Abschlussbericht zu Projekt 8/12-70

LÜBECKERRESTE

(Lübecker Reststoffverwertung)

Laufzeit: 01. Juli 2023-31. Dezember 2024

Förderung im Förderprogramm „HWT Energie und Klimaschutz“

bei der

Gesellschaft für

Energie und Klimaschutz

Schleswig-Holstein

Projektbearbeitung: Technische Hochschule Lübeck (THL)
Mönkhofer Weg 239, 23562 Lübeck
Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften
Kompetenzzentrum Centrum Industrielle Biotechnologie (CIB)

Projektleitung: **Prof. Dr. rer. nat. Veronika Hellwig**
Professur für Analytische Chemie und Instrumentelle Analytik
Leitung des Kompetenzzentrums CIB
Tel.: +49 (0)4151 300-5506
Email: veronika.hellwig@th-luebeck.de

Prof. Dr. rer. nat. Dagmar Willkomm
Professur für in-vitro-Diagnostik und Mikrobiologie

Projektmitarbeiter: Dr. rer. nat. Danilo Springstubbe

Projektpartner (LOI) foodRegio e.V. (Marco Kuhlow)
IHK zu Lübeck (Kathrin Ostertag, Marten Handzsuj)
J. G. Niederegger GmbH & Co. KG (Kai Röblitz, Sophie Heinemann)
H. & J. Brüggen KG (Stephan von Melle, Alexander Boese)
Stadtwerke Lübeck Energie GmbH (Gunnar Brocks)

Projektbeteiligte: Entsorgungsbetriebe Lübeck (Manfred Rehberg, Jürgen Adler)
Nordgetreide GmbH & Co. KG (Michael Heimberg)
Handwerkskammer Lübeck (Raphael Lindlar)
Bäckerei Junge GmbH (Richard Stiller)

Autoren: Veronika Hellwig, Danilo Springstubbe

Lübeck, den 4. Juli 2025

Unser Dank richtet sich an alle beteiligten Lübecker Unternehmen und Institutionen, die dem Projekt LÜBECKERRESTE Vertrauen entgegengebracht haben und nicht unerheblich (Arbeits-)Zeit investiert haben. Allen beteiligten Kolleginnen und Kollegen in den Unternehmen und Institutionen sowie an der TH Lübeck danken wir aufrichtig für den wertschätzenden und vertrauensvollen Umgang miteinander und die stets konstruktive Arbeitsatmosphäre in unseren Projektbesprechungen.

Zusammenfassung

Motivation für das Projekt *ÜBECKERRESTE* waren Klimaschutz (und die damit verbundene Verschärfung des Treibhausgasminderungsziels im neuen Bundes-Klimaschutzgesetz) sowie das erhöhte Risiko von Versorgungsengpässen bzgl. elektrischem Strom und Gas. Deshalb waren die regionalen Lebensmittelproduzenten bestrebt, zeitnah zu prüfen, wie die in ihren Betrieben anfallenden, überwiegend biogenen Abfall- und Reststoffe für eine gemeinsame, in der Region verankerten Energieversorgung genutzt werden können.

An der TH Lübeck wurde in engem Austausch mit den Kooperationspartner eine Datenbank für die Speicherung und Auswertung des energetischen Potentials angelegt. Weiterhin wurden Methoden zur Analyse des Zucker-, Fett- und Proteingehalts in Reststoffen in den Laboren des Centrum Industrielle Biotechnologie etabliert. Vor der Datenerhebung wurde jeweils eine für das Projekt geeignete Geheimhaltungsvereinbarung geschlossen, die die Art der Datenerhebung, die Speicherung sowie die Weiterverwendung der Daten während des Projekts und nach dem Projektende regelt.

Die Erhebung der betrieblichen biogenen Abfall- und Reststoffe erfolgte mit Hilfe eines am Beispiel der beiden Unternehmenspartner erstellten Fragebogens. Dieser wurde durch gemeinsame Besuche in den Produktionsstätten der beiden Firmen, sowie der Mechanisch-Biologische Abfallverwertungsanlage der Entsorgungsbetriebe Lübeck und weiter gefasste Projekttreffen optimiert. Der Fragebogen umfasst drei Leitfragen:

- Welche Reststoffe fallen in Ihrem Unternehmen an?
- In welchen Mengen und Zeitraum fallen die Reststoffe an?
- Wie werden diese Reststoffe aktuell verwertet?

Mit Hilfe der generierten Datenbank wurden die in den beteiligten Firmen anfallenden Reststoffe, z. B. Schlämme, Abwasser, Produktionsabfälle u. a. identifiziert, die Reststoffe anhand ihrer stofflichen Zusammensetzung und Eignung für die energetische oder stofflich Verwertung geclustert und ein Mengengerüst erstellt.

Für die Bestimmung des energetischen Verwertungspotentials (Biogas) wurden ausgewählte Reststoffe in Hinblick auf ihren Fett-, Zucker- und Proteingehalts analysiert und nach dem Fettgehalt eingeteilt. Weiterhin wurden für die Berechnung Daten der Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) zur Biogasausbeute genutzt.

Die bisherige Datenaufnahme in vier größeren Lübecker Firmen ergab circa 100 potentielle Reststoffe. Daraus ergibt sich eine bisher erfasste Gesamtbiomasse von rund 54 000 t/a, wobei für das energetische Verwertungspotential (Biogas) nur circa 10 000 t/a berücksichtigt. Insgesamt ergibt sich somit eine Biogaspotential von rund 1 100 000 Nm^3/a mit einem Methangehalt (berechnet) von rund 55 % (circa 605 000 Nm^3/a). Die Datenerfassung läuft derzeit im Anschluss an die Projektlaufzeit weiter.

Schlüsselwörter:
Lebensmittelproduktion, Reststoffe, Biogas, Datenbank, stoffliche Zusammensetzung

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung ..... - 1 -
Abkürzungsverzeichnis und Glossar IV
Abbildungsverzeichnis 6
Tabellenverzeichnis 7
1 Einleitung (Projektziel) 9
1.1 Projektziel 9
1.2 Ausgangslage bei Projektstart 10
1.3 Vorarbeiten am Centrum Industrielle Biotechnologie 11
2 Hauptteil (Projektergebnisse) 12
2.1 Projektstruktur und Zeitplan 12
2.2 Projektstart 13
2.3 AP1/AP5 Erfassung Abfallmengen, Reststoffströme 14
2.3.1 Ausarbeitung des Fragebogens 14
2.3.2 Datenaufnahme bei den Projekt- und Netzwerkpartnern 15
2.3.3 Datenbank LÜBECKERRESTE 15
2.4 AP2/AP6 Chemische Analysen 20
2.4.1 Bestimmung des Fettgehalts 20
2.4.2 Bestimmung des Zuckergehalts 21
2.4.3 Bestimmung des Proteingehalts 23
2.5 AP3/AP7 Ermittlung von Kennzahlen zur energetischen Verwertung (Biogas) 25
2.5.1 Einteilung der Reststoffe nach Fettgehalt 25
2.5.2 Überblick zu den in LÜBECKERRESTE erfassten Reststoffe 27
2.5.3 Ermittelte Gesamtbiomasse 28
2.5.4 Für Biogas nutzbare Biomasse 28
2.5.5 Abschätzung des energetischen Verwertungspotentials (Biogas) 29
3 Schlussteil (Evaluation und Ausblick) 34
4 Literaturverzeichnis 36
5 Anhang 38
A1 Fragebogen zur Erfassung der Reststoffströme in LÜBECKERRESTE 40
A2 Termine im Projekt LÜBECKERRESTE 48
A3 foodRegio Trendtag 2024: Programm des Fachforum LÜBECKERRESTE 50
A4 One-Pager zu LÜBECKERRESTE 52
A5 SOP Säureaufschluss nach Weibull-Stoldt (TH Lübeck, CIB) 53
A6 SOP Soxhlet-Extraktion (TH Lübeck, CIB) 55
A7 SOP Gesamtzuckerbestimmung in Lebensmitteln mittels HPLC (TH Lübeck, CIB) 57
A8 Reststoffschlüssel in Anlehnung an Brosowski (Brosowski u. a. 2015) 60
A9 Abfallschlüssel nach Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) 63

Abkürzungsverzeichnis und Glossar

Abkürzung	Bedeutung
°C	Grad Celsius
%	Prozent
a bzw. /a	Jahr bzw. jährlich (lat. *annus*)
AP	Arbeitspaket
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BSA	Bovines Serum Albumin
ca.	circa
CA	Cellulose-Acetat
CAS-Nr.	CAS-Registrierungsnummer (engl. *Chemical Abstracts Service Registry Number)*
CH_4	Methan
CIB	Kompetenzzentrum Centrum Industrielle Biotechnologie
DTT	Dithiothreitol
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
d bzw. /d	Tag bzw. täglich (engl. *day*)
EBL	Entsorgungsbetriebe Lübeck
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
EFH	Einfamilienhaus
EGTA	Ethylenglykol-bis(2-aminoethylether)-N,N,N´,N´-tetraessigsäure
FM	Frischmasse
g	Gramm
H_2O	Wasser
HEPES	4-(2-Hydroxyethyl)-piperazin-1-ethansulfonsäure
HWT	Hochschule-Wirtschaft-Transfer
Hz	Hertz
k	Kilo
kcal	Kilokalorie
kg	Kilogramm
kWh/a	Kilowattstunde pro Jahr
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LoI	Absichtserklärung (engl. *Letter of Intent*)
M	Meilenstein
M	Molar
m bzw. /m	Monat bzw. monatlich
mAU	Milliabsorptionseinheiten (engl. *milli absorption units*)
mg	Milligramm

min	Minuten
mL	Milliliter
mm	Millimeter
mM	Millimolar
m^3	Kubikmeter
n	Nano
Nl	Normliter
nm	Nanometer
Nm^3/a	Normkubikmeter pro Jahr
oTM	organische Trockenmasse
p. a.	pro analysi
PDA	Photodiodenzelle (engl. *photo diode array*)
PMSF	Phenylmethansulfonylfluorid
PP	Polypropylen
RC	Regenerierte Cellulose
RI	Brechungsindex (engl. *refraction index*)
rpm	Umdrehungen pro Minute (engl. *revolutions per minute*)
s	Sekunde
SOP	Standardarbeitsanweisung (engl. *standard operation procedure*)
t	Tonne
THL	Technische Hochschule Lübeck
TM	Trockenmasse
TRIS/HCl	Tris-(hydroxymethyl)-aminomethan-hydrochlorid
µ	mikro
µL	Mikroliter
µRIU	Mikrobrechungsindexeinheiten (engl. *micro refractive index units*)
w bzw. /w	Woche bzw. wöchentlich (engl. *week*)

Projektpartner	LoI bei Antragstellung von **LÜBECKERRESTE**
Netzwerkpartner	Datenerhebung in **LÜBECKERRESTE** (Geheimhaltungsvereinbarung)

wenig Fett	Fettgehalt <3 % (Massenanteil)
mittel Fett	Fettgehalt 3 – 20 % (Massenanteil)
viel Fett	Fettgehalt >20 % (Massenanteil)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektplan LÜBECKERRESTE: Einteilung in Arbeitspakete und Zeitplan (Stand 31. Dezember 2024). 13
Abbildung 2: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE. Informationen zu den Reststoffen: Firma, Kategorieschlüssel, AVV-Nr., Haupt- oder Nebenstrom, Bezeichnung des Reststoffs. Gezeigt sind fiktive Datensätze. 16
Abbildung 3: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE. Informationen zu Menge, Häufigkeit und Zeitraum des Anfallens der Reststoffe (d täglich, w wöchentlich, m monatlich, a jährlich). Gezeigt sind fiktive Datensätze. 16
Abbildung 4: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE. Informationen zu Zustand und Zusammensetzung der Reststoffe (K1,2,3 Komponente 1,2,3). Gezeigt sind fiktive Datensätze. 17
Abbildung 5: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE. Informationen zu aktuellem Entsorgungs- oder Verwertungsweg der Reststoffe. Gezeigt sind fiktive Datensätze. 17
Abbildung 6: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE. Experimentell bestimmte Werte zu den Reststoffen; Protein-, Zucker-, Fett-, Wassergehalt (%TM Gehalt bezogen auf die Trockenmasse). Gezeigt sind fiktive Datensätze. 18
Abbildung 7: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE. Angaben der durchschnittlichen Nährwerte der Reststoffe (%TM Gehalt bezogen auf die Trockenmasse). Gezeigt sind fiktive Datensätze. 18
Abbildung 8: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE: Einteilung der Reststoffe nach Fettgehalt und Angabe zur Berücksichtigung bei Berechnung des energetischen Verwertungspotentials (Biogas). Fettanteil wenig < 3 %, mittel 3 – 20 %, viel >20 %. Gezeigt sind fiktive Datensätze. 19
Abbildung 9: Regressionsgerade zu HPLC-Methode DS020: Zusammenhang zwischen Peakflächen und Konzentration der Zucker Glucose, Fructose, Lactose. Maltose, Saccharose. Die Zucker wurden jeweils einzeln vermessen. 22
Abbildung 10: Chromatogramm zur Zuckerbestimmung (HPLC-Methode DS020) einer Probe des Reststoffs Cornflakes. 1) Maltose, 2) Saccharose/Glucose, 3) Fructose und 4) nicht untersucht. 23
Abbildung 11: Webseite der Food Database GmbH (https://fddb.info/): Eingabemaske für die Ermittlung der Herstellerangaben. Eingabe des Lebensmittel/Reststoffs im Suchfeld, Angabe des Herstellers fakultativ (Fddb Support 2023). 25
Abbildung 12: Webseite der Food Database GmbH (https://fddb.info/): Suchergebnis zu Nährwerten aus Herstellerangaben (Fddb Support 2023). 26

Abbildung 13: Zusammenfassung der Angaben für verschiedene Cornflakes (Fett-, Zucker, Protein und Energiegehalt) auf der Webseite der Food Database GmbH (https://fddb.info/). 26
Abbildung 14: Anzahl der Reststoffe in LÜBECKERRESTE. Aktuelle Verwertungswege und Eignung für die energetische Verwertung (Biogas). 27
Abbildung 15: Erfasste Gesamtbiomasse in LÜBECKERRESTE. Aktuelle Verwertungswege und Einteilung nach Fettgehalt (wenig <3 %), mittel (3-20 %), hoch (>20 %). 28
Abbildung 16: Biomasse mit energetischem Verwertungspotential (Biogas) in LÜBECKERRESTE. Aktuelle Verwertungswege und Einteilung nach Fettgehalt (wenig <3 %), mittel (3-20 %), hoch (>20 %). 29
Abbildung 17: Beispielhafte Berechnung der Biogasausbeute (sowie Methananteil) mit Hilfe von Verdauungsquotienten und den geschätzten Anteilen an Zucker, Fett und Protein. Diese Berechnung ist für Lebensmittel-Reststoffe nicht geeignet. 30
Abbildung 18: Biogasausbeuten von Lebensmittelabfällen. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, o. J.). 31
Abbildung 19: Biogasausbeuten von Gülle/Mist. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, o. J.). 32
Abbildung 20: Auszug aus Datenbank **LÜBECKERRESTE**: Energetisches Verwertungspotential (Biogas) der Reststoffe (Stand 30. Juni 2025) 33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Parameter zur Chromatographischen Bestimmung von Zuckern (CIB-intern: HPLC-Methode DS020) 21
Tabelle 2: Energiegehalt des energetischen Verwertungspotentials (Biogas). Beispielhafte Umrechnung in Anzahl Einfamilienhäuser (EFH), die versorgt werden könnten Annahme Strom- (3 000 kWh/a) und Gasverbrauch (19 200 kWh/a). 33

1 Einleitung (Projektziel)

1.1 Projektziel

Das Projekt **LÜBECKERRESTE** dient der Abschätzung der Möglichkeiten einer gemeinsamen (Kaskaden-)Nutzung von biogenen Abfall- und Reststoffen der regionalen Lebensmittelproduzenten in Lübeck. Aktuell steht das Potential im Sinne einer regional verankerten und bedarfsorientierten Energieversorgung im Fokus des Interesses. Damit werden die für den Klimaschutz notwendigen Verschärfungen der Treibhausgasminderungsziele im neuen Bundes-Klimaschutzgesetz (Bundestag 2024) sowie die Veränderungen auf den Energiemärkten adressiert.

In Lübeck, einem Hotspot der Lebensmittelproduktion in Deutschland, fallen nach der Verarbeitung biogener Rohstoffe zu Lebensmitteln relativ verlässlich unvermeidbare Reststoffe an, die noch nährstoff- und/oder energiereich sind. Dazu zählen beispielsweise Schalen, Trester, aber auch Prozesswasser und Sümpfe. Diese zukunftsweisend gemeinsam zu nutzen, erfordert in einem ersten Schritt die Erhebung der Mengengerüste sowie ihrer stofflichen Zusammensetzung und in einem zweiten Schritt die Untersuchung der optimalen gemeinsamen Nutzungsmöglichkeiten. Insbesondere unter den aktuellen Rahmenbedingungen (Bundes-Klimaschutzgesetz, Klimakrise) haben bereits vor Projektbeginn viele Unternehmen aus der Lebensmittelindustrie Interesse an einer Erhebung der Daten und Evaluierung des Potentials ihrer (meist biogenen) Abfall- und Reststoffe bezüglich einer gemeinsamen, ortsnahen Nutzung zur Energiegewinnung gezeigt.

