzielt werden und sichere (weniger toxische) Lösungsmittel Anwendung finden (Rombaut et al. 2014).

Wegen der hohen Investitionskosten und zT. weiten Transportwege bei der Umsetzung von Bioraffinerie-Konzepten, wurden in den letzten Jahren zahlreiche Projekte zu „Small Scale Biorefineries“ durchgeführt, die eine dezentrale Aufarbeitung der Biomasse ermöglichen sollen. Dadurch sollen auch Bioraffinerien abseits der Lebensmittel- und Papier-Zellstoff-Industrie umsetzbar werden (de Visser and van Ree 2017). Im Bereich dieser Klein-Bioraffinerien sind Schlüsseltechnologien (wie Fraktionierungsschritte) auszubauen und Show Cases zu entwickeln. Diese Maßnahmen zeigen die Machbarkeit auf und forcieren die Zusammenarbeit zwischen den unterschiedlichen Wirtschaftszweigen wie Lebensmittelproduktion, Futtermittel-Herstellung, Landwirtschaft, Chemischer Industrie, Logistik und Energie-, sowie Treibstoffproduzenten.

Die Saisonalität anfallender Biomasse (wie z.B. Stroh oder Zuckerrüben) stellt neben dem relativ hohen Wassergehalt eine der Herausforderungen bei der wirtschaftlichen Nutzung dar. Aus diesem Grund stellt die Kombination der Nutzung unterschiedlicher Feedstocks in einer Bioraffinerie eine mögliche Chance dar. Die Effekte und Auswirkungen wurden von Giuliano et al. anhand der Konzeption einer Anlage zur Verwertung von Eukalyptus-Holz, Weizenstroh und Oliven-Schnitt zur Herstellung von Bernsteinsäure, Ethanol und Levulinsäure dargestellt. Die Autoren betonen dabei, dass die Volatilität der Marktpreise, die Kosten für die Sammlung der Rohstoffe und optimale Prozesskapazitäten und Verarbeitungsorte weiterer Studien bedürfen (Giuliano, Poletto, and Barletta 2016).

3 ZIEL UND RAHMEN DER STUDIE

Zahlreiche Studien und Strategien betonen die Bedeutung sekundärer Biomasse für die Transformation zu einer fossilrohstoff-unabhängigen Kreislaufwirtschaft. Die anfallenden Reststoffe sollen möglichst effizient und vollständig zu Produkten weiterverarbeitet werden, die bisher auf Erdöl basierende Chemikalien, Grundstoffe und Produkte ersetzen sollen. In der vorliegenden Studie „Austrian BioCycles – Biobasierte Industrie als Bestandteil der Kreislaufwirtschaft“ wurde das Potenzial an sekundärer Biomasse (und ergänzend auch der Biomasse, die bisher direkt verbrannt oder verfüttert wird) für Österreich erhoben und daraus das Potenzial an Substitution von fossilen Produkten über verschiedene Konversionswege ermittelt. Eine Abschätzung der ökologischen und ökonomischen Chancen, Herausforderungen, Alleinstellungsmerkmale und Ausschlussgründe der

Rohstoffpotenziale und Nutzungspfade wurde in zwei ExpertInnen-Workshops vorgenommen, um übersehene Teilaspekte zu ergänzen, Querverbindungen herzustellen und ein möglichst umfassendes Gesamtbild erstellen zu können.

Ergänzend wurden Logistikkonzepte für ein österreichisches Bioraffinerie-Netzwerk am Beispiel Stroh erstellt und Forschungsthemen für eine Förderung des vermehrten Einsatzes der sekundären Biomasse und einer Erhöhung der Substitution gesammelt.

Diese Studie bezieht sich explizit nur auf stoffliche Nutzungswege und klammert Themen der energetischen Nutzung oder Produkte für den Lebensmittel- oder Futterbereich aus.

4 ABSCHÄTZUNG DER RELEVANTEN BIOBASierten STOFFSTRÖME

Zur Ermittlung möglicher Substitutions- und Infrastrukturpotenziale biobasierter Abfälle, Reststoffe und Rohstoffe wurden in einem ersten Arbeitsschritt die aktuell in Österreich theoretisch verfügbaren und interessanten biobasierten Stoffströme abgeschätzt. Das hierfür erarbeitete Mengengerüst soll nicht nur im gegenständlichen Projekt als Datengrundlage Verwendung finden, sondern durch dessen vollständige Publikation auch für weitere Studien, die zum Beispiel Technologiepfade oder Vermarktungsoptionen näher beleuchten, zur Verfügung stehen.

4.1 METHODIK

Im ersten Arbeitsschritt wurden relevante und öffentlich zugängliche Statistiken von biobasierten Stoffströmen recherchiert und für das Auswahlverfahren aufbereitet. Hierbei konnten rund 80 potenzielle Statistiken identifiziert werden, die in diesem ersten Arbeitsschritt teilweise noch inhaltliche Überschneidungen aufwiesen. Da diese Stoffströme häufig keinen direkten Zusammenhang aufweisen (zum Beispiel Futtergetreide und Holzabfälle), wurde eine tabellarische Zusammenfassung der recherchierten Stoffströme gewählt. Hierbei wurde eine Clusterung nach dem Verarbeitungsgrad angewandt, um die Übersichtlichkeit zu verbessern und somit die Auswahl zu erleichtern – Anbau bzw. Ernte, weiterverarbeitendes Gewerbe und Industrie, energetische Nutzung und Abfallaufkommen sowie ein Cluster für nicht in diese Kategorien zuordenbare Stoffströme.

Die Zusammenstellung der identifizierten Stoffströme wurde im Projektkonsortium eingehend diskutiert und jene Stoffströme ausgewählt, die für das gegenständliche Projekt von Relevanz sind. Auswahl- bzw. Ausschlusskriterien für diese Entscheidungen waren vor allem die weitestgehende Vermeidung von inhaltlichen Überschneidungen zwischen den Stoffströmen, die Verfügbarkeit einer gewissen Quantität des Stoffes und die zumindest theoretisch vorhandenen Möglichkeiten einer biotechnologischen Verarbeitung zu höherwertigen Produkten. Darüber hinaus wurden einzeln identifizierte Stoffströme für den weiteren Projektverlauf zusammengeführt. Zum Beispiel wurden im ersten Arbeitsschritt die unterschiedlichen Obstfruchterntedaten einzeln identifiziert und im Projektkonsortium zur Auswahl gestellt, jedoch für das Projekt als „Reststoffe aus dem Obstanbau“ zusammengefasst, da eine detailliertere Betrachtung im Sinne der Projektziele keinen wesentlichen Mehrwert gebracht hätten.

Für einige Stoffströme erfolgten Umrechnungen, etwa um den Wassergehalt zu berücksichtigen oder von Proxydaten auf die benötigten Größen rückzuschließen. Deswegen wurde eine quantitative Abschätzung der Datenqualität nach Laner et al. (Laner et al. 2016), wie diese auch in Van Eygen et al. (Van Eygen et al. 2017), Wagner (Wagner 2017) und Steffl et al. (Steffl et al. 2018) beschrieben und

angewandt wurde, durchgeführt. Für jeden Datenpunkt im erarbeiteten Mengengerüst wurde ein Variationskoeffizient bestimmt, der sich aus einer systematischen Bewertung der Vertrauenswürdigkeit der Datenquelle und der inhaltlichen, zeitlichen, geographischen sowie weiteren Korrelationen des Bezugsrahmens der Datenquelle zusammensetzt. Darüber hinaus fließt die Sensitivität für die jeweilige Betrachtung in den resultierenden Variationskoeffizienten ein, der die wahrscheinliche Abweichung darstellt. Durch Anwendung dieser Methode wurde die Interpretierbarkeit der Ergebnisse insbesondere in Hinblick auf weitere Studien, die auf dem erarbeiteten Mengengerüst aufbauen wollen, wesentlich verbessert.

Abschließend wurden die verfügbaren und herangezogenen Datenquellen unter dem Blickwinkel einer Wiederholung der Arbeiten beleuchtet, um einen etwaigen Verbesserungsbedarf herausarbeiten zu können, der als Empfehlungen in die Ergebnisse der vorliegenden Studie einfließen soll.

4.2 POTENZIALBEGRIFFSBESTIMMUNGEN

In der gegenständlichen Studie werden folgende Potenzialbegriffe verwendet:

- Das **technische Potenzial** stellt jene Menge an Rohmaterial dar, die am Gesteungsort anfällt. Ein für den Betrieb sinnvoller Eigenverbrauch ist bereits abgezogen (zum Beispiel der Ernterücklass bei der Strohernte).
- Das **relevante Potenzial** berücksichtigt Stoffmengen für eine unmittelbare und sinnvolle Nutzung und stellt somit ein reduziertes technisches Potenzial dar (zum Beispiel die Verwendung von Stroh als Einstreu).
- Das **Substitutionspotenzial** ist jene Menge an fossilem Stoff, die durch das gegenübergestellte relevante Potenzial ersetzt werden kann (zum Beispiel die Menge an EPS, die durch eine vollständige Verwendung des relevanten Potenzials an Stroh als Dämmstoff theoretisch substituiert werden könnte).

Soweit anwendbar wird bei allen Potenzialbegriffen und Stoffen zwischen Feucht- und Trockenmasse unterschieden.

4.3 RECHERCHE INTERESSANTER STOFFSTRÖME UND DATENQUELLEN

Als erster Arbeitsschritt wurde im Detail erarbeitet, für welche interessanten Stoffströme welche Datenquellen herangezogen werden können, mit welchem räumlichen und zeitlichen Bezug diese vorliegen und wo diese zu finden sind. Am häufigsten wurde die Statistik Austria mit ihren Detailstatistiken identifiziert. Weitere potenzielle Datenquellen für die Projektthematik sind der Grüne Bericht, die österreichische Waldinventur, eine Studie des Ökologie-Instituts und weiteren zum Thema Lebensmittelabfälle, diverse Branchenstatistiken, die Studie „Biogene Materialflüsse in Österreich“ der AEA (Kalt and Amtmann 2014) und der Statusbericht zur Abfallwirtschaft des BMNT (BMNT 2019).

Im Detail wurden die in den folgenden Tabellen aufgelisteten Datenquellen für die 79 interessanten Stoffströme identifiziert.

4.3.1 Nebenprodukte aus der Land- und Forstwirtschaft

Tabelle 1: Datenquellen für Nebenprodukte aus der Land- und Forstwirtschaft

Stoffstrom	Datenquelle / Weblink	räumlicher & zeitlicher Bezug
Reststoffe aus dem Brotgetreideanbau (Weizen, Roggen, Dinkel)	Statistik Austria, Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Futtergetreideanbau (Körnermais, Gerste, Triticale, Hafer)	Statistik Austria, Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Eiweißpflanzenanbau (Ackerbohnen, Körnererbsen)	Statistik Austria, Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Hackfrüchteanbau (Kartoffeln, Rüben)	Statistik Austria, Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Ölfrüchteanbau (Soja, Raps, Sonnenblumen, Ölkürbis)	Statistik Austria, Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Grünfütteranbau (Silo- & Grünmais, Klee, Egart)	Statistik Austria, Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus der Grünlandnutzung (Wiesengräser, Energiegräser)	Statistik Austria, Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus der Strohgewinnung (Getreidestroh)	Statistik Austria, Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Hanfanbau (Hanf)	Statistik Austria, Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Hopfenanbau (Hopfen)	Statistik Austria, Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Blattgemüseanbau (Salate, Spinat)	Statistik Austria, Gemüseernte, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/gemuese/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Blütemüseauanbau (Brokkoli, Karfiol)	Statistik Austria, Gemüseernte, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/gemuese/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Fruchtgemüseanbau (Gurken, Tomaten)	Statistik Austria, Gemüseernte, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/gemuese/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Kohlgemüseanbau (Kohl, Kraut)	Statistik Austria, Gemüseernte, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/gemuese/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Spargelanbau (Weißspargel, Grünspargel)	Statistik Austria, Gemüseernte, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/gemuese/index.html	Bundesländer, 2018

Reststoffe aus dem Wurzelgemüseanbau (Karotten, Sellerie)	Statistik Austria, Gemüseernte, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/gemuese/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Zwiebelgemüseanbau (Zwiebel, Knoblauch, Porree)	Statistik Austria, Gemüseernte, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/gemuese/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Kernobstanbau (Äpfel, Birnen)	Statistik Austria, Erwerbsobst & Extensivobst, Erntemengen und teilweise Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/obst/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Walnussanbau	Statistik Austria, Erwerbsobst & Extensivobst, Erntemengen und teilweise Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/obst/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Steinobstanbau (Zwetschken, Kirschen, Marillen)	Statistik Austria, Erwerbsobst & Extensivobst, Erntemengen und teilweise Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/obst/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Beerenanbau (Erdbeeren, Ribiseln)	Statistik Austria, Erwerbsobst & Extensivobst, Erntemengen und teilweise Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/obst/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Apfelbeerenanbau	Statistik Austria, Erwerbsobst, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/obst/index.html	Bundesländer, 2018
Reststoffe aus dem Holunderanbau	Statistik Austria, Erwerbsobst, Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/obst/index.html	Bundesländer, 2018
Nutzung von Bracheflächen	Statistik Austria, Bodennutzung, Anbau auf dem Ackerland, Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/bodennutzung/index.html	Bundesländer, 2017
Reststoffe aus dem Weinbau	Statistik Austria, Weinernte, Weinmengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrарstruktur_flaechen_ertraege/wein/index.html	Bundesländer & Weinbaugebiete, 2018
Reststoffe aus Aquakulturen	Statistik Austria, Speisefischproduktion & Strukturdaten, Fischproduktion und Anlagengrößen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/viehbestand_tierische_erzeugung/aquakultur/index.html	Österreich, 2017
Reststoffe aus der Viehhaltung (Rinder, Schweine, Schafe, Ziegen, Pferde)	Statistik Austria, Viehbestand – Rinder, Schweine, Schafe, Ziegen und Pferde, Anzahl Tiere https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/viehbestand_tierische_erzeugung/viehbestand/index.html	Bundesländer, 2018 (Pferde 2003)
Reststoffe aus der Milchwirtschaft (Kuh-, Schaf-, Ziegenmilch)	Statistik Austria, Milcherzeugung und -verwendung, Milchmengen und Milchtierzahlen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/viehbestand_tierische_erzeugung/milch/index.html	Bundesländer, 2017
Reststoffe aus Schlachtereien	Statistik Austria, untersuchte Schlachtungen und Hühnerschlachtungen, Anzahl Schlachtungen und tw. Fleischmenge https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/viehbestand_tierische_erzeugung/schlachtungen/index.html	Österreich, 2018
Eierschalen von geschlüpften Hühnerküken	Statistik Austria, Bruteier, Anzahl geschlüpfter Hühnerküken https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/viehbestand_tierische_erzeugung/bruteier/index.html	Österreich, 2018
Reststoffe bei der Holzernte	Grüner Bericht 2018, Forst-Holzeinschlag, Nutzungsmengen stofflich und energetisch http://www.agraroekonomik.at/index.php?id=gruenerbericht2016&no_cache=1	Österreich (Bundesländer abschätzbar), 2017
Reststoffe aus der Waldbewirtschaftung	Österreichische Waldinventur, Erhebung 2007-2009, Waldfläche nach Baumarten in Ertragswäldern http://bfw.ac.at/rz/wi.auswahl?cros=4	waldrelevante Bezirke (Burgenland und Wien weniger detailliert), 2009

4.3.2 Nebenprodukte aus der biobasierten Industrie

Tabelle 2: Datenquellen für Nebenprodukte aus der biobasierten Industrie

Stoffstrom	Datenquelle / Weblink	räumlicher & zeitlicher Bezug
Nebenprodukte von Getreidemöhlen, Bäckereien und aus der Teigwarenproduktion (vor allem von Getreidemöhlen)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015 (die zehn großen Möhlen in Österreich lassen sich genau lokalisieren) http://www.fabbiogas.eu/en/project-results/mapping-waste-streams-from-fab-industry/
Nebenprodukte von Brauereien (vor allem Treber also Malzreste)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015 (die Brauereien in Österreich lassen sich gut lokalisieren) http://www.fabbiogas.eu/en/project-results/mapping-waste-streams-from-fab-industry/
Nebenprodukte aus der Feinkost- und Gewürzproduktion (Suppen, Fertiggerichte, Kindernahrung, Essig, Senf)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015
Nebenprodukte aus der Speiseölproduktion	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015
Nebenprodukte aus der Fleisch- und Wurstproduktion	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015 (die großen Schlachtereien sind lokalisierbar http://www.fabbiogas.eu/en/project-results/mapping-waste-streams-from-fab-industry/
Nebenprodukte aus der Obst- und Gemüse-veredelung (Marmeladen, Essiggurken usw.)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015
Nebenprodukte aus der Getränkeproduktion (vor allem Trester und Schlempe also Pressrückstände und Gärreste)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015 (Pfanner, Rauch usw. lassen sich gut lokalisieren, Weinbau-gebiete sind zumindest regional eingrenzbar)
Nebenprodukte aus der Milchverarbeitung	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015 (die großen Milch-verarbeiter lassen sich gut lokalisieren) http://www.fabbiogas.eu/en/project-results/mapping-waste-streams-from-fab-industry/
Nebenprodukte von Tief-kühl-Lebensmitteln (rohes Gemüse und Obst, Fertiggerichte und Speiseeis)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015

Nebenprodukte aus der Zuckerproduktion und -verarbeitung (Zucker, Süßwaren und Stärke)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015 (AGRANA Tulln und Marchfeld) http://www.fabbiogas.eu/en/project-results/mapping-waste-streams-from-fab-industry/
Nebenprodukte aus der Nutztierfuttermittelproduktion (für Schweine, Rinder, Geflügel usw.)	Grüner Bericht 2018, Futtermittelproduktion, Produktionsmengen http://www.agraroeconomik.at/index.php?id=gruenerbericht2016&no_cache=1	Österreich, 2017
Nebenprodukte aus der Haustierfuttermittelproduktion (für Hunde, Katzen usw.)	Grüner Bericht 2018, Futtermittelproduktion, Produktionsmengen http://www.agraroeconomik.at/index.php?id=gruenerbericht2016&no_cache=1	Österreich, 2017
Nebenprodukte aus der Zellstoffproduktion (Holz-, Papier- und Textilzellstoff)	Austropapier, Statistiken 2017, Zellstoff, Produktionsmengen von Primär- und Sekundärfaserstoff https://www.austropapier.at/daten-fakten/statistiken-2017/	Österreich, 2017
Nebenprodukte aus der Papierproduktion (Grafische, Verpackungs- und Spezialpapiere)	Austropapier, Statistiken 2017, Papier, Produktionsmengen nach Papierarten https://www.austropapier.at/daten-fakten/statistiken-2017/	Österreich, 2017
Nebenprodukte aus der Kartonproduktion	PROPAK, Branchenreport 2017/18, Kennzahlen 2017 Produktionsmengen nach Kartonarten https://propak.at/images/pdf/publikationen/branchenreport-2017_WEB.pdf	Österreich, 2017
Nebenprodukte aus der Holzverarbeitung (Platten, Möbel, Bauholz usw.)	BMNT, Holzströme in Österreich 2016 Produktions-, Import- und Exportmengen https://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/energieholz/holzstr_oesterr.html	Österreich, 2016
Nebenprodukte aus der Dämmstoffproduktion	AEA, Studie „Biogene Materialflüsse in Österreich“ Marktvolumen von Dämmstoffgruppen https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/projekte/klimapolitik/Bericht_Bio_massefluesse_pdf.pdf	Österreich, 2013
Nebenprodukte aus der Lederproduktion	EuroStat, Total production by PRODCOM (NACE Rev. 2), Produktionsmengen https://ec.europa.eu/eurostat/web/prodcom/data/database	Österreich, 2017

4.3.3 Energetische Nutzung, Abfallfraktionen und Abwässer

Tabelle 3: Datenquellen für Stoffströme in der Energiewirtschaft, von Abfallfraktionen und Abwässern

Stoffstrom	Datenquelle / Weblink	räumlicher & zeitlicher Bezug
energetische Nutzung von biogenen Abfällen (Holzabfall, Ablauge und Anteil im Hausmüll)	Statistik Austria, Energiebilanzen der Bundesländer, Produktions- und Nutzmengen in Tonnen und Terajoule https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html	Bundesländer, 2017
Produktion von Brennholz (Scheitholz, Pellets)	Statistik Austria, Energiebilanzen der Bundesländer, Produktions- und Nutzmengen in Tonnen und Terajoule https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html	Bundesländer, 2017
Produktion von Biogasen (Biogas, Klär- und Deponiegase)	Statistik Austria, Energiebilanzen der Bundesländer, Produktions- und Nutzmengen in Tonnen und Terajoule	Bundesländer, 2017

	https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html	
weitere energetisch genutzte biogene Stoffströme (flüssige und feste)	Statistik Austria, Energiebilanzen der Bundesländer, Produktions- und Nutzmengen in Tonnen und Terajoule https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html	Bundesländer, 2017
Produktion von Agrotreibstoffen (Bioethanol, Biodiesel)	BMNT, Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2018, Produktions- und Absatzmengen https://www.bmnt.gv.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/biokraftstoffbericht.html	Österreich, 2017
gemischte Siedlungsabfälle („Restmüll“)	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“, Haushaltsabfälle Abfallmengen nach Fraktionen https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	Bundesländer, 2016
Sperrmüll	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“, Haushaltsabfälle Abfallmengen nach Fraktionen https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	Bundesländer, 2016
Papier und Kartonverpackungen	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“, Haushaltsabfälle Abfallmengen nach Fraktionen https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	Bundesländer, 2016
Textilien	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“, Haushaltsabfälle Abfallmengen nach Fraktionen https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	Bundesländer, 2016
Kunststoffe und Kunststoffverpackungen	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“, Haushaltsabfälle Abfallmengen nach Fraktionen https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	Bundesländer, 2016
Sperrholz und Holzverpackungen	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“, Haushaltsabfälle Abfallmengen nach Fraktionen https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	Bundesländer, 2016
biogene Abfälle	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“, Haushaltsabfälle Abfallmengen nach Fraktionen https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	Bundesländer, 2016
Grünabfälle	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“, Haushaltsabfälle Abfallmengen nach Fraktionen	Bundesländer, 2016

	https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	
weitere Abfallfraktionen	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“, Haushaltsabfälle Abfallmengen nach Fraktionen https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	Bundesländer, 2016
Klärschlamm	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“ Klärschlammengen und Art der Behandlung https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	Österreich, 2016
kommunale Abfälle	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“ Abfallmengen nach Fraktionen https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	Österreich, 2016
Verpackungsabfälle	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“, Verpackungsabfälle Abfallmengen nach Fraktionen und mit Recyclingraten https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	Österreich, 2015
Backwaren (ohne Restmüll)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, vermeidbare Lebensmittelabfälle http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015
Bier (ohne Restmüll)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, vermeidbare Lebensmittelabfälle http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015
Feinkost und Gewürze (ohne Restmüll)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, vermeidbare Lebensmittelabfälle http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015
Fette und Öle (ohne Restmüll)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, vermeidbare Lebensmittelabfälle http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015
Fleisch (ohne Restmüll)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, vermeidbare Lebensmittelabfälle http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015
Gemüse- und Obst- veredelung (ohne Restmüll)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, vermeidbare Lebensmittelabfälle http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015
Getränke (ohne Restmüll)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, vermeidbare Lebensmittelabfälle http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015
Milch und Molkerei (ohne Restmüll)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, vermeidbare Lebensmittelabfälle http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015

Tiefkühlkost (ohne Restmüll)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, vermeidbare Lebensmittelabfälle http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015
Zucker und Süßwaren (ohne Restmüll)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, vermeidbare Lebensmittelabfälle http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	Österreich, ca. 2015
Aschen und Schlacken⁷ aus Verbrennungsanlagen	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“ Mengen nach Abfallart https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html	Österreich, 2016

4.3.4 Weitere Stoffströme

Tabelle 4: Datenquellen für weitere Stoffströme

Stoffstrom	Datenquelle / Weblink	räumlicher & zeitlicher Bezug
Düngemittelabsatz (Stickstoff, Phosphor, Kali)	Grüner Bericht 2018, Düngemittelabsatz, Düngemittelmengen http://www.agraroeconomik.at/index.php?id=gruenerbericht2016&no_cache=1	Österreich, 2016/2017 (Juli bis Juni)

4.3.5 Quantifizierung der relevanten Stoffströme

Aus den recherchierten interessanten Stoffströmen wurden jene ausgewählt bzw. zusammengefasst, die für die Projektausrichtung relevant sind und anschließend vollständig quantifiziert. Die Daten auf nationaler Ebene, als eines der Hauptergebnisse der vorliegenden Studie, wurden um eine Fehlerabschätzung ergänzt, um die Interpretierbarkeit insbesondere für weitere, auf dieser aufbauende Studien zu verbessern.

Der einzelnen Arbeitsschritte und die Ergebnisse zur Quantifizierung der relevanten Stoffströme sind in den folgenden Unterkapiteln nachvollziehbar aufbereitet.

4.3.6 Auswahlkriterien für die betrachteten Stoffströme

Für die Auswahl der relevanten Stoffströme standen folgende Aspekte im Vordergrund:

- So weit als möglich sind inhaltliche Überschneidungen zwischen den betrachteten Stoffströmen zu vermeiden.
- Die quantitative Verfügbarkeit soll (grob geschätzt) zumindest eine mögliche Industrieanlage ausreichend auslasten können.
- Zumindest auf theoretischer Ebene ist bereits ein plausibles Verarbeitungs- bzw. Verwertungskonzept vorhanden.

⁷ Aschen und Schlacken aus der Verbrennung von Holz, Stroh und Pflanzen sowie aus der Abfallverbrennung inklusive fester Rückstände aus der Rauchgasreinigung und Rea-Gipse

- Stoffströme sind so weit als möglich zusammenzufassen, wenn die getrennte Betrachtung lediglich einen Mehraufwand aber keinen Mehrwert darstellt.

Auf diese Weise wurden aus den 79 interessanten Stoffströmen 28 für das Projekt relevante Stoffströme ausgewählt.

4.3.7 Berechnungen und Fehlerabschätzung

Die exakten Datenquellen zu allen betrachteten Stoffströmen inklusive jener für die durchgeführten Umrechnungen finden sich übersichtlich in einer Tabelle zusammengefasst im Anhang.

Die Daten wurden teilweise mit eigenen Berechnungen umgewertet bzw. ergänzt. Deswegen wurde eine quantitative Abschätzung der Datenqualität nach Laner (Laner et al. 2016), wie diese auch in Van Eygen et al. (Van Eygen et al. 2017), Wagner (Wagner 2017) und Steffl et al. (Steffl et al. 2018) beschrieben und angewandt wurde, durchgeführt. Für jeden Datenpunkt im erarbeiteten Mengengerüst wurde ein Variationskoeffizient bestimmt, der sich aus einer Bewertung der Vertrauenswürdigkeit der Datenquelle und der inhaltlichen, zeitlichen, geographischen sowie weiteren Korrelationen des Bezugsrahmens der Datenquelle zusammensetzt. Darüber hinaus fließt die Sensitivität für die jeweilige Betrachtung in den resultierenden Variationskoeffizienten ein, der die wahrscheinliche Abweichung darstellt. Die Einstufung der Datenqualitäten und die resultierenden (Teil-)Koeffizienten finden sich im Anhang. Die berechneten Fehlerabschätzungen zu allen betrachteten Stoffströmen finden sich direkt in den Ergebnistabellen in den folgenden Unterkapiteln.

Für eine bessere Übersichtlichkeit wird in den folgenden Kapiteln nur auf die Ergebnisse auf österreichweiter Ebene eingegangen. Die Ergebnisse auf Ebene der Bundesländer finden sich im Anhang.

Das technische Potenzial wurde um folgende direkte Kreislaufführungen und Nutzungspfade reduziert, um das relevante Potenzial zu erhalten:

- 4% der **Energieholzernte** wurden nach (Kalt and Amtmann 2014) als Ernterücklass berücksichtigt.
- 40% der **Strohernte** wurden der Nutzung als Einstreu zugeschrieben und weitere 12% als zusätzlicher Ernterücklass für weitere Bioflächen (Moser 2012).
- 70% des technischen Potenzials von **Grünfutter**, **Ölpresskuchen** und **Treber** wurden als Futtermittel bei einer ausgewogeneren Ernährung nach (Thaler et al. 2015) abgezogen.

Weitere Nutzungspfade, insbesondere energetische Nutzungen, wurden aufgrund der Projektziele nicht berücksichtigt und dadurch das theoretisch größtmögliche Nutzungspotenzial für die betrachteten Stoffströme abgeschätzt.

4.3.8 Ergebnisse im Überblick

Betrachtet man die **Feuchtmassen** der relevanten Stoffströme stechen vor allem Abwässer und auch Gülle mengenmäßig hervor. Über eine Million Jahrestonnen (Feuchtmasse) stehen potenziell auch von Ablagen, Energiehölzern, Grünfutter, Holzabfällen, Reststoffen aus dem Gemüseanbau, Stroh und weiteren biogenen Energieträgern zu Verfügung (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Mengengerüst der relevanten biobasierten Stoffströme als Feuchtmasse

Stoffstrom als Feuchtmasse	Technisches Potenzial	Unsicherheit	Relevantes Potenzial	Unsicherheit
Ablauge	3.700.993	± 85.123 t	3.700.993	± 85.123 t
Abwässer	973.481.433	± 66.196.737 t	973.481.433	± 66.196.737 t
7Faschen und Schlacken ⁸ F8	889.463	± 60.483 t	889.463	± 60.483 t
Biogase	528.439	± 12.154 t	528.439	± 12.154 t
Biogener Anteil im Hausmüll	720.973	± 16.582 t	720.973	± 16.582 t
Eierschalen	800	± 61 t	560	± 43 t
Energiegräser	9.739	± 224 t	9.739	± 224 t
Energieholz	3.776.154	± 86.852 t	3.625.108	± 83.377 t
Fleisch- und Wurstreststoffe	189.700	± 13.776 t	189.700	± 13.776 t
Grünfütter	10.098.746	± 232.271 t	3.029.624	± 69.681 t
Gülle	33.000.000	± 1.073.388 t	23.100.000	± 751.372 t
Holzabfälle	7.446.470	± 171.269 t	7.446.470	± 171.269 t
Klärschlamm	951.752	± 64.719 t	951.752	± 64.719 t
Molkereiabfälle	435.500	± 31.627 t	435.500	± 31.627 t
Ölpresskuchen	1.100	± 80 t	330	± 24 t
Rebschnitt	239.212	± 5.502 t	239.212	± 5.502 t
Reststoffe aus dem Gemüseanbau	1.280.694	± 43.975 t	1.280.694	± 43.975 t
Reststoffe aus dem Obstanbau	885.320	± 30.399 t	885.320	± 30.399 t
Reststoffe aus der Feinkostproduktion	67.800	± 4.924 t	67.800	± 4.924 t
Reststoffe aus der Gemüse- und Obstveredelung	82.900	± 6.020 t	82.900	± 6.020 t
Reststoffe aus der TK-Lebensmittelproduktion	54.600	± 3.965 t	54.600	± 3.965 t
Reststoffe von Getreidemöhlen	114.400	± 8.308 t	114.400	± 8.308 t
Schlachtabfälle	360.000	± 8.280 t	252.000	± 5.796 t
Stroh	3.901.459	± 89.734 t	1.872.700	± 43.072 t
Treber	192.000	± 13.056 t	57.600	± 3.917 t
Trester	85.600	± 5.821 t	85.600	± 5.821 t
Weitere biogene Energieträger	1.481.890	± 48.201 t	1.481.890	± 48.201 t
Zuckerreststoffe	236.200	± 17.153 t	236.200	± 17.153 t

⁸ Aschen und Schlacken aus der Verbrennung von Holz, Stroh und Pflanzen sowie aus der Abfallverbrennung inklusive fester Rückstände aus der Rauchgasreinigung und Rea-Gipse

Fokussiert man die Betrachtung auf die Trockenmassen rücken Holzabfälle, die derzeit energetisch genutzt werden, an die erste Stelle. Darüber hinaus stechen bei Betrachtung der **Trockenmassen** mengenmäßig auch Energiehölzer, Grünfutter, Gülle und Stroh besonders hervor (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Mengengerüst der relevanten biobasierten Stoffströme als Trockenmasse

Stoffstrom als Trockenmasse	Technisches Potenzial	Unsicherheit	Relevantes Potenzial	Unsicherheit
Ablauge	555.149	± 12.768 t	555.149	± 12.768 t
Abwässer	368.741	± 25.074 t	368.741	± 25.074 t
9FAschen und Schlacken ¹⁰ F9	889.463	± 60.483 t	889.463	± 60.483 t
Biogase	528.439	± 12.154 t	528.439	± 12.154 t
Biogener Anteil im Hausmüll	331.647	± 7.628 t	331.647	± 7.628 t
Eierschalen	640	± 49 t	448	± 34 t
Energiegräser	7.012	± 161 t	7.012	± 161 t
Energieholz	2.832.115	± 65.139 t	2.718.831	± 62.533 t
Fleisch- und Wurstreststoffe	37.940	± 2.755 t	37.940	± 2.755 t
Grünfutter	8.684.921	± 199.753 t	2.605.476	± 59.926 t
Gülle	3.300.000	± 107.339 t	2.310.000	± 75.137 t
Holzabfälle	6.329.499	± 145.578 t	6.329.499	± 145.578 t
Klärschlamm	237.938	± 16.180 t	237.938	± 16.180 t
Molkereiabfälle	21.775	± 1.581 t	21.775	± 1.581 t
Ölpressekuchen	990	± 72 t	297	± 22 t
Rebschnitt	95.685	± 2.201 t	95.685	± 2.201 t
Reststoffe aus dem Gemüseanbau	179.318	± 6.157 t	179.318	± 6.157 t
Reststoffe aus dem Obstanbau	140.418	± 4.821 t	140.418	± 4.821 t
Reststoffe aus der Feinkostproduktion	31.188	± 2.265 t	31.188	± 2.265 t
Reststoffe aus der Gemüse- und Obstveredelung	38.134	± 2.769 t	38.134	± 2.769 t
Reststoffe aus der TK-Lebensmittelproduktion	25.116	± 1.824 t	25.116	± 1.824 t
Reststoffe von Getreidemöhlen	102.960	± 7.477 t	102.960	± 7.477 t
Schlachtabfälle	180.000	± 4.140 t	126.000	± 2.898 t
Stroh	3.355.255	± 77.171 t	1.610.522	± 37.042 t
Treber	153.600	± 10.445 t	46.080	± 3.133 t
Trester	68.480	± 4.657 t	68.480	± 4.657 t
Weitere biogene Energieträger	963.228	± 31.331 t	963.228	± 31.331 t
Zuckerreststoffe	177.150	± 12.865 t	177.150	± 12.865 t

⁹ Aschen und Schlacken aus der Verbrennung von Holz, Stroh und Pflanzen sowie aus der Abfallverbrennung inklusive fester Rückstände aus der Rauchgasreinigung und Rea-Gipse

Bereitet man die Trockenmasse-Mengen grafisch auf, sticht der besondere Stellenwert von Holzabfällen (die aktuell verbrannt werden) deutlich hervor. Gemeinsam mit der Menge an Energiehölzern bildet sich damit ein mengenmäßig hoch interessantes Potenzial für die stoffliche Nutzung.

Durch die Umstellung auf eine gesündere Ernährung würden rund 30% der aktuellen Grünfuttermenge frei werden. Für das relevante Potenzial von Gülle wurden keine direkten Nutzungen als zwingend vorrangig eingestuft, jedoch ein pauschaler Abschlag von 30% (wie auch bei Eierschalen und Schlachtabfällen) berücksichtigt. Das Strohpotenzial wurde in den Ergebnissen um die Nutzung als Einstreu und den Ernterücklass reduziert. Darüber hinaus zeigten sich weitere flüssige und feste biogene Energieträger sowie Aschen und Schlacken aus Verbrennungsprozessen (Verbrennung von biogenem Material, Abfallverbrennung und Rauchgasreinigung bei der Abfallverbrennung sowie Rea-Gipse) als interessante und relevante biobasierte Stoffpotenziale.

In Abbildung 7 sind die relevanten Potenziale als Trockenmasse ersichtlich. Darüber hinaus ist grafisch angedeutet, dass die Potenziale an Holzabfällen sowie Aschen und Schlacken nicht gleichzeitig in vollem Umfang zur Verfügung stehen. Holzabfälle sind vor allem Hackschnitzel, die zu rund 70% in Großanlagen mit entsprechenden Rauchgasreinigungsanlagen verfeuert werden. 22% der Asche- und Schlackemengen sind Aschen aus der Verbrennung von fester Biomasse. Werden Holzabfälle direkt stofflich genutzt, reduziert sich damit entsprechend die Aschemenge. Wird die Aschemenge vollständig einer neuen Verwendung zugeführt, darf sich der Brennstoff-Input nicht verändern. Da jedoch eine Vielzahl an möglichen Verwertungspfaden vorhanden sind – mit und ohne Verbrennung am Ende der stofflichen Nutzung – wurden hierzu keine Reduktionen in der Potenzialabschätzung vorgenommen. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Betrachtung von Abwässern und Klärschlamm. Rund 50% des Klärschlammes sind organischer Kohlenstoff, der auch bei einer Stickstoff- und / oder Phosphor-Abtrennung im Abwasser noch zur Verfügung steht. Soll jedoch der Klärschlamm als Düngemittel verwendet werden, wäre es nicht zielführend zuvor die Nährstoffe zu entfernen. Diese Besonderheiten wurden als Transparenzen in Abbildung 8 angedeutet.



Abbildung 8: Vergleich relevanter biobasierter Stoffströme als Trockenmasse (eigene Darstellung)

4.3.9 Relevante Stoffströme aus der Landwirtschaft

In Abbildung 9 sind eine etwaige direkte Kreislaufführung, eine sinnvolle erste direkte Nutzungskaskade und die angewandten pauschalen Mengenabschläge eingezeichnet. Im Falle von Stroh ist als direkte Kreislaufführung die Nutzung als Einstreu ersichtlich. Hier kann ein sinnvoller, eher kleiner Kreislauf direkt in den landwirtschaftlichen Betrieben bzw. in Kooperation mit Nachbarbetrieben erfolgen, indem ein wesentlicher Anteil des anfallenden Stroh in der Viehhaltung als Einstreu verwendet wird und danach wieder auf den Feldern als Dünger ausgebracht wird. Beim Grünfutter ist als direkte Nutzungskaskade der Grünfuttermittelbedarf eingezeichnet, der sich einstellen würde, würde der Fleischkonsum auf ein ausgewogenes und empfohlenes Maß reduziert werden. Rund 30% des Grünfutters könnte auf diese Weise für andere Anwendungen genutzt werden. Bei Gülle, Schlachtabfällen und Eierschalen erfolgte ein pauschaler Abschlag von 30%.

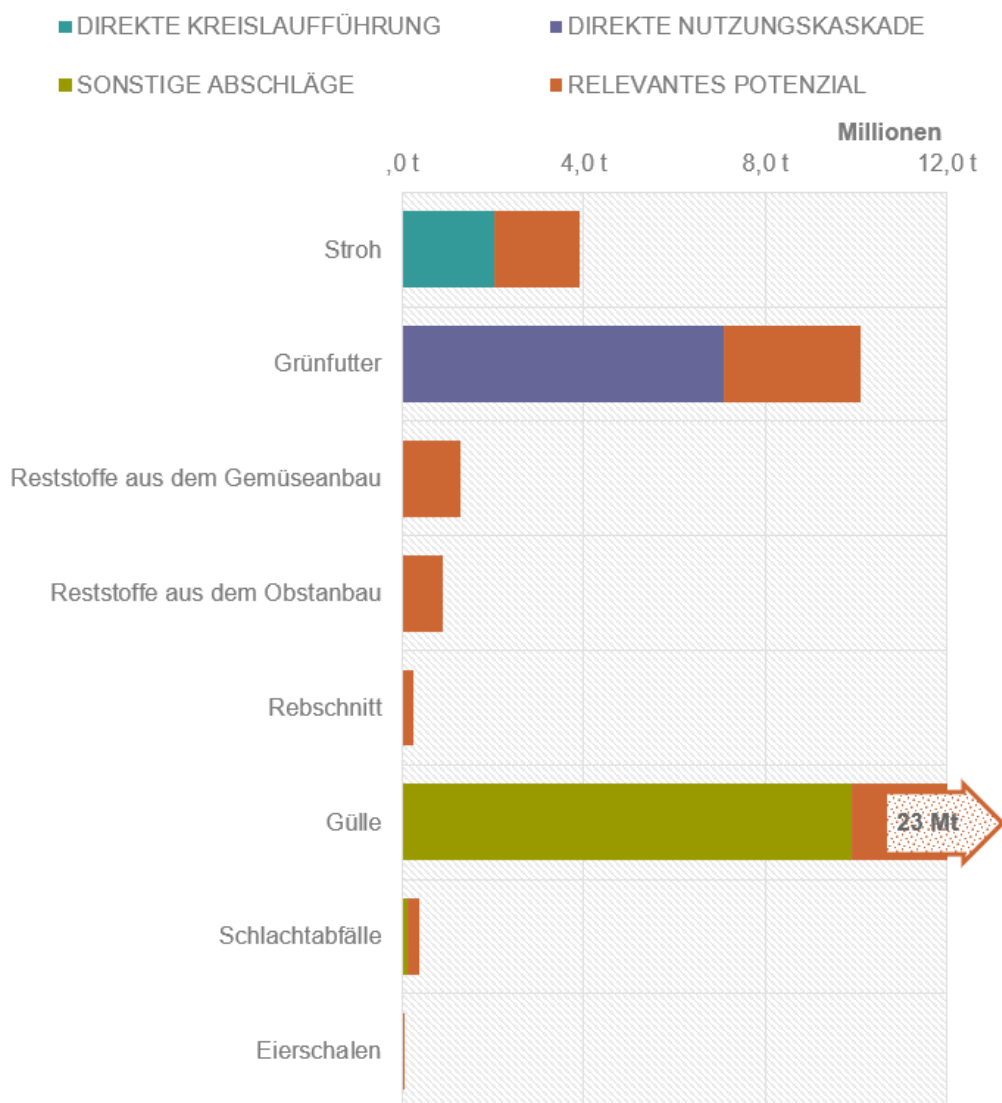


Abbildung 9: Relevante Stoffströme aus der Landwirtschaft als Feuchtmasse (eigene Darstellung)

Da in Abbildung 9 Feuchtmassen dargestellt sind, „sprengt“ Gülle die dargestellte Skala. Die weiteren Potenziale sind ebenfalls beachtenswert, auch wenn sie hier etwas im Schatten der Gülle erscheinen. Etwa die Menge an Rebschnitt ist bereits für den Betrieb einer Bioraffinerieanlage interessant und geographisch liegen die Weinbaugebiete Österreichs sehr nahe beisammen, wodurch Transportwege relativ kurz ausfallen.

4.3.10 Relevante Stoffströme aus der weiterverarbeitenden Industrie

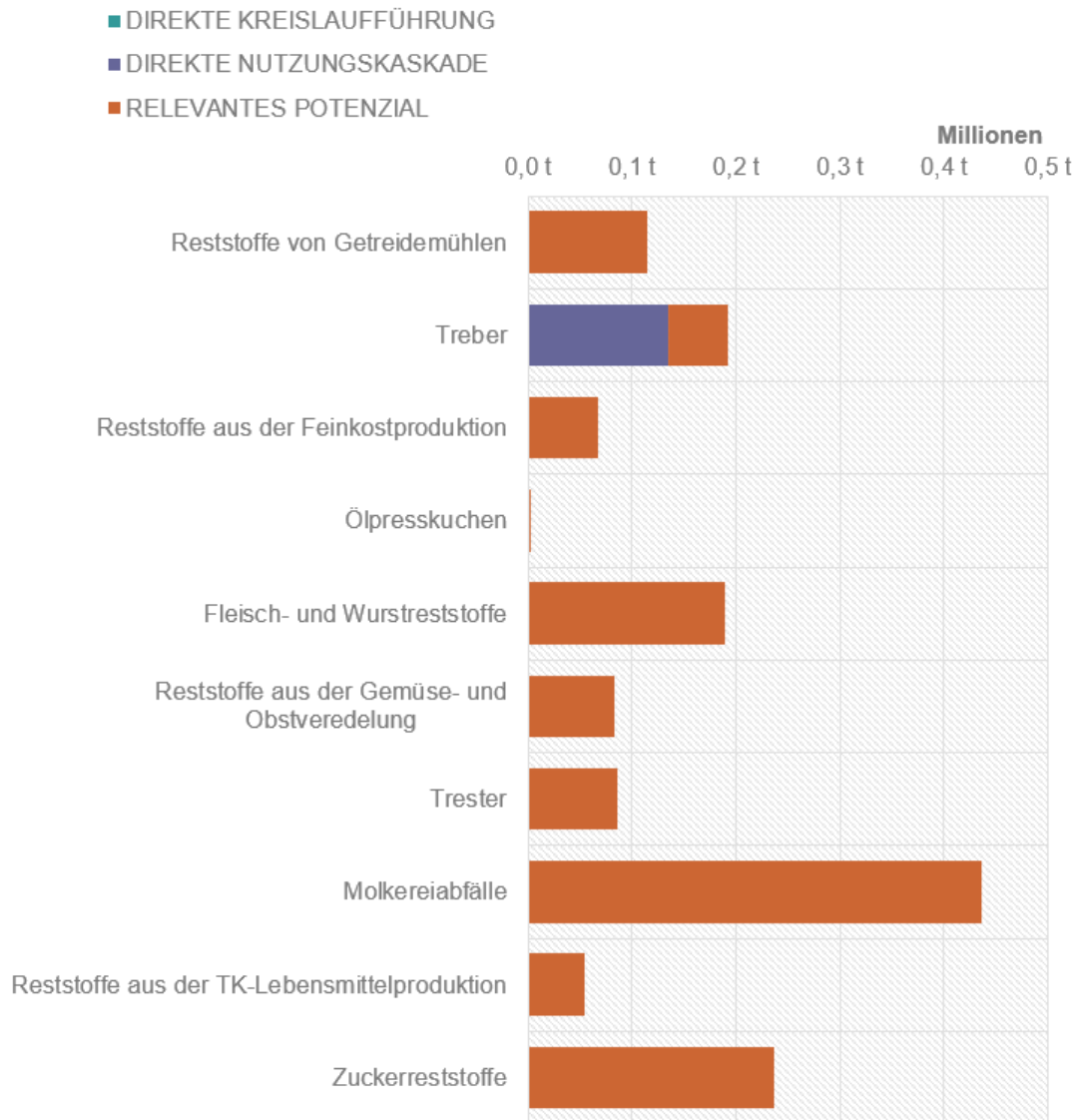


Abbildung 10: Relevante Stoffströme aus der weiterverarbeitenden Industrie als Feuchtmasse (eigene Darstellung)

In Abbildung 10 ist gut ersichtlich, dass vor allem Molkereiabfälle, Reststoffe aus der Zuckerindustrie und aus der Fleischverarbeitung interessante Potenziale darstellen. Bei Treber und Ölpreszkuchen wurde berücksichtigt, dass 70% als Futtermittel zur Verfügung stehen müssen. Sehr deutlich zeigt sich auch, dass quantitativ die relevanten Stoffströme aus der weiterverarbeitenden Industrie deutlich geringer ausfallen als Land- und Forstwirtschaft sowie der Energie- und Abfallwirtschaft.

4.3.11 Relevante Stoffströme aus der Energie- und Abfallwirtschaft

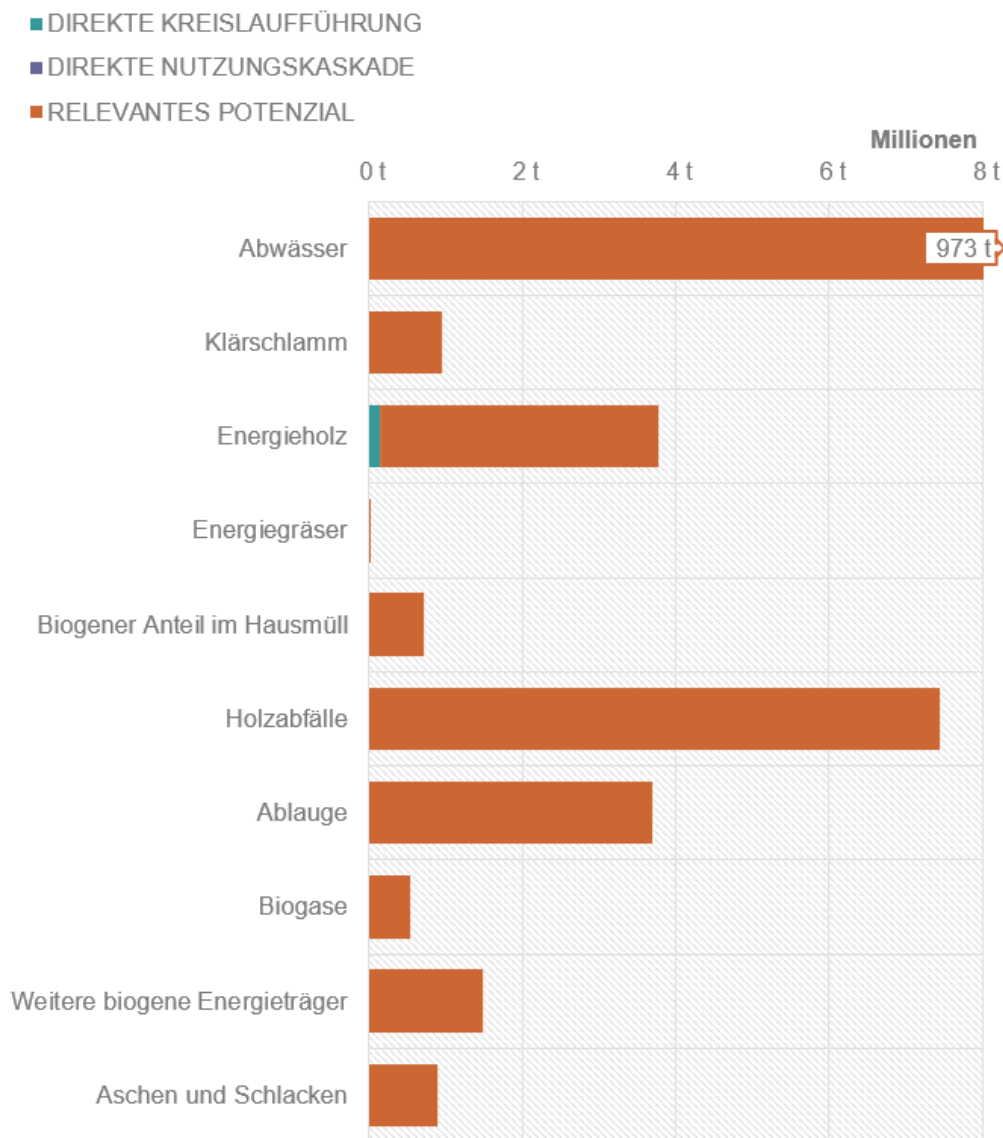


Abbildung 11: Relevante Stoffströme aus der Energie- und Abfallwirtschaft als Feuchtmasse (eigene Darstellung)

Abbildung 11 zeigt sehr deutlich, wie groß die Mengen an Holz sind, die derzeit in Österreich direkt verbrannt werden. Diesen steht etwa die doppelte Menge an energetisch genutzten Holzabfällen gegenüber. Auch in der Abbildung ersichtlich ist, dass der Ernterücklass in der Forstwirtschaft bereits berücksichtigt wurde. Ablaugen fallen (als Feuchtmasse) in großen Mengen an, wobei Abwässer dieses Segment mengenmäßig sehr deutlich dominieren.

4.4 VERGLEICH MIT EU-DATEN

Um mögliche Stärken und Schwächen in Österreich faktenbasiert beleuchten zu können, wurden entsprechende Eurostat-Daten für Österreich und den gesamten EU-Raum verglichen.

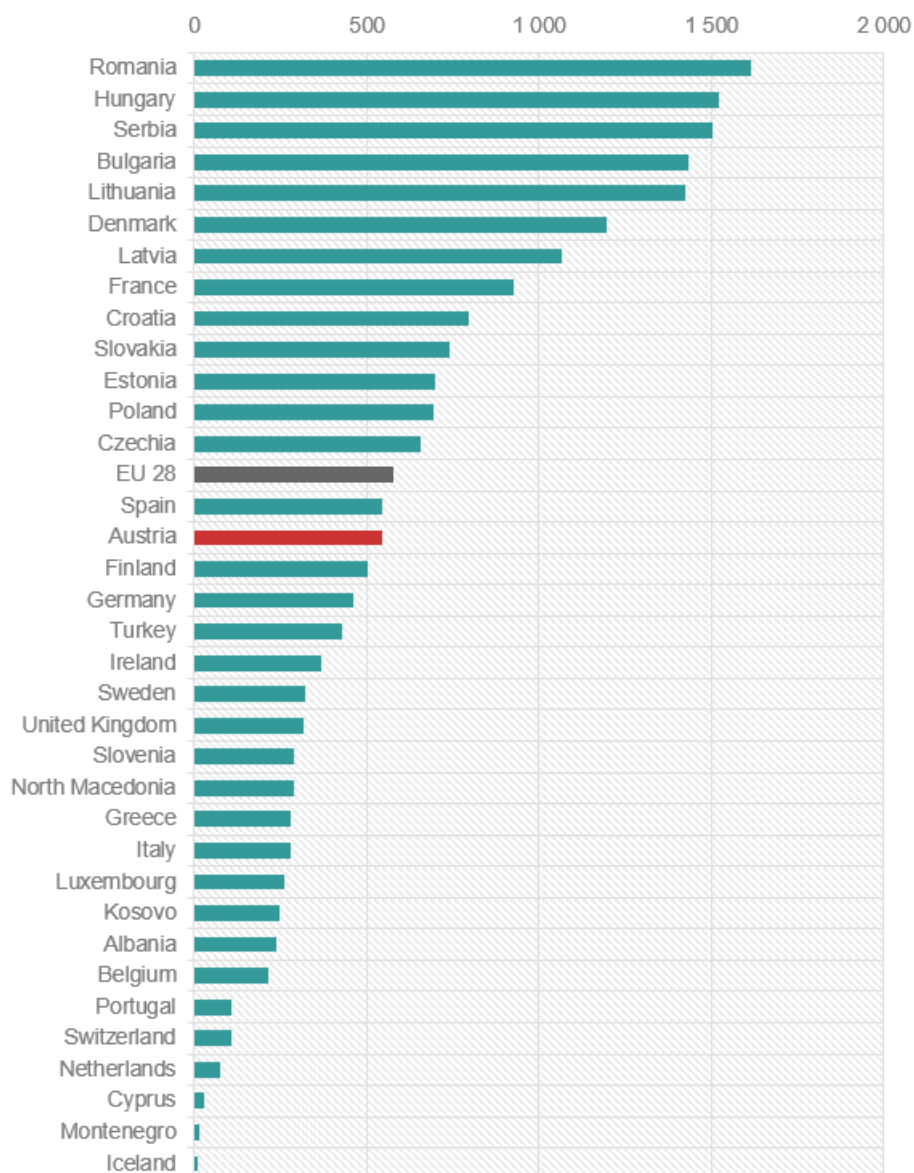


Abbildung 12: Vergleich der Getreideernte 2018 in kg/Kopf (Eurostat 2020)¹⁰

Der hohe Detailgrad des vorliegenden Projekts konnte in den Eurostat-Daten nicht erzielt werden. Zu den 28 relevanten Stoffströmen wurden nur 4 Eurostat-Datensätze gefunden, die einen projektbezogenen Vergleich zulassen.

Vergleicht man die Getreideernte (aus dem Jahr 2018) in Europa miteinander (Abbildung 12), sieht man sehr deutlich, dass Österreich mit 542 kg/Kopf nur knapp unter dem EU-28-Durchschnitt von 576 kg/Kopf liegt¹¹. Eine spezifische Stärke oder Schwäche Österreichs lässt sich daraus nicht ableiten.

¹⁰ Eurostat: <https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/u33K8Gi1MFYGN7HyHUNhg>, 20.01.2020

¹¹ Eurostat: <https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/u33K8Gi1MFYGN7HyHUNhg>, 20.01.2020

Bei der Getreideernte pro Kopf bilden Rumänien, Ungarn, Serbien, Bulgarien und Litauen die Spitzengruppe mit Werten von 1.424 bis 1.616 kg/Kopf.

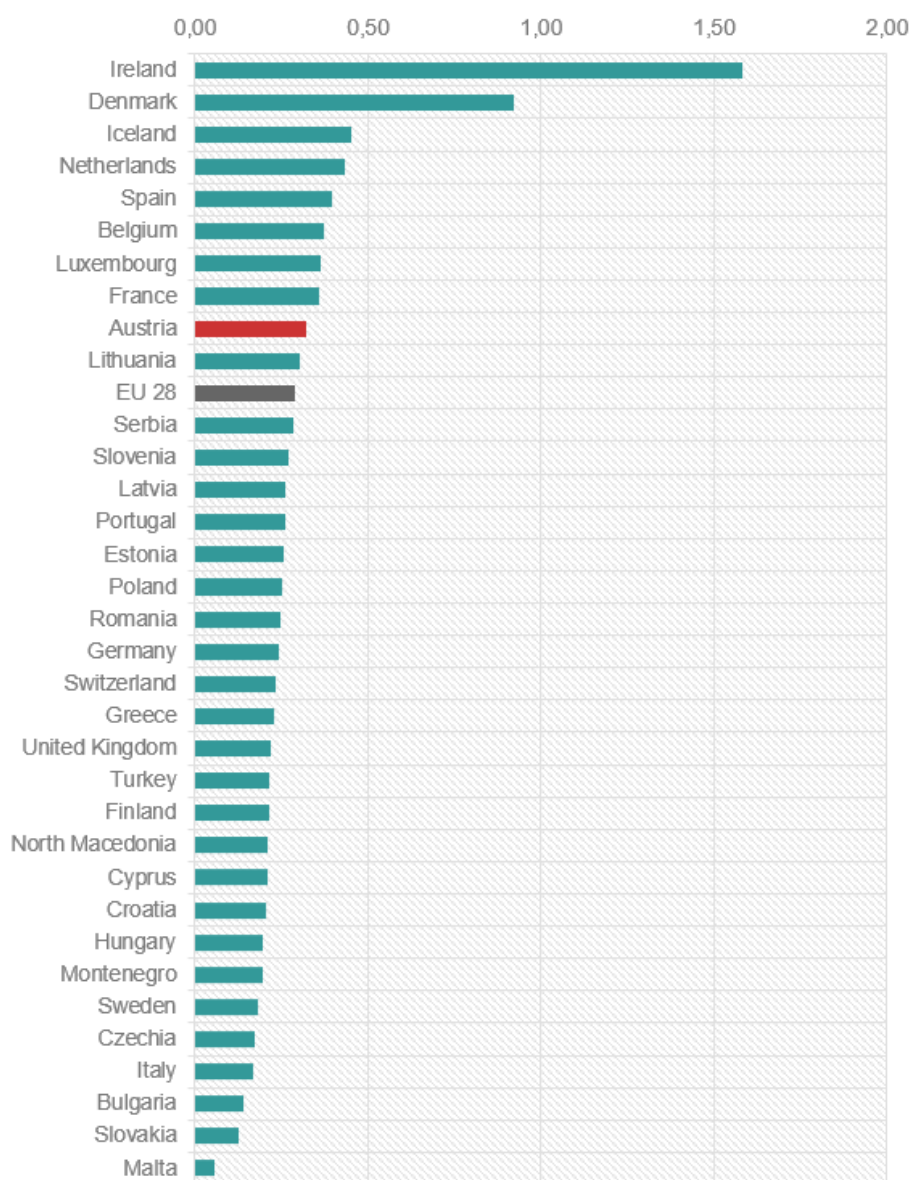


Abbildung 13: Vergleich des Viehbestands 2018 in Großvieheinheiten pro Kopf (Eurostat, 2020)¹²

Betrachtet man den Viehbestand 2018 (Rinder, Schweine, Schafe und Ziegen) in Großvieheinheiten (GVE), ergibt sich ein sehr ähnliches Bild. Österreich weist in Relation weder einen hohen noch einen niedrigen Wert auf (siehe Abbildung 13)¹³.

¹² Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=tgs00096>, 20.01.2020

¹³ Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=tgs00096>, 20.01.2020

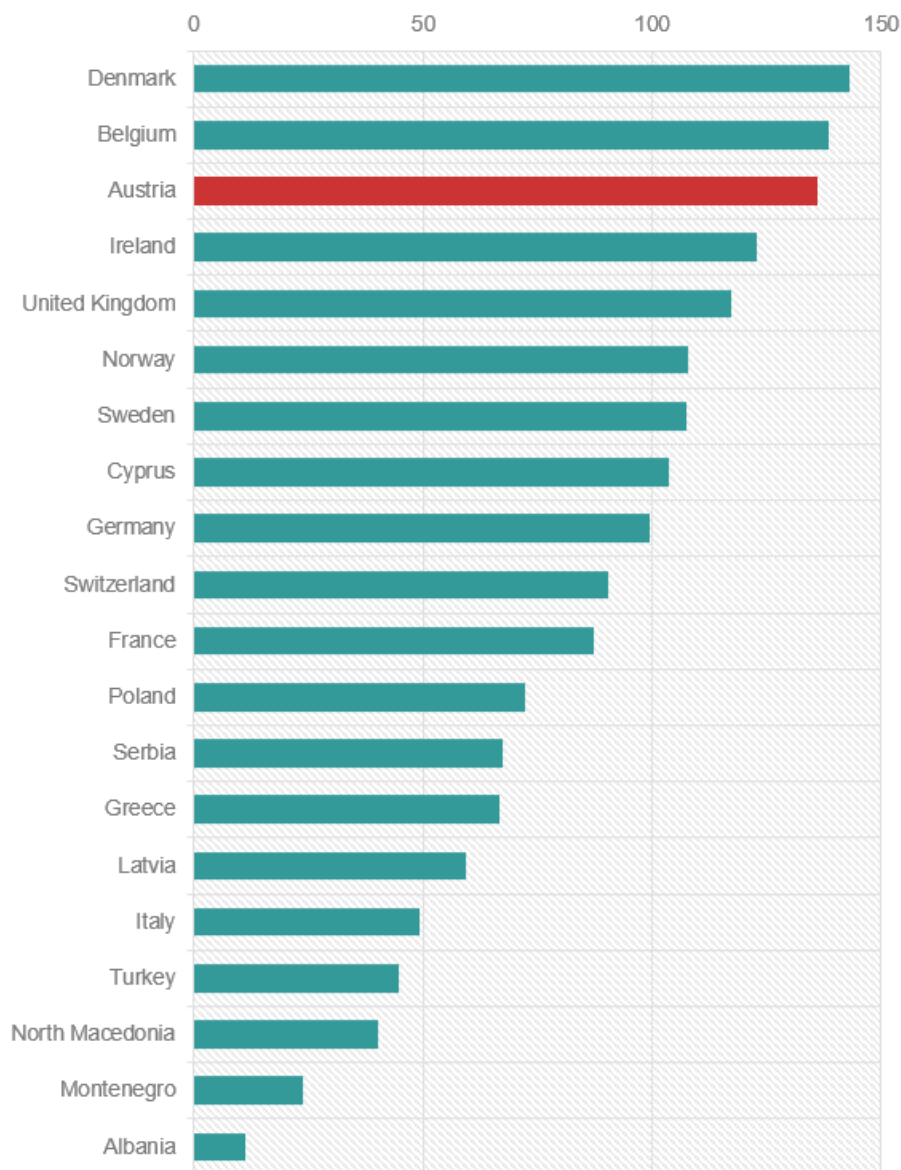


Abbildung 14: Vergleich der Produktion von Milchprodukten 2018 in kg/Kopf (Eurostat, 2020)¹⁴

Für die Menge an produzierten Milchprodukten liegen nicht für alle europäischen Länder Daten vor. Hier liegt Österreich im Spitzenfeld mit 136 kg/Kopf. Zum Vergleich, Deutschland erzielt jährlich 99 kg/Kopf¹⁵. Daraus kann man schließen, dass in Österreich überdurchschnittlich viel Molkereiabfälle anfallen (siehe Abbildung 14).

Setzt man den Anteil von fester Biomasse in den Energiebilanzen der europäischen Staaten mit der jeweiligen EinwohnerInnen-Zahl in Relation erhält man jenes Bild, das in Abbildung 15 dargestellt ist. Darin ist sehr gut ersichtlich, dass in Österreich relativ viel Holz energetisch genutzt wird¹⁶. Auch wenn in der vorliegenden Studie nicht im Detail untersucht wurde, wie viel feste Biomasse tatsächlich vor der energetischen Verwendung auch stofflich genutzt werden könnte, legen die vorliegenden Daten nahe, dass das mögliche Potenzial in einer interessanten Größenordnung vorhanden ist.

¹⁴ Eurostat: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/apro_mk_pobta, 20.01.2020

¹⁵ Eurostat: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/apro_mk_pobta, 20.01.2020

¹⁶ Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>, 20.01.2020

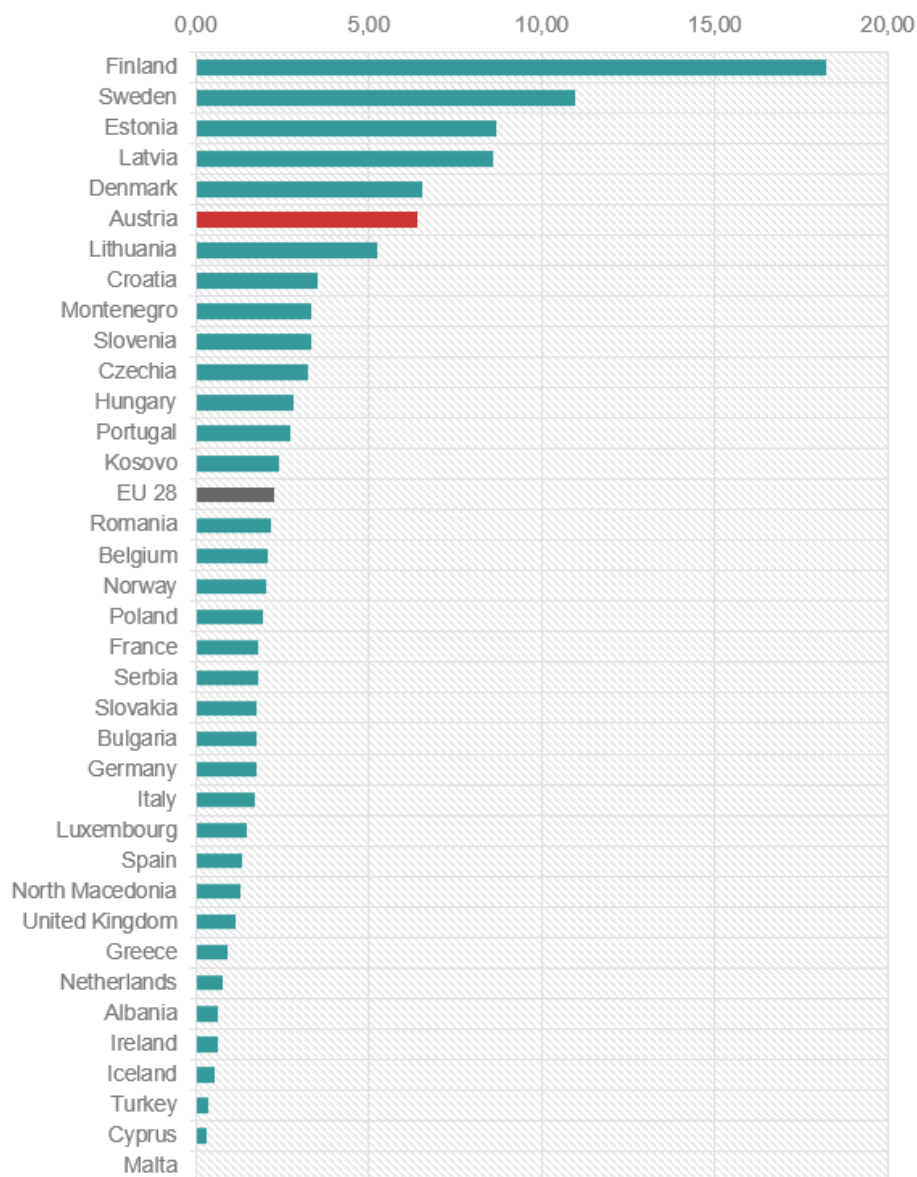


Abbildung 15: Vergleich des energetischen Einsatzes fester Biomasse 2017 in MWh/Kopf (Eurostat, 2020)¹⁷

Im Rahmen der vorliegenden Studie konnten lediglich die Daten der Eurostat nach geeigneten Vergleichsdaten durchforstet werden. Daten für weitere Vergleiche sind unter anderem in Publikationen der europäischen Dachorganisationen der relevanten Branchenvertretungen zu finden.

4.5 DISKUSSION DER DATENQUELLEN

Mit den Agrar- und Energiestatistiken der Statistik Austria ist davon auszugehen, dass mögliche zukünftige Aktualisierungen der vorliegenden Studie mit überschaubarem Aufwand möglich sind. Da anzunehmen ist, dass auch die Erhebungen in der Forstwirtschaft, Abwasserbehandlung und Abfallwirtschaft weiterhin durchgeführt werden, sind die mengenmäßig großen Eckpfeiler sozusagen gesichert. Lediglich bei den Neben- und Abfallprodukten aus der weiterverarbeitenden Industrie ist man derzeit von Einzelstudien abhängig. Es ist davon auszugehen, dass sich auch weiterhin aktuelle

¹⁷ Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>, 20.01.2020

und nutzbare Studien in diesem Themenbereich vorhanden sein werden, jedoch sind Zeitreihen in Kalenderjahren deutlich erschwert.

