



---

Schlussbericht – 03.05.2024

---

# Nachhaltige und effiziente Biomassennutzung im Kanton Bern

## Hintergrundbericht

Im Auftrag der Wyss Academy for Nature an der Universität  
Bern und des Amts für Umwelt und Energie des Kantons Bern  
(AUE)

# Impressum

## Empfohlene Zitierweise

Autor: Ecoplan  
Titel: Nachhaltige und effiziente Biomassennutzung im Kanton Bern  
Untertitel: Hintergrundbericht  
Auftraggeber: Wyss Academy und Amt für Umwelt und Energie des Kantons Bern (AUE)  
Ort: Bern  
Datum: 03.05.2024

## Begleitgruppe

(Alphabetische Reihenfolge)

Andreas Keel (Holzenergie Schweiz)  
Anja Strahm (Wyss Academy)  
Marc Häni (AWA)  
Marc Zuber (LANAT)  
Michael Studer (BFH-HAFL)  
Oliver Thees (WSL)  
Renato Lemm (WSL)  
Roger Schmidt (AWN)  
Daniel Binggeli (BFE)  
Thomas Rosenberg (AUE)  
Vanessa Burg (ETHZ)

## Projektteam Ecoplan

Tanja Engel  
Samuel Zahner  
André Müller

Der Bericht gibt die Auffassung des Projektteams wieder, die nicht notwendigerweise mit derjenigen des Auftraggebers bzw. der Auftraggeberin oder der Begleitorgane übereinstimmen muss.

## ECOPLAN AG

Forschung und Beratung  
in Wirtschaft und Politik

[www.ecoplan.ch](http://www.ecoplan.ch)

Monbijoustrasse 14  
CH - 3011 Bern  
Tel +41 31 356 61 61  
[bern@ecoplan.ch](mailto:bern@ecoplan.ch)

Dätwylerstrasse 25  
CH - 6460 Altdorf  
Tel +41 41 870 90 60  
[altdorf@ecoplan.ch](mailto:altdorf@ecoplan.ch)

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Ausgangslage, Fragestellung, Ziel und Vorgehen</b> .....	<b>3</b>
1.1	Ziel und Zweck .....	3
1.2	Aufbau des Berichts .....	4
1.3	Vorgehen.....	4
<b>2</b>	<b>Entwicklung Systemverständnis</b> .....	<b>7</b>
2.1	Der systemische Ansatz.....	7
2.2	Systemgrenze, was versteht man unter Biomassenpotenzialen? .....	11
2.3	Daten und Unsicherheiten.....	12
<b>3</b>	<b>Holzige Biomasse</b> .....	<b>14</b>
3.1	Waldwirtschaftssysteme.....	14
3.1.1	Holzernte .....	14
3.1.2	Wald- und Forstwirtschaftssystem .....	15
3.2	Potenziale.....	17
3.2.1	Waldenergieholz: Potenziale und Szenarien .....	17
3.2.2	Heutige energetische Nutzung holziger Biomasse .....	21
3.2.3	Zusätzlich nutzbares Energieholzpotenzial.....	22
3.3	Einsatzbereiche, Verbrauchsentwicklung .....	25
3.4	Herausforderungen und Lösungsansätze für die Zukunft.....	31
<b>4</b>	<b>Hofdünger, landwirtschaftliche Biogasanlagen</b> .....	<b>33</b>
4.1	Potenziale.....	33
4.2	Einsatzbereiche, Verbrauchsentwicklung .....	35
4.3	Herausforderungen und Lösungsansätze für die Zukunft.....	36
<b>5</b>	<b>Weitere Biomasse: Biogene Abfälle, Ernterückstände, Klärschlamm etc.</b> .....	<b>39</b>
5.1	Potenziale.....	39
5.1.1	Nebenprodukte aus der Landwirtschaft .....	40
5.1.2	Biogene Abfälle: Organischer Hauskehricht, organische Abfälle aus der Industrie, Grüngut aus Haushalt und Landschaft.....	41
5.1.3	Klärschlamm.....	44
5.2	Anlagentypen, Einsatzbereiche, Entwicklung .....	45
5.3	Herausforderungen und Lösungsansätze für die Zukunft.....	47
5.3.1	Fremdstoffproblematik im Recyclingdünger.....	48
5.3.2	Soll lenkend in die Stoffströme der weiteren Biomassen eingegriffen werden? .....	48

---

<b>6</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>50</b>
6.1	Exkurs: Grundlagen der Pyrolyse und Pflanzenkohle .....	50
6.2	Verwendete Daten und Unsicherheiten .....	52
6.3	Methoden zur Abschätzung der Waldenergieholzpotenziale.....	54
6.4	Methodik zur Erhebung des aktuellen Energieholzverbrauchs.....	58
6.5	Methodik zur Erhebung der Potenziale .....	60
6.6	Hofdüngerpotenziale: Vorgehen und Annahmen zur Bestimmung geeigneter Standorte zur Produktion von Elektrizität, Wärme und Biomethan.....	61
6.7	Beteiligte Akteure .....	66
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>69</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AUE	Amt für Umwelt und Energie des Kantons Bern
ARA	Abwasserreinigungsanlagen
AWA	Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern
AWN	Amt für Wald und Naturgefahren
BECCS	Bioenergie mit CO <sub>2</sub> -Abscheidung und -Speicherung; Bioenergy with carbon capture and storage
BFE	Bundesamt für Energie
CCS	CO <sub>2</sub> -Abscheidung und -Speicherung; Carbon dioxide capture and storage
CCU	Carbon Capture and Utilization
ChemRRV	Chemikalien-Risiko-Reduktions-Verordnung
DACCS	Direct Air Carbon Capture and Storage
GJ	Gigajoules
GWh	Gigawattstunden
ha	Hektare
HHKW	Holzheizkraftwerke
KEV	Kostendeckende Einspeisevergütung
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
LANAT	Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern
LFI	Landesforstinventar
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
NET	Negativemissionstechnologien
PJ	Petajoule (wird zur Angabe des Primärenergieverbrauchs verwendet)
RH+WWB	Raumheizung und Warmwasserbereitung
SCCER	Swiss Competence Center for Energy Research
TJ	Terajoule, physikalische Einheit für Energie
TWh	Terawattstunden
VFS	Verband Fernwärme Schweiz (neu: thermische Netze Schweiz (TNS))
VeVA	Verordnung über den Verkehr mit Abfällen
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen
WKK	Wärme-Kraft-Kopplungsanlage
WSL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