Die Projektergebnisse sollen die wissenschaftliche Grundlage für die geplante gemeinsame, ressourceneffiziente und -schonende Kaskadennutzung biogener Abfall- und Reststoffe regionaler Lebensmittelproduzenten in Lübeck bilden. Dazu wurden die in der Region Lübeck anfallenden Biomassefraktionen zur ressourcenschonenden Energiegewinnung ermittelt. Die Möglichkeit einer Kaskadennutzung wurde offen gehalten, war jedoch nicht Teil des Projekts. Die im Projekt erhobenen Daten, die Erfahrungen aus der Zusammenarbeit mit den Projektpartnern sowie der Projektpartner untereinander bilden eine wichtige Grundlage für weitere Entscheidungen. In diese müssen neben wirtschaftlichen Aspekten und organisatorischen sowie regulatorischen Fragen ggf. auch ein Life-Cycle-Assessment einbezogen werden. Ein wichtiger Aspekt ist die Regelung der Handhabung der Daten im Hinblick auf Geheimhaltung bzw. Offenlegung. Hierzu wurden Geheimhaltungsvereinbarungen (vgl. 2.3) zwischen der TH Lübeck und den Netzwerkpartnern geschlossen. Im vorliegenden Abschlussbericht ist die Vorgehensweise innerhalb des Projekts, insbesondere die Datenbank betreffend, an fiktiven Datensätzen beispielhaft dargestellt (vgl. Abbildungen in Abschnitt 2.3.3). Der bisher ermittelte Gesamtumfang an biogenen Reststoffen zusammen mit einer Abschätzung des zugehörigen energetischen Verwertungspotentials (Biogas) werden in 2.5 beschrieben und diskutiert. Aus diesen Gesamtergebnissen können keine Einzeldaten abgeleitet werden, so dass diese hier publiziert werden können.

1.2 Ausgangslage bei Projektstart

In den vergangenen Jahren war Bioenergie aus Biomasserückständen und Abfällen rein wirtschaftlich betrachtet noch nicht konkurrenzfähig gegenüber Erdölkraftstoffen oder anderen erneuerbaren Energien. Das dadurch temporär nachgelassene Interesse an der Energiegewinnung aus Biomasse stieg aus unterschiedlichen Gründen wieder an, vor allem wegen der Notwendigkeit des Klimaschutzes sowie der weltweiten politischen Entwicklungen und wirtschaftlichen Abhängigkeiten.

Die aktualisierte Fassung des Berichts *Basisdaten Bioenergie* (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2022) von 2022 fasst die Daten zur Bereitstellung von Bioenergie in Deutschland zusammen. Dominierend sind hier Nachwachsende Rohstoffe mit 46 % (Maissilage, Grassilage etc.) und Wirtschaftsdünger mit 49 % (Gülle, Mist) des Substrateinsatz in Biogasanlagen, während Reststoffe bundesweit im Durchschnitt nur einen kleinen Teil ausmachen.

Die im Jahr 2015 erschienene Studie *Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffe* (Brosowski u. a. 2015)fasst die deutschlandweit vorhandenen Potentiale von biobasierten Rest- und Abfallstoffen zusammen. Dabei werden sowohl bereits genutzte Biomasse als auch ungenutzte Potentiale berücksichtigt. Drei Viertel des theoretischen Biomasse-Reststoffpotenzials entfallen auf die Bereiche Landwirtschaft und Holz, während industrielle Reststoffe nur 9 % ausmachen (Brosowski u. a. 2015). Im Bericht wird auch die Notwendigkeit eines dauerhaften Monitoringsystems zur Sicherstellung der Aussagefähigkeit über die Nutzungspotenziale von Biomasse formuliert. Zudem wird empfohlen, die Daten zu Biomassenpotenzialen und deren Nutzung zu regionalisieren, da biogene Ressourcen üblicherweise sehr heterogen verteilt sind (Brosowski u. a. 2015).

Betrachtet man die Höhe der Lebensmittelabfälle nach Sektoren in der Lebensmittelversorgungskette, erscheint der Anteil während der Verarbeitung von ca. 15 % oder 1,6 Mio Tonnen relativ gering gegenüber der Gesamtabfallmenge von ca. 11 Millionen Tonnen Lebensmittelabfälle (Quelle: Statistisches Bundesamt, 2022). Wenn diese allerdings teilweise bereits beispielsweise betriebsintern weitergegeben werden, werden die entsprechenden Mengen nicht erfasst und finden bei weiteren Überlegungen oder solchen unter neuen Randbedingungen keine Berücksichtigung.

Die Verbesserung der Technologien zur Umwandlung von Biomasserückständen und -Abfällen in Bioenergie motivierten ebenfalls dazu, weitere Nutzungspotenziale der Biomasse zu identifizieren (Lee u. a. 2019).

Für die Region Lübeck mit einer hohen Dichte an Lebensmittelproduzenten gab es vor Projektstart noch keine entsprechenden detailreichen Informationen zu den anfallenden biogenen Reststoffen und ihrem möglichen gemeinsamen energetischen Potential. In lebensmittelproduzierenden Betrieben fallen große Mengen an biogenen Reststoffen an, von denen v.a. die pflanzlichen Reststoffe meist als Verbrennungsrohstoff (z.B. Biogasanlage) oder als Tierfutter weiterverwertet werden. Da jeder Lübecker Betrieb bisher individuelle, nicht zwangsläufig örtliche Nutzungs- bzw. Entsorgungswege verfolgt, waren weder Mengengerüste noch Zusammensetzung in Hinblick auf das Potential eines gemeinsamen

energetisches Verwertungskonzepts verlässlich bekannt. Auch die Potentiale zur stofflichen Verwertung sind bisher weder vollständig bekannt noch werden sie erschöpfend genutzt.
Zwar ist in allen Firmen eine Übersicht der anfallenden, unvermeidbaren Reststoffe vorhanden, die u.a. der Dokumentationspflicht der Firmen gegenüber dem Gesetzgeber dient oder für den internen Gebrauch erstellt wurde.
Aufgrund der steigenden Strom- und Gaskosten war für die Firmen und auch für die Stadt Lübeck das Interesse an einer möglichen regionalen Stromerzeugung mit den angesiedelten Firmen groß. Eine Senkung des CO_2-Ausstoßes ist im Zuge der gesetzlich vorgesehenen Klimaziele möglich und man kann somit einen Beitrag zu den Klimazielen der Stadt und des Landes beitragen. Sie sollten daher im Rahmen von **LÜBECKERRESTE**, zusammen mit experimentellen Daten aus chemischen und biochemischen Analysen, systematisch erhoben und in einer Datenbank kategorisiert werden. Im Rahmen des Projekts wurde daher ein Fragebogen zur Erhebung und eine Datenbank zur Auswertung der der Daten ausgearbeitet sowie das energetische Verwertungspotential (Biogas) abgeschätzt. Viele Lebensmittel-produzenten sind inzwischen sowohl an der gemeinsamen energetischen Nutzung als auch an einer, wo sinnvoll, vorgeschalteten stofflichen Verwertung ihrer Reststoffe interessiert. Sie müssen sich aber aufgrund ihrer Betriebsgröße und -struktur weiterhin auf die primären Produktionsprozesse als Hauptgeschäft fokussieren. Bei den Unternehmenspartnern des beantragten Projekts besteht deshalb ein erhebliches Interesse systematischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die eine Grundlage für eine zukünftige gemeinsame Nutzung der biogenen Reststoffe für die Energiegewinnung schaffen und weitere Nutzungspotentiale für stoffliche Verwertungen aufzeigen.

1.3 Vorarbeiten am Centrum Industrielle Biotechnologie

In früheren Projekten zur Verwertung von biogenen (industriellen) Reststoffen am Centrum Industrielle Biotechnologie stand die stoffliche Zusammensetzung von ausgewählten Reststoffen. Im Projekt BioPower (FH Lübeck/foodRegio, 2007-08; Projektleitung Prof. Dr. Uwe Englisch) wurden beispielhaft fünf einzelne Reststoffe bzgl. ihres Nutzungs¬potentials für energetische Nutzung (Biogas, Ethanol) bzw. ihr Potential für stoffliche Verwertungs¬möglichkeiten untersucht (Englisch 2008). Damals wurden aber keine Mengengerüste abgeschätzt. Die unter den damaligen Rahmenbedingungen als Ergebnis im Fokus stehende stoffliche Verwertung einzelner dieser Reststoffe war Gegenstand weiterer, voneinander unabhängiger Forschungsprojekte wie z.B. VEREMA. Im Rahmen von VEREMA (Antioxidative und antibiotische Substanzen aus der stofflichen Verwertung von Reststoffen der Marzipan-Industrie, BMBF 13FH018IX5 IngenieurNachwuchs, 1.05.2015-30.04.2020, Projektleitung Prof. Dr. Veronika Hellwig) wurden wirtschaftlich nutzbare Substanzen bzw. Substanzgemische in den Reststofffraktionen Brühwasser (Mandelschälwasser) und Mandelhaut der Marzipanindustrie identifiziert (Kerninhalt der im Projekt verankerten Dissertation von J. Gasser) (Hellwig 2020; Gasser 2020; 2021).
Das Projekt **LÜBECKERRESTE** ist aus dem kontinuierlichen Austausch in diesen Kooperationen entstanden und beschäftigt sich erstmals mit den Mengengerüsten der Reststoffe in Lübeck.

2 Hauptteil (Projektergebnisse)

2.1 Projektstruktur und Zeitplan

Das Projektkonzept basiert auf der Vernetzung der an der TH Lübeck im Centrum Industrielle Biotechnologie CIB vorhandenen interdisziplinären Kompetenzen in den Bereichen Naturstoffanalytik (Prof. Hellwig) und Technische Mikrobiologie (Prof. Willkomm) zur systematischen Untersuchung des Verwertungspotentials von biogenen Abfall- und Reststoffen gemeinsam mit den ortsansässigen Lebensmittelproduzenten (Aufbauphase: Niederegger, Brüggen, foodRegio, IHK) sowie den Stadtwerken Lübeck, foodRegio und der IHK. Der Rahmen dieser wissenschaftlichen Untersuchung in direkter Verbindung mit den regionalen Unternehmenspartnern ermöglicht die konsequent zielgerichtete umfassende Erhebung und chemisch-analytische Charakterisierung der in der Region Lübeck anfallenden biogenen Abfall- und Reststoffen aus der Lebensmittelproduktion sowie eine Evaluierung ihres Energieerzeugungspotenzial.

Das Projekt war in zwei Phasen angelegt: Aufbauphase (mit den Partnern Niederegger, Brüggen, foodRegio, Stadtwerke, IHK) und Hauptphase (zusätzlich mit weiteren Partnern, u.a. Mitgliedsunternehmen aus foodRegio und IHK). Die Aufbauphase (AP1-4) diente der Festlegung der Parameter zur Erhebung der Daten (Abfallmengen, Stoffströme, derzeitige Verwertung) sowie der Optimierung der Abläufe bei Probennahme und Analytik in Zusammenarbeit mit den initiierenden Partnern. Anhand der Probenahmen in den verschiedenen Reststofffraktionen erfolgt die Anpassung der im CIB vorhandenen chemisch-analytischen Methoden an die substratspezifischen Erfordernisse sowie eine Validierung der Vorgehensweise zur Abschätzung des energetischen Verwertungspotenzials (Biogas).
Das Projekt wurde wie im Antrag angelegt in zwei Phasen durchgeführt: In einer gegenüber dem Antrag durch Verzögerungen bei der Erstellung der Geheimhaltungsvereinbarung verlängerten Aufbauphase (01.07.2023-30.06.2024) wurde mit den Projektpartnern (Niederegger, Brüggen, foodRegio, Stadtwerke, IHK) die umfassende Erhebung der Daten vorbereitet und erprobt. Die Aufbauphase endete mit der abschließenden Festlegung auf einen optimierten Fragebogen und der Vorstellung des Projekts auf dem foodRegio e. V. Trendtag. In der Hauptphase wurde die Datenerhebung in weiteren Unternehmen fortgesetzt und das energetische Verwertungspotential (Biogas) der erfassten Gesamtmenge wurde berechnet.
Abbildung 1 zeigt die finale zeitliche und organisatorische Projektstruktur. Anhang A2 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Termine mit den Projektpartnern. In den nachfolgenden Abschnitten wird der Projektfortschritt in den einzelnen Arbeitspaketen beschrieben, wobei gleichartige Arbeitspakete von Aufbau- und Hauptphase jeweils in einem gemeinsamen Abschnitt beschrieben werden.

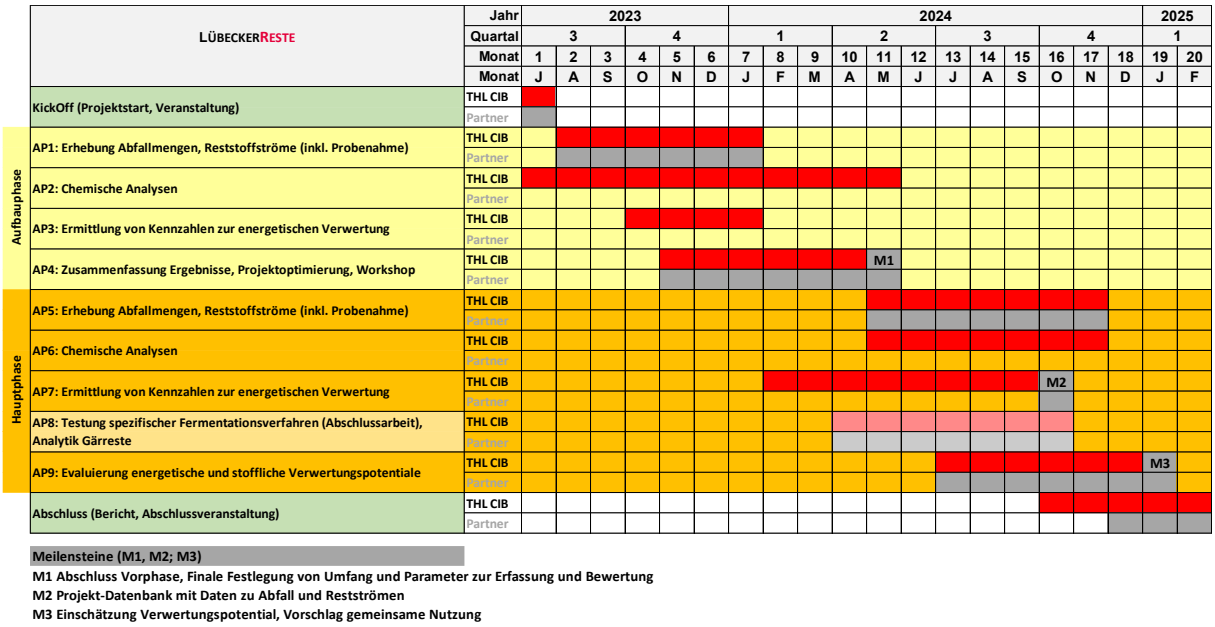

Abbildung 1: Projektplan LÜBECKERRESTE: Einteilung in Arbeitspakete und Zeitplan (Stand 31. Dezember 2024).

2.2 Projektstart

Zum KickOff des Projekts wurden die Projektpartner sowie ausgewählte weitere Unternehmen eingeladen (Liste der Teilnehmenden vgl. Anhang A2). wurden v.a. die Themen Geheimhaltungsvereinbarung sowie Parameter zur Erfassung der Reststoffströme in Hinblick auf die Ausarbeitung des Fragebogens bearbeitet. Bezüglich der Zeitplanung wurde erkannt, dass der Workshop zum Abschluss der Aufbauphase m Rahmen des Trendtag 2024 der foodRegio stattfinden sollte, um möglichst viele relevante Unternehmen ansprechen und informieren zu können. Aus terminlichen Gründen bereits vor Projektbeginn (30.05.2023) hatten sich einige Interessenten gemeinsam die Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlungsanlage MBA bei den Entsorgungsbetrieben Lübeck, insbesondere die vorhandenen Biogasanlage. Gleichzeitig konnten nähere, u. a. rechtliche, Informationen zur Fermentation und Entsorgung von Abfällen erhalten werden, die bereits bei der Datenaufnahme berücksichtigt werden sollen.

Für die Aufnahme und Verwendung der erhobenen Daten wurde in der Aufbauphase der rechtliche Rahmen geschaffen. In engen Austausch mit den Projektpartner H. & J. Brüggen KG und der J. G. Niederegger GmbH & Co. KG sowie dem Justitiariat der Technischen Hochschule Lübeck wurde eine Geheimhaltungsvereinbarung ausgearbeitet. Diese jeweils bilaterale Vereinbarung regelt klar die Rechte und Pflichten der TH Lübeck als Datenerheber gegenüber den Firmen. Vor der Erhebung der Daten bei den Projektpartnern bzw. bei den später hinzukommenden Netzwerkpartnern ist das Unterzeichnen der Geheimhaltungsvereinbarung zwingend erforderlich.

2.3 AP1/AP5 Erfassung Abfallmengen, Reststoffströme

Die Ausarbeitung der Fragebögen sowie die Erhebung der Reststoffströme der Unternehmenspartner inkl. Probenahme erfolgte in **AP1**. In der Hauptphase wurden in **AP5** vergleichbar zu **AP1** die Abfallmengen bei hinzukommenden Netzwerkpartnern erhoben.

2.3.1 Ausarbeitung des Fragebogens

Auf Grundlage der mit den Projektpartnern geführten Gespräche im Rahmen der Antragstellung sowie der gemeinsamen Besichtigung der Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlungsanlage der Entsorgungsbetriebe Lübeck (vgl. Anhang A2) sowie beim KickOff Meeting wurde ein Fragebogen zur Erfassung der Reststoffströme entwickelt. Hierbei wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass die in den Firmen anfallenden Abfall- und Reststoffströme bereits individuell unterschiedlichen Verwertungsstrategien zugeführt werden (Futtermittel, Biogas etc.). Auch solche Reststofffraktionen sollten in der Projektdatenbank erfasst werden, um das vorhandene Potential realistisch abschätzen zu können sowie in Hinblick auf eine weitere Nutzung der Datenbank bei zukünftigen Fragestellungen.