Als schwierig hat sich die Recherche nach aktuellen Einsatzmengen herausgestellt. Zum Beispiel, wie viel und welches Stroh jährlich in Österreich geerntet wird, wird im Detail erhoben und ist bestens dokumentiert. Wofür dieses Stroh verwendet wird, ist in weiten Teilen lediglich abschätzbar.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit den bestehenden Datenquellen eine Aktualisierung des Mengengerüsts mit moderatem Aufwand jederzeit möglich ist. Jedoch besteht ein Mangel an branchenspezifischen Studien, um in vielen Bereichen weiter in die Tiefe gehen zu können. Damit wären zum Beispiel Vorstudien für die Entwicklung von neuen Business Cases oder auch Marktanalysen möglich. Diese Detailstudien könnten abschätzen, wie weit neue technologische Entwicklungen auf dem Markt Fuß fassen können oder welche Technologieentwicklungen auf dem Markt benötigt werden.

5 BIORAFFINERIEKONZEPTE, SUBSTITUTIONSPOTENZIALE UND VERORTUNG DER BIOMASSE

Konzepte integrierter und vernetzter Bioaffinerien wurden auf die identifizierten Stoffflüsse angewandt und sowohl potenzielle Zwischenprodukte als auch Fertigprodukte und TRLs der Verarbeitungsprozesse eruiert. Im Anschluss wurde das theoretische Substitutionspotenzial anhand der Prozesswege mit Hilfe von ermittelten Konversionsfaktoren errechnet. Außerdem erfolgte eine Verortung der Biomasseströme (auf Bundeslandebene) und potenziell nutzbarer Infrastruktur.

5.1 METHODIK

Zu den zuvor eruierten Biomasseströmen wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, bei der Bioraffineriestrategien und Verarbeitungsprozesse, sowie mögliche Produkte erfasst wurden. Dabei wurden die relevanten Potenziale an Stoffströmen entsprechend der Inhaltsstoffe in Kategorien gefasst, die für die weiteren Berechnungen vereinfachend als ein Verarbeitungsstrom verwendet wurden. Das relevante Potenzial wird, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, definiert als das technische Potenzial, das um die direkte Rückführung und alternative Nutzung reduziert wurde. Es ist zu betonen, dass dabei eine starke Vereinfachung vorgenommen wurde, da die tatsächlichen Ströme starken Schwankungen unterliegen.

Zur Berechnung des (theoretischen) Substitutionspotenzials wurde für jede Reststoffkategorie eine Anzahl an Produkten ausgewählt, für die ein Produktionsprozess auf Basis von sekundärer Biomasse in Österreich berechnet wurde, um ihn mit dem bestehenden fossilbasierten Produkt zu vergleichen.

Die Auswahl der Produkte, basiert auf den folgenden Arbeiten:

- „Top Building-Blocks“ (Petersen and Werpy 2004)
- „Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates – The US Department of Energy’s „Top 10“ revisited“ (Bozell and Petersen 2010)
- „Bio-based Building Blocks for Polymers“ (Aeschelmann and Carus 2017)
- „FTI-Strategie Biobasierte Industrie“ (Blauensteiner et al. 2018)
- „Bridging the Gaps for a „Circular Bioeconomy“ (Lokesh, Ladu, and Summerton 2018)

Für den Produktionsprozess von Reststoff zu Produkt wurde der Begriff Konversionsweg gewählt. Für die Berechnung der Mengen an Produkten, die über einen Konversionsweg hergestellt werden können wurden verschiedene Konversionsfaktoren aus der Literatur zu Bioraffinieriekonzepten bezogen. Ein Konversionsfaktor ist eine Zahl, die die Menge an Produkt pro Menge an Rohstoff beschreibt. Oft wurden Prozesse noch nicht weitgehend erforscht oder sind jene Zahlen nicht zugänglich, wodurch sich die Auswahl an Konversionswegen für Berechnungen auch an die Verfügbarkeit der Konversionsfaktoren in der Literatur richtet. Um für Aufreinigung, Transport und ähnliche Faktoren aufzukommen, wurde vereinfachend in der Berechnung aller Konversionswege ein Verlust von 10% angenommen.

Die Berechnungen des Substitutionspotenzials erfolgen auf Basis der Ergebnisse der Studie „Stoffliche Nutzung von fossilen Rohstoffen mit Blick auf eine biobasierte Substitution in Österreich“ (Steffl et al. 2018). Auch die Struktur der Produktgruppen (Grundstoff, Zwischenprodukt, Fertigprodukt) wurde aus dieser Arbeit übernommen, um eine Vergleichbarkeit der primären und sekundären Biomasse zu ermöglichen.

Neben dem Substitutionspotenzial wird außerdem eine Einschätzung angegeben, wie viel Fläche beim Einsatz primärer Biomasse nötig wäre. Diese Berechnungen der Flächensubstitution basieren auf dem Flächenbedarf von Miscanthus für die Produktion von Bioöl (Jungbluth et al. 2007), Zuckerrübe für die Produktion von Glucose (IfBB Hochschule Hannover 2018) und Biogas (FNR 2020)¹⁸. Es muss angemerkt werden, dass hier Zuckerrübe und Miscanthus rein aus Gründen der Vergleichbarkeit und Vereinfachung gewählt wurden, nicht auf Grund von höchster Effizienz in allen Produktsparten. Für die Produktion von Biogas auf Basis von primärer Biomasse zeigt Mais zum Beispiel eine deutlich höhere Effizienz als Zuckerrübe. Für eine Abschätzung des Potenzials an Phosphor und Stickstoff aus den sekundären Biomasseströmen wurden die Gehalte im Reststoff aus der Literatur entnommen. Somit ist es möglich die Gesamtmengen bei einer Rückführung in Form von z.B. Gärrest aus der Biogasfermentation oder Biokohle aus thermischen Verfahren zu beurteilen. Für das Produkt Wasserstoff wurde als Substitutionspotenzial die nötige Menge an Strom für eine elektrolytische Herstellung herangezogen, da der Materialeinsatz für den Grundstoff Wasserstoff, der in der Studie von Steffl et al. (2018) angegeben wird, nicht die in den Betrieben selbst hergestellten Mengen enthält und damit nur einen Teil der tatsächlich stofflich benötigten Mengen Wasserstoff darstellt. Die Berechnungen erfolgten nach Daten von Statistik Austria^{19,20}, der TU Berlin²¹ und Siemens²² unter der Annahme eines Wirkungsgrades von 80% bzw. 4,14 kWh Strom pro Kubikmeter Wasserstoff (Lettenmeier 2019; Milanzi et al. 2018; Statistik Austria 2020, 2019).

Im Projektverlauf wurden 21 ExpertInnen aus den Bereichen Forschung und Wirtschaft mittels qualitativer Befragungen anhand von Leitfäden interviewt, um die weitere Vorgehensweise und Auswahl an Wertschöpfungsketten zu konkretisieren und adaptieren, sowie sie mit den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen abzustimmen. Einschätzungen der ExpertInnen und Informationen

¹⁸ FNR: <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/>, 22.01.2020

¹⁹ Statistik

Austria: https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestRelease&dDocName=022711, 31.01.2020

²⁰ Statistik

Austria: https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_PDF_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=022680, 31.01.2020

²¹ TU Berlin: https://www.er.tu-berlin.de/fileadmin/a38331300/Dateien/Technischer_Stand_und_Flexibilität_des_Power-to-Gas-Verfahrens.pdf, 31.01.2020

²² Siemens: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public/1558704844.a5fa8257-6c71-496f-a324-454241f1df71.white-paper-effizienz-de.pdf>, 31.01.2020

aus der Literatur wurden außerdem zur Beurteilung des momentanen TRL (Technology Readiness Level) herangezogen.

Eine grafische Verortung der sekundären Biomasse und der potenziell nutzbaren Infrastruktur erfolgte mittels QGIS, basierend auf den ermittelten sekundären Stoffströmen und Internetrecherchen zu stillgelegter Infrastruktur (Mühlen, Brauereien, Zuckerfabriken) und eventuell bereits bestehender Nachnutzung, sowie vorhandener Betriebe zur Verarbeitung von Biomasse (Zellstoffwerke, Brauereien, Molkereien, etc.). Die Mengen der Stoffströme wurden nach Aufkommen in den Bundesländern in Österreichkarten dargestellt. Bei den Biomassekategorien, in denen mehrere Stoffströme zusammengefasst wurden, wird die Aufteilung zu den jeweiligen Strömen in Form von Kreisdiagrammen umgesetzt.

Der Übersichtlichkeit wegen werden sowohl Bioraffineriekonzepte, Nutzungswege als auch die grobe Verortung nach Bundesländern, in diesem Kapitel, nach Biomassekategorien geordnet gemeinsam dargestellt.

5.2 ERGEBNISSE

Im Folgenden wird zunächst eine Übersicht über Verarbeitungsprozesse und Grundchemikalien bzw. Building Blocks für die Weiterverarbeitung gegeben. Anschließend werden die Konzepte und Nutzungswege, sowie die Verortung des Aufkommens der verschiedenen Biomasseströme dargestellt und beschrieben. Die in den Grafiken enthaltenen Angaben stellen Jahresmengen dar und beruhen auf den in Kapitel 2 dargestellten Quellen und Bezugsjahren. Die Auswahl und Optimierung von Hochleistungs-Organismen und die Nutzung von Reststoffen und Abfällen stehen im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten. Das theoretische Substitutionspotenzial (auf Rohstoff-, Grundstoff-, Vorprodukt- und Fertigprodukteebene) und ein Vergleich mit der Fläche an Zuckerrüben oder Miscanthus für eine Herstellung aus primärer Biomasse wird sowohl pro Stoffstrom als auch im Anschluss als Übersicht über alle untersuchten Stoffströme angeführt. Bei den „primären“ Biomasseströmen, die auf Grund der momentanen direkten Verbrennung oder Nutzung als Futtermittel in die Studie aufgenommen wurden, wird auf Grund des Landbedarfs keine Substitution von landwirtschaftlicher Fläche berechnet.

Für den Einsatz biobasierter Produkte in den Bereichen Textil und Verpackung ist auf die Studie von (Windsperger and Windsperger 2018) zu verweisen, in welcher konkrete Anforderungsprofile und Lebenszyklusanalysen ermittelt wurden.

5.2.1 Verarbeitungsprozesse

Mikrobielle Prozesse

In fermentativen Prozessen werden Mikroorganismen zur Umsetzung von im Rohstoff enthaltenen Molekülen zu anderen Stoffen verwendet. Dabei können in Abhängigkeit von den verwendeten Mikroorganismen, Rohstoffen und Verfahrensbedingungen sehr unterschiedliche Stoffe wie Methan, Wasserstoff, Carbonsäuren, Alkohole und/oder Biopolymere hergestellt werden. Durch die Verwendung von photoautotrophen Organismen können außerdem zusätzlich Kohlendioxid gebunden und Nährstoffe aus sekundären Strömen (wie Bioabfall oder Abwasser) verwendet werden. In integrierten Systemen werden die Kombinationen verschiedener Prozesse und Produkte wie z.B. Wasserstoff, Methan und PHAs aus Biomüll erforscht (Pagliano et al. 2017).

Thermochemische Prozesse

Die thermochemische Umwandlung von Biomasse zu Gasen, Bioölen und Biokohle wird bisher vor allem für die Nutzung als Energieträger (Methan, Wasserstoff, Öl) und zur Rückführung von Nährstoffen (Kohle) beforscht. Die Produkte sind aber auch für die stoffliche Verwertung einsetzbar.

Bei der **Vergasung** von Biomasse werden die enthaltenen Stoffe unter teilweiser Oxidation größtenteils zu Synthesegas umgewandelt, welches hauptsächlich aus Kohlenstoffmonoxid, Wasserstoff und Methan besteht. Außerdem entstehen Kohle und teerige Anteile, die eine Herausforderung für die Prozesstechnologie darstellen. Die genaue Zusammensetzung und Mengen der Produkte hängen stark von den Prozessparametern ab. Da Feuchtigkeit die Gasqualität negativ beeinflusst, muss die Biomasse vor der Vergasung getrocknet werden (Pereira et al. 2012). Eine Weiterverarbeitung der Gase zu Grundchemikalien kann über Fischer-Tropsch-Katalyse oder Fermentation (z.B. mit Clostridium-Stämmen zu Ethanol oder Essigsäure) erfolgen (Xu, Tree, and Lewis 2011).

Pyrolyse ist eine weitere Möglichkeit der thermochemischen Umwandlung von Biomasse zu Bio-Öl, Gasen und Biokohle. Bei einer Schnellpyrolyse können bis zu 75% einer trockenen Biomasse durch Erhitzen (ca. 500°C) unter dem Ausschluss von Sauerstoff in Öl umgewandelt werden (Bridgwater 2012). Die Auswahl und Optimierung von Katalysatoren und die Zuführung von wasserstoffreichen Verbindungen - wie Methan - in den Prozess zur Erhöhung der Effizienz sind wichtige Forschungsthemen (Shafaghat et al. 2018).

Für feuchte Biomasse wird **Hydrothermal Liquefaction** (250-370°C, 4-22 MPa) als mögliche Alternative zu Trocknung und anschließender Pyrolyse zur Gewinnung von Bioöl beforscht (Gollakota, Kishore, and Gu 2018) (Okoro, Sun, and Birch 2017). Durch das, unter diesen Bedingungen, subkritische Wasser finden bei der HTL diverse Abbau- und Kondensationsprozesse statt, die zu einer Umwandlung der Biomasse führen. Da die nötige Prozesstechnologie auf Grund des hohen Drucks und der hohen Temperaturen sehr aufwändig ist, wurden bisher vor allem diskontinuierliche Systeme entwickelt. Bei der HTL von Algenmasse werden im Labormaßstab Ausbeuten von 40-60 % (der Masse) in kontinuierlichen Reaktoren erreicht (Elliott et al. 2015). Meist liegen die Ausbeuten an Öl allerdings zwischen 20 und 40% (Arturi, Kucheryavskiy, and Søgaaard 2016). Weitere Produkte der HTL sind Biokohle, Gase und eine wässrige Phase (mit stärker polaren organischen Stoffen).

Neben den bereits beschriebenen mikrobiellen und thermochemischen Verfahren zur Bioöl-Herstellung aus Biomasse, wurden auch diverse **chemische Prozesse** zur technischen Umwandlung von biobasierten Stoffen zu Grundstoffen einbezogen. Ein Beispiel ist die Umwandlung von Fructose zu 5-HMF oder der Umwandlung von Ethanol zu Ethen. Auch die Polymerisierung von Monomeren zu Polymeren (z.B. Milchsäure zu PLA) als Konvertierungsprozesse wurde in die Recherchen einbezogen.

Als Design-Kriterien für kosteneffiziente und nachhaltige **Bioraffinerien** sind nach De Visser und Van Ree (de Visser and van Ree 2017) folgende Punkte hervorzuheben:

- Investmentkosten gering halten (v.a. Heat exchange)
- Dehydration statt Trocknung
- Optimieren der Kombination aus small-scale preprocessing und zentraler Weiterverarbeitung
- Nutzung lokaler Ressourcen für die Energiebereitstellung
- Produktion für den lokalen Markt
- Ausnutzen der Differenz zwischen Einkaufs- und Verkaufs-Wert in den eingesetzten Prozessen
- Minimierung des Personaleinsatzes (Automatisierung und zentraler Support)
- Verwenden von modularen, mobilen Einheiten

Technology Readiness Level

Die Einschätzung des TRL²³ der verschiedenen Technologien zeigt an in welchem Maßstab sie bisher umgesetzt wurden und ist damit auch ein Hinweis, ob bereits ein UpScaling durchgeführt wurde, oder ob es sich bisher um Ergebnisse aus Laborversuchen handelt. Die Konversionsfaktoren und Substitutionspotenziale, die aus Laborversuchen errechnet wurden (TRL 4 – Funktionsnachweis der Technologie im Labor auf Systemebene) können nur einen groben Anhaltspunkt geben und sind in ihrer Zuverlässigkeit nicht direkt mit Ergebnissen aus Pilot- oder Demonstrationsanlagen zu vergleichen.

5.2.2 Produkte der Nutzungspfade

Eine viel diskutierte und grundsätzliche Fragestellung bei der Nutzung biobasierter Moleküle ist die Strategie der Nutzung der bereits vorliegende Syntheseleistung der Pflanzen (z.B. in der Nutzung von großmolekularen Lignin-Molekülen) und die Umstellung auf neue Grundstoffe und Polymere oder dem Abbau der Biomasse zu kleineren Einheiten (zB. biobasiertes Ethylen), die gut in die fossil-basierte Industrie integriert werden können.

Nach Einschätzungen des nova-Instituts von 2017 ist vor allem für bio-basiertes Monoethylenglycol Milchsäure, Ethylen und Epichlorhydrin mit einem Produktionswachstum in den nächsten Jahren zu rechnen (Aeschelmann and Carus 2017). Bei Bernsteinsäure und 2,5-FDCA wird ebenfalls mit einem Zuwachs gerechnet. Im Bereich der biobasierten Polymere gehen die ExpertInnen davon aus, dass besonders der Anteil bei PET, PEF und PHAs zunehmen wird.

In der Überarbeitung der 2004 herausgegebenen „Top Value Added Chemicals from Biomass“ des US Department of Energy haben die Autoren folgende Stoffe als die vielversprechendsten biobasierten Grundstoffe und Intermediates (Stand 2010) angegeben: Ethanol, Furane (5-HMF, 2,5-FDCA,...), Glycerol, Kohlenwasserstoffe (Isopren), Milchsäure, Bernsteinsäure, 3-Hydroxybutyrolacton, Lävulinsäure, Sorbitol und Xylitol (Bozell and Petersen 2010).

Im Projekt „STAR-ProBio“ wurde in Anlehnung an die SDGs der UN²⁴ eine Methodik zur Evaluierung zum Vergleich verschiedener Wertschöpfungsketten aus Biomasse entwickelt (Lokesh, Ladu, and Summerton 2018).

²³ European Commission: <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/support/faq/2890>, 10.01.2020

²⁴ United Nations: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>, 30.08.2019

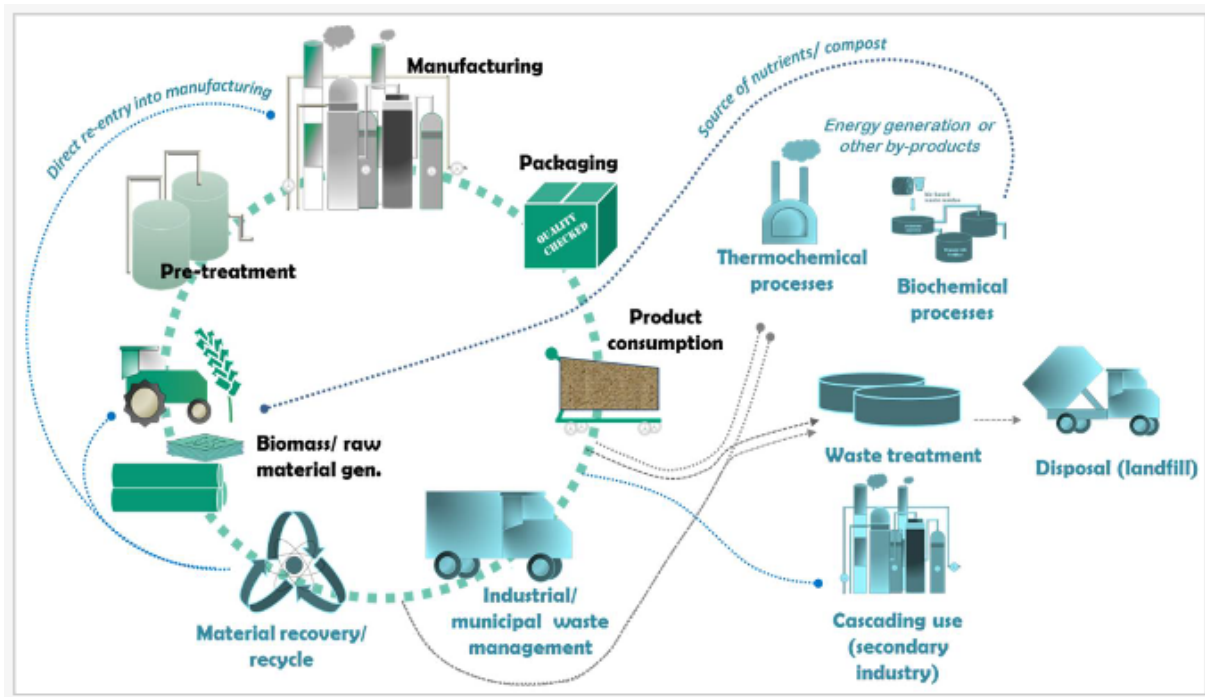


Abbildung 16: Schema einer bio-basierten Wertschöpfungskette (Lokesh et al., 2018)

Lokesh, Ladu und Summerton (2018) stellen eine Methodik vor, die unter anderem Kriterien für die Auswahl von Wertschöpfungsketten (aus einer Reihe möglicher Optionen) aufzeigt. Dabei wird in zwei Beurteilungsstufen eine Multi-Kriterien-Entscheidungs-Analyse (MCDA) durchgeführt, um die optimale Wertschöpfungskette zu eruieren. Für Austrian BioCycles wurde vereinfachend die erste Entscheidungsstufe herangezogen, die die folgenden Kriterien berücksichtigt.

Feedstock variability: Der flexible Einsatz von verschiedenen Rohstoffen zur Herstellung unterschiedlicher Produkte wird als essenzieller Erfolgsfaktor angesehen. Da die Kosten für Rohstoffe von der Marktvolatilität abhängen und eine Saisonalität vorliegen kann, sind diese Faktoren einzubeziehen.

Multi-regional supply chain: Für die Nutzung von Rohstoffen aus unterschiedlichen Regionen sind harmonisierte Verfahren und die Rückverfolgbarkeit von Materialien nötig, was die Einbeziehung von Schlüssel-Akteuren erfordert. Dieser Zugang würde den Übergang der EU-Staaten zur Bioökonomie-Modellen erleichtern.

Variety of end-of-life options: Der Einsatz von Reststoffen bzw. Abfällen stellt bereits eine nachhaltige Nutzung von Biomasse dar. Neben ökologischen Vorteilen wird so außerdem die Schaffung von Arbeitsplätzen und eine Erhöhung der Ressourcen-Effizienz ermöglicht.

Gaps in sustainability schemes: Schemen für die Nachhaltigkeitsbeurteilung von bio-basierten Produkten werden als noch nicht ausgereift eingeschätzt. Zum Teil fehlen klare Kriterien für das Assessment, andererseits gibt es Überlappungen bei den existierenden Zertifizierungs-Schemen. Ein Standard für die Nachhaltigkeitsbeurteilung von bio-basierten Produkten ist momentan in Ausarbeitung durch das Technische Komitee (CEN/TC/411) für bio-basierte Produkte von der Rohstoffbeschaffung bis zur Vorbehandlung des Rohstoffs (EN:16751 Bio-based products: sustainability criteria). Die Beurteilung der Verarbeitung, Verwendung und end-of-life Optionen enthält weiterhin „Lücken“.

Country-based feedstock preference: Die Verfügbarkeit von Rohstoffen soll durch die Verwendung lokaler Ressourcen sichergestellt werden. Bereits vorhandene Infrastruktur wird genutzt und ländliche Gemeinschaften können Know How einbringen.

Dieses Kriterium wird im vorliegenden Projekt Austrian BioCycles durch die Fokussierung auf bereits vorliegende österreichischer Reststoffe und Abfälle, sowie durch die Verortung der unterschiedlichen Rohstoffe berücksichtigt.

Multi-sector application: Die Möglichkeit des Einsatzes der Produkte in verschiedenen Anwendungen unterschiedlicher Industriezweige wird als wichtiger Erfolgsfaktor betrachtet.

Unter der zusätzlichen Berücksichtigung der vorliegenden Strategien der Europäischen Kommission kommen die Verfasser der Studie zu dem Ergebnis, dass das höchste Potenzial für biobasierte Produkte in der EU in der Nutzung von PLA für Lebensmittelverpackungen und Mulchfolien, in der Gewinnung von Chemikalien aus Lignocellulose und in auf Ölen basierenden Schmiermitteln liegt. Es ist allerdings festzuhalten, dass die vorgestellte Studie im Gegensatz zu Austrian BioCycles nicht mit sekundären Biomasseströmen befasst war (und diese nur am Rande im Bereich der Dämmmaterialien aus agrarischen Reststoffen streift).

Ethanol wird sowohl direkt industriell eingesetzt (u.a. als Lösungsmittel), ist aber auch der Ausgangsstoff für Ethen (Ethylen), aus dem momentan 75% der fossil basierten Produkte hergestellt werden. Bei einer Umstellung auf eine biobasierte Industrie würde daher dem fermentativ hergestellten Ethanol eine Schlüsselrolle zukommen. Biobasiertes Polyethylen (das auf Ethanol als Ausgangsstoff basiert) wird momentan aus Ethanol aus der Vergärung von Rohrzucker, also aus primärer Biomasse, gewonnen (Gandini and Lacerda 2015; Rossetti et al. 2017; Posada et al. 2013). Für Österreich beträgt der jährliche Materialeinsatz für die stoffliche Nutzung von Ethanol momentan rund 11 kt (Steffl et al. 2018). Bei einem Umstieg auf eine biobasierte Wirtschaft würde sich der Bedarf aus den oben genannten Gründen stark erhöhen. Auch **andere Alkohole**, wie Butanol oder Propanol bieten durch eine mögliche Dehydratation eine direkte Verbindung zu den momentan in der fossil basierten Industrie eingesetzten Kohlenwasserstoffe und haben daher eine wichtige Rolle in der biobasierten Wirtschaft (Bozell and Petersen 2010).

Zu den wichtigsten Stoffen aus der Gruppe der Furane zählen **5-HMF** und **2,5-FDCA**. **5-HMF** wird aus der Dehydratation von Zuckern gewonnen und kann durch seine chemische Struktur in diverse andere Grundchemikalien umgewandelt werden. Das aus 5-HMF ableitbare **2,5-FDCA**, könnte als „Ersatz“ für Terephthalsäure für PEF (anstatt PET) eingesetzt werden (Bozell and Petersen 2010; Menegazzo, Ghedini, and Signoreto 2018).

Milchsäure wird vor allem in Fermentationsprozessen mit Lactobacillus-Stämmen hergestellt und ist neben direkten industriellen Anwendungen (Lebensmittelindustrie, Lactatester als Lösemittel,...) das Monomer für eine Polymerisierung zu Polymilchsäure (PLA) (Bozell and Petersen 2010).

Bernsteinsäure ist eine wichtige Plattformchemikalie, die neben der Nutzung in zahlreichen industriellen Anwendungen auch ein Ausgangsstoff für weitere Chemikalien darstellt. Obwohl einige Projekte zur großtechnischen Herstellung von biobasierter Bernsteinsäure in den letzten Jahren eingestellt wurden, wird das Potenzial von einigen ExpertInnen als hoch eingeschätzt (Aeschelmann and Carus 2017; Alexandri et al. 2019). Die fermentative Herstellung von Bernsteinsäure aus diversen sekundären Biomasse-Strömen wird in den letzten Jahren stark beforscht (Aziati and Sakinah 2018).

Methan wird von vielen ExpertInnen als wichtiger „Baustein“ bei der Nutzung von sekundärer Biomasse bzw. als Bestandteil von Bioraffinerie-Prozessketten angesehen (Baetge et al. 2018). So können viele unterschiedliche Nebenfraktionen in der Bioraffinerie für die fermentative Produktion von Biogas unter anaeroben Bedingungen herangezogen werden. Das im Biogas enthaltene Methan kann dann in weiteren Schritten der Bioraffinerie, chemisch oder fermentativ, zu weiteren Produkten umgesetzt werden oder direkt als Ausgangsstoff für die chemische Industrie verkauft werden. Als Grundstoff in der stofflichen Nutzung beträgt der jährliche Materialeinsatz für Methan rund 200 kt (Steffl et al. 2018). Bei der fermentativen Produktion von Methan werden auch VFAs erzeugt, die ebenfalls eine wichtige Rolle als Produkte (z.B. Essigsäure) oder Intermediate (z.B. für die Umsetzung zu PAHs) spielen können (Bharathiraja et al. 2016).

Wasserstoff aus biogenen Quellen wird vor allem für die Verwendung als Treibstoff beforscht, ist aber auch ein wichtiger Rohstoff für die chemische Industrie. Neben der Gewinnung aus jenem Gas, das in Pyrolyse-Prozessen entsteht, werden vor allem fermentative Prozesse für die Gewinnung von Wasserstoff aus Biomasse untersucht. Dabei können Systeme auf Basis von Photosynthese-betreibenden Bakterien, heterotrophen Bakterien (anaerobe Dunkelfermentation zuckerreicher Biomasse) und Kombinationen dieser Mikroorganismen unterschieden werden (Bharathiraja et al. 2016).

PHAs (Polyhydroxyalkanoate) sind Polymere, die in einer Vielzahl von Organismen als Speicherstoff gebildet werden können. Da die Struktur der Polymere sehr unterschiedlich sein kann, sind auch die möglichen Anwendungsgebiete sehr divers. Laut nova-Institut war 2017 mit einer Verdreifachung der weltweiten Produktionskapazitäten für die fermentative Herstellung von PHAs (aus primärer Biomasse) von 2016 (1,6% von 4,16 Mt) bis 2021 (4,1% von 6,11 Mt) zu rechnen (Aeschelmann and Carus 2017). Da viele Fragen der Anwendbarkeit und Verarbeitbarkeit noch nicht gelöst sind, ist fraglich, ob diese Werte wirklich erreicht werden können. In der Forschung werden momentan besonders die Nutzung von sekundären Rohstoffen (Reststoffe und Abfälle) und die Anreicherung von photoautotrophen Mikroorganismen in Abwässern (unter CO₂-Bindung und Nutzung der Nährstoffe) beforscht (Liu et al. 2011; Meixner et al. 2018; Rueda et al. 2020).

Lignin ist das häufigste natürlich vorkommende phenolische Polymer, da es ein Bestandteil von Lignocellulose ist. Es ist aus einer stark vernetzten Struktur aromatischer Monomere mit zahlreichen funktionalen Gruppen aufgebaut. Momentan wird Lignin nach der Abtrennung von der Zellulose in der Zellstoffgewinnung aus Holz vor allem energetisch genutzt. Je nach Prozess der Separation von Cellulose und Hemicellulosen (u.a. Kraft-Verfahren, Sulfit-Verfahren, Organosolv) kann technisches Lignin oder natives Lignin gewonnen werden, die sich in ihren Eigenschaften und nach ihrem Molekulargewicht unterscheiden (Chio, Sain, and Qin 2019; Howard et al. 2003).

Pyrolyse-Öl zeigt mit seiner Zusammensetzung aus azyklischen Kohlenwasserstoffen, Carbonsäuren, zyklischen Kohlenwasserstoffen und zahlreichen heteroatomaren Verbindungen (die u.a. Sauerstoff und/oder Stickstoff enthalten) eine stark abweichende Zusammensetzung von fossilem Öl. So ist der Gehalt an Wasser und sauerstoffhaltigen Substanzen viel höher als bei Erdöl. Aufgrund der sehr komplexen Zusammensetzung der Pyrolyse-Öle ist eine fraktionierte Destillation zur Auftrennung schwierig durchzuführen. Die Zusammensetzung des Öls schwankt je nach Biomasse und Verfahrensparametern. Weiters haben auch mögliche Vorbehandlungsschritte einen Einfluss auf die Zusammensetzung (S. Chang et al. 2013).

Bioöl aus HTL-Behandlung von Holz besteht aus Carbonsäuren, Alkoholen, zyklischen Ketonen, phenolischen Substanzen, Naphtholen und Benzofuranen. Für eine weitere Verwendung des Öls als Ersatz fossiler Rohstoffe (bzw. auch als Treibstoff) ist eine weitere Aufbereitung zur Entfernung von

Sauerstoff und Stickstoff nötig (Elliott et al. 2015). Die Ausbeute und Zusammensetzung des Bioöls hängt sehr stark mit dem jeweiligen Rohstoff und den Prozessbedingungen zusammen (Gollakota, Kishore, and Gu 2018).

5.2.3 Lignocellulose

Lignocellulose ist als Strukturmaterial von Pflanzen eine wichtige Materialklasse bei der Nutzung sekundärer Biomasse und wird momentan in Österreich auch sehr stark für die energetische Nutzung eingesetzt. Die wichtigsten Bestandteile sind Cellulose, Hemicellulose und Lignin, die in Anhängigkeit vom Ursprung in unterschiedlichen Anteilen vorkommen. Im Nadelholz liegt eine Aufteilung von 45-50% Cellulose, 25-35% Hemicellulose und 25-35% Lignin vor, während Laubholz 40-50% Cellulose, 24-40% Hemicellulose und 18-25% Lignin enthält (Howard et al. 2003). Vereinfachend wurde für die ermittelte Masse an Lignocellulose 40% (Cellulose), 30% (Hemicellulose) und 25% (Lignin) für die Berechnungen der Konversionsprozesse angenommen.

Relevantes Potenzial Lignocellulose

In der Kategorie Lignocellulose wurde für Österreich ein relevantes Potenzial von 10,76 Mt (TM) ermittelt. Die Aufteilung auf die verschiedenen Biomasseströme sind in Abbildung 15 dargestellt. Holzabfälle (6,33 Mt), Energieholz (2,72 Mt) und Stroh (1,61 Mt) stellen den Großteil der anfallenden Mengen dar. Energiegräser sind in der folgenden Grafik (Abbildung 17) auf Grund der geringen Menge (7,0 kt) vernachlässigt. Zu betonen ist, dass gerade bei der Menge an Stroh, die aus der Landwirtschaft entnommen werden kann, durch die nötige Rückführung auf die Felder und die direkte Nutzung in der Landwirtschaft als Einstreu bei einer nachhaltigen Nutzung mit einer Verringerung zu rechnen ist. Für die Berechnungen in dieser Studie wurde das technische Potenzial um 52% verringert (40% für Nutzung als Einstreu, 12% für Düngung) (Moser 2012). Bei Energieholz wurde das technische Potenzial um einen Ernterücklass von 4% der aktuell verwendeten Menge verringert (Kalt and Amtmann 2014).

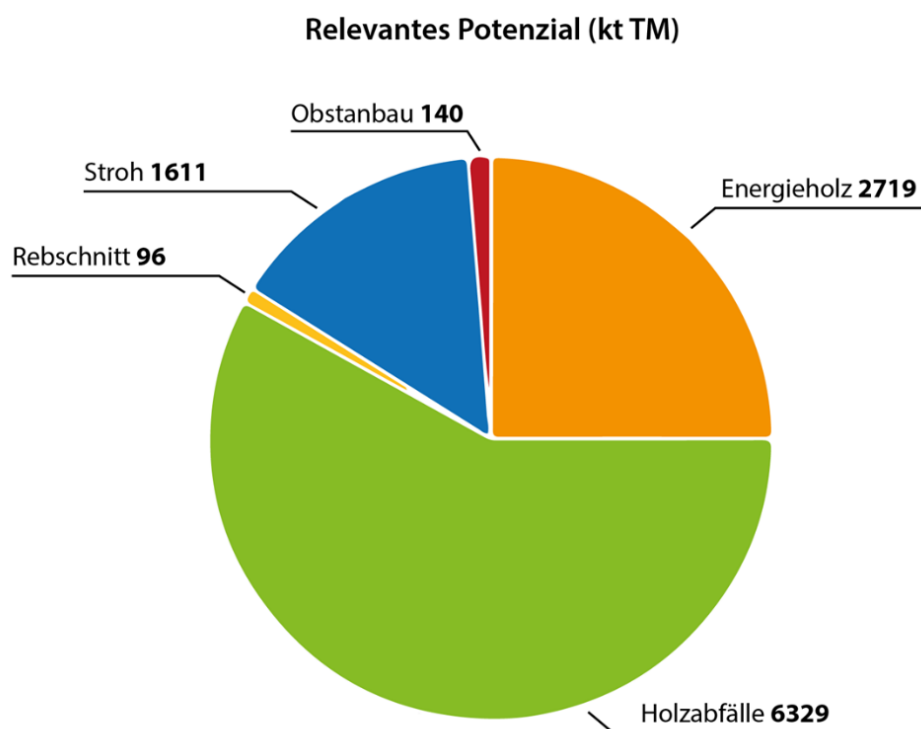


Abbildung 17: Zusammensetzung des relevanten Potenzials der Kategorie Lignocellulose in kt Trockenmasse pro Jahr (eigene Darstellung)

Bei Betrachtung der Verteilung der absoluten Mengen auf die Bundesländer sind für Niederösterreich (3,08 Mt TM), Oberösterreich (2,10 Mt), die Steiermark (1,71 Mt) und Kärnten (1,82 Mt) die höchsten Werte zu verzeichnen (siehe Abbildung 18). In der Abbildung ist eine Auswahl an Standorten von Biomassekraftwerken, Sägewerken und Holzverarbeitern eingezeichnet, wo Holzabfälle anfallen bzw. das Energieholz momentan verbrannt wird und wo die Lignocellulose potenziell auch weiterverarbeitet werden könnte (Standortpotenzial). Die Verteilung der Strohernte wird in Kapitel 8 näher beschrieben und dargestellt.

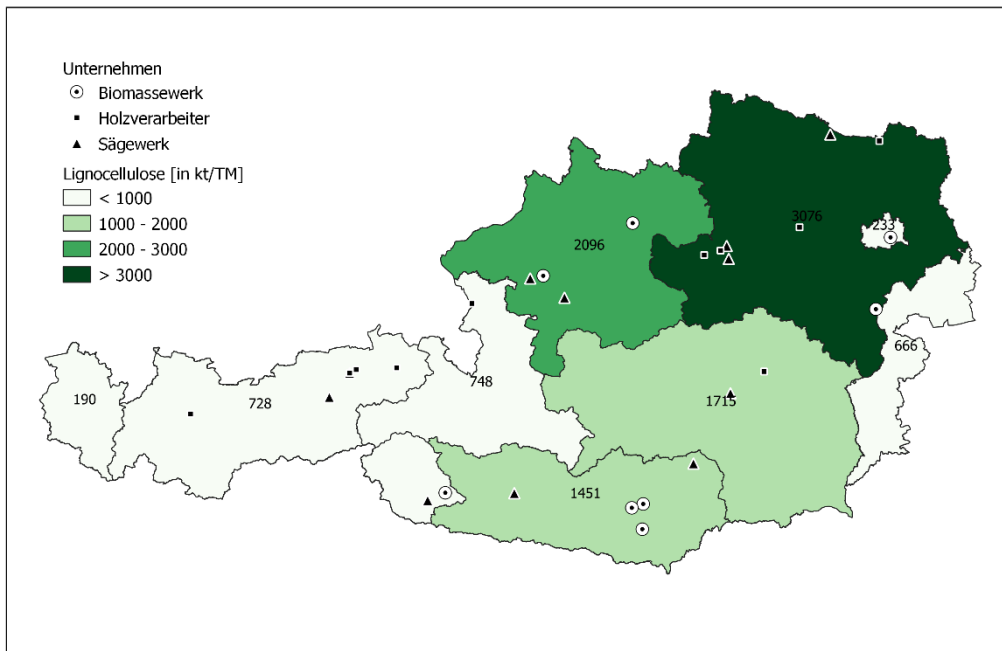


Abbildung 18: Relevantes Potenzial von Lignocellulose nach Bundesländern mit Biomassewerken, Holzverarbeitern und Sägewerken (Auswahl) (eigene Darstellung)

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte Lignocellulose

Die Vorbehandlung von Lignocellulose-Masse erfordert sehr energieintensive Prozesse, um eine weitere Aufarbeitung und Nutzung zu ermöglichen (Barakat, de Vries, and Rouau 2013; Carvalho, Duarte, and Gírio 2008; Kurian et al. 2013). Die zerkleinerte und aufgeschlossene Biomasse kann anschließend mit thermischen, chemischen oder biotechnologischen Methoden umgewandelt werden. Dabei ist je nach Produkt auch eine Abtrennung der Hemicellulosen und des enthaltenen Lignins von der Cellulose nötig (Carvalho, Duarte, and Gírio 2008).

Neben thermischen Verfahren (Pyrolyse, Gasifizierung, Hydrothermal Liquefaction) wird vor allem die enzymatische Verzuckerung der Cellulose bzw. der Hemicellulosen und die anschließende fermentative Herstellung von Ethanol in der Literatur beschrieben (Carvalho, Duarte, and Gírio 2008; Kurian et al. 2013). Eine Analyse der Weiterverarbeitung von Ethanol zu hochwertigen Produkten als Bestandteil der Lignocellulosebioraffinerie und zur Erhöhung der Wertschöpfung ergab, dass Diethylether und 1,3-Butadien profitable Alternativen darstellen und diese Prozesse eine Reduktion des Sustainability Single Index ergeben (Cheali et al. 2015).

Tabelle 7: Übersicht zu ausgewählten potenziellen Nutzungspfaden für Lignocellulose (für Nutzungspfad 3 wurde ein Substitutionspotenzial errechnet)

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Nährstoff-Rückführung	TRL	Quellen
1	Ethanol	Abtrennen von Lignin, Verzuckerung von Cellulose zu Glucose, Fermentation der Glucose zu Ethanol	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	7-9	Tecno OrbiChem, Handbook of commercial bio-based chemicals; Kurion et al.; Cheali et al., 2015
2	weitere organische Grund-chemikalien	Abtrennen von Lignin, Verzuckerung von Cellulose zu Glucose, Fermentation der Glucose zu Ethanol, Dehydrierung von Ethanol zu Diethylether	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	4-6	Cheali et al., 2015
3.1	H2	Pyrolyse der Ablauge	Nährstoffe in Biokohle	5-7	Wang & Song, 2018
3.2	Bioöl	Pyrolyse der Ablauge	Nährstoffe in Biokohle	5-7	Wang & Song, 2018
3.3	acyclische KWs	Verzuckerung von Cellulose zu Glucose, Fermentation der Glucose zu Ethanol, Dehydrierung von Ethanol zu 1,3-Butadien	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	4-6	Cheali et al., 2015
4	weitere Alkohole	Abtrennen von Lignin, Verzuckerung von Cellulose zu Glucose, Fermentation der Glucose zu Ethanol, Fermentation von Ethanol zu n-Butanol	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	4-6	Cheali et al., 2015
5	weitere organische Grund-chemikalien	Abtrennen von Lignin, Verzuckerung von Cellulose zu Glucose, Fermentation der Glucose zu Ethanol, Dehydrierung von Ethanol zu Ethylen, Dehydrierung von Ethen zu Ethylenoxid	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	4-6	Tecno OrbiChem, Handbook of commercial bio-based chemicals; Rosetti et al., 2017; Cheali et al., 2015

6	weitere chemische Grundchemikalien	Abtrennen von Lignin, Verzuckerung von Cellulose zu Glucose, Fermentation der Glucose zu Ethanol, Dehydrierung von Ethanol zu Ethylen, Dehydrierung von Ethen zu Ethylenoxid, Hydrierung von Ethylenoxid zu Monoethylenglycol (90%)	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle), Lignin	4-6	Tecno OrbiChem, Handbook of commercial bio-based chemicals; Rosetti et al., 2017
---	------------------------------------	---	--	-----	--

*Tabelle 8: Übersicht zu ausgewählten potenziellen Nutzungspfaden für Lignocellulose (Fortsetzung)
(für die Nutzungspfade 10 und 12 wurden Substitutionspotenziale berechnet)*

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Nährstoff-Rückführung	TRL	Quellen
7	Methanol, H ₂	Vergasung zu H ₂ und Methanol	Nährstoffe	4-6	Carvalho et al., 2008; Kurion et al., 2013
8	Carbonsäuren	Abtrennen von Lignin, Verzuckerung von Cellulose zu Glucose, Fermentation von Glucose zu Natriumsuccinat, Ionenaustausch zu Bernsteinsäure	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	4-6	US Department of Energy, Top Value Added Chemicals from biomass; Kurion et al., 2013
9	Carbonsäuren	Abtrennen von Lignin, Verzuckerung von Cellulose (&Hemicellulose) zu Glucose, Isomerisierung der Glucose zu Fructose, Umwandlung der Fructose in 5-HMF, Spalten von 5-HMF in Lävulinsäure und Ameisensäure	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	4-6	Tecno OrbiChem, Handbook of commercial bio-based chemicals; Kurion et al., 2013 Feedstocks
10.1	H ₂	Pyrolyse der Ablauge	Nährstoffe in Biokohle	5-7	Wang & Song, 2018
10.2	Bioöl	Pyrolyse der Ablauge	Nährstoffe in Biokohle	5-7	Wang & Song, 2018

10.3	weitere chemische Grundstoffe	Abtrennen von Lignin, Verzuckerung von Cellulose (&Hemicellulose) zu Glucose, Isomerisierung der Glucose zu Fructose, Umwandlung der Fructose in 5-HMF	Fermentationsschlempe: 4-6 Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	Chang, 2011
11	weitere Alkohole	Abtrennen von Lignin (Organosolv), Verzuckerung und Fermentation zu Isobutanol	Fermentationsschlempe: 4-6 Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	Moncada et al., 2017; Cheali et al., 2015
12	Bioöl	Hydrothermal Liquefaction	Nährstoffe in Biokohle	4-6 Arturi et al., 2016

Ausgewählte Nutzungspfade von Lignocellulose zu Produkten sind in Tabelle 7 und Tabelle 8 angeführt. Die Tabellen enthalten außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe. Die bereits kommerziell biobasiert hergestellten Produkte (TechnoOrbiChem) werden bisher meist nicht auf der Basis von Lignocellulose produziert, sondern aus Zucker aus Stärkerohstoffen gewonnen. Die Weiterverarbeitung der Zucker unterscheidet sich aber nach Abtrennung von Hemmstoffen (u.a. aus dem Abbau von Lignin) nicht. Über die Verzuckerung ist daher eine weite Palette an Produkten herstellbar.

Potenzielle Pfade zur Substitution fossil basierter Vorprodukte mit Lignocellulose sind Kunststoffe in Primärform (u.a. PLA, Synthesekautschuk, ABS, Thermoplastisches Lignin) und Kunstharze, sowie, auf Grund der Lignin-Anteile, auch andere unter „Ablauge aus der Zellstoff-Herstellung“ angeführten Anwendungen.

Auf der Ebene der Fertigprodukte sind durch Lignocellulose Anteile an Maschinenölen, Aktivkohle, Koks, Verpackungen aus Kunststoff, Industrieprodukte aus Kunststoff, Baubedarf aus Kunststoffen (z.B. Dämmstoffe), Fahrzeugreifen, Farben und Lacke, Klebstoffe und die unter „Ablauge aus der Zellstoff-Herstellung“ aufgeführten Kategorien zu ersetzen.

Substitutionspotenzial Lignocellulose

Im Folgenden werden vier verschiedene Nutzungspfade für Lignocellulose beschrieben, für die Berechnungen durchgeführt wurden.

Nutzungspfad 10: PEF (über 5-HMF) und Pyrolyseöl

Durch Pyrolyse der Ablauge aus der gesamten ermittelten Lignocellulose wären 23 kt Wasserstoff und 1,09 Mt Pyrolyse-Öl erzeugbar (Wang and Song 2018) (TRL 5-7). Das entspricht 73% der Menge des stofflich eingesetzten Erdöls (Steffl et al. 2018) und substituiert theoretisch – exklusiv dem Anteil des Energieholzes und -gräser, für deren Anbau Fläche benötigt wird – ca. 690.800 ha Miscanthus (Bioöl aus Fischer-Tropsch-Synthese nach Pyrolyse) (Jungbluth et al. 2007). Der anfallende Wasserstoff würde bei einer klassischen Herstellung 1.159 GWh an Energie benötigen (Lettenmeier 2019; Milanzi et al.

2018), was etwa dem Bedarf von 250.000 Haushalten entspricht und ein Donaukraftwerk benötigen würde (1.000-2.000 GWh) (Statistik Austria 2020, 2019).

Durch die Verzuckerung von Cellulose und die chemische Umwandlung der Zucker wären 1,88 Mt 5-HMF herstellbar (Chang, Jang, and Wu 2011; Gallezot 2012). Zusammen mit einem zusätzlichen Input von 310 kg MEG (Glycol) pro t PEF ergibt dies ein Substitutionspotenzial von 3,0 Mt PEF (Gallezot 2012) und damit rund 2,7 Mal die Menge des Materialeinsatzes für Kunststoffe in Primärform in Österreich (Steffl et al. 2018). Beim Vergleich mit der gleichen Menge an PET aus primärer Biomasse ergibt sich ein Substitutionspotenzial von 510.771 ha Zuckerrübenfläche für PTA, wenn der Anteil an Energieholz und Energiegras an der Lignocellulose nicht einberechnet wird (IfBB Hochschule Hannover 2018). Eine grafische Zusammenfassung dieser Informationen ist in Abbildung 19 dargestellt.

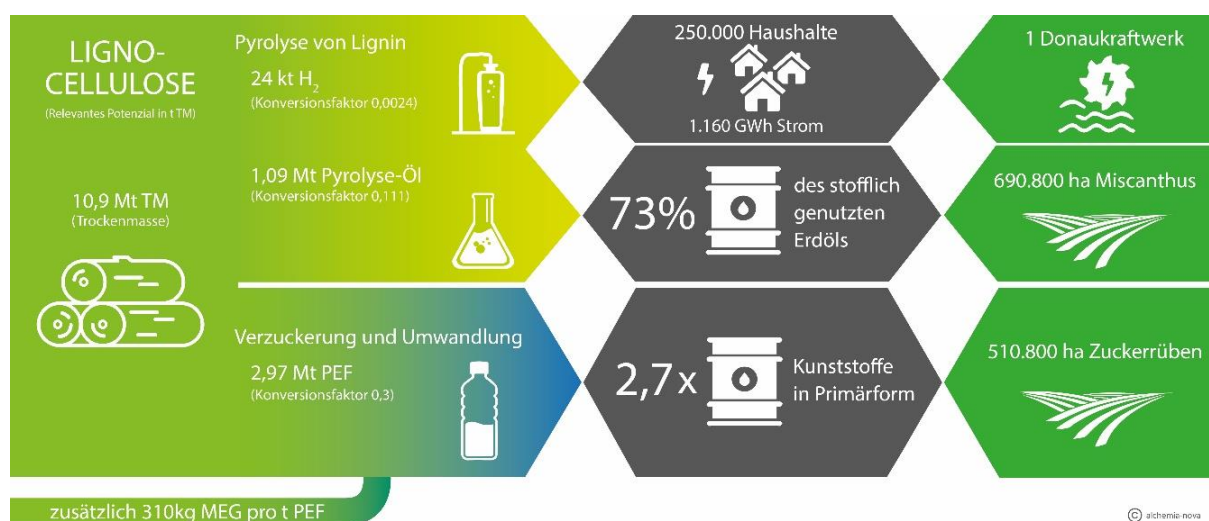


Abbildung 19: theoretische Substitutionspotenzial durch Pyrolyse-Öl und PEF aus Lignocellulose (eigene Darstellung) berechnet nach (Wang and Song 2018; Chang, Jang, and Wu 2011; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007; IfBB Hochschule Hannover 2018; Lettenmeier 2019; Milanzi et al. 2018; Statistik Austria 2020, 2019)

Nutzungspfad 3: Polybutadien und Pyrolyseöl

Wie auch in der oben beschriebenen Variante könnte durch Pyrolyse der Ablauge 23 kt Wasserstoff und 1,09 Mt Pyrolyse-Öl erzeugt werden, wofür 690.800 ha Miscanthus angebaut werden müssten (Pyrolyse mit Fischer-Tropsch-Synthese) (Jungbluth et al. 2007). Auch hier wurden die Anteile von Energieholz und Energiegräsern nicht einbezogen, da sie Fläche für den Anbau benötigen. Nach der Verzuckerung der Cellulose könnten fermentativ über Ethanol 1,24 Mt, 1,3-Butadien gewonnen werden (Posada et al. 2013), woraus in etwa die gleiche Menge Polybutadien polymerisiert werden kann (Harmsen, Hackmann, and Bos 2014). Daraus ergibt sich ein Flächen-Substitutionspotenzial von 353.800 ha Zuckerrübe für 1,3-Butadien. Eine grafische Zusammenfassung dieser Informationen ist in Abbildung 20 dargestellt.

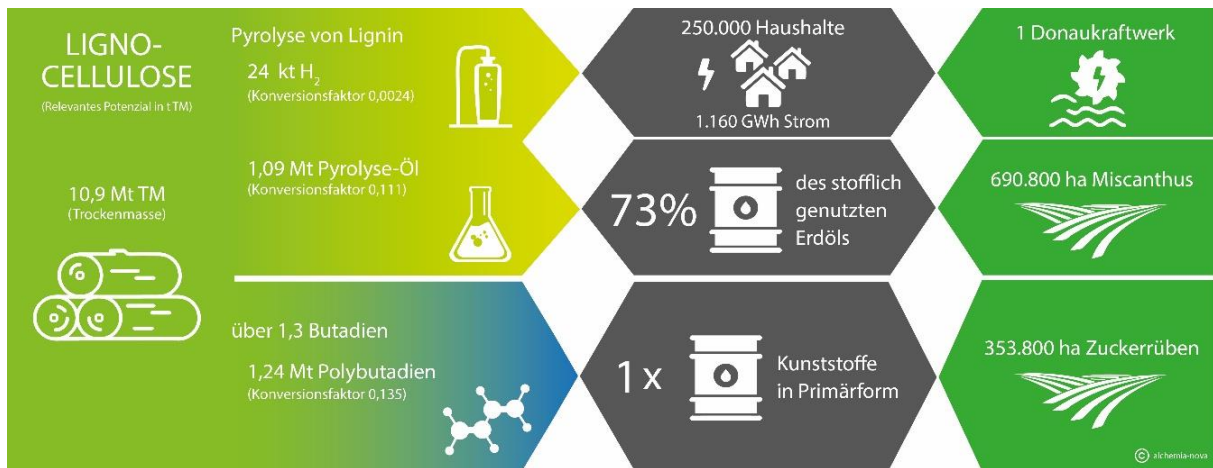


Abbildung 20: Theoretisches Substitutionspotenzial für Pyrolyse-Öl und Polybutadien aus Lignocellulose (eigene Darstellung) berechnet nach (Wang and Song 2018; Posada et al. 2013; Harmsen, Hackmann, and Bos 2014; IfBB Hochschule Hannover 2018; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007; Lettenmeier 2019; Milanzi et al. 2018; Statistik Austria 2020, 2019)

Nutzungspfad 12: Hydrothermal Liquefaction (HTL)

Bei einer HTL-Behandlung der ermittelten Lignocellulose-Massen wären mit einem Konversionsfaktor von 0,3 (Arturi, Kucheryavskiy, and Søggaard 2016) theoretisch 2,94 Mt Bio-Öl herstellbar, was ungefähr der doppelten Menge (197%) des stofflich genutzten Materialeinsatzes von Erdöl in Österreich entspricht (siehe Abbildung 19). Im Vergleich mit einer Gewinnung von Pyrolyse-Öl (über Fischer-Tropsch-Synthese) (Jungbluth et al. 2007), könnten so 1,87 Mio ha Miscanthus substituiert werden. Bei dieser Berechnung wurde der Öl-Anteil aus Energieholz und Energiegräsern nicht einbezogen, da diese Rohstoffe Fläche beanspruchen. Der anfallende Wasserstoff würde bei einer klassischen Herstellung 1.159 GWh an Energie benötigen, was etwa dem Bedarf von 250.000 Haushalten entspricht und ein Donaukraftwerk benötigen würde (1.000-2.000 GWh).



Abbildung 21: theoretisches Substitutionspotenzial durch HTL von Lignocellulose (eigene Darstellung) berechnet nach (Arturi, Kucheryavskiy, and Søggaard 2016; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)

Alternativer Nutzungspfad für Stroh: Dämmstoff

Als technisch sehr einfach umsetzbare Nutzung von Stroh wurde das theoretische Substitutionspotenzial von Strohdämmstoff als Ersatz für EPS errechnet. Beim Einsatz von Strohballen als Dämmstoff kann eine Verminderung des Energieeinsatzes von bis zu 90% erreicht werden (Andreş, Maria, and Manea 2015) und es ist – anders als bei der Verarbeitung zu chemischen Grundstoffen – keine weitere Verarbeitung des Rohstoffs für den Einsatz nötig. Der Vergleich mit der benötigten Einsatzmenge an EPS ist in Abbildung 20 zu sehen. 1,6 Mt könnten von der Dämmleistung ca. 181 kt EPS ersetzen, was 67% der Menge an fossil basiertem „Baubedarf aus Kunststoffen“ entspricht (Cascone et al. 2019, 2018; Steffl et al. 2018). Dabei ist zu betonen, dass es sich dabei nur um die Veranschaulichung der Menge handelt, da für Österreich das Potenzial für Stroh als Dämmstoff mit

viel geringeren Werten anzunehmen ist (22 kt werden von Strasser et al. genannt (Strasser, Ehrig, and Wörgetter 2009) und der Einsatz aller biogener Dämmstoffe in Österreich 2014 von Kalt und Amtmann mit 13.000kt angegeben wurde (Kalt and Amtmann 2014).

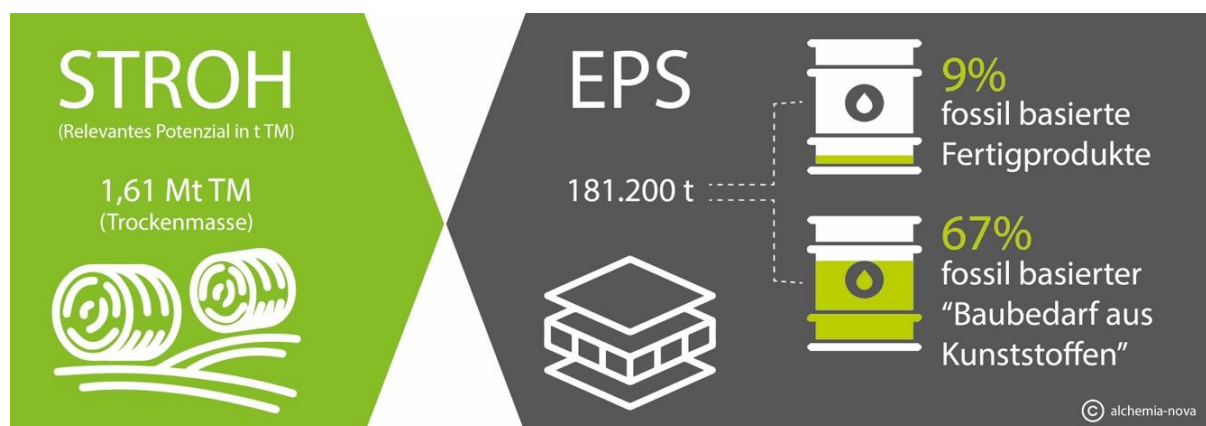


Abbildung 22: theoretisches Substitutionspotenzial von Stroh als Dämmstoff (eigene Darstellung) berechnet nach (Asdrubali, D'Alessandro, and Schiavoni 2015; Steffl et al. 2018; Cascone et al. 2019)

Nährstoffrückführung Lignocellulose

Die in der Literatur angegebenen Werte zum Stickstoffgehalt von Holz liegen zwischen 0,1 (Payne 2002) und 0,8 % der Trockenmasse (Mura et al. 2013), für Phosphor kann ein Bereich von 0,01-0,1% angenommen werden (Lambertz and Welling 2010), was einer Gesamtmenge in einer Größenordnung von 44 kt N und 6 kt P in der ermittelten Masse entspricht. Bei den vorgestellten Verfahren könnte eine Rückführung der Nährstoffe (mit Ausnahme der Verwendung als Dämmstoff) über die Nutzung des Gärrests der Biogasherstellung aus Fermentationsschlempen oder mittels Biokohlen aus thermischen Verfahren erfolgen.

Projekte Lignocellulose

In Tabelle 9 ist eine Auswahl an Projekten zur Nutzung von Lignocellulose angeführt.

Tabelle 9: ausgewählte Projekte zur Nutzung von Lignocellulose

Projekt	Förderung	Zeitraum	Thema
BioReg ²⁵	HORIZON 2020	2017-2019	Nutzung von Holzabfällen (werkstofflich, für Chemikalien und für Treibstoff)
StrohCert ²⁶	FFG, Land Oberösterreich, Land Niederösterreich		Zertifizierung, Logistik und QM für den Strohhallenbau
lignoflag ²⁷	HORIZON 2020 BBI JU	2017-2022	Gewinnung von Ethanol aus landwirtschaftlichen Reststoffen
Optisochem ²⁸	HORIZON 2020 BBI JU	2017-2021	Gewinnung von Isobuten aus Weizenstroh und Weiterverarbeitung zu Oligo- und Polymeren

²⁵ Projekt BioReg: <https://www.bioreg.eu/>, 14.01.2020

²⁶ BMVIT: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/hdz/projekte/stroh-cert-zertifizierung-logistik-und-qualitaetsmanagement-fuer-den-strohhallenbau.php>, 14.01.2020

²⁷ Projekt Lignoflag: <https://www.lignoflag-project.eu/>, 14.01.2020

²⁸ Projekt Optisochem: <http://www.optisochem.eu/>, 14.01.2020

BioRest²⁹	EFRE	2015-2020	Nutzung von Reststoffen der Papier- und Zellstoffgewinnung
CAFB³⁰	EFRE, Land Oberösterreich		Integrierte Nutzung von agrarischen Reststoffen und Reststoffen aus der Papier- und Zellstoffindustrie für Treibstoffe und Chemikalien

5.2.4 Ablauge aus Zellstoff-Herstellung

Lignin fällt als Nebenstrom der Zellstofferzeugung an und ist auf Grund seiner Struktur zur Herstellung von Thermoplasten, Harzen und phenolischen Verbindungen geeignet. Die hier beschriebenen Nutzungswege gelten grundsätzlich auch für das in der Kategorie Lignocellulose enthaltene Lignin, das in einer Bioraffinerie bei einer biotechnologischen Verarbeitung von den enthaltenen Polysacchariden abgetrennt wird. Je nach Art der Separationstechnologie von Polysacchariden und Lignin ist das anfallende Lignin unterschiedlich weit abgebaut und verwendbar. Die Struktur der enthaltenen Lignine hängt außerdem sehr stark von der jeweiligen Biomasse ab (Chio, Sain, and Qin 2019; Nagy et al. 2010; Hu et al. 2013).

Relevantes Potenzial Ablauge

In Österreich fiel im erhobenen Zeitraum Ablauge in einer Menge von 555 kt TM pro Jahr an. Abbildung 21 zeigt die Aufteilung auf die Bundesländer, wobei in der Steiermark mit 236 kt und für Oberösterreich mit 157 kt die größten Mengen erhoben wurden (siehe Abbildung 23).

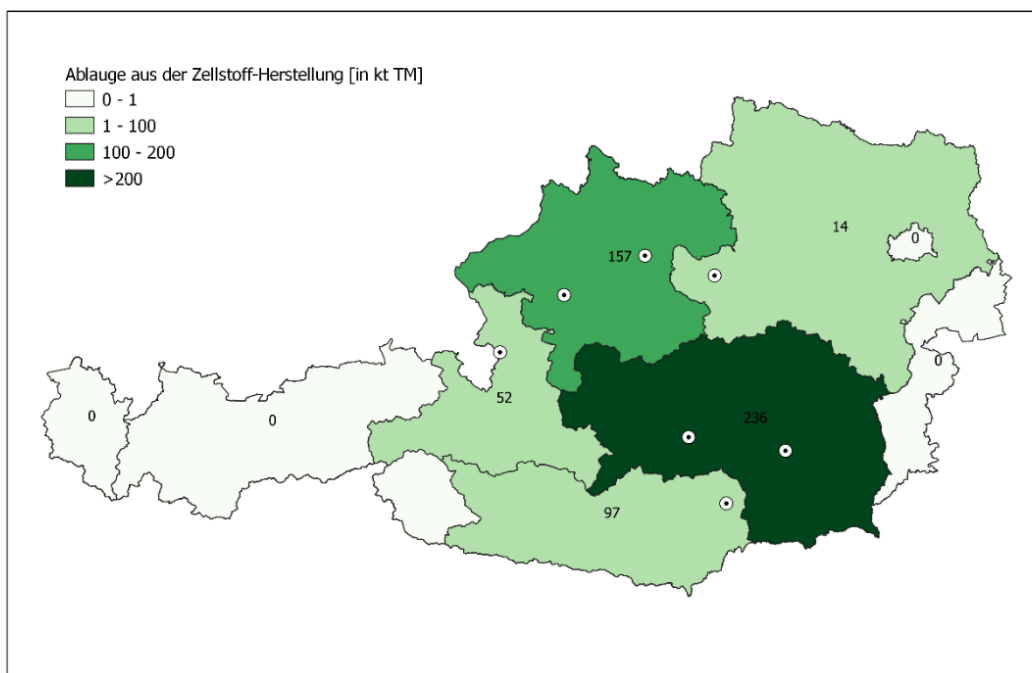


Abbildung 23: Relevantes Potenzial von Ablauge aus der Zellstoff-Herstellung (in kt TM) nach Bundesländern mit Standorten von Zellstoffwerken (eigene Darstellung)

²⁹ JKU Energieinstitut: <http://www.energieinstitut-linz.at/v2/portfolio-item/biorest/>, 14.01.2020

³⁰ FH Oberösterreich: <https://www.fh-ooe.at/campus-wels/biosciences/projekte/cafb-combined-agro-forest-biorefinery/>, 14.01.2020

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte aus Abblauge

Ausgewählte Nutzungspfade von Abblauge zu Produkten sind in Tabelle 10 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe. Bisher werden neben der energetischen Nutzung vor allem Lignosulfonate (aus Sulfit-Abblauge) gewonnen, die als oberflächenaktive Substanzen verwendet werden. Auch Lignin aus Kraft-Abblauge ist bereits als Produkt am Markt verfügbar. Die in der Abblauge enthaltenen Hemicellulose (bzw. deren Abbauprodukte) können zu Essigsäure fermentiert werden.

Durch Pyrolyse können aromatische Substanzen hergestellt werden (Shen et al. 2015). Nach Shafaghat et al. konnte in Pyrolyse-Experimenten mit Lignin unter Stickstoff- bzw. Methan-Atmosphäre eine Aufteilung der Produkte von 22 bis 50% Öl, 21-30% Kohle und 29-47% Gas erreicht werden (Shafaghat et al. 2018).

Tabelle 10: ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Abblauge aus der Zellstoff-Herstellung

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Rückführung / Nebenprodukte	TRL	Quellen
1.1	Kunststoff in Kunstharz Primärform (Vorprodukt)	Fällung von Lignin mit Säure	-	7-9	Nagy et al., 2009; Carvalheiro et al., 2008
1.2	weitere Alkohole (Grundstoff)	Butanol-Fermentation mit <i>Clostridium acetobutylicum</i>	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	3-4	Kudahettige-Nilsson et al., 2015
2	Erdöl (Rohstoff) Nährstoffe	Hydrothermal Liquefaction zu Bio-Öl	in Biokohle	4-6	Orebom et al. 2018; Stedile et al. 2015

Auf der Vorproduktebene können Kunstharze (z.B. Lignin-Phenol-Formaldehyd-Harze (Stücker et al. 2016) und Kunststoffe in Primärform durch die Nutzung von ligninhaltiger Biomasse ersetzt werden.

Die Substitution von erdölbasierten Farben und Lacken, Klebstoffen und Bitumen (als Emulgatoren) sind mögliche Anwendungsbereiche auf Ebene der Fertigprodukte (Gandini and Lacerda 2015).

Substitutionspotenzial Abblauge

Im Folgenden werden vier verschiedene Nutzungspfade für Abblauge aus der Zellstoff-Herstellung beschrieben, für die Berechnungen durchgeführt wurden.

Nutzungspfad 1: Lignin und PET (über Butanol)

Bei einer Säure-Fällung von Lignin aus der Abblauge (TRL 7-9, beschrieben für Kraft-Lignin) und der Fermentation der Xylose aus der Abblauge mit *Clostridium acetobutylicum* zu Butanol (TRL 3-4) ergeben sich 368 kt Produkt in Form von Lignin (365 kt) und Butanol (3 kt) (Nagy et al. 2010; Kudahettige-Nilsson et al. 2015). Damit ergibt sich für aus Abblauge erzeugtes Butanol ein Substitutionspotenzial von 3% der in der Kategorie „weitere Alkohole“ zusammengefassten Grundstoffe. Im Vergleich mit dem Anbau von Zuckerrübe für die Herstellung der 3 kt Butanols aus primären biobasierten Rohstoffen ergibt sich ein Flächen-Substitutionspotenzial von ca. 1.000 ha.

Aus dem erzeugten Butanol können unter der Zuführung von 360 kg Ethanol pro t PET, 1,9 kt Bio-PET 100 hergestellt werden und damit 2% des in Österreich genutzten PET (IfBB Hochschule Hannover 2018; Steffl et al. 2018) ersetzt werden. Zusätzlich kann für den Lignin-Anteil ein theoretisches Substitutionspotenzial von 81% der Menge an Kunstharz (als Vorprodukt) errechnet werden. Dieser Nutzungspfad ist in Abbildung 24 grafisch dargestellt.