# 1 Ausgangslage, Fragestellung, Ziel und Vorgehen

## 1.1 Ziel und Zweck

### Zielsetzung

Eines von mehreren Projekten, die das Amt für Umwelt und Energie des Kantons Bern (AUE) im Auftrag der Wyss Academy for Nature (WA) umsetzt, ist das Projekt AUE-2: «Effiziente Nutzung der Biomasse für die Energieproduktion». Das **Ziel des Projektes** ist:

Regional anfallende Biomasse soll effizienter genutzt und wiederverwertet werden. Damit soll die Kreislaufwirtschaft gefördert und ein Beitrag zur regionalen Wertschöpfung und zum Transformationsprozess für eine CO<sub>2</sub>-neutrale Gesellschaft geleistet werden.<sup>1</sup>

Ecoplan wurde beauftragt, zusammen mit wichtigen Akteuren aus der Verwaltung, Forschung und Wirtschaft,

- die nachhaltig verfügbaren Biomassenpotenziale im Kanton Bern zu analysieren (siehe Kapitel 3.2, 4.1 und 5.1).
- ein gemeinsames Systemverständnis der heutigen Biomassennutzung zu erarbeiten (siehe Visionsbericht<sup>2</sup>),
- eine Vision für die zukünftige Biomassennutzung zu entwickeln (siehe Visionsbericht),
- daraus die wichtigsten Konflikte, Hürden und Fehlanreize abzuleiten (siehe Visionsbericht)
- und Stossrichtungen für mögliche Massnahmen und Inkubatoren vorzuschlagen (siehe Kapitel 3.4, 4.3 und 5.3 sowie den Visionsbericht).

### Zweck und Grenzen der beiden Produkte

Als Endprodukt des Projektes sind **zwei Berichte** entstanden:

Der vorliegende **Hintergrundbericht** fasst den aktuellen Wissenstand zu den Biomassefraktionen holzige Biomasse (Kapitel 3), Hofdünger (Kapitel 4) und weitere Biomassen (Kapitel 5) zusammen. Dabei wird für jede Biomassefraktion auf die Potenziale, die Einsatzbereiche und Verbrauchsentwicklung sowie die Rahmenbedingungen, Herausforderungen und Lösungsansätze für die zukünftige Nutzung der Biomasse eingegangen. Der Hintergrundbericht versteht sich als Grundlagenstudie und dient als Hintergrundinformation und ergänzende Erklärungen zum Visionsbericht.

---

<sup>1</sup> Titel und Ziel des Projekts gemäss Website der Wyss Academy (2021): <https://www.wyssacademy.org/post/effiziente-nutzung-des-biomassenpotentials-f%C3%BCr-die-energieproduktion?lang=de>

<sup>2</sup> Ecoplan (2024)

Der **Visionsbericht**<sup>3</sup> fasst das heutige Systemverständnis der Akteure und die wichtigsten Eckpunkte für eine zukünftige Vision zusammen. Der Visionsbericht versteht sich als Diskussionsgrundlage für weiterführende Strategien und Massnahmen und richtet sich an die Verwaltung, Politik und Wirtschaft. Er konzentriert sich bewusst auf die wichtigsten Eckpunkte, ohne diese detailliert zu beschreiben. Ob und welche Folgerungen und Vorschläge daraus weiterverfolgt werden, ist Sache der Verwaltung, Politik, Wirtschaft und Forschung. Die Umsetzung der Vision und Initialisierung von möglichen Massnahmen war nicht Gegenstand des Auftrages.

## 1.2 Aufbau des Berichts

Der Bericht gliedert sich nach den drei Biomassefraktionen und ist wie folgt aufgebaut:

- Im **Kapitel 2** wird der **systemische Ansatz** des Projektes vorgestellt (2.1), das Konzept der Biomassenpotenziale beschrieben (2.2) und der Umgang mit Unsicherheiten erläutert (2.3).
- **Kapitel 3** fasst den aktuellen Wissensstand zur **holzigen Biomasse** zusammen. Dazu wird zuerst das Waldwirtschaftssystem vorgestellt (3.1) und danach auf die Potenziale der holzigen Biomasse eingegangen (3.2). Anschliessend werden die Einsatzbereiche (3.3) und Rahmenbedingungen (3.4) aufgezeigt.
- **Kapitel 4** beschreibt die Potenziale (4.1), Einsatzbereiche und Verbrauchsentwicklung (4.2) und Rahmenbedingungen (4.3) von **Hofdünger**.
- Die **weiteren Biomassen** (Biogene Abfälle, Ernterückstände, Klärschlamm etc.) werden in **Kapitel 5** vorgestellt (Potenziale (5.1), Einsatzbereiche und Verbrauchsentwicklung (5.2) und Rahmenbedingungen (0)).

## 1.3 Vorgehen

Das Vorgehen orientiert sich am Solutionscape-Ansatz<sup>4</sup> der Wyss Academy, der sich aus den folgenden fünf Elementen zusammensetzt (siehe Abbildung 1):

- Etablierung eines gemeinsamen, evidenzbasierten **Systemverständnisses** und der Dynamiken
- Aufbau von **Allianzen** mit den wichtigsten Stakeholdern
- Entwicklung einer gemeinsamen **Vision und Strategie**
- Entwicklung und Erprobung von konkreten **Pilotprojekten / Inkubatoren** für die Systemtransformation
- **Monitoring, Evaluation und Lernen**, um die Anpassung und Skalierung von vielsprechenden Innovationen zu ermöglichen

---

<sup>3</sup> Ecoplan (2024)

<sup>4</sup> Wyss Academy for Nature (2022)

Im vorliegenden Projekt lag der Fokus auf der Analyse und Entwicklung eines gemeinsamen wissenschaftlich fundierten Systemverständnisses (blaues Puzzle-Teil), unter Einbezug der zentralen Interessensgruppen (grünes Puzzle-Teil) sowie der Entwicklung einer darauf basierenden Vision für die Zukunft (gelbes Puzzle-Teil). Deshalb wurde ein systemischer Ansatz gewählt (siehe Kapitel 2). Ausgehend von diesem Systemverständnis wurde eine gemeinsame Vision entwickelt (siehe dazu den Visionsbericht). Ebenfalls wurden im Rahmen von Interviews und einem Workshop Ideen zu Stossrichtungen und Pilotprojekten (Inkubatoren) entwickelt. Die zentralen Beiträge für diese einzelnen Elemente stammen aus den Interviews mit Expert/-innen und wurden in Vertiefungsgesprächen weiterentwickelt und konkretisiert. Der Aufbau von Bündnissen mit Stakeholdern sowie das Überwachen, Beurteilen und Lernen standen weniger im Zentrum. Es wurden aber einzelne Elemente davon in die Arbeiten aufgenommen (z. B. Vernetzung und Vertrauensbildung zwischen den Stakeholdern am Workshop).