Der Fragebogen wurde so gestaltet, dass sich die Beantwortung der Fragen für die Unternehmen einfach gestaltet (Anlehnung an Abfallschlüssel aus Abfallverzeichnis-Verordnung (Bundesministeriums der Justiz und Bundesamts für Justiz 2001)), aber andererseits auch sichergestellt ist, dass auch ggf. bisher nicht als Reststoffe wahrgenommene Fraktionen erfasst werden.

Hinweise zu Aufbau und Formulierung der Fragen wurden im Abschlussbericht zum Projekt *Bestandsaufnahme zum biogenen Reststoffpotential der deutschen Lebensmittel und Biotechnik-Industrie* erhalten (Mahro u. a. 2013). In diesem Projekt wurde eine bundesweite Befragung zur Ermittlung der Reststoffe in Firmen durchgeführt. Für die Auswertung des energetischen Verwertungspotentials in der Region Lübeck war die Ausarbeitung eines für die Region Lübeck zugeschnittenen Fragebogens zur Aufnahme der anfallenden Reststoffe nötig war. Der Fragebogen **LÜBECKERRESTE** nutzt zur Datenaufnahme in den Produktionsbetrieben folgende Leitfragen:

- Welche Reststoffe fallen in Ihrem Unternehmen an?
- In welchen Mengen und Zeitraum fallen die Reststoffe an?
- Wie werden diese Reststoffe aktuell verwertet?

In der Aufbauphase wurde der Fragebogen vorab an die Unternehmenspartner (Brüggen, Niederegger) verschickt und dann in im Rahmen einer Werksbesichtigung mit den zuständigen Personen bei den Produktionsstätten ausgefüllt und gleichzeitig notwendige Anpassungen im identifiziert. Nach diesen beiden Testläufen wurde der Fragebogen stellenweise angepasst. Die finale Version des Fragebogens, die nun in der Hauptphase eingesetzt wird, ist im Anhang A1 abgelegt.

2.3.2 Datenaufnahme bei den Projekt- und Netzwerkpartnern

In der Hauptphase erfolgte eine weitere Besichtigung bei der Firma Nordgetreide. Bei einer weiteren Ausweitung sollten Werksbesichtigungen nur noch bei konkreten Klärungsbedarf oder bei weiteren Probenahmen notwendig sein.

Um die Datenaufnahme möglichst einfach und die weitere Datenverarbeitung effizient zu halten, wurde der Fragebogen (vgl. Anhang A1) in digitaler Form zum Ausfüllen (Excel-Tabelle) zur Verfügung gestellt. Dabei wurden wiederkehrende Punkte, z.B. die laufende Nummer des Reststoffs, soweit möglich automatisch ausgefüllt.

Um die Datenlage und somit die Abschätzung für das energetische Potential zu verbessern, wurden in Kooperation mit foodRegio e.V. verschiedene Firmen angeschrieben, um als Netzwerkpartner dem Projekt beizutreten bzw. konkret ihre Daten für die Datenbank **LÜBECKERRESTE** zur Verfügung zu stellen. Das Projekt am 30.05.2024 beim foodRegio e. V. Trendtag in einem eigenen Fachforum (vgl. Anhang A3) interessierten Firmen vorgestellt (foodRegio e. V. 2024). Außerdemwurde ein One-Pager mit Informationen zum Projekt erstellt und versendet (vgl. Anhang 0). Im Rahmen des Projekts konnte Firma Bäckerei Junge GmbH als neuer Netzwerkpartner gewonnen werden. Nach Abschluss des Projektes zeigten die Firmen GB-Food Deutschland, Hela und Lubeca Interesse an der Aufnahme ihrer Reststoffströme und nahmen an der Abschlussveranstaltung von **LÜBECKERRESTE** teil.

Nach der Bearbeitung der Daten erhalten die Netzwerkpartner die Informationen zur Zusammensetzung ihrer Reststoffe und des zugehörigen energetischen Verwertungspotentials (Biogas) als unmittelbaren Mehrwert aus der Projektbeteiligung.

2.3.3 Datenbank LÜBECKERRESTE

In der Datenbank LÜBECKERRESTE werden folgende Informationen zu den Reststoffen erfasst:

a) Firma: als Nr., Zuordnung zu Namen separat abgelegt (s.u.)
b) Kategorieschlüssel in Anlehnung an Brosowski (Brosowski u. a. 2015): vgl. Anhang A8
c) AVV-Nummer: vgl. Anhang A9
d) Haupt- oder Nebenstrom
e) Bezeichnung des Reststoffs (vgl. Abbildung 2)
f) Menge (Angabe in t/a)
g) wie oft fällt der Reststoff an (regelmäßig oder unregelmäßig)
h) in welchem Zeitraum fällt der Reststoff an (täglich, wöchentlich, monatlich, jährlich, sonstiges; vgl. Abbildung 3)
i) in welchem Zustand liegt der Reststoff vor (fest, flüssig, Emulsion, sonstiges)
j) welche Zusammensetzung hat der Reststoff (ein Stoff oder Stoffgemische; vgl. Abbildung 4)
k) aktueller Verwertungsweg (entsorgt oder weiterverwertet)
l) möglicher alternativer Verwertungsweg (vgl. Abbildung 5)
m) Abfälle aus Kantine/Büro (nicht gezeigt)
n) ermittelte Labor- und Herstellerwerte (vgl. Abbildung 6 und Abbildung 7)
o) Einteilung nach Fettgehalt für die Potentialberechnung (vgl. hierzu Abschnitt 2.5.5)
p) wurde der Reststoff für die Potentialabschätzung berücksichtigt oder nicht (Abbildung 8).

Die Datenbank ist so angelegt, dass eine direkte Zuordnung der Einträge zu den Firmen nicht möglich ist. Die Firmennamen werden anonymisiert und die Zuordnung zu den verwendeten Nummern außerhalb der Datenbank gespeichert. Auch die Reststoffe werden so benannt, dass sie nicht rückverfolgbar sind. Das energetische Verwertungspotential (Biogas) wird nur auf Ebene der Kategorien publiziert, so dass keine Zuordnung der Reststoffe oder Firmen möglich. In den folgenden Abbildungen werden fiktive Datensätze zur Veranschaulichung der Datenbank LÜBECKERRESTE verwendet.

Firma	Kategorieschlüssel	AVV-Nr.	Haupt-/Nebenstrom	Bezeichnung
1	5.1.14.1.0	02 03 04	Hauptstrom	Reststoff 1
1	5.1.15.1.0	02 03 99	Hauptstrom	Reststoff 2
1	3.1.1.0.0	20 01 99	Hauptstrom	Reststoff 3
1	3.6.1.0.0	20 01 08	Nebenstrom	Reststoff 4
1	3.8.1.0.0	02 03 05	Nebenstrom	Reststoff 5
2	5.2.1.0.0	16 03 06	Nebenstrom	Reststoff 1
2	5.2.1.0.0	16 03 06	Nebenstrom	Reststoff 2
2	3.1.1.0.0	16 03 06	Nebenstrom	Reststoff 3
2	3.1.1.0.0	16 03 06	Hauptstrom	Reststoff 4
2	3.1.1.0.0	16 03 06	Hauptstrom	Reststoff 5
3	3.1.1.0.0	16 03 06	Hauptstrom	Reststoff 1
3	3.1.1.0.0	16 03 06	Hauptstrom	Reststoff 2
3	3.1.1.0.0	16 03 06	Nebenstrom	Reststoff 3
3	3.1.1.0.0	16 03 06	Hauptstrom	Reststoff 4
3	3.1.1.0.0	16 03 06	Hauptstrom	Reststoff 5
4	3.1.1.0.0	02 06 01	Hauptstrom	Reststoff 1
4	5.1.16.0.0	15 02 03	Hauptstrom	Reststoff 2
4	3.6.4.0.0	19 08 09	Hauptstrom	Reststoff 3
4	3.1.1.0.0	02 06 99	Hauptstrom	Reststoff 4
4	3.8.1.0.0	02 06 03	Nebenstrom	Reststoff 5

Abbildung 2: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE. Informationen zu den Reststoffen: Firma, Kategorieschlüssel, AVV-Nr., Haupt- oder Nebenstrom, Bezeichnung des Reststoffs. Gezeigt sind fiktive Datensätze.

	Menge		Wie oft fällt Reststoff an?		Zeitraum				
	[T/a]	andere	regelmäßig	unregelmäßig	d	w	m	a	sonstiges
152	x		x		x				
3			x		x				
20	x		x		x				
59	x		x		x				
0,1	x		x		x				
1580	x		x			x			
200	x		x			x			
358	x		x			x			
15	x		x		x				
6	x		x			x			
158	x		x			x			
125	x		x				x		
0,5	x		x				x		
29	x		x			x			
1278	x		x			x			
180	x		x					x	
59	x		x					x	
97	x		x					x	
587	x		x					x	
89	x		x					x	

Abbildung 3: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE. Informationen zu Menge, Häufigkeit und Zeitraum des Anfallens der Reststoffe (d täglich, w wöchentlich, m monatlich, a jährlich). Gezeigt sind fiktive Datensätze.

Zustand				Zusammensetzung				
fest	flüssig	Emulsion	sonstiges	ein Stoff	mehrere Stoffe	K1	K2	K3
x				x				
	x			x				
x	x				x	Butter	Wurst	
x				x				
	x			x				
x					x	Trester	Hefen	
x				x				
x					x	Zucker	Sirup	Mehl
x				x				
x				x				
x				x				
x				x				
x					x	Fischköpfe	Greten	Haut
x				x				
x				x				
x				x				
x				x				
		x		x				
x				x				
			x		x	Schokolade	Dinkelpuff	Reispuff

Abbildung 4: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE. Informationen zu Zustand und Zusammensetzung der Reststoffe (K1,2,3 Komponente 1,2,3). Gezeigt sind fiktive Datensätze.

Entsorgung/Verwertung				
entsorgt	weiterverwertet	Art der Weiterverwertung	Anteil [%]	Größe der Batches
x			100	kg
x			100	kg
x			100	kg
x			100	kg
x			100	m^3
	x	Futtermittel	100	t
	x	Futtermittel	100	t
	x	Futtermittel	100	kg
	x	Futtermittel	100	kg
x			100	kg
	x	Futtermittel	100	kg
x			100	kg
x			100	kg
	x	Futtermittel	100	kg
x			100	kg
x			100	kg
x			100	kg
x			100	kg
x			100	kg
x			100	kg

Abbildung 5: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE. Informationen zu aktuellem Entsorgungs- oder Verwertungsweg der Reststoffe. Gezeigt sind fiktive Datensätze.

Proteingehalt (ermittelt) [% TM]	Zuckergehalt (ermittelt) [% TM]	Fettgehalt (ermittelt) [%TM]	Wassergehalt (ermittelt) [%]
5,9	50,0	10,6	
3,2	25,6	20,6	
1,5	1,5	0,5	
58,8	10,9	7,8	

Abbildung 6: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE. Experimentell bestimmte Werte zu den Reststoffen; Protein-, Zucker-, Fett-, Wassergehalt (%TM Gehalt bezogen auf die Trockenmasse). Gezeigt sind fiktive Datensätze.

Proteingehalt (berechnet) [% TM]	Zuckergehalt (berechnet) [% TM]	Fettgehalt (berechnet) [%TM]	Wassergehalt (berechnet) [%]
7,7	26,6	9,4	
8,8	42,4	29,8	
7,7	26,6	9,4	
7,7	26,6	9,4	
8,8	42,4	29,8	
8,8	42,4	29,8	
7,7	26,6	9,4	
7,7	26,6	9,4	
7,7	26,6	9,4	
7,2	3,5	1,5	
8,8	42,4	29,8	
7,7	26,6	9,4	
7,2	3,5	1,5	
7,2	3,5	1,5	
8,8	42,4	29,8	
8,8	42,4	29,8	
7,7	26,6	9,4	
7,2	3,5	1,5	
7,7	26,6	9,4	

Abbildung 7: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE. Angaben der durchschnittlichen Nährwerte der Reststoffe (%TM Gehalt bezogen auf die Trockenmasse). Gezeigt sind fiktive Datensätze.

Fettanteil					Bemerkung
wenig	mittel	viel	Schlamm	berücksichtigt	
	x				
		x		x	
			x	x	
	x			x	
	x				
			x		
			x	x	
	x			x	
	x			x	
	x			x	
x				x	
		x		x	
	x				
x				x	
x				x	
		x			
		x		x	
	x			x	
x				x	
		x			

Abbildung 8: Ausschnitt aus der Datenbank LÜBECKERRESTE: Einteilung der Reststoffe nach Fettgehalt und Angabe zur Berücksichtigung bei Berechnung des energetischen Verwertungspotentials (Biogas). Fettanteil wenig < 3 %, mittel 3 – 20 %, viel >20 %. Gezeigt sind fiktive Datensätze.

2.4 AP2/AP6 Chemische Analysen

Der Biogas-/Methanertrag eines Substrats wird durch dessen Gehalt an Fetten, Kohlenhydraten und Proteinen sowie durch die Verdaulichkeit dieser Stoffgruppen bestimmt. Um das energetische Potenzial der Reststoffe abschätzen zu können, muss der Fett-, Zucker- und Proteingehalt der Reststofffraktionen eingeschätzt werden (Max Rubner-Institut und Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel 2025)Deshalb ist im vorliegenden Antrag die Erfassung der chemischen Zusammensetzung als Summenparameter bezüglich dieser Stoffklassen bei ausgewählten Reststoffen vorgesehen. .

Dabei wurden die im CIB verwendeten Methoden an die in der Lebensmittelindustrie bestehenden Normen angelehnt, da diese bereits für die zu untersuchenden Matrizes erprobt sind.

Hiervon zielen insbesondere die Bestimmung von Fett- und Zuckergehalt auf die Abschätzung des energetischen Verwertungspotentials (Biogas) ab. Der Kohlenhydratgehalt berücksichtigt auch Polysaccharide, z. B. Cellulose, und wird deshalb nicht betrachtet. Diese Stoffe stehen nicht ohne weitere Vorbehandlung für die Fermentation in einer Biogasanlage zur Verfügung. Die Bestimmung des Proteingehalts zielt auf die (zusätzliche) Identifizierung von stofflichem Verwertungspotential von ausgewählten Reststofffraktionen, insbesondere wenn das identifizierte energetische Verwertungspotential nicht sehr hoch ist, ab.

Die Methoden für die Bestimmungsverfahren für den Fettgehalt, Zuckergehalt und Proteingehalt sind in den Abschnitten 2.4.1, 2.4.2und 2.4.3 kurz beschrieben.

2.4.1 Bestimmung des Fettgehalts

In Anlehnung an die DIN 10342 *Milch und Milcherzeugnisse - Bestimmung des Fettgehalts von Milch und Milcherzeugnissen nach dem gravimetrischen Weibull-Berntrop Verfahren* (DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2021) erfolgte die Fettbestimmung in zwei Schritten:

1) Säureaufschluss nach Weibull-Stoldt (DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2021): In einem 300 mL Becherglas mit Uhrglas wird eine Suspension aus 3 g des Reststoffes in 100 mL Wasser mit 100 mL 20 %-iger Schwefelsäure versetzt und 30-60 Minuten gekocht (DIN 10342:2021-11 Absatz 8.5.2). Alternativ kann unter Rückfluss gearbeitet werden. Die anschließende Filtration erfolgt bis zur Neutralität des Eluats (vgl. SOP Säureaufschluss nach Weibull-Stoldt CIB 2.007.1 im Anhang A5).

2) Soxhlet-Extraktion (Matissek und Fischer 2021): Die Extraktionshülse (Whatman, Höhe 80 mm, Innendurchmesser 22 mm) wird mit der Probe (ggf. aus 1)) befüllt und mit entfetteter Watte bedeckt. 70 mL Petrolether werden in einen 100 mL Rundkolben vorgelegt und die Extraktion für 20-30 Zyklen durchgeführt. Nach Entfernung des Lösungsmittels wird die Massedifferenz des Kolbens nach der Extraktion zum Kolben vor der Extraktion bestimmt (SOP Soxhlet-Extraktion CIB 2.006.1 im Anhang A6).

2.4.2 Bestimmung des Zuckergehalts

Die Bestimmung des Zuckergehalts erfolgte chromatographisch (SOP Gesamtzuckerbestimmung in Lebensmitteln mittels HPLC CIB 3.003.1 im Anhang A7). Es wurden die in Lebensmitteln häufigsten vorhandenen Zucker (Glucose, Fructose, Saccharose, Maltose und Lactose) quantifiziert. Die Abschätzung des Gesamtzuckergehalts erfolgt durch Addition des Gehalts dieser fünf Zucker. Die Methode wird vielseitig in der Lebensmittelanalyse angewendet, da sie aufgrund der einfachen Probenvorbereitung für ein breites Spektrum an Lebensmitteln geeignet ist.

Chromatographische Bestimmung der Zucker

Probenvorbereitung: Eine Suspension aus 1 g des zerkleinerten Reststoffs in 10 mL Wasser (50 mL Falcon® Röhrchen, Material: PP) wird 60 Minuten bei 500 rpm geschüttelt und anschließend 10 min bei 6000 rpm zentrifugiert. Der Überstand wird über einen Spritzenfilter (CA; 0,2 µm) in ein HPLC-Vial filtriert.