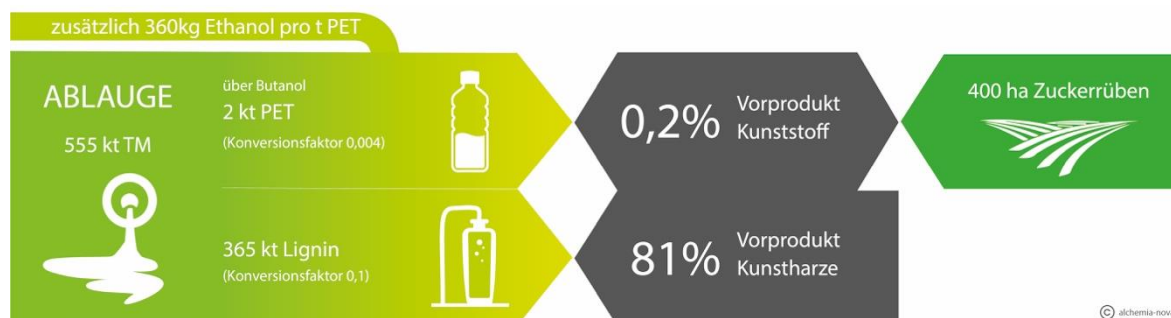


Abbildung 24: Theoretisches Substitutionspotenzial von Abfall aus der Zellstoff-Herstellung über die Gewinnung von Lignin und PET (über Butanol), eigene Darstellung, berechnet nach (Nagy et al. 2010; Kudahettige-Nilsson et al. 2015; IfBB Hochschule Hannover 2018; Steffl et al. 2018)

Nutzungspfad 2: Bioöl aus Hydrothermal Liquefaction

Als alternatives Verfahren wurde Hydrothermal Liquefaction der Abfall zur Herstellung von Bioöl berechnet. Dabei ergäbe sich mit 29 kt Bioöl eine Menge die 2% des stofflich eingesetzten Erdöls entspricht (Orebom, Verendel, and Samec 2018; Steffl et al. 2018). Damit ergibt sich ein theoretisches Flächen-Substitutionspotenzial von 24.200 ha Miscanthus (Jungbluth et al. 2007).

Nährstoffrückführung Abfall

Die bei der HTL von Schwarzlauge anfallende Biokohle könnte für die Rückführung der Nährstoffe genutzt werden. Im Falle einer Fermentation würde die Rückführung über die Gärreste der Biogas-Fermentation erfolgen. Die Gesamtmenge an Stickstoff in der in Österreichischen anfallenden Abfall liegt in einer Größenordnung von 31 kt (Vähä-Savo 2014).

5.2.5 Grüne Biomasse

Als grüne Biomasse wird in diesem Bericht Grünschnitt bezeichnet, der momentan als Tierfutter dient. Es handelt sich dabei vor allem um diverse Gräser und Kleearten.

Relevantes Potenzial Grüne Biomasse

Für Österreich wurde eine Gesamtmenge (technisches Potenzial) von ca. 2,61 Mt (TM) Grünfutter erhoben, was 30% der Menge entspräche, die momentan als Tierfutter verwendet wird. In Oberösterreich gibt es mit 741 kt das größte relevante Potenzial, gefolgt von Niederösterreich (674 kt) und der Steiermark (456 kt). Die Verteilung auf die Bundesländer ist in Abbildung 25 dargestellt.

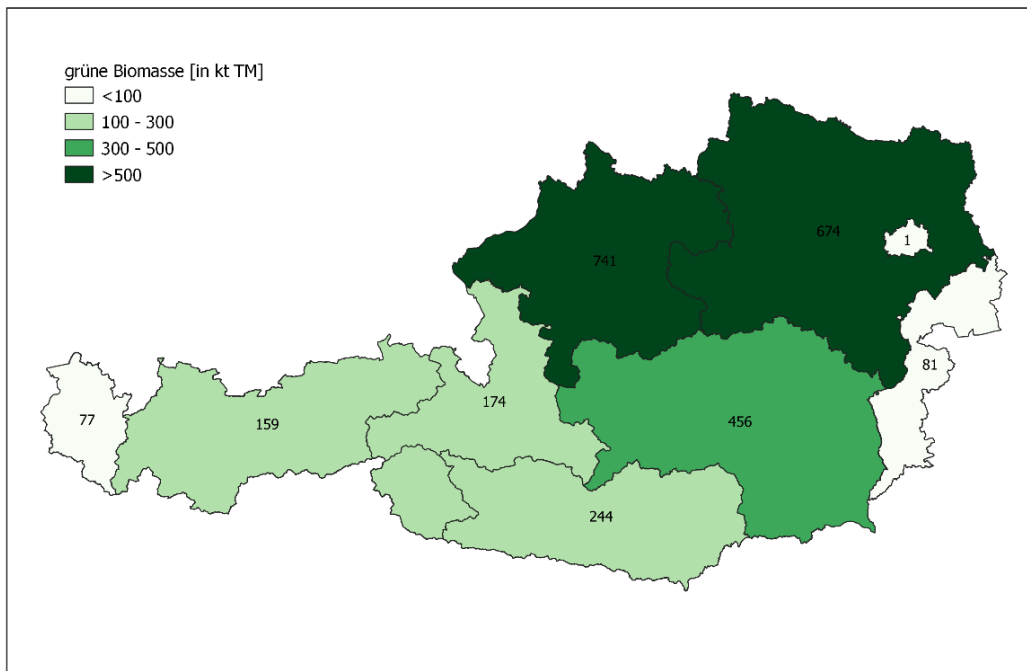


Abbildung 25: Relevantes Potenzial Grüne Biomasse (in kt TM) nach Bundesländern (eigene Darstellung)

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte Grüne Biomasse

Die Nutzung von grüner Biomasse in Form einer Bioraffinerie wird seit vielen Jahren auch in Österreich, unter anderem an der Demonstrationsanlage in Utzenaich stark beforscht. Zur Verlängerung der Lagerzeit kann eine Silierung als Vorbehandlung durchgeführt werden. Nach dem Abpressen des Pflanzensaftes fällt Fasermasse an. Aus der flüssigen Fraktion können Proteine (z.B. für den Einsatz als Futtermittel) und Fermentationsprodukte gewonnen werden (Methan oder Milchsäure) (Kamm, Schönicke, and Hille 2016; Corona et al. 2018).

Tabelle 11: Ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Grüne Biomasse (eigene Darstellung)

Weg	Grundstoff -Kategorie	Weg zum Grundstoff	Rückführung / Nebenprodukte	TRL	Quelle
1	CH ₄	Zerkleinerung, Pressen, Koagulieren der Proteine aus dem Presssaft, anaerobe Fermentation des Presssafts zu CH ₄	Digestat, Proteine	5-8	Corona et al., 2018
2	Carbon-säuren	Zerkleinerung, Pressen, Koagulieren der Proteine aus dem Presssaft, anaerobe Fermentation des Presssafts zu Milchsäure	Fermentations-schlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle), Proteine	5-8	Xie & Gathergood, 2013; Kamm et al., 2015

Ausgewählte Nutzungspfade von grüner Biomasse zu Produkten sind in Tabelle 11 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe. Das Methan aus der Biogasproduktion kann direkt als Grundstoff für die chemische Industrie verwendet werden (Ersatz von Erdgas).

Eine Polymerisation der Milchsäure zu Polymilchsäure ermöglicht eine Substitution von Kunststoffen in Primärform auf Ebene der Vorprodukte und von Verpackungen aus Kunststoff und Haushaltswaren aus Kunststoff auf Fertigprodukteebene. In der Biomasse enthaltene Fasern könnten einen Ersatz von anderen pflanzlichen Fasern oder mineralischen Fasern in technischen Anwendungen darstellen.

Substitutionspotenzial durch grüne Biomasse

Nutzungspfad 1: Biogas

Durch die anaerobe Vergärung des Presssaftes der grünen Biomasse könnten 18 kt Methan (Corona et al. 2018), und damit knapp 8% des stofflich verwendeten Methans gewonnen werden (Steffl et al. 2018). Zusätzlich fielen Grasfasern und Protein-Isolate als Produkte an.

Nutzungspfad 2: PLA (über Milchsäure)

Durch die Fermentation des Presssaftes der grünen Biomasse könnten knapp 86 kt Milchsäure (Xie and Gathergood 2013) bzw. 69 kt PLA (IfBB Hochschule Hannover 2018) gewonnen werden, was der Menge von 55% der fossil basierten Carbonsäuren (auf Grundstoff-Ebene) oder 6% der Kunststoffe in Primärform (auf Vorprodukt-Ebene) entspricht (Steffl et al. 2018). Auch bei diesem Nutzungsweg fielen zusätzlich Fasern und Protein-Isolat an.



Abbildung 26: Theoretisches Substitutionspotenzial durch die Gewinnung von Milchsäure aus dem Presssaft von Grüner Biomasse (Proteine als Tierfutter und Fasern für mögliche technische Anwendungen wären zusätzliche Produkte), eigene Darstellung, berechnet nach (Xie and Gathergood 2013; Steffl et al. 2018)

Nährstoffrückführung durch Grüne Biomasse

Durch die Rückführung von Gärresten könnten der enthaltene Stickstoff und Phosphor (in einer Größenordnung von jeweils 10 kt) (Möllmann 2007; Pfundtner 2007) zurückgeführt werden. Da der Stickstoff vor allem in dem gewonnenen Protein-Isolat enthalten ist, würde er über den Weg der Verfütterung mit der entstehenden Gülle in den Kreislauf zurückgeführt.

5.2.6 Ölpresskuchen

Die bei der Herstellung von Pflanzenöl anfallenden Restmassen an Presskuchen enthalten vor allem große Mengen an Protein (und Reste an Ölen) und werden daher häufig als Futtermittel verwendet.

Relevantes Potenzial Ölpresskuchen

Insgesamt wurden 297 t TM Ölpresskuchen als relevantes Potenzial für Österreich ermittelt, wobei die größten Mengen in Niederösterreich (136 t), Oberösterreich (62 t) und dem Burgenland (59 t) (siehe Abbildung 27). Diese Mengen entsprechen 30% der anfallenden Massen, da eine Umstellung auf eine nachhaltigere, fleischarmere Ernährung die Reduktion der Futtermittel angenommen wird (Thaler et al. 2015).

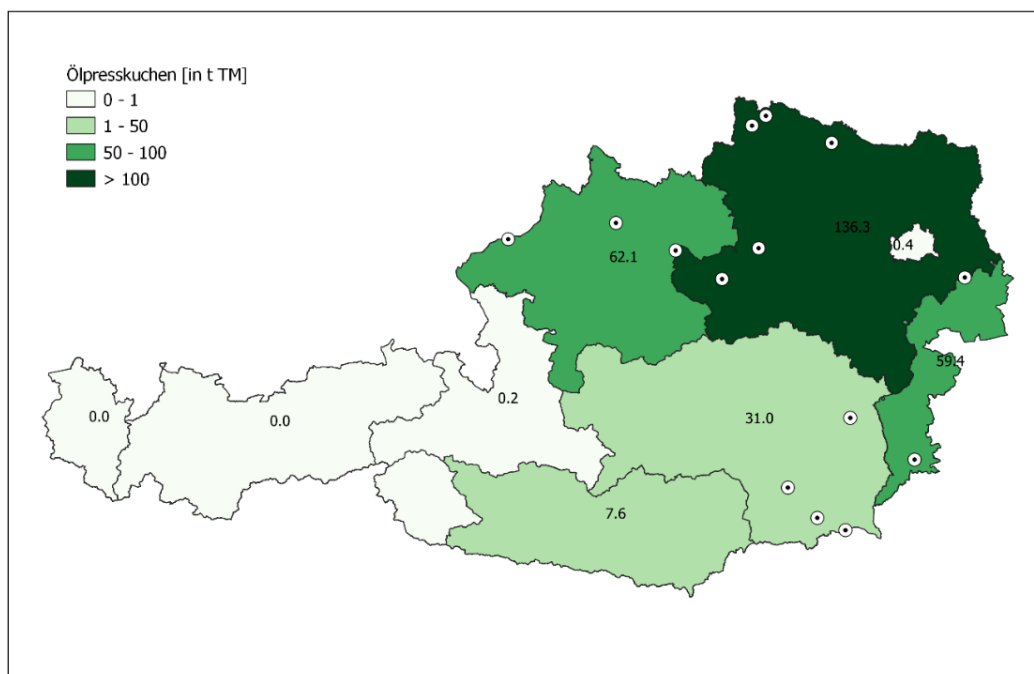


Abbildung 27: Relevantes Potenzial Ölpresskuchen (in t TM) nach Bundesländern mit Ölmöhlen (Auswahl) (eigene Darstellung)

Bioraffineriekonzepte und Nutzungspfade Ölpresskuchen

Proteine als Nebenprodukte aus der Lebensmittelproduktion bieten grundsätzlich eine große Vielfalt an Anwendungen (Kleber, Beschichtungen, Kunststoffe, Tenside). Allerdings sind die in Presskuchen enthaltenen Proteine durch den Prozess der Ölgewinnung oft in ihrer Struktur verändert, wodurch die ursprüngliche Funktionalität verloren geht. Alternativ dazu können Hydrolysate (ganz oder zum Teil in Aminosäuren zerlegte Proteine) als Emulgatoren oder in Beschichtungen eingesetzt werden (Mulder et al. 2016).

Tabelle 12: ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Ölpresskuchen (eigene Darstellung)

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Rückführung / Nebenprodukte	TRL	Quelle
1	Carbonsäuren	Spaltung der Proteine, Abtrennung von Phenylalanin mittels Chromatografie, enzymatische Umwandlung von Phylalanin zu Zimtsäure	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	3-4	Li et al., 2018
2	weitere chemische Grundstoffe	Spaltung der Proteine, Abtrennung von Aspartat mittels Chromatografie, enzymatische Decarboxylierung von Aspartat zu β -Alanin	-	3-4	Li et al., 2018

Ausgewählte Nutzungspfade von Presskuchen zu Produkten auf Ebene der Grundstoffe sind in Tabelle 12 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe.

Aus den im Presssaft enthaltenen Proteinen Zimtsäure oder β -Alanin durch Spaltung der Proteine, chromatische Abtrennung und enzymatische Umwandlung hergestellt werden. Durch die Weiterverarbeitung von Zimtsäure oder β -Alanin ist die Substitution von Kunststoffen in Primärform

(Polystyrol, Acrylate) auf der Ebene von Vorprodukten möglich (Li et al. 2018). Auf Fertigproduktebene sind damit Baubedarf und Haushaltswaren aus Kunststoff substituierbar.

Da keine Konversionsfaktoren für die Nutzungspfade ermittelt werden konnten, wurde kein Substitutionspotenzial errechnet.

5.2.7 Trester

Trester entstehen beim Pressen von Obst (Äpfel, Orange, Trauben, o.ä.), das zu Säften verarbeitet wird. Großtechnisch wird aus Trestern (von Äpfeln und Orangen) Pektin gewonnen, das vor allem in der Lebensmittelindustrie eingesetzt wird (Gama, Van Dyk, and Pletschke 2015). Manche Biomassen, die zu Säften verarbeitet werden, weisen außerdem hohe Gehalte an Phenolen auf, die einen Einsatz als Antioxidantien ermöglichen. Aus Traubentrester kann außerdem Traubenkernöl gewonnen werden (Martinez et al. 2016).

Relevantes Potenzial Trester

In Österreich fiel im erhobenen Zeitraum Trester in einer Menge von 69 kt TM pro Jahr an. Abbildung 28 zeigt die Aufteilung auf die Bundesländer, wobei für Salzburg mit 37 kt und für Niederösterreich mit 10 kt die größten Mengen erhoben wurden.

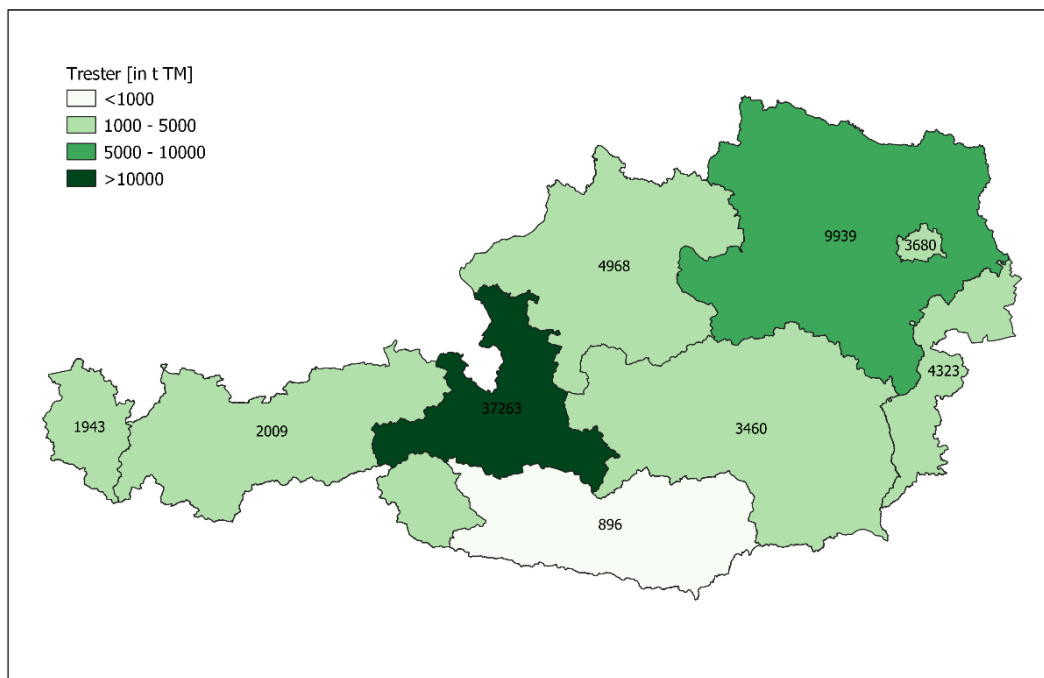


Abbildung 28: Aufkommen von Trester (in t TM) nach Bundesländern (eigene Darstellung)

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte aus Trester

Ausgewählte Nutzungspfade von Trester zu Produkten sind in Tabelle 13 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe und Nebenprodukte (z.B. Polyphenole).

Tabelle 13: ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Trester (aus den grün hinterlegten Nutzungspfaden 1, 2 und 3 wurde ein Substitutionspotenzial berechnet) (eigene Darstellung)

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Rückführung / Nebenprodukte	TRL	Quellen
1	Carbonsäuren	Apfeltrester: enzymatische Hydrolyse und Fermentation mit <i>Actinobacillus succinogenes</i> zu Bernsteinsäure	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	3-4	González-García et al., 2018
2	Carbonsäuren	Enzymatische Hydrolyse, Milchsäure-Fermentation mit <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	3-4	Gullón et al., 2018
3	Methan, Wasserstoff, Öl	Pyrolyse zu CH ₄ , H ₂ und Pyrolyse-Öl	Biokohle	4-6	Zabaniotou et al., 2018
4	weitere Alkohole	Apfeltrester: Vorbehandlung, enzymatische Hydrolyse, Fermentation mit <i>Clostridium beijerinckii</i> zu Butanol	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	4-5	Gama et al., 2015
5	Methan, Carbonsäuren	Traubentrester: Abtrennung der Polyphenole (mit superkritischem CO ₂), anaerobe Fermentation zu CH ₄ und VFAs	Digestat	3-5	Martinez et al., 2016

Nach der Abtrennung von Polyphenolen aus Apfeltrester erfolgt eine Verzuckerung der Biomasse (Cellulose, Hemicellulose, Pektin). Anschließend folgen fermentative Prozesse, wobei für die Herstellung von Bernsteinsäure auch CO₂ gebunden wird (González-García et al. 2018). Für den hydrolysierten Trester ist eine Weiterverarbeitung der Galacturonsäure zu Schleimsäure, wie bei den Zuckerreststoffen beschrieben, möglich. Auch thermische Nutzungswege für Trester werden beschrieben (z.B. Pyrolyse von Traubentrester) (Zabaniotou et al. 2018).

Auf Vorproduktebene sind Kunstharze (z.B. Alkydharze) und Kunststoff in Primärform (z.B. Polyamide) sowie organische Tenside aus der Verarbeitung von Bernsteinsäure potenzielle Anwendungsmöglichkeiten.

Schmiermittel, Maschinenöle aus Inhaltsstoffen der Pyrolyseöle und Industrieprodukte aus Kunststoff, sowie Haushaltswaren aus Kunststoff sind auf Fertigproduktebene für eine mögliche Substitution zu nennen.

Substitutionspotenzial Trester

Nutzungspfad 1: PBS (über Bernsteinsäure)

Bei einer enzymatischen Hydrolyse und Fermentation von Apfeltrester mit *Actinobacillus succinogenes* (TRL 3-4) ergeben sich 34 kt TM Bernsteinsäure (González-García et al. 2018). Damit ergibt sich ein Substitutionspotenzial für Bernsteinsäure von 21% der in der Kategorie „Carbonsäuren“ zusammengefassten Grundstoffe. Wenn die Bernsäure durch Veresterung und Polykondensation zu PBS weiterverarbeitet wird könnten alternativ auch 25 kt PBS 100 ersetzt werden, was etwa 2,5% des Materialeinsatzes Kunststoffe in Primärform entspricht (IfBB Hochschule Hannover 2018; Steffl et al. 2018). Im Vergleich mit dem Anbau von Zuckerrübe für die Herstellung der 25 kt PBS 100 aus primärer Biomasse ergibt sich somit ein Flächen-Substitutionspotenzial von 4.700 ha. Eine grafische Darstellung dieses Nutzungspfads ist in Abbildung 29 zu finden.



Abbildung 29: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Hydrolyse und Bernsteinsäure-Fermentation von Trester, eigene Darstellung, berechnet nach (González-García et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018; Steffl et al. 2018)

Nutzungspfad 2: PLA (über Milchsäure)

Bei einer Hydrolyse und anschließenden Fermentation mit *Lactobacillus rhamnosus* könnten 28 kt Milchsäure gewonnen und zu 23 kt PLA polymerisiert werden. Das entspricht 18% des Materialeinsatzes von Carbonsäuren bzw. 2% der Kunststoffe in Primärform. Zur Herstellung der gleichen Menge an PLA aus primärer Biomasse (Zuckerrübe) wären 4.100 ha Fläche nötig (IfBB Hochschule Hannover 2018; Gullón et al. 2008; Steffl et al. 2018).

Nutzungspfad 3: Pyrolyse-Öl, Wasserstoff und Methan

Als alternatives Verfahren wurde die Extraktion von Hydrokolloiden und die Pyrolyse der Reste zu Wasserstoff, Methan und Bioöl berechnet. Dabei ergäbe sich mit knapp 45 kt TM eine Menge, die 3 % des stofflich eingesetzten Erdöls entspricht sowie 1 kt Wasserstoff (Zabaniotou 2018; Steffl et al. 2018). Für eine Gewinnung der gleichen Menge Pyrolyse-Öl aus primärer Biomasse (Miscanthus) wären 37.300 ha Fläche nötig (Jungbluth et al. 2007). Zur herkömmlichen, elektrolytischen Herstellung des Wasserstoffs wären 51 GWh nötig, was dem Bedarf von 11.000 Haushalten entspräche (Lettenmeier 2019; Milanzi et al. 2018; Statistik Austria 2019).

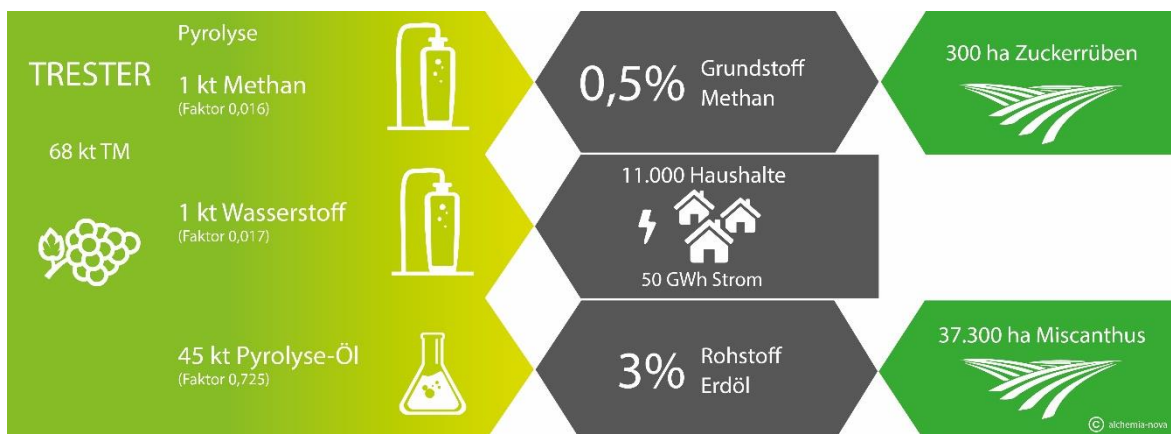


Abbildung 30: theoretisches Substitutionspotenzial durch Pyrolyse von Trester (zusätzlich können Hydrokolloide als Produkt gewonnen werden), eigene Darstellung, berechnet nach (Zabaniotou 2018; Jungbluth et al. 2007; Steffl et al. 2018; FNR 2020; Lettenmeier 2019; Milanzi et al. 2018; Statistik Austria 2019)

Nährstoffrückführung durch Trester

Mit einer Rückführung von Gärresten bzw. Pyrolyse-Kohle wäre der im Trester enthaltene Stickstoff und Phosphor wieder in die Landwirtschaft rückzuführen. Die Menge an Stickstoff im jährlich anfallenden Trester liegt in einer Größenordnung von 1,5 kt TM, der enthaltene Phosphor bei 300 t TM (González-García et al. 2018).

Projekte

Im Projekt WASTE2FUELS³¹ (2016-2018) wurde die Gewinnung von Butanol aus agrarischen Reststoffen (unter anderem Trester) erforscht.

5.2.8 Braureststoffe

Biertreber („Brewers spent grain“) macht nahezu 80% der anfallenden Reststoffe in der Bierproduktion aus und ist mit Abstand der größte Nebenstoffstrom der Bierindustrie. Neben Biertreber fällt außerdem, in nach Mengen geordneter Reihenfolge, Hefe, Geläger, Trub, Kieselgur und Malzstaub als Nebenprodukt in der Bierindustrie an (Bärnthaler et al. 2008). Zur Vereinfachung wurde für die Berechnung der Konversionswege und des Substitutionspotenzials in diesem Bericht davon ausgegangen, dass alle Reststoffe in der Bierproduktion der stofflichen Zusammensetzung von Treber entsprechen.

Relevantes Potenzial Braureststoffe

Im berechneten Zeitraum fielen in Österreich 46 kt TM Braureststoffe an. In Abbildung 31 ist das Aufkommen von Braureststoffen nach Bundesländern aufgeschlüsselt. Mit 25 kt TM weist Salzburg mit Abstand die größte Menge an Braureststoffen in Österreich auf. An zweiter Stelle befindet sich Niederösterreich mit knapp 7 kt TM.

³¹ WASTE2FUELS Projekt: <http://www.waste2fuels.eu/>, 19.01.2020

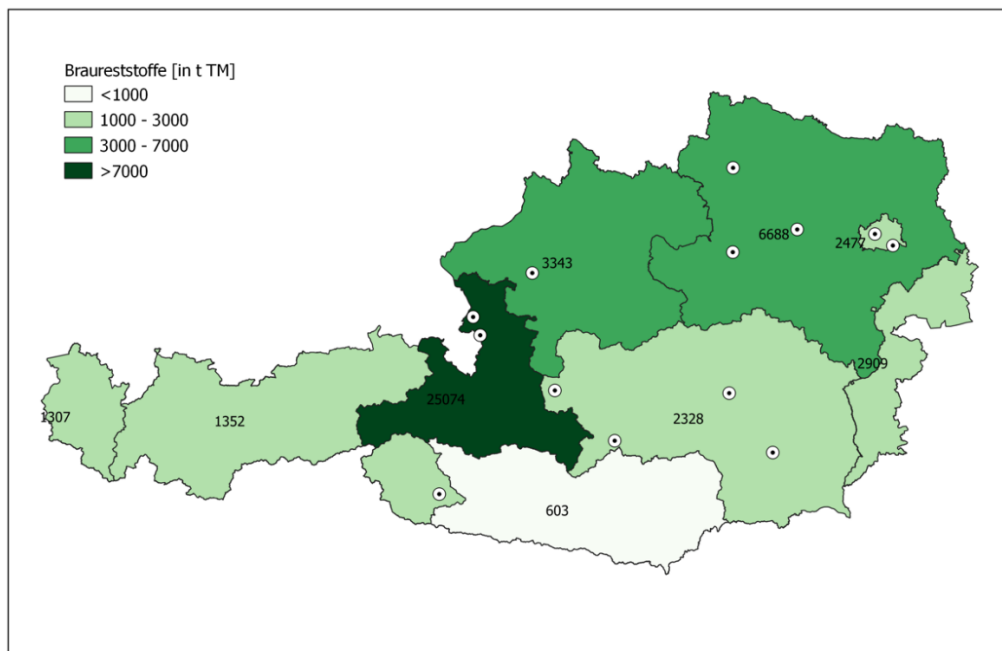


Abbildung 31: Aufkommen von Braureststoffen (in t TM) nach Bundesländern mit Standorten von Brauereien (Auswahl) (eigene Darstellung)

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte aus Braureststoffen

Auf Grund der nährstoff- und faserreichen Zusammensetzung eignet sich Biertreber als Futtermittel. Da Biertreber jedoch schwer verdaulich ist, sind andere Nutzungswege, wie die Nutzung als Fermentationsrohstoff für z.B. Biogasproduktion oder Kompostierung geeignet (Bärnthaler et al. 2008). Weiters gibt es zahlreiche Arbeiten zur alternativen Verwertung von Biertreber. Von Dávila et al. (2016) wird die integrierte Auftrennung und Weiterverarbeitung zu Ethanol (nach Verzuckerung), Polyhydroxybuttersäure (PHB) und Xylitol beschrieben und techno-ökonomisch analysiert (Dávila, Rosenberg, and Cardona 2016). Ein weiteres Beispiel ist die Verzuckerung und Milchsäurefermentation (Djukić-Vuković et al. 2016). Ausgewählte Nutzungspfade von Braureststoffen (Brewer's Spent Grain) zu Produkten auf Ebene der Grundstoffe sind in Tabelle 14 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe.

Tabelle 14: potenzielle Nutzungspfade für Braureststoffe (Brewer's Spent Grain)

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Rückführung / Nebenprodukte	TRL	Quelle
1	Ethanol	Vorbehandlung mit Säure, Abtrennen von Lignin, enzymatische Hydrolyse, Fermentation mit <i>Zymomonas mobilis</i> zu Ethanol	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle), PHB, Xylitol	3-4	Dávila et al., 2016
2	Carbonsäuren	Fermentation zu Milchsäure mit <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	3-4	Djukic-Vukovic et al., 2016

Auf Grundstoffebene können Alkohole (Ethanol und Xylitol) oder Carbonsäuren (Milchsäure) durch die Nutzung von Biertreber substituiert werden. Auf Vorproduktebene kann Kunststoff in Primärform (PHB) ersetzt werden. Verpackung aus Kunststoff und Haushaltswaren aus Kunststoff sind als mögliche Anwendungen für die Substitution fossiler Stoffe auf Fertigproduktebene zu nennen.

Substitutionspotenzial Braureststoffe

Unter der Annahme einer chemischen Zusammensetzung ähnlich zu Biertreber für die Gesamtheit der Braureststoffe, können, durch die Verwertung der Braureststoffe, die folgenden Mengen potenziell ersetzt werden.

Nutzungspfad 1: Ethanol und PHB

Nach chemischer Vorbehandlung und anschließender Fermentation zu Ethanol (TRL 3-4) könnten 1,3 kt TM Ethanol und 400 t PHB produziert werden (Dávila, Rosenberg, and Cardona 2016). Dies entspricht einem Substitutionspotenzial von 12 % des österreichischen Materialeinsatzes für Ethanol, sowie 0,04% des Materialeinsatzes für Kunststoffe in Primärform bei PHB (Steffl et al. 2018). Bei einer Gewinnung der gleichen Mengen aus primärer Biomasse (Zuckerrüben), wäre eine Fläche von 500 ha nötig (IfBB Hochschule Hannover 2018).

Nutzungspfad 2: Milchsäure

Alternativ dazu könnte die Menge an Braureststoffen auch für die Produktion von 14 kt TM Milchsäure durch Milchsäurefermentation (TRL 3-4) genutzt werden. Das entspricht 9% des Materialeinsatzes für Carbonsäuren auf Grundstoffebene (Djukić-Vuković et al. 2016; Steffl et al. 2018) bzw. 2.000 ha Zuckerrüben bei einer Gewinnung aus primärer Biomasse (IfBB Hochschule Hannover 2018). Zusätzlich können die Fermentationsreststoffe nach Gewinnung der Milchsäure für die Biogasproduktion genutzt werden. Die Darstellung der Mengen an aus den Brauabfällen ableitbaren PLA ist in Abbildung 32 zu finden.



Abbildung 32: theoretisches Substitutionspotenzial durch Milchsäure aus Brauabfällen, eigene Darstellung, berechnet nach (Djukić-Vuković et al. 2016; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018)

Nährstoffrückführung Braureststoffe

Brautreber hat einen Stickstoffgehalt von 0,91% und Phosphorgehalt von 0,13% (Dávila, Rosenberg, and Cardona 2016; Zhang et al. 2015). Dadurch ergibt sich eine potenzielle Menge an Stickstoff und Phosphor von jeweils 400t und 60t, die rückgeführt werden kann. Eine Rückführung der Nährstoffe könnte durch Ausbringung des Digestats oder Asche bzw. Kohle nach Verbrennung/Pyrolyse des Digestats umgesetzt werden.

Projekte Braureststoffe

Das internationale SUSFOOD2 Projekt **Funbrew** vereint Grundlagenforschung sowie angewandte Forschung zur Entwicklung von Lösungen für die lebensmitteltechnische Nutzung von Nebenprodukten der Bierindustrie. In dem Projekt arbeiten verschiedene Universitäten und Forschungsinstitute aus Finnland, Schweden und Italien mit Partnern aus der Bierindustrie zusammen.³²

5.2.9 Molkereiabfälle

In der Verarbeitung von Milch zu Milchprodukten fallen verschiedene Reststoffe, wie zum Beispiel Abwässer aus der Reinigung von Behältern, Laborabwässer und Molke als Nebenprodukt an. Ein großes Hemmnis in der Verwertung von Molke ist das große Transportvolumen mit einem relativ geringen Anteil an verwertbarer Trockenmasse (Panesar et al. 2007).

Relevantes Potenzial Molkereiabfälle

In Österreich fiel im erhobenen Zeitraum rund 22 kt TM Molkereiabfälle pro Jahr an. Abbildung 33 zeigt das Aufkommen von Molkereiabfällen (TM in t) nach Bundesländern und Molkereibetrieben an. Mit 7 kt TM, fallen in Oberösterreich die größten Mengen an, gefolgt von Niederösterreich und der Steiermark mit respektive 4,3 und 3,5 kt TM pro Jahr.

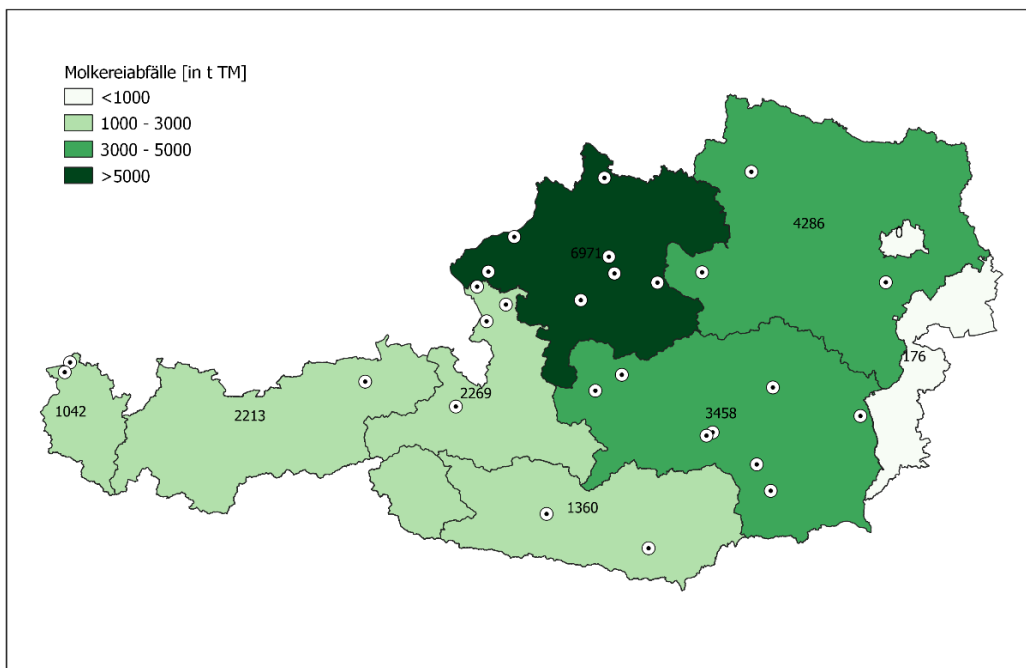


Abbildung 33: Aufkommen von Molkereiabfällen (in t TM) nach Bundesländern mit Standorten von Molkereien (eigene Darstellung)

Unter Molkereiabfälle in Österreich fallen laut dem Bericht der “Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich 2019” Milch- und Milchprodukte sowie Abfälle und Nebenprodukte aus Molkerei- und Käsereibetrieben. Diese Abfälle fallen unter “tierische Nebenprodukte der Kategorie 3”

³² Projekt Funbrew: <https://www.funbrew.eu/#project>, 16.01.2020

und werden in Österreich aktuell für die Nutzung als Futtermittel, Verwertung in Biogas- oder Kompostierungsanlagen zu organischem Dünge- oder Bodenverbesserungsmitteln verarbeitet oder der Verbrennung nach entsprechender Vorbehandlung in zugelassenen Verwertungsanlagen zugeführt. Für die Berechnungen in diesem Bericht haben wir uns auf alternative Verwertungsmöglichkeiten von Molkepermeat beschränkt.

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte Molkereiabfälle

Neben dem Verkauf von Molke als Lebensmittel (frisch, als Molkeprotein oder als Molkeproteinisolat) und der Biogasproduktion aus den Reststoffen, werden aktuell Trocknungsverfahren, Umkehrosmose und anaerobe Filtration zur Wasserrückgewinnung eingesetzt (Chandra et al. 2018).

Zu möglichen Verfahren zur erhöhten Wertschöpfung von Molkereireststoffen gehören Ethanolfermentation (z.B. mit *Kluyveromyces fragilis* oder *K. marxianus*), Milchsäurefermentation (mit *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* und *Streptococcus* Stämmen) (Panesar et al. 2007) oder die Herstellung von PHA (z.B. durch *Hydrogenophaga pseudoflava*). Die direkte Fermentation beschränkt sich auf Lactose-verwertende Mikroorganismen. Bei der Verwendung anderer Mikroorganismen ist eine Vorbehandlung zur Spaltung des Milchzuckers nötig (indirekte Fermentation) (Chandra et al. 2018). In dem von Chandra et al. (2018) vorgestellten Bioraffineriekonzept werden Galactooligosaccharide aus Molkenpermeat als Praebiotikum (mittels immobilisierter β -Galactosidase), Milchsäure, Biodünger, Ethanol, VFA und H_2 als Produkte angeführt. Fermentationsreste können weiters für die Produktion von Biogas verwendet werden.

Da Molkereireststoffe sehr viel Wasser enthalten, kann auch der Einsatz bei der Fermentation von trockenen Rohstoffen (z.B. Co-Fermentation von Molkepermeat und Weizenstärke) eine mögliche Alternative sein (Parashar et al. 2016).

Tabelle 15: Ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Molkereireststoffe (eigene Darstellung)

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Nährstoff- Rückführung	TRL	Quellen
1	Ethanol	Direkte Fermentation von Molkepermeat zu Ethanol mit <i>Kluyveromyces marxianus</i> od <i>K. fragilis</i>	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	4-6	Gabardo et al., 2015; Chandra et al., 2018
2	Wasserstoff, Carbonsäuren (Milchsäure)	Milchsäure aus Fermentation des Molkepermeats mit <i>Lactobacillus</i> , H_2 aus Fermentation des Abwassers	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	4-6	Luongo et al., 2019; Chandra et al. 2018
3	Kunststoffe in Primärform (PHAs)	Fermentation von PHAs über VFA	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	4-6	Domingos, 2018; Chandra et al. 2018

Ausgewählte Nutzungspfade von Molkereireststoffen zu Produkten auf Ebene der Grundstoffe sind in Tabelle 15 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe und

Nebenströme. Proteine aus Molkereireststoffen können theoretisch zu den gleichen Grundstoffen verarbeitet werden, die im Kapitel Ölpressekuchen beschrieben werden.

Auf Vorproduktebene könnten Kunststoffe in Primärform ersetzt werden, was auf Ebene der Fertigprodukte eine Substitution von Verpackungen aus Kunststoff und Haushaltswaren aus Kunststoff bedeuten würde.

Substitutionspotenzial Molkereiabfälle

Nutzungspfad 1: PE (über Ethanol)

Durch Fermentation des Molkepermeats zu Ethanol mit den Organismen *Kluyveromyces marxianus* oder *Kluyveromyces fragilis* (Gabardo et al. 2016) können aus der relevanten Menge von 22 kt TM Molkereiabfällen, 9 kt TM Ethanol produziert werden (siehe Abbildung 32). Damit ergibt sich für Ethanol ein Substitutionspotenzial von 84% der in der Kategorie „Alkohole“ zusammengefassten Grundstoffe. Wenn Ethanol weiterverarbeitet würde zu Polyethylen, ergäbe sich ein Substitutionspotenzial von 4 kt Polyethylen (PE), was etwa 0,4% des Materialeinsatzes für Kunststoffe in Primärform bzw. 2% des in Österreich genutzten PE entspricht (Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018). Im Vergleich mit dem Anbau von Zuckerrübe für die Herstellung der 9 kt TM Ethanol ergibt sich ein Flächen-Substitutionspotenzial von ca. 2.100 ha (IfBB Hochschule Hannover 2018).



Abbildung 34: theoretisches Substitutionspotenzial durch Ethanol- und Biogas-Fermentation von Molkereiabfällen, eigene Darstellung, berechnet nach (Gabardo et al. 2016; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018; FNR 2020)

Nutzungspfad 2: Milchsäure

Rund 8 kt Milchsäure wären aus Molkereiabfällen herstellbar, dies entspricht etwa 5% des Materialeinsatzes für Carbonsäuren (Luongo et al. 2019; Steffl et al. 2018) (siehe Abbildung 35). Das ergibt ein Flächen-Substitutionspotenzial von 1.200 ha Zuckerrüben (IfBB Hochschule Hannover 2018). Durch die Biogas-Gewinnung aus der Fermentationsschlempe können zusätzliche 5 kt Methan gewonnen werden (was einer Fläche von 1.800 ha entspricht) (FNR 2020).



Abbildung 35: theoretisches Substitutionspotenzial durch Milchsäure- und Biogas-Fermentation von Molkereiabfällen, eigene Darstellung, berechnet nach (Luongo et al. 2019; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018; FNR 2020)

Nährstoffrückführung durch Molkereiabfälle

Nach der Biogasproduktion aus den Fermentationsresten kann das Digestat zur Rückführung der Nährstoffe in den Boden genutzt werden. Der Gehalt an Stickstoff und Phosphor in Molkenpermeat beträgt in Massenprozent jeweils 0,37% und 2% (Gabardo et al. 2016; Chandra et al. 2018). Im Molkereiabwasser (TM) sind 0,08% Stickstoff und 0,68% Phosphor enthalten (der Phosphorgehalt unterliegt jedoch großen Schwankungen) (Chandra et al. 2018).

Projekte Molkereiabfälle

Das EU-Projekt **AgriChemWhey**³³ wurde 2018 ins Leben gerufen. Das vierjährige Projekt beschäftigt sich mit der Nutzung von Molkenpermeat und Laktose-freiem Molkenpermeat, den zwei größten Nebenproduktströmen der Milchindustrie. Im Rahmen dieses Projektes wird die erste industrielle Bioraffinerie gebaut, die diese Nebenprodukte zu verschiedenen Produkten wie Milchsäure, Polymilchsäure (PLA), Mineralien für die Lebensmittelproduktion, sowie biologische Düngemittel verarbeiten wird. Insgesamt wird die Bioraffinerie 25.000 t TM pro Jahr an Nebenprodukten der Milchindustrie valorisieren.

5.2.10 Tierische Reststoffe

Als tierische Reststoffe wurden für diesen Bericht Schlachtabfälle und Abfälle aus der Fleischverarbeitung, wie Fleisch- und Wurstreststoffe definiert. In Österreich werden in tierische Reststoffe in Tierkörperverwertungsanlagen zu Tiermehl und Tierfett weiterverarbeitet. Diese werden unter anderem zur Produktion von Düngemittel, Futtermittel und Biodiesel genutzt (Lampert, Reisinger, and Zethner 2014).

Relevantes Potenzial

Bei den als „Tierische Reststoffe“ zusammengefassten Mengen von ca. 164 kt TM in Österreich fallen 72% als Schlachtabfälle und 28% in der Form von Fleisch- und Wurstreststoffen an. Mit fast 52 kt ist die größte Menge Oberösterreich zuzuordnen. Niederösterreich und die Steiermark liegen hier mit knapp 39 und 32 kt TM an zweiter Stelle (siehe Abbildung 36).

³³ Projekt AgriChemWhey: <https://www.agrichemwhey.com/>, 14.01.2020

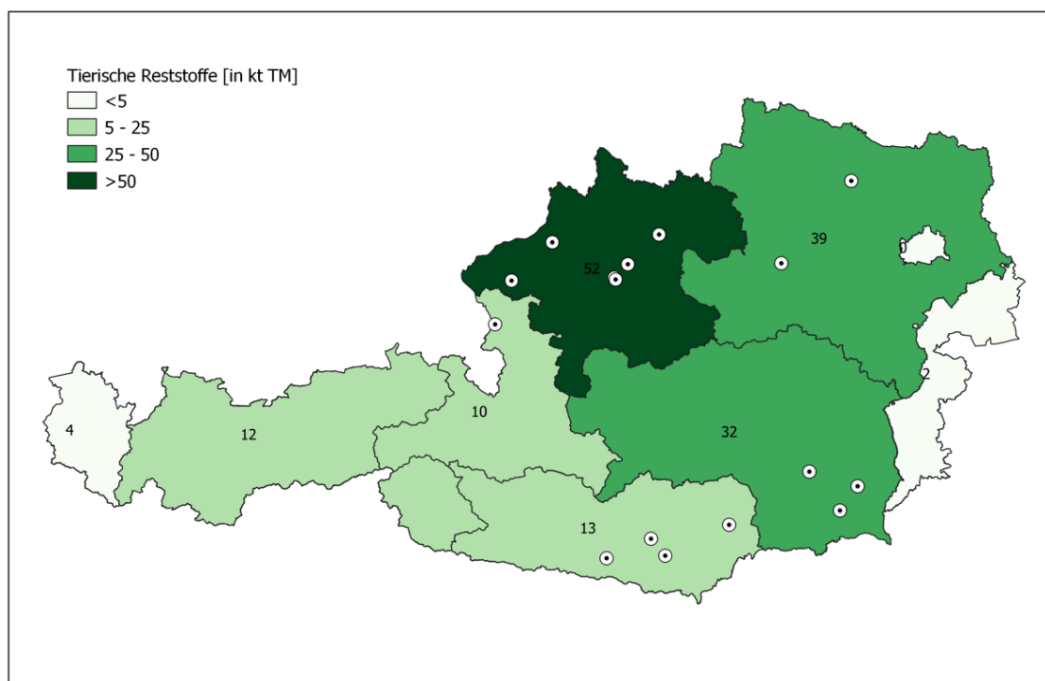


Abbildung 36: Relevantes Potenzial von tierischen Reststoffen (in kt TM) nach Bundesländern mit ausgewählten Schlachthöfen (eigene Darstellung)

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte aus tierischen Reststoffen

Diverse thermische Prozesse (Verbrennung, Pyrolyse, Gasifizierung, HTL) und Methoden für die anaerobe sowie aerobe Fermentation werden für die Verarbeitung von (festen) tierischen Abfällen beschrieben, wobei hydrothermale Konversion den Einsatz feuchter Biomasse erlaubt (Bujak 2015; Franke-Whittle et al. 2014; Hamad et al. 2014). Durch Pyrolyse kann sowohl Pyrolyseöl, Gas sowie Biokohle gewonnen werden (Chaalal and Roy 2003). Auf Grund des hohen Phosphorgehalt in tierischen Reststoffen von 3,15% (Lampert, Reisinger, and Zethner 2014) eignet sich die daraus entstehende Biokohle besonders gut zur Rückführung von Nährstoffen in die Landwirtschaft. Neben thermischen Verfahren können tierische Reststoffe auch durch Hydrolyse und anschließende anaerobe Fermentation zu Biogas verarbeitet werden (Ware and Power 2016). Das Digestat kann dann anschließend zur Nährstoffrückführung in der Landwirtschaft genutzt werden (Lampert, Reisinger, and Zethner 2014). Die Behandlung des Abwassers kann mit Membrantechnologie oder chemischen Methoden als Vorbehandlung und anschließender anaerober Fermentation zur CH₄- und/oder VFA-Gewinnung erfolgen (Okoro, Sun, and Birch 2017).

Tabelle 16: Ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für tierische Reststoffe, aus den grün hinterlegten Nutzungswegen 1 und 2 wurden Substitutionspotenziale errechnet

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Rückführung / Nebenprodukte	TRL	Quelle
1	CH ₄	Hydrolyse, anaerobe Fermentation zu CH ₄	Digestat	7-9	Ware & Power, 2015; Okoro et al., 2019
2	CH ₄ , H ₂	Pyrolysegas	Pyrolysekohle	5-7	Chaalal & Roy, 2003; Okoro et al., 2016
3	azyklische KWs, Phenolderivate, Carbonsäuren	Hydrothermale Liquefaction (HTL) zu Bioöl	Biokohle	5-7	Okoro et al., 2016

Ausgewählte Nutzungspfade von Schlachtabfälle und Fleisch- und Wurstreststoffe zu Produkten auf Ebene der Grundstoffe sind in Tabelle 16 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe.

Substitutionspotenzial

Auf Rohstoffebene können durch Hydrolyse und anaerobe Fermentation (TRL 7-9) oder Pyrolyse (TRL 5-7) Erdgas oder Erdöl ersetzt werden. Um die Energieeffizienz zu optimieren könnte je nach Wassergehalt eine geteilte Nutzung angedacht werden. Reststoffe mit höherem Wassergehalt könnten demnach durch Fermentation, solche mit geringerem Wassergehalt wiederum durch thermische Verfahren weiterverarbeitet werden.

Nutzungspfad 1: Methan

Unter der Annahme einer Biogas-Gewinnung aus der gesamten relevanten Biomasse könnten rund 69 kt Methan gewonnen werden (Ware and Power 2016). Dies entspricht etwa 34% des Materialeinsatzes für den Grundstoff Methan (Steffl et al. 2018). Um die gleiche Menge aus primärer Biomasse herzustellen wären 24.100 ha Zuckerrüben nötig (FNR 2020).



Abbildung 37: Theoretisches Substitutionspotenzial aus tierischen Reststoffen, eigene Darstellung, berechnet nach (Ware and Power 2016; Steffl et al. 2018)

Nutzungspfad 2: Pyrolyse-Öl

Ein alternativer Nutzungspfad zu Fermentation ist die Pyrolyse der tierischen Reststoffe, was die Produktion von knapp 52 kt Pyrolyse-Öl (Chaalal and Roy 2003) ermöglicht. Dies entspricht etwa 3% des Materialeinsatzes für den Rohstoff Erdöl (Steffl et al. 2018)). Für die Herstellung einer entsprechenden Menge aus primärer Biomasse würden 43.100 ha Miscanthus benötigt werden (Jungbluth et al. 2007).



Abbildung 38: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Pyrolyse von tierischen Reststoffen, eigene Darstellung, berechnet nach (Chaalal and Roy 2003; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)

Nährstoffrückführung durch tierische Reststoffe

Auf Grund der, mit der jeweiligen Fraktion, stark schwankenden Nährstoffzusammensetzung der tierischen Reststoffe, wurde keine Abschätzung des Stickstoff- und Phosphorgehalts vorgenommen. Eine Rückführung der Nährstoffe könnte über Gärreste aus der Biogas-Fermentation oder mittels Pyrolyse-Kohle erfolgen.

Projekte

Im nationalen Projekt **Nutriccoal** wird diese integrative Nutzung der verschiedenen Stoffströme in einem Schlachtbetrieb analysiert und optimiert.³⁴ Im EU-Projekt **ANIMPOL** wurde die Herstellung von PHAs (und Biodiesel) aus hydrolysierten Abfallströmen der Fleischverarbeitung mit *Cupriavidus necator* untersucht und wirtschaftlich beurteilt (Shahzad et al. 2017).³⁵

5.2.11 Reststoffe von Getreidemöhlen

Relevantes Potenzial

Im betrachteten Zeitraum fielen in Österreich 103 kt TM Reststoffe pro Jahr aus Getreidemöhlen an. Oberösterreich weist daran den größten Anteil auf mit 29% (30 kt), gefolgt von der Steiermark mit 13% (8 kt). Die Verteilung des relevanten Potenzials auf die Bundesländer ist in Abbildung 39 dargestellt.

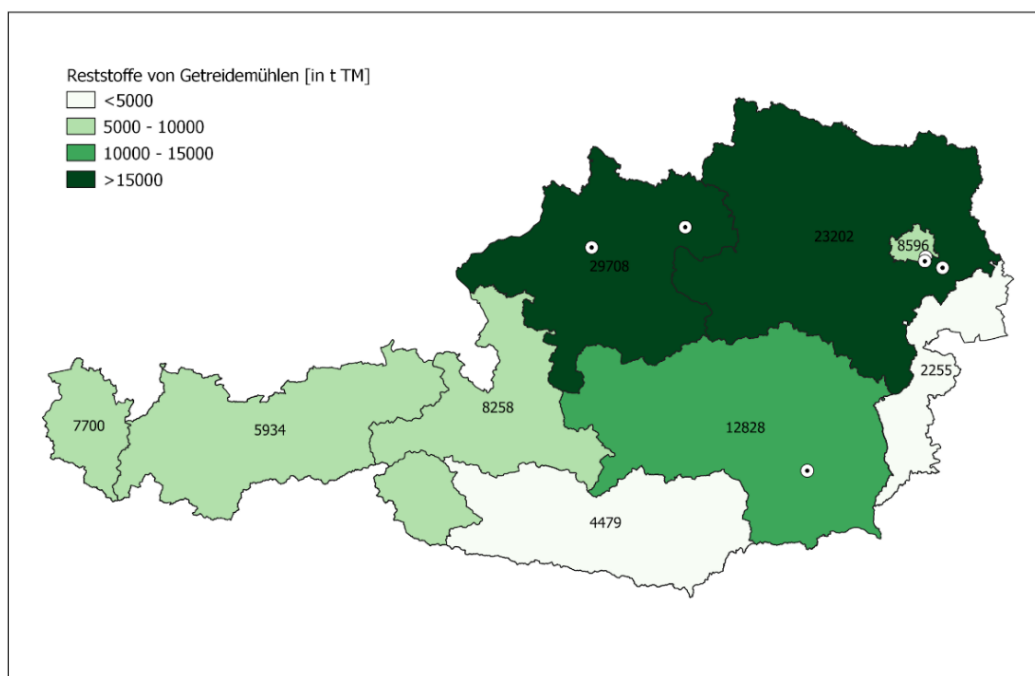


Abbildung 39: Aufkommen von Reststoffen aus Getreidemöhlen in t TM mit ausgewählten Möhlenstandorten nach Bundesländern (eigene Darstellung)

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte von Reststoffen aus Getreidemöhlen

Reststoffe von Getreidemöhlen sind durch Verzuckerung (Hydrolyse) potenzielle Rohstoffe für zahlreiche Bioraffinerie-Optionen. Als Alternative zu zweistufigen Verfahren wird die simultane enzymatische Hydrolyse und Fermentation zu Milchsäure mit verschiedenen *Lactobacillus*-Stämmen erforscht (Ohkouchi and Inoue 2006). Du et al. (Du et al. 2008) beschreiben die dreistufige Nutzung von Reststoffen aus Möhlen, bei der im ersten Schritt Enzyme mittels *Aspergillus awamori* bzw. *A. oryzae* gewonnen werden, die dann für die Verzuckerung von Reststoffen verwendet werden, wonach die Herstellung von Bernsteinsäure mit *Actinobacillus succinogenes* erfolgt. Für Bäckerei-Reststoffe (die eine ähnliche Zusammensetzung aufweisen) wurde eine ökonomische Evaluierung der Nutzung für die Herstellung von Bernsteinsäure von (Lam et al. 2014) durchgeführt, wobei eruiert wurde, dass ein Mindest-input von 260 kg Brotabfall pro Tag bereitzustellen ist. Momentan wird Bio-Ethanol in

³⁴ Projekt Nutriccoal: <https://projekte.ffg.at/projekt/2920188>, 09.09.2019

³⁵ CORDIS, Projekt ANIMPOL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/93179/reporting/en>, 09.09.2019

Europa aus der verzuckerten Stärkefraktion von Mais oder Weizen³⁶ hergestellt. Eine ähnliche Vorgangsweise könnte auch für stärkehaltige Reststoffe umgesetzt werden. Als chemische Umwandlung ist die Herstellung von 5-HMF (als Ausgangsstoff für Kunststoffe, Harze, Lösungsmittel etc.) durch katalytische Dehydrierung von Zuckern möglich (Yu et al. 2017).

Tabelle 17: Ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Reststoffe aus Getreidemöhlen, für die Nutzungspfade 1 und 2 wurden Substitutionspotenziale berechnet

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Rückführung / Nebenprodukte	TRL	Quelle
1	Carbonsäuren	Simultane Verzuckerung und Fermentation zu Milchsäure mit <i>Lactobacillus manihotivorans</i>	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	3-4	Ohkouchi & Inoue, 2006
2	Carbonsäuren	Verzuckerung zu Glucose, Fermentation der Glucose zu Bernsteinsäure mit <i>Actinobacillus succinogenes</i>	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	4-6	Windsperger et al., 2012; Du et al., 2008; Lam et al., 2014; Dorado et al., 2009
3	weitere chemische Grundstoffe	Thermochemische Umwandlung zu 5-HMF	-	4-6	Yu et al., 2017

Ausgewählte Nutzungspfade von Reststoffen aus Getreidemöhlen zu Produkten auf Ebene der Grundstoffe sind in Tabelle 17 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe. Durch den hohen Stärkegehalt von Getreidemöhlenabfällen, eignet sich der Stoffstrom gut für biologische Fermentationswege. Auch Altbrot und Bäckereiabfälle können auf diese Weise weiterverarbeitet werden. Durch Fermentation können Carbonsäuren wie Milchsäure (TRL 3-4) oder Bernsteinsäure (TRL 4-6) gewonnen werden, die als Grundstoff in der chemischen Industrie genutzt werden (Ohkouchi and Inoue 2006; Lam et al. 2014). Die Verzuckerung (Hydrolyse) der Stärke kann sowohl simultan wie auch als separater Schritt vor der Fermentation erfolgen. Die Fermentationsreste können anschließend zur Methangewinnung genutzt werden durch anaerobe Vergärung.

Auf Vorproduktebene sind Kunststoffe in Primärform (PLA, PHA) und Kunstharze (über 5-HMF) substituierbar. Für die Ebene der Fertigprodukte sind Farben und Lacke, Verpackungen aus Kunststoff und Haushaltswaren aus Kunststoff zu nennen.

Substitutionspotenzial

Nutzungspfad 1: PLA (über Milchsäure)

Durch die Nutzung der Gesamtheit der Reststoffe aus Getreidemöhlen in Österreich könnten auf Grundstoffebene etwa 9 kt TM Milchsäure bzw. 7 kt PLA erzeugt werden (Ohkouchi and Inoue 2006; IfBB Hochschule Hannover 2018). Dies entspricht einem Substitutionspotenzial von Carbonsäuren auf

³⁶ AGRANA: <https://www.agrana.com/produkte/bioethanol/>, 09.09.2019

Grundstoffebene von ca. 6% und 0,7% der Kunststoffe in Primärform auf Vorprodukteebene (Steffl et al. 2018).

Nutzungspfad 2: PBS (über Bernsteinsäure)

Durch die Nutzung der Gesamtheit der Reststoffe aus Getreidemöhlen in Österreich könnten auf Grundstoffebene etwa 9 kt TM Bernsteinsäure (Lam et al. 2014) oder 7 kt PBS 100 (IfBB Hochschule Hannover 2018) erzeugt werden. Dies entspricht einem Substitutionspotenzial von Carbonsäuren auf Grundstoffebene von ca. 6% bzw. 0,6% Kunststoffe in Primärform (Steffl et al. 2018). Die entsprechende Fläche für den Anbau primärer Biomasse wäre rund 1.300 ha Zuckerrüben (IfBB Hochschule Hannover 2018).



Abbildung 40: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Bernsteinsäure-Fermentation von Reststoffen aus Getreidemöhlen, eigene Darstellung, berechnet nach (Lam et al. 2014; IfBB Hochschule Hannover 2018; Steffl et al. 2018)

Nährstoffrückführung

Altbrot beinhaltet 2,2% Stickstoff und 0,19% Phosphor (Hegde and Trabold 2019). Dies wurde für diesen Bericht als Richtwert für den Nährstoffgehalt von Reststoffen aus Getreidemöhlen angenommen. Dies entspricht etwa 2 kt Stickstoff und 200 t Phosphor. Durch Ausbringung des Digestats aus der Vergärung der Fermentationsrückstände oder Pyrolysekohle nach pyrolytischer Verwertung könnten diese Nährstoffe wieder den Böden zugeführt werden.

5.2.12 Zuckerreststoffe

Zuckerrübenschnitzel stellen den Großteil der eruierten Massen dar (99%), den Rest machen vermeidbare Lebensmittelabfälle aus (Hietler and Pladerer 2018). Momentan werden Zuckerrübenschnitzel als Tierfutter verwendet. Eine Nutzung mit höherer Wertschöpfung wird unter anderem im EU-Projekt PULP2VALUE³⁷ untersucht, um Zuckerfabriken in Bioraffinerien umzuwandeln.

Relevantes Potenzial zuckerhaltiger Reststoffe

Die Recherchen ergaben eine Menge von 177 kt (TM) Zuckerreststoffe für Österreich, wobei in Niederösterreich mit 128 kt der größte Anteil anfällt (hier sind auch die zwei Zuckerfabriken der AGRANA angesiedelt). In Oberösterreich wurden 29 kt und für das Burgenland 15 kt ermittelt (siehe Abbildung 41).

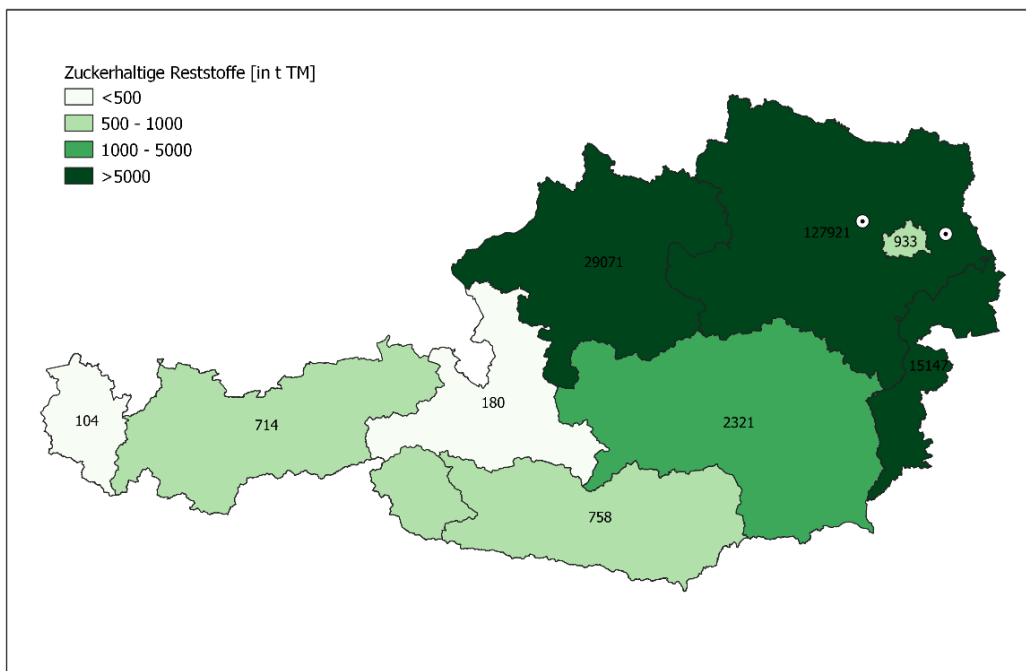


Abbildung 41: Relevantes Potenzial an Zucker-Reststoffen (in t TM) nach Bundesländern mit Zuckerfabriken (eigene Darstellung)

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte aus zuckerhaltigen Reststoffen

Nach einer Verzuckerung der enthaltenen Polysaccharide Cellulose ist eine Ethanolfermentation möglich. Dabei ist zu beachten dass keine Hefestämme verfügbar sind, die Galakturonsäure zu Ethanol umwandeln können. Außerdem kommt es bei Vorbehandlungsschritten zur Entstehung von Furfural und HMF oder Säuren, die einen hemmenden Einfluss auf die eingesetzten Mikroorganismen haben können (Kühnel, Schols, and Gruppen 2011). Galakturonsäure (das Monomer des Pektins) kann zur Schleimsäure umgewandelt werden (Purushothaman et al. 2018), die ein Ausgangsstoff für diverse Chemikalien ist.

³⁷ Projekt PULP2VALUE: <http://pulp2value.eu/>, 06.09.2019

Tabelle 18: Übersicht zu ausgewählten potenziellen Nutzungspfaden für zuckerhaltige Reststoffe (eigene Darstellung)

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Rückführung/ Nebenprodukte	TRL	Quellen
1	Carbonsäuren, andere chemische Grundstoffe	Spaltung von Pektin zu Galakturonsäure, Oxidation der Galakturonsäure zu Schleimsäure; Carboxymethylinulin	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	6-8	Zhen et al., 2013; Purushothaman et al., 2018
2	Ethanol	Enzymatische Spaltung der Polysaccharide zu Monosacchariden, Abtrennung von Polygalacturonsäure und anderen Hemmstoffen, Ethanolfermentation	Fermentationsschlempe: Biogas und Nährstoffe (Digestat od. Pyrolysegas und -kohle)	4-6	Zhen et al., 2013; Kühnel, Schols und Gruppen, 2011

Ausgewählte Nutzungspfade von Zuckerreststoffen zu Produkten sind in Tabelle 18 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe.

Auf Vorproduktebene sind Kunststoffe in Primärform (z.B. Polyamide über Schleimsäure (Wróblewska, Bernaerts, and De Wildeman 2017)), organische Tenside (Carboxymethylinulin) und Kunstharze (PU über Adipinsäure) substituierbar. Eine Substitution auf Ebene der Fertigprodukte ist in den Kategorien Verpackungen aus Kunststoff, Haushaltswaren aus Kunststoff und Seifen und Kosmetika möglich.

Substitutionspotenzial zuckerhaltiger Reststoffe

Nutzungspfad 1: Schleimsäure

Als alternatives Verfahren wurde Verzuckerung und chemische Umwandlung zu Schleimsäure berechnet. Dabei ergäbe sich mit 20 kt eine Menge die 13 % der in der Kategorie „Carbonsäuren“ zusammengefassten Grundstoffe entspricht (Zheng et al. 2013; Olmos and Hansen 1960; Purushothaman et al. 2018; Steffl et al. 2018).

Nutzungspfad 2: PE (über Ethanol)

Durch die Fermentation von zuckerhaltigen Reststoffen (TRL 4-6) können 64 kt TM Ethanol produziert werden (Zheng et al. 2013). Damit ergibt sich ein Substitutionspotenzial für Ethanol von 580% des Grundstoffs Ethanol (Steffl et al. 2018). Wenn jener Ethanol zu Polyethylen weiterverarbeitet wird, können 31 kt TM Polyethylen hergestellt werden, dies entspricht allerdings nur 3% des Materialeinsatzes von Kunststoffen in Primärform (IfBB Hochschule Hannover 2018). Im Vergleich mit dem Anbau von Zuckerrübe für die Herstellung der 64 kt TM Ethanol aus primärer Biomasse ergibt sich ein Substitutionspotenzial von ca. 14.400 ha.



Abbildung 42: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Ethanol-Fermentation und PE-Herstellung aus Zucker-Reststoffen, eigene Darstellung, berechnet nach (Zheng et al. 2013; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018)

Nährstoffrückführung durch zuckerhaltige Reststoffe

Bei einem Gehalt von 1,25% Stickstoff und 0,107% Phosphor, liegen bei einer vereinfachten Annahme, dass 100% der Zuckerreststoffe als Zuckerrübenschnitzel vorliegen, rund 2 kt Stickstoff und 200 kg Phosphor vor. Eine Rückführung könnte über Gärreste nach einer Biogas-Fermentation erfolgen.

Projekte Zuckerreststoffe

Im Projekt **ValorPlast** wurde die Gewinnung von PHAs aus Nebenprodukten der Zuckerindustrie untersucht.³⁸

Beim H2020-Projekt **PULP2VALUE**³⁹ wird die Umwandlung von Zuckerfabriken in Bioraffinerien mit neuen hochwertigen Produkten erforscht.

5.2.13 Biomüll

Ein Großteil des gesammelten Biomülls oder des organischen Anteiles des Restmülls fällt vor allem in privaten Haushalten an. Vereinfachend wurden in diese Biomassekategorie auch die Abfälle aus der Lebensmittelindustrie aufgenommen (Reststoffe aus der Herstellung von Konserven und Tiefkühlprodukten sowie Reststoffe aus der Verarbeitung von Gemüse und Obst), wobei zu beachten ist, dass diese „frischen“ Biomassen im Einzelfall auch die Extraktion von hochwertigen sekundären Inhaltsstoffen ermöglichen, die im Abfall (als Biomüll gesammelt oder als organischer Anteil des Restmülls) nicht mehr in einer verwertbaren Form vorliegen.