**Abbildung 1: Solutionscape-Ansatz der Wyss Academy for Nature**



Quelle: Wyss Academy for Nature (2022)

In einem ersten Schritt wurde das heutige Biomassensystem im Kanton Bern und das Verständnis der Akteure dieses Systems untersucht. Dazu wurde zuerst mittels Literaturrecherche eine Übersicht der bestehenden Erkenntnisse erstellt und Abschätzungen zu den heutigen Biomassepotenzialen und der heutigen Nutzung der Biomasse gemacht. Anschliessend wurden die betroffenen Ämter, die Wissenschaft und Praxisakteure in Form von 10 Expert/-inneninterviews mit einbezogen und befragt.<sup>5</sup> Mit diesen Interviews wurden die heutigen Potenziale validiert und abgefragt. Zudem konnten die zukünftigen Potenziale und Einsatzbereiche, sowie die Unsicherheiten abgeschätzt werden.

<sup>5</sup> Siehe Abbildung 29 im Anhang 6.7 für eine Übersicht der Interviewpartner/-innen.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde am 22. Juni 2023 ein Workshop mit 23 Teilnehmenden (Teilnehmende siehe Abbildung 31, Anhang 6.7) durchgeführt. Dabei wurden das heutige Systemverständnis konsolidiert und erste Eckpunkte für eine gemeinsame Vision der zukünftigen Biomassennutzung (Vision eines Systems 2050+) entwickelt. Für die Vision 2050+ wurden Gruppenarbeiten zu den Themen holzige Biomasse, Hofdünger sowie weitere Biomassen durchgeführt, in denen Stossrichtungen und Grundsätze für die Zukunft ausgearbeitet und konkrete Vorschläge für Inkubatoren und Lösungsansätze generiert wurden.

Nach dem Workshop wurden die Vision 2050+ konkretisiert, die wichtigsten Stellschrauben für die Transformation zu der Vision herausgearbeitet und daraus Stossrichtungen für mögliche Massnahmen abgeleitet. Dazu wurden 8 Vertiefungsgespräche zu verschiedenen Fokusthemen durchgeführt (siehe Abbildung 30, Anhang 6.7).

## 2 Entwicklung Systemverständnis

### 2.1 Der systemische Ansatz

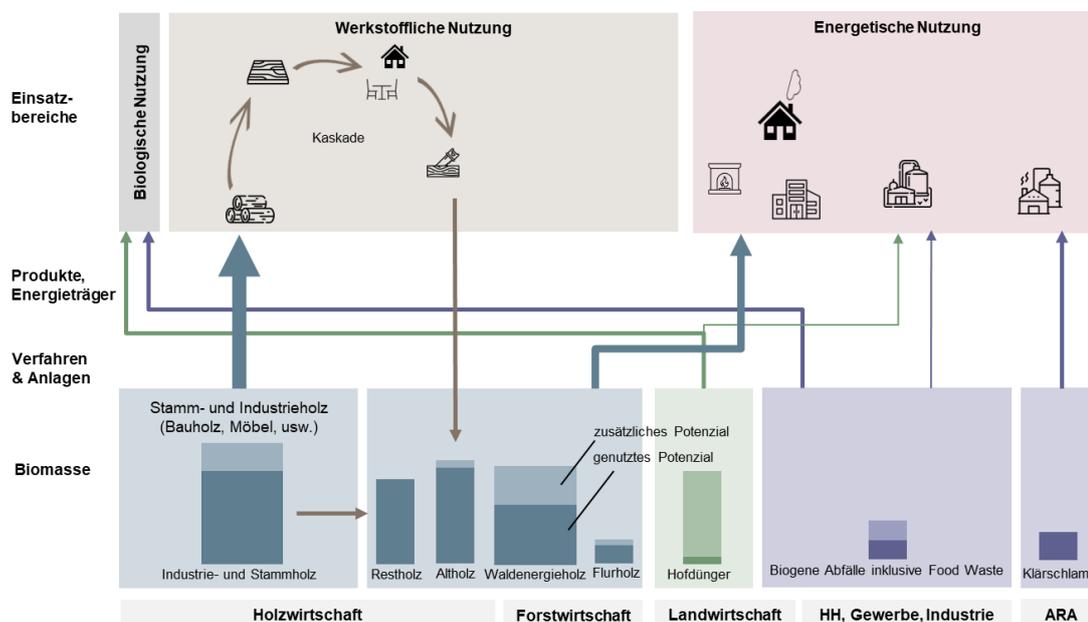
Um dem Ziel einer ganzheitlichen Systemanalyse gerecht zu werden, wurde ein systemischer Ansatz gewählt. Dazu wurde mit den involvierten Akteuren ein Systembild entworfen, welches rollend weiterentwickelt wurde. Das Systembild diente insbesondere dazu, ein gemeinsames Verständnis mit den betroffenen Akteuren zu schaffen. Das Systembild soll mit einer ganzheitlichen Sicht die wichtigsten Stoff- und Energieflüsse der anfallenden Biomasse bis zu den entsprechenden Einsatzbereichen aufzeigen, um basierend darauf mögliche Zukunftsentwicklungen und Zielkonflikte diskutieren zu können.

#### Übergeordnetes Systembild der Biomassennutzung im Kanton Bern

Abbildung 2 zeigt ein vereinfachtes Systembild der heutigen Biomassennutzung im Kanton Bern auf. Es wird Biomasse aus der Holz- und Forstwirtschaft, der Landwirtschaft und Landschaftspflege, sowie Gewerbe, Industrie und den Haushalten berücksichtigt. Die Biomassen werden in diesem Bericht in drei Fraktionen eingeteilt: Holzige Biomasse, Hofdünger und übrige Biomasse (landwirtschaftliche Nebenprodukte, biogene Abfälle sowie Klärschlamm aus den Abwasserreinigungsanlagen (ARA)).