HPLC-Analysen: KNAUER HPLC-Anlage (KNAUER Wissenschaftliche Geräte GmbH): HPLC-Pumpe 1800, Autosampler 3950, RI-Detektor 2300, PDA-Detektor 2800, JetStream Oven) Methode DS020 (interne Bezeichnung, vgl. Tabelle 1)

Verwendete Standardsubstanzen für Kalibrierung: Maltose*H_2O (für Biochemie; CAS-Nr.: 6363-53-7; Merck KGaA), D-(+)-Glucose*H_2O (für Biochemie; CAS-Nr.: 14431-43-7, Fluka), D-(+)-Saccharose (p. a.; CAS-Nr.: 57-50-1; Sigma-Aldrich), D-(–)-Fructose (für Biochemie; CAS-Nr.: 57-48-7; Merck KGaA), Lactose*H_2O (für Biochemie; CAS-Nr.: 64044-51-5; Merck KGaA)

Tabelle 1: Parameter zur Chromatographischen Bestimmung von Zuckern (CIB-intern: HPLC-Methode DS020)

HPLC-Methode DS020	
Säule	NUCLEOGEL SUGAR 810 OA (MACHEREY-NAGEL)
Säulenofentemperatur	40 °C
Zusammensetzung Eluent	5 mM Schwefelsäure
Flussrate	0,1 mL/min, isokratisch
Injektionsvolumen	20 µL
Datenaufzeichnung	90 min
Detektoreinstellung (RI)	time constant: 1 s, sampling rate: 1 Hz; negative Peaks werden positiv dargestellt
Detektoreinstellung (PDA)	254 nm, 280 nm
Standardsubstanzen	Retentionszeiten:
Maltose	43,9 min
Lactose	45,4 min
Saccharose	52,9 min
Glucose	53,8 min
Fructose	59,0 min

Kalibrierung	bei 5, 10, 15, 20 und 25 mg/mL (je Zucker)

Kalibriergeraden: Aus den Chromatogrammen für die einzelnen Standards werden die für die Berechnung der Konzentration benötigten Regressionsgeraden anhand der Peakhöhe bzw. der Peakfläche (vgl. Abbildung 9) erstellt. Erfassung über die Peakfläche zeigt erwartungsgemäß eine ähnliche Empfindlichkeit für alle Analyten und wird bei der Kalibrierung bevorzugt.

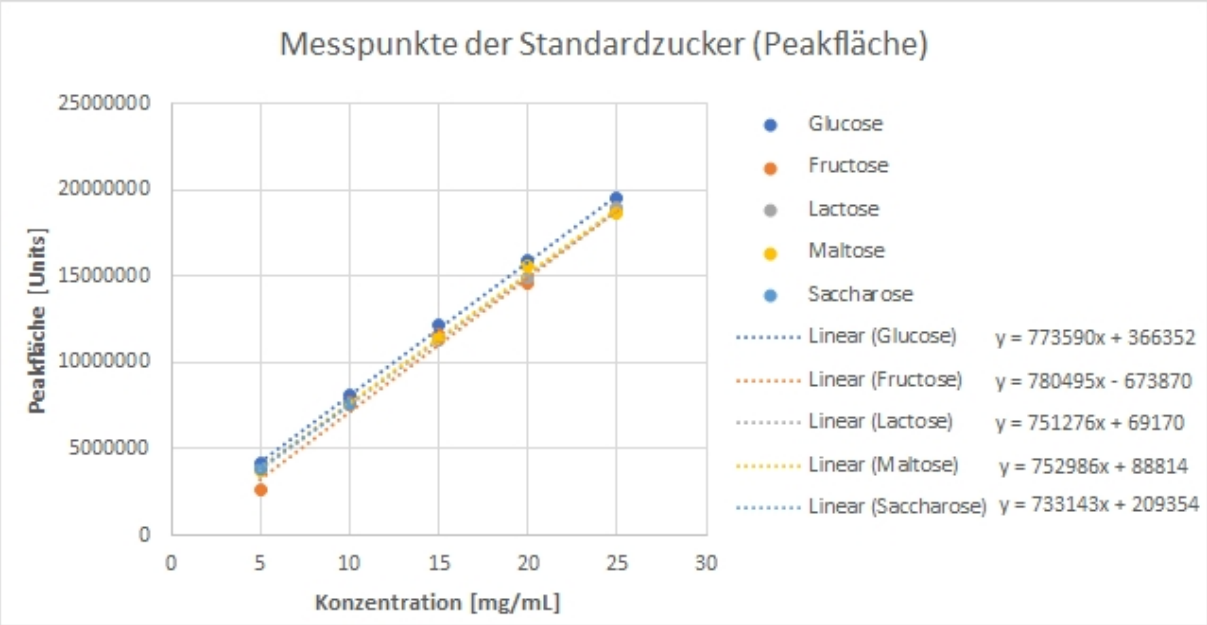

Abbildung 9: Regressionsgerade zu HPLC-Methode DS020: Zusammenhang zwischen Peakflächen und Konzentration der Zucker Glucose, Fructose, Lactose. Maltose, Saccharose. Die Zucker wurden jeweils einzeln vermessen.

Auswertung der HPLC-Daten für die Proben: Beispielhaft ist in Abbildung 10 das Chromatogramm einer Probe aus einem Reststoff aus der Cornflakes-Produktion dargestellt.

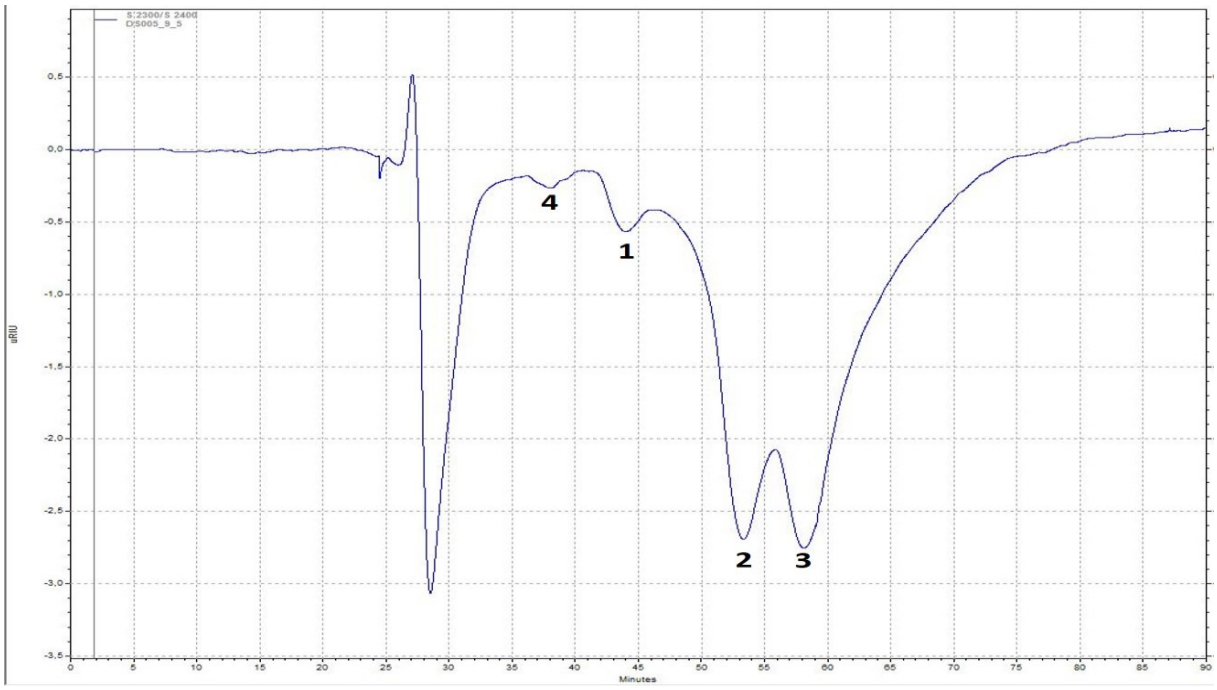

Abbildung 10: Chromatogramm zur Zuckerbestimmung (HPLC-Methode DS020) einer Probe des Reststoffs Cornflakes. 1) Maltose, 2) Saccharose/Glucose, 3) Fructose und 4) nicht untersucht.

2.4.3 Bestimmung des Proteingehalts

Nach vorheriger Proteinextraktion mittels Puffer erfolgt die Proteinbestimmung mit Hilfe des Bradford-Tests (Bradford 1976; Zor und Selinger 1996). Die Bestimmung des Proteingehaltes von Lebensmitteln nach Aufschluss mit einem Puffer und anschließender Bestimmung mittels Bradford-Test ergab eine sehr große Abweichung der Proteinkonzentrationen im Vergleich zu den erwarteten Werten.

Trotz Änderung der Zusammensetzung des Extraktionspuffers und der Aufschlussmethode konnte der Proteingehalt weder in den Reststoffen, noch in Vergleichsproben mit bekanntem Proteingehalt (Nähwertangaben auf der Verpackung) gefunden werden. Für die weitere Untersuchung des Proteingehaltes sollte daher die Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl genutzt werden. Hier haben der Zustand und die Zusammensetzung des Ausgangsstoffes nur eine sehr geringe Auswirkung auf das Ergebnis, da eine vollständige Zerstörung und somit quantitative Überführung des Gesamtstickstoffs gewährleistet ist. Die Methode wurde nach der Projektlaufzeit erfolgreich im CIB etabliert.

Bradford-Test:

Probenvorbereitung: Eine Suspension von 1 g des zerkleinerten Reststoffs und 4 mL des Extraktionspuffers wurde in einem 50 mL Falcongefäß mittels Homogenisator (Bandelin SONOPLUS GM 3200) aufgeschlossen und bei 6 000 rpm für 10 Minuten zentrifugiert (Wanders 2019).

Verwendete Pufferbestandteile: TRIS/HCl (für Molekularbiologie; 1185-53-1; Applichem), EDTA (≥99 %; 65501-24-8; Roth), PMSF (für Biochemie; 329-98-6; Roth), Triton-X® 100 (Laboratory Grade; 9036-19-5; Sigma-Aldrich), 2-Mercaptoethanol (p. a.; 60-241-2; Roth),

HEPES (ultra pure; 7365-45-9; Biomol), EGTA (p. a.; 67-42-5; Roth), DTT (für Molekularbiologie; 3438-12-3; Serva), Na_3VO_4 (rein (>99 %); 13721-39-6; Roth), Aprotinin (für Biochemie; 9087-70-1; Roth), Leupeptin (=96,5 %; 103476-89-7; Roche), Glycerin (p. a.; 56-81-5; Roth), Polyvinylpolypyrrolidon (9003-39-8; Sigma-Aldrich)

Photometrische Messung: 5 µL des Überstandes werden mit 995 µL Bradford-Reagenz (1:5 verdünnt und filtriert) versetzt. Die Messung der Extinktion bei 595 nm erfolgte nach 5 min.

Kalibrierung: BSA-Standards mit Konzentrationen von 0,1 - 1 mg/mL (Zor und Selinger 1996; Bradford 1976).

2.5 AP3/AP7 Ermittlung von Kennzahlen zur energetischen Verwertung (Biogas)

2.5.1 Einteilung der Reststoffe nach Fettgehalt

Nicht für jeden aufgenommenen Reststoff können und sollen Laboranalysen durchgeführt werden. Stattdessen wird auf Literaturwerte und bei produktnahen Reststoffen auch auf Herstellerangaben zurückgegriffen. Auf Lebensmittelverpackungen müssen der Energiegehalt sowie Mengenangaben zu folgenden Nährstoffen aufgedruckt werden: Fett, gesättigte Fettsäuren, Kohlenhydrate, Zucker, Eiweiß (also Protein), Salz. Bei Abschätzung von Fettgehalt, Zuckergehalt und Proteingehalt wurden Einträge der kostenfrei zugänglichen Datenbank der Food Database GmbH (Fddb Support 2023) genutzt.

Die Prüfung der Anwendbarkeit der Herstellerangaben hinsichtlich der Einteilung des Fettgehalts ist exemplarisch anhand von Cornflakes aufgezeigt. Hierbei wurde 1,5 % für den Fettgehalt von Cornflakes ermittelt. Experimentell wurde der Fettgehalt von produktnahen Reststoffen aus der Cornflakes-Produktion mit 1,4 % ermittelt. Insgesamt sollte also der Mittelwert der Herstellerangaben für die Einteilung von produktnahen Reststoffen nach ihrem Fettgehalt genutzt werden. Dennoch ist es nicht empfehlenswert, auf ausgewählte Laboranalysen zum Abgleich zu verzichten.

Abbildung 11: Webseite der Food Database GmbH (https://fddb.info/): Eingabemaske für die Ermittlung der Herstellerangaben. Eingabe des Lebensmittel/Reststoffs im Suchfeld, Angabe des Herstellers fakultativ (Fddb Support 2023).

Vorgehensweise ist am Beispiel eines Cornflakes-haltigen produktnahen Reststoffs: Auf der Hauptseite der Fddb-Datenbank (vgl. Abbildung 11) wird der gesuchte Reststoff oder das Lebensmittel mit oder ohne Angabe des Herstellers eingegeben, in diesem Beispiel Cornflakes, Brüggen). Es wird eine Übersicht erhalten mit Angaben zum u.a. Energie-, Protein-, Zucker-

und Fettgehalt. (vgl. Abbildung 12). So ermittelte Werte für die einzelnen Reststoffe wurden in eine separate Excel-Tabelle überführt. Hierbei wurden Werte unterschiedlicher Produkte herangezogen und Mittelwert sowie Spannweite berechnet (vgl. Abbildung 13).

Abbildung 12: Webseite der Food Database GmbH (https://fddb.info/): Suchergebnis zu Nährwerten aus Herstellerangaben (Fddb Support 2023).

Bezeichnung	Firma	Fettgehalt [%]	Zuckergehalt [%]	Proteingehalt [%]	Energiegehalt [kcal / 100g]
Cornflakes, Die Orginalen	Kellogg's	0,9	8	7	378
Cornflakes, ungesüßt	Alnatura	1	0,5	6,7	378
Cornflakes, ungesüßt	DM, Bio	1	0,3	8	371
Corn Flakes	Crownfield	0,8	5,5	7,3	379
Cornflakes	Ja!	0,6	3	7,3	384
Cornflakes, Aus La-Plata-Mais	Gut & Günstig	0,6	3	7,3	384
Cornflakes	Lidl	0,8	5,5	7,3	379
Cornflakes	Knusperone	0,8	6	7,4	374
Cornflakes	Spar Vital	1	0,5	8	371
Cornflakes	Seitenbacher	2	4	6	371
Cornflakes	enerBIO	1	0,3	8	371
Cornflakes	Clever	0,6	3	7,3	381
Cornflakes, ungesüßt	K-Classic	0,6	3	7,4	376
Cornflakes	Penny	0,6	3	7,3	384
Cornflakes	Aldi	1,2	4,8	8,3	387
Schoko-Cornflakes	Gut & Gerne	1,8	-	5,6	348
Cornflakes, ungesüßt	Verival	0,8	1	6,6	372
Cornflakes, ohne Kristallzucker	Hahne	1	-	7,4	376
Schoko-Cornflakes	Sirius	12	-	4,2	416
Corn Flakes Crisp & Cross	Wurzener	1,4	4,8	6,9	371
Enjoy Cornflakes	Wurzener	1,4	3,1	8,4	381
Cornflakes	Real	1,1	8	8	375
Cornflakes, Die Knusprigen	Seitenbacher	2	3	8	372
Spannweite		0,6 - 2	0,3 – 8	4,2 – 8,4	348 – 416
Durchschnitt		1,5	3,5	7,2	377,3

Abbildung 13: Zusammenfassung der Angaben für verschiedene Cornflakes (Fett-, Zucker, Protein und Energiegehalt) auf der Webseite der Food Database GmbH (https://fddb.info/).

2.5.2 Überblick zu den in LÜBECKERRESTE erfassten Reststoffe

Während der Projektlaufzeit wurden die Daten bei folgenden vier Firmen aufgenommen: H. & J. Brüggen KG und J.G. Niederegger GmbH & Co. KG (beide Projektpartner), sowie Nordgetreide GmbH & Co. KG und Bäckerei Junge GmbH (beide Netzwerkpartner).

Folgende Annahmen wurden für die Auswertung der Daten und die Abschätzung des energetischen Potentials getroffen:

- Mengenangaben zu den Reststoffen wurden auf t/a um- bzw. hochgerechnet.
- Die Einteilung der Reststoffe erfolgte in solche mit geringen (<3 %), mittlerem (3-20 %), und hohem (>20 %) Fettgehalt.
- Für Reststoffe, für die kein Laborwert für den Fettgehalt ermittelt werden konnte, wurden der Mittelwert der Herstellerangaben verwendet (vgl. Abschnitt 2.5.1)
- Schlämme, die in einem Produktionsprozess anfallen, wurden separat aufgeführt.
- Für die Abschätzung des energetischen Verwertungspotentials wurden nur Reststoffe berücksichtigt, die ohne vorherige Aufarbeitung (z.B. Säureaufschluss, enzymatisch) genutzt werden könnten.

Nach Aufnahme der Daten bei den oben genannten Firmen wurden etwa 100 Reststoffe in die Datenbank LÜBECKERRESTE aufgenommen und hinsichtlich ihres energetischen Verwertungspotentials (Biogas) bewertet (vgl. Abschnitt 2.5.5). Die ermittelte Gesamtbiomasse beträgt 54 724 t/a (vgl. Abschnitt 2.5.3). Dabei wurden nicht alle Reststoffe berücksichtigt. Die in der Biogasanlage nutzbare Biomasse beträgt 10 092 t/a (vgl. Abschnitt 2.5.4). Aus den berücksichtigten Reststoffen und der daraus erhaltenen Biomasse ergab sich ein energetisches Potential von circa 6 100 000 kWh/a (vgl. Abschnitt 2.5.5).