Biogene Anteile in Deponien haben weltweit einen großen Anteil an der Freisetzung von Treibhausgasen in die Atmosphäre. Daher gibt es zahlreiche Projekte und Forschungsvorhaben, die sich mit der Nutzung dieser Fraktion auseinandersetzen, allerdings gibt es noch keine Bioraffinerie zur Nutzung der OFMSW (Organic Fraction of Municipal Solid Waste) in industriellem Maßstab (Zhang et al. 2015; Vea, Romeo, and Thomsen 2018; Mohan et al. 2016).

Relevantes Potenzial Biomüll

In Österreich fiel im erhobenen Zeitraum Biomüll in einer Menge von 605 kt TM pro Jahr an. Abbildung 43 zeigt die Aufteilung auf die Bundesländer, wobei für Niederösterreich mit 207 kt, für Wien mit 157 kt und für Oberösterreich mit 106 kt die größten Mengen erhoben wurden.

³⁸ BMVIT: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/projekte/valorplast.php>, 21.01.2020

³⁹ Projekt PULP2VALUE: <http://pulp2value.eu/>, 06.09.2019

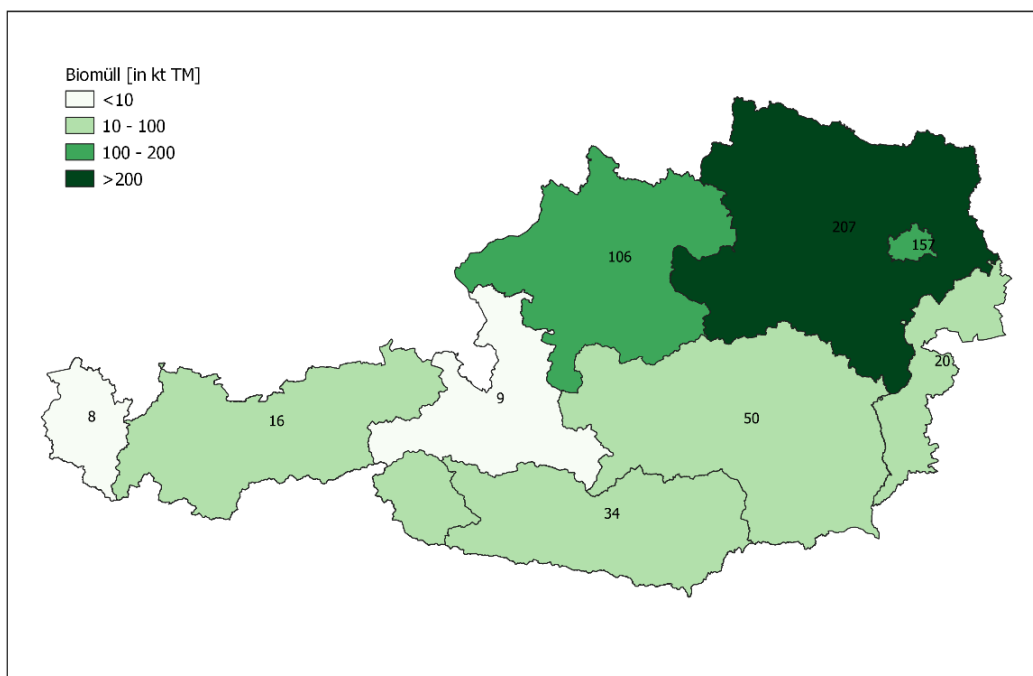


Abbildung 43: Aufkommen von Biomüll (in kt TM) nach Bundesländern (eigene Darstellung)

In Abbildung 44 sind die (auf Grund ihrer ähnlichen Zusammensetzung) in der Kategorie Biomüll zusammengefassten Ströme nach ihren Anteilen dargestellt. Den größten Teil machen der biogene Anteil des Hausmülls (332 kt TM) sowie Reststoffe aus dem Gemüseanbau (180 kt TM) aus, während Reststoffe aus der Feinkostproduktion, Reststoffe aus der Gemüse- und Obstveredelung und Reststoffe aus der Tiefkühl-Lebensmittelproduktion zwischen 25 und 38 kt darstellen.

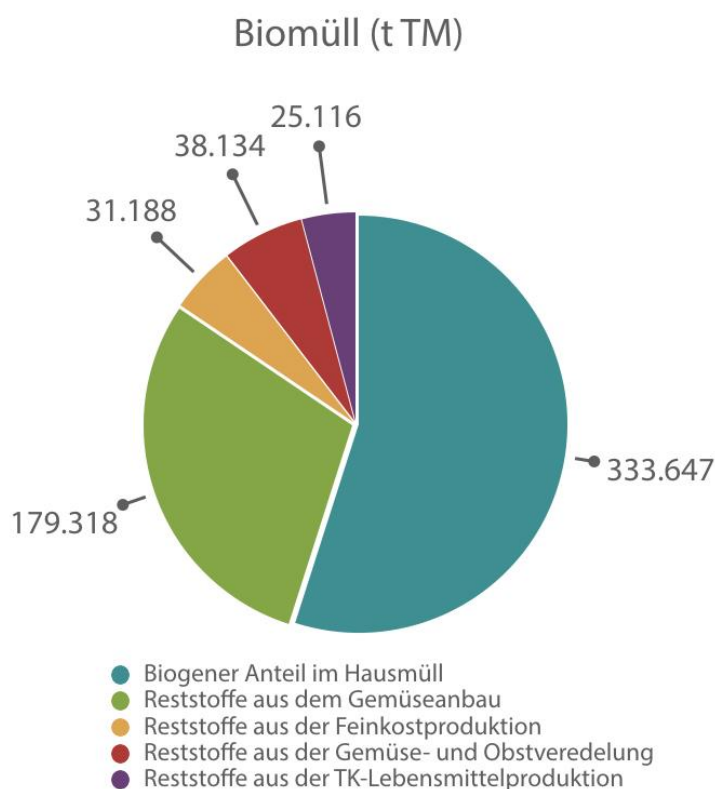


Abbildung 44: Relevantes Potenzial Biomüll nach einbezogenen Stoffströmen in t Trockenmasse pro Jahr (eigene Darstellung)

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte aus Biomüll

Ein zentraler Bestandteil der verschiedenen Konzepte ist die Fermentation der Biomasse. Durch den Einsatz verschiedener Mikroorganismen und Umgebungsbedingungen können so unter anderem Wasserstoff und Methan oder VFA (Volatile Fatty Acids; Flüchtige Fettsäuren) wie Essigsäure oder Propionsäure erzeugt werden.

Die Herstellung von Lipiden oder PHA ist eine weitere Alternative (Mohan et al. 2016). Die in dem Ausgangsmaterial enthaltenen Nährstoffe (u.a. Stickstoff und Phosphor) können in Form von Fermentationsschlempe, Digestat oder Pyrolysekohle theoretisch in die Landwirtschaft rückgeführt werden (Frison et al, 2019, Teigiserova 2019). In einer vergleichenden Studie von Veat et. al (2018) verschiedener Bioraffineriekonzepte zur Nutzung von organischen Abfällen wurden die Konversionseffizienz (Valorisation Efficiency in g Produkt/kg Trockenmasse organischer Abfall) und potenzielle Einnahmen (Potential Revenue in € Umsatz/t Trockenmasse organ. Abfall) verglichen. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass die Herstellung von Enzymen die höchsten Umsätze generiert, gefolgt von Bio-Pestiziden (*Bacillus thuringiensis*) und Biokunststoffen (PHA, PLA). Außerdem wurde die Herstellung von Probiotika für die Tierernährung, von Graphitic Carbon und von FAME (Fettsäuremethylester) als Weichmacher untersucht.

Das Upscaling der Fermentationsprodukte in den vorgeschlagenen Nutzungspfaden stellt sich auf Grund der komplexen Zusammensetzung des Rohstoffs als sehr aufwändig dar und bedarf weiterer technischer Entwicklungen (Vea, Romeo, and Thomsen 2018).

Tabelle 19: Übersicht zu ausgewählten potenziellen Nutzungspfaden für Biomüll (aus allen wurden Substitutionspotenziale berechnet)

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Nährstoff-Rückführung	TRL	Quellen
1.1	Carbonsäuren	Milchsäure-Fermentation	-	4-6	Kim et al., 2016
1.2	Methan	Biogas-Fermentation der Fermentationsschlempe	Digestat	7-9	Kim et al., 2016
2.1	weitere Alkohole	Butanol-Fermentation	-	4-6	Huang et al., 2015; Dahiya et al. 2018
2.2	Methan	Biogas-Fermentation der Fermentationsschlempe	Digestat	7-9	Kim et al., 2016
3	Bio-Öl (HTL)	Hydrothermal Liquefaction zu Bio-Öl	Bio-Kohle	4-6	Maag et al., 2018

Ausgewählte Nutzungspfade von Biomüll zu Produkten sind in Tabelle 19 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe. Eine Substitution auf Vorprodukteebene ist in der Kategorie Kunststoffe in Primärform durch die Erzeugung von PLA (Kim et al., 2016) sowie in der Kategorie weitere Alkohole durch die Herstellung von Butanol (Huang et al., 2015) möglich. Auf Ebene der Fertigprodukte ist die Kategorie Farben und Lacke (über Butylacrylate) als Potenzial zu nennen. Außerdem ist der Einsatz von *Bacillus thuringiensis* als Pflanzenschutzmittel möglich (Vea, Romeo, and Thomsen 2018).

Substitutionspotenzial Biomüll

Nutzungspfad 1: PLA (über Milchsäure)

Durch die Fermentation von Biomüll (TRL 4-6) können rund 26 kt TM Milchsäure produziert werden (Kim et al., 2016). Damit ergibt sich ein Substitutionspotenzial für Milchsäure von 16% der in der Kategorie „Carbonsäuren“ zusammengefassten Grundstoffe (siehe Abbildung 44). Durch die Weiterverarbeitung der Milchsäure zu PLA könnten alternativ auch 20 kt TM PLA produziert werden, was etwa 2% des Materialeinsatzes Kunststoffe in Primärform entspricht (Steffl et al. 2018). Im Vergleich mit dem Anbau von Zuckerrübe für die Herstellung von 26 t TM Milchsäure aus primärer Biomasse ergibt sich ein Substitutionspotenzial von ca. 3.700 ha (IfBB Hochschule Hannover 2018). Die nachfolgende Biogas-Fermentation der Fermentationschlempen liefert rund 17 kt Methan (was einem Flächenpotenzial von 5.900 ha Zuckerrübe entspräche) (FNR 2020).



Abbildung 45: Theoretische Substitutionspotenzial bei der Gewinnung von Milchsäure und Methan aus Biomüll, eigene Darstellung, berechnet nach (Kim et al. 2016; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018; FNR 2020)

Nutzungspfad 2: PET (über Butanol)

Bei einer alternativen Fermentation (TRL 4-6) können 144 kt TM Butanol erzeugt werden (Huang et al., 2015). Damit ergibt sich ein Substitutionspotenzial für Butanol von 160% der in der Kategorie „Carbonsäuren“ zusammengefassten Grundstoffe. Durch die Weiterverarbeitung zu PET, unter Zugabe von 360 kg Ethanol pro t PET, könnten außerdem 117 kt bio-PET 100 produziert werden. Dies entspricht mit 130%, mehr als der Gesamtmenge des Materialeinsatzes für Kunststoffe in Primärform (Biopolymers Facts Statistics, 2018). Im Vergleich mit dem Anbau von Zuckerrübe für die Herstellung des für 117 kt PET benötigten PTA ergibt sich ein Substitutionspotenzial von ca. 26.500 ha.



Abbildung 46: Theoretisches Substitutionspotenzial von bio-PET 100 aus Biomüll (unter Zuführung von 360 kg Ethanol pro t PET), eigene Darstellung, berechnet nach (Huang, Singh, and Qureshi 2015; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018; FNR 2020)

Nutzungspfad 3: Bioöl aus Hydrothermal Liquefaction

Als dritte Alternative wurde die Erzeugung von Bioöl durch Hydrothermal Liquefaction von Biomüll berechnet. Dabei ergäbe sich mit 218 kt eine Menge, die 15 % des stofflich eingesetzten Erdöls entspricht (Maag et al. 2018; Steffl et al. 2018). Bei der Herstellung von Bioöl aus Miscanthus (Pyrolyse und Fischer-Tropsch-Synthese) (Jungbluth et al. 2007) wäre für die gleiche Menge Öl eine Fläche von 182.000 ha nötig.



Abbildung 47: Theoretisches Substitutionspotenzial von Bio-Öl aus der Hydrothermal Liquefaction von Biomüll, eigene Darstellung, berechnet nach (Maag et al. 2018; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)

Nährstoffrückführung durch Biomüll

Bei der Annahme eines durchschnittlichen Gehalts von 2,7% Stickstoff und 0,4% Phosphor (Ohkouchi and Inoue 2006) lässt sich ein Gesamtgehalt des jährlichen Aufkommens von 16 kt Stickstoff und 2 kt Phosphor im Biomüll abschätzen. Die Rückführung würde je nach Nutzungsweg durch Digestat aus der Biogas-Fermentation oder mittels Bio-Kohle (aus HTL-Verfahren) erfolgen.

Projekte Biomüll

Tabelle 20: Ausgewählte Projekte zur Nutzung von Biomüll (bzw. der organischen Fraktion von Restmüll)

Projekt	Förderung	Zeitraum	Inhalt
Deep Purple⁴⁰	H2020 BBI-JU	2019-2023	Wertschöpfung von Biomüll in Bioraffinerie-Prozessen (Purpurbakterien)
Volatile⁴¹	H2020	2016-2020	Anaerobe Fermentation zur Herstellung von VFAs
Dibanet⁴²	FP7	2009-2013	Entwicklung neuer Treibstoffe aus Abfällen
Kasav⁴³	Climate and Energy Fund (e!MISSION.at)	2013-2016	Entwicklung eines dreistufigen Verfahrens zur Erzeugung von flüssigen und gasförmigen Treibstoffen aus Biomüll
Urbiofin⁴⁴	H2020 BBI-JU	2017-2021	Inwertsetzung des organischen Anteils von Restmüll in Form von Treibstoffen und Biomaterialien
Embraced⁴⁵	H2020 BBI-JU	2017-2022	Bioraffinerie-Demonstrationsanlage für die Nutzung von Hygieneprodukt-Abfall
Percal⁴⁶	H2020 BBI-JU	2017-2020	Gewinnung chemischer Grundstoffe aus einer Restmüll-Bioraffinerie

⁴⁰ Projekt Deep Purple: <https://deep-purple.eu/>, 16.01.2020, 15:05h

⁴¹ Projekt Volatile: <http://www.volatile-h2020.eu/theproject.html>, 16.01.2020, 15:08h

⁴² Projekt DIBANET: <https://dibanet.geonardo.com/>, 16.01.2020

⁴³ Projekt KASAV: <http://www.codigestion.com/index.php?id=59&L=1>, 16.01.2020

⁴⁴ Projekt URBIOFIN: <https://www.urbiofin.eu/>, 16.01.2020

⁴⁵ Projekt Embraced: <https://www.embraced.eu/project>, 16.01.2020

⁴⁶ Projekt PERCAL: <https://percal-project.eu/>, 16.01.2020

5.2.14 Abwasser

Die Umwandlung von Abfall bzw. Abwasser in eine Ressource für biogene Stoffe und Materialien ist ein wichtiges Ziel in der Kreislaufwirtschaft. In den urbanen Gebieten fallen große Mengen an Reststoffen an, die hohe Konzentrationen an Nährstoffen enthalten, welche momentan nur zu einem geringen Anteil wieder in die Landwirtschaft zurückgeführt werden. Prozesse zur Nutzung der enthaltenen Biomasse und eine Gewinnung der Nährstoffe sind daher viel beforschte Themen (Qi et al., 2017).

Relevantes Potenzial

In Österreich fielen im herangezogenen Zeitraum 369 kt TM Abwasser pro Jahr an. Mit 71 kt TM (19%) in Niederösterreich und 68 kt TM (19%) in Wien wurden dabei die größten Mengen verzeichnet (siehe Abbildung 48).

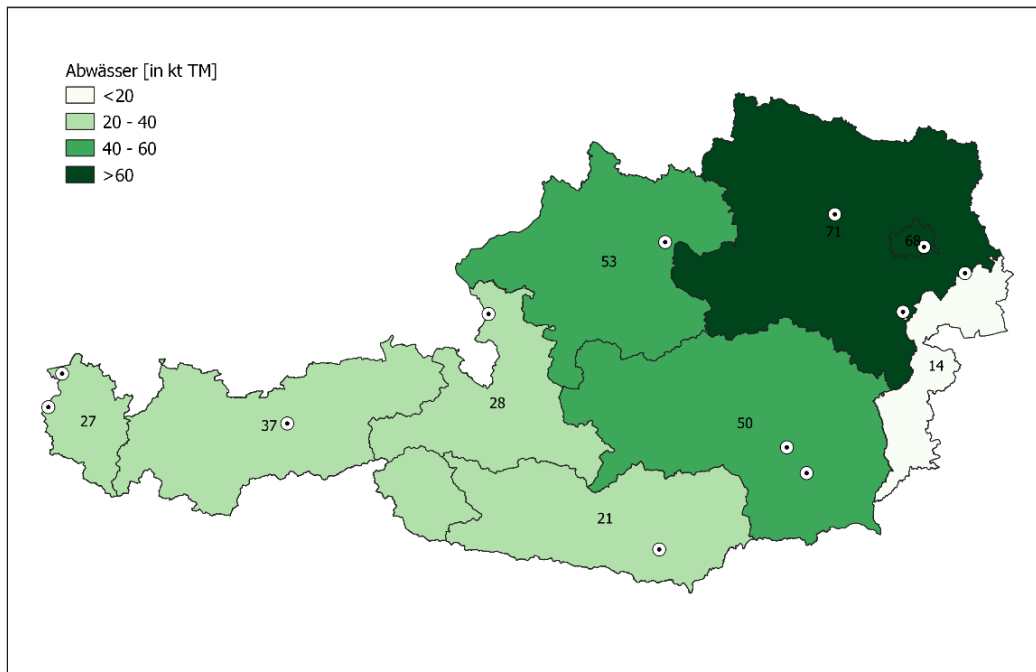


Abbildung 48: Aufkommen von kommunalen Abwässern nach Bundesländern mit den 12 größten Kläranlagen (eigene Darstellung)

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte aus Abwässern

Laut EMAF ist Abwasser eine mögliche Ressource für die Gewinnung von Cellulose, Algenmasse und Chemikalien (wie Bernsteinsäure, Ethylacetat, Methylacetat und Buttersäure) (Morlet et al., 2017). Im EU-Projekt AFTERLIFE⁴⁷ werden Prozesse für eine kosten- und ressourceneffiziente Nutzung verschiedener Abwasserfraktionen untersucht und optimiert. Dabei soll die Kombination von Membrantechnologien zur Abtrennung der Feststoffe und der anschließenden Verwertung zur PHA-Fermentation evaluiert werden.

⁴⁷ Projekt AFTERLIFE: <https://afterlife-project.eu/>, 10.09.2019

In der Kultivierung von Pflanzen, Algen und Mikroalgen in Abwasser zur Erzeugung von verwertbarer Biomasse wird ein großes Potenzial für zukünftige Nutzungsketten gesehen. Aus den Pflanzen/Algenmasse können Stoffe extrahiert werden (de Visser & van Ree, 2017; Meixner et al., 2018) oder die Masse wird durch Hydrothermal Liquefaction in Bioöl (Kohlenwasserstoffe, Phenolderivate, Fettsäuren) und Methan und Wasserstoff umgewandelt (Cuellar-Bermudez et al. 2017; Duan and Savage 2011). Bei der HTL der Süßwasseralge *Chlorella* wurden Umwandlungsraten von 83% beschrieben (Li et al., 2014). Während „High rate algal ponds“ bis zu 30 t Algenmasse pro Hektar pro Jahr liefern können, erreichen herkömmliche „open ponds“ nur 10 t pro Hektar und Jahr. Um die Ernte der Algenmasse zu erleichtern werden immobilisierte Kulturen beforscht (Cuellar-Bermudez et al., 2017).

Ausgewählte Nutzungspfade von Klärschlamm zu Produkten auf Ebene der Grundstoffe sind in Tabelle 21 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe.

Tabelle 21: Übersicht zu ausgewählten potenziellen Nutzungspfaden für Abwässer (eigene Darstellung)

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Nährstoff-Rückführung	TRL	Quellen
1.1	Methan	Kultivierung des Cyanobakteriums <i>Aulosira fertilissima</i> auf Abwasser, Anaerobe Fermentation des Klärschlamm zu Methan	Digestat	4-6	Samantaray et al., 2011, Uggetti et al., 2018; Meixner et al., 2018; Arias, Garcia & Uggetti, 2020
1.2	PHAs	Kultivierung des Cyanobakteriums <i>Aulosira fertilissima</i> auf Abwasser, simultane Produktion von Poly-β-hydroxybutyrate (PHB)	Digestat	4-6	Samantaray et al., 2011, Uggetti et al., 2018; Meixner et al., 2018; Arias, Garcia & Uggetti, 2020
2.1	Bioöl (HTL)	Bioöl- Produktion durch HTL von <i>Chlorella</i> - Algenmasse	Biokohle	4-6	Duan und Savage, 2011
2.2	Gas (Methan, Wasserstoff)	Gas- Produktion durch HTL von <i>Chlorella</i> - Algenmasse	Biokohle	4-6	Duan und Savage, 2011

Eine Substitution fossiler Ressourcen auf Vorproduktebene wäre in den Kategorien Kunststoffe in Primärform (PHAs) und Kunstharze (Phenolharze) möglich. Auf Ebene der Fertigprodukte sind Maschinenöle, Schmiermittel, Verpackungen aus Kunststoff, Haushaltswaren aus Kunststoff und Klebstoffe substituierbar.

Substitutionspotenzial

Nutzungspfad 1: PHB und Methan

Durch die Nutzung der Abwässer als Substrat für die Kultivierung von Cyanobakterien zur Produktion von PHB könnten 341 kt TM PHAs produziert werden (siehe Abbildung 49). Durch die darauffolgende anaerobe Fermentation der Algenmasse können 78 kt Methan produziert werden (Meixner et al. 2018). Dies entspricht wiederum einem Substitutionspotenzial von 34% des Materialeinsatzes von Methan als Grundstoff (Steffl et al. 2018) und einer Fläche von 27.100 ha Zuckerrüben zur Herstellung

der gleichen Menge an Methan (FNR 2020) sowie 31% der Kunststoffe in Primärform bzw. 105.900 ha Zuckerrübe (IfBB Hochschule Hannover 2018).

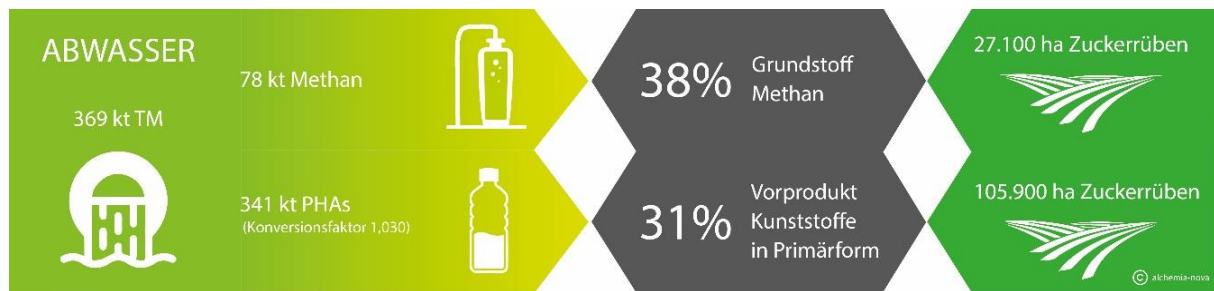


Abbildung 49: Theoretisches Substitutionspotenzial von PHAs und Methan aus Abwasser (eigene Darstellung) berechnet nach (Samantaray, Nayak, and Mallick 2011; Meixner et al. 2018; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018; FNR 2020)

Nutzungspfad 2: Bioöl, Methan und Wasserstoff aus HTL von Algenmasse

Im Falle der Nutzung der Abwässer durch Hydrothermal Liquefaction (HTL) zur Produktion von Bioöl könnten 189 kt TM Bioöl (HTL) produziert werden. Dies entspricht einem Substitutionspotenzial von ca. 13% der Menge an Erdöl als Rohstoff und 157.900 ha Fläche Miscanthus zur Erzeugung von Bioöl aus Pyrolyse und Fischer-Tropsch-Synthese (Jungbluth et al. 2007). Der parallel erzeugte Wasserstoff bräuchte bei einer elektrolytischen Herstellung 50 GWh an Strom (dies entspricht etwa dem Bedarf von 11.000 Haushalten) (Lettenmeier 2019; Milanzi et al. 2018; Statistik Austria 2019).

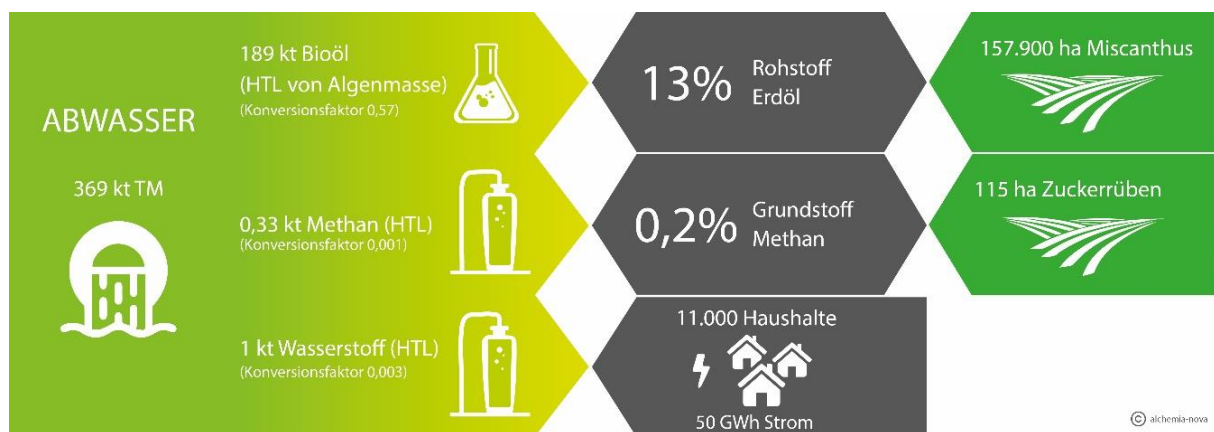


Abbildung 50: Theoretisches Substitutionspotenzial von Produkten aus der HTL von in Abwasser gezüchteter Algenmasse, eigene Darstellung, berechnet nach (Duan and Savage 2011; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007; FNR 2020; Lettenmeier 2019; Milanzi et al. 2018; Statistik Austria 2019)

Nährstoffrückführung Abwasser

Mit dem Abwasser wurden 2016 laut BMNT insgesamt 49.493 t Stickstoff und 7.734 t Phosphor in die Kläranlagen eingebracht (Koppe and Stozek 2018). Die Abwasserbehandlung bietet daher ein hohes Potenzial für die Rückführung von Nährstoffen in die Landwirtschaft bzw. die Bereitstellung von Nährstoffen für Fermentationen. Als Nebenprodukt der HTL wird Kohle erzeugt, die zur Nährstoffrückführung genutzt werden kann. Alternativ kann der aus der Biogas-Fermentation entstehende Gärrest als Dünger verwendet werden.

5.2.15 Klärschlamm

Zur Zeit wird der aus der Reinigung kommunaler Abwässer stammende Klärschlamm zum Großteil thermisch (53%), oder direkt in der Landwirtschaft genutzt (20%) (Koppe and Stozek 2018). Weitere Nutzungswege sind laut Bioabfallstrategie des Umweltbundesamtes aus 2014, Kompostierung, Landschaftsbau, Zwischenlagerung, Bauzuschlagsstoff und Kleinmengenabgaben sowie Deponierung. Laut Statistik Austria werden aus Klärschlamm in Österreich außerdem bereits 33 Mio. m³ Klärgas pro Jahr erzeugt⁴⁸.

Auf Grund eines Phosphorgehalts (P₂O₅) von 2,5-8% in der Trockenmasse, je nach Behandlungs- und P-Fällungsverfahren, stellt Klärschlamm eine wertvolle Ressource für Nährstoffe dar. Die Ausbringung von unbearbeiteten oder kompostierten Klärschlamm eignet sich zwar besser als Düngemittel in der Landwirtschaft im Vergleich zu thermisch verwertetem Klärschlamm, ist jedoch beschränkt durch maximale Aufbringungsmengen die anhand von Schwermetall-Grenzwerten sowie jährlichen N- und P- Frachten definiert werden. Die genaue Regelung unterscheidet sich je nach Bundesland, da Bodenschutz Regelmaterie der Länder ist. In Hinblick auf Schadstoffbelastung durch Mikroverunreinigungen (endokrine Substanzen, Antibiotika, ...) und Hygiene ist eine thermische Verwertung und anschließende Nutzung der Kohle oder Asche zur Nährstoffrückführung bevorzugt. Bei der Verbrennung geht allerdings die organische Substanz verloren und Phosphor ist in der Asche nur zu geringen Anteilen in pflanzenverfügbarer Form präsent. Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammaschen, sowie Verfahren zur biologischen Entfernung von Phosphor (Bio-P Verfahren) sollen gefördert werden (Lampert, Reisinger, and Zethner 2014).

Relevantes Potenzial

Insgesamt sind im berechneten Zeitraum in Österreich 238 kt TM Klärschlamm angefallen. In Wien und Niederösterreich fallen mit 44 kt TM und 46 kt TM die größten Mengen an Klärschlamm an. Wie aus Abbildung 48 (Kapitel 5.2.14 Abwasser) ersichtlich, verteilt sich das Aufkommen von Klärschlamm im gleichen Verhältnis wie das Aufkommen (relevantes Potenzial) von Abwasser. Wie bei Abwasser, fallen die größten Mengen in Wien und Niederösterreich an.

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte aus Klärschlamm

Zu den thermischen Verfahren bei denen Produkte für eine potenzielle stoffliche Nutzung erzeugt werden können, gehören Pyrolyse und Gasifizierung (Fytli and Zabaniotou 2008). Battista et al. beschreiben außerdem auch biotechnologische Verfahren für die Herstellung von VFAs und PHAs in einer Bioraffinerie (Battista et al. 2019). Auch die anaerob-fermentative Herstellung von Wasserstoff aus alkalisch vorbehandeltem Klärschlamm (mit *Klebsiella*-, *Enterobacter*- und *Clostridium*-Stämmen) ist eine Option der Nutzung (Kang, Kim, and Lee 2012). Kang, Kim & Lee beschreiben auch die anaerobe Co-Fermentation von Klärschlamm mit Biomüll zur Produktion von Fettsäuren und Biogas als mögliches Verfahren. Auf Vorproduktebene sind über Ameisensäure, Essigsäure und Buttersäure und daraus herstellbaren Derivaten, Kunststoffe in Primärform substituierbar. Auf Ebene der Fertigprodukte kommen die Kategorien Verpackungen aus Kunststoff, Haushaltswaren aus Kunststoff und

⁴⁸ Statistik Austria:

https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html, 17.01.2020

Industrieprodukte aus Kunststoff in Frage, sowie ein Ersatz von Baubedarf aus Kunststoff durch Fasern aus Klärschlämmen.

Ausgewählte Nutzungspfade von Klärschlamm zu Produkten auf Ebene der Grundstoffe sind in Tabelle 22 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe.

Tabelle 22: ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Klärschlamm (eigene Darstellung)

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Nährstoff-Rückführung	TRL	Quellen
1.1	Pyrolyseöl	Pyrolyse des Klärschlammes zu Öl, Gas (H ₂ , CH ₄ , CO ₂) und Kohle	Pyrolysekohle	4-6	Fytli und Zabaniotou, 2008, Fonts et al. 20212
1.2	Gas- Wasserstoff, Methan	Pyrolyse des Klärschlammes zu Öl, Gas (H ₂ , CH ₄ , CO ₂) und Kohle	Pyrolysekohle	4-6	Fytli und Zabaniotou, 2008, Fonts et al. 20212
2.1	Bioöl (HTL)- azyklische KWs, Carbonsäuren, Phenolderivate, zyklische KWs, Alkohole, Fettsäuren	Vorbehandlung durch Ultraschall, HTL des Klärschlammes bei 320 °C zu Bioöl, Gas und Kohle	Kohle	4-6	Kapusta, 2018; Chen et al., 2019
2.2	Gas- CO ₂ , Ethan, CO, H ₂ S	Vorbehandlung durch Ultraschall, HTL des Klärschlammes bei 320 °C zu Bioöl, Gas und Kohle	Kohle	4-6	Kapusta, 2018; Chen et al., 2019
3.1	Carbonsäuren	CH ₄ , H ₂ und VFAs aus anaerober Co-Fermentation mit Biomüll	Digestat	7-9	Battista et al., 2018
3.2	Gas- Methan, Wasserstoff	CH ₄ , H ₂ und VFAs aus anaerober Co-Fermentation mit Biomüll	Digestat	7-9	Battista et al., 2018
4	Wasserstoff	Thermische Vorbehandlung mit Säure/Alkali-Vorbehandlung, anaerobe Fermentation zu H ₂	Digestat	4-6	Kang, Kim und Lee, 2012; Kang, 2012

Substitutionspotenzial durch Klärschlamm

Nutzungspfad 1: Pyrolyse

Durch Nutzung des Klärschlammes durch Pyrolyse zur Produktion von Bioöl und Pyrolysekohle könnten 87 kt TM Pyrolyseöl produziert werden (Fonts et al. 2012) (siehe Abbildung 49). Dies entspricht einem Substitutionspotenzial von ca. 6% des Materialeinsatzes von Erdöl als Rohstoff (Steffl et al. 2018) und 72.400 ha Fläche Miscanthus zur Erzeugung von Bioöl aus der Pyrolyse zu Gas und darauffolgender Fischer-Tropsch-Synthese (Jungbluth et al. 2007).



Abbildung 51: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Pyrolyse von Klärschlamm, eigene Darstellung, berechnet nach (Fonts et al. 2012; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)

Nutzungspfad 2: HTL

Im Falle der Nutzung des Klärschlamms durch Hydrothermal Liquefaction (HTL) zur Produktion von Bioöl könnten 58 kt TM Bioöl (HTL) produziert werden (Kapusta 2018; Chen et al. 2019) (siehe Abbildung 50). Dies entspricht einem Substitutionspotenzial von ca. 4% des Materialeinsatzes von Erdöl als Rohstoff (Steffl et al. 2018) und 48.600 ha Fläche Miscanthus zur Erzeugung von Bioöl aus der Pyrolyse zu Gas und darauffolgender Fischer-Tropsch-Synthese (Jungbluth et al. 2007).



Abbildung 52: Theoretisches Substitutionspotenzial durch hydrothermal Liquefaction von Klärschlamm, eigene Darstellung, berechnet nach (Kapusta 2018; Chen et al. 2019; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)

Nährstoffrückführung

Durch Abwasserbehandlung in Kläranlagen verändert sich der Gehalt von Stickstoff und Phosphor in Klärschlamm im Vergleich zu unbehandeltem Abwasser. Durch die Rückführung der Nährstoffe in Klärschlamm in der Form von Kohle könnten theoretisch 12 kt Stickstoff und 5 kt Phosphor rückgeführt werden (Battista et al. 2019). Alternativ kann der aus der Biogas-Fermentation entstehende Gärrest als Dünger verwendet werden.

Projekte

Eine Vielzahl an EU geförderten Projekten widmet sich der Entwicklung von Technologien zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm. Einige Beispiele von H2020 Projekten sind zum Beispiel **RecoPhos**⁴⁹, **ROUTES**⁵⁰ und **END-O-SLUDGE**⁵¹. Auch **Phos4You**⁵² beschäftigt sich mit der Entwicklung von sechs verschiedenen Technologien zur Phosphorrückgewinnung zur Nutzung als Dünger. Das LIFE Projekt **Life-ANADRY**⁵³ entwickelt außerdem einen Prozess, der Klärschlamm durch anaerobe Trocken-Vergärung behandelt. Das H2020 Projekt **TO-SYN-FUEL**⁵⁴ beschäftigt sich wiederum mit der Nutzung von Klärschlamm und Biomüll zur Produktion von Bioöl und Wasserstoff als Treibstoff.

⁴⁹ Projekt RecoPhos: <http://www.recophos.org/>, 21.01.2020

⁵⁰ CORDIS: <https://cordis.europa.eu/project/id/265156>, 21.01.2020

⁵¹ CORDIS: <https://cordis.europa.eu/project/id/265269>, 21.01.2020

⁵² Interreg NWE: <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/phos4you-phosphorus-recovery-from-waste-water-for-your-life/>, 21.01.2020

⁵³ Projekt Life ANADRY: <http://www.life-anadry.eu/index.php/en/>, 21.01.2020

⁵⁴ Projekt TO-SYN-FUEL: <http://www.tosynfuel.eu/>, 21.01.2020

5.2.16 Gülle

Um die unkontrollierte Freisetzung von Treibhausgasen (v.a. Methan) aus Gülle zu verhindern, ist eine Behandlung nötig, wenn das Material nicht unmittelbar als Dünger auf Ackerflächen ausgebracht wird. Auf Grund des hohen Nährstoffgehalts von Gülle ist die Rückführung von Nährstoffen ein wichtiger Aspekt der Nutzung.

Relevantes Potenzial

Für Österreich wurde für den berechneten Zeitraum eine Menge von 2,3 Mt TM Gülle ermittelt. In Oberösterreich fällt mit 726 kt ca. ein Drittel des Aufkommens an. In Niederösterreich und der Steiermark fielen 550 kt bzw. 456 kt an Gülle an (siehe Abbildung 53).

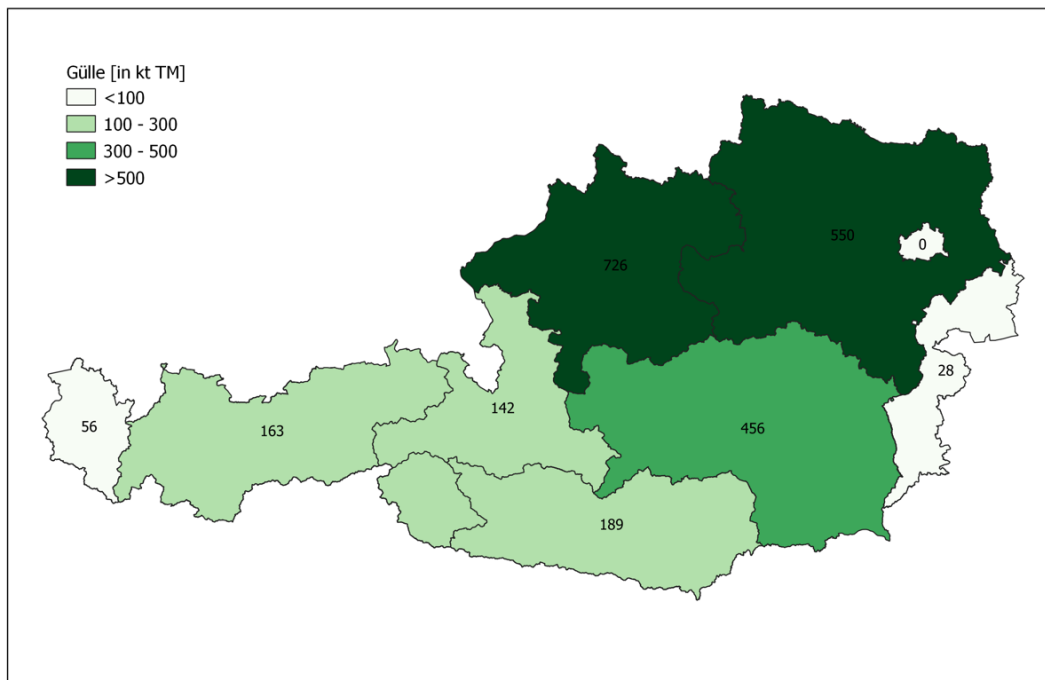


Abbildung 53: Relevantes Potenzial von Gülle (in kt TM) nach Bundesländern (eigene Darstellung)

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte aus Gülle

Einerseits können wichtige chemische Grundstoffe wie Ethanol, Methan und Wasserstoff aus anaeroben biotechnologischen Prozessen gewonnen werden, andererseits können thermochemische Prozesse wie Hydrothermal Liquefaction (HTL), Pyrolyse, Vergasung und Torrefizierung eingesetzt werden, um Biogas und Bioöl zu gewinnen. Für die Biogas Gewinnung ist eine Co-Fermentation mit Lebensmittelabfällen oder Lignocellulose-Masse für eine Steigerung der Ausbeute an Methan zu empfehlen (Awasthi et al. 2019). Da die „Trocken-Fermentation“ (dry digestion) weniger Reaktorvolumen und keinen Zusatz von Wasser benötigt, wird diese Technologie vermehrt beforscht (Patinvoh et al. 2017; Y. Li et al. 2018).

Ausgewählte Nutzungspfade von Gülle zu Produkten auf Ebene der Grundstoffe sind in Tabelle 23 angeführt. Die Tabelle enthält außerdem Ströme zur Rückführung der Nährstoffe.

Tabelle 23: Ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Gülle (eigene Darstellung)

Weg	Grundstoff-Kategorie	Weg zum Grundstoff	Nährstoff-Rückführung	TRL	Quellen
1	Methan	Co-Fermentation mit grüner Biomasse zu Methan	Digestat	7-9	Awasthi et al., 2019; Li et al., 2018; Patinvoh et al., 2017, Wilkie & Mulbry, 2002, Meixner et al. 2018
2	Bioöl (Pyrolyse)	Pyrolyse von Gülle zu Bioöl und Kohle	Pyrolysekohle	5-7	Jankovic, 2015; Awasthi et al., 2019
3	Bioöl (HTL)	Hydrothermal liquefaction (HTL) zu Bioöl	Biokohle	4-6	Awasthi et al., 2019; Yin et al., 2010, Bozell, 2010
4	Wasserstoff	Trocknung, Gasifizierung zu Syngas	Biokohle	4-7	Awasthi et al., 2019; Pereira et al., 2012

Auf Vorproduktebene sind über die im Bioöl enthaltenen Stoffe, Kunststoffe in Primärform und Kunstharze auf fossiler Basis substituierbar. Die Kategorien Maschinenöle, Verpackungen aus Kunststoff, Haushaltswaren aus Kunststoff und Farben und Lacke sind auf Ebene der Fertigprodukte zu ersetzen.

Substitutionspotenzial

Nutzungsweg 1: Methanproduktion durch Co-Fermentation mit grüner Biomasse

Durch Co-Fermentation der anfallenden Gülle könnten 172 kt Methan produziert werden (Patinvoh et al. 2017). Dies entspricht einem Substitutionspotenzial von 75% des österreichischen Materialeinsatzes von Methan als Rohstoff (Steffl et al. 2018). Im Vergleich würden ca. 59.700 ha Zuckerrübe benötigt werden um die gleiche Menge Methan durch Biogasgärung zu produzieren (FNR 2020).



Abbildung 54: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Methan aus Gülle-Fermentation, eigene Darstellung, berechnet nach (Patinvoh et al. 2017; Steffl et al. 2018; FNR 2020)

Nutzungsweg 2: Bioölproduktion durch Pyrolyse

Im Falle der Nutzung der Gülle durch Pyrolyse zur Produktion von Bioöl könnten ca. 912 kt TM Bioöl produziert werden (Janković 2015). Dies entspricht einem Substitutionspotenzial von ca. 61% des Materialeinsatzes von Erdöl als Rohstoff (Steffl et al. 2018) (siehe Abbildung 55). Für die Erzeugung der gleichen Menge an Bioöl aus Pyrolyse und Fischer-Tropsch-Synthese würden 761.000 ha Fläche Miscanthus benötigt werden (Jungbluth et al. 2007). Dies entspricht fast einem Drittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche Österreichs laut Agarstrukturhebung⁵⁵.

⁵⁵ Statistik Austria:

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/betriebsstruktur/113147.html, 21.01.2020



Abbildung 55: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Pyrolyse von Gülle, eigene Darstellung, berechnet nach (Janković 2015; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)

Nutzungsweg 3: Bioölproduktion durch Hydrothermal Liquefaction

Durch die Nutzung der Gülle via Hydrothermal Liquefaction (HTL) zur Produktion von Bioöl, könnten 713 kt TM Bioöl hergestellt werden (Yin et al. 2010). Dies entspricht einem Substitutionspotenzial von beinahe der Hälfte (ca. 48%) des österreichischen Materialeinsatzes von Erdöl als Rohstoff (Steffl et al. 2018) (siehe Abbildung 56). Zur Erzeugung von Bioöl aus der Pyrolyse und Fischer-Tropsch-Synthese aus Miscanthus würden im Vergleich etwa 595.200 ha Fläche benötigt werden (Jungbluth et al. 2007). Dies entspricht knapp einem Viertel der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Österreich laut Agarstrukturhebung⁵⁶.



Abbildung 56: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Hydrothermal Liquefaction von Gülle, eigene Darstellung, berechnet nach (Yin et al. 2010; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)

Nährstoffrückführung

In der erhobenen Menge Gülle sind ca. 52.540 kt Stickstoff und 13.157 kt Phosphor enthalten (Wilie and Mulbry 2002). Dies entspricht etwa 44,6%, also nahezu der Hälfte, des Mineraldüngerabsatzes von Stickstoff in Österreich im Jahr 2016/2017 (BMNT Grüner Bericht, 2018). Im Falle des Nutzungsweges 1, durch anaerobe Fermentation zur Produktion von Methan, können Nährstoffe über das Digestat rückgeführt werden. Im Falle des Nutzungsweges 2 und 3 - Pyrolyse und HTL -, können Nährstoffe über die Ausbringung von Kohle rückgeführt werden.

Projekte

Das FFG-Projekt **ReNOx57 2.0** erforscht die simultane Rückgewinnung und industrielle Verwertung von NH_4^+ und PO_4^{3-} . Dafür wurde in einem Vorgänger-Projekt ein zeolith-basiertes hybrides Verfahren entwickelt und in Kläranlagen zur Rückgewinnung von NH_4^+ aus Trübwasser integriert. Nun wird das Verfahren erweitert, um auch Phosphor rückgewinnen zu können und auf andere Anwendungsfelder wie Gärreste, Gülle, Deponiesickerwasser und industrielle Abwässer auszuweiten.

Die zwei abgeschlossenen EU-Projekte **BioEcoSim**⁵⁸ und **ManureEcoMine**⁵⁹ haben sich mit der Entwicklung von Pilotanlagen beschäftigt, in denen verschiedene Produkte aus Gülle gewonnen werden sollen. Das **BioEcoSim** Projekt hat dabei eine Pilotanlage auf dem landwirtschaftlichen Betrieb in Kupferzell, Deutschland errichtet, in dem aus Schweinegülle ein phosphorarmer organischen

⁵⁶ Statistik Austria:

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/betriebsstruktur/113147.html, 21.01.2020

⁵⁷ FFG: <https://projekte.ffg.at/projekt/2920215>, 22.01.2020

⁵⁸ CORDIS: <https://cordis.europa.eu/project/id/308637/reporting>, 21.01.2020

⁵⁹ CORDIS: <https://cordis.europa.eu/project/id/603744>, 21.01.2020

Bodenverbesserer sowie mineralischen Düngesalze wie Ammoniumsulfat und Phosphatsalzen gewonnen werden.

ManureEcoMine (2013-2016) entwickelte eine Pilotanlage in Vic, Katalonien in der Schweine- und Rindergülle gemeinsam mit anderen Substraten durch anaerobe Fermentation zu Biogas und Düngemitteln (N- und K-Struvite) verarbeitet werden. Teil dieses Verfahrens ist außerdem ein biologischer Prozess, der überschüssigen Stickstoff entfernt.

5.2.17 Eierschalen

Mit Eierschalen können zwar keine fossil-basierten Produkte ersetzt werden, allerdings konnten Anwendungen gefunden werden, die mineralische Ressourcen ersetzen könnten und eine Rückführung von Nährstoffen begünstigen könnten.

Relevantes Potenzial

Bei der Betrachtung der ermittelten Mengen an Eierschalen ist zu beachten, dass hier die gesamte Menge dargestellt wird, eine Nutzung aber wohl nur für Eierschalen aus Brütereien und Betrieben der Verarbeitung von Eiern in Frage kommt. In ganz Österreich fielen 448 t (TM) Eierschalen an, wobei die höchsten Anteile für Oberösterreich (125 t TM) und Niederösterreich (111 t) eruiert wurden. Da keine Eruiierung der in Betrieben anfallenden Eierschalen-Mengen möglich war, wurde keine grafische Verteilung der Mengen erstellt. Es ist nämlich nicht davon auszugehen, dass der Anteil an in Haushalten oder Konditoreien anfallenden Kleinstmengen verwertet werden kann.

Zu den großen Betrieben, bei denen Eierschalen als Reststoffe anfallen gehören EiVita Austria KG (Steiermark), Amering Salzkammergut Eiprodukte GmbH (Oberösterreich) und ProOvo Eiprodukte GmbH (Niederösterreich) sowie große Brütereien wie Brütere Schlierbach (Oberösterreich), Schropfer (Niederösterreich) oder Eiermacher GmbH (Oberösterreich).

Nutzungspfade und Produkte aus Eierschalen

Eierschalpulver kann als Katalysator für die Umwandlung von Lactose aus Molkenpermeat in Lactulose verwendet werden (Montilla et al. 2005; Paseephol, Small, and Sherkat 2008). Außerdem werden der Einsatz als Adsorptionsmittel in der Wasserreinigung (Tsai et al. 2008) und die Verwendung als Beschichtung für Druckpapiere (Yoo et al. 2009) in der Literatur beschrieben (siehe Tabelle 24). Diese eruierten Anwendungen ermöglichen keine Umrechnung in ein Substitutionspotenzial für fossil basierte Produkte.

Nährstoffrückführung

Beim Einsatz von Eierschalpulver als Adsorptionsmittel in der Abwasserreinigung wird Phosphor gebunden und kann dann als Dünger für die Rückführung von Nährstoffen in die Landwirtschaft dienen (Santos et al. 2019).

Tabelle 24: Ausgewählte potenzielle Anwendungsbereiche für Eierschalen

Weg	Produkt/Anwendung/ Grundstoff-Kategorie	TRL	Quellen
1	Katalysator für Isomerisierung von Lactose zu Lactulose	4-6	Montilla et al., 2005; Paseephol et al., 2008
2	Adsorptionsmittel für Farben in der Wasserreinigung	4-6	Tsai et al., 2008
3	Phosphorrückgewinnung - Dünger	4-6	Santos et al., 2019
4	Beschichtung, Pigment für Ink- Jet Druckpapier	4-6	Yoo et al., 2009

5.2.18 Biogene Asche

Aschen entstehen aus der Verbrennung von Biomasse und sind daher das Produkt der Verbrennung von Energieholz, Energiegräsern und weiteren biogenen Energieträgern.

Relevantes Potenzial

In Österreich fielen im erhobenen Zeitraum biogene Aschen in einer Menge von 889 kt TM pro Jahr an. Die größten Mengen fielen in Oberösterreich (333 kt), Niederösterreich (223 kt) und Wien (203 kt) an. Die Verteilung der Mengen an biogener Asche ist in Abbildung 57 dargestellt.

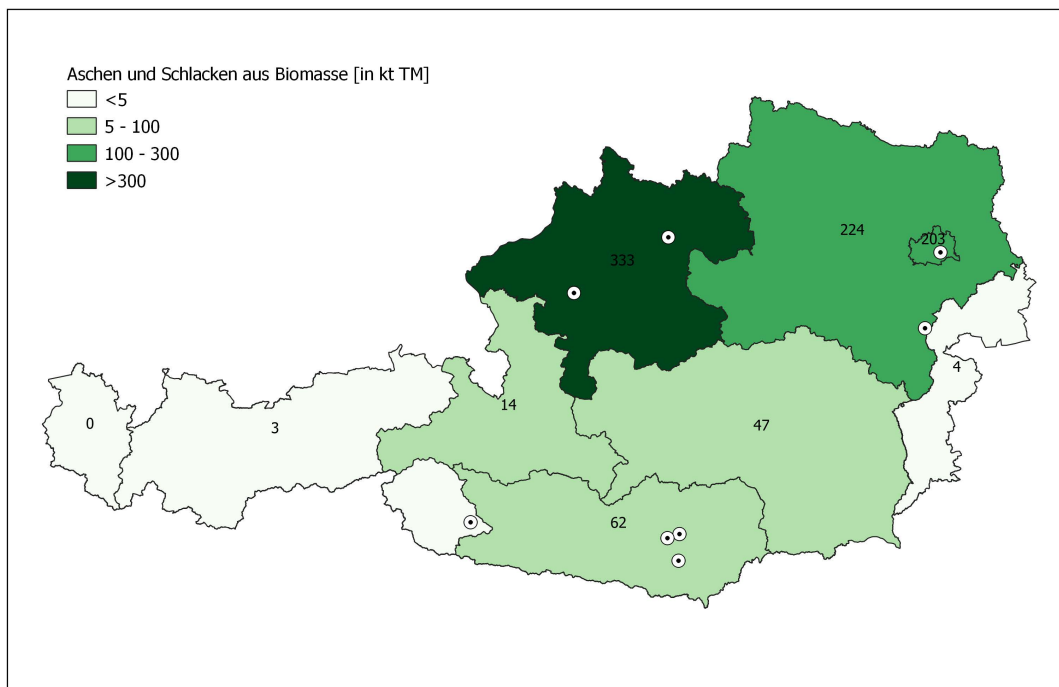


Abbildung 57: Aufkommen von biogener Asche (in kt TM) nach Bundesländern mit einer Auswahl an Biomasseheizkraftwerken (eigene Darstellung)

Bioraffineriekonzepte, Nutzungspfade und Produkte aus biogenen Aschen

Aschen sind grundsätzlich für den Einsatz im Straßenbau (ungebundene Tragschicht) und der Zementindustrie geeignet, wobei sich die Zusammensetzung und Eigenschaften der Aschen nach der jeweiligen Inputmasse und Verbrennungstechnologie unterscheiden. Dabei würde es sich um die Substituierung mineralischer Ressourcen (nicht dem Ersatz fossiler Rohstoffe) handeln. Daher wurde kein Substitutionspotenzial für fossile Produkte berechnet.

Nährstoffrückführung durch biogene Aschen

Für biogene Verbrennungsaschen (und -schlacken) wurden die Verwendung als Dünger und Bodenverbesserungsmittel und der Einsatz als Soptionsmittel beschrieben. Im Sinne einer Kreislaufwirtschaft könnte Asche also der Rückführung von Nährstoffen nach thermischer Verwertung dienen. Allerdings entspricht eine direkte Verbrennung von Biomasse, ohne vorherige stoffliche Nutzung nicht den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft, nach deren Konzept Prozesse der thermischen Verwertung erst als letzter Schritt nach mehreren Nutzungszyklen zulässig ist.

5.2.19 Weitere biogene Energieträger

Durch die fehlenden Informationen über die Zusammensetzung und Charakterisierung der weiteren biogenen Energieträger sind keine eigenen Nutzungspfade eruierbar.

Bei einer Aufteilung des relevanten Potenzials von insgesamt 963 kt in Österreich zeigen sich die höchsten Werte des Einsatzes für Niederösterreich (293 kt), Oberösterreich (246 kt) und Wien (177 kt).

5.2.20 Biogas

Methan ist ein wichtiger Rohstoff der chemischen Industrie, daher könnte das momentan produzierte Biogas, Klärgas und Deponiegas fossilen CH_4 -Input (Erdgas) für die stoffliche Nutzung substituieren (Substitution auf Rohstoffebene bzw. Grundstoffebene).

In Niederösterreich (190 kt TM), Oberösterreich (98 kt) und der Steiermark (97 kt) werden die größten Mengen an Biogas hergestellt (siehe Abbildung 58). Die ermittelte Gesamtmenge an Biogas für Österreich lag bei 528 kt, was einer ungefähren Menge von 291 kt Methan entspricht (bei einer Annahme von 55% Methangehalt, wobei der Gehalt je nach Rohstoff und Fermentationsbedingungen zwischen 50 und 75% liegt (FNR 2020)).

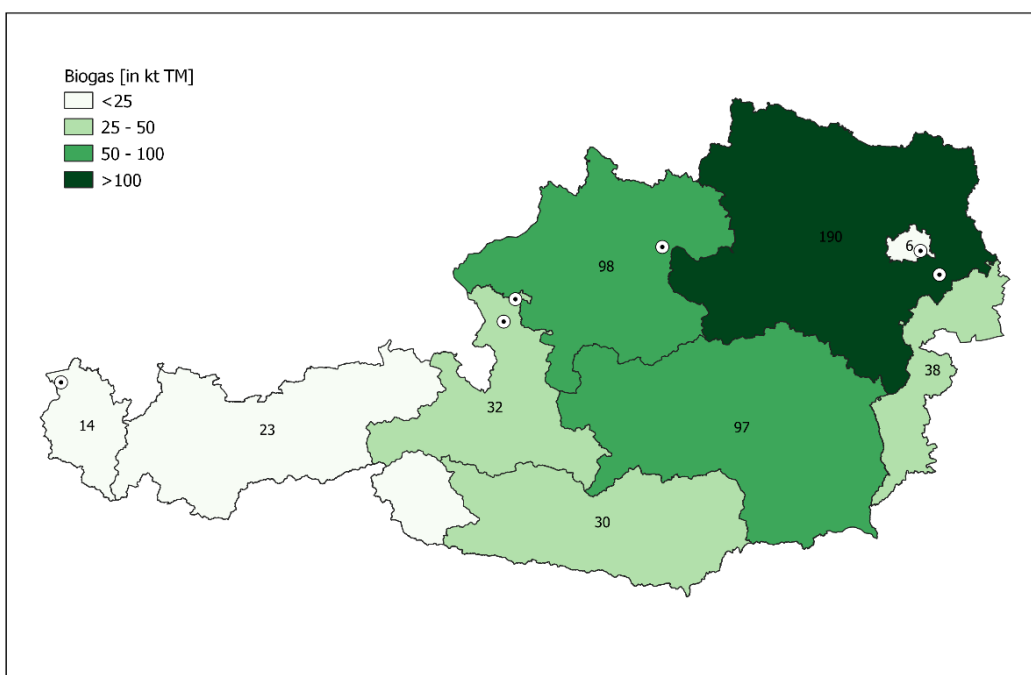


Abbildung 58: Aufkommen von Biogas (in kt TM) nach Bundesländern. Eine Auswahl an Biogasanlagen ist mit weißen Kreisen gekennzeichnet. (eigene Darstellung)

5.3 ÜBERSICHT SUBSTITUTIONSPOTENZIAL

Die Gegenüberstellung der verschiedenen Mengen an sekundären Biomasse-Strömen und Biomasse, die momentan direkt energetisch oder als Tierfutter genutzt wird, in Abbildung 59 zeigt, dass die größten Mengen in den Kategorien Lignocellulose mit 10,90 Mt Trockenmasse, Grüne Biomasse (30% der als Grünfutter verwendeten Masse) mit 2,61 Mt und Gülle mit 2,31 Mt liegen.

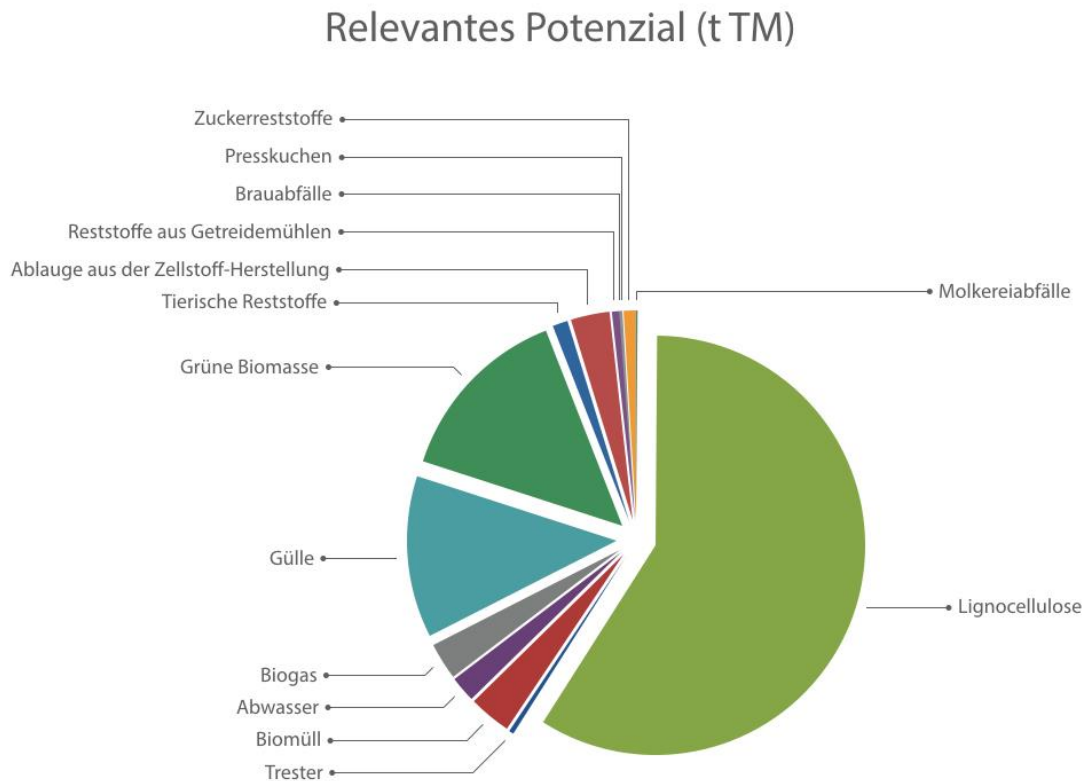


Abbildung 59: Aufteilung der ermittelten relevanten Potenziale mit einer Summe von 18,51 Mt Trockenmasse auf die unterschiedlichen Biomasse-Ströme (eigene Darstellung)

Abhängigkeiten zwischen den Biomasse-Strömen

Es ist zu betonen, dass die einzelnen hier getrennt dargestellten Biomasse-Ströme in Abhängigkeit zueinanderstehen und sich mit geändertem Konsumverhalten stark verändern können. So würde sich unter anderem die Menge an tierischen Reststoffen und Molkereiabfällen in der Realität bei einer Verringerung des Futtermiteinsatzes (Grünfutter – 30%) bzw. des Umstiegs auf eine fleischärmere Ernährung ebenfalls verringern. Die reale Menge an Biomüll könnte sich in den kommenden Jahren durch zahlreiche Maßnahmen zur Verringerung des Lebensmittelabfalls ebenfalls verringern, wodurch sich allerdings gleichzeitig die zur Produktion benötigten Agrarflächen verringern würden. Konkrete Handlungsempfehlungen und rechtliche Rahmenbedingungen für eine Reduktion der Lebensmittelabfälle in Österreich finden sich bei (Hietler and Pladerer 2018).

Klärschlamm und biogene Aschen wurden in die Übersicht in Abbildung 51 nicht aufgenommen, da sie eine Alternative zur Nutzung von Abwasser, Energieholz und Energiegräsern darstellen. Das bedeutet, dass bei einer stofflichen Nutzung der Lignocellulose keine oder deutlich weniger Aschen anfallen würden und ein Umstieg auf eine alternative Reinigung und Nutzung von Abwässern (z.B. in

Algenkläranlagen) kein Klärschlamm in der momentan anfallenden Menge und Zusammensetzung vorliegen würde. Da zur Zeit bereits ein Teil des Klärschlammes zur Produktion von Methan verwendet wird, würde sich weiters auch die Menge an Biogas bei einer Umstellung der Kläranlagen verändern.

Weitere sekundäre Biomasse-Ströme

Die „weiteren biogenen Energieträger“ mit einer Trockenmasse von 963 kt wurden auf Grund fehlender Charakterisierung ebenfalls nicht dargestellt und in diesem Bericht nicht näher besprochen. Weitere in dieser Arbeit vernachlässigte Biomasse-Ströme sind Reststoffe der Lederindustrie, Melasse, textile Abfälle (die zu sehr unterschiedlichen Anteilen biobasiert sind), industrielle Abwässer und Reststoffe aus Handel und Gastronomie. Weitere Studien zur mengenmäßigen Erfassung und stofflichen Nutzung dieser Massen wären zu begrüßen.

Nutzungspfade und Substitutionspotenziale

Eine Auswahl der zuvor dargestellten Nutzungspfade als Übersicht für ist in Tabelle 25 zu finden. Da für die stoffliche Nutzung von Ölpreschkuchen keine Konversionsfaktoren ermittelt werden konnten, ist dieser Stoffstrom nicht in Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Übersicht ausgewählter Nutzungspfade mit Produkten und Substitutionspotenzial (Abschätzung des Stickstoff- und Phosphorgehalts der Biomasse und Einschätzung des TRL der ausgewählten Prozesse) (die Quellen für die einzelnen Konversionswege sind in den Kapiteln zu den jeweiligen Stoffströmen zu finden)

Stoffstrom (Nutzungspfad)	Relevantes Potenzial (t TM)	Produkt	Menge (t TM)	Substitution fossilen Material-einsatzes	Kategorie	Flächen-Substitution (ha)	N (t)	P (t)	TRL
Lignocellulose (10)	10 901 967	Pyrolyse-Öl	1 089 107	73%	Rohstoff Erdöl	690 784	43 608	5 451	5-7
Lignocellulose (10)	10 901 967	Wasserstoff aus Pyrolyse	23 548	1014%	Grundstoff Wasserstoff	-	43 608	5 451	5-7
Lignocellulose (10)	10 901 967	5-HMF	1 883 860	88%	Grundstoffe	189 714	43 608	5 451	4-6
Grüne Biomasse (2)	2 605 476	PLA	68 785	6%	Vorprodukt Kunststoffe in Primärform	0	9 901	9 901	5-8
Gülle (2)	2 310 000	Pyrolyse-Öl	911 722	61%	Rohstoff Erdöl	761037	52 539	13 157	5-7
Biomüll (2)	605 403	Butanol	144 389	160%	Grundstoff weitere Alkohole	44760	16 346	2 422	4-6
Biomüll (2)	605 403	Methan	16 918	8%	Grundstoff Methan	5874	16 346	2 422	7-9
Ablauge aus der Zellstoff-Herstellung (1)	555 149	Lignin	364 733	81%	Vorprodukt Kunstharze	nicht berechnet	31 088	nicht berechnet	7-9
Ablauge aus der Zellstoff-Herstellung (1)	555 149	Butanol	2 758	3%	Grundstoff weitere Alkohole	1056	31 088	nicht berechnet	3-4
Abwasser (2)	368 741	Bioöl (HTL von Algenmasse)	189 164	13%	Rohstoff Erdöl	157900	49 493	7 734	4-6
Abwasser (2)	368 741	Methan aus HTL	332	0%	Grundstoff Methan	115	49 493	7 734	4-6
Abwasser (2)	368 741	Wasserstoff aus HTL	996	43%	Grundstoff Wasserstoff	nicht berechnet	49 493	7 734	4-6
Zuckerreststoffe (2)	177 150	Bio-PE 100	30 612	3%	Vorprodukt Kunststoffe in Primärform	14387	2 214	190	4-6

Tierische Reststoffe (1)	163 940	Methan	69 347	34%	Grundstoff Methan	24079	-	-	7-9
Reststoffe von Getreidemöhlen (2)	102 960	Bernsteinsäure	9 266	6%	Grundstoff Carbonsäuren	1307	2 265	191	4-6
Trester (3)	68 480	Pyrolyse-Öl	44 673	3%	Rohstoff Erdöl	37290	1 575	294	4-6
Trester (3)	68 480	Methan aus Pyrolyse	970	1%	Grundstoff Methan	337	1 575	294	4-6
Trester (3)	68 480	Wasserstoff aus Pyrolyse	1 036	45%	Grundstoff Wasserstoff	-	1 575	294	4-6
Brauereiabfälle (2)	46 080	PLA	11 280	1%	Vorprodukt Kunststoffe in Primärform	2030	419	60	3-4
Molkereiabfälle (1)	21 775	Ethanol	9 211	84%	Grundstoff Ethanol	2081	nicht berechnet	nicht berechnet	4-6
Molkereiabfälle (1)	21 775	Methan	5 095	3%	Grundstoff Methan	1769	nicht berechnet	nicht berechnet	7-9
Biogas	528 439	Methan	290 641	143%	Grundstoff Methan	100917	0	0	7-9
Summe	18 455 560		5 168 443	240%	Grundstoffe	2 035 437	443 969	68 780	

Die betrachteten Biomasse-Ströme hätten mit den aus der Literatur bezogenen Konversionsfaktoren ein theoretisches Substitutionspotenzial in einer Größenordnung von 5,2 Mt fossiler Produkte, was 2,4 Mal der Menge des Materialeinsatzes an fossil basierten Grundstoffen in Österreich entspricht (Steffl et al. 2018). Das Flächen-Substitutionspotenzial von ca. 2 Mio ha (Zuckerrübe bzw. Miscanthus für den Ersatz von Pyrolyse-Öl) entspricht in etwa der 1,5-fachen Fläche der 2018 in Österreich genutzten Agrarfläche⁶⁰. Diese Summen sind zwar aus den oben beschriebenen Gründen (wie der Abhängigkeit untereinander) nur mit Einschränkungen gültig, geben aber einen groben Anhaltspunkt zur Einschätzung des Potenzials.