Die Säulen in Abbildung 2 deuten an, wie viel der **nachhaltig verfügbaren Potenziale** heute bereits genutzt werden (dunkle Säule) und welche **zusätzlichen Potenziale** (helle Säule) noch bestehen. Aus den Biomassen können mit unterschiedlichen Verfahren Produkte oder Energieträger hergestellt werden, welche schliesslich von den Kund/-innen für unterschiedliche Zwecke (Einsatzbereiche) genutzt werden. Die Pfeildicken deuten die Relationen der verschiedenen Stoff- und Energieflüsse an. So wird der grösste Teil der im Kanton Bern anfallenden Biomasse werkstofflich (z. B. Holzverarbeitung) genutzt, gefolgt von der energetischen Nutzung und biologischen Nutzung (z. B. Kompostierung). Heute noch kaum eine Rolle spielt die rohstoffliche Nutzung von Biomasse (z. B. für die chemische Industrie) oder ihr Einsatz als Negativemissionstechnologie (NET).

Abbildung 2: Vereinfachtes Systembild der Biomassennutzung im Kanton Bern



Quelle: Eigene Abbildung in Anlehnung an Energie Schweiz; Bundesamt für Energie BFE (2017).

### Forst- und Holzwirtschaftssystem

Waldholz ist mengenmässig mit Abstand die wichtigste Biomasse. Je nach Baumart, seiner Qualität und der Präferenz des Holzmarktes wird ein grösserer oder kleinerer Anteil eines Baumes werkstofflich genutzt. Im Jahr 2021 wurden ca. 2/3 der Holzernte aus dem Kanton Bern als Industrie- und Stammholz genutzt, wobei ein grosser Teil davon ausserhalb des Kantons verarbeitet wurde. Ca. 1/3 der Holzernte wurde direkt energetisch (Waldenergieholz) verwertet. In den letzten Jahren hat die energetische Verwertung kontinuierlich zugenommen. Dieser Trend ist auch auf nationaler Ebene sichtbar, wo sich die Menge energetisch verwerteten Holzes von 2014 bis 2021 fast verdoppelt hat.<sup>6</sup>

Bei der Verarbeitung von Industrie und Stammholz in Sägewerken, Hobelwerken, Leimholzwerken, Zimmereien und Schreinereien fällt als Nebenprodukt Restholz an, welches ebenfalls zum grossen Teil energetisch verwertet wird. Schliesslich wird Holz im Bau, Schreinereien (z. B. Möbel) und der Industrie (z. B. Papier, Verpackungen, Holzwaren) zu verschiedensten Produkten verarbeitet. Am Ende der Lebensdauer dieser Produkte können sie als Altholz ebenfalls energetisch genutzt werden, sofern die Voraussetzungen der Luftreinhalteverordnung

<sup>6</sup> Quelle: Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 2022.

(LRV) erfüllt sind.<sup>7</sup> Die Kombination der werkstofflichen Holznutzung mit anschliessender energetischer Nutzung des Altholzes wird auch Kaskadennutzung genannt.

### **Energetischer Einsatz der Biomasse**

Betrachtet man die energetische Nutzung der Biomasse etwas genauer (Abbildung 3), so zeigt sich, dass vor allem Holzfeuerungen für Gebäude und Holzheizkraftwerke oder Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK) eine wichtige Rolle spielen. Die dabei generierte Wärme wird aktuell vor allem für Raumwärme und Warmwasserbereitung (RH & WWB) eingesetzt. Ebenfalls wichtige Beiträge zur Energieversorgung, wenn auch in deutlich geringerem Umfang, leisten die rund 65 ARA im Kanton Bern durch Schlammvergärung.<sup>8</sup> Die übrigen Verfahren wie Industriefeuerungen, Biogasanlagen<sup>9</sup> und Treibstoffherstellung spielen eine weniger grosse Rolle. Die Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA), die auch biogene Abfälle verbrennen (vgl. Kapitel 5.2), tragen massgeblich zur Strom- und Wärmeversorgung im Kanton Bern bei. Dabei gilt rund die Hälfte der aus der Kehrichtverbrennung erzeugten CO<sub>2</sub>-Emissionen als CO<sub>2</sub>-neutral.<sup>10</sup>

---

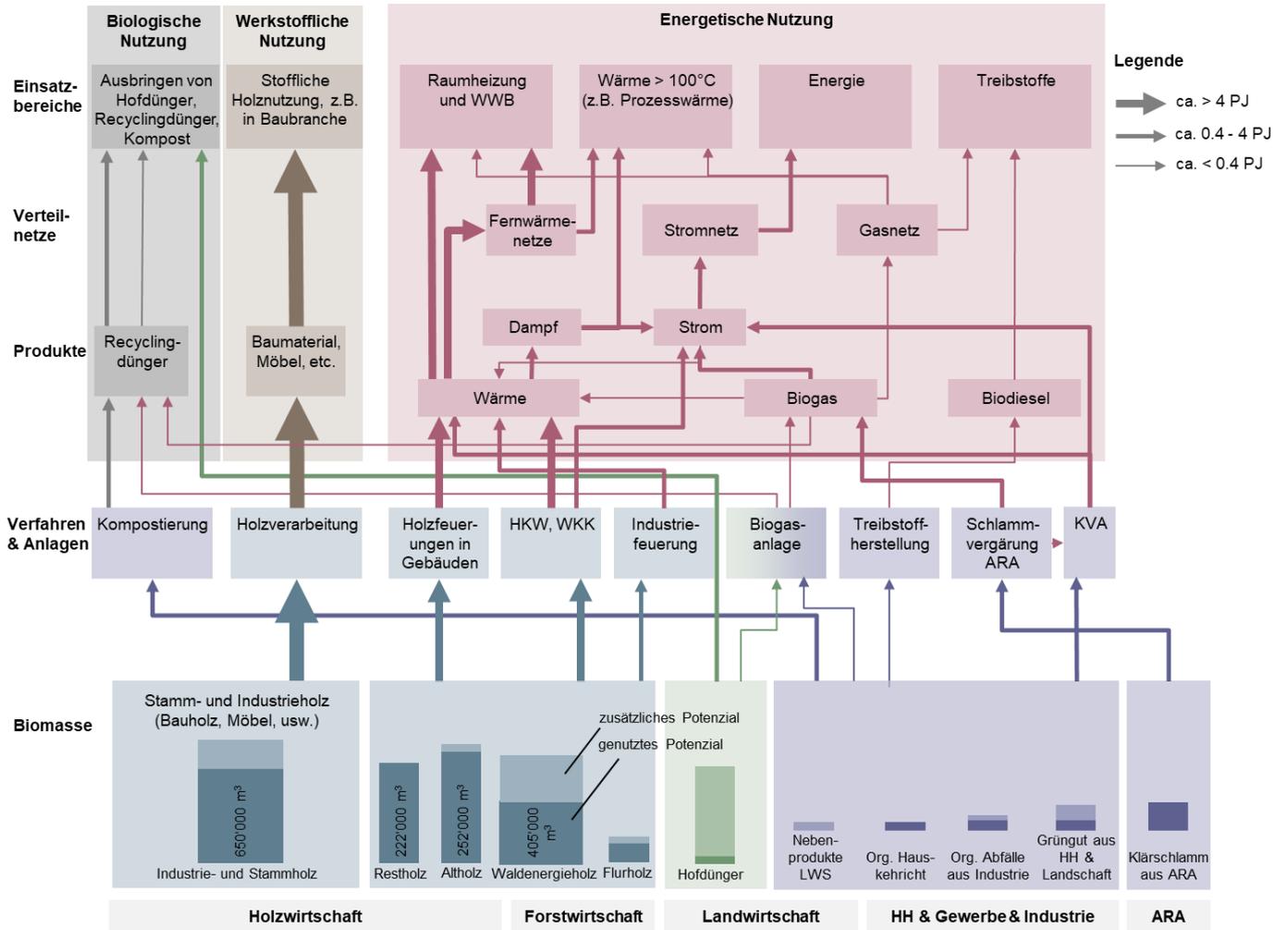
<sup>7</sup> Siehe Anhang 2 Ziff. 72 LRV.