Von den 99 in der Datenbank erfassten Reststoffe werden aktuell 60 % (59 Reststoffe) zu Tierfutter weiterverarbeitet und 40 % (40 Reststoffe) entsorgt (vgl. Abbildung 14).

92 Reststoffe werden für die energetische Betrachtung berücksichtigt, was einem Anteil von 93 % entspricht. Hiervon werden 61 % (56 Reststoffe) der Reststoffe als Tierfutter weiterverwendet und 39 % (36 Reststoffe) entsorgt. Die verbleibenden sieben Reststoffe (7 % an der Gesamtanzahl) ergeben sich aus drei Reststoffen für die Tierfuttermittelherstellung (43 %) und 4 Reststoffen (57 %), welche direkt entsorgt werden. (vgl. Abbildung 14)

Reststoffe aus Datenerhebung		
	Anzahl	Anteil / %
Reststoffe (gesamt)	99	100
aktuelle Verwertung (Tierfutter)	59	60
aktuelle Verwertung (Entsorgung)	40	40
berücksichtigte Restoffe für energetische Verwertung	92	93
aktuelle Verwertung (Tierfutter)	56	61
aktuelle Verwertung (Entsorgung)	36	39
nicht berücksichtigte Restoffe für energetische Verwertung	7	7
aktuelle Verwertung (Tierfutter)	3	43
aktuelle Verwertung (Entsorgung)	4	57

Abbildung 14: Anzahl der Reststoffe in LÜBECKERRESTE. Aktuelle Verwertungswege und Eignung für die energetische Verwertung (Biogas).

2.5.3 Ermittelte Gesamtbiomasse

Die 99 in der Datenbank erfassten Reststoffe entsprechen einer Gesamtbiomasse von 54 724 t/a. Hiervon werden aktuell 52 540 t/a (96 % der Gesamtmasse) für die Tierfutterherstellung verwendet und 2 183 t/a (4 % der Gesamtmasse) entsorgt (vgl. Abbildung 15).

Für die Berechnung des energetischen Verwertungspotentials (Biogas) werden aber nur 18 % (Biomasse von 10 092 t/a) berücksichtigt (vgl. Abschnitt 2.5.4), während 82 % (44 632 t/a), aufgrund ihrer Zusammensetzung nicht berücksichtigt werden (vgl. Abbildung 15).

Die genaue Zusammensetzung der bei der Abschätzung des energetischen Verwertungspotentials (Biogas) berücksichtigten Biomasse in Bezug auf den Fettgehalt ist in Abschnitt 2.5.4) genauer dargestellt.

Biomasse aus Datenerhebung		
	Menge / t/a	Anteil / %
Biomasse (gesamt)	54.724	100
wenig Fett	3.643	7
mittel Fett	50.466	92
viel Fett	178	0
Schlämme	436	1
aktuelle Verwertung (Tierfutter)	52.540	96
wenig Fett	3.117	6
mittel Fett	49.375	94
viel Fett	48	0
Schlämme	0	0
aktuelle Verwertung (Entsorgung)	2.183	4
wenig Fett	526	24
mittel Fett	1.091	50
viel Fett	130	6
Schlämme	436	20

Abbildung 15: Erfasste Gesamtbiomasse in LÜBECKERRESTE. Aktuelle Verwertungswege und Einteilung nach Fettgehalt (wenig <3 %), mittel (3-20 %), hoch (>20 %).

In Abbildung 15 ist ebenfalls die Zusammensetzung der gesamten Biomasse in Hinblick auf ihren Fettgehalt (inklusive Schlämme) dargestellt. So haben Reststoffe mit einem mittleren Fettgehalt den größten Anteil mit 92 %, was einer Biomasse von 50 466 t/a entspricht. Reststoffe mit geringem Fettgehalt haben einen Anteil von 7 % (3 643 t/a) und Schlämme 1 % (436 t/a). Reststoffe mit hohem Fettgehalt haben einen Anteil <1 % (178 t/a).

2.5.4 Für Biogas nutzbare Biomasse

Von 54 724 t/a Gesamtbiomasse können bei der Abschätzung des energetischen Verwertungspotential (Biogas) nur 18 % (10 092 t/a) berücksichtigt werden.

Die berücksichtigte Biomasse setzt sich dabei wie folgt zusammen: Der Hauptteil (58 % Massenanteil) sind Reststoffe mit mittlerem Fettgehalt (3-20 %), 36 % sind Reststoffe mit geringem Fettgehalt (<3 %). Nur ein kleiner Teil (2 %) sind Reststoffe mit hohem Fettgehalt (> 20 %) und 4 % sind Schlämme (vgl. Abbildung 16).

Die Hauptbestandteile der nicht berücksichtigten Reststoffe sind ohne vorherigen Aufschluss nicht für die in Biogasanlagen eingesetzten Mikroorganismen direkt zugänglich. Wird eine vorbereitende Behandlung in Betracht gezogen, kann sich die Biomasse entsprechend erhöhen.

Wie bei der Betrachtung aller Reststoffe (Abschnitt 2.5.3) wurde auch bei der für die Abschätzung des energetischen Verwertungspotentials (Biogas) berücksichtigte Biomasse der aktuelle Verwertungsweg aufgeschlüsselt (vgl. Abbildung 16). Rund 81 % (8 208 t/a), werden aktuell zu Tierfutter weiterverarbeitet. Rund 19 % (1 883 t/a) werden entsorgt. Abbildung 16 zeigt zusätzlich den Fettgehalt der einzelnen Posten.

Biomasse aus Datenerhebung		
	Menge / t/a	Anteil / %
berücksichtigte Biomasse für energetische Verwertung	10.092	18
wenig Fett	3.643	36
mittel Fett	5.834	58
viel Fett	178	2
Schlämme	436	4
aktuelle Verwertung (Tierfutter)	8.208	81
wenig Fett	3.117	38
mittel Fett	5.043	61
viel Fett	48	1
Schlämme	0	0
aktuelle Verwertung (Entsorgung)	1.883	19
wenig Fett	526	28
mittel Fett	791	42
viel Fett	130	7
Schlämme	436	23

Abbildung 16: Biomasse mit energetischem Verwertungspotential (Biogas) in LÜBECKERRESTE. Aktuelle Verwertungswege und Einteilung nach Fettgehalt (wenig <3 %), mittel (3-20 %), hoch (>20 %).

2.5.5 Abschätzung des energetischen Verwertungspotentials (Biogas)

Für die Berechnung des energetischen Verwertungspotentials (Biogas und Methan) wurden zwei Varianten verwendet. Zunächst erfolgte die Berechnung mittels der von Baserga (Baserga 1998) vorgeschlagenen Methode. Es zeigte sich, dass diese Methode bei Lebensmitteln und Lebensmittel-Teststoffen nicht geeignet ist. Die Abschätzung des energetischen Verwertungspotentials (Biogas) erfolgte daraufhin anhand des Fettgehalts

Berechnung der Biogasausbeute mit Hilfe von Verdauungsquotienten: Dieser Berechnungsweg wurde zu Beginn des Projekts verfolgt. Dabei ist es wichtig, den Fett-, Zucker- und Proteingehalt des Substrates, sowie die Verdaulichkeit der Stoffgruppen zu kennen (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, o. J.-a). Für die Fermentation wird angenommen, dass die Umsetzung dieser Substrate dem Verlauf im Rindermagen ähnelt. Die benötigten Verdauungsquotienten können anhand von Literaturangaben für Futterwerte abgeschätzt werden (Rutzmoser und Spann 2002). Eine Beispielrechnung zu der in der Aufbauphase des Projekts aktuellen Gesamtbiomasse ist in Abbildung 17 dargestellt.

Beispielrechnung

Gesamtsubstrat: 5400 T/a

durchschnittlicher Zuckergehalt: 24,5 %
durchschnittlicher Fettgehalt: 10,9 %
durchschnittlicher Proteingehalt: 7,6 %

Annahme: Verdaubare Anteile in organischer Trockensubstanz (oTS) [1)]

Zucker / $g*kg^{-1}$ 182

Fett / $g*kg^{-1}$ 74

Protein / $g*kg^{-1}$ 50

Unter der Zuhilfenahme der Gasausbeuten von Baserga[2)] ergibt sich ein Gesamtgasvolumen von ca. 630 L für 1 kg des Reststoffgemisches mit einem Methangehalt von ca. 59 %.

Gesamtgas / $g*kg^{-1}$	630
Methangas / L	370
Methangas / Nm^3	230
Methangas Gesamtsubstrat / Nm^3	$1,2 *10^6$

1) Dr. Rutzmoser K. und Dr. Spann B., Zielwert-Futteroptimierung , Bayer. Landesanstalt für Tierzucht, Grub, 2002
2) Baserga U.,1998, Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen, FAT-Berichte Nr. 512

Abbildung 17: Beispielhafte Berechnung der Biogasausbeute (sowie Methananteil) mit Hilfe von Verdauungsquotienten und den geschätzten Anteilen an Zucker, Fett und Protein. Diese Berechnung ist für Lebensmittel-Reststoffe nicht geeignet.

Nach Überprüfung der Rechnung und damit verbundenen Literaturrecherchen stellte sich jedoch heraus, dass derartige Berechnungen mit Hilfe von literaturbekannten Verdauungsquotienten nicht für die in **LÜBECKERRESTE** betrachteten Lebensmittel-Reststoffe geeignet sind. Im weiteren Verlauf der Berechnung wurde daher der Fettgehalt als Berechnungsgrundlage verwendet. Hierfür sind bereits Biogasausbeuten und der Methangehalt bekannt sind (vgl. Abbildung 18).

Substrat	TM [%]	oTM [%]	Nl/kg oTM	Nm^3/t FM	CH_4 [%]	Datenquelle
Altbrot	65,0	97,2	763,0	482,0	52,8	berechnet
Backabfälle	87,7	97,1	764,0	650,6	52,8	berechnet
Käseabfall	79,3	94,0	904,0	673,8	67,5	berechnet
Speisereste fettarm. nass	14,4	81,5	642,6	75,4	59,8	berechnet
Speisereste fettreich	18,0	92,3	761,5	126,5	62,0	berechnet
Speisereste mittelfett	15,6	86,6	681,4	92,0	60,2	berechnet

Erläuterungen zu den Spaltenbezeichnungen

TM [%]	=	Trockenmassegehalt in Prozent
oTM [%]	=	Organische Trockenmasse in % der TM
Nl/kg oTM	=	Gasertrag in Norm-Liter pro kg organische Trockenmasse
Nm^3/t FM	=	Gasertrag in Norm-Kubikmetern pro Tonne Frischmasse
CH_4 [%]	=	Methangehalt des Gases in Volumenprozent

Abbildung 18: Biogasausbeuten von Lebensmittelabfällen. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, o. J.).

Berechnung mit Hilfe des Fettgehalts: Folgende Biogasausbeuten werden angenommen (vgl. Abbildung 18). (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, o. J.-b).

- Reststoffe mit geringem Fettgehalt: 75,4 Nm^3/t FM (davon 59,8 % CH_4)
- Reststoffe mit mittlerem Fettgehalt: 92,0 Nm^3/t FM (davon 60,2 % CH_4)
- Reststoffe mit hohem Fettgehalt: 126,5 Nm^3/t FM (davon 62,0 % CH_4)
- Reststoffe aus der Backwarenindustrie: 566,3 Nm^3/t FM (davon 52,8 % CH_4)
- Schlämme aus Produktionsprozessen: 25 Nm^3/t FM (davon 56,3 % CH_4).;

Hierbei ergibt sich der Wert für die Reststoffe aus der Backwarenindustrie dem Mittelwert der Werte für Altbrot (482 Nm^3/t FM) bzw. für Backabfälle (650,6 Nm^3/t FM). Im weiteren Verlauf werden die Reststoffe der Backindustrie unter den Reststoffen mit mittlerem Fettgehalt geführt, um Rückschlüsse auf einzelne Firmen in der Übersicht zu verhindern. Es werden aber weiterhin die obengenannten Biogasausbeuten berücksichtigt. Für Schlämme, die als Reststoffe in Produktionsprozessen anfallen, gibt es keine Literaturwerte. Es wird angenommen, dass sie sich ähnlich wie Gülle verhalten. Der veranschlagte Wert (25 Nm^3/t FM) entspricht dem Mittelwert der Werte für Gülle aus Mastrindern (34 Nm^3/t FM), Gülle aus Milchvieh (20,2 Nm^3/t FM), Gülle aus Schweinen (20,4 Nm^3/t FM) und Milchviehgülle einschl. Futterresten (25,3 Nm^3/t FM). vgl. Abbildung 19 und (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, o. J.-b).

Substrat	TM [%]	oTM [%]	Nl/kg oTM	Nm^3/t FM	CH_4 [%]	Datenquelle
Geflügelkot	15,0	75,0	500,0	56,3	65,0	Literatur
Hühnerkot	15,0	73,8	500,0	55,4	58,1	Literatur
Mastrindergülle	10,0	85,0	400,0	34,0	55,0	Literatur
Milchviehgülle	8,5	85,0	280,0	20,2	55,0	Literatur
Milchviehgülle einschl. Futterresten	8,5	85,0	350,0	25,3	55,0	Literatur
Pferdekot	28,0	75,0	300,0	63,0	55,0	Literatur
Rindermist frisch	25,0	80,0	450,0	90,0	55,0	Literatur
Schafmist	30,0	80,0	450,0	108,0	55,0	Literatur
Schweinegülle	6,0	85,0	400,0	20,4	60,0	Literatur
Schweinemist	22,5	82,5	400,0	74,3	60,0	Literatur

Erläuterungen zu den Spaltenbezeichnungen

TM [%]	=	Trockenmassegehalt in Prozent
oTM [%]	=	Organische Trockenmasse in % der TM
Nl/kg oTM	=	Gasertrag in Norm-Liter pro kg organische Trockenmasse
Nm^3/t FM	=	Gasertrag in Norm-Kubikmetern pro Tonne Frischmasse
CH_4 [%]	=	Methangehalt des Gases in Volumenprozent

Abbildung 19: Biogasausbeuten von Gülle/Mist. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, o. J.).

Für die für das energetische Verwertungspotential berücksichtigten Reststoffe wird ein gesamtes Biogasvolumen von 1 116 179 Nm^3/a (vgl. Abbildung 20) angesetzt. Dieses setzt sich wie folgt zusammen:

- aus Reststoffen mit geringem Fettgehalt: 274 705 Nm^3/a (24,6 %)
- aus Reststoffen mit mittlerem Fettgehalt: 808 057 Nm^3/a (72,4 %)
- aus Reststoffen mit hohem Fettgehalt: 22 517 Nm^3/a (2,0 %)
- Schlämme aus Produktionsprozessen: 10 900 Nm^3/a (1,0 %)

Hierbei werden die Reststoffe der Backindustrie unter Reststoffen mit mittlerem Fettgehalt geführt (s.o.).

Nach Wichtung der Anteile aller berücksichtigten Reststoffe ergibt sich ein Methangehalt von 55,4 % am Biogasvolumen. Das Methanvolumen beträgt 618 363 Nm^3/a.

Um das energetische Potential in Hinblick der Strom- und Gasversorgung eines Einfamilienhauses (Zweipersonenhaushalt), wurde das erhaltene Methanvolumen in kWh/a umgerechnet. Dazu wird der in der Literatur(Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2022) angegeben Wert von 9,97 kWh/Nm^3 verwendet. Für das oben genannte

Methanvolumen von 618 363 Nm³/a ergibt sich ein Energiegehalt von 6 163 843 kWh/a (vgl. Abbildung 20).

	Gesamt	
	Masse / t/a	Biogas / Nm³/a
Reststoff wenig Fett	3.643	274.705
Reststoff mittel Fett	5.834	808.057
Reststoff viel Fett	178	22.517
Schlämme	436	10.900
Gesamtmasse ohne Schlämme	9.656	1.105.279
Gesamtmasse mit Schlämme	10.092	1.116.179
Gesamtvolumen Methan / Nm³ / a		612.324
Energiegehalt / kWh / a		6.103.651
Gesamtvolumen Methan / Nm³ / a		618.363
Energiegehalt / kWh / a		6.163.843

Abbildung 20: Auszug aus Datenbank LÜBECKERRESTE: Energetisches Verwertungspotential (Biogas) der Reststoffe (Stand 30. Juni 2025)

Unter der Annahme, dass ein Zweipersonenhaushalt in einem Einfamilienhaus (EFH) einen jährlichen Stromverbrauch von 3 000 kWh und einen jährlichen Gasverbrauch von 19 200 kWh hat (GASAG AG 2024), können mit dem erhaltenen Methan ca. 2 000 EFH mit Strom oder 300 EFH mit Gas versorgt werden (vgl. Tabelle 2) Dabei gilt zu beachten, dass der Strom- und Gasverbrauch von mehreren Faktoren abhängig ist, wie zum Beispiel dem Alter des Gebäudes, der Anzahl an elektrisch betriebenen Geräten und ähnlichem. Für eine genaue Betrachtung sollte eine Spannweite für die Anzahl der EFH angegeben werden.

Tabelle 2: Energiegehalt des energetischen Verwertungspotentials (Biogas). Beispielhafte Umrechnung in Anzahl Einfamilienhäuser (EFH), die versorgt werden könnten Annahme Strom- (3 000 kWh/a) und Gasverbrauch (19 200 kWh/a).