Nährstoffrückführung

Der Düngemiteleintrag (in Form von Stickstoff, Phosphorpentoxid und Kaliumoxid) betrug in Österreich für die Saison 2017/2018 177.000 t⁶¹. In den ermittelten Biomassen sind Stickstoff und Phosphor (als P₂O₅) in der Größenordnung von 200.000 t bzw. 40.000 t enthalten. Daher ergäbe sich bei einer gezielten Rückführung ein enormes Potenzial als Nährstofflieferant in Form von Biokohlen und Digestat aus Biogas-Fermentation. Ein wichtiger Bestandteil von Bioraffinerie-Konzepten muss also die Erforschung der Rückführbarkeit der Nährstoffe mit ganz konkreten Anwendungen sein.

Ergänzend muss festgestellt werden, dass bereits jetzt eine Rückführung von Teilen der (sekundären) Biomasse in Form von Futtermittel und anschließender Gülle-Düngung oder als Düngung mit Klärschlämmen erfolgt.

Schwankungen und Unsicherheiten der Produktmengen

Wie in Kapitel 4.4.2 ausführlich beschrieben, liegen bereits bei den anfallenden Biomasse-Strömen zum Teil starke Schwankungsbreiten und damit Unsicherheiten bei der Berechnung von Substitutionspotenzialen vor. Auch die breite Palette an möglichen Prozesswegen und -technologien,

⁶⁰ Statistik Austria:

https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur/flaechen_ertraege/bodenutzung/index.html, 17.01.2020

⁶¹ BMNT (Grüner Bericht): <https://gruenerbericht.at/cm4/jdownload/download/66-gb2019/2023-s-017-duengemittelabsatz>, 20.01.2020

sowie der eingeschränkte Zugang zu Konversionsfaktoren tragen dazu bei, dass lediglich eine grobe Einschätzung potenzieller Produktmengen möglich ist. Bereits geringe Effizienzsteigerungen oder -verluste beeinflussen die Ergebnisse sehr stark, daher beziehen sich die ermittelten Werte nur auf die konkret angegebenen Prozesswege.

Konkurrenz mit anderen Nutzungswegen

Obwohl das hier präsentierte Substitutionspotenzial enorm erscheint, ist eine reale Nutzung immer in Konkurrenz mit der momentanen Verwendung und alternativen, anderen Nutzungsmöglichkeiten zu sehen. Da der Großteil der hier erhobenen Biomasse-Mengen momentan als Futtermittel oder Brennstoff genutzt wird, ist das real umsetzbare Potenzial deutlich niedriger.

Von Seiten der befragten ExpertInnen wird die tatsächliche Verfügbarkeit der (sekundären) Biomasse sehr kritisch gesehen. Bei Stroh, biogenen Abfällen, Gülle und Klärschlamm bzw. Abwasser (kommunal und industriell) werden Potenziale gesehen. Auch jene Lignocellulose-Fraktionen, die in der Verarbeitung anfallen und Nebenprodukte der Lebensmittelindustrie, die bei alternativen Nutzungswegen eine höhere Wertschöpfung bringen könnten, als bei der derzeitigen Nutzung als Futtermittel oder Energieträger, werden als vielversprechend angesehen.

5.4 DARSTELLUNG IN KUMU

Die in diesem Projekt ermittelten Stoffflüsse und Nutzungspfade wurden als Ergänzung zu dem im Projekt C-MFA erstellten Diagramm hinzugefügt. Der Zugang zu diesem interaktiven Diagramm ist unter <https://kumu.io/alcn/austrian-biocycles> möglich. Eine Übersichtsdarstellung bzw. ein Detailausschnitt sind in Abbildung 60 und Abbildung 61 dargestellt.

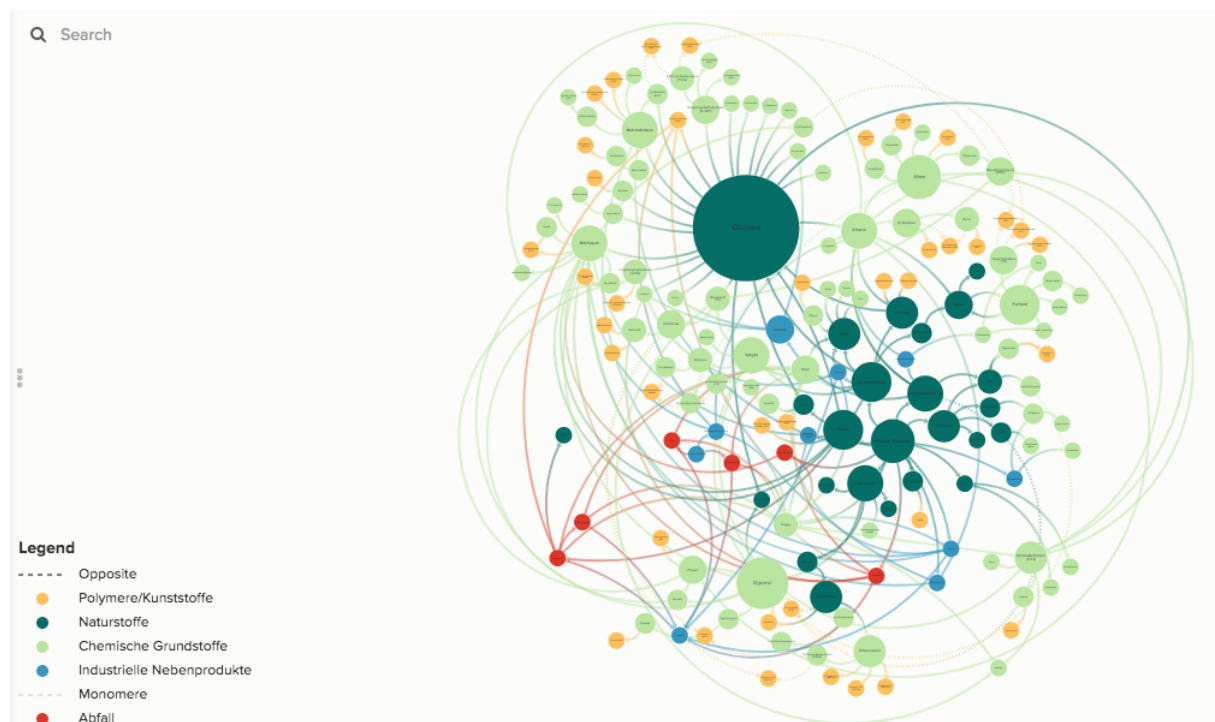


Abbildung 60: Übersicht KUMU-Diagramm (eigene Darstellung)

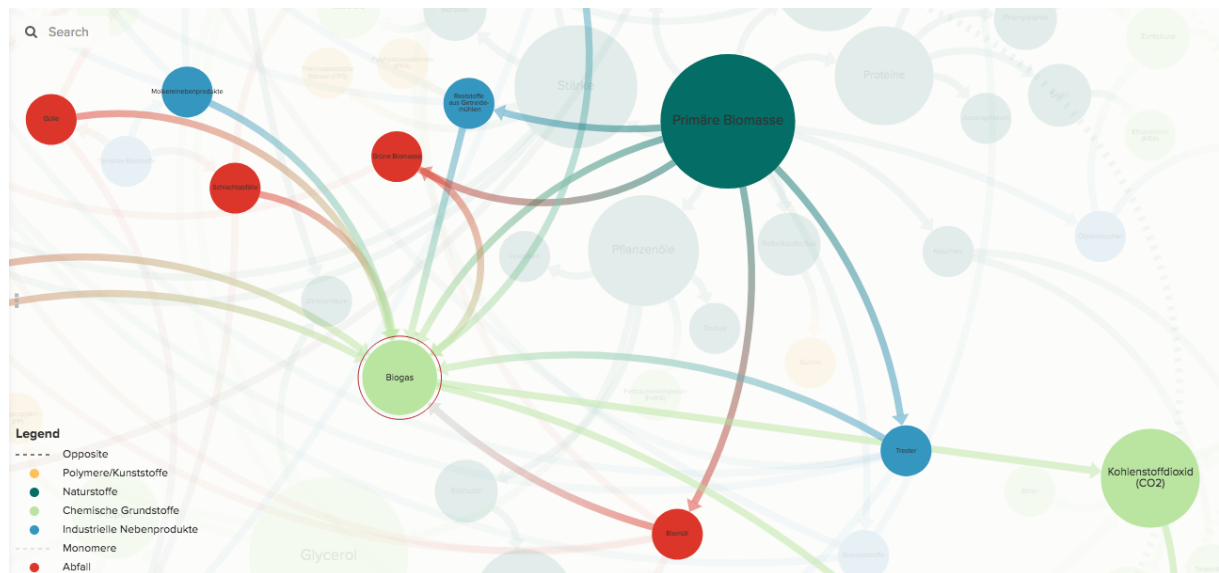


Abbildung 61: Detailsicht des KUMU-Diagramms für Biogas (eigene Darstellung)

6 ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN

Eine verstärkte oder veränderte Nutzung sekundärer biogener Rohstoffe hat neben wirtschaftlichen, unter Umständen auch ökologische Auswirkungen. Im Zuge des Forschungsprojekts wurde daher auch eine Abschätzung vorgenommen, wie sich eine Nutzung der ausgewählten Stoffströme über die jeweils ausgewählten Nutzungspfade aus ökologischer Sicht auswirken könnten.

6.1 NUTZUNG SEKUNDÄRER ROHSTOFFE AUS BIOBASierten PROZESSEN

Die Transformation in Richtung Bioökonomie zielt darauf ab, auch stofflich genutzte fossile Rohstoffe durch erneuerbare Kohlenstoffquellen – d.h. durch Biomasse – zu ersetzen.

Die Primärproduktion von Biomasse zur stofflichen Nutzung wird aufgrund der Flächenkonkurrenz unter anderem zur Lebens- und Futtermittelproduktion nicht unproblematisch gesehen, deshalb zielt das Projekt darauf ab, die für die stoffliche Nutzung benötigte Biomasse durch *sekundäre* Rohstoffe zu decken, die als Nebenprodukte bei biobasierten Prozessen anfallen. Damit soll eine Intensivierung der Produktion primärer Biomasse verhindert werden.

6.2 ÖKOLOGISCHE „NEBENWIRKUNGEN“

Neben den beschriebenen ökologischen Vorteilen kann die Nutzung sekundärer biogener Rohstoffe jedoch auch ökologische „Nebenwirkungen“ mit sich bringen, unbeabsichtigte Auswirkungen sind gerade in komplexen Systemen nicht auszuschließen. Die Nutzung sekundärer Rohstoffe kann sowohl direkte als auch indirekte ökologische Folgen haben. Direkte Folgen entstehen zum einen bei der Herstellung eines Produkts aus sekundärem biogenem Rohstoff über einen der Nutzungspfade, die im Projekt näher beleuchtet wurden. Zum anderen hat es auch direkte ökologische Folgen, wenn Biomasse in die Biosphäre rückgeführt wird – entweder durch eine Rückführung des Produkts selbst am Ende seiner Lebensdauer, oder eine Rückführung von Biomasse, die im Zuge des Nutzungspfad als Nebenprodukt anfällt. Neben den direkten ökologischen Folgen sind jedoch auch indirekte „Nebenwirkungen“ zu berücksichtigen. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn es um die Nutzung eines biobasierten Nebenprodukts geht, das bis dato bereits genutzt wurde (z.B. als Futtermittel). Wenn für den ursprünglichen Zweck aufgrund der neuen Nutzung weniger Sekundärrohstoff zur Verfügung steht, wird zur Deckung dieses Bedarfs auf andere Rohstoffe zurückgegriffen werden (z.B. verstärkte Sojaimporte zur Herstellung von Futtermitteln). Auch das kann ökologische Konsequenzen haben.

Die „Nebenwirkungen“ können aus ökologischer Sicht prinzipiell sowohl positiv als auch negativ sein. Anfallen können sie in den unterschiedlichsten ökologischen „Dimensionen“. Im Experten-Workshop wurden insbesondere die folgenden Dimensionen diskutiert:

- Nährstoffkreislauf
- Bodengesundheit
- Flächenverbrauch
- Biodiversität & Naturschutz
- (Primär-)Ressourcenverbrauch
- Abfallaufkommen
- Energieverbrauch & THG-Emissionen

- Verkehr (THG-Emissionen, Schadstoffe, Lärm)
- Wasserverbrauch, Abwasseraufkommen und Gewässerqualität

6.3 METHODIK

6.3.1 Workshop-Ablauf

Die Abschätzung der möglichen ökologischen Auswirkungen erfolgte anhand eines ExpertInnen-Workshops, der am 19. September 2019 an der Universität für Bodenkultur stattfand. Am Workshop nahmen 23 ExpertInnen aus unterschiedlichen Disziplinen und Themenfeldern teil. Eingangs wurde den TeilnehmerInnen das Projekt an sich, die ausgewählten Stoffströme sowie die ausgewählten Nutzungspfade vorgestellt. Danach wurden mögliche ökologische Auswirkungen in drei parallelen Arbeitsgruppen diskutiert. In jeder Gruppe stand ein Stoffstrom im Fokus: Molkereiabfälle, Lignocellulose (Stroh und Rebschnitt) sowie Abwasser und Klärschlamm. Diskutiert wurden mögliche ökologische Auswirkungen, die mit der Nutzung des jeweiligen Reststoffs über die im Projekt ausgewählten Nutzungspfade einher gehen könnten anhand der oben beschriebenen „ökologischen Dimensionen“. Im Anschluss wurden die wichtigsten Erkenntnisse aus den drei Gruppen im Plenum präsentiert und diskutiert. Die Ergebnisse wurden durch Post-its, Mitschriften und Aufnahme mittels Diktiergeräts dokumentiert und hier im Bericht zusammengefasst.

6.3.2 Aussagekraft der Ergebnisse

Grundsätzlich ist anzumerken, dass es für eine detaillierte Abschätzung sämtlicher direkter und indirekter ökologischer Auswirkungen der im Projekt ausgewählten Nutzungspfade einer umfassenden Lebenszyklusanalyse bedürfte. Eine solche war jedoch nicht Gegenstand des Forschungsprojekts und hätte dessen Rahmen gesprengt. Die Erkenntnisse aus dem Workshop stellen somit eine erste qualitative Analyse möglicher ökologischer Auswirkungen der ausgewählten Nutzungspfade dar und zeigen wichtige Aspekte auf, die es aus Umweltperspektive zu berücksichtigen gilt, wenn fossile Rohstoffe in der stofflichen Nutzung zukünftig verstärkt durch sekundäre biogene Rohstoffe substituiert werden.

6.4 WORKSHOP-ERGEBNISSE

6.4.1 Generelle ökologische Auswirkungen von Biomassenutzung

Im Workshop wurde mehrfach auf ökologische Auswirkungen verwiesen, die generell beachtet werden müssen, wenn biogene Sekundärrohstoffe stofflich als Alternative für fossile Kohlenstoffquellen genutzt werden. Diese nicht nur für einen spezifischen Stoffstrom geltenden Auswirkungen sollen im Folgenden separat beschrieben werden.

Ökologisch positiv ist, dass biogene Sekundärrohstoffe fossilen Kohlenstoff substituieren.

In Sachen Treibhausgasbilanz hat Biomasse im Vergleich zu fossilem Kohlenstoff den Vorteil, dass sie tendenziell dezentraler anfällt und somit die Transportdistanzen geringer sind. Negativ hingegen fällt ins Gewicht, dass Biomasse eine geringe Kohlenstoffdichte aufweist. Für die Bereitstellung einer bestimmten Menge an Kohlenstoff werden im Fall von Biomasse wesentlich größere Massen bewegt.

Umso wichtiger, dass Transport und Verarbeitung der Biomasse möglichst energieeffizient erfolgen und die aufgewendete Energie so weit wie möglich aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden.

Im Workshop wurden auch ganz grundsätzliche Bedenken bezüglich der ökologischen Auswirkungen eines Ausbaus der Bioökonomie geäußert: Eine Steigerung der Wertschöpfung im primären Sektor könne eine verstärkte Industrialisierung der Landwirtschaft mit negativen Folgen für die Biodiversität und die Bodengesundheit nach sich ziehen.

6.4.2 Molkereiabfälle

Zu den im Projekt ausgewählten Nutzungspfaden für den Stoffstrom „Molkereiabfälle“ wurden im Workshop die folgenden ökologischen Vor- und Nachteile genannt:

Vorteile:

- Milchsäure wird aktuell zu einem signifikanten Anteil über die Fermentierung von Glukose auf Stärkebasis hergestellt. Die dafür verwendete Stärke wird dabei oft aus Pflanzen gewonnen, die in intensiver Landwirtschaft in Monokulturen angebaut werden. Wenn Milchsäure stattdessen verstärkt durch Fermentation von Molkepermeat gewonnen würde, könnten somit negative ökologische Effekte einer derartigen intensiven Landwirtschaft (Flächenverbrauch, Schäden für Biodiversität und Bodengesundheit etc.) verringert werden.
- Die anfallenden Aschen eignen sich aufgrund ihrer hohen Salzkonzentration als Brandschutzmittel. Sie könnten somit konventionelle Brandschutzmittel substituieren.

Nachteile:

- Molke fällt in sehr großen Mengen an, beinhaltet sehr viel Wasser und ist verderblich. Aus diesen Gründen ist es nicht speicherbar, was eine ressourceneffiziente Nutzung erschwert.
- Sowohl das Aufkonzentrieren von Molkereiabfällen als auch die Aufreinigung der Milchsäure sind sehr energieaufwändig.

6.4.3 Stroh und Rebschnitt

Im Hinblick auf die Nutzungspfade für Stroh und Rebschnitt, die im Projekt ausgewählt wurden, nannten die Workshop-TeilnehmerInnen die folgenden Vor- und Nachteile:

Vorteile:

- Stroh ist im Vergleich zu konventionellem Dämmmaterial biologisch abbaubar. Am Ende der Lebensdauer eines Gebäudes würde damit weniger Abfall anfallen.

Nachteile:

- Bei der Ernte auf dem Feld zurückgelassenes Stroh erfüllt wichtige Funktionen. Wenn zu viel Stroh entnommen wird verringern sich der Humusgehalt und die Aggregatstabilität des Bodens. Es kommt zu einer Verdichtung des Bodens, die Wasserinfiltration wird erschwert und die Wasserspeicherkapazität verringert. Die Erosion nimmt zu. Aus diesen Gründen sollten jedenfalls 20-50 % des Strohs auf dem Feld verbleiben.
- Die Entnahme von Stroh und Rebschnitt führt auch zu einem Nährstoffverlust. Denn das auf dem Feld verbleibende Stroh und auch der Rebschnitt werden wieder in den Boden eingebracht und tragen zu dessen Düngung bei. Ein übermäßiger Nährstoffverlust durch die Entnahme von Stroh und Rebschnitt muss durch Kunstdünger kompensiert werden, was

einen zusätzlichen Ressourcen- und Energieverbrauch zur Folge hat. Auch hier bräuchte es Obergrenzen für die Entnahme.

6.4.4 Klärschlamm

Zur Nutzung von Abwasser und Klärschlamm brachten die Workshop-TeilnehmerInnen die folgenden Vor- und Nachteile vor:

Nachteile:

- Das bei der anaeroben Schlammfäulung anfallende Methan wird oft zur Energieerzeugung verwendet, um den Energiebedarf der Kläranlage – zumindest teilweise – zu decken. Wenn das Methan statt für die Energieerzeugung stofflich genutzt wird, muss der bis dato mit der Methanverbrennung gedeckte Energiebedarf anderweitig gedeckt werden. Wenn dies auf Basis fossiler Energieträger erfolgt, wäre das kontraproduktiv.
- Bezüglich des Nutzungspfads der hydrothermalen Verflüssigung wurden gleich zwei ökologisch problematische Aspekte genannt: Zum einen der hohe Energiebedarf, zum anderen der Anfall von Abfallstoffen im Zuge des Prozesses.
- Wenn organische Rückstände als Dünger in der Landwirtschaft ausgebracht werden, trägt dies zwar zur Schließung von Nährstoffkreisläufen bei, allerdings besteht dabei die Gefahr, dass Schadstoffe bzw. Keime in das Ökosystem und auch in die Nahrungskette gelangen.

7 ÖKONOMISCHE AUSWIRKUNGEN

Der Aufbau eines integrierten Netzwerks von Bioraffinerien für die Verwertung sekundärer Rohstoffe von Nebenprodukten aus biobasierten Prozessen hat nicht nur ökologische Implikationen. Gleichzeitig werden volkswirtschaftliche Impulse und Chancen für die Regionalentwicklung und den ländlichen Raum erwartet. In diesem Kapitel wird erläutert, welche Erkenntnisse dazu im Zuge des Forschungsprojekts gewonnen wurden.

7.1 METHODIK

Neben der Abschätzung möglicher ökologischer Auswirkungen wurden im Projekt auch volkswirtschaftliche bzw. regionalökonomische Aspekte mit ExpertInnen diskutiert. Der ExpertInnen-Workshop fand am 13. November 2019 im „thinkport VIENNA“ in Wien statt. An der Veranstaltung nahmen 15 Personen teil. Zuerst stellte das Projektteam das Forschungsprojekt vor und präsentierte die ausgewählten Stoffströme und Nutzungspfade sowie die Überlegungen zum Design eines optimalen Liefernetzwerks für ein integriertes Netzwerk von Bioraffinerien. Im Anschluss wurden im Plenum zwei Diskussionsrunden durchgeführt. In der ersten Runde ging es um Fragen der Machbarkeit aus betriebswirtschaftlicher Perspektive. Diese Runde diente vor allem der Erhebung wichtiger Informationen für die Optimierung des Liefernetzwerks. In der zweiten Runde standen volkswirtschaftliche Aspekte sowie Wirkungen auf die Regionalentwicklung bzw. auf den ländlichen Raum im Fokus. Während die Ergebnisse der ersten Runde direkt in die Entwicklung optimierter Logistikketten einfließen, sind die in der zweiten Runde geäußerten Überlegungen im Folgenden zusammengefasst.

7.2 WORKSHOP-ERGEBNISSE

Arbeitsmarkt

- Die benötigten Qualifikationen hängen stark von der Art der Tätigkeit ab. Für das Pre-Treatment (Trocknung usw.) sind keine besonders hohen Qualifikationen notwendig – für komplexere technologische Verarbeitungsschritte hingegen schon. Ein signifikanter Teil der Jobs ist nicht im technischen Bereich, sondern im kaufmännischen Bereich (Tätigkeiten, auf die jedes Unternehmen angewiesen ist) zu erwarten. Die chemische Industrie benötigt einen Mix von Qualifikationen.
- Die chemische Industrie hat damit zu kämpfen, ausreichend qualifizierte Arbeitskräfte zu finden. Für den Beginn einer Lehre seien Jugendliche, die nur einen Pflichtschulabschluss haben, meistens nicht ausreichend qualifiziert. Oft mangelt es an grundlegenden Fähigkeiten wie Lesen und Schreiben. Die Rekrutierung von jugendlichen BerufseinsteigerInnen wird dadurch erschwert, dass rechtliche Bestimmungen den Umgang mit bestimmten gefährlichen Substanzen erst ab dem Alter von 18 Jahren zulassen. Weichenstellende Entscheidungen zur weiteren Berufslaufbahn werden jedoch schon früher getroffen. Weiters werden in der chemischen Industrie benötigte Tätigkeiten bzw. Berufe von jungen Menschen oft nicht als ausreichend attraktiv wahrgenommen. Auch für Bioraffinerien dürfte es daher herausfordernd sein, ausreichend qualifizierte Nachwuchskräfte zu finden. Attraktiver Arbeitsbedingungen sind wichtige Voraussetzung, um die entstehenden Jobs für junge Menschen attraktiv zu machen.

- Jobs, die in Bioraffinerien entstehen, werden teils saisonal sein, da die Auslastung im Winter aufgrund eines geringeren Anfalls an Biomasse geringer ist. Das ist für Jene, die nach einer „regulären“ Beschäftigung suchen, weniger attraktiv.

Stimulation der regionalen (Land-)Wirtschaft

- Die Ansiedelung von Bioraffinerien kann auf die regionale Wirtschaft belebend wirken und zu einer Ansiedelung weiterer Betriebe führen. Damit werden neben Arbeitsplätzen in der Bioraffinerie selbst weitere Impulse gesetzt, die eine Abwanderung aus dem ländlichen Raum abschwächen.
- Verstärkte Nachfrage nach biogenen Rohstoffen und Sekundärrohstoffen kann zusätzliche Absatzmärkte für die Landwirte erschließen und somit zu einem positiven wirtschaftlichen Impuls für die Landwirtschaft führen.
- Durch die Schaffung von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum, kann der Abwanderung und Überalterung entgegengewirkt werden.
- Für hochqualifizierte junge Leute, die in der Stadt studiert haben, könnte eine Bioraffinerie zuhause in der Region ein Anlass sein, nach dem Studium doch wieder in ihre alte Heimat zurückzukehren. So könnte der Abwanderung und dem „Brain Drain“ im ländlichen Raum entgegengewirkt werden.
- Die Errichtung von Bioraffinerien könnte auf Widerstand von AnrainerInnen und lokaler Bevölkerung stoßen, wenn Lärm, Geruchsbelästigungen, negative Umweltauswirkungen oder eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes zu befürchten sind. Um Akzeptanz bei der Bevölkerung sicherzustellen ist es zentral, derartige negative Auswirkungen so weit wie möglich zu reduzieren und vielen Menschen vor Ort einen persönlichen Nutzen aus dem Projekt zu vermitteln.

Wettbewerbsfähigkeit

- Die Wettbewerbsfähigkeit der biobasierten chemischen Industrie hängt wesentlich von äußeren Rahmenbedingungen wie dem Preis fossiler Rohstoffe ab. Sie kann durch eine CO₂-Steuer signifikant erhöht werden. Aktuell kann die biobasierte chemische Industrie bei Massenprodukten nicht mit der fossilbasierten Industrie konkurrieren.
- Subventionen könnten die biobasierte Industrie stärken. Dankbar wäre eine attraktive Anschubfinanzierung, langfristig muss sich allerdings Wettbewerbsfähigkeit einstellen.

8 SUPPLY CHAIN DESIGN FÜR EIN SEKUNDÄRROHSTOFFNETZWERK IN ÖSTERREICH

In Kapitel 5 wurden für die unterschiedlichen Sekundärrohstoffe Produkte und Nutzungspfade aus der Perspektive möglicher Substitutionspotenziale dargestellt. In diesem Kapitel werden nun konkrete, betriebswirtschaftlich geleitete Überlegungen zum Aufbau eines Liefernetzes für Stroh angestellt.

Grundsätzlich basiert die Planung einer Supply Chain zur stofflichen oder energetischen Nutzung biogener Rohstoffe auf der räumlichen Verteilung von Biomasse (Schwaderer 2012). Die Supply Chain beinhaltet die folgenden Schritte: Biomasseproduktion, Ernte, bzw. Bereitstellung, Vorbehandlung und Versorgungssysteme, Konversion zu bestimmten Zwischen- oder Endprodukten und Absatz.

(Kaltschmitt, Hartmann, and Hofbauer 2016) beschreiben den Begriff der **Bereitstellungskette** für Biomasse zur Produktion von Energieträgern. Dabei ist das Ziel einer solchen Bereitstellungskette eine bestimmte Nachfrage nach einem Produkt zu erfüllen, indem die dazu erforderlichen Konversionsanlagen mit der dafür erforderlichen Menge, Qualität und zum erforderlichen Zeitpunkt mit Biomasse versorgt werden. Diese Aufgaben werden auch zusammenfassend als **Biomasselogistik** bezeichnet. Jede Bereitstellungskette von Biomasse besteht nach dieser Definition aus den Schritten Biomasseproduktion bzw. -Aufkommen, Bereitstellung, Nutzung/Konversion sowie Verwertung der anfallenden Koppelprodukte bzw. Reststoffe. Oft bestehen diese genannten Schritte wieder aus vielen Einzelprozessen und unterscheiden sich je nach verwendeter Biomasseart und eingesetzter Konversionstechnologie. Üblicherweise finden die genannten Schritte nicht alle am gleichen Ort statt, wodurch ein Transport von Biomasse und/oder Zwischenprodukten innerhalb dieser Bereitstellungskette notwendig ist. In Abbildung 62 ist die generelle Struktur der Biomasselogistik dargestellt. Diese unterteilt sich grob in die Ebenen **Aufkommen**, **Bereitstellung** und **Nutzung**.

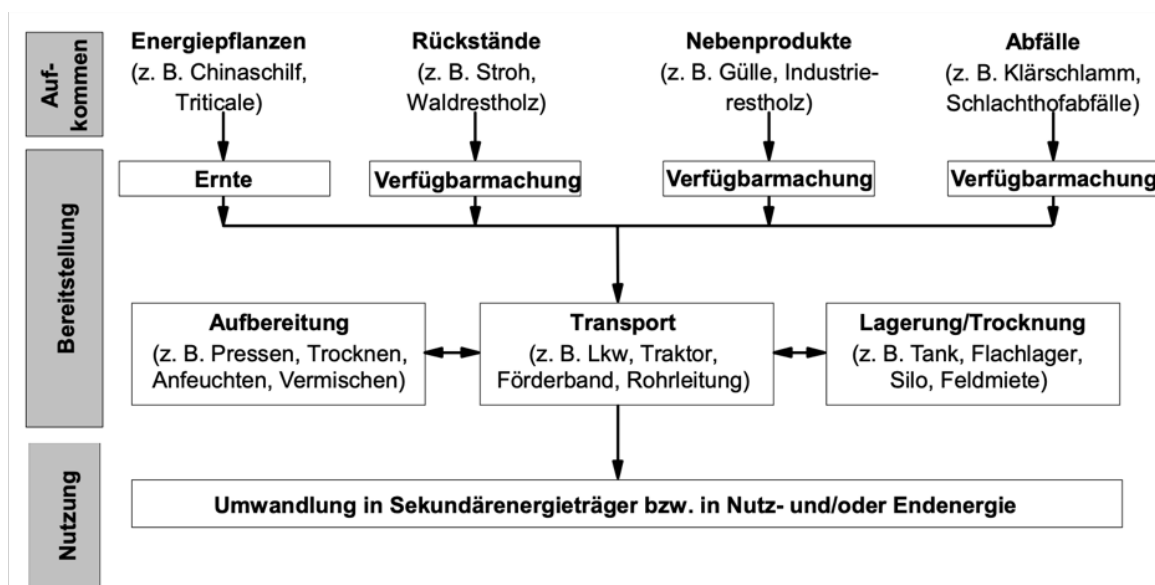


Abbildung 62: Struktur der Biomasselogistik am Beispiel Energieerzeugung (Martin Kaltschmitt, Hartmann, and Hofbauer 2016)

Je nach Bereitstellungskonzept und betrachteter Biomasse werden die einzelnen Teilschritte aus Abbildung 60 gewählt und in einem Logistikkonzept optimal miteinander kombiniert.

Schwaderer (2012) nennt in seiner Arbeit die aufeinander folgenden Schritte Biomasseernte bzw. -erfassung, Vorbehandlung (Zerkleinern, Trocknen, Mahlen) und thermochemische (z.B. Pyrolyse, Vergasung) oder biochemische (z.B. Fermentation, anaerobe Gärung) Stoffumwandlungsprozesse zur Verarbeitung der Biomasse in Zwischen- oder Endprodukte und definiert somit eine Bereitstellungskette. Vorbehandlungsschritte bzw. Zwischenprodukte weisen oft eine höhere Kompaktheit oder sogar (Energie-)dichte als die ursprüngliche Biomasse auf, was sich positiv auf den Transport auswirkt. Beispiele hierfür sind etwa Konzentrate wie z.B. Zuckerdicksaft aus Rüben oder Zuckerrohr oder Pyrolyseöle (Schwaderer, 2012; Kaltschmitt et al., 2016).

Abbildung 63 zeigt die strategischen Planungsaufgaben, die in einer biomassebasierten Wertschöpfungskette miteinander in Wechselwirkung stehen und unter Annahme einer Zielfunktion kombiniert und gelöst werden sollen.

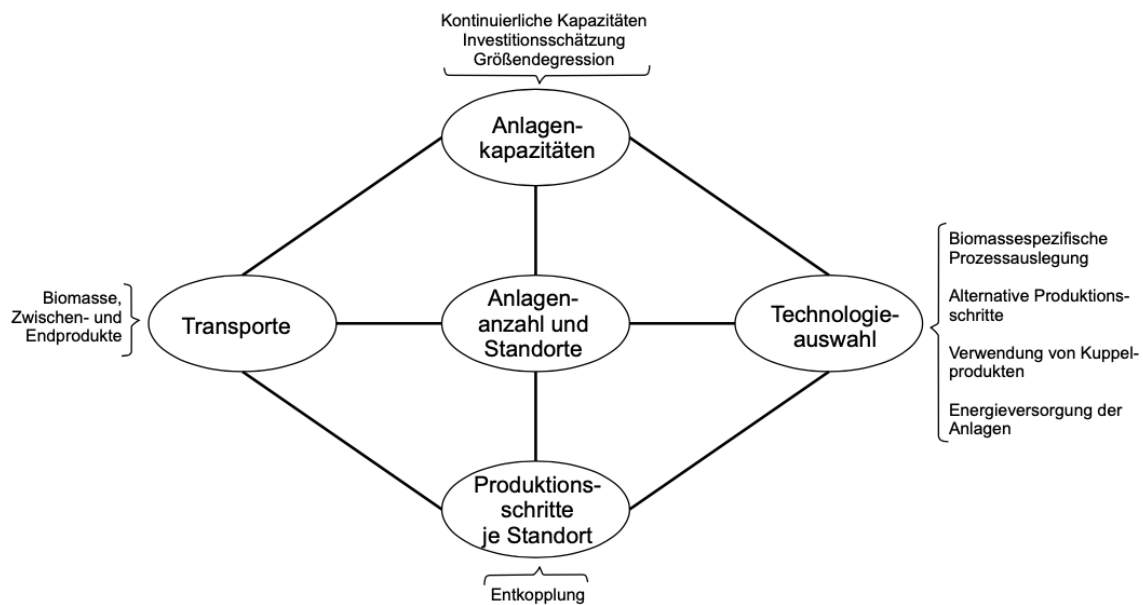


Abbildung 63: Planungsaufgaben im Supply Chain Design für Biomasse (Schwaderer 2012)

8.1 CHARAKTERISIERUNG UND BESONDERHEITEN VON LIEFERKETTEN BIOGENER SEKUNDÄRROHSTOFFE

8.1.1 Räumliche und zeitliche Verfügbarkeit

Geografische Gegebenheiten, Besitzverhältnisse von landwirtschaftlichen Flächen, deren Verteilung über eine Region und wechselnde Bewirtschaftungsformen ergeben eine dynamische Situation bezüglich *wo* und *wann* welche Menge und Qualität einer bestimmten Biomasse – folglich auch des Sekundärrohstoffs – verfügbar ist. Abbildung 64 zeigt anhand von Punktverteilungen das Aufkommen vier ausgewählter Sekundärrohstoffe in Österreich. In der Karte sind mögliche Standorte für Bioraffinerien und Standorte für potenzielle Endkunden eines Produkts eingezeichnet. Als Endkunden kommen bestehende Standorte von Unternehmen der chemischen und kunststoffverarbeitenden Industrie in Frage und wurden anhand von Internetrecherche ausgewählt. In dieser Arbeit wird jedoch eine Distribution der Endprodukte in den Absatzmarkt (Endkunden) nicht betrachtet. Das heißt, das Logistiknetzwerk endet an der Syntheseanlage.

Die Informationen der Abbildung 64 stellen kein berechnetes Endergebnis dar, sondern dienen als visuelle Darstellung der Ausgangslage zum Supply Chain Design und zeigt die Komplexität bei der Planung eines Logistiknetzwerks von biogenen Sekundärrohstoffen.

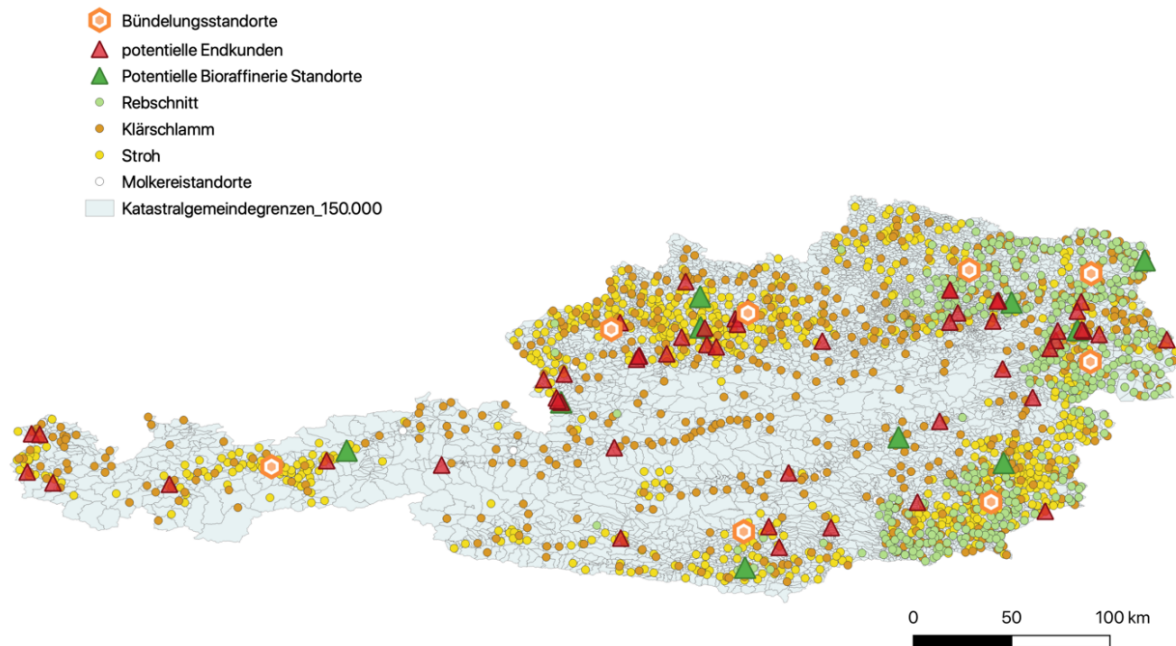


Abbildung 64: Räumliche Verteilung ausgewählter Sekundärrohstoffe Österreich (eigene Darstellung)

Die obige Karte in Abbildung 64 zeigt die gemeindespezifischen verorteten Sekundärrohstoffe **Stroh, Rebschnitt, Klärschlamm und Molkereireststoffe**. Es zeigt sich eine deutlich je nach Rohstoff typische, räumliche Verteilung. Die zeitliche Verfügbarkeit der einzelnen Sekundärrohstoffe ist abhängig von der Produktion des Primärprodukts. Diese Primärprodukte sind in diesem Beispiel Milch- und Käseprodukte, Wein bzw. Trauben und Getreide. Klärschlamm steht dabei nicht direkt in Verbindung mit einem Primärprodukt, wird aber aufgrund seines Energie- und hohen Nährstoffgehalts und seiner Charakteristik als biogener Reststoff ebenfalls betrachtet. Man kann annehmen, dass Klärschlamm und Molkereireststoffe regelmäßig und ganzjährig anfallen. Stroh und Rebschnitt hängen von dem Erntezeitpunkt des Getreides bzw. Zeitpunkt des Rebschnittes ab. Generell gilt bei biogenen Rohstoffen, dass deren zeitliche Verfügbarkeit saisonal schwankt oder sich zumindest auf wenige Wochen bis Monate beschränkt. In Abbildung 63 ist die zeitliche Verfügbarkeit dieser vier Sekundärrohstoffe im Jahresverlauf dargestellt.

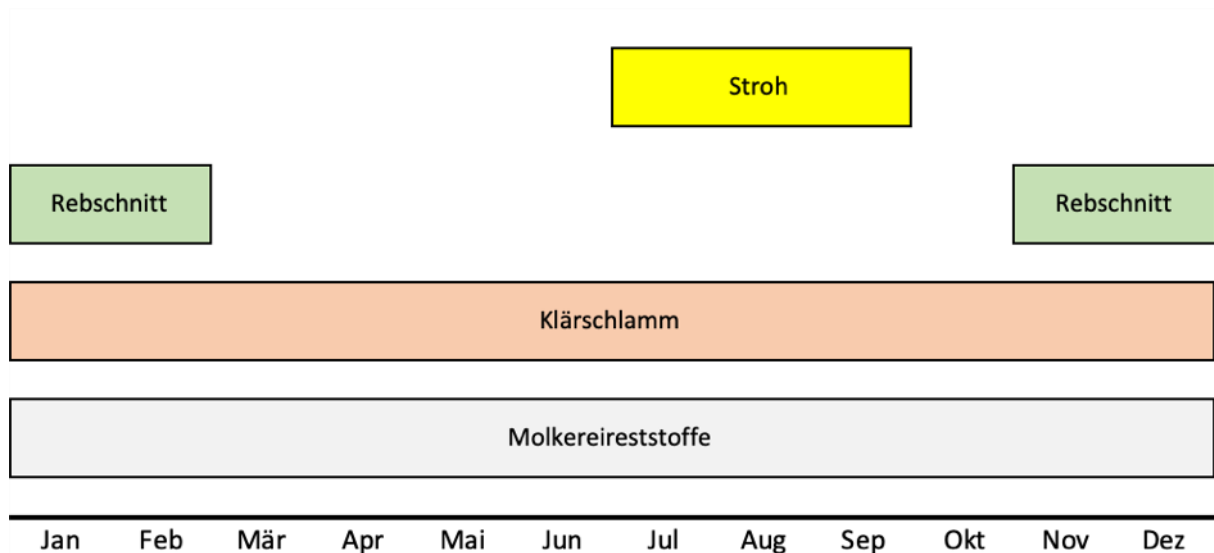


Abbildung 65: Zeitliche Verfügbarkeit Sekundärrohstoffe (eigene Darstellung)

Wie aus Abbildung 65 ersichtlich, ist die zeitliche Verfügbarkeit je nach Rohstoff variabel. Aus diesem Grund die Bedeutung der Lagerhaltung in der Biomasselogistik im nächsten Absatz näher erläutert.

8.1.2 Lagerung von Biomasse

Die Lagerung von Biomasse ist ein integraler Bestandteil der Biomasselogistik, welchem aus unterschiedlichen Gründen besondere Bedeutung zukommt. Bedingt durch den saisonalen Biomasseanfall, welcher oft nicht mit dem Zeitpunkt der Biomassenutzung übereinstimmt, dient die Lagerung der Überbrückung einer Zeitspanne. Ziel ist eine sichere Rohstoffversorgung von Zwischenhandel oder der Konversionsanlage selbst. Je nach zeitlichem Biomasseangebot und Biomassenachfrage ergeben sich Möglichkeiten der kurz-, mittel- oder langfristigen Lagerstrategie. Die Wahl der geeigneten Lagerstrategie ermöglicht es, saisonal anfallende Biomasse ganzjährig für eine Lieferung bereitzustellen.

Während der Lagerung von biogenem Material finden immer natürliche, biologische Vorgänge statt. Diese können zum einen die Qualität negativ beeinflussen (z.B. biologische Abbauprozesse wichtiger Inhaltsstoffe, Schwund) oder zum anderen zu Sicherheitsproblemen führen (z.B. Selbstentzündung von Hackgut). Lagerverfahren und -techniken sind dementsprechend zu wählen, um eine Minimierung dieser unerwünschten Nebeneffekte zu erzielen (Kaltschmitt et al., 2016; Wimmer, Hohensinner and Eikemeier, 2011).

8.1.3 Menge und Dichte

In Abbildung 62 ist deutlich zu erkennen, wie sich das Angebot von Biomasse über ein großes Flächegebiet verteilt. Dabei spielt neben der dezentralen (regionalen) Verteilung von Biomasse auch die Größenordnung der anfallenden Mengen eine Rolle. Je feiner die betrachtete Planungsebene zur Analyse des Biomasseangebots gewählt wird (vgl. Bezirks- zu Gemeindeebene), desto geringere Mengen fallen pro betrachtetem Angebotspunkt im Netzwerk an. Die Komplexität der Planung von Bereitstellungsketten für Biomasse wird also um eine mengenmäßig unterschiedliche Verteilung ergänzt.

Ein weiterer Aspekt, der berücksichtigt werden muss, ist die Dichte der bereitgestellten Rohstoffe. Diese bestimmt die benötigten Lager- und Transportkapazitäten und beeinflusst somit das gesamte Bereitstellungskonzept (Kaltschmitt et al., 2016). Beispielsweise hat Slurry (=Pyrolyseöl) eine ca. 10 bis 15-mal höhere Dichte als Strohballen. Slurry lässt sich daher kompakter lagern und kostengünstiger bzw. über weitere Entfernungen transportieren als Stroh (Leible, Kälber, Kappler, Nieke, et al. 2007). Bei der Planung einer optimierten Bereitstellungskette für Biomasse kann durch die Wahl einer geeigneten Aufbereitungsform unter Berücksichtigung standort- und biomassespezifischer Rahmenbedingungen die Dichte eines Rohstoffs erhöht werden, wodurch der Transport erleichtert wird. Dabei muss jedoch der geringere Transportaufwand die Kosten einer teureren Vorbehandlung bzw. Verdichtung des Rohstoffs kompensieren, um eine optimale Logistik ermöglichen zu können.

8.1.4 Transport

Das Systemelement **Transport** dient der physischen Verknüpfung einzelner Prozessschritte innerhalb der Bereitstellungskette. Die Transportart ist abhängig von physikalischen und chemischen Eigenschaften der zu transportierenden Biomasse. Darüber hinaus beeinflussen die Eigenschaften der Biomasse die Auslastung und somit Effizienz der Transportmittel. Zum Beispiel ist beim Transport von Strohballen auf Anhängern weder eine Volumen- noch Massenvollauslastung gegeben. *„In diesem Kontext ist es die Aufgabe der Logistik, einerseits das am besten geeignete [...] Transportmittel und andererseits die optimal an die [...] Brennstoffeigenschaften angepasste Konfiguration der jeweiligen Transportmittel zu identifizieren und dadurch die Kosten innerhalb des Gesamtbereitstellungskonzeptes zu minimieren.“* (vgl. Kaltschmitt et al., 2016: 177). Die Mengenanalyse empfiehlt aufgrund von Mengenaufkommen, Nutzbarkeit und vorhandener Forschungsliteratur hinsichtlich des Sekundärrohstoffs die Untersuchung von **Stroh** als Rohstoff zur Nutzung und Verwertung in einem Liefernetzwerk.

8.2 SUPPLY CHAIN DESIGN STROH

Folgendes Kapitel definiert die Rahmenbedingungen beim Design eines Logistiknetzwerks für den Anwendungsfall **Reststroh**. Es werden die Ausgangslage, eingesetzte Verfahren und angewandte Logistikkonzepte für diese Problemstellung erläutert.

8.2.1 Problembeschreibung

Neben der Verbrennung von Stroh zur Energiegewinnung kommt der Produktion von synthetischen Biotreibstoffen und anderen biobasierten Chemikalien zur stofflichen Nutzung, sowohl in der Literatur, als auch in der Praxis der letzten Jahre besondere Bedeutung zu. Die dafür verwendeten Verfahren zählen zur **Biomass to liquid (BtL)** Technologie (eine kurze Beschreibung der thermochemischen Verfahren ist in Kapitel 5.2.1. zu finden). Dabei wird über thermochemische Umwandlungsprozesse lignocellulose Biomasse in Synthesegas überführt. Dieses Gas dient im weiteren Schritt der Herstellung synthetischer Kraftstoffe oder anderer organischer Chemikalien.

Die Prozesse zur Herstellung von Syntheseprodukten aus biogenen Rohstoffen sind im Vergleich zu den „klassischen“ Nutzungskonzepten (z.B. Verbrennung) mit einem höheren verfahrenstechnischen Aufwand verbunden, welcher im kostenintensiven Prozessschritt der Gasaufbereitung und -reinigung sowie der Synthese und Produktaufbereitung begründet ist. Ökonomische und die Verfahrenseffizienz betreffende Vorteile ergeben sich, wenn dieser Schritt im Rahmen einer Großanlage mit

dementsprechend höherer Kapazität realisiert wird. Hier sind Größendegressions- und Skaleneffekte auf der ökonomischen und Prozesseffizienz auf der technischen Seite vorteilhaft. Dieser Prozessschritt kann auch in bestehende technische Infrastruktur der Chemie- oder Ölindustrie aber auch in biotechnologische oder natürliche Ressourcen verarbeitende Industrie (z.B. Papier- Zellstoffindustrie, Holzindustrie) integriert bzw. mit diesen kombiniert werden (G. O. Kappler 2008). Um die eben genannten Vorteile einer Großanlage der Vergasung und Synthese realisieren zu können, bedarf es einer Rohstofflogistik, welche hinreichend große Mengen an kostengünstigem Rohstoff bereitstellen kann. Die dezentral bzw. regional anfallende Menge an Biomasse muss zentralisiert und somit über weite Strecken transportiert werden. Der Transport von biogenen Rohstoffen zur energetischen Nutzung über große Distanzen wird kritisch diskutiert. Der Grund liegt bei der, im Vergleich zu fossilen Brennstoffen, niedrigen Energiedichte von biogenen Brennstoffen. Für die stoffliche Nutzung von biogenen Rohstoffen gilt dieselbe Annahme, wenn man die im Gegensatz zu fossilbasierten Rohstoffen geringeren Produktausbeuten, ausgehend vom eingesetzten Rohstoff, betrachtet. Eine Erhöhung der Energie- bzw. Transportdichte des betrachteten Rohstoffs kann dem entgegenwirken. Eine höhere Transportdichte kann, durch den Einsatz unterschiedlicher Vorbehandlungstechnologien, erreicht werden. Beispiele hierfür sind die Trocknung zur Reduktion des Wassergehaltes, eine kompaktere Pressung von Strohballen oder eine Konversion zu Pyrolyseöl. Laut einer Schätzung nach Leible et al. (2007) macht die Bereitstellung von Biomasse 50% - 60% der Produktionskosten synthetischer Biokraftstoffe aus. Eine wirtschaftliche Mobilisierung des Biomassepotenzials und das Design einer effizienten Sammel- und Transportlogistik spielt somit eine entscheidende Rolle bei der Herstellung synthetischer Biokraftstoffe (Leible, Kälber, Kappler, Lange, et al. 2007). Die Forschung untersucht unter diesen Gegebenheiten verstärkt den Ansatz von dezentralen Verarbeitungskonzepten von Biomasse (Kerdoncuff 2008; Leible et al. 2010; Lange 2008; Dahmen et al. 2012; Schwaderer 2012; Leible, Kälber, Kappler, Nieke, et al. 2007; Kappler 2008).

Bei dem in dieser Arbeit betrachteten Konzept wird die Verarbeitung von Stroh im Zuge der Bioliq[®] Technologie untersucht. Dieses Verfahren kann grundlegend in zwei Prozessschritte eingeteilt werden. Der erste Verarbeitungsschritt ist die Pyrolyse. Bei dieser wird die Biomasse in das Zwischenprodukt Pyrolyseöl überführt, welches mit Teilen des aus dem Prozess stammendem Koks zu einer Suspension vermischt wird und als *Slurry* oder *BioSynCrude[®]* bezeichnet wird. Dieser **Slurry** ist lagerfähig, besitzt eine höhere Energiedichte als Stroh und weist somit Vorteile für einen Transport im Liefernetzwerk auf. Im zweiten Schritt wird dieser Slurry in einer Syntheseanlage zu BtL-Kraftstoffen weiterverarbeitet. Eine genaue Prozessbeschreibung des Bioliq[®] - Prozesses findet sich in den Arbeiten von Leible *et al.*, 2007; Kappler and Leible, 2011; Dahmen *et al.*, 2012 und Schwaderer, 2012.

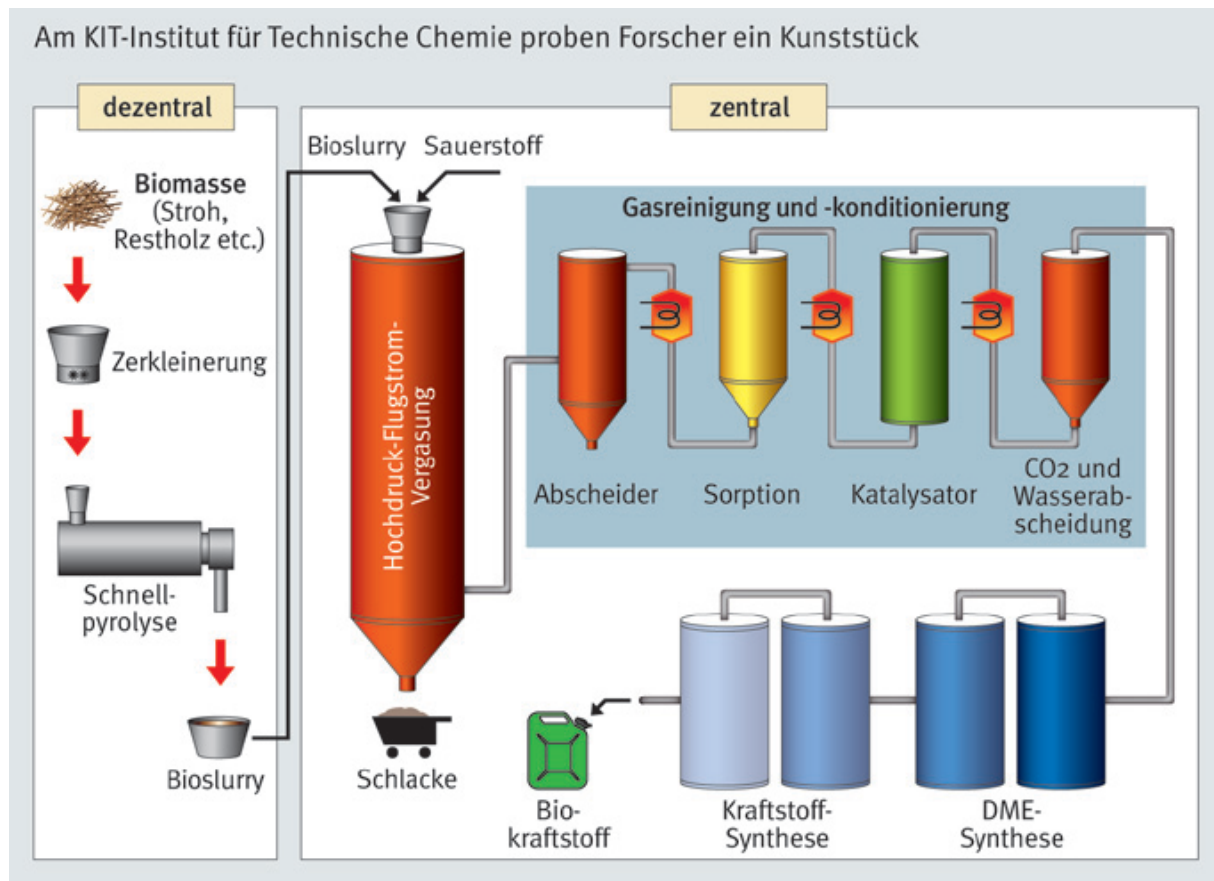


Abbildung 66: Prozessschaubild Bioliq® Verfahren (KIT 2018)

In Abbildung 66 ist das Bioliq® Verfahren dargestellt (KIT 2018). Man erkennt, dass eine dezentrale Pyrolyse von Stroh einer zentralen Synthese vorgeschaltet ist. Gefolgt von einer Hochdruck-Flugstrom-Vergasung wird das somit gewonnene Synthesegas gereinigt und für die anschließenden Syntheseschritte vorbereitet. Eine detaillierte, verfahrenstechnische Beschreibung ist der Arbeit von (Dahmen, Dinjus, and Körber 2012) zu entnehmen.

8.2.2 Gestaltungsoptionen eines Liefernetzes für Sekundärrohstoffe

Die räumliche Gestaltung dieser Prozessschritte zu vergleichen, wird ein **dezentrales** und ein **integriertes** Logistikkonzept betrachtet. In späterer Folge kann mit Hilfe eines Optimierungsmodells das kostenminimale Design ermittelt werden.

Bei der **integrierten** Version des Logistikkonzepts erfolgt der Biomassetransport direkt an eine zentrale Pyrolyse- und Syntheseanlage, welche sich beide an einem Standort befinden. In Abbildung 67 ist das zentrale/integrierte Logistikkonzept, basierend auf dem regionalen Strohaufkommen, dargestellt. Dabei werden die gemeindespezifischen Mengen an relevantem Strohpotenzial direkt einer zentralen Pyrolyse- und Syntheseanlage zugeteilt. In diesem Szenario ist zu erwarten, dass ein Biomassetransport über weite Strecken durchzuführen ist und somit höhere Kosten entstehen können. Diese Biomassebereitstellungskette ist technologieunabhängig und kann auf andere Biomassearten oder Konversionstechnologien angewandt werden.

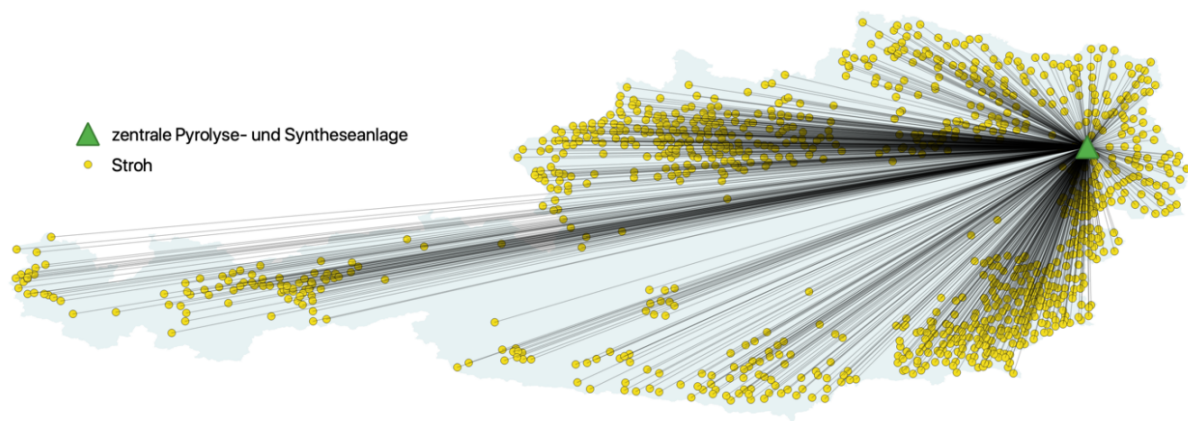


Abbildung 67: Integriertes/zentrales Logistikkonzept für Stroh (eigene Darstellung)

Abbildung 68 zeigt das Konzept eines dezentralen Logistiknetzwerks, ebenfalls basierend auf dem relevanten Strohpotenzial auf Gemeindeebene. Beim **dezentralen** Konzept wird die regional verteilte Biomasse dezentralen Pyrolyseanlagen zugeteilt. Anschließend wird der dort produzierte Slurry zu einer zentralen Syntheseanlage für die Weiterverarbeitung transportiert. Über eine solche Vorbehandlungsstufe der Pyrolyse soll ein kompakterer bzw. dichter und in Folge transportwürdigerer Zwischenstoff zu einer Kostenreduktion im Transportnetzwerk führen (vgl. (Schwaderer 2012; Kerdoncuff 2008; Leible et al. 2010; Kappler 2008; Dahmen et al. 2012; Lange 2008).

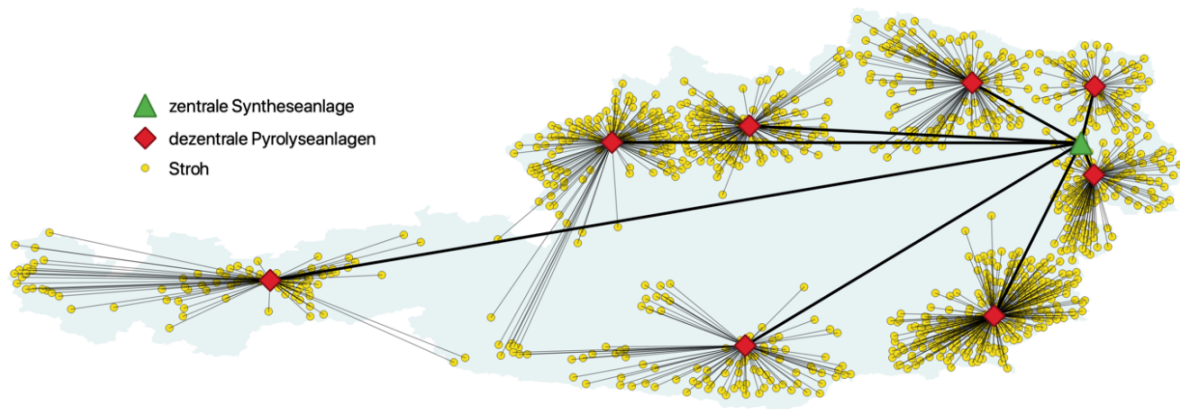


Abbildung 68: Dezentrales Logistikkonzept für Stroh mit regionalen Pyrolyseanlagen (eigene Darstellung)

In dieser Arbeit wird Reststroh der österreichischen Landwirtschaft als eingesetzter Rohstoff untersucht. Stroh ist nicht nur für das betrachtete Verfahren besonders geeignet, sondern stellt auch mengenmäßig und als leicht zugängliche Ressource eine interessante Ausgangssituation bei der Untersuchung von Logistiknetzwerken zur Verarbeitung von biogenen Rohstoffen dar.

8.3 DATENGRUNDLAGEN FÜR DIE ERMITTLUNG DES LIEFERNETZES

8.3.1 Ermittlung des relevanten Potenzials

In diesem Abschnitt wird die Berechnungsmethode des relevanten Strohpotenzials auf Gemeindeebene mit den in den vorigen Kapiteln definierten Rahmenbedingungen erklärt. Nach der Berechnungsmethodik aus dem vorigen Kapitel ergibt sich ein österreichweites theoretisches Strohpotenzial von rund 4,9 Mt Frischmasse (FM). Das entspricht rund 4,3 Mt Trockenmasse (TM) bei einem Feuchtegehalt der Frischmasse von 14 Prozent. Das technische Potenzial beläuft sich auf rund

3,9 Mt FM bzw. 3,35 Mt TM. Das schlussendlich relevante Strohpotenzial beträgt österreichweit rund 1,87 Mt FM bzw. 1,61 Mt TM. Abbildung 69 zeigt das Gesamtstrohaufkommen und die Aufteilung nach berücksichtigten Nutzungsarten. Diese sind hier: Feldrücklass, Mehrbedarf für Bioflächen und Einstreubedarf. Bezogen auf das theoretische Strohpotenzial (Gesamtaufkommen) ergeben sich anteilig rund 38% für das relevante Potenzial. Gemessen am Gesamtaufkommen ergeben sich für Mehrbedarf für Bioflächen rund 9%, für den Einstreubedarf 32% und für den Feldrücklass bei der Ernte rund 21%.

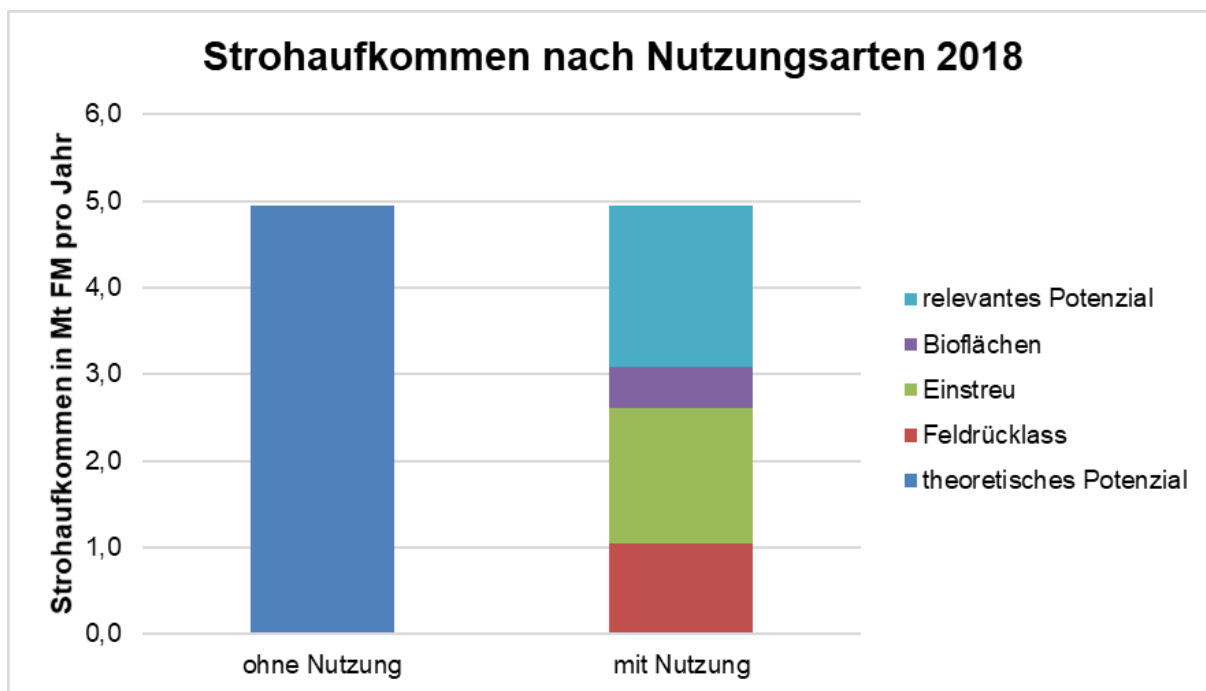


Abbildung 69: Berechnetes Strohaufkommen und Aufteilung des theoretischen Potenzials nach Nutzungsarten (Summe: 4.951.090 t Stroh FM)

Abbildung 70 zeigt die prozentuale Verteilung des technischen Potenzials auf Bundesländerebene. Rund 70% des Gesamtstrohaufkommens stammen aus Nieder- und Oberösterreich. Die Steiermark, Kärnten und das Burgenland sind zusammen für rund 28% des Strohaufkommens verantwortlich. Der Rest teilt sich zu geringen Anteilen auf Tirol, Salzburg, Vorarlberg und Wien auf.

Verteilung technisches Strohpotenzial nach Bundesländern

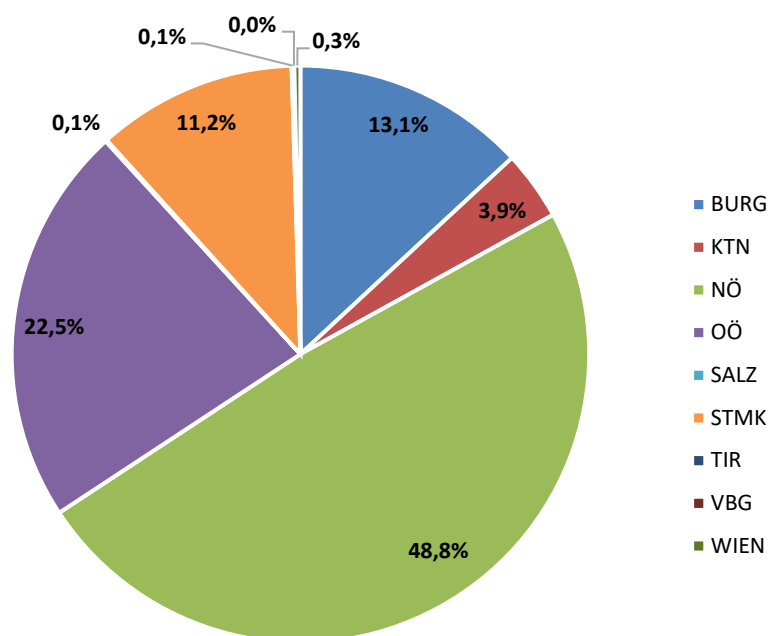


Abbildung 70: Aufteilung technisches Strohpotenzial 2018 auf Bundesländerebene (eigene Darstellung)

Knapp 80% des Strohs aus Eiweißpflanzen stammen aus Niederösterreich (~60%) und Oberösterreich (~18%). Ebenso teilen sich wiederum Niederösterreich mit knapp 60% und Oberösterreich mit rund 20% den Großteil des Aufkommens aus Getreidestroh. Eine ähnliche Verteilung liegt bei Hanf- und Hopfenstroh vor. Den Maisstrohanteil teilen sich hingegen die Steiermark und Oberösterreich jeweils mit rund 25% und erfassen in Kombination mit Niederösterreich rund 80% des Maisstrohs. Die Mengenanteile von Stroh in Tirol, Vorarlberg und Wien sind aufgrund des geringen Anteils in Abbildung 71 kaum darstellbar.