<sup>8</sup> Die 65 ARA erzeugen insgesamt rund 167 GWh/Jahr.

<sup>9</sup> Die landwirtschaftlichen und gewerblichen Biogasanlagen erzeugen insgesamt rund 60 GWh/Jahr.

<sup>10</sup> Der in den KVA produzierte Strom und die produzierte Wärme werden aber nicht nur aus Kehricht, sondern auch mit Holz und Erdgas erzeugt.

**Abbildung 3: Biomassennutzung im Kanton Bern heute mit detaillierter Betrachtung der energetischen Nutzung (eigene Abbildung)**



Quellen: Eigene Abbildung

Die Pfeildicken wurden anhand der folgenden Quellen abgeschätzt: Forststatistik 2021 «Holzernte nach Kantonen» des Bundesamt für Statistik; Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW (2018); Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW (2017); Bundesamt für Umwelt BAFU (2022); Thees; Burg; Erni; u. a. (2017)

## 2.2 Systemgrenze, was versteht man unter Biomassenpotenzialen?

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Biomassenpotenziale für den Kanton Bern aus aktuellen Studien zusammengetragen. Dabei stehen die **energetischen Potenziale** im Zentrum. Daher werden die Potenziale in PJ pro Jahr angegeben. Dabei handelt es sich bei der holzigen Biomasse um Primärenergie und beim Hofdünger und den weiteren Biomassen um den potenziellen Biomethanertrag. Bei der holzigen Biomasse werden zusätzlich auch die physischen Mengen in Kubikmetern ausgewiesen.

### Räumliche Systemgrenze

Die Studie richtet sich an die regional anfallende Biomasse sowie deren Nutzung und Wiederverwertung im Kanton Bern. Der **Kanton Bern gilt somit als Systemgrenze für die vorliegenden Auswertungen**. Da Biomasse auch über die Kantonsgrenze hinweg gehandelt wird, kann jedoch eine kantonale Bilanzierung von kantonalen Potenzialen und bereits genutzten Potenzialen zur Abschätzung der noch verbleibenden Potenziale nur begrenzt vorgenommen werden:

- Die energetische Nutzung von Biomasse findet oft nah am Ursprungsort statt, womit wenig Import und Export über die Kantonsgrenze stattfindet. Für die energetische Nutzung kann somit eine kantonale Bilanzierung von Potenzialen und Nutzung verlässlich Hinweise auf das noch verbleibende Potenzial geben.
- Bei allen anderen Nutzungen (werkstofflich, rohstofflich, NET) ist die räumliche Systemgrenze in der Regel grösser. Insbesondere bei der stofflichen Nutzung von holziger Biomasse besteht oft keine klare räumliche Abgrenzung und es wird auch viel über die Kantonsgrenzen oder Landesgrenzen hinaus gehandelt. So exportiert der Kanton Bern beispielsweise einen wesentlichen Anteil an Industrie- und Stammholz in andere Kantone. Daher ist für diese anderen Nutzungen eine kantonale Bilanzierung (der Potenziale und Nutzung) wenig sinnvoll und wird entsprechend nicht dargestellt.

### Biomassenpotenziale

Es wird zwischen den folgenden energetischen Biomassenpotenzialen unterschieden:<sup>11</sup>

- Das **theoretische Potenzial** umfasst die im Kanton Bern erzeugte Biomasse, die theoretisch maximal genutzt werden könnte. Diese Grösse basiert auf Modellrechnungen.
- Das ökologisch **nachhaltige Potenzial** ergibt sich aus dem theoretischen Potenzial abzüglich der ökologischen, teilweise ökonomischen (Wirtschaftlichkeit) sowie rechtlichen und politischen Restriktionen. Das nachhaltige Potenzial ist keine starre Grösse und ändert sich je nach Annahmen (Szenarien) in den Modellen.
- Das **bereits genutzte Potenzial** entspricht der aktuell im Kanton Bern energetisch genutzten Biomasse. Die Datengrundlagen basieren je nach Biomassenfraktion auf Schätzungen

---

<sup>11</sup> Für einen detaillierten Beschrieb der verschiedenen Biomassenpotenziale wird auf die Studie von Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) verwiesen.

und Hochrechnungen, welche je nach Biomassenfraktion auf unterschiedlichen Statistiken beruhen.

- Das **zusätzliche bzw. verbleibende Potenzial** ergibt sich aus der Differenz des nachhaltigen Potenzials und des bereits genutzten Potenzials.

## 2.3 Daten und Unsicherheiten

Im vorliegenden Bericht (und auch im Visionsbericht) wird einerseits die heutige Situation beschrieben und andererseits Aussagen über die künftige Entwicklung gemacht. Sowohl die Darstellung der heutigen Situation als auch die künftige Entwicklung ist mit Unsicherheiten behaftet: Oftmals handelt es sich bei den verwendeten Daten um Modellierungen und nicht um effektive Erhebungen. Nicht alle zur Verfügung stehenden Datengrundlagen waren vollständig oder sie lagen in unterschiedlichen Genauigkeiten vor. Bei den Potenzialschätzungen für die Zukunft gilt zudem zu beachten, dass diese Daten auf zahlreichen Annahmen beruhen.