	Methan/Biogas aus energetischem Verwertungspotential
Energiegehalt / kWh/a	6 163 843
Stromverbrauch (EFH) / Anzahl	2 055
Gasverbrauch (EFH) / Anzahl	321

Die geringe Biomasse von 10 092 t/a hat also ein gewisses Potential in Hinblick auf die Versorgung von Haushalten in der Region Lübeck. Dabei gilt zu beachten, dass es sich hierbei nur um einen sehr geringen Teil der jährlich benötigten Gas- und Strommenge handelt.

.

3 Schlussteil (Evaluation und Ausblick)

Das Projekt **LÜBECKERRESTE** beschäftigte sich erstmals mit den Mengengerüsten der anfallenden biogenen (industriellen) Reststoffe in Lübeck. Für die Region Lübeck mit einer hohen Dichte an Lebensmittelproduzenten gab es vor Projektstart noch keine Zusammenstellung zu den anfallenden biogenen Reststoffen und ihrem möglichen energetischen Potential. Bei den Projektpartnern besteht ein erhebliches Interesse an systematischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die eine Grundlage für eine zukünftige gemeinsame Nutzung der biogenen Reststoffe für die Energiegewinnung schaffen und weitere Nutzungspotentiale für stoffliche Verwertungen aufzeigen. Gleichzeitig soll kein Einblick auf die eigentlichen Produktionsprozesse, z.B. durch Wettbewerber, erfolgen

Zunächst galt es, auf Basis von bilateralen Geheimhaltungsvereinbarungen zwischen TH Lübeck als Datenerheber und den als Projektpartner bzw. Netzwerkpartner beteiligten Firmen einen rechtlichen Rahmen für die Datenerhebung zu schaffen. Vor der Erhebung der Daten war das Unterzeichnen der Geheimhaltungsvereinbarung zwingend erforderlich. Die relativ lange Bearbeitungszeit dieser Frage hat die operative Datenerhebung gegenüber dem ursprünglichen Arbeitsplan verzögert. Die nun ausformulierte Geheimhaltungsvereinbarung und die sich hieraus ergebene Arbeitsweise bei der Datenaufnahme und -verarbeitung sollten bei einer Fortsetzung von **LÜBECKERRESTE** weiter verwendet werden.

Das Projekt LübeckerReste hat damit begonnen, Mengengerüste für die in Lübeck die anfallenden, überwiegend biogenen Abfall- und Reststoffe in Hinblick auf eine gemeinsame, in der Region verankerte Energieversorgung zu erfassen. Durch Datenerfassung bei bisher vier Projekt- bzw. Netzwerkpartnern wurde eine Gesamtbiomasse von rund 54 000 t/a erfasst, wobei das energetische Verwertungspotential bzgl. Biogas rund 10 000 t/a, also ca. 20 % der Gesamtmasse, beträgt. Damit ergibt sich ein Biogaspotential von rund 1 100 000 Nm^3/a, was einem Methanvolumen von 605 000 nm^3/a entspricht. Damit ließen sich ca. 2000 EFH mit Strom oder ca. 300 EFH mit Gas versorgen.

Das Hauptinteresse der Firmen liegt jedoch auf der direkten oder indirekten Nutzung des Methangases oder der Möglichkeit, für die Einspeisung von Reststoffen z.B. Zertifikate zu erhalten. Im Nachgang des Projekts und parallel zu einem Folgeprojekt gilt es zu klären, welche Wirtschaftsmodelle für den Austausch von Reststoffe gegen Energie oder Biogas angewendet werden können?

Für mögliche Umsetzungen sollte das Projekt **LÜBECKERRESTE** die wissenschaftliche Basis liefern. An der TH Lübeck wurde in engem Austausch mit den Kooperationspartner ein Fragebogen für die Datenerfassung erstellt, sowie eine Datenbank für die Speicherung und Auswertung des energetischen Potentials angelegt. Weiterhin wurden Methoden zur Analyse des Zucker-, Fett- und Proteingehalts in Reststoffen in den Laboren des Centrum Industrielle Biotechnologie etabliert.

Es wurde festgestellt, dass die Abschätzung des energetischen Verwertungspotentials in Biogas-Anlagen plausibel und effizient anhand des Fettgehalts des jeweiligen Reststoffs

abgeschätzt werden kann. Der Fettgehalt kann mit Hilfe von Literaturdaten/Datenbanken abgeschätzt werden bzw., falls notwendig, chemisch bestimmt werden. Die ursprünglich geplante Verwendung von Verdauungsquotienten hat sich als nicht praktikabel erwiesen, da die literaturbekannten Daten für die meisten Lebensmittel-Reststoffe nicht geeignet sind.

Auch nach der Laufzeit des Projekts **LÜBECKERRESTE** bereits abgeschlossen ist, werden weiterhin entsprechende Daten von lebensmittelproduzierenden Unternehmen aus der Region Lübeck aufgenommen. Das Interesse weiterer Firmen an einer Beteiligung im Netzwerk konnte nach der Präsentation beim foodRegio-Trendtag erwartungsgemäß geweckt werden. Es gilt, einen möglichst großen Anteil der biogenen Reststoffe in Lübeck zu erfassen, indem insbesondere die größeren Lebensmittelproduzenten eingebunden werden sollen. Hierbei ist foodRegio ein sehr wichtiger Projektpartner. Aktuell werden Firmen im Umkreis von 20 km um Lübeck angesprochen. Eine Vergrößerung des Radius kann in Betracht gezogen werden, jedoch sollte hier die Zugehörigkeit zur Region Lübeck und mögliche Transportwege und Transportkosten berücksichtigt werden. Für die Fortsetzung der Aktivitäten ist ein geeigneter (Folge)förderantrag zu stellen.

Offen blieb bisher, welche der aufgenommen Reststoffe entweder durch den Entsorger oder direkt bei den Entsorgungsbetrieben Lübeck für die Biogasherstellung genutzt werden. Dieser Punkt sollte bei der weiteren Verwendung der Daten überprüft werden bzw. in zukünftige Datenaufnahmen integriert werden.

Die Abschätzung des energetischen Verwertungspotentials bzgl. Biogas-Anlagen erfasst nur 20 % der bisher erfassten Reststoffe. Für die Nutzung der verbleibenden 80 % gilt es, sich mit alternativen Nutzungsstrategien (Pyrolyse) oder geeigneten (enzymatischen bzw. mikrobiologischen) Aufschlussverfahren als vorgeschalteten Schritt vor der Fermentation zu beschäftigten (vgl. Ferdes 2022: Der Review untersucht die Situation der in der Lebensmittelindustrie anfallenden Reststoffe und fasst für verschiedene Produktlinien (z.B. Cerealien) aktuelle Verfahren zusammen. Dieser Ansatz war zunächst in AP8 im Rahmen einer Abschlussarbeit geplant. Dies konnte sowohl aufgrund der Zeitverzögerung durch die Ausarbeitung der Geheimhaltungsvereinbarung als auch aufgrund der aktuell geringen Studierendenzahlen im MINT-Bereich noch nicht umgesetzt werden. Ein Drittmittelantrag mit einem Fokus auf einem Screening nach geeigneten Enzymen bzw. Mikroorganismen für bestimmte Reststofffraktionen ist angedacht. Ein weiteres Forschungsvorhaben zielt auf die Nutzung von proteinreichen Reststoffen im Rahmen einer stofflichen Verwertungsstrategie.

4 Literaturverzeichnis

Baserga, Urs. 1998. „Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen: Biogas aus organischen Reststoffen und Energiegras“, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik Tänikon: FAT-Berichte, . https://books.google.de/books?id=eueWHAAACAAJ.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. „Biogasausbeuten verschiedener Substrate (Berechnungstool)“ https://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/.

Bradford, M. M. 1976. „A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding“. *Analytical Biochemistry* 72:248–54. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999.

Brosowski, André, Philipp Adler, Georgia Erdmann, Walter Stinner, Daniela Thrän, und Udo Mantau. 2015. *Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen: Status Quo in Deutschland*. Bd. 36. Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). https://mediathek.fnr.de/downloadable/download/sample/sample_id/1251/.

Bundesministeriums der Justiz und Bundesamts für Justiz. 2001. *Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV)*.

Bundestag. 2024. *Bundes-Klimaschutzgesetz*.

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 2021. „DIN 10342, Milch und Milcherzeugnisse – Bestimmung des Fettgehaltes von Milch und Milcherzeugnissen nach dem gravimetrischen Weibull-Berntrop-Verfahren“.

Englisch, Uwe. 2008. „Abschlussbericht BioPower: FoodRegio Lübeck: Bio-Power“. Lübeck.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2022. „Basisdaten Bioenergie Deutschland 2022“, 29. Abrufbar unter https://mediathek.fnr.de/basisdaten-bioenergie.html

Fddb Support. 2023. „Food Database GmbH“. (https://fddb.info/)

Ferdeș, Mariana, Bianca Ștefania Zăbavă, Gigel Paraschiv, Mariana Ionescu, Mirela Nicoleta Dincă, und Georgiana Moiceanu. 2022. „Food Waste Management for Biogas Production in the Context of Sustainable Development“. *Energies* 15 (17): 6268. https://doi.org/10.3390/en15176268.

foodRegio e. V. 2024. „18. foodRegio Trendtag“. 15. Juli 2024. https://foodregio.de/de/foodregio-trendtag-2024.

GASAG AG. 2024. „Wie hoch ist der Gasverbrauch von 2 Personen?“

Gasser, Johanna. 2021. *Charakterisierung und stoffliche Verwertung von Reststoffen der Marzipanindustrie (Analytische Chemie). München, Verlag Dr. Hut*. Analytische Chemie. München: Dr. Hut.

Hellwig, Veronika, und Johanna Gasser. 2020. „Polyphenols from waste streams of food industry: valorisation of blanch water from marzipan production“. *Phytochemistry Reviews* 19 (6): 1539–46. https://doi.org/10.1007/s11101-020-09663-y.

Lee, Sze Ying, Revathy Sankaran, Kit Wayne Chew, Chung Hong Tan, Rambabu Krishnamoorthy, Dinh-Toi Chu, und Pau-Loke Show. 2019. „Waste to bioenergy: a review on the recent conversion technologies“. *BMC Energy* 1 (1). https://doi.org/10.1186/s42500-019-0004-7.

Mahro, Bernd, Bente Gaida, Ina Schüttmann, und Holger Zorn. 2013. „Bestandsaufnahme zum biogenen Reststoffpotential der deutschen Lebensmittel- und Biotechnik-Industrie“. Abschlussbericht Projekt 10NR019. Bremen: Institut für Umwelt- und Biotechnik.

Matissek, Reinhard, und Markus Fischer. 2021. *Lebensmittelanalytik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63409-7.

Max Rubner-Institut und Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel. 2025. „Bombenkalorimetrie und Nährwertkennzeichung - Wie viel energie liefern Lebensmittel“.

Rutzmoser, K., und B. Spann. 2002. „Zielwert-Futteroptimierung“. Bayer. Landesanstalt für Tierzucht.

Wanders, Verena. 2019. „Zum Wirkmechanismus von Scopoletin, einem natürlichen Fungizid“. Masterarbeit, Aachen: RWTH Aachen.

Zor, T., und Z. Selinger. 1996. „Linearization of the Bradford protein assay increases its sensitivity: theoretical and experimental studies“. *Analytical biochemistry* 236 (2): 302–8. https://doi.org/10.1006/abio.1996.0171.

5 Anhang

Anhang
zum
Abschlussbericht zu Projekt 8/12-70

LÜBECKERRESTE

(Lübecker Reststoffverwertung)

Laufzeit: 01. Juli 2023-31. Dezember 2024

A1 Fragebogen zur Erfassung der Reststoffströme in LÜBECKERRESTE

Fragebogen zur Aufnahme der Reststoffströme für das Projekt „LübeckerReste“ in Ihrem Unternehmen

Zielsetzung des Projekts:

Das Projekt „LübeckerReste“ dient der Datenerhebung zu biogenen Reststoffen in der Region Lübeck. Dabei liegt der Fokus in der gemeinsamen Nutzung der noch nährstoff- und/oder energiereichen Reststoffe als mögliche Energieträger für die

Für Fragen stehen wir Ihnen gern telefonisch (0451 300 5305) oder per E-Mail (cib@th-luebeck.de) zur Verfügung.

Vielen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!

Name der Firma:	
Adresse:	
Ansprechpartner:	
Kontakt (E-Mail / Telefon):	

(die Daten dienen nur der internen Verwendung)

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen möglichst vollständig. Den ausgefüllten Fragebogen senden Sie bitte an cib@th-luebeck.de (Betreff: LübeckerReste).

1) Welche **biogenen Reststoffe** fallen in Ihrem Betrieb in **den einzelnen Produktionsprozessen** an? (Dabei handelt es sich um die Haupt- und Nebenströme, z. B. die Vorbehandlungen von Reststoffen die aktuell weiterverwertet werden.)

1.1) Art und Menge des Reststoffs? (Die Menge bitte T/a angeben. Alternativ bitte die Einheit dahinter notieren, z. B. kg/d. Handelt es sich um die Feuchtmasse (FM) oder Trockenmasse (TM)? Bitte setzen Sie ein X in der richtigen Spalte. Sofern bekannt, bitte bei der Feuchtmasse den Wassergehalt angeben.)

Nr.	AVV-Nr.	Art des Reststoffs	FM	TM	Wassergehalt (%)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					

Nr.	AVV-Nr.	Art des Reststoffs	FM	TM	Wassergehalt (%)
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					

Mögliche Reststoffe sind: feste Rückstände (z. B. Haut, Kerne, Schlämme), Fehlchargen (End- und Zwischenprodukt), organische Reinigungsmittel und -utensilien, flüssige Rückstände (z. B. Öle, Reinigungswasser), Abwasser, org. Rückstände aus Siebeinrichtungen. Für die AVV-Nummer des Reststoffs siehe **Tabelle 1** im Dokument Anhang.pdf, z. B. Schlamm aus Reinigungsprozessen (AVV = 02 03 01). Für den Reststoffschlüssel siehe Dokument Reststoffschlüssel.pdf.

1.2) Wie oft und in **welchem Zeitraum** fällt der unter **1.1)** genannte Reststoff an? (Bitte die entsprechende Spalte mit einem X kennzeichnen. D = täglich, W = wöchentlich, M = monatlich, A = jährlich)

Nr. aus 1.1	Wie oft fällt der Reststoff an?		Zeitraum				
	regelmäßig	unregelmäßig	D	W	M	A	andere
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							

Nr. aus 1.1	Wie oft fällt der Reststoff an?		Zeitraum				
	regelmäßig	unregelmäßig	D	W	M	A	andere
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							

1.3) In **welchem Zustand** fällt der Reststoff an und aus **wie vielen Stoffen besteht** dieser? (Bitte entsprechende Spalte mit einem X kennzeichnen)

Nr. aus 1.1	Zustand				Zusammensetzung	
	fest	flüssig	Emulsion	sonstiges	ein Stoff	mehrere Stoffe
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

Nr. aus 1.1	Zustand				Zusammensetzung	
	fest	flüssig	Emulsion	sonstiges	ein Stoff	mehrere Stoffe
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						

1.4) Sofern der unter **1.3)** angegebene Reststoff **nicht aus einem Stoff besteht**, bitte die Zusammensetzung angeben.

Nr. aus 1.3	Zusammensetzung
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	

Nr. aus 1.3	Zusammensetzung
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	
###	

1.5) Sofern die **Hauptbestandteile (Proteine, Fette, Kohlenhydrate)** der unter **1.1)** angegebenen Reststoffe **bekannt** sind, geben Sie diese bitte nachfolgend an.

Nr. aus 1.1	Bestandteile (Protein, Kohlenhydrate, Fett) in %

Nr. aus 1.1	Bestandteile (Protein, Kohlenhydrate, Fett) in %

2) Wie werden die **anfallenden Reststoffe** aktuell **verwertet** bzw. **entsorgt**?

2.1) Verwertung (Bitte geben Sie an, welche Reststoffe aus 1.1) energetisch oder stoffliche verwertet werden. Teilen Sie uns bitte die durchgeführten Vorbehandlungen mit und geben Sie die Größe der Batches an. Bei einer stofflichen Verwertung geben Sie bitte alle Verwertungswege mit jeweiligem Anteil und die Kategorie an, z. B.: Reststoff wird verbrannt (40%) und für Tierfutter (60%) verwendet. Bezeichnen Sie die Wege bitte so genau wie möglich, z. B. energetisch (Verbrennung zur Wärmeerzeugung) oder stofflich (Tierfutterherstellung).

Nr. aus 1.1	Art der Verwertung	Vorbehandlung	Anteil (%)	Batchgröße	Kategorie

Nr. aus 1.1	Art der Verwertung	Vorbehandlung	Anteil (%)	Batchgröße	Kategorie

2.2) Entsorgung (Bitte geben Sie an, welche Reststoffe aus 1.1) entsorgt werden und geben Sie den Entsorger an. Teilen Sie uns bitte die durchgeführte Vorbehandlung, sowie den Anteil und die Größe der Batches mit.)

Nr. aus 1.1	Entsorger	Vorbehandlung	Anteil (%)	Batchgröße

Nr. aus 1.1	Entsorger	Vorbehandlung	Anteil (%)	Batchgröße

3) Haben Sie sich in Ihrem Unternehmen bereits über alternative Nutzungsmöglichkeiten für die anfallenden Reststoffe Gedanken gemacht? (Sofern es bereits Überlegungen gab, nennen Sie diese bitte kurz.)