Anteil Stroharten an Gesamtstrohmenge nach Bundesländern

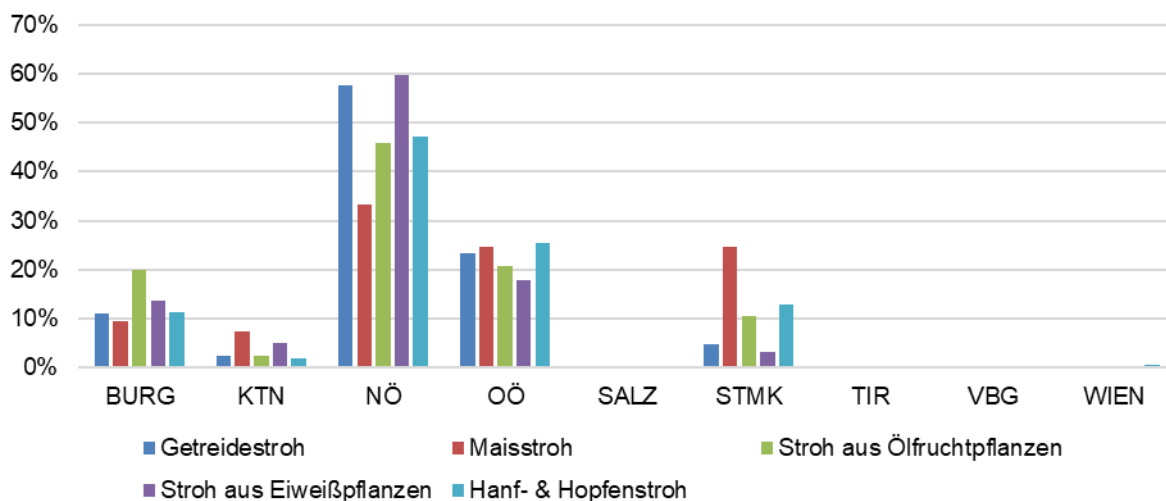


Abbildung 71: Anteil verschiedener Stroharten am Gesamtaufkommen auf Bundesländerebene (eigene Darstellung)

Moser (2012) gibt im Vergleich zu den oben genannten Mengen ein Strohpotenzial von 1,74 Mt FM pro Jahr ohne Konkurrenz bzw. knapp 1 Mt FM pro Jahr in einem Rohstoff-Konkurrenz-Szenario an. Schwaderer (2012) berechnet aufgrund unterschiedlicher Annahmen zu verfügbaren Reststrohmengen ein Mindestpotenzial von 444 Mt FM bzw. ein Maximalpotenzial von 1,32 Mt FM pro Jahr. Diese Werte beruhen auf der Annahme der Ackerfläche von 834.500 ha und ergibt eine durchschnittliche Menge von 0,5 bis 1,57 Tonnen nutzbares Strohpotenzial pro Hektar. Wenn man das relevante Strohpotenzial von 1.872.700 t und eine Ackerfläche von 814.859 ha dieser Arbeit heranzieht, ergibt sich eine Durchschnittsstrohmenge von rund 2,3 Tonnen pro Hektar.

8.4 RÄUMLICHE VERTEILUNG DES RELEVANTEN STROHPOTENZIALS

Die gemeindespezifische Verteilung des relevanten Strohpotenzials ist in Abbildung 72 dargestellt. Vergleicht man diese Mengenverteilung mit der räumliche Verteilung der Anbaufläche (Abbildung 64), ist eine deutliche Konzentration des Strohaufkommens in der nördlichen, östlichen und südöstlichen Anbauregion zu erkennen.

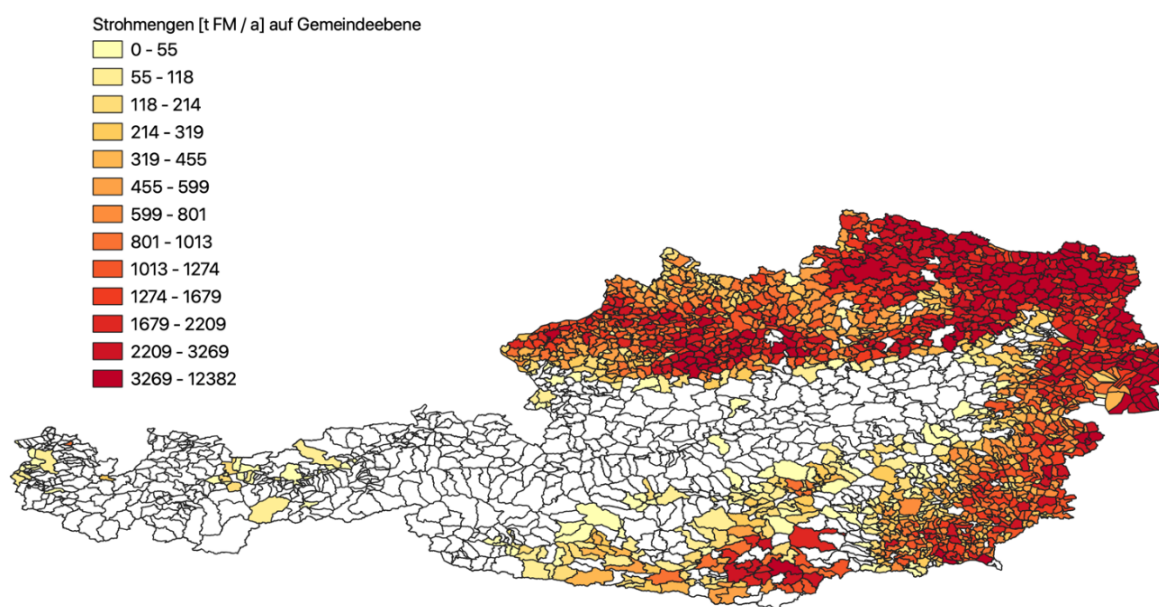


Abbildung 72: Gemeindespezifische Verteilung relevantes Strohpotenzial (eigene Darstellung)

8.5 TRANSPORTDISTANZEN UND -KAPAZITÄTEN

Die für ein Liefernetzwerk erforderlichen Distanzdaten zwischen den Knoten im Netzwerk werden mittels der GIS Software **QGIS 3.8** bestimmt. Für die Berechnung der Distanzmatrix für das zentrale Logistikkonzept werden die Distanzen zwischen den Gemeindemittelpunkten und den potenziellen Synthesestandorten ermittelt. Für das dezentrale Logistikkonzept werden die Distanzen zuerst von den Gemeindemittelpunkten (Rohstoffursprung) zu den Bezirksmittelpunkten (potenzielle Pyrolysestandorte) berechnet. Im weiteren Schritt werden die Distanzen zwischen den Bezirksmittelpunkten und den potenziellen Synthesestandorten bestimmt. Dadurch reduziert sich der Lösungsraum der potenziell in Frage kommenden Pyrolysestandorte von 1695 auf 119.

Bei den betrachteten Distanzen handelt es sich um Luftlinienabstände zwischen den Knotenpunkten, wodurch jedoch regional-geografische Gegebenheiten nicht berücksichtigt werden.

Das Transportmittel, welches in beiden Distributionsstufen des dezentralen Logistikkonzepts zum Einsatz kommt, weist unterschiedliche Kapazitäten auf. Diese wurden Schwaderer (2012) und Kerdoncuff (2008) entnommen. In beiden Fällen wird ein *LKW-Lastzug* mit einer Kapazität für den Transport von Strohballen und einem *Tankaufleger* mit einer Kapazität für flüssigen Slurry angenommen. Die Werte dafür sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Transportkapazitäten Strohballen und Slurry (Schwaderer 2012)

Kapazitäten	Strohballen	Slurry
Dichte [t/m³]	0,15	1,25
Massenzuladung [t]	14	26
Volumszuladung [m³]	96	21

8.6 KONVERSIONSFAKTOREN UND PRODUKTIONSKAPAZITÄTEN

Das in dieser Arbeit betrachtete Verfahren zur Herstellung von Biokraftstoffen (o.a. andere Chemikalien) aus Lignocellulose ist das Bioliq[®] Verfahren des Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Dieses Verfahren besteht im Wesentlichen aus zwei Schritten. Zuerst wird die Lignocellulose mittels Schnellpyrolyse zu einem Pyrolyseöl verarbeitet. Diesem werden Koksrückstände zu einem bestimmten Anteil beigemischt und man erhält zähflüssigen Slurry mit dem Namen BioSynCrude[®]. Dieser Slurry wird im zweiten Schritt mittels Vergasung und anschließendem Syntheseverfahren zu bestimmten Chemikalien synthetisiert. In Tabelle 27 sind die für die Logistik relevanten Konversionsfaktoren der einzelnen Prozessschritte angeführt. Diese werden Dahmen et al., (2012) entnommen.

Tabelle 27: Konversionsfaktoren Bioliq[®] Verfahren, bezogen auf Trockensubstanz (Dahmen et al. 2012)

Stoffkategorie	Menge	Einheit	Konversionsfaktor	Prozess
Stroh	1.609.590	t/a		
↓			0,783	Schnellpyrolyse
Bio Syncrude	1.260.309	t/a		
↓			0,266	FT Synthese
FT raw product	335.242	t/a		
↓			0,8	Synthese
mögliche Menge Produkt (Kapazität)	268.194	t/a		

In Tabelle 27 sind drei Konversionsfaktoren angeführt. Die Einheit beschreibt den mengenmäßigen Output pro Input und ist eine absolute Zahl [kg/kg; t/t]. Der erste Faktor beschreibt den Output der Pyrolyse von Stroh zu Slurry (hier Bio Syncrude genannt (Dahmen et al. 2012)) und beträgt rund 78%. Das heißt aus einer Tonne Trockensubstanz Stroh erhält man über das Bioliq[®] Verfahren 780 Kilogramm Slurry. Aus diesem Slurry wird mit einem Faktor von 0,26 die Ausbeute an Fischer-Tropsch-Rohprodukt nach der Vergasung und Reinigung beschrieben. Dieses Synthese- Rohprodukt wird im

letzten Schritt mit einer Ausbeute von 80% Endsyntheseprodukt umgesetzt (Nicolaus Dahmen et al. 2012b). Aus der Literatur ist zu entnehmen, dass es sich bei dem Endprodukt um Dimethylether (DME) handelt. Es kann jedoch eine breite Palette an Chemikalien oder anderen Kraftstoffen aus dem Synthese-Rohprodukt hergestellt werden (Kaltschmitt, Hartmann, and Hofbauer 2016; Dahmen et al. 2012; Schwaderer 2012). Über den Gesamtprozess nach dem Bioliq® Verfahren, ergibt sich ein Konversionsfaktor von rund 0,167 bezogen auf die Trockenmasse an Stroh (vgl. Prozesswege in Kapitel 5.2.3). Berücksichtigt man die Frischmasse (14w% Wasser), ergibt sich ein Faktor von Rohstoffinput (Stroh) zu Endproduktoutput (Biokraftstoff) von 0,14 bzw. werden für eine Tonne Endprodukt-Kraftstoff rund 7 Tonnen Stroh benötigt (Dahmen et al. 2012).

In dieser Arbeit wird keine Kapazitätsplanung für die Pyrolyseanlagen durchgeführt, sondern von einer fixen Kapazität ausgegangen. Dahmen et al. (2012) gibt in seiner Wirtschaftlichkeitsrechnung eine Kapazität der dezentralen Pyrolyseanlagen von 200kt Biomasse pro Jahr an. Diese Annahme wird in dieser Arbeit übernommen. Zur Bestimmung der Anzahl an benötigten Pyrolyseanlagen, wird der Wert des relevanten Strohpotenzials (Frischmasse; FM) durch die Kapazität der Pyrolyseanlagen dividiert. Tabelle 28 zeigt die Berechnung der Anlagenanzahl.

Tabelle 28: Bestimmung Anlagenkapazität dezentrale Pyrolyse

	Anzahl FP Anlagen	Kapazität pro Pyrolyseanlage [t FM/a]	Relevantes Strohpotenzial [t FM/a]
Variable; Formel	$= B / CAPp$	CAPpy	B
Wert	9,36	200.000	1.872.700

Da ein Betrieb der Anlagen nur unter Volllastung bei 8.000 Betriebsstunden jährlich angenommen, wird der Wert für die Anzahl der Pyrolyseanlagen zur dezentralen Verarbeitung auf *neun* abgerundet. Dadurch ergibt sich ein ungenutztes Strohpotenzial von 72.000 t bzw. rund 3,8%, bezogen auf das relevante Strohpotenzial.

Beim zentralen Logistikkonzept (Pyrolyse und Synthese an einem Standort) wird die Kapazität der Pyrolyseanlage dem Rohstoffangebot gleichgesetzt. In diesem Fall beträgt diese 1.872.700 t FM Stroh.

Im Falle des zentralen als auch des dezentralen Logistikkonzepts kommt nur eine einzige *Syntheseanlage* zum Einsatz. Die Kapazität dieser Syntheseanlage wird durch die produzierte Menge an Slurry bestimmt. Der Gesamtoutput der Pyrolyse beträgt rund 1,26 Mio. Tonnen und stellt somit die Kapazität der Syntheseanlage dar. Die Kapazitäten der Prozesskette sind nicht nur für die Bestimmung der Anzahl von Anlagen relevant, sondern beeinflussen auch die Kosten der Anlagen.

8.7 KOSTENSCHÄTZUNGEN

Es wird zum besseren Verständnis zwischen **Errichtungskosten** bzw. **Investitionen** und **Betriebskosten** unterschieden. Neben notwendigen Investitionen für die reine Errichtung einer technischen Anlage (Pyrolyse oder Synthese) fallen noch fixe und variable Kosten an. Dabei werden **investitionsabhängige (fixe)** und **betriebsmittelverbrauchsabhängige (variable)** Kosten unterschieden.

8.7.1 Investitionsschätzung

Ein grundlegendes Element in der Planung von strategischen Wertschöpfungsnetzwerken stellt die Schätzung der Investitionshöhe der benötigten Anlagenkomponenten dar. Da sich viele Prozessschritte zur stofflichen Umwandlung von nachwachsenden Rohstoffen jedoch erst in Labor- oder Pilotmaßstab befinden, ist eine exakte Erfassung der Kosten erschwert. Eine Einschätzung bedarf eines hohen zeitlichen und finanziellen Aufwands und erfordert darüber hinaus eine detaillierte Dimensionierung aller Apparate der gesamten technischen Anlage. Da die Kapazität jedoch Einfluss auf die Höhe der Investition hat, wird häufig mittels Größendegressionsrechnung auf diesen Zusammenhang eingegangen. Unter Betrachtung einer bekannten Ausgangsinvestition I_0 , einer Ausgangskapazität C_0 , eines Größendegressionsfaktors r und einer Referenzkapazität C_1 , kann mittels folgender Formel eine Investition geschätzt werden (Kerdoncuff 2008; Schwaderer 2012):

$$I_1 = I_0 * \left(\frac{C_1}{C_0} \right)^r \quad (3.1)$$

Mit der Formel 3.1 kann eine neue Investition I_1 unter Berücksichtigung der zugehörigen Kapazität C_1 geschätzt werden, welche um den Faktor r unterproportional zur Kapazitätsänderung zunimmt. Größendegressionsfaktoren für thermochemische Umwandlungsprozesse nehmen je nach Komponente/Apparat unterschiedliche Werte an. Für diese Arbeit wurde zur Vereinfachung ein Größendegressionswert von 0,7 für die gesamte Anlage angenommen (Kappler 2008; Schwaderer 2012; Kerdoncuff 2008). Aus Gründen der Vereinfachung und aufgrund der unter Unsicherheit angenommenen Werte in der Literatur ist die Investitionssumme inklusive der direkten und indirekten Nebenpositionen zu verstehen. Eine Auflistung möglicher direkter und indirekter Nebenpositionen einer Anlageninvestition sind in Trippe et al., (2013), Schwaderer, (2012) und Kerdoncuff, (2008) zu finden. Daher wird in dieser Arbeit der über Formel (3.1) geschätzte Wert als Gesamtinvestition der Anlagen verstanden.

Mit oben beschriebener Methode der Größendegression lässt sich die Investition für das zentrale Logistikkonzept abbilden. Ausgehend von einer Kapazität und Investition der Referenzanlage von ca. 1 Mio. Tonnen Stroh FM wird über Formel (3.1) die Investitionshöhe für die Pyrolyse- und Syntheseanlage, mit einer Kapazität zur Verarbeitung des relevanten Strohpotenzials von ca. 1,87 Mio. Tonnen Stroh FM, geschätzt.

Für das dezentrale Logistikkonzept werden mehrere Pyrolyseanlagen mit einer Kapazität von 200kt eingesetzt. Dafür wurden aus Kerdoncuff (2008) Werte für Investitionen in Abhängigkeit von Anzahl bzw. Kapazität der Pyrolyseanlagen entnommen. In Kerdoncuff (2008) wird von 1 Mio. Tonnen Biomasse und einer Investition von 95,26 Mio. € ausgegangen.

Mit 1,87 Mio. Tonnen FM als relevantes Strohpotenzial und 200kt als Kapazität der dezentralen Pyrolyseanlagen ergibt sich eine geschätzte Investition für die Pyrolyseanlagen von 195,64 Mio. Euro.

8.7.2 Investitionsabhängige Fixkosten

Abschreibungen, Zinsen, Wartung und Instandhaltung, Steuern und Versicherung sowie Löhne können nach Schwaderer (2012) in Abhängigkeit von der Investitionssumme geschätzt werden. Die Lohnkosten können aufgrund des geringen prozentualen Anteils an der Gesamtinvestition in linearem Zusammenhang mit der Investitionssumme hinreichend geschätzt werden. In Tabelle 29: Investitionsabhängige Kosten in Prozent der Gesamtinvestition, (Schwaderer 2012) sind die einzelnen Kostenpositionen und deren Anteile (%) an der Gesamtinvestition angegeben.

Tabelle 29: Investitionsabhängige Kosten in Prozent der Gesamtinvestition, (Schwaderer 2012)

Kostenart	% der Gesamtinvestition (aus Kapitel 3.3.1)
Abschreibungen	5,0%
Zinsen	1%*
Wartung & Instandhaltung	4%
Steuern & Versicherung	2%
Löhne	0,5%
Sonstige**	3%
Gesamt	15,5%

* Abgeändert von 4% auf 1%.

** Ergänzung, um auf 15,5% aus Schwaderer (2012) zu kommen. Vgl. Kerdoncuff (2008) anteilige investitionsabh. Kosten ~16,5%.

Um die fixen Kosten einer Anlage zu berechnen, wird der Prozentsatz aus Tabelle 29 mit dem Wert der Gesamtinvestition multipliziert. Dabei kann zwischen Fixkosten für die Synthese- und Pyrolyseanlagen unterschieden werden.

8.7.3 Betriebsmittelverbrauchsabhängige Kosten

Zu den betriebsmittelverbrauchsabhängigen (variablen) Kosten zählen die Bereitstellungskosten bzw. Rohstoffkosten, die Transportkosten für den Rohstoff und Zwischenprodukte sowie variable Betriebskosten der Pyrolyse- und Syntheseanlagen.

8.7.4 Rohstoffkosten

Als Rohstoffkosten von Stroh werden jene Kosten definiert, die durch die Bereitstellung von Stroh in transportierbarer Form anfallen. Tabelle 30 zeigt wie Schwaderer (2012) die Kosten für die Bereitstellung von Stroh als Quaderballen angenommen hat.

Tabelle 30: Rohstoff- /Stroherfassungskosten (Schwaderer 2012)

Kostenart	Kosten [€ / t TM]
Abschreibungen & Zinsen	14,3 – 20,9
Personalkosten	4,5 – 9,6
Kraftstoffkosten	2,2 – 5,5
Sonstige Kosten	11,2 - 19,6
Anteilige Düngekosten	11,0
Kosten für Abdeckung	2,0
Erfassungskosten	47,4 – 67,4

Für das unten angewandte Optimierungsmodell (Kapitel 9) werden Rohstoffeffassungskosten in Höhe von 62 € pro Tonne TM frei Gemeindemittelpunkt angenommen.

8.7.5 Transportkosten

Die Transportkosten setzen sich aus zwei Komponenten zusammen, einem fixen und einem variablen Teilkostenbetrag. Beide sind jedoch von der zu transportierenden Menge abhängig. In Tabelle 32 sind die in dieser Arbeit angenommenen Werte für den Stroh- und Slurrytransport dargestellt. Darüber

hinaus sind weitere transportrelevante Parameter wie Dichte des Transportguts und Zuladung in Kubikmeter und Tonnage angegeben.

Tabelle 31: Fixe und variable Transportkosten Stroh und Slurry

	Reststroh Wassergehalt 14%	Slurry
LKW	Lastzug	Tankauflieger
Dichte [t_{FM} / m^3]	0,15	1,25
Zuladung [t_{FM}]	14,4	26
Zuladung [m^3]	96	21
Fix [$€ / t_{FM}$]	13,62	2,64
Variabel [$€ / t_{FM} * km$]	0,16	0,09

Um die Transportgesamtkosten zu erhalten, werden die Werte der fixen und variablen Teilkostenbeträge mit der jeweiligen im System transportierten Menge, die über eine definierte Distanz transportiert wird, multipliziert.

8.7.6 Variable Pyrolysekosten

Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit anderen Arbeiten (Moser 2012; Schwaderer 2012; Kerdoncuff 2008) werden in dieser Arbeit Kosten für elektrische Energie als variable Kosten der Pyrolyseanlagen betrachtet. Dafür wird ein linearer Zusammenhang der Stromkosten mit der Kapazität der Pyrolyseanlagen angenommen. Kerdoncuff (2008) geht von Kosten für elektrische Energie bei der Pyrolyse von 8,13 Mio. € aus. Dabei wird ein Strompreis von 7,6 ct/kWh und eine Verarbeitungskapazität von insgesamt 1 Mio. Tonnen Frischmasse bei 8000 Betriebsstunden pro Jahr angegeben. Durch Division der Stromkosten durch den Strompreis erhält man die Höhe des elektrischen Energiebedarfs für die dezentrale Verarbeitung von insgesamt 1 Mio. Tonnen Frischmasse. Mittels linearer Regression ergeben sich für das relevante Strohpotenzial von rund 1,87 Mio. Tonnen FM Stromkosten in Höhe von rund 15,2 Mio. € bzw. 1,68 Mio. € pro Pyrolyseanlage bei einer Kapazität von 200kt pro Jahr.

Es wird mit variablen Pyrolysekosten von 17,7 Mio. € für neun Anlagen bzw. 1,96 Mio. € pro Pyrolyseanlage gerechnet. Bei einer Kapazität von 200kt pro Jahr ergeben sich variable Kosten von 9,81 € pro Tonne Stroh FM. Insgesamt ergeben sich variable Pyrolysekosten, bei dezentraler Anordnung, von 18,21 € pro Tonne Stroh FM. Im Vergleich gibt (Kerdoncuff 2008) variable Pyrolysekosten von 9,31 €/t Stroh bei einer Anlagenkapazität von 100kt pro Jahr an, was annähernd der Hälfte der Kosten bei halber Kapazität entspricht.

Beim zentralen Logistikkonzept werden variable Pyrolysekosten von 0,89 € pro Tonne Stroh FM angesetzt. Ebenfalls im Vergleich mit (Kerdoncuff 2008) rund das Zweifache bei doppelter Verarbeitungskapazität.

8.7.7 Variable Synthesekosten

Zu den variablen Synthesekosten zählen die Kosten für Hilfsmittel und Reststoffentsorgung. Zur Berechnung der Mengen an Hilfs- und Reststoffe werden die Massenstromverhältnisse aus Schwaderer (2012) entnommen und sind dem Anhang zu entnehmen. In dieser Arbeit werden Frisch- und Abwasserkosten, Kosten und Erlöse durch elektrische Energie und Kosten der Schlackenentsorgung miteinbezogen. Die Preise bzw. Kosten für Hilfsmittel und Reststoffe wurden ebenfalls aus Schwaderer (2012) übernommen und sind im Anhang angegeben.

Als Inputgröße für die Berechnung der Kosten wird das relevante Strohpotenzial bzw. die daraus produzierte Menge an Slurry verwendet. Bei der Herstellung von BtL-Kraftstoffen entsteht ein Stromüberschuss in der Syntheseanlage. Dieser Überschuss wird beim zentralen Logistikkonzept zum Betrieb der Pyrolyseanlage verwendet, wodurch geringere Erlöse durch den Stromverkauf resultieren. Beim dezentralen Konzept ist dieser Überschuss um den Bedarf an elektrischer Energie der dezentralen Pyrolyseanlagen größer und Strom muss für die Pyrolyse zugekauft werden. Ausgehend von den Angaben aus Kerdoncuff (2008) wird ein linearer Zusammenhang des finanziellen Überschusses mit der Kapazität angenommen und über Regression der Erlös durch den Absatz von elektrischer Energie aus der Synthese berechnet. Es ergeben sich nach obiger Definition variable Synthesekosten von -6,05 € pro Tonne Slurry im zentralen bzw. -17,7 € pro Tonne Slurry im dezentralen Logistikkonzept. Die genaue Kostenaufteilung ist in Tabelle 32 dargestellt.

Tabelle 32: Kostenstruktur zentrales/dezentrales Logistikkonzept für Sekundärrohstoff Stroh, eigene Berechnung nach (Kerdoncuff, 2008; Moser, 2012; Schwaderer, 2012)

Größendegressionsfaktor	0,7	Referenzanlage (Kerdoncuff 2008, Moser 2012)	Logistikkonzept Zentrale Pyrolyse (1)	Logistikkonzept Dezentrale Pyrolyse (9)
INVESTITION				
Kapazität Pyrolyseanlage	[t FM / a]	1.000.000	1.871.616	200.000
Kapazität Syntheseanlage	[t Slurry / a]	680.000	1.255.480	1.255.480
Kapazität Pyrolyseanlage	MWth	550	1.029	110
Kapazität Syntheseanlage	MWth	500	923	923
Investition Synthese	[M€]	401,49	616,72	616,72
Investition Pyrolyse	[M€]	95,26	147,73	195,64
FIXKOSTEN				
Investitionsabh. Kosten	[M€ / a]	81,97	118,49	125,92
davon Synthese	[M€ / a]	66,25	95,59	95,59
davon Pyrolyse (gesamt)	[M€ / a]	15,72	22,90	30,32
davon Pyrolyse (je Anlage)	[M€ / a]	15,72	22,90	3,37
BETRIEBSMITTELVERBR. ABH. KOSTEN				
Frisch- Abwasserkosten	[M€ / a]	2,73	5,04	5,04
Stromkosten Pyrolyse	[M€ / a]	0,00	0,00	14,63
je Anlage	[M€ / a]	0,00	0,00	1,63
Schlackenentsorgung	[M€ / a]	0,14	0,26	0,26
Gesamterlöse elektr. Energie	[M€ / a]	-9,57	-12,89	-27,53
variable Kosten Synthese	[€/t Slurry]	4,96	-6,05	-17,70
variable Kosten Pyrolyse	[€/t Stroh]	0,48	0,89	18,21

9 MODELLSTRUKTUR ZUR STANDORTPLANUNG

In diesem Abschnitt wird die grundlegende Modellstruktur zur Lösung eines Standortproblems beschrieben. Die dem Logistikmodell dieser Arbeit zugrunde liegende Struktur orientiert sich am Aufbau eines **Warehouse (Facility) – Location – Problems (FLP)**. In dieser Modellformulierung werden nicht nur variable Transportkosten betrachtet, sondern es fließen auch Fixkosten mit ein, die bei Errichtung eines Standorts anfallen. Diese Standortfixkosten sind in dieser Arbeit die Kosten der Erstellung von Konversionsanlagen. Bei diesem Modellansatz wird also die Summe von fixen und variablen Kosten bei der Versorgung von bestimmten Absatzgebieten betrachtet. Als Basis dient eine Zielfunktion zur Minimierung der Gesamtkosten (Mattfeld and Vahrenkamp 2014). Diese ergeben sich aus der Summe von **variablen** und **fixen** Kosten. Je nach Prozesskette, die im Logistikmodell formuliert wird, setzen sich dabei die fixen und variablen Kosten wieder aus verschiedenen Teilkostenbeträgen zusammen.

Abbildung 73 zeigt die modelltypische Struktur eines 2-stufigen FLP. Diese Struktur bildet in diesem Fall nur das **dezentrale** Logistikkonzept ab, da eine entkoppelte/dezentrale Vorbehandlung der Pyrolyse und ein anschließender Slurry-Transport zur Syntheseanlage stattfindet. Ausgehend vom Strohangebot wird der Rohstoff dieser zum jeweilig optimalen Pyrolysestandort transportiert. Danach wird der Slurry zur Syntheseanlage weitertransportiert. Das Modell soll aus einer Menge an möglichen Standorten die optimalen Standorte der Pyrolyseanlage(n) auswählen, damit die Transportaufwendungen minimal sind. Der Standort der **zentralen** Syntheseanlage soll ebenfalls aus einer Menge an möglichen Standorten optimal gewählt werden, sodass ein kostenminimales Liefernetzwerk entsteht.

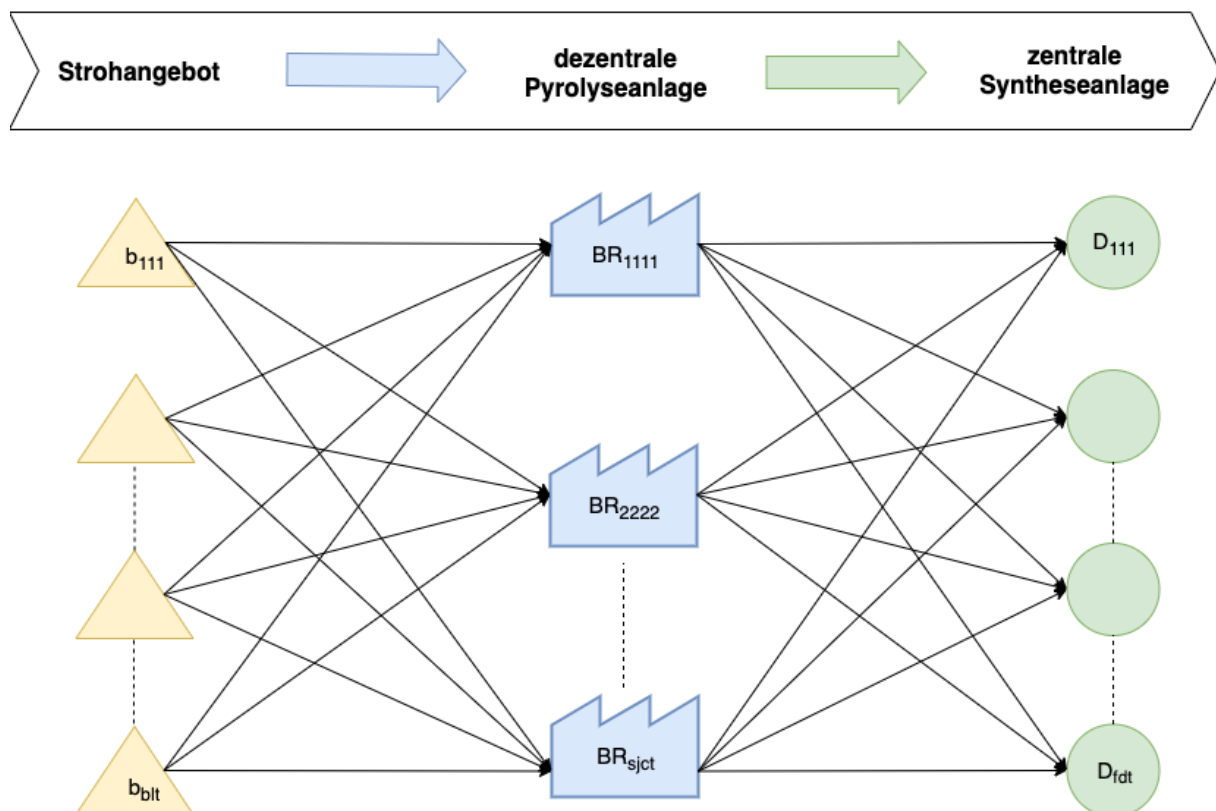


Abbildung 73: Modellstruktur Logistiknetzwerk, 2-stufiges Warehouse Location Problem (eigene Darstellung)

Im **zentralen** oder **integrierten** Logistikkonzept entsteht durch die direkte Zuordnung der Biomassequelle zu einer zentralen Verarbeitungsanlage nur eine Distributionsebene. Diese umfasst den Strohtransport vom Anfallsort der Gemeindemittelpunkte zur zentralen Pyrolyse- und Syntheseanlage.

9.1 MODELL ZUM LIEFERNETZWERKDESIGN STROH

Basierend auf der vorgestellten Modellstruktur und der darin auftretenden Stoffströme wird nun ein 2-stufiges Warehouse Location Problem zur Standortplanung für die BtL- Herstellung aus Stroh formuliert. Auf die Darstellung der exakten Modellformulierung wird verzichtet. Stattdessen erfolgt eine ausführliche verbale Beschreibung von Parameter, Entscheidungsvariablen, Zielfunktion und Nebenbedingungen. Die verwendeten Indizes, Parameter und Variablen sind im Anhang angeführt. Die Zielfunktion minimiert die Gesamtkosten, wobei sich diese schrittweise aus den folgenden Teilkostenbeträgen zusammensetzen:

- Rohstoffkosten Stroh
- Strohtransportkosten
- Fixkosten je tatsächlich errichteter Pyrolyseanlage
- Variable Kosten je Pyrolyseanlage (mengenabhängig)
- Transportkosten Slurry
- Fixkosten der errichteten Syntheseanlage und
- Variable Kosten Synthese (mengenabhängig)

Die Rohstoffkosten für Stroh entstehen durch Ankauf der Biomasse. Danach folgen die Transportkosten für Stroh von Lieferant h an Standort i . Die Errichtung einer Pyrolyseanlage ist mit investitionsabhängigen Fixkosten und mengenabhängigen variablen Kosten verbunden. Dann folgen die Transportkosten für Slurry von Standort i an Standort j . Aus der Gesamtmenge an zur Verfügung stehenden Biomasse und produzierter Slurrymenge ergibt sich die Kapazität der Syntheseanlage, welche ebenfalls mit investitionsabhängigen Fix- und variablen Kosten verbunden ist.

Die folgenden Nebenbedingungen müssen eingehalten werden:

- Es darf nicht mehr Rohstoff vom Ursprungsort abtransportiert werden, als dort zur Verfügung steht.
- Die von Standort h an Standort i gelieferte Menge soll der geplanten Kapazität der Pyrolyseanlagen entsprechen.
- Die gesamte produzierte Menge an Slurry am Standort i muss zur Synthese transportiert werden.
- Ein Transport von Rohstoff bzw. Slurry ist nur zu einer tatsächlich errichteten Anlage möglich.

9.2 BASISSZENARIO

Zur Lösung des Optimierungsmodells wurde die Solverbibliothek *Xpress* des Softwareunternehmens FICO und ein Rechner mit einem Intel Core i7-7700 HQ Prozessor mit 2.8 GHz und einem 32GB Arbeitsspeicher verwendet. Die Berechnung der Lösung mit einer Abweichung von 0,67% vom optimalen Zielfunktionswert wurde nach 1,5 Stunden beendet.

9.2.1 Standorte

Die Lösung des Optimierungsmodells ergibt die im Anhang angeführten Standorte zur dezentralen Vorbehandlung des Rohstoffs. In Abbildung 74 und Abbildung 75 sind die realisierten Standorte des dezentralen Logistikmodells kartografisch dargestellt. Die Linien stellen die Rohstofflieferanten auf Gemeindeebene dar. Die Lösung bzw. die Verteilung der dezentralen Pyrolyseanlagen orientiert sich erwartungsgemäß stark am Rohstoffangebot (siehe Abbildung 74).

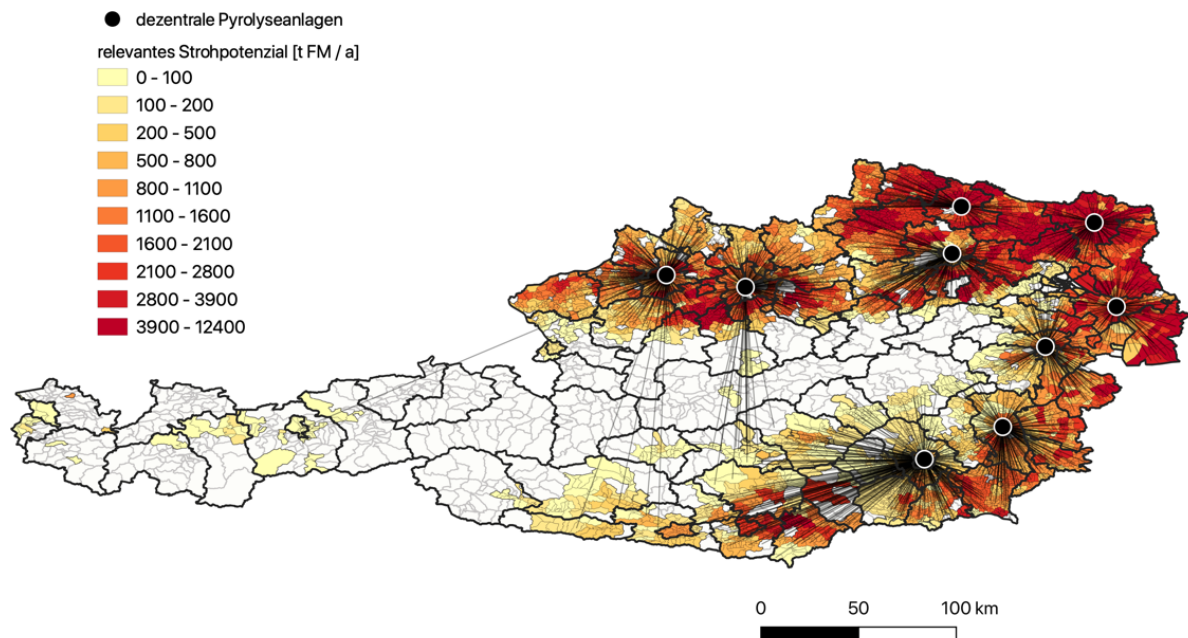


Abbildung 74: Dezentrale Pyrolysestandorte; Basisszenario (eigene Darstellung)

In Abbildung 75 sind die Standorte der dezentralen Pyrolyse- und der zentralen Syntheseanlage eingezeichnet.

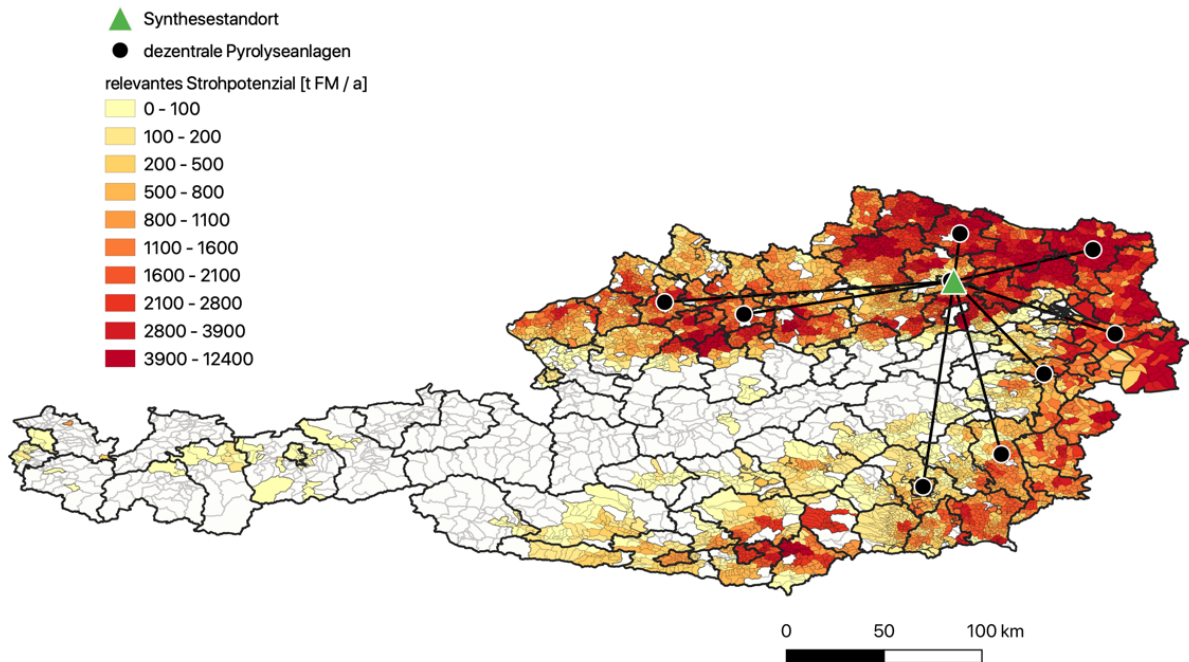


Abbildung 75: Pyrolyse- und Synthesestandorte; Lösung dezentrales Logistikkonzept; Basisszenario (eigene Darstellung)

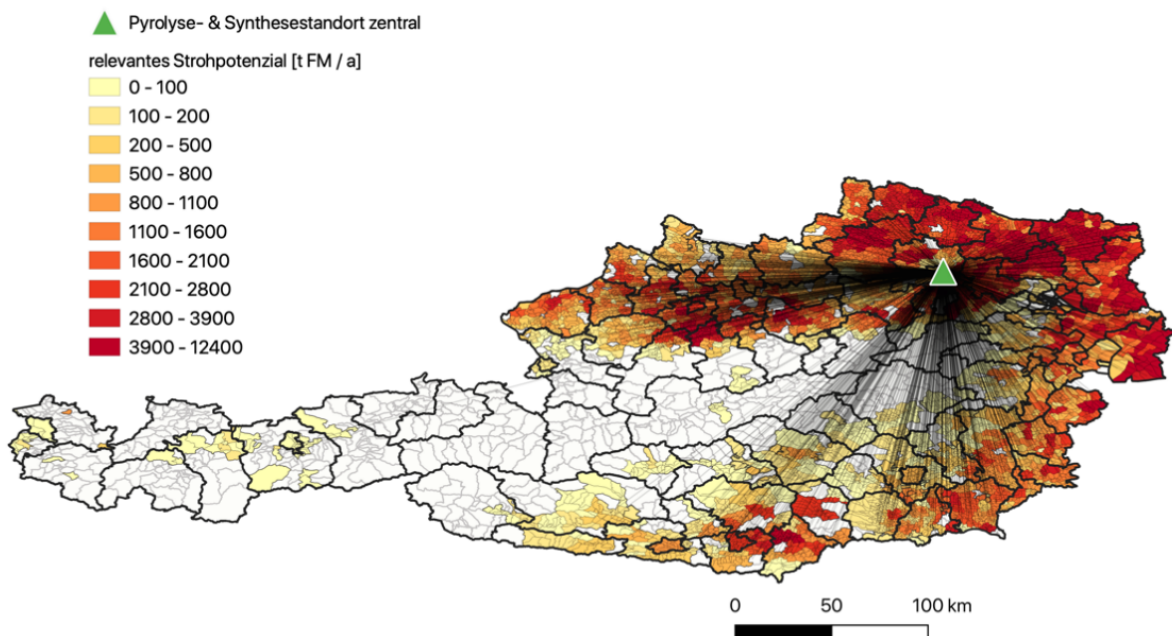


Abbildung 76: Zentraler Pyrolyse- und Synthesestandort; Lösung zentrales Logistikkonzept; Basisszenario (eigene Darstellung)

Im zentralen Logistikkonzept ergibt sich als Ergebnis der Modellrechnung ebenfalls der Standort Metadynea im Bezirk Krems. In Abbildung 76 ist die Lösung und das Lieferschema des zentralen Konzepts dargestellt.

9.2.2 Gesamtkosten BtL - Logistiknetzwerk

Die Modellrechnungen des Basisszenarios ergeben Gesamtkosten (Verarbeitungskosten + Investitionen) von 1.072 Mio. € für das dezentrale bzw. 998 Mio. € für das zentrale Logistikkonzept.

Bei diesen Ergebnissen sind die Erlöse durch den Verkauf überschüssiger elektrischer Energie aus der Syntheseanlage bereits mit eingerechnet. Diese betragen beim dezentralen Konzept rund 26 Mio. € und beim zentralen (integrierten) Konzept rund 17 Mio. €. Diese Erlöse reduzieren sich um die betriebsmittelverbrauchsabhängigen Kosten der Synthese und sind in den variablen Synthesekosten der beiden untersuchten Konzepte miteingerechnet. Bei einer verarbeiteten Slurrymenge von 1.207.440 t ergeben sich 21,4 Mio. € beim dezentralen bzw. -11,89 Mio. € beim zentralen Konzept. Die einmaligen Investitionen zur Errichtung der technischen Infrastruktur (Pyrolyse- und Syntheseanlagen) betragen rund 795 Mio. € im dezentralen bzw. 743 Mio. € (~52 Mio. €; -6,5%) im zentralen Logistikkonzept.

Abbildung 77 stellt die Gesamtkosten der berechneten Logistiknetzwerke gegenüber. Beide Logistikkonzepte weisen die gleichen Rohstoff-, Syntheseerrichtungs- und Synthesefixkosten auf. Im dezentralen Konzept fallen in der zweiten Distributionsstufe Kosten für den Slurrytransport in Höhe von rund 13 Mio. € an. Im dezentralen Netzwerk fallen Pyrolysefixkosten von rund 30 Mio. € an. Im zentralen Konzept betragen die Pyrolysefixkosten rund 22 Mio. € und fallen somit im Vergleich um rund ein Viertel (-26,5%) geringer aus. Dies ist auf Skaleneffekte bzw. Größendegression der Kosten bei Anlagen mit höherer Kapazität zurückzuführen. Der größte Kostenunterschied ist bei den variablen Pyrolysekosten zu erkennen. Im dezentralen Konzept betragen diese rund 33 Mio. €, was rund dem 20-Fachen der Kosten der zentralen Lösung bei 1,6 Mio. € entspricht (+1920%).

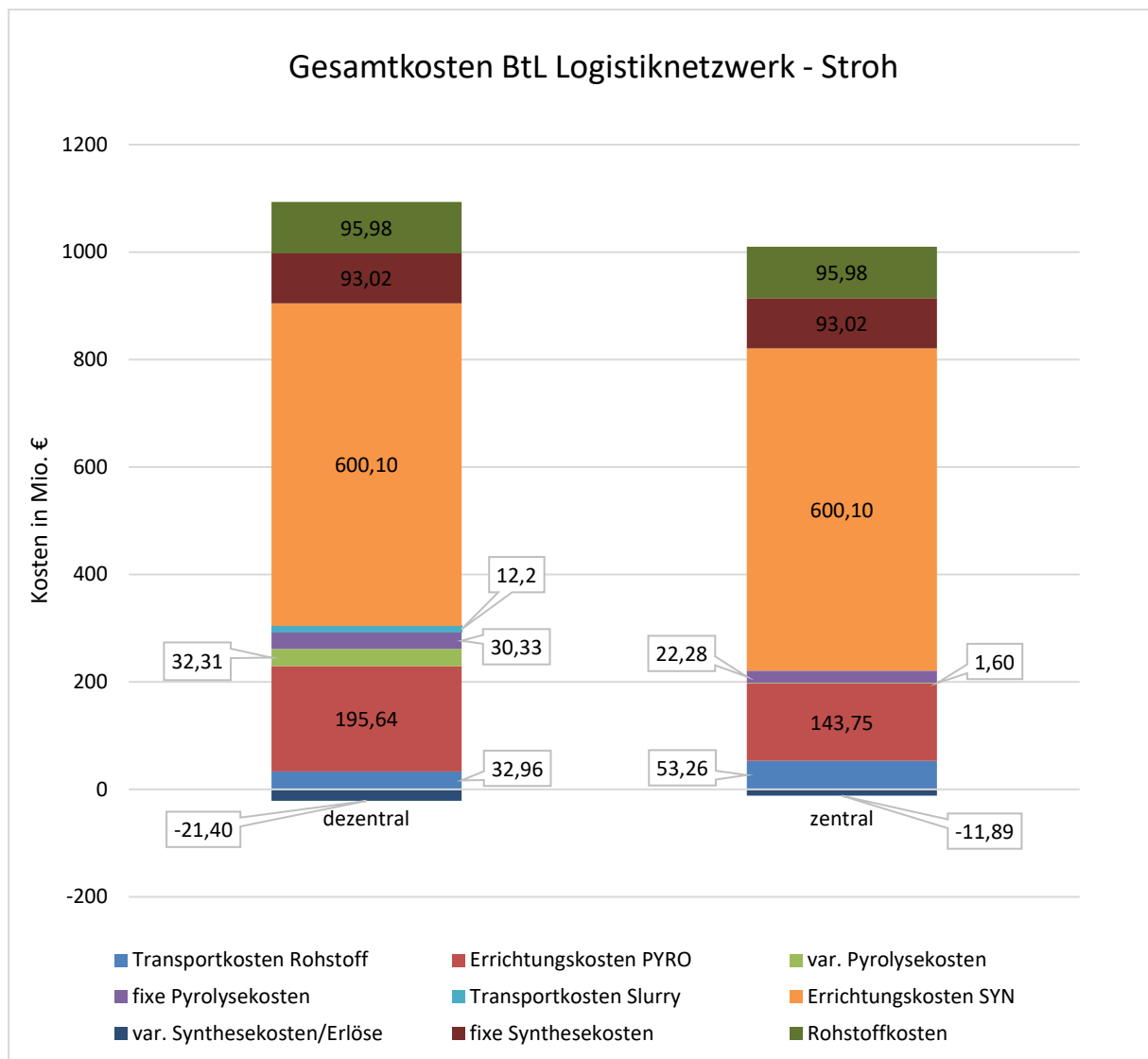


Abbildung 77: Gesamtkosten BtL Logistiknetzwerk Stroh (eigene Darstellung)

Die dezentrale Lösung weist einen Kostenvorteil beim Rohstofftransport auf. Die Kosten liegen hier beim dezentralen Konzept bei rund 33 Mio. € und sind somit um 20,3 Mio. € (-38%) geringer als bei einem direkten Transport des Rohstoffs zu einer zentralen Pyrolyse – Syntheseeinheit. Jedoch ergeben sich beim dezentralen Konzept Kosten für den Slurrytransport von den Pyrolyseanlagen zur zentralen Syntheseeinheit, welcher rund 12 Mio. € beträgt. Somit ergeben sich Transportgesamtkosten von 45 Mio. € beim dezentralen Konzept, welche verglichen zu den Transportgesamtkosten des zentralen Konzepts somit um rund 15% geringer ausfallen. Abbildung 78 und Abbildung 79 zeigen die prozentuale Aufteilung der Gesamtkosten der beiden Logistikkonzepte.

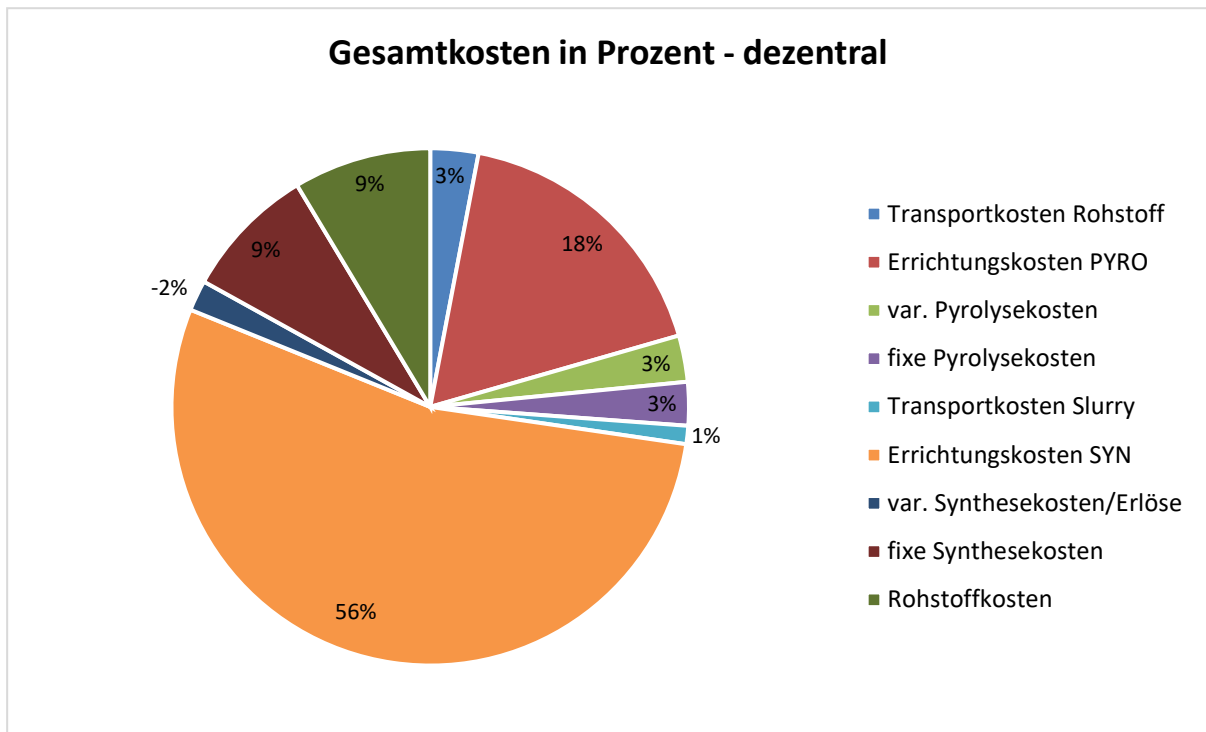


Abbildung 78: Gesamtkosten in Prozent - dezentral (Summe 1072 Mio. €) (eigene Darstellung)

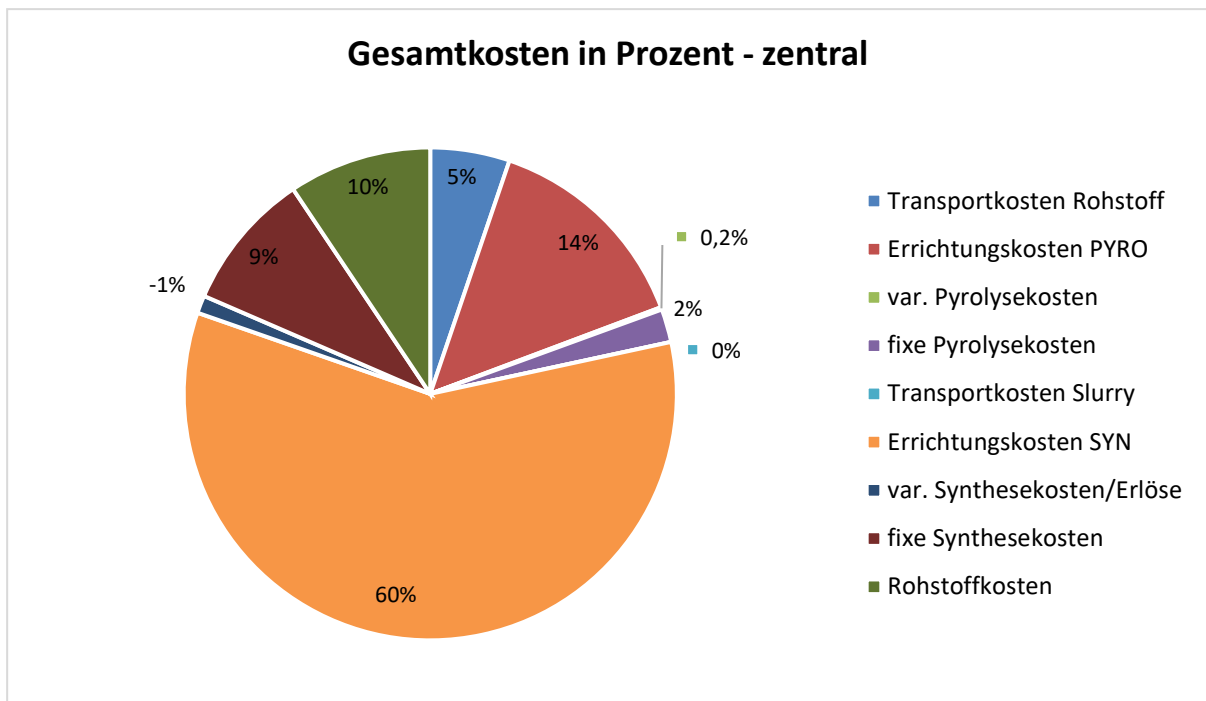


Abbildung 79: Gesamtkosten in Prozent - zentral (Summe 998 Mio. €) (eigene Darstellung)

9.2.3 Verarbeitungskosten

Zur Berechnung der Verarbeitungskosten werden die Transportkosten (Rohstoff & Slurry), variablen und fixen Pyrolyse- und Synthesekosten sowie die Rohstoffkosten berücksichtigt. Die Investitionen der Anlagen sind ausgegliedert. Für die dezentrale Lösung ergeben sich in Summe Verarbeitungskosten von 276,5 Mio. € und bei der zentralen Lösung in Summe 254,2 Mio. €. Bezieht man die Summe der hier genannten Kosten auf die verarbeitete Menge von 1,8 Mio. Tonnen Stroh, erhält man

Verarbeitungskosten von rund 154 € im dezentralen bzw. rund 141 € pro Tonne Stroh FM im zentralen Logistikkonzept.

In Abbildung 80 sind die Verarbeitungskosten und deren Kostenstruktur dargestellt. Die Rohstoff- und fixen Synthesekosten nehmen in beiden Logistikkonzepten den gleichen absoluten Wert an. Abbildung 81 und Abbildung 82 zeigen die prozentuale Aufteilung der Verarbeitungskosten der beiden Logistikkonzepte. Den Kreisdiagrammen ist zu entnehmen, dass deren relativer Anteil an den Verarbeitungskosten ebenfalls ähnliche Werte annimmt.

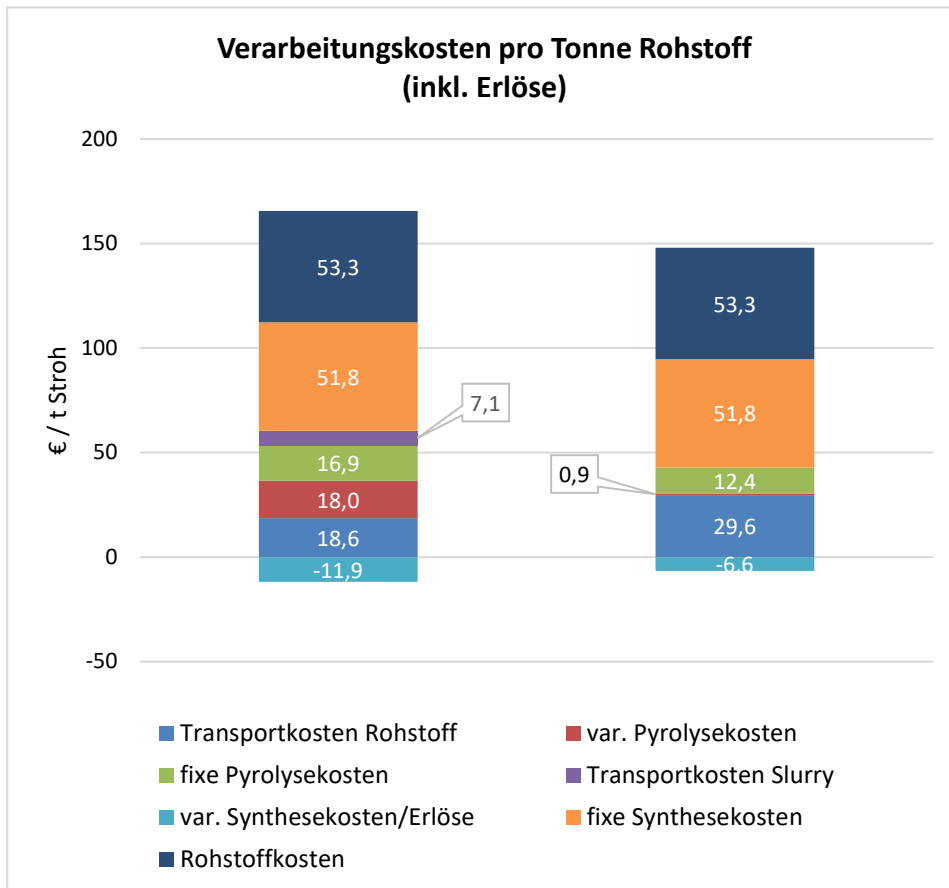


Abbildung 80: Verarbeitungskosten pro Tonne Stroh - Lösung dezentral (links) und zentral (rechts) (eigene Darstellung)

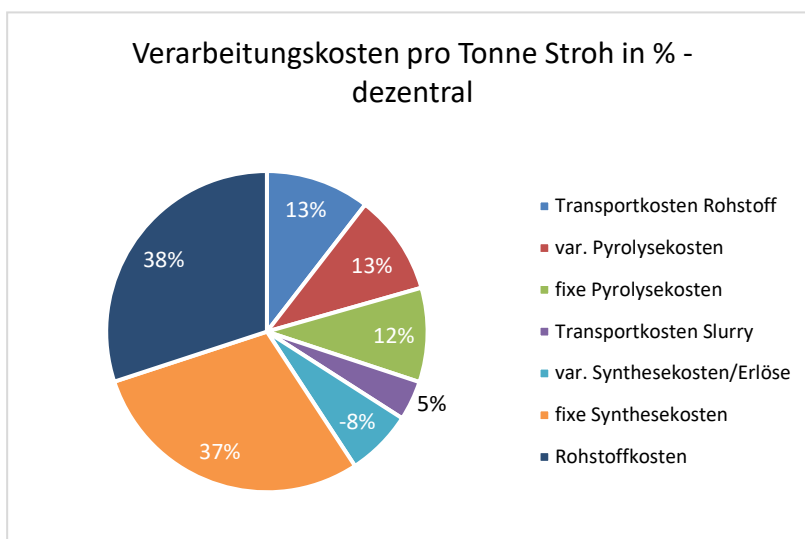


Abbildung 81: Verarbeitungskosten pro Tonne Stroh in Prozent - dezentral (Summe 154. €/t Stroh) (eigene Darstellung)

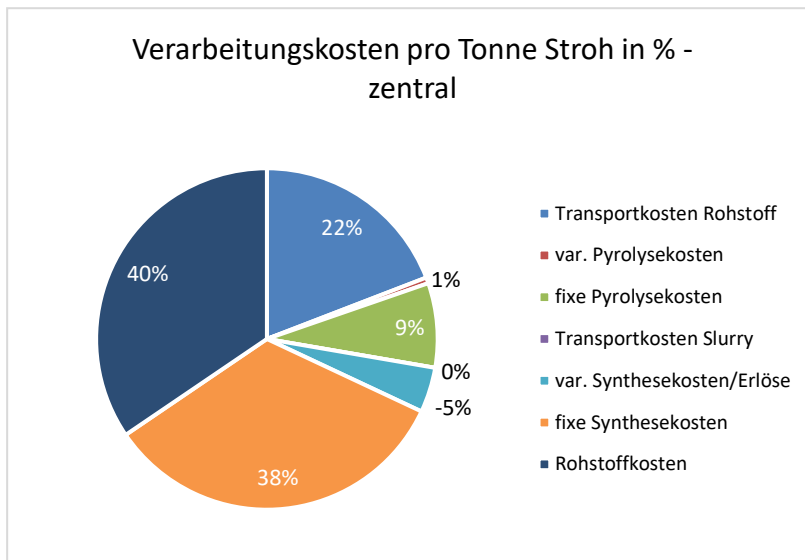


Abbildung 82: Verarbeitungskosten pro Tonne Stroh in Prozent - zentral (Summe 141 €/t Stroh) (eigene Darstellung)

In beiden Logistikkonzepten ergeben die Rohstoffkosten und die Synthesefixkosten den Großteil der Verarbeitungskosten (78% beim zentralen und 75% beim dezentralen Konzept). Die Transportkosten für den Rohstoff und Slurry ergeben im dezentralen Konzept in Summe 26%, beim zentralen Konzept fallen lediglich 22% der Verarbeitungskosten durch den Rohstofftransport an. Im zentralen Konzept ergeben die Rohstoffkosten und Kosten für dessen Transport 62%. Änderungen der Rohstoffpreise bzw. der Transportkosten hätten unter den gegebenen Annahmen somit einen stärkeren Einfluss auf die Kosten der Verarbeitung von Stroh zu Biokraftstoffen.

Die Detailergebnisse des dezentralen und zentralen Logistikkonzepts mit den Standorten sind im Anhang tabellarisch dargestellt (Tabelle 76). Neben den errichteten Pyrolysestandorten ist auch der für beide Konzepte idente Synthesestandort angegeben. Je nach Entfernung zum optimalen Synthesestandort ergeben sich im zentralen Konzept unterschiedliche Rohstofftransportkosten pro Pyrolysestandort. Um einen Kostenvergleich der Standorte zu erhalten, sind die Verarbeitungskosten ab Pyrolyse bzw. ab Synthese ebenfalls angegeben.

Unter Anwendung des Faktors (1,361 l/kg) zur Umrechnung des Endprodukts „Dimethylether“ von Tonnen auf Liter erhält man eine Menge von 349,7 Mio. Liter. Somit lässt sich ein Produktionspreis pro Liter innerhalb der definierten Systemgrenzen darstellen, indem man die Summe an Verarbeitungskosten durch die Produktionsmenge an Endprodukt (in Liter) dividiert. Der Literpreis beträgt 0,79 € im dezentralen und 0,73 € im zentralen Logistiknetzwerk.

10 FORSCHUNGSBEDARF UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Damit biogene Sekundärrohstoffe in der Praxis im größeren Stil zur Substitution von Erdöl, Kohle und Erdgas in der stofflichen Nutzung eingesetzt und Bioraffinerienetzwerke realisiert werden, sind viele Forschungsfragen zu beantworten. Im Projekt wurde nach Antworten auf die beiden folgenden Fragen gesucht: Welche konkreten technischen Fragestellungen und Herausforderungen müssen erforscht werden? Und mit welchen forschungspolitischen Maßnahmen kann gewährleistet werden, dass die dafür notwendige Forschung auch tatsächlich stattfindet?

10.1 METHODIK

Die beiden genannten Fragen wurden im Projekt im Rahmen eines ExpertInnen-Workshops am 6. Dezember 2019 in den Räumlichkeiten der BOKU mit 26 Stakeholdern diskutiert. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse wurden im Bereich der technischen Fragestellungen mit einer Literaturrecherche ergänzt. Im Workshop stellte das Projektteam zuerst das Projekt, die ausgewählten Stoffströme und Nutzungspfade sowie die Überlegungen zur Ausgestaltung eines Bioraffinerie-Liefernetzwerks vor. Im Anschluss wurde in drei parallelen Arbeitsgruppen jeweils eines der folgenden drei Themen bearbeitet:

- Technologischer Forschungsbedarf: Welche technologischen Frage- und Problemstellungen sollten beforscht werden?
- Forschungspolitische Maßnahmen: Durch welche forschungspolitischen Maßnahmen kann die Forschung zu den relevanten Frage- und Problemstellungen gefördert werden?
- Mission geschlossene Kreislauflösung: Was braucht es, damit beim vermehrten Einsatz biogener (Sekundär)Rohstoffe Kreisläufe geschlossen werden?

Im Zuge des Workshops wurde zweimal die Gruppe gewechselt, sodass jeder TeilnehmerIn einmal zu jedem der drei Themen mitdiskutierte. Die Erkenntnisse aus diesen Diskussionen werden im Folgenden zusammengefasst.