Während diese Unsicherheiten bei der Auswertung der Ergebnisse mitgedacht werden müssen, gilt es auch den Anspruch an die Datengenauigkeit zu relativieren. Aufgrund der Datengrundlage sind oftmals nicht exakte Zahlen möglich. Sie zeigen aber die ungefähre Grössenordnung nach dem heutigen Wissensstand.

### Datengrundlagen

Die vorliegenden Auswertungen basieren auf einer Vielzahl von unterschiedlichen Studien und Statistiken (siehe dazu Anhang 6.2). Bei der Interpretation und Einordnung der Ergebnisse müssen die folgenden Unsicherheiten beachtet werden:

- **Potenzialstudien sind keine Verfügbarkeits- bzw. Nutzungsstudien:** Bei der Interpretation der Potenzialstudien gilt zu beachten, dass es sich in den meisten Fällen um Modellierungen und Hochrechnungen handelt und nicht effektive Erhebungen. Die Potenziale werden unter bestimmten Annahmen und Bedingungen abgebildet. Dies bedeutet aber nicht, dass diese Mengen in Zukunft auch effektiv zur Verfügung stehen werden und eine Nutzung in dem Umfang stattfinden wird.
- **Aktualität der Daten:** Wird die aktuelle Situation beschrieben, basieren die Erkenntnisse auf Messungen und Beobachtungen der Vergangenheit. Dabei wurden überall die neusten verfügbaren Daten verwendet. In einzelnen Fällen sind diese Daten aber auch schon mehrere Jahre alt (z. B. basiert die Studie von Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) auf Daten aus dem Jahr 2014).
- **Unsicherheiten und Annahmen der Studien:** Die verwendeten Studien und Daten basieren auf Erhebungen, die teilweise durch Annahmen oder Hochrechnungen ergänzt werden mussten. Dies kann zu Unsicherheiten in den Daten führen und die Vergleichbarkeit der einzelnen Studien erschweren. Insbesondere bei den Potenzialstudien sind die heutigen und zukünftigen Potenziale stark von den gewählten Annahmen abhängig.
- **Unterschiedliche Zeiträume:** Bei der Interpretation oder beim Vergleich von Zahlen (insbesondere den Potenzialwerten) müssen das Erhebungsjahr und die

Betrachtungszeiträume beachtet werden. Beispielsweise unterscheidet sich das nachhaltig verfügbare Waldenergieholzpotenzial stark, je nachdem ob man das Jahr 2023, 2033 oder den Durchschnitt der Jahre 2023-2053 betrachtet (vgl. Abbildung 8 in Kapitel 3.2.1).

### **Zukunftsentwicklungen**

Die dargestellten zukünftigen Potenziale sind nicht als Prognosen, sondern als Szenarien (mit unterschiedlichen Bedingungen) zu verstehen. Für die Potenzialentwicklungen wurden in den verwendeten Studien verschiedene Szenarien modelliert. Bei den Entwicklungen der Einsatzbereiche sowie den Herausforderungen und Lösungsansätzen wurde auf das Expertenwissen der Interviewpartner/-innen und Workshopteilnehmenden zurückgegriffen. In beiden Fällen sind die Entwicklungen in der Zukunft mit grossen Unsicherheiten verbunden.

## 3 Holzige Biomasse

### 3.1 Waldwirtschaftssysteme

#### 3.1.1 Holzernte

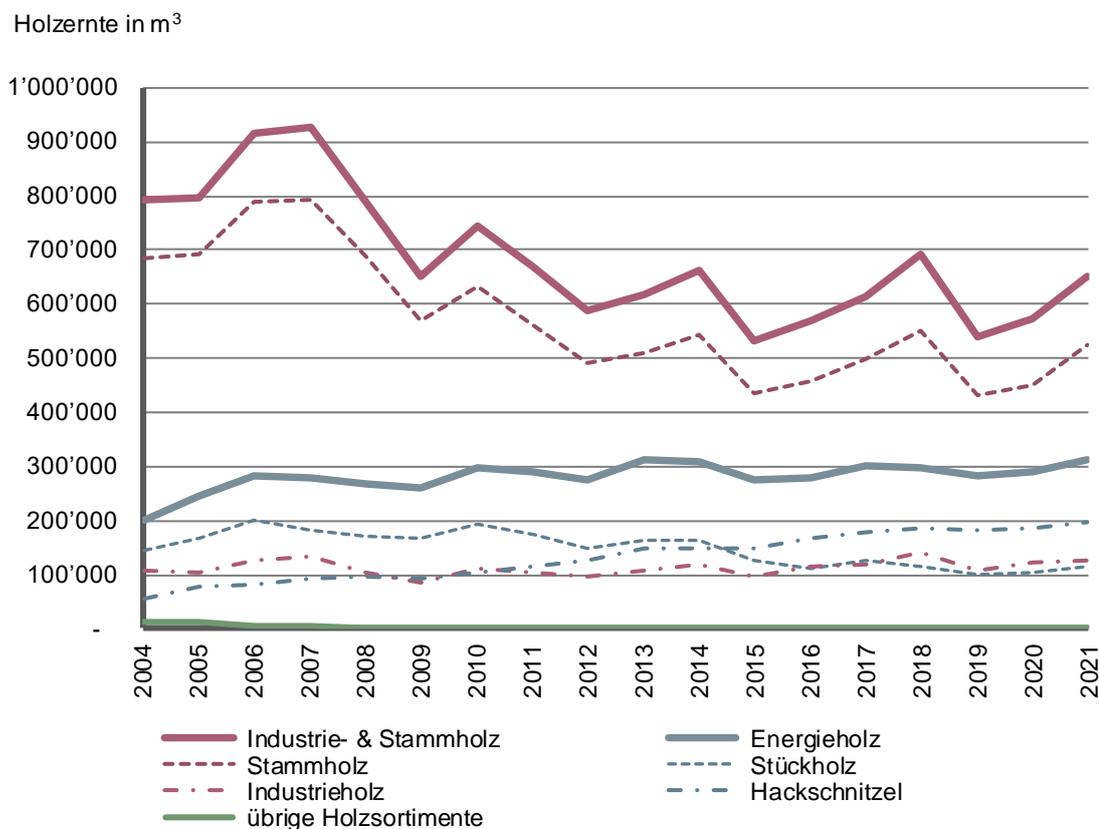
##### **Entwicklungen der Holzernte in den letzten Jahren**