Bemerkungen:

4) Fällt während des Produktionsprozesses proteinhaltiges oder fettahltiges Wasser an? (Wenn die Frage mit ja beantwortet wird, beschrieben Sie möglichst genau den Ort der Entstehung).

☐ nein ☐ ja

Bemerkungen:

5) Haben Sie in Ihrem Unternehmen eine **eigene Kantine**? (Wenn die Frage mit ja beantwortet wird, nennen Sie uns bitte kurz die aktuellen Verwertungswege für die Kantinenabfälle.)

☐ nein ☐ ja

Bemerkungen:

6) Was geschieht aktuell mit den **biogenen Reststoffen** aus den **Büros/Teeküchen/Aufenthaltsräumen**? (z. B.: Teebeutel, Kaffeefilter und Kaffeerückstände, Essensreste, Getränkereste)

Bemerkungen:

7) In welcher **Form** dürfen die **erhobenen Daten** zu Ihrem Reststoff- und Abfallaufkommen **veröffentlicht** werden?
(Mehrfachnennungen sind möglich)

- ☐ dürfen nicht veröffentlicht werden
- ☐ dürfen in anonymisierter Form veröffentlicht werden
- ☐ dürfen im Rahemn der Studie veröffentlicht werden

Bemerkungen:

8) Gibt es **weitere Punkte,** die Sie uns hinsichtlich der biogenen Reststoffe **mitteilen** möchten?

Bemerkungen:

Vielen Dank!

A2 Termine im Projekt LÜBECKERRESTE

30.05.2025 Besichtigung der MBA der Entsorgungsbetriebe Lübeck (Manfred Rehberg)

11.07.2023 **Kick-Off Meeting**

Agenda

- Begrüßung (u.a. Prof. Dr. Karen Cabos, VP für Forschung und Internationales; THL)
- Vorstellungsrunde
- Vorstellung des Projekts Lübecker Reste
- Stand Geheimhaltungsvereinbarung
- Festlegung der Parameter zur Erfassung über den Fragebogen

Teilnehmende:

Alexander Boese, H. & J. Brüggen KG
Gunnar Brocks, Stadtwerke Lübeck Energie GmbH
Michael Heimberg, Nordgetreide GmbH & Co. KG
Sophie Heinemann, J. G. Niederegger GmbH & Co. KG
Veronika Hellwig, TH Lübeck/CIB
Sinje Keipert-Colberg, IHK zu Lübeck
Marco Kuhlow, foodRegio e. V.
Raphael Lindlar, Handwerkskammer Lübeck
Stephan von Melle, H.J. Brüggen KG
Kathrin Ostertag, IHK zu Lübeck
Manfred Rehberg, Entsorgungsbetriebe Lübeck
Kai Röblitz, J. G. Niederegger GmbH & Co. KG
Ferdinand Rietman, TH Lübeck
Danilo Springstubbe, TH Lübeck/CIB
Dagmar Willkomm, TH Lübeck/CIB

27.10.2023 Datenaufnahme bei J. G. Niederegger GmbH & Co. KG **(AP1)**

30.11.2023 Datenaufnahme bei H. & J. Brüggen KG **(AP1)**

11.01.2024 Datenaufnahme bei H. & J. Brüggen KG **(AP1)**

30.01.2024 **Projekttreffen**

- Stand Geheimhaltungsvereinbarung
- Erste Berechnungen von Energieausbeuten mit vorhandenen Daten
- Aktueller Stand Fragebogen
- Stand interner Analysemethoden
- Auswahl weiterer Firmen für Hauptphase

Teilnehmende Personen:

Jürgen Adler, Entsorgungsbetriebe Lübeck
Alexander Boese, H. & J. Brüggen KG
Gunnar Brocks, Stadtwerke Lübeck Energie GmbH
Marten Handzsuj, IHK zu Lübeck
Sophie Heinemann, J. G. Niederegger GmbH & Co. KG
Veronika Hellwig, TH Lübeck/CIB
Marco Kuhlow, foodRegio e. V.
Raphael Lindlar, Handwerkskammer Lübeck
Stephan von Melle, H. & J. Brüggen KG)
Kathrin Ostertag, IHK zu Lübeck
Ferdinand Rietman, TH Lübeck
Danilo Springstubbe, TH Lübeck/CIB
Dagmar Willkomm, TH Lübeck/CIB

30.05.2024 **foodRegio e. V. Trendtag (AP4)**

- Vorstellen des Projekts **LÜBECKERRESTE** im Fachforum 1

Aktiv Mitwirkende:

Marius Urbansky, Entsorgungsbetriebe Lübeck
Veronika Hellwig, TH Lübeck/CIB
Marco Kuhlow, foodRegio e. V.
Kathrin Ostertag, IHK zu Lübeck
Kai Röblitz, J. G. Niederegger GmbH & Co. KG

Danilo Springstubbe, TH Lübeck/CIB

04.09.2024 Besichtigung bei Nordgetreide GmbH & Co. KG **(AP5)**

15.10.2025 **Projekttreffen**

- Stand der Datenerhebung
- Energetisches Verwertungspotential der erhobenen Reststoffe

Teilnehmende:
Veronika Hellwig, TH Lübeck/CIB
Dagmar Willkomm, TH Lübeck/CIB
Alexander Boese, H. & J. Brüggen KG
Britta Sieling, Nordgetreide GmbH & Co. KG
Danilo Springstubbe, TH Lübeck/CIB
Stephan von Melle, H. & J. Brüggen KG
Sophie Heinemann, J. G. Niederegger GmbH & Co. KG
Jürgen Adler, Entsorgungsbetriebe Lübeck
Marco Kuhlow, foodRegio e. V.

28.01.2025 **Abschlussveranstaltung**

- Vorstellen der Ergebnisse
- Mögliche Maßnahmen zur Nutzung der Ergebnisse

Teilnehmende:
Veronika Hellwig, TH Lübeck/CIB
Dagmar Willkomm, TH Lübeck/CIB
Danilo Springstubbe, TH Lübeck/CIB
Ferdinand Rietman, TH Lübeck/CIB
Raphael Lindlar, Handwerkskammer Lübeck
Kathrin Ostertag, IHK zu Lübeck
Gunnar Brocks, Stadtwerke Lübeck
Jürgen Adler, Entsorgungsbetriebe Lübeck
Sophie Heinemann, J. G. Niederegger GmbH & Co. KG
Alexander Boese, H. & J. Brüggen KG
Stephan von Melle, H. & J. Brüggen KG
Jochen Brüggen, H. & J. Brüggen KG
Marco Kuhlow, foodRegio e.V.
Michael Heimberg, Nordgetreide GmbH & Co. KG
Milan Daus, TH Lübeck
Marten Handzsuj, IHK zu Lübeck
Richard Stiller, Bäckerei Junge GmbH
Danny Lange, Lübecker Marzipan-Fabrik
Herr Knaack, GB-Food Deutschland
Herr Suhling, GB-Food Deutschland

A3 foodRegio Trendtag 2024: Programm des Fachforum LÜBECKERRESTE

foodRegio

AGENDA Fachforum „LübeckerReste“ Datum: Donnerstag, 30.05.2024 Uhrzeit: 14:00 – 15:30 Uhr Ort: Bockholdt Campus | Gutenbergstr. 8-12 | 23566 Lübeck Im Rahmen des 18. foodRegio Trendtag zum Thema: „Zauberwort Resilienz – nachhaltiges Handeln in der Ernährungswirtschaft.	
14:00 Uhr - 14:10 Uhr	**Eröffnung des Fachforms „Lübecker Reste“ und Nennung aller Projektpartner** Marco Kuhlow – Geschäftsführer foodRegio
14:10 Uhr - 14:30 Uhr	**Projekt-Vorstellung durch den Antragsteller das Centrum Industrielle Biotechnologie (CIB) Lübeck** • **Historie (Beschreibung von der Projektidee bis hin zur Realisierung)** • **Vorstellung der Analysemethodiken** Prof. Dr. rer. nat. Veronika Hellwig - Sprecherin Dr. rer. nat. Springstubbe - Wissenschaftlicher Mitarbeiter
14:30 Uhr - 14:40 Uhr	**Vorstellung Projektpartner Entsorgungsbetriebe Lübeck** • **Beschreibung der Rolle im Projekt** Jürgen Adler - Abteilungsleiter
14:40 Uhr - 14:50 Uhr	**Projektpartner J.G. Niederegger GmbH & Co. KG** • **Beschreibung der Rolle im Projekt** Kai Röblitz - Betriebsleiter
14:50 Uhr - 15:00 Uhr	**Projektpartner Industrie- und Handelskammer Lübeck** • **Beschreibung der Rolle im Projekt** Kathrin Ostertag - Bereichsleitung Innovation und Umwelt Marten Handzsuj - Referent für Energie und Klimaschutz
15:00 Uhr - 15:15 Uhr	**Präsentation erster Ergebnisse / Appell zur Projektbeteiligung** Dr. rer. nat. Springstubbe - Wissenschaftlicher Mitarbeiter – CIB Marco Kuhlow – Geschäftsführer foodRegio
15:15 Uhr - 15:30 Uhr	**Offener Austausch/ Möglichkeiten für Fragen**
Ab 15:30 Uhr	**Ende des Fachforums**

A4 One-Pager zu LÜBECKERRESTE

CIB

TECHNISCHE HOCHSCHULE LÜBECK

LÜBECKERRESTE

(Lübecker Reststoffverwertung)

Gefördert durch EK SH

Projektnummer: 8/12-70
Projektleitung: Prof. Hellwig, Prof. Willkomm

Warum LÜBECKERRESTE?

Das Projekt "Lübecker Reste" greift die Themen Klimaschutz sowie das aktuell erhöhte Risiko von Versorgungsengpässen bei Strom und Gas auf. Das Projekt soll die wissenschaftlichen Grundlagen für eine gemeinsame, ressourceneffiziente und -schonende Nutzung von biogenen Abfall- und Reststoffen in der Region Lübeck liefern. Dabei geht es darum, bisher ungenutzte bzw. noch nicht optimal genutzte Biomassefraktionen zu identifizieren und für eine ressourcenschonende Energieerzeugung zu nutzen und gleichzeitig die Chance einer möglichen Kaskadennutzung nicht zu verbauen.

(Weitere Informationen unter: https://www.eksh.org/projekte/hwt-energie-klimaschutz#

Aufbauphase abgeschlossen (Juli 2023 - Juli 2024)

Projektpartner:
H. & J. Brüggen KG
J. G. Niederegger GmbH & Co. KG
foodRegio e. V.
IHK zu Lübeck
Stadtwerke Lübeck

- ✓ Analysemethoden für Neben- und Reststoffströme
- ✓ Fragebogen zur Erfassung

In der Hauptphase (August 2024 - Dezember 2024) möglichst umfassende Datenerhebung

Die erhobenen Daten werden in einer Datenbank gespeichert und dienen als Grundlage zur Abschätzung des Energiegehalts für eine regional verankerte Biogasherstellung sowie für weitere gemeinsame Kaskadennutzungskonzepte.

Leitfragen im Fragebogen:

- **Welche Reststoffe fallen in Ihrem Unternehmen an?**
- **In welchen Mengen und Zeitraum fallen die Reststoffe an?**
- **Welche Zusammensetzung haben die Reststoffe und wie werden diese aktuell verwertet?**

Wir bitten um Ihre Teilnahme am Projekt durch Beantwortung des Fragebogens:

Direkter Linkt zum Fragebogen: https://cloud.th-luebeck.de/index.php/s/fXzaDZJKZisfrJp
Alternativ können Sie den Fragebogen unter cib@th-luebeck.de (Betreff: LübeckerReste) anfordern.
Bei Fragen: Dr. Danilo Springstubbe (Wiss. Mitarbeiter im Projekt) telefonisch (0451 300 5305) oder per E-Mail (cib@th-luebeck.de; Betreff: LübeckerReste)

Hinweis zur Vertraulichkeit der Daten

Die während des Projekts aufgenommen Daten zu den Reststoffströmen in Ihrem Unternehmen werden streng vertraulich behandelt. Dies wird in einer Geheimhaltungsvereinbarung zwischen Ihrer Firma und der Technischen Hochschule Lübeck schriftlich festgehalten. Sie können selbst entscheiden, in welchem Umfang die Daten für das Projekt genutzt werden.

Das Kompetenzzentrum Centrum Industrielle Biotechnologie CIB eine interdisziplinäre Forschungs- und Technologie-plattform an der Technischen Hochschule Lübeck. Neben drittmittelfinanzierten Forschungs- und Transfervorhaben, meist zusammen mit Wirtschaftspartnern und anderen Forschungseinrichtungen, führen die CIB-Mitglieder Auftragsent-wicklungen, Dienstleistungen und Spezial-Analytik durch. www.th-luebeck.de/cib.

Stand: 6. August 2024 (V01)

A5 SOP Säureaufschluss nach Weibull-Stoldt (TH Lübeck, CIB)

CIB 2.007.1	Centrum Industrielle Biotechnologie (CIB)	
Seite **1** von **2**	Standardarbeitsanweisung (SOP)	
Säureaufschluss nach Weibull-Stoldt		

1. Zweck und Anwendungsbereich

Diese SOP gilt als Richtlinie zur Durchführung von Säureaufschlüssen nach der Weibull-Stoldt Methode zur Gewinnung des gesamten Fettgehalts der Probe zur nachfolgenden Charakterisierung. Die Methode wird für Lebensmittel, kann aber auch allgemein angewendet werden.

2. Prinzip

Die homogenisierte Probe wird mit Salzsäure aufgeschlossen und das Fett durch Filtration abgetrennt. Der Filterrückstand wird mit heißem Wasser neutral gewaschen, getrocknet und in der Soxhlet-Apparatur extrahiert. Der getrocknete Extraktionsrückstand wird ausgewogen.

3. Arbeitsmaterialien

- Analysenwaage
- 400 mL Becherglas mit passendem Uhrglas
- Glasstab
- Faltenfilter
- Reagenzgläser mit -halter
- pH-Papier
- dest. Wasser
- Salzsäure w(HCl) = 20 %
- Silbernitrat
- Salpetersäure
- Betriebsanweisung Heizplatte
- Betriebsanweisung Trockenschrank
- SOP Soxhlet-Extraktion

4. Durchführung

1. Die Probeneinwaage richtet sich nach dem zu erwartenden Fettgehalt, sollte aber zwischen 0,5 g und 1,5 g Fettauswaage betragen.
2. Die gut homogenisierte Probe wird auf ± 1 mg genau in das Becherglas eingewogen, mit dest. Wasser auf etwa 100 mL ergänzt, mit 100 mL Salzsäure (20 %-ig) und einigen Siedesteinchen versetzt, mit einem Glasstab zur Verhinderung der Klumpen Bildung umgerührt und mit einem Uhrglas bedeckt.

3. Die Aufschlussflüssigkeit wird unter gelegentlichem Umrühren (Glasstab) zum Sieden erhitzt und je nach Produkt 30-60 min lang am schwachen Sieden gehalten.
4. Danach werden ca 100 mL heißes dest. Wasser zugefügt und die Aufschlussflüssigkeit durch ein vorher angefeuchtetes Faltenfilter filtriert.
5. Das Filter und der Rückstand werden sorgfältig unter gleichzeitigem Nachspülen von Uhr- und Becherglas so lange gewaschen, bis das Waschwasser neutral reagiert bzw. keine Chloridionen mehr nachweisbar sind (prüfen mit Silbernitrat-Lösung!).
6. Das feuchte Filter mit Inhalt wird auf ein Uhrglas oder eine Glasschale gelegt und im Trockenschrank bei 103 °C ± 2 °C getrocknet (ca. 2-3 h)
7. Das vollkommen trockene Filter wird in eine Extraktionshülse gegeben
8. Das Uhrglas sowie das zum Aufschluss verwendete Becherglas wird mit einem mit Diethylether getränkten Wattebausch ausgerieben und dieser ebenfalls in die Extraktionshülse gegeben.
9. Anschließend wird das Fett in der Soxhlet-Apparatur extrahiert und gravimetrisch bestimmt.

A6 SOP Soxhlet-Extraktion (TH Lübeck, CIB)

CIB 2.006.1	Centrum Industrielle Biotechnologie (CIB)	
Seite **1** von **2**	Standardarbeitsanweisung (SOP)	
Soxhlet-Extraktion		

1. Zweck und Anwendungsbereich

Diese SOP gilt als Richtlinie zur Durchführung von Soxhlet-Extraktionen.

2. Prinzip

Der Soxhlet-Apparat dient zum kontinuierlichen Extrahieren löslicher Komponenten aus Feststoffen. Dazu wird Lösungsmittel in eine Extraktionskammer destilliert, wo es heiß den Feststoff auslaugt. Über ein seitliches Kapillarrohr wird die Extraktionskammer immer wieder leer gesaugt, wonach ein erneuter Extraktionszyklus beginnt.