10.2 WORKSHOP-ERGEBNISSE

10.2.1 Technologischer Forschungsbedarf

Spezifische Technologien

- Reaktoren und Equipment für extreme Prozessbedingungen in HTL-Prozessen (Temperatur, Druck, Korrosion)
- Hochdruck-Feeding-Systeme für Zuführung von Biomasse bei HTL-Prozessen
- Nachbehandlung von Bioöl zur Nutzung in Erdöl-Raffinerie bei Pyrolyse und HTL
- Nachbehandlung und Aufbereitung von Bioöl zur Gewinnung spezifischer Inhaltsstoffe
- Gewinnung von Bio-Aromaten aus Lignocellulose
- Nutzungsmöglichkeiten und Gewinnung der Inhaltsstoffe der wässrigen Phase bei HTL
- Optimierung der Fischer-Tropsch-Verfahren
- Entwicklung und Optimierung von High rate Algal Ponds zur Steigerung der Ausbeuten bei Algen-Fermentation
- Entwicklung von Algenkläranlagen (auch Small-Scale-Prozesse für Industrieabwässer)

- Nutzung und Optimierung neuer Algen-Stämme
- Technologien zur Kosten-effizienten Ernte von Mikroalgen
- Neue Fermenter für Algenzucht mit verringertem Platzbedarf (z.B. Beschattung mit Algenpanelen an Häusern oder über Parkplätzen)
- Optimierung der Trenntechnologie für Grüne Bioraffinerie
- Identifizierung und Optimierung von extremophilen Mikroorganismen als neue Prozessschritte in der Bioraffinerie
- Technische Barrieren für Nutzung von Proteinen: milde Fraktionierung und Aufreinigung von Intermediates mit spezifischen Funktionalitäten
- Technische Anwendungen für Proteine und Aminosäuren (aus Reststoffen)
- Chemische Synthese von 5-HMF / Lävulinsäure aus Mono- und Polysacchariden
 - Verbesserung der Katalysatoren und Lösungsmittel-Systeme
 - Recycling von Katalysatoren im großen Maßstab
 - Pilotanlagen für Experimente nötig
 - Entwicklung neuer Ionic Liquids
 - Verbesserung von Mikrowellen-Technologien (auch im großen Maßstab)
- Optimierung von Organismen und Prozesse für Fermentationen (Ethanol, Milchsäure, Bernsteinsäure, etc.)
- Einsatz von Hefen für Milchsäureherstellung
- Selektive Alkohol- und Zucker-Dehydrierung (für Herstellung von Ethen und Furanen)
- Katalysatoren für selektive Konversionen
- Recycling von Textilfasern und Fasergemischen
- Optimierung von Biogas-Prozessen für die Gewinnung von VFAs
- Forschung zu funktionalen Enzymen

Forschung zur Verwertung von Schlempe (z.B. für Biogas)

- Entwicklung von Systemen mit immobilisierten Mikroorganismen (für Erhöhung der Durchflussraten)
- Entwicklung und Optimierung von Fermentationen auf der Basis von VFAs
- Prozesstechnik für Ernte bei Nutzung von Pilzmycel
- Optimierung von Eigenschaften von Pilzmycel für technische Anwendungen (u.a. Wasserbeständigkeit)
- Gewinnung von Nanocellulose aus Biogas-Fermentation von Gülle (Eigenschaften und Optimierung der Prozesse)

Allgemeine Themen

- Entwicklung geeigneter Analysemethoden für Naturstoffe (Rohstoff und Produkte, auch in Hinsicht auf Schadstoffe z.B. in Klärschlamm)
- Effiziente Trenntechnologien
- Abtrennung von Störstoffen
- Aufkonzentrieren und Gewinnen von Produkt
- Gemeinsam genutzte Infrastruktur / Pilotanlagen für Nutzung durch verschiedene Unternehmen und Forschungsgruppen
- Prozesse für Pre-Treatment vor Ort (lokal und small-scale), effiziente Trocknungstechnologie
- Weiterentwicklung und UpScaling von Ultraschall- und Mikrowellen-Technologien
- Supercritical Fluid Extraction als Prozessschritt für Bioraffinerien

- Neue und optimierte Katalysatoren (HTL, Konversion von Glucose zu 5-HMF, etc.)
- Nutzung alternativer Zucker (zusätzlich zu Glucose und Fructose)
- Optimierung der Konversionsraten bei Verwendung sekundärer Biomasse
- Nährstoffrückführung aus den Prozessen der Bioraffinerie (Digestat, Biokohle)

Weitere Hemmnisse

- Rechtliche Bedingungen für Nutzung von Produkten aus Abwasser (Algenmasse, PHAs, etc.)
- Entwicklung standardisierter Nachhaltigkeitsbewertungssysteme für biobasierte Produkte
- Wiederkehrende Ermittlung der realen Biomasse-Potenziale
- Entwicklung von Standards für Biomasse (damit sie als Input für Prozesse geeignet sind)

10.2.2 Forschungspolitische Maßnahmen

Grundsätzlich herrschte der Tenor vor, dass die Forschungsförderung in Österreich im Großen und Ganzen recht gut funktioniert. Verbesserungsbedarf gebe es natürlich immer, auch dürfe man daraus keineswegs schließen, dass weniger Fördermitteln notwendig seien. Die Arbeitsgruppe diskutierte die folgenden Themen bzw. Verbesserungsvorschläge:

- **Thematische vs. themenoffene Förderprogramme:** Bezüglich der optimalen Gewichtung von thematischen Förderprogrammen einerseits (geprägt von thematischen „Top-Down-Vorgaben“ durch den Fördergeber) und themenoffenen Förderprogrammen andererseits (bei denen Fördernehmer im Sinne eines „Bottom-up-Ansatzes“ mehr oder weniger frei über die Mittel verfügen können) gingen die Meinungen der DiskussionsteilnehmerInnen auseinander. Grundsätzlich braucht es einen ausgewogenen Mix, der sowohl thematische als auch themenoffene Förderprogramme umfasst. Um sicherzustellen, dass die Vorgaben im Rahmen von thematischen Programmen praxistauglich sind, sei eine Einbindung von betroffenen Stakeholdern in die Ausarbeitung dieser Vorgaben sinnvoll.
- **Anbindung an die Forschungspolitik der EU:** Besonders wichtig sei für die österreichische Forschungspolitik die Anbindung an die Forschungspolitik auf EU-Ebene. Um den Zugang österreichischer Akteure zu europäischen Forschungsmitteln sicherzustellen, sei es notwendig, europäische Förderschwerpunkte auch auf nationaler Ebene zu „spiegeln“.
- **Abstimmung zwischen verschiedenen Fördergebern:** Die Bedeutung der Abstimmung der verschiedenen Fördergeber untereinander wurde im Workshop besonders hervorgehoben. Eine solche Abstimmung sei zum einen zwischen Bund und Ländern, zum anderen aber auch zwischen den verschiedenen Ministerien notwendig.
- **Förderung des Austauschs zwischen Stakeholdern:** Veranstaltungsformate wie etwa der Stakeholderdialog Biobased Industry leisten dazu einen wichtigen Beitrag. Die Schaffung eines virtuellen nationalen Bioökonomie-Clusters könnte den Unternehmensaustausch dahingehend fördern und, dass der Abfall des einen zum Rohstoff für den anderen wird und lokale bzw. regionale Synergien optimiert werden. Als mögliches Instrument zur Förderung des Austauschs zwischen Akteuren wurden im Workshop Innovationslabore genannt.
- **Abstimmungsbedarf bei Förderungen:** Immer wieder werden der Bioökonomie hinderliche Förderungen vergeben, etwa wenn die rein energetische Nutzung von Biomasse statt einer kaskadischen Nutzung, wie sie die Bioökonomie vorsieht, gefördert wird. Um geeignete Rahmenbedingungen für die Bioökonomie zu schaffen, braucht es eine Anpassung solcher Förderprogramme.

- **Schutz von geistigem Eigentum:** Für ein innovationsfreundliches Klima ist es wichtig, einen starken Schutz von geistigem Eigentum zu gewährleisten.
- **Wissenschaftliche Exzellenz versus angewandte Forschung im Universitätsbetrieb:** Exzellenz im Wissenschaftsbetrieb wird zurzeit ausschließlich über Publikationen definiert. Marktnahe angewandte Forschung, die eine Umsetzung konkreter technischer Projekte vorsieht, wird im Wissenschaftsbetrieb wenig honoriert. Der – an der Anzahl der Publikationen gemessene – Mangel an „wissenschaftlicher Exzellenz“ wird problematisch gesehen. Die starke Ausrichtung des Wissenschaftsbetriebs auf Publikationen ist jedoch ein internationales Phänomen. Wenn sich Österreich von dieser internationalen Praxis abschotte, verbaue man jungen WissenschaftlerInnen damit die Chance auf eine internationale wissenschaftliche Karriere.
- **Schutz vor dem Scheitern im „Tal des Todes“:** Viele Forschungs- bzw. Investitionsprojekte scheitern im sogenannten „Tal des Todes – also in jenem Bereich, wo das Investitionsvolumen bereits beträchtlich ist, die produzierte Menge jedoch noch zu gering, um die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten. Daher seien politische Maßnahmen wünschenswert, die einem Scheitern in dieser Phase vorbeugen. Eine solche Maßnahme könne zum Beispiel eine Abnahmegarantie vonseiten der öffentlichen Hand für die produzierten Produkte sein. Hier gebe es also Synergiepotenziale mit der öffentlichen Beschaffungspolitik.
- **Anreize zum Teilen von Forschungsinfrastruktur:** Grundsätzlich sei Österreich recht gut mit Forschungsinfrastruktur ausgestattet. Deren Potenzial ließe sich aber noch besser nutzen, wenn verstärkt Anreize für Eigentümer von Forschungsinfrastruktur geschaffen werden, ihr Forschungsequipment auch anderen Akteuren zugänglich zu machen.
- **Förderung von interdisziplinärer Forschung:** Eine sinnvolle Maßnahme, um die Entstehung von Innovationen zu begünstigen, sei auch die Förderung von interdisziplinärer Forschung. Ein möglicher Ansatz dabei könne sein, in thematischen Förderprogrammen spezifische Vorgaben zur Interdisziplinarität zu machen. Gleichzeitig müsse darauf geachtet werden, dass die Vorgaben nicht zu einengend sind.
- **Aufstockung von Fördermitteln:** Aufgrund der hohen Überzeichnung der Förderprogramme werden viele an und für sich spannende und förderwürdige Projekte aus budgetären Gründen abgelehnt.

10.2.3 Schließung von Kreisläufen bei biogenen Rohstoffen

Bioökonomie, also die Nutzung biogener statt nicht-erneuerbarer Ressourcen, und konsequente Kreislaufführung sollen zukünftig unsere Wirtschaftsweise prägen. Doch welche Voraussetzungen braucht es, um dies ressourceneffizient und entsprechend bestehender Qualitätsanforderungen umzusetzen? Greift bei konsequenter Kreislaufführung eine Sekundärrohstoffnutzung nicht zu kurz? Wie kann langfristig die Rückführung der Nährstoffe und des organischen Kohlenstoffs am Ende jeder Kaskadennutzung gewährleistet werden? Folgende Aspekte wurden in der Arbeitsgruppe zu diesen Fragestellungen eingebracht:

- **Design for Recycling:** Sobald die Rückführung organischen Materials diskutiert wird, stehen große Bedenken hinsichtlich diffuser Verbreitung von Schadstoffen und Pathogenen im Raum. Aus Sicht der Workshop-Teilnehmenden sind Design for Recycling und Safety by Design Ansätze, wo bereits bei der Produktzulassung Grenzwerte für Inhaltsstoffe fixiert werden, unerlässlich um diesbezügliche Risiken zu vermeiden.

- Auch **Kreislaufführung ist letztlich eine Preisfrage**, denn nur was sich ökonomisch abbilden lässt, wird langfristig umgesetzt. Ein Abgleich von Transportkosten und Technologiekosten zur weiteren Verwertung sind dabei die wesentlichen Entscheidungsparameter. Die entsprechende Logistik variiert entsprechend der Marktpreise.
- **Gesellschaftliche Akzeptanz als Voraussetzung:** Neben der wirtschaftlichen Umsetzbarkeit spielt gerade bei der Nährstoffrückführung die gesellschaftliche Akzeptanz eine wesentliche Rolle. Während der Schadstoffeintrag, beispielsweise durch diffusen Reifenabrieb, nicht als Risiko wahrgenommen wird, stehen Sicherheitsfragen etwa bei der Klärschlammverwertung im Vordergrund. Diesem Ungleichgewicht in der Risikowahrnehmung kann nur durch Bewusstseinsbildung und Aufklärung begegnet werden. Qualitätsmonitoring und Zahlen, Daten, Fakten zu Grenzwerten und Schadstoffrückhalt durch Aufbereitung können dafür eine solide Grundlage bieten.
- **Regionalität schaffen:** Gerade bei biogenem Material ist der geringe Wertstoffgehalt ein großes Thema. Wenn es gelingt, die Konzentration der Sekundärwertstoffe dezentral zu organisieren, wird die Rückführung der Nährstoffe wesentlich erleichtert. Insbesondere ermöglicht es eine regionale Nutzung, es können Standorte kommuniziert werden, Materialflüsse lassen sich leichter zurückverfolgen. Im Workshop wurden diese Argumente genannt, einerseits um die Kreislaufführung ressourceneffizient zu gestalten, andererseits um gesellschaftliche Akzeptanz zu erreichen.
- **Umgang mit Komplexität als besondere Herausforderung:** Kreislaufführung versus Sicherheit, durch die Verschränkung unterschiedlicher Materialflüsse entstehen Wissensdefizite, mögliche Auswirkungen sind mehrdimensional und lassen sich entsprechend schwer abschätzen. Bisher haben wir kausale Wirkungszusammenhänge mit naturwissenschaftlichem und technischem Know-how messbar und darstellbar gemacht. Aktuelle Herausforderungen weisen einen höheren Grad an Komplexität auf. Zukünftige Forschungsansätze sollten diese mehrdimensionale Komplexität berücksichtigen und einen Weg finden, dennoch verlässliche Abschätzungen zu liefern.
- **Soziologischer Forschungsbedarf und Forschungsbedarf im Bereich Sicherheitsforschung, Risiko-Folgenabschätzung notwendig:** Neben technologischen Fragestellungen zu einzelnen Aufbereitungsschritten und Verarbeitungsprozessen sehen die Workshop-Teilnehmenden wesentlichen Forschungsbedarf bei gesellschaftlichen Fragestellungen und im Bereich der Sicherheit- und Risikoforschung um technisch-mögliche Kreisläufe auch tatsächlich in der Gesellschaft zu etablieren.

11 AUSBLICK

Für umsetzungsnähere Einschätzungen der verfügbaren Mengen an biogenen Rohstoffen aus Nebenprodukten und Abfällen in Österreich sind Detailstudien notwendig, die mit einer entsprechend fokussierten Ausrichtung auch die technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen des gewählten Bioraffinerie-Konzepts und des anvisierten Marktes weitestgehend berücksichtigen können.

Politische Strategien werden einen großen Einfluss auf die stoffliche Nutzung von Biomasse haben, da in der Vergangenheit die energetische Nutzung in Österreich stark bevorzugt wurde, was im Widerspruch zur Kreislaufwirtschaft und der Abfallhierarchie steht. Diese wird auch mit europäischen Zwischenzielen in 2025 und 2030 konkreter umgesetzt werden müssen.

Zu den strategischen Überlegungen gehört auch die Orientierung im Hinblick auf die Nutzung der in der Biomasse vorliegenden Stoffe in einer wertvolleren und intakten (hochmolekularen) Struktur oder in Form von kleineren standardisierten Abbauprodukten (wie Methan oder Ethanol), wobei die besten Lösungen je nach eingesetztem Rohstoff und wirtschaftlichen Bedingungen unterschiedlich aussehen können. Bei Nutzungspfaden zur Herstellung neuer Stoffe wäre eine Umstellung der Industrie zu einer neuen Raffineriestruktur notwendig, während bereits in der fossil basierten Industrie genutzte Stoffe eine direkte Integration von biobasierten Zwischenprodukten ermöglichen würde (wie z.B. Ethylen aus Ethanol). Bei den in Zukunft aus sekundärer Biomasse hergestellten Produkten wird sich für Österreich auch die Frage stellen, ob die nötigen Mengen für Grundchemikalien überhaupt vorliegen, oder ob eine Fokussierung auf hochpreisige Feinchemikalien und Spezialprodukte erforderlich ist. Dabei ist wieder notwendig, die Vernetzung der Masseflüsse der verschiedenen Ressourcenströme und deren Zwischenprodukte zu betrachten. So ist es wichtig zu erheben und berechnen, in welchen Größenordnungen welche dezentralen Aufbereitungseinheiten zweckmäßig sind und wie mögliche Zwischenprodukte konkret weiter in welche Art von zentralen Einheiten überführt werden können. Dazu soll anfänglich ein konkreter Massenstrom angesehen werden, z.B. organischer Abfall für Biokunststoffe oder die Fermentation zu volatilen Fettsäuren als Grundstoff für weitere Plattformchemikalien.

Zur Umsetzung von Bioraffinerien auf kommerzieller Ebene sind neben technologischen Entwicklungen auch Maßnahmen zur Bepreisung von CO₂ nötig, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. Kombinationen unterschiedlicher Stoffströme können eine vielversprechende Möglichkeit darstellen, um Ausbeuten zu verbessern. Oft untersuchte Mischungen sind dabei unter anderem Biomüll und Klärschlamm, wobei hier die rechtlichen Rahmenbedingungen (wegen gesundheitlicher Risiken) zu beachten sind. Auf Grund der vorliegenden Mengen und momentan (noch) geringen Nutzungskonkurrenz erscheint die Nutzung von Abwässern bzw. Klärschlamm und Biomüll als besonders vielversprechend. Diese fallen nicht nur überall an, sondern umfassen auch das komplette notwendige Nährstoffspektrum, wodurch eine Rückführung in die Landwirtschaft besonders sinnvoll ist.

In dieser Studie wurde der für die Konversion erforderliche Energiebedarf explizit ausgeklammert. Bei der Entwicklung und Umsetzung von realen Bioraffinerien ist jedoch eine Integration von stofflicher Nutzung und nachhaltiger Energiebereitstellung nötig. Die Rückführung von nährstoffreichen Fraktionen in die Landwirtschaft ist jedenfalls von Anfang an in den Konzepten mit zu planen, unter Berücksichtigung der Sicherheitsaspekte und der jeweiligen Auswirkungen auf die Böden.

Um weitere Vernetzung von Biomasseströmen voranzutreiben, müssen Eignung und Möglichkeiten konkreter untergenutzter Infrastruktureinheiten genauer untersucht werden und eine mögliche

konkrete Prozesskette erarbeitet werden. Dabei müssen die machbaren Größen, die konkreten Technologien, die notwendige Logistik, die Wirtschaftlichkeit und natürlich die Auswirkungen auf die Region evaluiert werden. Mit der ökonomisch erfolgreichen Etablierung der Nutzung von Sekundärrohstoffen geht auch die Standortplanung von Verarbeitungskapazitäten und die Planung des gesamten Materialflusses in der Lieferkette einher. Ein Liefernetz wird bestehende und neue Anlagen symbiotisch kombinieren und vorhandene Skaleneffekte der Produktion und Distribution nutzen.

Für eine Beurteilung der Nachhaltigkeit der biobasierten Produkte im Vergleich mit den bisher eingesetzten fossilen Produkten sind außerdem Vergleiche konkreter Nutzungspfade in Form von Lebenszyklusanalysen nötig, die auf der abstrakten Ebene dieser Studie nicht möglich wären. Durch interdisziplinäre Forschungsansätze sind des Weiteren sozialökonomische Folgen abzuschätzen.

12.1 LITERATUR

- Aeschelmann, Florence, and Michael Carus. 2017. "Bio-Based Building Blocks and Polymers Global Capacities and Trends 2016–2021." Hürth.
- Alexandri, Maria, Anestis Vlysidis, Harris Papapostolou, Olga Tverezovskaya, Viacheslav Tverezovskiy, Ioannis K. Kookos, and Apostolis Koutinas. 2019. "Downstream Separation and Purification of Succinic Acid from Fermentation Broths Using Spent Sulphite Liquor as Feedstock." *Separation and Purification Technology* 209 (August 2018): 666–75. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.08.061>.
- Andreş, Cantor, Dana Maria, and Daniela Lucia Manea. 2015. "Using Wheat Straw in Construction." *ProEnvironment/ProMediu* 8 (21): 17–23.
- Arturi, Katarzyna R., Sergey Kucheryavskiy, and Erik G. Søgaaard. 2016. "Performance of Hydrothermal Liquefaction (HTL) of Biomass by Multivariate Data Analysis." *Fuel Processing Technology* 150: 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.05.007>.
- Asdrubali, Francesco, Francesco D'Alessandro, and Samuele Schiavoni. 2015. "A Review of Unconventional Sustainable Building Insulation Materials." *Sustainable Materials and Technologies* 4 (2015): 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>.
- Awasthi, Mukesh Kumar, Surendra Sarsaiya, Steven Wainaina, Karthik Rajendran, Sumit Kumar, Wang Quan, Yumin Duan, et al. 2019. "A Critical Review of Organic Manure Biorefinery Models toward Sustainable Circular Bioeconomy: Technological Challenges, Advancements, Innovations, and Future Perspectives." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 111 (April): 115–31. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.017>.
- Baetge, Sven, Martin Kaltschmitt, Lisa-Marie Schmidt, Lennart Andersen, Anne Lamp, and Christiane Dieckmann. 2018. "Biogas Plants as Key Units of Biorefinery Concepts: Options and Their Assessment." *Journal of Biotechnology* 283 (August): 130–39. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2018.07.041>.
- Barakat, Abdellatif, Hugo de Vries, and Xavier Rouau. 2013. "Dry Fractionation Process as an Important Step in Current and Future Lignocellulose Biorefineries: A Review." *Bioresource Technology* 134: 362–73. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.01.169>.
- Bärnthaler, J, H Bergmann, B Drosig, D Hornbachner, R Kirchmayr, and G Konrad. 2008. "Technologie , Logistik Und Wirtschaftlichkeit von Biogas-Großanlagen Auf Basis Industrieller Biogener Abfälle." *Innovation*. http://www.biogas-netzeinspeisung.at/downloads/200811_biogas-grossanlagen.pdf.
- Battista, Federico, Nicola Frison, Paolo Pavan, Cristina Cavinato, Marco Gottardo, Francesco Fatone, Anna L. Eusebi, et al. 2019. "Food Wastes and Sewage Sludge as Feedstock for an Urban Biorefinery Producing Biofuels and Added-Value Bioproducts." *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, no. April. <https://doi.org/10.1002/jctb.6096>.
- Bharathiraja, B., T. Sudharsanaa, A. Bharghavi, J. Jayamuthunagai, and R. Praveenkumar. 2016. "Biohydrogen and Biogas – An Overview on Feedstocks and Enhancement Process." *Fuel* 185: 810–28. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.08.030>.

“Bioökonomie Eine Strategie Für Österreich.” 2019. Wien.

Blauensteiner, Petra, Karin Granzer-sudra, Aleksandar Mijatovic, René Albert, Karolina Begusch-pfefferkorn, Elfriede Fuhrmann, Erika Ganglberger, et al. 2018. “Bioökonomie-FTI-Strategie Für Österreich.” Wien.

BMNT. 2019. “Die Bestandsaufnahme Der Abfallwirtschaft in Österreich.” Wien.

Bozell, Joseph J., and Gene R. Petersen. 2010. “Technology Development for the Production of Biobased Products from Biorefinery Carbohydrates - The US Department of Energy’s ‘Top 10’ Revisited.” *Green Chemistry* 12 (4): 539–54. <https://doi.org/10.1039/b922014c>.

Bridgwater, A. V. 2012. “Review of Fast Pyrolysis of Biomass and Product Upgrading.” *Biomass and Bioenergy* 38: 68–94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048>.

Bujak, Janusz Wojciech. 2015. “New Insights into Waste Management - Meat Industry.” *Renewable Energy* 83: 1174–86. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.007>.

Carus, Michael, and Lara Dammer. 2018. “The ‘Circular Bioeconomy’-Concepts, Opportunities and Limitations Wwww.Bio-Based.Eu/Nova-Papers,” 1–9. www.bio-based.eu/nova-papers.

Carvalho, Florbela, Luís C. Duarte, and Francisco M. Girio. 2008. “Hemicellulose Biorefineries: A Review on Biomass Pretreatments.” *Journal of Scientific & Industrial Research* 67: 849–64.

Cascone, Stefano, Federico Catania, Antonio Gagliano, and Gaetano Sciuto. 2018. “Energy Performance and Environmental and Economic Assessment of the Platform Frame System with Compressed Straw.” *Energy and Buildings* 166: 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.035>.

Cascone, Stefano, Gianpiero Evola, Antonio Gagliano, Gaetano Sciuto, and Chiara Baroetto Parisi. 2019. “Laboratory and In-Situ Measurements for Thermal and Acoustic Performance of Straw Bales.” *Sustainability (Switzerland)* 11 (20). <https://doi.org/10.3390/su11205592>.

Celebi, Ayse Dilan, Adriano Viana Ensinas, Shivom Sharma, and François Maréchal. 2017. “Early-Stage Decision Making Approach for the Selection of Optimally Integrated Biorefinery Processes.” *Energy* 137 (October): 908–16. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2017.03.080>.

Chaala, A., and C. Roy. 2003. “Recycling of Meat and Bone Meal Animal Feed by Vacuum Pyrolysis.” *Environmental Science and Technology* 37 (19): 4517–22. <https://doi.org/10.1021/es026346m>.

Chandra, Rashmi, Carlos Castillo-Zacarias, Patricio Delgado, and Roberto Parra-Saldívar. 2018. “A Biorefinery Approach for Dairy Wastewater Treatment and Product Recovery towards Establishing a Biorefinery Complexity Index.” *Journal of Cleaner Production* 183: 1184–96. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.124>.

Chang, Renee Han Yi, Jen Jang, and Kevin C.W. Wu. 2011. “Cellulase Immobilized Mesoporous Silica Nanocatalysts for Efficient Cellulose-to-Glucose Conversion.” *Green Chemistry* 13 (10): 2844–50. <https://doi.org/10.1039/c1gc15563f>.

Chang, Sheng, Zengli Zhao, Anqing Zheng, Xiaoming Li, Xiaobo Wang, Zhen Huang, Fang He, and Haibin Li. 2013. “Effect of Hydrothermal Pretreatment on Properties of Bio-Oil Produced from Fast Pyrolysis of Eucalyptus Wood in a Fluidized Bed Reactor.” *Bioresource Technology* 138: 321–28. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.170>.

- Cheali, Peam, John A. Posada, Krist V. Gernaey, and Gürkan Sin. 2015. "Upgrading of Lignocellulosic Biorefinery to Value-Added Chemicals: Sustainability and Economics of Bioethanol-Derivatives." *Biomass and Bioenergy* 75: 282–300. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.02.030>.
- Chen, Huihui, Yue Rao, Leichang Cao, Yan Shi, Shilai Hao, Gang Luo, and Shicheng Zhang. 2019. "Hydrothermal Conversion of Sewage Sludge: Focusing on the Characterization of Liquid Products and Their Methane Yields." *Chemical Engineering Journal* 357 (July 2018): 367–75. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.09.180>.
- Chio, Chonlong, Mohini Sain, and Wensheng Qin. 2019. "Lignin Utilization: A Review of Lignin Depolymerization from Various Aspects." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 107 (March): 232–49. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.008>.
- Corona, Andrea, Ranjan Parajuli, Morten Ambye-Jensen, Michael Zwicky Hauschild, and Morten Birkved. 2018. "Environmental Screening of Potential Biomass for Green Biorefinery Conversion." *Journal of Cleaner Production* 189: 344–57. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.316>.
- Cuellar-Bermudez, Sara P., Gibran S. Aleman-Nava, Rashmi Chandra, J. Saul Garcia-Perez, Jose R. Contreras-Angulo, Giorgos Markou, Koenraad Muylaert, Bruce E. Rittmann, and Roberto Parra-Saldivar. 2017. "Nutrients Utilization and Contaminants Removal. A Review of Two Approaches of Algae and Cyanobacteria in Wastewater." *Algal Research* 24: 438–49. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.08.018>.
- Dahmen, N., E. Dinjus, and R. Körber. 2012. "Das Karlsruher Bioliq® -Verfahren." <http://www.bioliq.de/120.php>.
- Dahmen, Nicolaus, Edmund Henrich, Eckhard Dinjus, and Friedhelm Weirich. 2012a. "The Bioliq® Bioslurry Gasification Process for the Production of Biosynfuels, Organic Chemicals, and Energy." *Energy, Sustainability and Society* 2 (1): 3. <https://doi.org/10.1186/2192-0567-2-3>.
- . 2012b. "The Bioliq® Bioslurry Gasification Process for the Production of Biosynfuels, Organic Chemicals, and Energy." *Energy, Sustainability and Society* 2 (1): 1–44. <https://doi.org/10.1186/2192-0567-2-3>.
- Dávila, Javier A., Moshe Rosenberg, and Carlos A. Cardona. 2016. "A Biorefinery Approach for the Production of Xylitol, Ethanol and Polyhydroxybutyrate from Brewer's Spent Grain." *AIMS Agriculture and Food* 1 (1): 52–66. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2016.1.52>.
- Djukić-Vuković, Aleksandra, Dragana Mladenović, Miloš Radosavljević, Sunčica Kocić-Tanackov, Jelena Pejin, and Ljiljana Mojović. 2016. "Wastes from Bioethanol and Beer Productions as Substrates for l(+) Lactic Acid Production - A Comparative Study." *Waste Management* 48: 478–82. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.031>.
- Du, Chenyu, Sze Ki Carol Lin, Apostolis Koutinas, Ruohang Wang, Pilar Dorado, and Colin Webb. 2008. "A Wheat Biorefining Strategy Based on Solid-State Fermentation for Fermentative Production of Succinic Acid." *Bioresource Technology* 99 (17): 8310–15. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.019>.
- Duan, Peigao, and Phillip E. Savage. 2011. "Hydrothermal Liquefaction of a Microalga with Heterogeneous Catalysts." *Industrial and Engineering Chemistry Research* 50 (1): 52–61. <https://doi.org/10.1021/ie100758s>.

- Elliott, Douglas C., Patrick Biller, Andrew B. Ross, Andrew J. Schmidt, and Susanne B. Jones. 2015. "Hydrothermal Liquefaction of Biomass: Developments from Batch to Continuous Process." *Bioresource Technology* 178: 147–56. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.132>.
- European Commission. 2018. "A Sustainable Bioeconomy for Europe: Strengthening the Connection Between Economy, Society and the Environment." Brussels. <https://doi.org/10.2777/478385>.
- Eygen, Emile Van, Julia Feketitsch, David Laner, Helmut Rechberger, and Johann Fellner. 2017. "Comprehensive Analysis and Quantification of National Plastic Flows: The Case of Austria." *Resources, Conservation and Recycling* 117: 183–94. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.017>.
- FNR. 2020. "Biogas Faustzahlen." 2020. <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/>.
- Fonts, Isabel, Gloria Gea, Manuel Azuara, Javier Ábrego, and Jesús Arauzo. 2012. "Sewage Sludge Pyrolysis for Liquid Production: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (5): 2781–2805. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.070>.
- Franke-Whittle, Ingrid H., Andreas Walter, Christian Ebner, and Heribert Insam. 2014. "Investigation into the Effect of High Concentrations of Volatile Fatty Acids in Anaerobic Digestion on Methanogenic Communities." *Waste Management* 34 (11): 2080–89. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.07.020>.
- Fytli, D., and A. Zabaniotou. 2008. "Utilization of Sewage Sludge in EU Application of Old and New Methods-A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (1): 116–40. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.014>.
- Gabardo, Sabrina, Gabriela Feix Pereira, Manuela P. Klein, Rosane Rech, Plinho F. Hertz, and Marco Antônio Záchia Ayub. 2016. "Dynamics of Yeast Immobilized-Cell Fluidized-Bed Bioreactors Systems in Ethanol Fermentation from Lactose-Hydrolyzed Whey and Whey Permeate." *Bioprocess and Biosystems Engineering* 39 (1): 141–50. <https://doi.org/10.1007/s00449-015-1498-0>.
- Gallezot, Pierre. 2012. "Conversion of Biomass to Selected Chemical Products." *Chemical Society Reviews* 41 (4): 1538–58. <https://doi.org/10.1039/c1cs15147a>.
- Gama, Repson, J. Susan Van Dyk, and Brett I. Pletschke. 2015. "Optimisation of Enzymatic Hydrolysis of Apple Pomace for Production of Biofuel and Biorefinery Chemicals Using Commercial Enzymes." *3 Biotech* 5 (6): 1075–87. <https://doi.org/10.1007/s13205-015-0312-7>.
- Gandini, Alessandro, and Talita M. Lacerda. 2015. "From Monomers to Polymers from Renewable Resources: Recent Advances." *Progress in Polymer Science* 48: 1–39. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2014.11.002>.
- Giuliano, Aristide, Massimo Poletto, and Diego Barletta. 2016. "Process Optimization of a Multi-Product Biorefinery: The Effect of Biomass Seasonality." *Chemical Engineering Research and Design* 107. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.12.011>.
- Gollakota, A. R.K., Nanda Kishore, and Sai Gu. 2018. "A Review on Hydrothermal Liquefaction of Biomass." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81 (April 2017): 1378–92. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.178>.
- González-García, Sara, Lucía Argiz, Patricia Míguez, and Beatriz Gullón. 2018. "Exploring the Production of Bio-Succinic Acid from Apple Pomace Using an Environmental Approach." *Chemical Engineering Journal* 350 (March): 982–91. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.06.052>.

- Gullón, Beatriz, Remedios Yáñez, José Luis Alonso, and J. C. Parajó. 2008. "L-Lactic Acid Production from Apple Pomace by Sequential Hydrolysis and Fermentation." *Bioresource Technology* 99 (2): 308–19. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.018>.
- Hamad, Tarek A, Abdulhakim A Agll, Yousif M Hamad, and John W Sheffield. 2014. "Solid Waste as Renewable Source of Energy: Current and Future Possibility in Lybia." *Case Studies in Thermal Engineering* 4 (November): 144–52. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2014.09.004>.
- Harmsen, Paulien F. H., Martijn M. Hackmann, and Harriette L. Bos. 2014. "Green Building Blocks for Bio-Based Plastics." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* Biofuels B (8): 306–24. <https://doi.org/10.1002/bbb>.
- Hegde, Swati, and Thomas A. Trabold. 2019. "Anaerobic Digestion of Food Waste with Unconventional Co-Substrates for Stable Biogas Production at High Organic Loading Rates." *Sustainability (Switzerland)* 11 (14). <https://doi.org/10.3390/su11143875>.
- Hietler, Philipp, and Christian Pladerer. 2018. "Lebensmittelabfälle in Österreich." www.pulswerk.at/download.php?f=532%0A%0A.
- Howard, R. L., E. Abotsi, E. L.Jansen Van Rensburg, and S. Howard. 2003. "Lignocellulose Biotechnology: Issues of Bioconversion and Enzyme Production." *African Journal of Biotechnology* 2 (12): 702–33. <https://doi.org/10.5897/ajb2003.000-1115>.
- Hu, Jun, Rui Xiao, Dekui Shen, and Huiyan Zhang. 2013. "Structural Analysis of Lignin Residue from Black Liquor and Its Thermal Performance in Thermogravimetric-Fourier Transform Infrared Spectroscopy." *Bioresource Technology* 128: 633–39. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.148>.
- Huang, Haibo, Vijay Singh, and Nasib Qureshi. 2015. "Butanol Production from Food Waste: A Novel Process for Producing Sustainable Energy and Reducing Environmental Pollution." *Biotechnology for Biofuels* 8 (1): 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13068-015-0332-x>.
- IfBB Hochschule Hannover. 2018. "Biopolymers. Facts and Statistics. 2018. Production Capacities, Processing Routes, Feedstock, Land and Water Use." <https://doi.org/10.1002/adfm.200600816>.
- Janković, Bojan. 2015. "Devolatilization Kinetics of Swine Manure Solid Pyrolysis Using Deconvolution Procedure. Determination of the Bio-Oil/Liquid Yields and Char Gasification." *Fuel Processing Technology* 138: 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.04.027>.
- Jong, Ed de, and Gerfried Jungmeier. 2015. *Biorefinery Concepts in Comparison to Petrochemical Refineries. Industrial Biorefineries and White Biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63453-5.00001-X>.
- Jungbluth, Niels, Rolf Frischknecht, Mireille Faist Emmenegger, and Matthias Tuchscheid. 2007. "Life Cycle Assessment of BTL-Fuel Production: Inventory Analysis." Uster.
- Kalt, Gerald, and Maria Amtmann. 2014. "Biogene Materialflüsse in Österreich: Derzeitiger Stand Und Perspektiven Für Eine Verstärkte Stoffliche Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen in Den Bereichen Biokunststoffe Und Dämmstoffe." Vienna. https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/projekte/klimapolitik/Bericht_Biomassefluesse__pdf_.pdf.
- Kaltschmitt, M., H. Hartmann, and H. Hofbauer. 2016. *Energie Aus Biomasse: Grundlagen, Techniken Und Verfahren*. 3rd ed. Berlin Heidelberg: Springer.

- Kaltschmitt, Martin, Hans Hartmann, and Hermann Hofbauer. 2016. *Energie Aus Biomasse : Grundlagen, Techniken Und Verfahren*. 3., aktual. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg.
- Kamm, B., P. Schönicke, and Ch Hille. 2016. "Green Biorefinery - Industrial Implementation." *Food Chemistry* 197: 1341–45. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.088>.
- Kang, Jung Hyun, Daekeun Kim, and Tae Jin Lee. 2012. "Hydrogen Production and Microbial Diversity in Sewage Sludge Fermentation Preceded by Heat and Alkaline Treatment." *Bioresource Technology* 109: 239–43. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.048>.
- Kappler, G, and Ludwig Leible. 2011. *The Bioliq® Concept - from Biomass to Fuel. Das Bioliq®-Konzept - von Der Biomasse Zum Kraftstoff*.
- Kappler, G O. 2008. "Systemanalytische Untersuchung Zum Aufkommen Und Zur Bereitstellung von Energetisch Nutzbarem Reststroh Und Waldrestholz in Baden-Württemberg. Eine Auf Das Karlsruher Bioliq-Konzept Ausgerichtete Standortanalyse."
- Kapusta, Krzysztof. 2018. "Effect of Ultrasound Pretreatment of Municipal Sewage Sludge on Characteristics of Bio-Oil from Hydrothermal Liquefaction Process." *Waste Management* 78: 183–90. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.043>.
- Kerdoncuff, Pierre. 2008. *Modellierung Und Bewertung von Prozessketten Zur Herstellung von Biokraftstoffen Der Zweiten Generation*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Kim, Mi Sun, Jeong Geol Na, Mo Kwon Lee, Hoyoung Ryu, Yong Keun Chang, Jin M. Triolo, Yeo Myeong Yun, and Dong Hoon Kim. 2016. "More Value from Food Waste: Lactic Acid and Biogas Recovery." *Water Research* 96: 208–16. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.064>.
- KIT. 2018. "Datenblatt Bioliq® 2018." Pressemitteilung/Download. 2018.
- Koppe, Paul, and Alfred Stozek. 2018. "Kommunales Abwasser Österreichischer Bericht 2018."
- Kudahettige-Nilsson, Rasika L., Jonas Helmerius, Robert T. Nilsson, Magnus Sjöblom, David B. Hodge, and Ulrika Rova. 2015. "Biobutanol Production by Clostridium Acetobutylicum Using Xylose Recovered from Birch Kraft Black Liquor." *Bioresource Technology* 176: 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.11.012>.
- Kudakasseril Kurian, Jiby, Gopu Raveendran Nair, Abid Hussain, and G. S. Vijaya Raghavan. 2013. "Feedstocks, Logistics and Pre-Treatment Processes for Sustainable Lignocellulosic Biorefineries: A Comprehensive Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.019>.
- Kühnel, Stefan, Henk A. Schols, and Harry Gruppen. 2011. "Aiming for the Complete Utilization of Sugar-Beet Pulp: Examination of the Effects of Mild Acid and Hydrothermal Pretreatment Followed by Enzymatic Digestion." *Biotechnology for Biofuels* 4: 1–14. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-4-14>.
- Lam, Koon Fung, Cho Chark Joe Leung, Ho Man Lei, and Carol Sze Ki Lin. 2014. "Economic Feasibility of a Pilot-Scale Fermentative Succinic Acid Production from Bakery Wastes." *Food and Bioprocess Processing* 92 (3): 282–90. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.09.001>.
- Lambertz, Gerda, and Johannes Welling. 2010. "Die Chemische Zusammensetzung von Naturbelassenem Holz."
- Lampert, Christoph, Hubert Reisinger, and Gerhard Zethner. 2014. "Bioabfallstrategie." Wien.

- Laner, David, Julia Feketitsch, Helmut Rechberger, and Johann Fellner. 2016. "A Novel Approach to Characterize Data Uncertainty in Material Flow Analysis and Its Application to Plastics Flows in Austria." *Journal of Industrial Ecology* 20 (5): 1050–63. <https://doi.org/10.1111/jiec.12326>.
- Lange, Stephan. 2008. "Systemanalytische Untersuchung Zur Schnelldestillation Als Prozessschritt Bei Der Produktion von Synthesekraftstoffen Aus Stroh Und Waldrestholz," January. <https://doi.org/10.5445/KSP/1000008977>.
- Laser, Mark, Eric Larson, Bruce Dale, Michael Wang, Nathanael Greene, and Lee R. Lynd. 2009. "Comparative Analysis of Efficiency, Environmental Impact, and Process Economics for Mature Biomass Refining Scenarios." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 3 (2): 247–70. <https://doi.org/10.1002/bbb>.
- Leible, L, S Kälber, G Kappler, S Lange, E Nieke, P Proplesch, and D Wintzer B Fürniß. 2010. "Kraftstoffproduktion Aus Stroh Und Waldrestholz – Dezentral Oder Zentral ?," 1–5.
- Leible, L, S Kälber, G Kappler, S Lange, E Nieke, P Proplesch, D Wintzer, and B Fürniß. 2007. "Kraftstoff, Strom Und Wärme Aus Stroh Und Waldrestholz," no. 3: 130.
- Leible, L, S Kälber, G Kappler, E Nieke, and B Fürniß. 2007. "Kraftstoff, Strom Und Wärme Aus Stroh Und Waldrestholz - Eine Systemanalytische Untersuchung." *Technikfolgenabschätzung - Theorie Und Praxis* 16 (3): 94–97.
- Lettenmeier, Philipp. 2019. "Wirkungsgrad - Elektrolyse." <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public/1558704844.a5fa8257-6c71-496f-a324-454241f1df71.white-paper-effizienz-de.pdf>.
- Li, Si Yu, I. Son Ng, Po Ting Chen, Chung Jen Chiang, and Yun Peng Chao. 2018. "Biorefining of Protein Waste for Production of Sustainable Fuels and Chemicals." *Biotechnology for Biofuels* 11 (1): 1–16. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1234-5>.
- Li, Yangyang, Fuqing Xu, Yu Li, Jiaxin Lu, Shuyan Li, Ajay Shah, Xuehua Zhang, Hongyu Zhang, Xiaoyan Gong, and Guoxue Li. 2018. "Reactor Performance and Energy Analysis of Solid State Anaerobic Co-Digestion of Dairy Manure with Corn Stover and Tomato Residues." *Waste Management* 73: 130–39. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.041>.
- Liu, Zhenggui, Yuanpeng Wang, Ning He, Jiale Huang, Kang Zhu, Wenyao Shao, Haitao Wang, Weilong Yuan, and Qingbiao Li. 2011. "Optimization of Polyhydroxybutyrate (PHB) Production by Excess Activated Sludge and Microbial Community Analysis." *Journal of Hazardous Materials* 185 (1): 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.08.003>.
- Lokesh, Kadambari, Luana Ladu, and Louise Summerton. 2018. "Bridging the Gaps for a 'Circular' Bioeconomy: Selection Criteria, Bio-Based Value Chain and Stakeholder Mapping." *Sustainability* 10 (6): 1695. <https://doi.org/10.3390/su10061695>.
- Luongo, Vincenzo, Grazia Policastro, Anish Ghimire, Francesco Pirozzi, and Massimiliano Fabbri. 2019. "Repeated-Batch Fermentation of Cheese Whey for Semi-Continuous Lactic Acid Production Using Mixed Cultures at Uncontrolled pH." *Sustainability* 11 (12): 3330. <https://doi.org/10.3390/su11123330>.
- Maag, Alex R., Alex D. Paulsen, Ted J. Amundsen, Paul E. Yelvington, Geoffrey A. Tompsett, and Michael T. Timko. 2018. "Catalytic Hydrothermal Liquefaction of Food Waste Using Cezrox." *Energies* 11 (3): 1–14. <https://doi.org/10.3390/en11030564>.

- Martinez, Gonzalo A., Stefano Rebecchi, Deborha Decorti, Joana M.B. Domingos, Andrea Natolino, Daniele Del Rio, Lorenzo Bertin, Carla Da Porto, and Fabio Fava. 2016. "Towards Multi-Purpose Biorefinery Platforms for the Valorisation of Red Grape Pomace: Production of Polyphenols, Volatile Fatty Acids, Polyhydroxyalkanoates and Biogas." *Green Chemistry* 18 (1): 261–70. <https://doi.org/10.1039/c5gc01558h>.
- Mattfeld, Dirk Christian, and Richard Vahrenkamp. 2014. *Logistiknetzwerke - Modelle Für Standortwahl Und Tourenplanung*. 2nd ed. Springer Gabler Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-6912-5>.
- Meixner, K., A. Kovalcik, E. Sykacek, M. Gruber-Brunhumer, W. Zeilinger, K. Markl, C. Haas, et al. 2018. "Cyanobacteria Biorefinery — Production of Poly(3-Hydroxybutyrate) with *Synechocystis Salina* and Utilisation of Residual Biomass." *Journal of Biotechnology* 265 (October 2017): 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2017.10.020>.
- Menegazzo, Federica, Elena Ghedini, and Michela Signoretto. 2018. "5-Hydroxymethylfurfural (HMF) Production from Real Biomasses." *Molecules* 23 (9): 1–18. <https://doi.org/10.3390/molecules23092201>.
- Milanzi, Sarah, Carla Spiller, Benjamin Grosse, Lisa Hermann, Johannes Kochems, and Joachim Müller-Kirchenbauer. 2018. "Technischer Stand Und Flexibilität Des Power-to-Gas-Verfahrens." https://www.er.tu-berlin.de/fileadmin/a38331300/Dateien/Technischer_Stand_und_Flexibilität_des_Power-to-Gas-Verfahrens.pdf.
- Möllmann, Franziska. 2007. "Analysen Und Abschätzung Des Mineralstoffgehaltes in Heuproben Aus Oberbayerischen Pferdehaltungsbetrieben Gedruckt Mit Genehmigung Der Tierärztlichen Fakultät Der Ludwig-Maximilians-Universität München."
- Montilla, A., M. D. Del Castillo, M. L. Sanz, and A. Olano. 2005. "Egg Shell as Catalyst of Lactose Isomerisation to Lactulose." *Food Chemistry* 90 (4): 883–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.042>.
- Moser, Tobias. 2012. "Standort- Und Kapazitätsplanung von BtL- Anlagen in Österreich , Mittels Gemischt- Ganzzahliger Optimierung." Universität für Bodenkultur Wien. [file:///C:/Users/colob/ownCloud/ABC_shared/AP3 Substitutionspotenzial/Literatur/Lignocellulose/2012_DA_Moser.pdf](file:///C:/Users/colob/ownCloud/ABC_shared/AP3%20Substitutionspotenzial/Literatur/Lignocellulose/2012_DA_Moser.pdf).
- Mulder, Wim, Carola van der Peet-Schwering, Nam-Phuong Hua, and Rene van Ree. 2016. "Proteins for Food, Feed and Biobased Applications." www.iea-bioenergy.task42-biorefineries.com.
- Mura, E., O. Debono, A. Villot, and F. Paviet. 2013. "Pyrolysis of Biomass in a Semi-Industrial Scale Reactor: Study of the Fuel-Nitrogen Oxidation during Combustion of Volatiles." *Biomass and Bioenergy* 59 (0): 187–94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.09.001>.
- Nagy, Máté, Matyas Kosa, Hans Theliander, and Arthur J. Ragauskas. 2010. "Characterization of CO₂ Precipitated Kraft Lignin to Promote Its Utilization." *Green Chemistry* 12 (1): 31–34. <https://doi.org/10.1039/b913602a>.
- Nik Nor Aziati, A. A., and A. M. Mimi Sakinah. 2018. "Efficient Production of Succinic Acid in Immobilized Fermentation with Crude Glycerol from *Escherichia Coli*." *Food Research* 2 (1): 110–18. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.2\(1\).156](https://doi.org/10.26656/fr.2017.2(1).156).

- Ohkouchi, Y., and Y. Inoue. 2006. "Direct Production of l(+)-Lactic Acid from Starch and Food Wastes Using *Lactobacillus Manihotivorans* LMG18011." *Bioresource Technology* 97 (13): 1554–62. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.06.004>.
- Okoro, Oseweuba Valentine, Zhifa Sun, and John Birch. 2017. "Meat Processing Waste as a Potential Feedstock for Biochemicals and Biofuels – A Review of Possible Conversion Technologies." *Journal of Cleaner Production* 142: 1583–1608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.141>.
- Olmos, and Hansen. 1960. "Enzymatic Depolymerization of Sugar Beet Pulp." In *Lehrbuch Der Organischen Chemie*, edited by C. R. Noller, 430.
- Orebom, Alexander, J. Johan Verendel, and Joseph S.M. Samec. 2018. "High Yields of Bio Oils from Hydrothermal Processing of Thin Black Liquor without the Use of Catalysts or Capping Agents." Research-article. *ACS Omega* 3 (6): 6757–63. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b00854>.
- Pagliano, Giorgia, Valeria Ventorino, Antonio Panico, and Olimpia Pepe. 2017. "Integrated Systems for Biopolymers and Bioenergy Production from Organic Waste and By-Products: A Review of Microbial Processes." *Biotechnology for Biofuels* 10 (1): 1–24. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0802-4>.
- Panesar, Parmjit S., John F. Kennedy, Dina N. Gandhi, and Katarzyna Bunko. 2007. "Bioutilisation of Whey for Lactic Acid Production." *Food Chemistry* 105 (1): 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.035>.
- Parashar, Archana, Yiqiong Jin, Beth Mason, Michael Chae, and David C. Bressler. 2016. "Incorporation of Whey Permeate, a Dairy Effluent, in Ethanol Fermentation to Provide a Zero Waste Solution for the Dairy Industry." *Journal of Dairy Science* 99 (3): 1859–67. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10059>.
- Paseephol, Tatdao, Darryl M. Small, and Frank Sherkat. 2008. "Lactulose Production from Milk Concentration Permeate Using Calcium Carbonate-Based Catalysts." *Food Chemistry* 111 (2): 283–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.051>.
- Patinvoh, Regina J., Adib Kalantar Mehrjerdi, Ilona Sárvári Horváth, and Mohammad J. Taherzadeh. 2017. "Dry Fermentation of Manure with Straw in Continuous Plug Flow Reactor: Reactor Development and Process Stability at Different Loading Rates." *Bioresource Technology* 224: 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.011>.
- Payne, Chris. 2002. "Modification of the Nitrogen Content and C:N Ratio of Sitka Spruce Timber by Kiln and Air Drying." *Holzforschung* 56 (3): 304–11. <https://doi.org/10.1515/HF.2002.049>.
- Pazhavelikkakath Purushothaman, Rajeesh Kumar, F. Van Der Klis, A. E. Frissen, J. Van Haveren, A. Mayoral, A. Van Der Bent, and D. S. Van Es. 2018. "Base-Free Selective Oxidation of Pectin Derived Galacturonic Acid to Galactaric Acid Using Supported Gold Catalysts." *Green Chemistry* 20 (12): 2763–74. <https://doi.org/10.1039/c8gc00103k>.
- Pereira, Emanuele Graciosa, Jadir Nogueira Da Silva, Jofran L. De Oliveira, and Cássio S. MacHado. 2012. "Sustainable Energy: A Review of Gasification Technologies." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (7): 4753–62. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.023>.
- Petersen, G, and T Werpy. 2004. "Top Value Added Chemicals from Biomass." *U.S. Department of Energy*.
- Pfundtner, E. 2007. "Der Sachgerechte Einsatz von Biogasgülle Und Gärrückständen Im Acker- Und Grünland." Wien.

- Posada, John A., Akshay D. Patel, Alexander Roes, Kornelis Blok, André P.C. Faaij, and Martin K. Patel. 2013. "Potential of Bioethanol as a Chemical Building Block for Biorefineries: Preliminary Sustainability Assessment of 12 Bioethanol-Based Products." *Bioresource Technology* 135: 490–99. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.09.058>.
- Ree, Renè Van, and Alniek Van Zeeland. 2014. "IEA BIOENERGY Task42 BIOREFINING." *Biomass and Bioenergy*. Wageningen. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(07\)00064-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(07)00064-5).
- Rombaut, Natacha, Anne-Sylvie Tixier, Antoine Bily, and Farid Chemat. 2014. "Green Extraction Processes of Natural Products as Tools for Biorefinery." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 8 (4): 530–44. <https://doi.org/10.1002/bbb.1486>.
- Rossetti, Ilenia, Matteo Compagnoni, Elisabetta Finocchio, Gianguido Ramis, Alessandro Di Michele, Yannick Millot, and Stanislaw Dzwigaj. 2017. "Ethylene Production via Catalytic Dehydration of Diluted Bioethanol: A Step towards an Integrated Biorefinery." *Applied Catalysis B: Environmental* 210: 407–20. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.04.007>.
- Rueda, Estel, María Jesús García-Galán, Rubén Díez-Montero, Joaquim Vila, Magdalena Grifoll, and Joan García. 2020. "Polyhydroxybutyrate and Glycogen Production in Photobioreactors Inoculated with Wastewater Borne Cyanobacteria Monocultures." *Bioresource Technology* 295 (September 2019): 122233. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122233>.
- Samantaray, Shilalipi, Jitendra Kumar Nayak, and Nirupama Mallick. 2011. "Wastewater Utilization for Poly- β -Hydroxybutyrate Production by the Cyanobacterium *Aulosira Fertilissima* in a Recirculatory Aquaculture System." *Applied and Environmental Microbiology* 77 (24): 8735–43. <https://doi.org/10.1128/AEM.05275-11>.
- Santos, Andreia F., Aline L. Arim, Daniela V. Lopes, Licínio M. Gando-Ferreira, and Margarida J. Quina. 2019. "Recovery of Phosphate from Aqueous Solutions Using Calcined Eggshell as an Eco-Friendly Adsorbent." *Journal of Environmental Management* 238 (March): 451–59. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.015>.
- Schwaderer, Frank. 2012. "Integrierte Standort-, Kapazitäts- Und Technologieplanung von Wertschöpfungsnetzwerken Zur Stofflichen Und Energetischen Biomassenutzung." KIT Scientific Publishing, Karlsruhe. <https://doi.org/10.5445/KSP/1000030109>.
- Shafaghat, Hoda, Jungho Jae, Sang Chul Jung, Jong Ki Jeon, Chang Hyun Ko, and Young Kwon Park. 2018. "Effect of Methane Co-Feeding on Product Selectivity of Catalytic Pyrolysis of Biomass." *Catalysis Today* 303 (August 2017): 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2017.09.009>.
- Shahzad, Khurram, Michael Narodoslawsky, Muhammad Sagir, Nadeem Ali, Shahid Ali, Muhammad Imtiaz Rashid, Iqbal Mohammad Ibrahim Ismail, and Martin Koller. 2017. "Techno-Economic Feasibility of Waste Biorefinery: Using Slaughtering Waste Streams as Starting Material for Biopolyester Production." *Waste Management* 67: 73–85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.047>.
- Shen, Dekui, Jing Zhao, Rui Xiao, and Sai Gu. 2015. "Production of Aromatic Monomers from Catalytic Pyrolysis of Black-Liquor Lignin." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 111: 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.12.013>.
- Statistik Austria. 2019. "Energieeinsatz Der Haushalte 2017/2018." Statistik Austria. https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_PDF_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=022680.

- — —. 2020. "Energiebilanzen Österreich 1970 Bis 2018." Statistik Austria.
https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=022711.
- Steffl, T, J Kisser, V Reinberg, and B Sajtos. 2018. "Stoffliche Nutzung von Fossilen Rohstoffen Mit Blick Auf Eine Biobasierte Substitution in Österreich." Vol. 3.
- Strasser, Christoph, Rita Ehrig, and Manfred Wörgetter. 2009. "Bestandserhebung Zur Stofflichen Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen in Österreich."
- Stücker, Alexander, Fokko Schütt, Bodo Saake, and Ralph Lehen. 2016. "Lignins from Enzymatic Hydrolysis and Alkaline Extraction of Steam Refined Poplar Wood: Utilization in Lignin-Phenol-Formaldehyde Resins." *Industrial Crops and Products* 85: 300–308.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.062>.
- Thaler, S., M. Zessner, M. Weigl, H. Rechberger, K. Schilling, and H. Kroiss. 2015. "Possible Implications of Dietary Changes on Nutrient Fluxes, Environment and Land Use in Austria." *Agricultural Systems* 136: 14–29. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.01.006>.
- Trippe, Frederik, Magnus Froehling, Frank Schultmann, Ralph Stahl, E Henrich, and Ajay Dalai. 2013. "Comprehensive Techno-Economic Assessment of Dimethyl Ether (DME) Synthesis and Fischer-Tropsch Synthesis as Alternative Process Steps within Biomass-to-Liquid Production." *Fuel Processing Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.09.029>.
- Tsai, Wen Tien, Kuo Jong Hsien, Hsin Chieh Hsu, Chien Ming Lin, Keng Yu Lin, and Chun Hsiang Chiu. 2008. "Utilization of Ground Eggshell Waste as an Adsorbent for the Removal of Dyes from Aqueous Solution." *Bioresource Technology* 99 (6): 1623–29.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.010>.
- Vähä-Savo, Niklas. 2014. *Behavior of Black Liquor Nitrogen in Combustion – Formation of Cyanate*.
http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/101125/vaha_niklas.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
- Vea, Eldbjørg Blikra, Daina Romeo, and Marianne Thomsen. 2018. "Biowaste Valorisation in a Future Circular Bioeconomy." *Procedia CIRP* 69 (May): 591–96.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.062>.
- Venkata Mohan, S., G. N. Nikhil, P. Chiranjeevi, C. Nagendranatha Reddy, M. V. Rohit, A. Naresh Kumar, and Omprakash Sarkar. 2016. "Waste Biorefinery Models towards Sustainable Circular Bioeconomy: Critical Review and Future Perspectives." *Bioresource Technology* 215: 2–12.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.130>.
- Visser, Chris de, and René van Ree. 2017. "Small-Scale Biorefining." Wageningen.
[file:///C:/Users/colob/ownCloud/ABC_shared/AP3 Substitutionspotenzial/Literatur/de-Visser-van-Ree-2017-Small-scale-biorefining.pdf](file:///C:/Users/colob/ownCloud/ABC_shared/AP3%20Substitutionspotenzial/Literatur/de-Visser-van-Ree-2017-Small-scale-biorefining.pdf).
- Wagemann, Kurt et al. 2012. "Roadmap Bioraffinerien," 1–108.
- Wagner, Maximilian. 2017. "Untersuchung Der Flüsse Und Lager von Textilien in Österreich." Wien.
- Wang, Aiguo, and Hua Song. 2018. "Maximizing the Production of Aromatic Hydrocarbons from Lignin Conversion by Coupling Methane Activation." *Bioresource Technology* 268 (August): 505–13. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.08.026>.

- Ware, Aidan, and Niamh Power. 2016. "Biogas from Cattle Slaughterhouse Waste: Energy Recovery towards an Energy Self-Sufficient Industry in Ireland." *Renewable Energy* 97: 541–49. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.068>.
- Wilie, Ann C., and Walter W. Mulbry. 2002. "No Title." *Bioresource Technology* 84 (1): 81–91.
- Wimmer, Robert, Hannes Hohensinner, and Sören Eikemeier. 2011. "Stroh-Cert: Zertifizierung, Logistik Und Qualitäts- Management Für Den Strohballenbau." Wien.
- Windsperger, A, and B Windsperger. 2018. "Möglichkeiten Und Grenzen Eines Forcierten Einsatzes von Biobasierten Produkten in Österreich." *Nachhaltig Wirtschaften*. Wien.
- Wróblewska, Aleksandra A., Katrien V. Bernaerts, and Stefaan M.A. De Wildeman. 2017. "Rigid, Bio-Based Polyamides from Galactaric Acid Derivatives with Elevated Glass Transition Temperatures and Their Characterization." *Polymer* 124: 252–62. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.07.069>.
- Xie, Haibo, and Nicholas Gathergood. 2013. *The Role of Green Chemistry in Biomass Processing and Conversion*.
- Xu, Deshun, Douglas R. Tree, and Randy S. Lewis. 2011. "The Effects of Syngas Impurities on Syngas Fermentation to Liquid Fuels." *Biomass and Bioenergy* 35 (7): 2690–96. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.03.005>.
- Yin, Sudong, Ryan Dolan, Matt Harris, and Zhongchao Tan. 2010. "Subcritical Hydrothermal Liquefaction of Cattle Manure to Bio-Oil: Effects of Conversion Parameters on Bio-Oil Yield and Characterization of Bio-Oil." *Bioresource Technology* 101 (10): 3657–64. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.058>.
- Yoo, Sukjoon, Jeffery S. Hsieh, Peter Zou, and John Kokoszka. 2009. "Utilization of Calcium Carbonate Particles from Eggshell Waste as Coating Pigments for Ink-Jet Printing Paper." *Bioresource Technology* 100 (24): 6416–21. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.112>.
- Yu, Iris K.M., Daniel C.W. Tsang, Alex C.K. Yip, Season S. Chen, Lei Wang, Yong Sik Ok, and Chi Sun Poon. 2017. "Catalytic Valorization of Starch-Rich Food Waste into Hydroxymethylfurfural (HMF): Controlling Relative Kinetics for High Productivity." *Bioresource Technology* 237: 222–30. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.017>.
- Zabaniotou, A. 2018. "Redesigning a Bioenergy Sector in EU in the Transition to Circular Waste-Based Bioeconomy-A Multidisciplinary Review." *Journal of Cleaner Production* 177: 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.172>.
- Zabaniotou, A., P. Kamaterou, A. Pavlou, and C. Panayiotou. 2018. "Sustainable Bioeconomy Transitions: Targeting Value Capture by Integrating Pyrolysis in a Winery Waste Biorefinery." *Journal of Cleaner Production* 172: 3387–97. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.077>.
- Zhang, Wenyu, Hui Zou, Lin Jiang, Juejun Yao, Jing Liang, and Qunhui Wang. 2015. "Semi-Solid State Fermentation of Food Waste for Production of *Bacillus Thuringiensis* Biopesticide." *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 20 (6): 1123–32. <https://doi.org/10.1007/s12257-015-0347-y>.
- Zheng, Yi, Christopher Lee, Chaowei Yu, Yu Shen Cheng, Ruihong Zhang, Bryan M. Jenkins, and Jean S. VanderGheynst. 2013. "Dilute Acid Pretreatment and Fermentation of Sugar Beet Pulp to Ethanol." *Applied Energy* 105: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.070>.