Die Holzernte ist sowohl kurz- und mittelfristigen Schwankungen wie auch längerfristigen Trends unterworfen (siehe Abbildung 4): Im Jahr 2021 wurden mit ca. 650'000 m<sup>3</sup> gut 2/3 der Holzernte stofflich als Industrie- und Stammholz genutzt und 1/3 der Holzernte (310'000 m<sup>3</sup>) direkt energetisch (ohne vorherige stoffliche Nutzung) verwertet. In der längerfristigen Betrachtung hat die stofflich verwertete Menge seit 2014 abgenommen. Dieser Trend muss jedoch etwas relativiert werden, da es sich bei den Jahren 2006 und 2007 um Jahre mit ausserordentlicher Industrie- und Stammholzernte handelte. Während die stoffliche Ernte eher rückläufig ist, hat die energetische Verwertung seit 2004 kontinuierlich zugenommen und ist ab 2010 relativ konstant geblieben. Dieser Trend ist auch auf nationaler Ebene sichtbar, wo sich die energetische Verwertung von Holz von 2014 bis 2021 fast verdoppelt hat.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Quelle: Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 2022 (Detaildaten, Anhang B).

Abbildung 4: Entwicklung der Holzernte im Kanton Bern gemäss Forststatistik



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf der schweizerischen Forststatistik 2021 «Holzernte nach Kantonen» des Bundesamts für Statistik.

Hinweis: Zwischen den Nutzungszahlen gemäss Forststatistik und den Nutzungszahlen des Landesforstinventar 3 (LFI3) bzw. Landesforstinventar 4 (LFI4) bestehen erhebliche Abweichungen (wobei das LFI die «wahre Nutzung» um 5.7% überschätzt, siehe dazu den Bericht von Geo-Partner (2010)). Somit bestehen auch Differenzen zwischen den Angaben der Forststatistik und den Waldenergieholzpotenzialen der Studie von Thees; Lemm; Stadelmann (2023), welche auf dem Landesforstinventar 4 beruhen. Die Daten der Forststatistik müssten um 29.2 % erhöht werden, damit sie mit den Daten des LFI4 vergleichbar sind.

### 3.1.2 Wald- und Forstwirtschaftssystem

#### Faktoren, welche die Holzernte beeinflussen

Das Wald- und Holzwirtschaftssystem besteht aus zahlreichen Akteuren (siehe Abbildung 5), welche das Holz auf unterschiedliche Art und Weise nutzen. Das System ist ausserdem stark international verflochten. Welche Mengen Holz geerntet und wie das Holz anschliessend effektiv verwertet wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Die wichtigsten Faktoren sind:

- Der **Organisationsgrad** der Waldbewirtschaftung hat einen Einfluss auf die Logistik und Planung und damit auf die Menge Holz, die geerntet wird. Je organisierter die Waldbewirtschaftung ist, desto effizienter kann das Potenzial ausgeschöpft werden.

- Wenn der Wald schon lange **erschlossen** und bewirtschaftet ist, wird das Potenzial besser ausgeschöpft.
- **Holzmarktsituation** und **-preise**

### **Wertschöpfungskette der Forst- und Holzwirtschaft**

Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt die Wertschöpfungskette der Ressource Holz im Kanton Bern. Die Bewirtschaftung des Waldes findet entweder durch Forstbetriebe, Waldunternehmen oder die privaten Waldbesitzer selbst statt. Nach der Holzernte wird das Holz durch die Waldbesitzer selbst oder durch die regionalen Holzvermarkter oder Waldunternehmen vermarktet. Ca. 1/3 der Holzernte wird direkt als **Waldenergieholz** verkauft. Dieses wird zu Stückholz, Hackschnitzel oder allenfalls «Waldholz-Pellets» aufbereitet und anschliessend in Gebäudeheizungen, Feuerungen oder Wärmeverbunden energetisch verwertet (ohne stoffliche Nutzung). Auch das Flurholz aus privaten Gärten oder Gärtnereien wird teilweise direkt der energetischen Verwertung zugeführt – und zu einem grossen Teil kompostiert.

Ca. 2/3 der Holzernte werden als Stamm- und Industrieholz weiterverarbeitet. Das Restholz, das während der Verarbeitung in den Sägereien anfällt, wird teilweise energetisch verwertet. Ein weiterer Teil des Restholzes wird für die Platten- oder Papierherstellung verwendet. Stamm- und Industrieholz werden stofflich verwertet, z. B. als Möbel, Holzware, Konstruktionsholz in Gebäuden, Spanplatten etc. Wie viel Holz stofflich und energetisch verwertet wird, hängt stark von den Marktpreisen ab. Bis vor wenigen Jahren bestand ein Überangebot an Energieholz, was sehr tiefe Energieholzpreise zur Folge hatte. Dies hat sich in den letzten Jahren geändert. Aktuell sind sowohl die Stammholz- als auch Energieholzpreise<sup>13</sup> hoch, was teilweise die Holzernte erhöht und teilweise zu Konflikten zwischen den verschiedenen Nachfragern geführt hat.