3. Arbeitsmaterialien

a. Soxhlet-Aufsatz
b. Rundkolben
c. Rückflusskühler
d. Extraktionshülse
e. Watte
f. 2 Schliffklemmen
g. 2 Schläuche + 3 Schlauchschellen
h. 3 Muffen und Klemmen
i. Hebebühne
j. Rührfisch
k. Heizrührplatte + Abdampfschale mit Wasser
l. Geeignetes Lösungsmittel (z.B. Petrolether oder Diethylether) und dazugehöriges SDB
m. Extraktionsgut (Probe)
n. Betriebsanweisung Heizrührplatte
o. Rotationsverdampfer + Betriebsanweisung

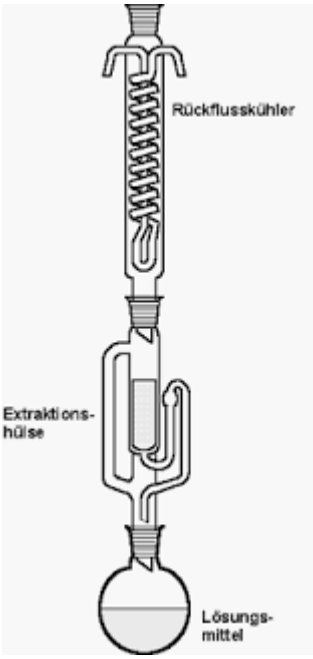

Abbildung 1: Soxhlet-Apparatur

4. Durchführung

1. Das Extraktionsgut bzw. die Probe wird in der Extraktionshülse eingewogen
2. Die Extraktionshülse wird mit der Watte zugedeckt und in den Soxhlet-Aufsatz gestellt
3. Im Rundkolben wird ein Rührfisch und genug Lösungsmittel vorgelegt, dass die Extraktionskammer gefüllt werden kann und im Kolben noch was drinnen bleibt. (Bei 500 ml Rundkolben und 100 ml Aufsatz wurden z.B. 200 ml Lösungsmittel genommen).

4. Auf einer Hebebühne wird eine Heizrührplatte mit einer mit Wasser gefüllten Abdampfschale gestellt (Wasserbad)
5. Nun wird über dem Wasserbad die Apparatur wie bei Abbildung 1 aufgebaut, wobei die Klemme am Rundkolben die ganze Apparatur festhält. Klemmen am Aufsatz und am Kühler werden relativ locker zur Stabilität angebracht, um das Umkippen zu vermeiden.
6. An allen Verbindungsstellen werden Schliffklemmen angebracht, sowie Schlauchschellen bei den Schlauchverbindungen. (Bei Fettbestimmungen die Schliffe **nicht** fetten!)
7. Kühlwasser und Heizrührplatte anmachen.
8. Das Lösungsmittel wird zu sieden beginnen, am Rückflusskühler kondensieren und in die Extraktionskammer tropfen. Sobald der Lösungspegel in der Extraktionskammer über die Höhe des Kapillarrohrs steigt, wird diese dank Ablaufsiphon-Prinzip entleert.
9. Die Startzeit wird dokumentiert und die Zeit eines Extraktionszyklus wird ermittelt.
10. Je nach Vorschrift werden ca. 20-30 Extraktionszyklen benötigt und dementsprechend wird die Extraktionszeit geplant.
11. Nach Ablauf der gewünschten Anzahl an Extraktionszyklen wird zur Isolation des Extraktes die Soxhlet-Apparatur demontiert und der Inhalt des Kolbens durch Verdampfen des Lösungsmittels (z. B. am Rotationsverdampfer) eingeengt. Als Rückstand verbleibt der Extrakt.

5. Bemerkungen

a. Für Fettbestimmungen wird die Watte vor der Extraktion entfettet (z.B. in Petrolether aufgekocht)
b. Die Extraktionshülse kann für mehrere Extraktionen verwendet werden.
c. Die Extraktionshülse soll höher sein, als das Kapillarrohr, sodass das Extraktionsgut nicht rausgespült werden kann.
d. Das Extraktionsgut in der Hülse darf die Höhe des Kapillarrohrs auch nicht übersteigen, sonst wird dieses nicht vollständig vom Lösungsmittel benetzt.

A7 SOP Gesamtzuckerbestimmung in Lebensmitteln mittels HPLC (TH Lübeck, CIB)

CIB 3.003.1	Centrum Industrielle Biotechnologie (CIB)	
Seite **1** von **3**	Standardarbeitsanweisung (SOP)	

Gesamtzuckerbestimmung in Lebensmitteln mittels HPLC

1. Zweck und Anwendungsbereich

Diese SOP dient der Bestimmung des Gesamtzuckergehaltes von Lebensmitteln (außer Honig). Dabei werden die Einzelzucker Glukose, Fruktose, Saccharose, Maltose und Lactose mittels RI-Detektor am KNAUER-System (13-2.60) chromatografisch bestimmt.

2. Prinzip

Der in der Probe enthaltenen Zucker wird durch ein geeignetes Lösungsmittel, z. B. Wasser, extrahiert. Je nach Probe ist eine vorherige Zerkleinerung notwendig. Nach anschließender Extraktion erfolgt die Bestimmung der Einzelzucker und die anschließende Addition der Einzelzucker zur Bestimmung des Gesamtzuckergehaltes. Die Konzentrationsbestimmung erfolgt mit Hilfe der linearen Regression der Einzelzucker.

3. Arbeitsmaterialien

3.1 Geräte und Labormaterial
- Waage (Oberschalenwaage oder Feinwaage)
- Thermoshaker Eppendorf für 15 oder 50 ml Falcongefäße
- KNAUER HPLC-System (Pumpe A, Mischkammer, Autosampler, PDA-Detektor, RI-Detektor)
- Säule: VP 300 78 NUCLEOGEL SUGAR 810 H
- Messzylinder
- Messkolben
- Falcongefäße (15 oder 50 ml)
- Einmalspritze (1ml)
- Spritzenvorsatzfilter (CA 0,2 µm)
- Vials (1,5 ml mit Deckel)
- Filter für Eluent (RC 0,2 µm)
- Membranvakuumpumpe
- Filtrationsaufsatz für Eluent

3.2 Reagenzien und Referenzmaterialien
- Schwefelsäure (95 % p. a.; CAS-Nr.: 7664-939)
- Wasser (reinst; CAS-Nr.: 7732-18-5)
- Schwefelsäure 5 mM (entgast, filtriert)
- Maltose*H_2O (für Biochemie; CAS-Nr.: 6363-53-7)
- D-(+)-Glukose · H_2O (für Biochemie; CAS-Nr.: 14431-43-7)
- D-(+)-Saccharose (p. a.; CAS-Nr.: 57-50-1)

- D-(-)-Frutose (für Biochemie; CAS-Nr.: 57-48-7)
- Lactose · H_2O (für Biochemie; CAS-Nr.: 64044-51-5)

3.3 zusätzliche schriftliche Unterlagen
- Bedienungsanleitung der KNAUER-HPLC
- einzelne Handbücher, z. B. Detektor, Autosampler, Pumpe (KNAUER)

4. Durchführung

Eluentenherstellung

Die für die Messung benötigte 5 mM Schwefelsäure wird aus 95 %-iger Schwefelsäure (c = 17,76 mol/l) hergestellt. Dabei werden für 100 ml Laufmittel 0,028 ml 95 %-ige Schwefelsäure in einen Messkolben, welcher bereits etwas deionisiertes Wasser enthält, gegeben und anschließend bis zur Eichmarke mit deionisiertem Wasser aufgefüllt. Anschließend wird der Eluent filtriert (RC; 0,2 µm Porengröße) und für 15 Minuten entgast.

Probenvorbereitung

Zum Aufschluss von festen Probensubstanzen wird 1g der vorher vermahlenen Probe in 10ml Deionat bei Raumtemperatur suspendiert, mit wenigen Glasperlen versetzt und 60 Minuten bei 750 rpm geschüttelt. Nach dem Schütteln wird die Probe 10 Minuten bei 6000 u/min zentrifugiert. Der Überstand wird dekantiert und 1 ml mittels Spritzenfilter (CA; 0,2 µm) in ein Vial filtriert und anschließend vermessen.

Kalibrierung

Als Kalibriersubstanzen dienen Glukose, Fruktose, Saccharose, Maltose und Laktose. Von allen Substanzen werden Stammlösungen mit einer Massenkonzentration von 25 mg/ml angesetzt. Für die Kalibriergerade werden Verdünnungen mit den Massekonzentrationen 5, 10, 15 und 20 mg/ml, sowie die Stammlösung mit einer Konzentration von 25 mg/ml verwendet. Die benötigten Volumina sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Herstellung der Kalibriergeraden.

Standard	Zugabe Stammlösung / µl	Zielvolumen / µl	Massenkonz. / mg · ml^{-1}
1	200	ad 1000	5
2	400	ad 1000	10
3	600	ad 1000	15
4	800	ad 1000	20
5	1000	ad 1000	25

Die Auswertung der Messsignale kann über die Peakflächen oder die Peakhöhen erfolgen. Aus den ermittelten Werten kann mittels Regressionsgerade die unbekannte Konzentration an Zucker bestimmt werden. Dabei sind die Einzelkonzentrationen der Zucker aufzuaddieren, um den Gesamtzuckergehalt zu bestimmen.

Messung

Für die Messung wird eine Flussrate von 0,1 ml/min (isokratisch) verwendet. Die Säulenofentemperatur beträgt 30 °C und die Messzeit 90 Minuten (DS011). Neben der hier vorgeschlagenen Methode können auch andere verwendet werden, z. B. ACN:H_2O (80:20) mit einer NH_2-modifizierten Säule und einer Flussrate von 1 ml/min. Dabei ist stets der maximale Druck der Säule zu beachten. Dieser darf nicht überschritten werden.

5. Bemerkungen

Gefahrenhinweise

Schwefelsäure, 0,005 mol/L

Signalwort: Achtung

Gefahrenhinweise:
H290: Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.

Sicherheitshinweise:
P234: Nur in Originalverpackung aufbewahren.
P390: Verschüttete Mengen aufnehmen, um Materialschäden zu vermeiden.

CA = Cellulose Acetat
RC = Regenerierte Cellulose

6. Literaturangaben/ -verweise

MACHEREY-NAGEL. „Retention Times of Sugars and Sugar Alcohols“. Herausgegeben von LC Department, o. J. https://chromaappdb.mn-net.com/hplc/113860/retention-times-of-sugars-and-sugar-alcohols?wallboard.

MN. „Instructions Nucleogel sugar 810 H

A8 Reststoffschlüssel in Anlehnung an Brosowski (Brosowski u. a. 2015)

Reststt.-NR.	Reststoffkategorie	U1-Nr.	Unterkategorie 1	U2-Nr.	Unterkategorie 2	U3-Nr.	Unterkategorie 3	U4-Nr.	Unterkategorie 4	Bemerkung
1	Forstwirtschaftliche Reststoffe	1	Waldholz	1	Waldrestholz (Nadel)					
				2	Waldrestholz (Laub)					
				3	Rinde					
		2	Industrierestholz	1	Sägenebenprodukte					
				2	Hobelspäne					
				3	Schwarzlauge					
				4	sonstiges Industrieholz					
		3	Recyclingstoffe	1	Altholz					
2	Landwirtschaftliche Nebenprodukte	1	Zwischenfrüchte	1	Winterzwischenfrucht					
				2	Sommerzwischenfrucht					
		2	Reststoffe Gemüsebau							
		3	Rübenblätter							
		4	Stroh	1	Getreidestroh					
				2	Rapsstroh					
				3	Körnermaisstroh					
				4	Sonnenblumenstroh					
				5	Körnerleguminosenstroh					
				6	Haferstroh					neue Unterkategorie
				7	Stroh (divers)					neue Unterkategorie
		5	Tierische Exkremente	1	Flüssigmist	1	Rinder Flüssigmist			
						2	Schweine Flüssigmist			
						3	Hühner Flüssigmist			
				2	Festmist	1	Rinder Festmist			
						2	Schweine Festmist			
						3	Hühner Festmist			
						4	Pferdemist			
						5	Schafs- und Ziegenmist			
						6	Geflügermist (sonstige)			

3	Siedlungsabfälle	1	Bioabfall							
		2	Biogener Anteil Hausmüll							
		3	Grünabfall							
		4	Alttextilien							
		5	Gemischte Verpackungen							
		6	sonstige biologische Abfälle	1	Küchen- und Kantinenabfälle					
				2	Marktabfälle					
				3	Gewerbliche Speisereste					
				4	Altspeiseöl SiedlAbf					
				5	Öl aus Abscheidern					
		7	Klärschlamm aus SiedlAbf	1	Fäkalschlamm					
				2	Kanalreinigung					
		8	Klärschlamm aus betriebseigener Abwasserbehandlung	1	Nahrungsmittelindustrie					
				2	Zellstoff etc.					
				3	Sonstige					
		9	Klärschlamm aus Abwasserbeh. und Wasseraufbereitung	1	Kläranlagen					
				2	Wasseraufbereitung					
4	Reststoffe von sonstigen Flächen	1	Halmgut- und holzartige Biomasse der Landschaftspflege	1	Biomasse von komm. Grünanlagen	1	Halmgut			
						2	Holzanteil			
				2	Biomasse von Friedhofsflächen	1	Halmgut			
						2	Holzanteil			
				3	Biomasse von Heideflächen	1	Halmgut			
						2	Holzanteil			
				4	Biomasse von Obstplantagen	1	Halmgut			
						2	Holzanteil			
				5	Biomasse von Weinbauflächen	1	Halmgut			
						2	Holzanteil			
				6	Biomasse von Moorflächen	1	Halmgut			
						2	Holzanteil			
				7	Biomasse von Wegbegleitflächen	1	Straßen	1	Straßenbegleitgrün	
								2	Straßenbegleitholz	
						2	Wasserwege	1	Uferbegleitgrün	
								2	Uferbegleitholz	
						3	Bahnstrecken	1	Bahnbegleitgrün	
								2	Bahngebgelitholz	
				8	Treibsel/Schwemmholz					
				9	Wasserpflanzen					
				10	Landschaftspflegeholz					

5	Industrielle Reststoffe	1	Nahrungsmittelindustrie	1	Reststoffe Tierverarbeitung					
				2	Fischverabreitung					
				3	Obst- und Gemüseverabreitung	1	Obstrest, Trester			
						2	Gemüsereste			
						3	Kartoffelschalen			
				4	Reststoffe Ölmühlen					
				5	Milchverabreitung					
				6	Stärkeproduktion	1	Kleie und Stäube			
						2	Kleberproteine			
				7	Rückbrot					
				8	Getränkeherstellung	1	Biertreber/Hefereste			
						2	Malzkeime, etc.			
						3	Reststoffe aus Brennereien			
						4	Restsoffe aus Winzereien			
				9	Zuckerprodutkion	1	Melasse			
						2	Melasseschnitzel			
						3	Pressschnitzel			
						4	Trockenschnitzel			
						5	Nassschnitzel			
						6	Rübenkleinteile			
				10	Süßwarenproduktion					
				11	Fertiggerichteproduktion					
				12	Kaffe- und Teeproduktion					
				13	Nussschalen					
		2	Futtermittelherstellung	1	Mischfutterherstellung					
		3	Zigaretten- und Tabakindustrie	1	Tabakreste					
		4	Biotechnikindustrie	1	Restsoffe Chemie- Phrama- und Hefeindustrie					
				2	Restsoffe Bioethanolproduktion					
		5	Glycerin Biodieselproduktion							

Kategorieschlüssel

X.X.X.X.X

- X Reststoffkategorie
- X Unterkategorie 1
- X Unterkategorie 2
- X Unterkategorie 3
- X Unterkategorie 4

A9 Abfallschlüssel nach Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV)

Bezeichnung des Reststoffs	AVV-Nummer
Abfälle aus Landwirtschaft, Gartenbau, Teichwirtschaft, Forstwirtschaft, Jagd und Fischerei sowie der Herstellung und Verarbeitung von Nahrungsmitteln	**02**
Abfälle aus der Zubereitung und Verarbeitung von Obst, Gemüse, Getreide, Speiseölen, Kakao, Kaffee, Tee und Tabak, aus der Konservenherstellung, der Herstellung von Hefe und Hefeextrakt sowie der Zubereitung und Fermentierung von Melasse	*02 03*
Schlämme aus Wasch-, Reinigungs-, Schäl-, Zentrifugier- und Abtrennprozessen	02 03 01
Abfälle von Konservierungsstoffen	02 03 02
Abfälle aus der Extraktion mit Lösemitteln	02 03 03
Abfälle a. n. für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe	02 03 04
Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung	02 03 05
Abfälle a. n. g.	02 03 99
Abfälle aus der Herstellung von Back- und Süßwaren	*02 06*
für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe	02 06 01
Abfälle von Konservierungsstoffen	02 06 02
Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung	02 06 03
Abfälle a. n. g.	02 06 99
Verpackungsabfall, Aufsaugmassen, Wischtücher, Filtermaterialien und Schutzkleidung (a. n. g.)	**15**
Aufsaug- und Filtermaterialien, Wischtücher und Schutzkleidung	*15 02*
Aufsaug- und Filtermaterialien, Wischtücher und Schutzkleidung mit Ausnahme derjenigen, die unter 15 02 02 fallen	15 02 03
Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind	**16**
Fehlchargen und ungebrauchte Erzeugnisse	*16 03*
organische Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 03 05 fallen	16 03 06
Abfälle aus der Reinigung von Transport- und Lagertanks und Fässern (außer 05 und 13)	*16 07*
ölhaltige Abfälle	16 07 08
Abfälle a. n. g.	16 07 99

Bezeichnung des Reststoffs	AVV-Nummer
Wäßrige flüssige Abfälle zur externen Behandlung	*16 10*
wäßrige flüssige Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 10 01 fallen	16 10 02
wäßrige Konzentrate mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 10 03 fallen	16 10 04
Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke	**19**
Abfälle aus Abwasserbehandlungsanlagen a. n. g.	*19 08*
Sieb- und Rechenrückstände	19 08 01
Fett- und Ölmischungen aus Ölabscheidern, die ausschließlich Speiseöle und -fette enthalten	19 08 09
Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 13 fallen	19 08 13
Siedlungsabfälle (Haushaltsabfälle und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen), einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen	**20**
Getrennt gesammelte Fraktionen (außer 15 01)	*20 01*
biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle	20 01 08
Speiseöle und -fette	20 01 25
sonstige Fraktionen a. n. g.	20 01 99