12.2 INTERNET

AGRANA: <https://www.agrana.com/produkte/bioethanol/>, 09.09.2019

Anellotech: <https://anellotech.com/>, 06.09.2019

BMNT (Grüner Bericht): <https://gruenerbericht.at/cm4/jdownload/download/66-gb2019/2023-s-017-duengemittelabsatz>, 20.01.2020

BMVIT: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/hdz/projekte/stroh-cert-zertifizierung-logistik-und-qualitaetsmanagement-fuer-den-strohballenbau.php>, 14.01.2020

BMVIT: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/projekte/valorplast.php>, 21.01.2020

CORDIS, Projekt ANIMPOL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/93179/reporting/en>, 09.09.2019

CORDIS: <https://cordis.europa.eu/project/id/265156>, 21.01.2020

CORDIS: <https://cordis.europa.eu/project/id/265269>, 21.01.2020

CORDIS: <https://cordis.europa.eu/project/id/308637/reporting>, 21.01.2020

CORDIS: <https://cordis.europa.eu/project/id/603744>, 21.01.2020

European Commission: <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/support/faq/2890>, 10.01.2020

European Commission:

https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf, 14.01.2020

European Commission: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, 14.01.2020

Eurostat: Crop production in EU standard humidity,

<https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/u33K8Gi1MFYGN7HyHUNhg>, 20.01.2020

Eurostat: Animal populations by NUTS 2 regions, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=tds00096>, 20.01.2020

Eurostat: Milk collection (all milks) and dairy products obtained – annual data, https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/apro_mk_pobta, 20.01.2020

Eurostat: Complete energy balances, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>, 20.10.2020

FH Oberösterreich: <https://www.fh-ooe.at/campus-wels/biosciences/projekte/cafb-combined-agro-forest-biorefinery/>, 14.01.2020

FNR: <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/>, 22.01.2020

Interreg NWE: <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/phos4you-phosphorus-recovery-from-waste-water-for-your-life/>, 21.01.2020

JKU Energieinstitut: <http://www.energieinstitut-linz.at/v2/portfolio-item/biorest/>, 14.01.2020

Kappler, Leible: https://www.researchgate.net/publication/331258418_The_bioliqR_concept_-_from_biomass_to_fuel_Das_bioliq_R-Konzept_-_von_der_Biomasse_zum_Kraftstoff, 29.01.2020

Karlsruher Institut für Technologie:

https://www.bioliq.de/downloads/Datenblatt_Bioliq_deutsch_2018_p.pdf, 27.01.2020

Projekt AFTERLIFE: <https://afterlife-project.eu/>, 10.09.2019

Projekt BioReg: <https://www.bioreg.eu/>, 14.01.2020

Projekt Deep Purple: <https://deep-purple.eu/>, 16.01.2020

Projekt DIBANET: <https://dibanet.geonardo.com/>, 16.01.2020

Projekt Embraced: <https://www.embraced.eu/project>, 16.01.2020

Projekt Funbrew: <https://www.funbrew.eu/#project>, 16.01.2020

Projekt KASAV: <http://www.codigestion.com/index.php?id=59&L=1>, 16.01.2020

Projekt Life ANADRY: <http://www.life-anadry.eu/index.php/en/>, 21.01.2020

Projekt Lignoflag: <https://www.lignoflag-project.eu/>, 14.01.2020

Projekt Nutricol: <https://projekte.ffg.at/projekt/2920188>, 09.09.2019

Projekt Optisochem: <http://www.optisochem.eu/>, 14.01.2020

Projekt PERCAL: <https://percal-project.eu/>, 16.01.2020

Projekt PULP2VALUE: <http://pulp2value.eu/>, 06.09.2019

Projekt Tecophos: <http://www.recophos.org/>, 21.01.2020

Projekt TO-SYN-FUEL: <http://www.tosynfuel.eu/>, 21.01.2020

Projekt URBIOFIN: <https://www.urbiofin.eu/>, 16.01.2020

Projekt Volatile: <http://www.volatile-h2020.eu/theproject.html>, 16.01.2020

Projekt WASTE2FUELS Projekt: <http://www.waste2fuels.eu/>, 19.01.2020

Royal Cosun: [https://www.cosunbiobased.com/getmedia/d4782867-18ed-4224-91e4-0043fa12c899/Galactaric-acid-and-its-Chemical-\(derived\)-Building-Blocks.pdf?ext=.pdf](https://www.cosunbiobased.com/getmedia/d4782867-18ed-4224-91e4-0043fa12c899/Galactaric-acid-and-its-Chemical-(derived)-Building-Blocks.pdf?ext=.pdf), 06.09.2019

Siemens: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public/1558704844.a5fa8257-6c71-496f-a324-454241f1df71.white-paper-effizienz-de.pdf>, 31.01.2020

Statistik Austria:
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/betriebsstruktur/113147.html, 21.01.2020

Statistik Austria:
https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/bodennutzung/index.html, 17.01.2020

Statistik Austria:
https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=022711, 31.01.2020

Statistik Austria:
https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_PDF_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=022680, 31.01.2020

Statistik Austria:
https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html, 17.01.2020

TU Berlin: https://www.er.tu-berlin.de/fileadmin/a38331300/Dateien/Technischer_Stand_und_Flexibilitaet_des_Power-to-Gas-Verfahrens.pdf, 31.01.2020

13 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Konzept vernetzte Bioraffinerien (eigene Darstellung)	3
Abbildung 2: Vergleich relevanter biobasierter Stoffströme als Trockenmasse (eigene Darstellung)	5
Abbildung 3: Zusammensetzung des Relevanten Potenzials der Kategorie Lignocellulose in kt (7 kt Energiegräser in der Grafik nicht abgebildet) (eigene Darstellung)	6
Abbildung 4: theoretisches Substitutionspotenzial durch HTL von Lignocellulose (eigene Darstellung) berechnet nach (Arturi, Kucheryavskiy, and Søgaaard 2016; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)	7
Abbildung 5: Relevantes Potenzial an Lignocellulose auf Bundeslandebene mit Biomassewerken, holzverarbeitenden Betrieben und Sägewerken (Auswahl) (eigene Darstellung)	7
Abbildung 6: Dezentrales Logistikkonzept für Stroh mit regionalen Pyrolyseanlagen (eigene Darstellung)	8
Abbildung 7: Gesamtkosten BtL Logistikkonzept Stroh (eigene Darstellung)	9
Abbildung 8: Vergleich relevanter biobasierter Stoffströme als Trockenmasse (eigene Darstellung)	25
Abbildung 9: Relevante Stoffströme aus der Landwirtschaft als Feuchtmasse (eigene Darstellung)	26
Abbildung 10: Relevante Stoffströme aus der weiterverarbeitenden Industrie als Feuchtmasse (eigene Darstellung)	27
Abbildung 11: Relevante Stoffströme aus der Energie- und Abfallwirtschaft als Feuchtmasse (eigene Darstellung)	28
Abbildung 12: Vergleich der Getreideernte 2018 in kg/Kopf (Eurostat 2020)	29
Abbildung 13: Vergleich des Viehbestands 2018 in Großvieheinheiten pro Kopf (Eurostat, 2020)	30
Abbildung 14: Vergleich der Produktion von Milchprodukten 2018 in kg/Kopf (Eurostat, 2020)	31
Abbildung 15: Vergleich des energetischen Einsatzes fester Biomasse 2017 in MWh/Kopf (Eurostat, 2020)	32
Abbildung 16: Schema einer bio-basierten Wertschöpfungskette (Lokesh et al., 2018)	38
Abbildung 17: Zusammensetzung des relevanten Potenzials der Kategorie Lignocellulose in kt Trockenmasse pro Jahr (eigene Darstellung)	41
Abbildung 18: Relevantes Potenzial von Lignocellulose nach Bundesländern mit Biomassewerken, Holzverarbeitern und Sägewerken (Auswahl) (eigene Darstellung)	42
Abbildung 19: theoretische Substitutionspotenzial durch Pyrolyse-Öl und PEF aus Lignocellulose (eigene Darstellung) berechnet nach (Wang and Song 2018; Chang, Jang, and Wu 2011; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007; IfBB Hochschule Hannover 2018; Lettenmeier 2019; Milanzi et al. 2018; Statistik Austria 2020, 2019)	46
Abbildung 20: Theoretisches Substitutionspotenzial für Pyrolyse-Öl und Polybutadien aus Lignocellulose (eigene Darstellung) berechnet nach (Wang and Song 2018; Posada et al. 2013; Harmsen, Hackmann, and Bos 2014; IfBB Hochschule Hannover 2018; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007; Lettenmeier 2019; Milanzi et al. 2018; Statistik Austria 2020, 2019)	47
Abbildung 21: theoretisches Substitutionspotenzial durch HTL von Lignocellulose (eigene Darstellung) berechnet nach (Arturi, Kucheryavskiy, and Søgaaard 2016; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)	47
Abbildung 22: theoretisches Substitutionspotenzial von Stroh als Dämmstoff (eigene Darstellung) berechnet nach (Asdrubali, D'Alessandro, and Schiavoni 2015; Steffl et al. 2018; Cascone et al. 2019)	48
Abbildung 23: Relevantes Potenzial von Ablauge aus der Zellstoff-Herstellung (in kt TM) nach Bundesländern mit Standorten von Zellstoffwerken (eigene Darstellung)	49

Abbildung 24: Theoretisches Substitutionspotenzial von Ablauge aus der Zellstoff-Herstellung über die Gewinnung von Lignin und PET (über Butanol), eigene Darstellung, berechnet nach (Nagy et al. 2010; Kudahettige-Nilsson et al. 2015; IfBB Hochschule Hannover 2018; Steffl et al. 2018)	51
Abbildung 25: Relevantes Potenzial Grüne Biomasse (in kt TM) nach Bundesländern (eigene Darstellung) ..	52
Abbildung 26: Theoretisches Substitutionspotenzial durch die Gewinnung von Milchsäure aus dem Presssaft von Grüner Biomasse (Proteine als Tierfutter und Fasern für mögliche technische Anwendungen wären zusätzliche Produkte), eigene Darstellung, berechnet nach (Xie and Gathergood 2013; Steffl et al. 2018) ...	53
Abbildung 27: Relevantes Potenzial Ölpresskuchen (in t TM) nach Bundesländern mit Ölmühlen (Auswahl) (eigene Darstellung)	54
Abbildung 28: Aufkommen von Trester (in t TM) nach Bundesländern (eigene Darstellung)	55
Abbildung 29: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Hydrolyse und Bernsteinsäure-Fermentation von Trester, eigene Darstellung, berechnet nach (González-García et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018; Steffl et al. 2018)	57
Abbildung 30: theoretisches Substitutionspotenzial durch Pyrolyse von Trester (zusätzlich können Hydrokolloide als Produkt gewonnen werden), eigene Darstellung, berechnet nach (Zabaniotou 2018; Jungbluth et al. 2007; Steffl et al. 2018; FNR 2020; Lettenmeier 2019; Milanzi et al. 2018; Statistik Austria 2019)	58
Abbildung 31: Aufkommen von Braureststoffen (in t TM) nach Bundesländern mit Standorten von Brauereien (Auswahl) (eigene Darstellung)	59
Abbildung 32: theoretisches Substitutionspotenzial durch Milchsäure aus Brauabfällen, eigene Darstellung, berechnet nach (Djukić-Vuković et al. 2016; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018)	60
Abbildung 33: Aufkommen von Molkereiabfällen (in t TM) nach Bundesländern mit Standorten von Molkereien (eigene Darstellung)	61
Abbildung 34: theoretisches Substitutionspotenzial durch Ethanol- und Biogas-Fermentation von Molkereiabfällen, eigene Darstellung, berechnet nach (Gabardo et al. 2016; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018; FNR 2020)	63
Abbildung 35: theoretisches Substitutionspotenzial durch Milchsäure- und Biogas-Fermentation von Molkereiabfällen, eigene Darstellung, berechnet nach (Luongo et al. 2019; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018; FNR 2020)	63
Abbildung 36: Relevantes Potenzial von tierischen Reststoffen (in kt TM) nach Bundesländern mit ausgewählten Schlachthöfen (eigene Darstellung)	65
Abbildung 37: Theoretisches Substitutionspotenzial aus tierischen Reststoffen, eigene Darstellung, berechnet nach (Ware and Power 2016; Steffl et al. 2018)	66
Abbildung 38: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Pyrolyse von tierischen Reststoffen, eigene Darstellung, berechnet nach (Chaalal and Roy 2003; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)	66
Abbildung 39: Aufkommen von Reststoffen aus Getreidemöhlen in t TM mit ausgewählten Möhlenstandorten nach Bundesländern (eigene Darstellung)	67
Abbildung 40: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Bernsteinsäure-Fermentation von Reststoffen aus Getreidemöhlen, eigene Darstellung, berechnet nach (Lam et al. 2014; IfBB Hochschule Hannover 2018; Steffl et al. 2018)	69
Abbildung 41: Relevantes Potenzial an Zucker-Reststoffen (in t TM) nach Bundesländern mit Zuckerfabriken (eigene Darstellung)	70
Abbildung 42: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Ethanol-Fermentation und PE-Herstellung aus Zucker-Reststoffen, eigene Darstellung, berechnet nach (Zheng et al. 2013; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018)	72
Abbildung 43: Aufkommen von Biomüll (in kt TM) nach Bundesländern (eigene Darstellung)	73

Abbildung 44: Relevantes Potenzial Biomüll nach einbezogenen Stoffströmen in t Trockenmasse pro Jahr (eigene Darstellung)	73
Abbildung 45: Theoretische Substitutionspotenzial bei der Gewinnung von Milchsäure und Methan aus Biomüll, eigene Darstellung, berechnet nach (Kim et al. 2016; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018; FNR 2020)	75
Abbildung 46: Theoretisches Substitutionspotenzial von bio-PET 100 aus Biomüll (unter Zuführung von 360 kg Ethanol pro t PET), eigene Darstellung, berechnet nach (Huang, Singh, and Qureshi 2015; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018; FNR 2020)	75
Abbildung 47: Theoretisches Substitutionspotenzial von Bio-Öl aus der Hydrothermal Liquefaction von Biomüll, eigene Darstellung, berechnet nach (Maag et al. 2018; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)	76
Abbildung 48: Aufkommen von kommunalen Abwässern nach Bundesländern mit den 12 größten Kläranlagen (eigene Darstellung)	77
Abbildung 49: Theoretisches Substitutionspotenzial von PHAs und Methan aus Abwasser (eigene Darstellung) berechnet nach (Samantaray, Nayak, and Mallick 2011; Meixner et al. 2018; Steffl et al. 2018; IfBB Hochschule Hannover 2018; FNR 2020)	79
Abbildung 50: Theoretisches Substitutionspotenzial von Produkten aus der HTL von in Abwasser gezüchteter Algenmasse, eigene Darstellung, berechnet nach (Duan and Savage 2011; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007; FNR 2020; Lettenmeier 2019; Milanzi et al. 2018; Statistik Austria 2019)	79
Abbildung 51: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Pyrolyse von Klärschlamm, eigene Darstellung, berechnet nach (Fonts et al. 2012; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)	82
Abbildung 52: Theoretisches Substitutionspotenzial durch hydrothermal Liquefaction von Klärschlamm, eigene Darstellung, berechnet nach (Kapusta 2018; Chen et al. 2019; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)	82
Abbildung 53: Relevantes Potenzial von Gülle (in kt TM) nach Bundesländern (eigene Darstellung)	83
Abbildung 54: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Methan aus Gülle-Fermentation, eigene Darstellung, berechnet nach (Patinvoh et al. 2017; Steffl et al. 2018; FNR 2020)	84
Abbildung 55: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Pyrolyse von Gülle, eigene Darstellung, berechnet nach (Janković 2015; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)	85
Abbildung 56: Theoretisches Substitutionspotenzial durch Hydrothermal Liquefaction von Gülle, eigene Darstellung, berechnet nach (Yin et al. 2010; Steffl et al. 2018; Jungbluth et al. 2007)	85
Abbildung 57: Aufkommen von biogener Asche (in kt TM) nach Bundesländern mit einer Auswahl an Biomasseheizkraftwerken (eigene Darstellung)	87
Abbildung 58: Aufkommen von Biogas (in kt TM) nach Bundesländern. Eine Auswahl an Biogasanlagen ist mit weißen Kreisen gekennzeichnet. (eigene Darstellung)	88
Abbildung 59: Aufteilung der ermittelten relevanten Potenziale mit einer Summe von 18,51 Mt Trockenmasse auf die unterschiedlichen Biomasse-Ströme (eigene Darstellung)	89
Abbildung 60: Übersicht KUMU-Diagramm (eigene Darstellung)	92
Abbildung 61: Detailansicht des KUMU-Diagramms für Biogas (eigene Darstellung)	93
Abbildung 62: Struktur der Biomasselogistik am Beispiel Energieerzeugung (Martin Kaltschmitt, Hartmann, and Hofbauer 2016)	100
Abbildung 63: Planungsaufgaben im Supply Chain Design für Biomasse (Schwaderer 2012)	101
Abbildung 64: Räumliche Verteilung ausgewählter Sekundärrohstoffe Österreich (eigene Darstellung)	102
Abbildung 65: Zeitliche Verfügbarkeit Sekundärrohstoffe (eigene Darstellung)	103
Abbildung 66: Prozessschaubild Bioliq® Verfahren (KIT 2018)	106
Abbildung 67: Integriertes/zentrales Logistikkonzept für Stroh (eigene Darstellung)	107
Abbildung 68: Dezentrales Logistikkonzept für Stroh mit regionalen Pyrolyseanlagen (eigene Darstellung)	107

Abbildung 69: Berechnetes Strohaufkommen und Aufteilung des theoretischen Potenzials nach Nutzungsarten (Summe: 4.951.090 t Stroh FM).....	108
Abbildung 70: Aufteilung technisches Strohpotenzial 2018 auf Bundesländerebene (eigene Darstellung) .	109
Abbildung 71: Anteil verschiedener Stroharten am Gesamtaufkommen auf Bundesländerebene (eigene Darstellung).....	109
Abbildung 72: Gemeindespezifische Verteilung relevantes Strohpotenzial (eigene Darstellung).....	110
Abbildung 73: Modellstruktur Logistiknetzwerk, 2-stufiges Warehouse Location Problem (eigene Darstellung)	117
Abbildung 74: Dezentrale Pyrolysestandorte; Basisszenario (eigene Darstellung)	119
Abbildung 75: Pyrolyse- und Synthesestandorte; Lösung dezentrales Logistikkonzept; Basisszenario (eigene Darstellung).....	120
Abbildung 76: Zentraler Pyrolyse- und Synthesestandort; Lösung zentrales Logistikkonzept; Basisszenario (eigene Darstellung).....	120
Abbildung 77: Gesamtkosten BtL Logistiknetzwerk Stroh (eigene Darstellung).....	122
Abbildung 78: Gesamtkosten in Prozent - dezentral (Summe 1072 Mio. €) (eigene Darstellung)	123
Abbildung 79: Gesamtkosten in Prozent - zentral (Summe 998 Mio. €) (eigene Darstellung)	123
Abbildung 80: Verarbeitungskosten pro Tonne Stroh - Lösung dezentral (links) und zentral (rechts) (eigene Darstellung).....	124
Abbildung 81: Verarbeitungskosten pro Tonne Stroh in Prozent - dezentral (Summe 154. €/t Stroh) (eigene Darstellung).....	124
Abbildung 82: Verarbeitungskosten pro Tonne Stroh in Prozent - zentral (Summe 141 €/t Stroh) (eigene Darstellung).....	125

14 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Datenquellen für Nebenprodukte aus der Land- und Forstwirtschaft.....	15
Tabelle 2: Datenquellen für Nebenprodukte aus der biobasierten Industrie.....	17
Tabelle 3: Datenquellen für Stoffströme in der Energiewirtschaft, von Abfallfraktionen und Abwässern	18
Tabelle 4: Datenquellen für weitere Stoffströme	21
Tabelle 5: Mengengerüst der relevanten biobasierten Stoffströme als Feuchtmasse.....	23
Tabelle 6: Mengengerüst der relevanten biobasierten Stoffströme als Trockenmasse	24
Tabelle 7: Übersicht zu ausgewählten potenziellen Nutzungspfaden für Lignocellulose (für Nutzungspfad 3 wurde ein Substitutionspotenzial errechnet)	43
Tabelle 8: Übersicht zu ausgewählten potenziellen Nutzungspfaden für Lignocellulose (Fortsetzung) (für die Nutzungspfade 10 und 12 wurden Substitutionspotenziale berechnet)	44
Tabelle 9: ausgewählte Projekte zur Nutzung von Lignocellulose	48
Tabelle 10: ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Ablauge aus der Zellstoff-Herstellung	50
Tabelle 11: Ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Grüne Biomasse (eigene Darstellung).....	52
Tabelle 12: ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Ölpressekuchen (eigene Darstellung).....	54
Tabelle 13: ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Trester (aus den grün hinterlegten Nutzungspfaden 1, 2 und 3 wurde ein Substitutionspotenzial berechnet) (eigene Darstellung).....	56

Tabelle 14: potenzielle Nutzungspfade für Braureststoffe (Brewer's Spent Grain)	59
Tabelle 15: Ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Molkereireststoffe (eigene Darstellung).....	62
Tabelle 16: Ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für tierische Reststoffe, aus den grün hinterlegten Nutzungswegen 1 und 2 wurden Substitutionspotenziale errechnet.....	65
Tabelle 17: Ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Reststoffe aus Getreidemöhlen, für die Nutzungspfade 1 und 2 wurden Substitutionspotenziale berechnet	68
Tabelle 18: Übersicht zu ausgewählten potenziellen Nutzungspfaden für zuckerhaltige Reststoffe (eigene Darstellung)	71
Tabelle 19: Übersicht zu ausgewählten potenziellen Nutzungspfaden für Biomüll (aus allen wurden Substitutionspotenziale berechnet)	74
Tabelle 20: Ausgewählte Projekte zur Nutzung von Biomüll (bzw. der organischen Fraktion von Restmüll)	76
Tabelle 21: Übersicht zu ausgewählten potenziellen Nutzungspfaden für Abwässer (eigene Darstellung)	78
Tabelle 22: ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Klärschlamm (eigene Darstellung).....	81
Tabelle 23: Ausgewählte potenzielle Nutzungspfade für Gülle (eigene Darstellung)	84
Tabelle 24: Ausgewählte potenzielle Anwendungsbereiche für Eierschalen	87
Tabelle 25: Übersicht ausgewählter Nutzungspfade mit Produkten und Substitutionspotenzial (Abschätzung des Stickstoff- und Phosphorgehalts der Biomasse und Einschätzung des TRL der ausgewählten Prozesse) (die Quellen für die einzelnen Konversionswege sind in den Kapiteln zu den jeweiligen Stoffströmen zu finden)	90
Tabelle 26: Transportkapazitäten Strohballen und Slurry (Schwaderer 2012).....	111
Tabelle 27: Konversionsfaktoren Bioliq® Verfahren, bezogen auf Trockensubstanz (Dahmen et al. 2012).....	111
Tabelle 28: Bestimmung Anlagenkapazität dezentrale Pyrolyse	112
Tabelle 29: Investitionsabhängige Kosten in Prozent der Gesamtinvestition, (Schwaderer 2012)	114
Tabelle 30: Rohstoff- /Stroherfassungskosten (Schwaderer 2012)	114
Tabelle 31: Fixe und variable Transportkosten Stroh und Slurry	115
Tabelle 32: Kostenstruktur zentrales/dezentrales Logistikkonzept für Sekundärrohstoff Stroh, eigene Berechnung nach (Kerdoncuff, 2008; Moser, 2012; Schwaderer, 2012).....	116
Tabelle 33: Nebenprodukte aus der Land- und Forstwirtschaft	155
Tabelle 34: Nebenprodukte aus der biobasierten Industrie	156
Tabelle 35: Energetische Nutzung, Abfallfraktionen und Abwässer	159
Tabelle 36: Vertrauenswürdigkeit der Datenquelle.....	160
Tabelle 37: Korrelationen des Bezugsrahmens der Daten	160
Tabelle 38: Variationskoeffizienten der ExpertInnen-Einschätzungen	160
Tabelle 39: Klassifizierung der Datenqualität.....	161
Tabelle 40: Umwertung in Koeffizienten.....	162
Tabelle 41: Mengengerüst für Ablage auf Länderebene.....	163
Tabelle 42: Mengengerüst für Abwässer auf Länderebene	163

Tabelle 43: Mengengerüst für Asche und Schlacken auf Länderebene	163
Tabelle 44: Mengengerüst für Biogase auf Länderebene	164
Tabelle 45: Mengengerüst für den biogenen Anteil im Hausmüll auf Länderebene	164
Tabelle 46: Mengengerüst für Eierschalen auf Länderebene	164
Tabelle 47: Mengengerüst für Energiegräser auf Länderebene	165
Tabelle 48: Mengengerüst für Energieholz auf Länderebene	165
Tabelle 49: Mengengerüst für Fleisch- und Wurstreststoffe auf Länderebene	165
Tabelle 50: Mengengerüst für Grünfütter auf Länderebene	166
Tabelle 51: Mengengerüst für Gülle auf Länderebene	166
Tabelle 52: Mengengerüst für Holzabfälle auf Länderebene	166
Tabelle 53: Mengengerüst für Klärschlamm auf Länderebene	167
Tabelle 54: Mengengerüst für Molkereiabfälle auf Länderebene	167
Tabelle 55: Mengengerüst für Ölpressekuchen auf Länderebene	167
Tabelle 56: Mengengerüst für Rebschnitt auf Länderebene	168
Tabelle 57: Mengengerüst für Reststoffe aus dem Gemüseanbau auf Länderebene	168
Tabelle 58: Mengengerüst für Reststoffe aus dem Obstanbau auf Länderebene	168
Tabelle 59: Mengengerüst für Reststoffe aus der Feinkostproduktion auf Länderebene	169
Tabelle 60: Mengengerüst für Reststoffe aus der Gemüse- und Obstveredelung auf Länderebene ..	169
Tabelle 61: Mengengerüst für Reststoffe aus der Tiefkühl-Lebensmittelproduktion auf Länderebene	169
Tabelle 62: Mengengerüst für Reststoffe von Getreidemöhlen auf Länderebene	170
Tabelle 63: Mengengerüst für Schlachtabfälle auf Länderebene	170
Tabelle 64: Mengengerüst für Stroh auf Länderebene	170
Tabelle 65: Mengengerüst für Treber auf Länderebene	171
Tabelle 66: Mengengerüst für Trester auf Länderebene	171
Tabelle 67: Mengengerüst für weitere biogene Energieträger auf Länderebene	171
Tabelle 68: Mengengerüst für Zuckerreststoffe auf Länderebene	172
Tabelle 69: Mengengerüst auf Bundesebene in Feuchtmasse	172
Tabelle 70: Mengengerüst auf Bundesebene in Trockenmasse	173
Tabelle 71: Massenstromverhältnisse für Zwischen- und Endprodukte, Hilfsmittel und Reststoffe (Schwaderer 2012)	174
Tabelle 72: Preise und Kosten von Hilfsmitteln und Reststoffen, (Schwaderer 2012)	174
Tabelle 73: Indices, Parameter und Variablen der Modellformulierung	175
Tabelle 74: Detaillerte Ergebnisse Verarbeitungskosten pro Tonne Stroh; dezentrales und zentrales Konzept	176

15 ANHANG

15.1 EXPERTINNEN-INTERVIEWS

Expertin/Experte	Institution	Datum	InterviewerIn
Frischenschlager, Helmut	Umweltbundesamt	20.11.2019	Veronika Reinberg
Kozich, Martin	AGRANA Research	12.11.2019	Veronika Reinberg
Fazeni-Fraisl, Karin	JKU, Energieinstitut	25.10.2019	Veronika Reinberg
Möchte nicht genannt werden	Ein Unternehmen des Lebensmitteleinzelhandels	08.11.2019	Anna Biebl
Schipfer, Fabian	TU Wien, EEG	11.12.2019	Anna Biebl
Rosenau, Thomas	BOKU, Inst. f. Chemie nachwachsender Rohstoffe	11.12.2019	Anna Biebl
Nadherny-Borutin, Sabine	FH Technikum	10.01.2020	Marlies Müller
Lampert, Christoph	Umweltbundesamt	09.01.2020	Marlies Müller
Waxwender, Hannes	Umweltbundesamt	23.01.2020	Marlies Müller
Bauer, Wolfgang	TU Graz, Inst. f. Biobasierte Produkte und Papiertechnik	15.01.2020	Marlies Müller
Stern, Tobias	Uni Graz, Inst. f. Systemwissenschaften, Innovations- und Nachhaltigkeitsforschung	28.05.2019	Veronika Reinberg
Windsperger, Andreas	Institut f. Industrielle Ökologie	22.05.2019	Veronika Reinberg
Neureiter, Markus	BOKU, Inst. f. Umweltbiotechnologie	20.05.2019	Veronika Reinberg
Drosg, Bernhard	BOKU, Bioenergy2020+	18.06.2019	Veronika Reinberg
Jungmeier, Gerfried	Joanneum Research, Zukunftsfähige Energiesysteme und Lebensstile	03.06.2019	Veronika Reinberg
Strimitzer, Lorenz	Austrian Energy Agency	04.06.2019	Veronika Reinberg
Pfeifer, Christoph	BOKU, Inst. f. Verfahrens- und Energietechnik	03.06.2019	Veronika Reinberg
Stürmer, Bernhard	Kompost&Biogas Verband	27.06.2019	Veronika Reinberg
Kamleitner, Florian	ecoplus	16.04.2019	Veronika Reinberg
Lamers, Gottfried	BMNT	09.10.2019	Joachim Thaler, Erika Ganglberger
Binner, Erwin	BOKU, Inst. f. Abfallwirtschaft	28.01.2020	Marlies Müller

15.2 ABKÜRZUNGEN

AEA: Österreichische Energieagentur

BMNT: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus

BMVIT: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

BT(E)X: Benzol, Toluol, (Ethylbenzol,) Xylol

EPS: Expandiertes Polystyrol

PBS 100: zu 100% biobasiertes Polybutylensuccinat (Polymer der Bernsteinsäure)

BioPE: biobasiertes PE

BioPET 100: 100% biobasiertes PET

DME: Dimethylether

FM: Feuchtmasse

HTL: Hydrothermal Liquefaction

MEG: Monoethylenglycol

OFMSW: Organic fraction of municipal solid waste

PHAs: Polyhydroxyalkanoate

PHB: Polyhydroxybutyrat

TM: Trockenmasse

TPA: Terephthalsäure

Var. Kosten: variable Kosten

VFAs: Volatile fatty acids

15.3 QUELLENVERZEICHNIS FÜR DAS MENGengerÜST DER RELEVANTEN BIOBASierten STOFFSTRÖME

Tabelle 33: Nebenprodukte aus der Land- und Forstwirtschaft

Stoffstrom	Basisdatenquelle(n)	Datenquelle(n) für Umrechnungen	Anmerkungen
Stroh	Statistik Austria Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html Statistik Austria Agrarstrukturerhebung 2010, Bodennutzung Flächen für Getreideanbau (StatCube, kostenpflichtige Daten)	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195341000499X http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC35679/PUBSY%205679%20-%20EUR%2022626%20-%20docnum.pdf https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913005825 https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/07_fleschhut_2017.pdf https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/media/6_Publikationen/02_Basisinformationen_Reststoffe_web.pdf https://boku.ac.at/fileadmin/data/H04000/bioconversion/Neuschwandtner.pdf http://news.bio-based.eu/media/news-images/20070718-03/0707-fnr-tv-2-IE.pdf https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669014006955 https://www.votehemp.com/wp-content/uploads/2018/09/13-03_European_Hemp_Industry.pdf https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X15000074	Referenz: https://boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H73000/H73300/pub/DA_Diss/2012_DA_Moser.pdf (Moser, 2012) errechnet ein Strohaufkommen von jährlich 2,4 Mt in Österreich; wir liegen bei 3,9 Mt, ohne Maisstroh bei 2,3 Mt (wie Moser, 2012)
Grünfutter	Statistik Austria Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X15000074	
Reststoffe aus dem Gemüseanbau	Statistik Austria Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	https://www.researchgate.net/profile/Stefan_Giljum/publication/228904255_Used_biomass_extraction_in_agriculture_forestry_and_fishery/links/00b49517a639ac7aa2000000.pdf	
Reststoffe aus dem Obstanbau	Statistik Austria Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	https://www.researchgate.net/profile/Stefan_Giljum/publication/228904255_Used_biomass_extraction_in_agriculture_forestry_and_fishery/links/00b49517a639ac7aa2000000.pdf	
Rebschnitt	Statistik Austria Weinernte Weinmengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/wein/index.html	https://www.researchgate.net/profile/Stefan_Giljum/publication/228904255_Used_biomass_extraction_in_agriculture_forestry_and_fishery/links/00b49517a639ac7aa2000000.pdf https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/bio	

		mass futures atlas of technical and economic biomass potential_en.pdf	
Gülle	Statistik Austria Viehbestand – Rinder, Schweine, Schafe, Ziegen und Pferde Anzahl Tiere https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/viehbestand_tierische_erzeugung/viehbestand/index.html	https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/projekte/klimapolitik/Bericht_Biomassefluesse_pdf.pdf	
Schlacht-abfälle	Statistik Austria untersuchte Schlachtungen und Hühnerschlachtungen Anzahl Schlachtungen und tw. Fleischmenge https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/viehbestand_tierische_erzeugung/schlachtungen/index.html Umweltbundesamt Mengen tierischer Nebenprodukte http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0198.pdf		Lokalisierung der Schlachtereien http://www.fabbiogas.eu/en/project-results/mapping-waste-streams-from-fab-industry/
Eierschalen (von Hühner-eiern)	Eigene Erhebung Statistik Austria Konjunkturstatistik im Produzierenden Bereich 2017 Gesamtproduktion im Nahrungsmittelsegment in Euro http://statistik.at/web_de/services/publikationen/9/index.html		ca. 800 t/a Eierschalen aus Brütereien ca. 350 t/a bei den drei recherchierten Brütereien
-	Grüner Bericht 2018, Forst-Holzeinschlag, Nutzungsmengen stofflich und energetisch http://www.agraroekonomik.at/index.php?id=gruenerbericht2016&no_cache=1	https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/projekte/klimapolitik/Bericht_Biomassefluesse_pdf.pdf	
Energie-gräser	Statistik Austria Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html		

Tabelle 34: Nebenprodukte aus der biobasierten Industrie

Stoffstrom	Basisdatenquelle(n)	Datenquelle(n) für Umrechnungen	Anmerkungen
Reststoffe von Getreidemöhlen (plus Bäckereien und Teigwarenproduktion)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf Statistik Austria Ausgewählte Strukturdaten 2015 nach ÖNACE 2008 und Bundesländern Betriebslöhne https://www.statistik.at/web_de/services/wirtschaftsatlas_oesterreich/branchendaten_im_bundeslaendevergleich/index.html		Lokalisierung der größten Mühlen http://www.fabbiogas.eu/en/project-results/mapping-waste-streams-from-fab-industry/ Reststoffe sind v.a. Nachmehl, Grießkleie und Kleie https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikation

		en/daten/informationen/p_44421.pdf https://pulswerk.at/leben/smittelabfaelle_oesterreich.htm
Treber	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf Statistik Austria Ausgewählte Strukturdaten 2015 nach ÖNACE 2008 und Bundesländern Betriebserlöse https://www.statistik.at/web_de/services/wirtschaftsatlas_oesterreich/branchendaten_im_bundeslaendevergleich/index.html	Lokalisierung der Brauereien http://www.fabbiogas.eu/en/project-results/mapping-waste-streams-from-fab-industry/ Details bei (Reisinger et al., 2012) http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0403.pdf https://pulswerk.at/leben/smittelabfaelle_oesterreich.htm
Reststoffe aus der Feinkostproduktion (Suppen, Fertiggerichte, Kinder-nahrung, Essig, Senf)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf Statistik Austria Ausgewählte Strukturdaten 2015 nach ÖNACE 2008 und Bundesländern Betriebserlöse https://www.statistik.at/web_de/services/wirtschaftsatlas_oesterreich/branchendaten_im_bundeslaendevergleich/index.html	Österreich 2019 Hersteller: Spitz, Kuner, Haas, Hipp, zahlreiche Ein-Personen-Unternehmen https://pulswerk.at/leben/smittelabfaelle_oesterreich.htm
Ölpresskuchen	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf Statistik Austria Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion Erntemengen und Anbauflächen https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/index.html	https://scihub.tw/https://doi.org/10.1007/978-3-642-55577-0_47 (Menner 2004 p 497)
Fleisch- und Wurstreststoffe	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf Statistik Austria untersuchte Schlachtungen und Hühnerschlachtungen Anzahl Schlachtungen und tw. Fleischmenge https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/viehbestand_tierische_erzeugung/schlachtungen/index.html	Produzenten: Schirnhofen GmbH, Franz Ablinger GmbH, Hubers Landhendl, Felix Austria, Joseph Reiner Abfallindex: 0.51-0.97 (Menner 2004) https://pulswerk.at/leben/smittelabfaelle_oesterreich.htm
Reststoffe aus der Gemüse- und Obstveredelung	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf Statistik Austria Ausgewählte Strukturdaten 2015 nach ÖNACE 2008 und Bundesländern Betriebserlöse	Hersteller: Darbo, Stauds, Elfin, Sonnentor, Tiroler Frücheküche Nebenprodukte: Schälrückstände, Kerne (Marille, Hagebutte, Kirsche etc.)

	https://www.statistik.at/web_de/services/wirtschaftsatlas_oesterreich/branchendaten_im_bundeslaendevergleich/index.html	https://pulswerk.at/leben/mittelabfaelle_oesterreich.htm
Trester	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf Statistik Austria Ausgewählte Strukturdaten 2015 nach ÖNACE 2008 und Bundesländern Betriebserlöse https://www.statistik.at/web_de/services/wirtschaftsatlas_oesterreich/branchendaten_im_bundeslaendevergleich/index.html	(Reisinger et al. 2012) http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0403.pdf Hoher Kohlenhydratanteil (Zucker, Pektin) Phenolische Inhaltsstoffe https://pulswerk.at/leben/mittelabfaelle_oesterreich.htm
Molkereiabfälle	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf ORF online „Molkereien für Kennzeichnungen in Gastronomie“, Online-Artikel erschienen am 28.03.2017, abgerufen am 30.08.2019 Umsätze der größten Molkereien https://orf.at/v2/stories/2385206 Statistik Austria Kuhmilcherzeugung und -verwendung Milchlieferleistung https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/viehbestand_tierische_erzeugung/milch/index.html	Lokalisierung der Milchverarbeiter http://www.fabbiogas.eu/en/project-results/mapping-waste-streams-from-fab-industry/ tw. als Tierfutter oder in Biogasanlagen verwertet oder in Kläranlagen entsorgt https://pulswerk.at/leben/mittelabfaelle_oesterreich.htm
Reststoffe aus der TK-Lebensmittelproduktion (rohes Gemüse und Obst, Fertiggerichte und Speiseeis)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf Statistik Austria Ausgewählte Strukturdaten 2015 nach ÖNACE 2008 und Bundesländern Betriebserlöse https://www.statistik.at/web_de/services/wirtschaftsatlas_oesterreich/branchendaten_im_bundeslaendevergleich/index.html	Hersteller: Iglo, Weinbergmaier (Vivatis Holding) Hersteller von Eigenmarken https://pulswerk.at/leben/mittelabfaelle_oesterreich.htm
Zuckerreststoffe (Zucker, Süßwaren und Stärke)	Ökologie-Institut et al., Studie „Abfallvermeidung in der österreichischen Lebensmittelproduktion“, nicht vermeidbare organische Nebenprodukte http://www.ecology.at/files/pr886_6.pdf	AGRANA Tulln und Marchfeld http://www.fabbiogas.eu/en/project-results/mapping-waste-streams-from-fab-industry/ https://pulswerk.at/leben/mittelabfaelle_oesterreich.htm

Tabelle 35: Energetische Nutzung, Abfallfraktionen und Abwässer

Stoffstrom	Basisdatenquelle(n)	Datenquelle(n) für Umrechnungen	Anmerkungen
Biogener Anteil im Hausmüll	Statistik Austria, Energiebilanzen der Bundesländer, Produktions- und Nutzmengen in Tonnen und Terajoule https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html		
Holzabfälle	Statistik Austria, Energiebilanzen der Bundesländer, Produktions- und Nutzmengen in Tonnen und Terajoule https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html		
Ablauge	Statistik Austria, Energiebilanzen der Bundesländer, Produktions- und Nutzmengen in Tonnen und Terajoule https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html		
Biogase	Statistik Austria, Energiebilanzen der Bundesländer, Produktions- und Nutzmengen in Tonnen und Terajoule https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html		
Weitere biogene Energieträger	Statistik Austria, Energiebilanzen der Bundesländer, Produktions- und Nutzmengen in Tonnen und Terajoule https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html		
Aschen und Schlacken	BMNT, Statusbericht 2018 „Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich“ Mengen nach Abfallart https://www.bmnt.gv.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017-Final.html Statistik Austria, Energiebilanzen der Bundesländer, Produktions- und Nutzmengen in Tonnen und Terajoule https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html		
Abwässer	BMNT, Kommunales Abwasser, Österreichischer Bericht 2018 Mengen und Belastung https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:3e209f78-e578-41c1-a576-35e1a447f9c5/Lagebericht_2018_20180706_gsb.pdf		
Klärschlamm	BMNT, Kommunales Abwasser, Österreichischer Bericht 2018 Mengen und Verwertung https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:3e209f78-e578-41c1-a576-35e1a447f9c5/Lagebericht_2018_20180706_gsb.pdf		

15.4 PARAMETER ZUR ABSCHÄTZUNG DER DATENQUALITÄT

Tabelle 36: Vertrauenswürdigkeit der Datenquelle

Bewertung	Variationskoeffizient
0	0,0%
1	2,3%
2	6,8%
3	20,6%
4	62,3%

Tabelle 37: Korrelationen des Bezugsrahmens der Daten

Bewertung	Variationskoeffizient
0	0,0%
1 low	0,0%
1 med	0,0%
1 high	0,0%
2 low	1,1%
2 med	2,3%
2 high	4,5%
3 low	3,4%
3 med	6,8%
3 high	13,7%
4 low	10,3%
4 med	20,6%
4 high	41,3%

Tabelle 38: Variationskoeffizienten der ExpertInnen-Einschätzungen

Bewertung	Variationskoeffizient
0	0,0%
1	4,5%
2	13,7%
3	41,3%
4	124,6%

Die Variationskoeffizienten zur Vertrauenswürdigkeit der Datenquelle sowie der inhaltlichen, zeitlichen, geographischen und weiteren Korrelation der Datenquelle mit dem Untersuchungsgegenstand der Studie wurden gemäß folgender Formel zu einem gesamten Variationskoeffizienten zusammengefasst:

$$VK_{gesamt} = \sqrt{VK_{Vertrauenswürdigkeit}^2 + VK_{inhaltliche\ Korrelation}^2 + VK_{zeitliche\ Korrelation}^2 + VK_{geographische\ Korrelation}^2 + VK_{weitere\ Korrelationen}^2}$$

Der Variationskoeffizient für ExpertInnen-Einschätzungen kann direkt aus der obigen Tabelle entnommen und angewandt werden. Für das Mengengerüst der relevanten biobasierten Stoffströme wurde keine ExpertInnen-Einschätzung vorgenommen.

Tabelle 39: Klassifizierung der Datenqualität

STOFFSTROM	Vertrauens- würdigkeit	Inhaltliche Korrelation	Zeitliche Korrelation	Geographische Korrelation	Weitere Korrelationen	ExpertInnen- Einschätzung
Ablauge	1	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Abwässer	2	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Aschen und Schlacken	2	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Biogase	1	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Biogener Anteil im Hausmüll	1	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Eierschalen	2	2 med	2 low	1 high	2 med	0
Energiegräser	1	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Energieholz	1	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Fleisch- und Wurstreststoffe	2	2 med	2 low	1 high	1 med	0
Grünfutter	1	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Gülle	1	1 med	1 low	1 high	2 med	0
Holzabfälle	1	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Klärschlamm	2	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Molkereiabfälle	2	2 med	2 low	1 high	1 med	0
Ölpresskuchen	2	2 med	2 low	1 high	1 med	0
Rebschnitt	1	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Reststoffe aus dem Gemüseanbau	1	2 med	2 low	1 high	1 med	0
Reststoffe aus dem Obstanbau	1	2 med	2 low	1 high	1 med	0
Reststoffe aus der Feinkostproduktion	2	2 med	2 low	1 high	1 med	0
Reststoffe aus der Gemüse- und Obstveredelung	2	2 med	2 low	1 high	1 med	0
Reststoffe aus der TK- Lebensmittel-produktion	2	2 med	2 low	1 high	1 med	0
Reststoffe von Getreidemöhlen	2	2 med	2 low	1 high	1 med	0
Schlachtabfälle	1	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Stroh	1	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Treber	2	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Trester	2	1 med	1 low	1 high	1 med	0
Weitere biogene Energieträger	1	2 med	1 low	1 high	1 med	0
Zuckerreststoffe	2	2 med	2 low	1 high	1 med	0

Tabelle 40: Umwertung in Koeffizienten

STOFFSTROM	Vertrauenswürdigkeit	Inhaltliche Korrelation	Zeitliche Korrelation	Geographische Korrelation	Weitere Korrelationen	Variationskoeffizient
Ablauge	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 2,3%
Abwässer	6,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 6,8%
Aschen und Schlacken	6,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 6,8%
Biogase	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 2,3%
Biogener Anteil im Hausmüll	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 2,3%
Eierschalen	6,8%	2,3%	1,1%	0,0%	2,3%	± 7,6%
Energiegräser	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 2,3%
Energieholz	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 2,3%
Fleisch- und Wurstreststoffe	6,8%	2,3%	1,1%	0,0%	0,0%	± 7,3%
Grünfutter	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 2,3%
Gülle	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	± 3,3%
Holzabfälle	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 2,3%
Klärschlamm	6,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 6,8%
Molkereiabfälle	6,8%	2,3%	1,1%	0,0%	0,0%	± 7,3%
Ölpressekuchen	6,8%	2,3%	1,1%	0,0%	0,0%	± 7,3%
Rebschnitt	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 2,3%
Reststoffe aus dem Gemüseanbau	2,3%	2,3%	1,1%	0,0%	0,0%	± 3,4%
Reststoffe aus dem Obstanbau	2,3%	2,3%	1,1%	0,0%	0,0%	± 3,4%
Reststoffe aus der Feinkostproduktion	6,8%	2,3%	1,1%	0,0%	0,0%	± 7,3%
Reststoffe aus der Gemüse- und Obstveredelung	6,8%	2,3%	1,1%	0,0%	0,0%	± 7,3%
Reststoffe aus der TK-Lebensmittelproduktion	6,8%	2,3%	1,1%	0,0%	0,0%	± 7,3%
Reststoffe von Getreidemöhlen	6,8%	2,3%	1,1%	0,0%	0,0%	± 7,3%
Schlachtabfälle	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 2,3%
Stroh	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 2,3%
Treber	6,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 6,8%
Trester	6,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	± 6,8%
Weitere biogene Energieträger	2,3%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	± 3,3%
Zuckerreststoffe	6,8%	2,3%	1,1%	0,0%	0,0%	± 7,3%

15.5 MENGENDERÜST AUF LÄNDEREBENE NACH STOFFSTRÖMEN

Tabelle 41: Mengengerüst für Ablauge auf Länderebene

Ablauge	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	0 t	0 t	0 t	0 t
Kärnten	96.698 t	644.653 t	96.698 t	644.653 t
Niederösterreich	13.651 t	91.005 t	13.651 t	91.005 t
Oberösterreich	156.980 t	1.046.535 t	156.980 t	1.046.535 t
Salzburg	51.525 t	343.501 t	51.525 t	343.501 t
Steiermark	236.295 t	1.575.298 t	236.295 t	1.575.298 t
Tirol	0 t	0 t	0 t	0 t
Vorarlberg	0 t	0 t	0 t	0 t
Wien	0 t	0 t	0 t	0 t
Summe	555.149 t	3.700.993 t	555.149 t	3.700.993 t

Tabelle 42: Mengengerüst für Abwässer auf Länderebene

Abwässer	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	14.062 t	37.122.697 t	14.062 t	37.122.697 t
Kärnten	21.018 t	55.487.701 t	21.018 t	55.487.701 t
Niederösterreich	70.523 t	186.181.894 t	70.523 t	186.181.894 t
Oberösterreich	53.396 t	140.966.227 t	53.396 t	140.966.227 t
Salzburg	27.707 t	73.145.774 t	27.707 t	73.145.774 t
Steiermark	50.164 t	132.433.762 t	50.164 t	132.433.762 t
Tirol	36.830 t	97.232.490 t	36.830 t	97.232.490 t
Vorarlberg	26.653 t	70.363.998 t	26.653 t	70.363.998 t
Wien	68.389 t	180.546.890 t	68.389 t	180.546.890 t
Summe	368.741 t	973.481.433 t	368.741 t	973.481.433 t

Tabelle 43: Mengengerüst für Asche und Schlacken auf Länderebene

Aschen und Schlacken	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	4.421 t	4.421 t	4.421 t	4.421 t
Kärnten	61.472 t	61.472 t	61.472 t	61.472 t
Niederösterreich	223.473 t	223.473 t	223.473 t	223.473 t
Oberösterreich	332.996 t	332.996 t	332.996 t	332.996 t
Salzburg	13.968 t	13.968 t	13.968 t	13.968 t
Steiermark	47.414 t	47.414 t	47.414 t	47.414 t
Tirol	2.630 t	2.630 t	2.630 t	2.630 t
Vorarlberg	49 t	49 t	49 t	49 t
Wien	203.040 t	203.040 t	203.040 t	203.040 t
Summe	889.463 t	889.463 t	889.463 t	889.463 t

Tabelle 44: Mengengerüst für Biogase auf Länderebene

Biogase	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	37.943 t	37.943 t	37.943 t	37.943 t
Kärnten	29.940 t	29.940 t	29.940 t	29.940 t
Niederösterreich	190.268 t	190.268 t	190.268 t	190.268 t
Oberösterreich	98.324 t	98.324 t	98.324 t	98.324 t
Salzburg	31.741 t	31.741 t	31.741 t	31.741 t
Steiermark	97.062 t	97.062 t	97.062 t	97.062 t
Tirol	23.324 t	23.324 t	23.324 t	23.324 t
Vorarlberg	14.355 t	14.355 t	14.355 t	14.355 t
Wien	5.482 t	5.482 t	5.482 t	5.482 t
Summe	528.439 t	528.439 t	528.439 t	528.439 t

Tabelle 45: Mengengerüst für den biogenen Anteil im Hausmüll auf Länderebene

Biogener Anteil im Hausmüll	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	0 t	0 t	0 t	0 t
Kärnten	26.688 t	58.018 t	26.688 t	58.018 t
Niederösterreich	88.328 t	192.017 t	88.328 t	192.017 t
Oberösterreich	56.099 t	121.953 t	56.099 t	121.953 t
Salzburg	0 t	0 t	0 t	0 t
Steiermark	25.236 t	54.860 t	25.236 t	54.860 t
Tirol	0 t	0 t	0 t	0 t
Vorarlberg	0 t	0 t	0 t	0 t
Wien	135.297 t	294.124 t	135.297 t	294.124 t
Summe	331.647 t	720.973 t	331.647 t	720.973 t

Tabelle 46: Mengengerüst für Eierschalen auf Länderebene

Eierschalen	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	13 t	16 t	9 t	11 t
Kärnten	27 t	33 t	19 t	23 t
Niederösterreich	159 t	199 t	111 t	139 t
Oberösterreich	178 t	223 t	125 t	156 t
Salzburg	47 t	58 t	33 t	41 t
Steiermark	87 t	109 t	61 t	76 t
Tirol	38 t	48 t	27 t	33 t
Vorarlberg	40 t	50 t	28 t	35 t
Wien	51 t	63 t	35 t	44 t
Summe	640 t	800 t	448 t	560 t

Tabelle 47: Mengengerüst für Energiegräser auf Länderebene

Energiegräser	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	129 t	179 t	129 t	179 t
Kärnten	186 t	259 t	186 t	259 t
Niederösterreich	2.581 t	3.585 t	2.581 t	3.585 t
Oberösterreich	3.108 t	4.316 t	3.108 t	4.316 t
Salzburg	29 t	41 t	29 t	41 t
Steiermark	883 t	1.226 t	883 t	1.226 t
Tirol	46 t	63 t	46 t	63 t
Vorarlberg	50 t	70 t	50 t	70 t
Wien	0 t	0 t	0 t	0 t
Summe	7.012 t	9.739 t	7.012 t	9.739 t

Tabelle 48: Mengengerüst für Energieholz auf Länderebene

Energieholz	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	130.636 t	174.182 t	125.411 t	167.215 t
Kärnten	411.649 t	548.866 t	395.183 t	526.911 t
Niederösterreich	682.070 t	909.427 t	654.787 t	873.050 t
Oberösterreich	488.523 t	651.364 t	468.982 t	625.309 t
Salzburg	167.549 t	223.398 t	160.847 t	214.462 t
Steiermark	702.291 t	936.389 t	674.200 t	898.933 t
Tirol	190.980 t	254.639 t	183.340 t	244.454 t
Vorarlberg	50.393 t	67.191 t	48.377 t	64.503 t
Wien	8.024 t	10.699 t	7.703 t	10.271 t
Summe	2.832.115 t	3.776.154 t	2.718.831 t	3.625.108 t

Tabelle 49: Mengengerüst für Fleisch- und Wurstreststoffe auf Länderebene

Fleisch- und Wurstreststoffe	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	462 t	2.309 t	462 t	2.309 t
Kärnten	3.099 t	15.494 t	3.099 t	15.494 t
Niederösterreich	9.035 t	45.175 t	9.035 t	45.175 t
Oberösterreich	11.929 t	59.644 t	11.929 t	59.644 t
Salzburg	2.336 t	11.680 t	2.336 t	11.680 t
Steiermark	7.488 t	37.441 t	7.488 t	37.441 t
Tirol	2.669 t	13.344 t	2.669 t	13.344 t
Vorarlberg	919 t	4.594 t	919 t	4.594 t
Wien	3 t	17 t	3 t	17 t
Summe	37.940 t	189.700 t	37.940 t	189.700 t

Tabelle 50: Mengengerüst für Grünfutter auf Länderebene

Grünfutter	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	268.747 t	312.496 t	80.624 t	93.749 t
Kärnten	812.550 t	944.826 t	243.765 t	283.448 t
Niederösterreich	2.245.762 t	2.611.351 t	673.729 t	783.405 t
Oberösterreich	2.468.926 t	2.870.844 t	740.678 t	861.253 t
Salzburg	579.144 t	673.424 t	173.743 t	202.027 t
Steiermark	1.520.894 t	1.768.481 t	456.268 t	530.544 t
Tirol	528.491 t	614.524 t	158.547 t	184.357 t
Vorarlberg	257.295 t	299.181 t	77.189 t	89.754 t
Wien	3.112 t	3.619 t	934 t	1.086 t
Summe	8.684.921 t	10.098.746 t	2.605.476 t	3.029.624 t

Tabelle 51: Mengengerüst für Gülle auf Länderebene

Gülle	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	40.167 t	401.673 t	28.117 t	281.171 t
Kärnten	269.540 t	2.695.396 t	188.678 t	1.886.777 t
Niederösterreich	785.865 t	7.858.653 t	550.106 t	5.501.057 t
Oberösterreich	1.037.552 t	10.375.521 t	726.286 t	7.262.865 t
Salzburg	203.189 t	2.031.887 t	142.232 t	1.422.321 t
Steiermark	651.326 t	6.513.263 t	455.928 t	4.559.284 t
Tirol	232.136 t	2.321.361 t	162.495 t	1.624.953 t
Vorarlberg	79.923 t	799.229 t	55.946 t	559.460 t
Wien	302 t	3.018 t	211 t	2.112 t
Summe	3.300.000 t	33.000.000 t	2.310.000 t	23.100.000 t

Tabelle 52: Mengengerüst für Holzabfälle auf Länderebene

Holzabfälle	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	294.679 t	346.681 t	294.679 t	346.681 t
Kärnten	983.681 t	1.157.272 t	983.681 t	1.157.272 t
Niederösterreich	1.548.170 t	1.821.376 t	1.548.170 t	1.821.376 t
Oberösterreich	1.225.260 t	1.441.482 t	1.225.260 t	1.441.482 t
Salzburg	583.534 t	686.511 t	583.534 t	686.511 t
Steiermark	796.199 t	936.704 t	796.199 t	936.704 t
Tirol	540.348 t	635.703 t	540.348 t	635.703 t
Vorarlberg	139.887 t	164.574 t	139.887 t	164.574 t
Wien	217.742 t	256.167 t	217.742 t	256.167 t
Summe	6.329.499 t	7.446.470 t	6.329.499 t	7.446.470 t

Tabelle 53: Mengengerüst für Klärschlamm auf Länderebene

Klärschlamm	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	9.074 t	36.294 t	9.074 t	36.294 t
Kärnten	13.562 t	54.249 t	13.562 t	54.249 t
Niederösterreich	45.507 t	182.026 t	45.507 t	182.026 t
Oberösterreich	34.455 t	137.820 t	34.455 t	137.820 t
Salzburg	17.878 t	71.513 t	17.878 t	71.513 t
Steiermark	32.369 t	129.478 t	32.369 t	129.478 t
Tirol	23.766 t	95.062 t	23.766 t	95.062 t
Vorarlberg	17.198 t	68.793 t	17.198 t	68.793 t
Wien	44.129 t	176.517 t	44.129 t	176.517 t
Summe	237.938 t	951.752 t	237.938 t	951.752 t

Tabelle 54: Mengengerüst für Molkereiabfälle auf Länderebene

Molkereiabfälle	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	176 t	3.516 t	176 t	3.516 t
Kärnten	1.360 t	27.200 t	1.360 t	27.200 t
Niederösterreich	4.286 t	85.727 t	4.286 t	85.727 t
Oberösterreich	6.971 t	139.423 t	6.971 t	139.423 t
Salzburg	2.269 t	45.388 t	2.269 t	45.388 t
Steiermark	3.458 t	69.164 t	3.458 t	69.164 t
Tirol	2.212 t	44.250 t	2.212 t	44.250 t
Vorarlberg	1.042 t	20.831 t	1.042 t	20.831 t
Wien	0 t	0 t	0 t	0 t
Summe	21.775 t	435.500 t	21.775 t	435.500 t

Tabelle 55: Mengengerüst für Ölpresskuchen auf Länderebene

Ölpresskuchen	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	198 t	220 t	59 t	66 t
Kärnten	25 t	28 t	8 t	8 t
Niederösterreich	454 t	505 t	136 t	151 t
Oberösterreich	207 t	230 t	62 t	69 t
Salzburg	1 t	1 t	0 t	0 t
Steiermark	103 t	115 t	31 t	34 t
Tirol	0 t	0 t	0 t	0 t
Vorarlberg	0 t	0 t	0 t	0 t
Wien	1 t	2 t	0 t	0 t
Summe	990 t	1.100 t	297 t	330 t

Tabelle 56: Mengengerüst für Rebschnitt auf Länderebene

Rebschnitt	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	26.931 t	67.328 t	26.931 t	67.328 t
Kärnten	158 t	395 t	158 t	395 t
Niederösterreich	57.295 t	143.237 t	57.295 t	143.237 t
Oberösterreich	96 t	239 t	96 t	239 t
Salzburg	15 t	38 t	15 t	38 t
Steiermark	9.940 t	24.849 t	9.940 t	24.849 t
Tirol	13 t	33 t	13 t	33 t
Vorarlberg	22 t	54 t	22 t	54 t
Wien	1.216 t	3.039 t	1.216 t	3.039 t
Summe	95.685 t	239.212 t	95.685 t	239.212 t

Tabelle 57: Mengengerüst für Reststoffe aus dem Gemüseanbau auf Länderebene

Reststoffe aus dem Gemüseanbau	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	18.356 t	131.097 t	18.356 t	131.097 t
Kärnten	3.028 t	21.624 t	3.028 t	21.624 t
Niederösterreich	97.013 t	692.873 t	97.013 t	692.873 t
Oberösterreich	22.249 t	158.903 t	22.249 t	158.903 t
Salzburg	1.286 t	9.182 t	1.286 t	9.182 t
Steiermark	12.877 t	91.968 t	12.877 t	91.968 t
Tirol	10.099 t	72.131 t	10.099 t	72.131 t
Vorarlberg	807 t	5.763 t	807 t	5.763 t
Wien	13.603 t	97.153 t	13.603 t	97.153 t
Summe	179.318 t	1.280.694 t	179.318 t	1.280.694 t

Tabelle 58: Mengengerüst für Reststoffe aus dem Obstanbau auf Länderebene

Reststoffe aus dem Obstanbau	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	7.589 t	47.845 t	7.589 t	47.845 t
Kärnten	9.243 t	58.277 t	9.243 t	58.277 t
Niederösterreich	27.919 t	176.029 t	27.919 t	176.029 t
Oberösterreich	36.181 t	228.117 t	36.181 t	228.117 t
Salzburg	1.925 t	12.138 t	1.925 t	12.138 t
Steiermark	53.119 t	334.912 t	53.119 t	334.912 t
Tirol	2.574 t	16.232 t	2.574 t	16.232 t
Vorarlberg	1.309 t	8.254 t	1.309 t	8.254 t
Wien	558 t	3.516 t	558 t	3.516 t
Summe	140.418 t	885.320 t	140.418 t	885.320 t

Tabelle 59: Mengengerüst für Reststoffe aus der Feinkostproduktion auf Länderebene

Reststoffe aus der Feinkost-produktion	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	683 t	1.485 t	683 t	1.485 t
Kärnten	1.357 t	2.950 t	1.357 t	2.950 t
Niederösterreich	7.028 t	15.279 t	7.028 t	15.279 t
Oberösterreich	8.999 t	19.563 t	8.999 t	19.563 t
Salzburg	2.502 t	5.438 t	2.502 t	5.438 t
Steiermark	3.886 t	8.447 t	3.886 t	8.447 t
Tirol	1.797 t	3.907 t	1.797 t	3.907 t
Vorarlberg	2.332 t	5.070 t	2.332 t	5.070 t
Wien	2.604 t	5.661 t	2.604 t	5.661 t
Summe	31.188 t	67.800 t	31.188 t	67.800 t

Tabelle 60: Mengengerüst für Reststoffe aus der Gemüse- und Obstveredelung auf Länderebene

Reststoffe aus der Gemüse- und Obstveredelung	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	835 t	1.816 t	835 t	1.816 t
Kärnten	1.659 t	3.606 t	1.659 t	3.606 t
Niederösterreich	8.593 t	18.681 t	8.593 t	18.681 t
Oberösterreich	11.003 t	23.920 t	11.003 t	23.920 t
Salzburg	3.059 t	6.649 t	3.059 t	6.649 t
Steiermark	4.751 t	10.329 t	4.751 t	10.329 t
Tirol	2.198 t	4.778 t	2.198 t	4.778 t
Vorarlberg	2.852 t	6.200 t	2.852 t	6.200 t
Wien	3.184 t	6.921 t	3.184 t	6.921 t
Summe	38.134 t	82.900 t	38.134 t	82.900 t

Tabelle 61: Mengengerüst für Reststoffe aus der Tiefkühl-Lebensmittelproduktion auf Länderebene

Reststoffe aus der TK-Lebensmittel-produktion	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	550 t	1.196 t	550 t	1.196 t
Kärnten	1.093 t	2.375 t	1.093 t	2.375 t
Niederösterreich	5.660 t	12.304 t	5.660 t	12.304 t
Oberösterreich	7.247 t	15.754 t	7.247 t	15.754 t
Salzburg	2.014 t	4.379 t	2.014 t	4.379 t
Steiermark	3.129 t	6.803 t	3.129 t	6.803 t
Tirol	1.447 t	3.147 t	1.447 t	3.147 t
Vorarlberg	1.878 t	4.083 t	1.878 t	4.083 t
Wien	2.097 t	4.559 t	2.097 t	4.559 t
Summe	25.116 t	54.600 t	25.116 t	54.600 t

Tabelle 62: Mengengerüst für Reststoffe von Getreidemöhlen auf Länderebene

Reststoffe von Getreide-möhlen	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	2.255 t	2.506 t	2.255 t	2.506 t
Kärnten	4.479 t	4.977 t	4.479 t	4.977 t
Niederösterreich	23.202 t	25.780 t	23.202 t	25.780 t
Oberösterreich	29.708 t	33.009 t	29.708 t	33.009 t
Salzburg	8.258 t	9.176 t	8.258 t	9.176 t
Steiermark	12.828 t	14.253 t	12.828 t	14.253 t
Tirol	5.934 t	6.593 t	5.934 t	6.593 t
Vorarlberg	7.700 t	8.555 t	7.700 t	8.555 t
Wien	8.596 t	9.551 t	8.596 t	9.551 t
Summe	102.960 t	114.400 t	102.960 t	114.400 t

Tabelle 63: Mengengerüst für Schlachtabfälle auf Länderebene

Schlachtabfälle	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	2.191 t	4.382 t	1.534 t	3.067 t
Kärnten	14.702 t	29.404 t	10.292 t	20.583 t
Niederösterreich	42.865 t	85.731 t	30.006 t	60.012 t
Oberösterreich	56.594 t	113.188 t	39.616 t	79.231 t
Salzburg	11.083 t	22.166 t	7.758 t	15.516 t
Steiermark	35.527 t	71.054 t	24.869 t	49.738 t
Tirol	12.662 t	25.324 t	8.863 t	17.727 t
Vorarlberg	4.359 t	8.719 t	3.052 t	6.103 t
Wien	16 t	33 t	12 t	23 t
Summe	180.000 t	360.000 t	126.000 t	252.000 t

Tabelle 64: Mengengerüst für Stroh auf Länderebene

Stroh	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	439.252 t	510.758 t	210.841 t	245.164 t
Kärnten	130.299 t	151.511 t	62.544 t	72.725 t
Niederösterreich	1.636.169 t	1.902.522 t	785.361 t	913.210 t
Oberösterreich	754.076 t	876.832 t	361.956 t	420.880 t
Salzburg	2.955 t	3.436 t	1.418 t	1.649 t
Steiermark	376.150 t	437.384 t	180.552 t	209.944 t
Tirol	3.740 t	4.349 t	1.795 t	2.088 t
Vorarlberg	1.340 t	1.558 t	643 t	748 t
Wien	11.274 t	13.110 t	5.412 t	6.293 t
Summe	3.355.255 t	3.901.459 t	1.610.522 t	1.872.700 t

Tabelle 65: Mengengerüst für Treber auf Länderebene

Treber	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	9.695 t	12.119 t	2.909 t	3.636 t
Kärnten	2.009 t	2.511 t	603 t	753 t
Niederösterreich	22.294 t	27.868 t	6.688 t	8.360 t
Oberösterreich	11.143 t	13.928 t	3.343 t	4.178 t
Salzburg	83.581 t	104.476 t	25.074 t	31.343 t
Steiermark	7.760 t	9.701 t	2.328 t	2.910 t
Tirol	4.506 t	5.632 t	1.352 t	1.690 t
Vorarlberg	4.357 t	5.446 t	1.307 t	1.634 t
Wien	8.255 t	10.319 t	2.476 t	3.096 t
Summe	153.600 t	192.000 t	46.080 t	57.600 t

Tabelle 66: Mengengerüst für Trester auf Länderebene

Trester	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	4.323 t	5.403 t	4.323 t	5.403 t
Kärnten	896 t	1.120 t	896 t	1.120 t
Niederösterreich	9.939 t	12.424 t	9.939 t	12.424 t
Oberösterreich	4.968 t	6.210 t	4.968 t	6.210 t
Salzburg	37.263 t	46.579 t	37.263 t	46.579 t
Steiermark	3.460 t	4.325 t	3.460 t	4.325 t
Tirol	2.009 t	2.511 t	2.009 t	2.511 t
Vorarlberg	1.942 t	2.428 t	1.942 t	2.428 t
Wien	3.680 t	4.600 t	3.680 t	4.600 t
Summe	68.480 t	85.600 t	68.480 t	85.600 t

Tabelle 67: Mengengerüst für weitere biogene Energieträger auf Länderebene

Weitere biogene Energieträger	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	755 t	1.161 t	755 t	1.161 t
Kärnten	82.162 t	126.404 t	82.162 t	126.404 t
Niederösterreich	292.875 t	450.578 t	292.875 t	450.578 t
Oberösterreich	246.457 t	379.164 t	246.457 t	379.164 t
Salzburg	22.051 t	33.925 t	22.051 t	33.925 t
Steiermark	88.906 t	136.779 t	88.906 t	136.779 t
Tirol	51.633 t	79.435 t	51.633 t	79.435 t
Vorarlberg	1.179 t	1.814 t	1.179 t	1.814 t
Wien	177.210 t	272.630 t	177.210 t	272.630 t
Summe	963.228 t	1.481.890 t	963.228 t	1.481.890 t

Tabelle 68: Mengengerüst für Zuckerreststoffe auf Länderebene

Zucker-reststoffe	Technisches Potenzial TM	Technisches Potenzial FM	Relevantes Potenzial TM	Relevantes Potenzial FM
Burgenland	15.147 t	20.197 t	15.147 t	20.197 t
Kärnten	758 t	1.011 t	758 t	1.011 t
Niederösterreich	127.921 t	170.562 t	127.921 t	170.562 t
Oberösterreich	29.071 t	38.761 t	29.071 t	38.761 t
Salzburg	180 t	240 t	180 t	240 t
Steiermark	2.321 t	3.094 t	2.321 t	3.094 t
Tirol	714 t	952 t	714 t	952 t
Vorarlberg	104 t	139 t	104 t	139 t
Wien	933 t	1.244 t	933 t	1.244 t
Summe	177.150 t	236.200 t	177.150 t	236.200 t

15.6 MENGengerüst AUF BUNDESEBENE

Tabelle 69: Mengengerüst auf Bundesebene in Feuchtmasse

Feuchtmasse	Technisches Potenzial	Direkte Verwendung	Verwendung Menge	Relevantes Potenzial
Abwässer	973 481 433 t			973 481 433 t
Gülle	33 000 000 t	Abschlag	9 900 000 t	23 100 000 t
Holzabfälle	7 446 470 t			7 446 470 t
Ablauge	3 700 993 t			3 700 993 t
Energieholz	3 776 154 t	Ernterücklass	151 046 t	3 625 108 t
Grünfutter	10 098 746 t	Futtermittel bei ausgewogener Ernährung	7 069 122 t	3 029 624 t
Stroh	3 901 459 t	Einstreu und direkter Bedarf für Bioflächen	2 028 759 t	1 872 700 t
Weitere biogene Energieträger	1 481 890 t			1 481 890 t
Reststoffe aus dem Gemüseanbau	1 280 694 t			1 280 694 t
Klärschlamm	951 752 t			951 752 t
Aschen und Schlacken	889 463 t			889 463 t
Reststoffe aus dem Obstanbau	885 320 t			885 320 t
Biogener Anteil im Hausmüll	720 973 t			720 973 t
Biogase	528 439 t			528 439 t
Molkereiabfälle	435 500 t			435 500 t
Schlachtabfälle	360 000 t	Abschlag	108 000 t	252 000 t
Rebschnitt	239 212 t			239 212 t
Zuckerreststoffe	236 200 t			236 200 t

Fleisch- und Wurstreststoffe	189 700 t			189 700 t
Reststoffe von Getreidemöhlen	114 400 t			114 400 t
Trester	85 600 t			85 600 t
Reststoffe aus der Gemüse- und Obstveredelung	82 900 t			82 900 t
Reststoffe aus der Feinkostproduktion	67 800 t			67 800 t
Treber	192 000 t	Futtermittel bei ausgewogener Ernährung	134 400 t	57 600 t
Reststoffe aus der TK-Lebensmittelproduktion	54 600 t			54 600 t
Energiegräser	9 739 t			9 739 t
Eierschalen	800 t	Abschlag	240 t	560 t
Ölpresskuchen	1 100 t	Futtermittel bei ausgewogener Ernährung	770 t	330 t

Tabelle 70: Mengengerüst auf Bundesebene in Trockenmasse

Trockenmasse	Technisches Potenzial	Direkte Verwendung	Verwendung Menge	Relevantes Potenzial
Holzabfälle	6 329 499 t			6 329 499 t
Energieholz	2 832 115 t	Ernterücklass	113 285 t	2 718 831 t
Grünfütter	8 684 921 t	Futtermittel bei ausgewogener Ernährung	6 079 445 t	2 605 476 t
Gülle	3 300 000 t	Abschlag	990 000 t	2 310 000 t
Stroh	3 355 255 t	Einstreu und direkter Bedarf für Bioflächen	1 744 733 t	1 610 522 t
Weitere biogene Energieträger	963 228 t			963 228 t
Aschen und Schlacken	889 463 t			889 463 t
Ablauge	555 149 t			555 149 t
Biogase	528 439 t			528 439 t
Abwässer	368 741 t			368 741 t
Biogener Anteil im Hausmüll	331 647 t			331 647 t
Klärschlamm	237 938 t			237 938 t
Reststoffe aus dem Gemüseanbau	179 318 t			179 318 t
Zuckerreststoffe	177 150 t			177 150 t
Reststoffe aus dem Obstanbau	140 418 t			140 418 t
Schlachtabfälle	180 000 t	Abschlag	54 000 t	126 000 t

Reststoffe von Getreidemöhlen	102 960 t			102 960 t
Rebschnitt	95 685 t			95 685 t
Trester	68 480 t			68 480 t
Treber	153 600 t	Futtermittel bei ausgewogener Ernährung	107 520 t	46 080 t
Reststoffe aus der Gemüse- und Obstveredelung	38 134 t			38 134 t
Fleisch- und Wurstreststoffe	37 940 t			37 940 t
Reststoffe aus der Feinkostproduktion	31 188 t			31 188 t
Reststoffe aus der TK-Lebensmittelproduktion	25 116 t			25 116 t
Molkereiabfälle	21 775 t			21 775 t
Energiegräser	7 012 t			7 012 t
Eierschalen	640 t	Abschlag	192 t	448 t
Ölpresskuchen	990 t	Futtermittel bei ausgewogener Ernährung	693 t	297 t

15.7 LOGISTIK-TABELLEN

Tabelle 71: Massenstromverhältnisse für Zwischen- und Endprodukte, Hilfsmittel und Reststoffe (Schwaderer 2012)

	WRHd	RSd	Slurry	ND-Dampf	Kraftstoff	H2O	Abwasser	Schlacke
[tin/tout]	$\beta_{BTL,b,z}^{VS}$	$\rho_{BTL,b,z}^{VS}$	$\beta_{BTL,z',z}^{US}$	$\rho_{BTL,z',z}^{US}$	$\beta_{BTL,z',z}^{US}$	$\beta_{BTL,z',o}$	$\beta_{BTL,z',o}$	$\beta_{BTL,z',o}$
WRH	0,59	-	-	-	-	-	-	-
RS	-	1,0	-	-	-	-	-	-
WRHd	-	-	0,72	-	-	-	-	-
RSd	-	-	0,68	-	-	-	-	0,007
Slurry	-	-	-	18,75	0,17	1,37	1,37	-

Tabelle 72: Preise und Kosten von Hilfsmitteln und Reststoffen, (Schwaderer 2012)

Elektrische Energie	
Zukauf [€/kWh]	0,076
Verkauf [€/kWh]	0,05
Frischwasser [€/m3]	1,55
Abwasser [€/m3]	1,38
Schlacke [€/t]	20,0

Tabelle 73: Indices, Parameter und Variablen der Modellformulierung

Symbol	Beschreibung	Einheit
Indizes		
$h \in H$	Lieferant / Gemeinde	-
$i \in I$	Pyrolysestandort	-
$j \in J$	Syntheseort	-
Py	Pyrolyse	-
Sy	Synthese	-
b	Biomasse / Stroh	-
s	Slurry	-
f	Produkt / Kraftstoff (fuel)	-
Parameter		
pb	Preis für Biomasse / Stroh	€/ t FM
$c_{hi}^{b,LKW}$	Transportkosten Biomasse (Stroh) von Gemeinde h zu Pyrolysestandort i	€/ t FM
$c_{ij}^{s,LKW}$	Transportkosten Slurry von Pyrolysestandort i zu Syntheseanlage j	€/ t Slurry
$cap_{hi}^{b,LKW}$	Transportkapazität Biomasse	t FM
$cap_{ij}^{s,LKW}$	Transportkapazität Slurry	t Slurry
f_i^{Py}	Fixkosten bei Errichtung einer Pyrolyseanlage am Standort i	€/ a
f_i^{Sy}	Fixkosten bei Errichtung einer Syntheseanlage am Standort j	€/ a
$c_i^{var,Py}$	Variable Kosten für Synthese einer Tonne Slurry FM Stroh am Standort i	€/ t FM
$c_j^{var,Sy}$	Variable Kosten für Synthese einer Tonne Slurry am Standort j	€/ t Slurry
$x_h^{b,max}$	Maximal verfügbare Menge Biomasse/Stroh am Standort h	t Stroh / a
cap_i^{Py}	Kapazität der Pyrolyseanlage an Standort i	t Stroh FM
η^{Py}	Konversionsfaktor Pyrolyse; Slurryoutput pro Tonne Strohininput FM	{0..1}; [t/t]; [kg/kg]
η^{Sy}	Konversionsfaktor Synthese; Produktoutput pro Tonne Slurryinput	{0..1}; [t/t]; [kg/kg]
MPy	Anzahl Pyrolyseanlagen	-

Tabelle 74: Detaillierergebnisse Verarbeitungskosten pro Tonne Stroh; dezentrales und zentrales Konzept

Ergebnis dezentrales Logistikkonzept							
Pyrolyse-standorte	Anlagen-kapazität [t Stroh FM]	Transport-kosten Rohstoff [€]	Verarbeit- ungskosten Pyrolyse [€]	Verarbeit- ungskosten ab Pyrolyse [€/t Stroh]	Transport-kosten Slurry [€]	Verarbeit- ungskosten Synthese [€]	Verarbeit- ungskosten ab Synthese [€/t Stroh]
Krems an der Donau (Stadt)	200.000	3.694.110	3.694.110	18	372.890	372.890	20
Wiener Neustadt (Stadt)	200.000	3.901.330	3.901.330	20	1.316.700	1.316.700	26
Bruck an der Leitha	200.000	3.449.960	3.449.960	17	1.396.560	1.396.560	24
Horn	200.000	3.555.510	3.555.510	18	768.989	768.989	22
Mistelbach	200.000	3.344.650	3.344.650	17	1.202.770	1.202.770	23
Grieskirchen	200.000	3.443.810	3.443.810	17	2.037.590	2.037.590	27
Linz-Land	200.000	3.438.940	3.438.940	17	1.603.900	1.603.900	25
Graz (Stadt)	200.000	4.599.190	4.599.190	23	2.149.730	2.149.730	34
Hartberg-Fürstenfeld	200.000	4.048.800	4.048.800	20	1.884.440	1.884.440	30
Summe	1.800.000	33.476.300	33.476.300	Ø 107	12.733.569	12.733.569	Ø 153
Kosten zentrales Logistikkonzept							
zentraler Pyrolyse- & Synthese-standort	Kapazität Pyrolyse [t Stroh FM]	Kapazität Synthese [t Slurry]	Transport-kosten Rohstoff [€]	Verarbeit- ungskosten ab Pyrolyse [€]	Verarbeit- ungskosten [€/t Stroh]	Verarbeit- ungskosten Synthese [€]	Verarbeit- ungskosten Synthese [€/t Stroh]
Metadynea (Bezirk Krems)	1.800.000	1.207.440	53.261.077	173.065.992	96	81.122.378	141



**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

bmk.gv.at