### **Kaskadennutzung**

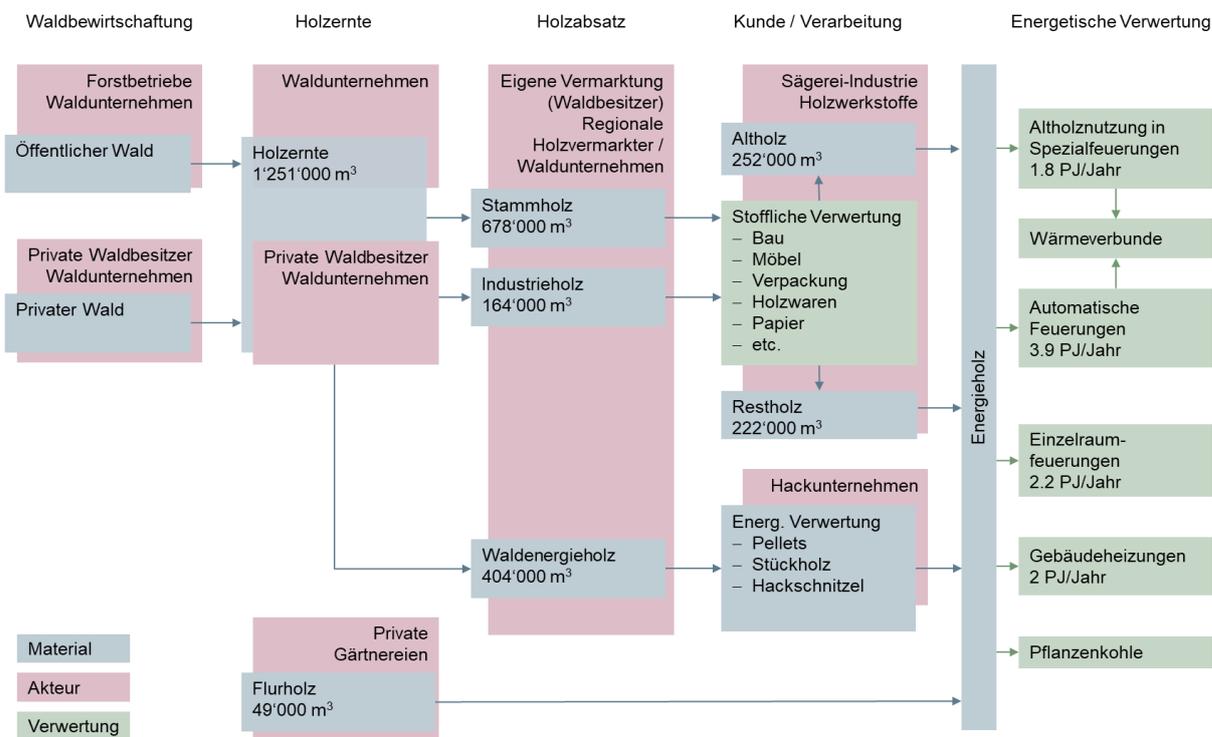
Um das Holz gesamtwirtschaftlich und ökologisch bestmöglich zu verwerten, wird wenn möglich eine Kaskadennutzung angestrebt. Nach dieser Strategie wird das Holz idealerweise nacheinander mehrfach stofflich und erst am Schluss seiner Lebensdauer energetisch genutzt. Der Kaskadenansatz stösst aber auch an Grenzen. In der Schweiz fehlen heute wichtige Abnehmer auf mehreren Stufen (beispielsweise Zellulosehersteller, Altholzverwerter), weshalb bestenfalls eine sogenannte kurze Kaskade von der Erstverwertung als Baustoff hin zur energetischen Verwertung stattfindet.<sup>14</sup> Idealerweise findet in Zukunft ergänzend zur Kaskadennutzung auch vermehrt ein Upcycling zu höherwertigen Holzprodukten statt, um so die Lebensdauer und CO<sub>2</sub>-Bindung zu erhöhen. Neu ist das Ziel eine konsequente Kreislaufwirtschaft anzustreben, welche über die Kaskadennutzung hinaus geht.

---

<sup>13</sup> Stammholzpreis: Der Preis, der für das Stammholz auf den Holzmärkten erzielt wird. Nachfrager sind vor allem Sägewerke, die das Holz zu stofflich genutzten Produkten verarbeiten. Der Energieholzpreis bildet sich auf den Energieholzmärkten differenziert nach der Art der Aufbereitung und der Qualität. Nachfrager sind Privatpersonen und Unternehmen, die Energie bereitstellen.

<sup>14</sup> Bundesamt für Umwelt BAFU (2021)

**Abbildung 5: Wertschöpfungskette des Waldwirtschaftssystems Holz und Stoffflüsse 2021 im Kanton Bern**



Quelle: Eigene Darstellung.

Daten der Holzerte, Stammholz und Industrieholz gemäss der Schweizerischen Forststatistik 2021 «Holzernte nach Kantonen» des Bundesamts für Statistik. Die Zahlen wurden um 29.2 % erhöht, damit sie mit den Nutzungszahlen von Holzenergie Schweiz (2023) vergleichbar sind.

Nutzung von Waldenergieholz, Flurholz, Altholz und Restholz im Jahr 2021 gemäss Daten von Holzenergie Schweiz (2023).

Angaben für automatische Feuerungen stammen aus der schweizerischen Holzenergiestatistik (Erhebungsjahr 2021, S. 72 & 73). Der Anlagenbestand sowie die installierte Feuerungsleistung für Einzelraumfeuerungen, Gebäudeheizungen und Altholznutzung wurden durch das AUE zur Verfügung gestellt. Weitere Angaben wurden mit den nationalen Werten aus der schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien approximiert. Siehe auch Abbildung 12.

## 3.2 Potenziale

### 3.2.1 Waldenergieholz: Potenziale und Szenarien

#### Bandbreite von 12 Szenarien für die nachhaltigen Potenziale

Die Studie von Thees; Lemm; Stadelmann (2023) hat die zukünftigen ökologisch nachhaltigen Waldenergieholzpotenziale für den Kanton Bern (differenziert nach vier Regionen Alpen, Voralpen, Mittelland, Berner Jura) abgeschätzt. Die Potenziale wurden für zwei Holzmarktpräferenzen (stoffliche vs. energetische Nutzung bevorzugt) sowie für drei Bewirtschaftungsszenarien (Referenzszenario, Vorratsanstieg und erhöhte Nutzung) ausgewiesen (siehe Abbildung 6 für die Einheiten PJ/Jahr und Abbildung 7 für die Einheiten in m<sup>3</sup>/Jahr). Ergänzend dazu unterscheiden wir zwischen ökologisch und ökologisch-ökonomisch nachhaltigen Potenzialen,

womit sich insgesamt die 12 möglichen Szenarien-Kombinationen gemäss Abbildung 6 und Abbildung 7 ergeben.

Für das ökologisch-ökonomisch nachhaltige Potenzial sind wir von den Zahlen von Thees; Lemm; Stadelmann (2023) ausgegangen. Zusätzlich wurde angenommen, dass im «normalen» Wald Holz bis zu Bereitstellungskosten von 75 CHF/m<sup>3</sup> und im Schutzwald (dank den Subventionen) bis zu Bereitstellungskosten von 150 CHF/m<sup>3</sup> wirtschaftlich genutzt werden kann (ökologisch-ökonomisch nachhaltiges Potenzial).

**Abbildung 6: Ökologisch und ökologisch-ökonomisch nachhaltiges Waldenergieholzpotenzial in PJ/Jahr im Kanton Bern**

Bewirtschaftungsszenario	Holzmarktpräferenzen	
	stoffliche Nutzung bevorzugt	energetische Nutzung bevorzugt
<b>ökologisch nachhaltiges Potenzial</b>		
Referenzszenario	[PJ/a] 5.46	5.97
Vorratsanstieg	[PJ/a] 5.18	5.65
Erhöhte Nutzung	[PJ/a] 5.96	6.49
<b>ökologisch-ökonomisch nachhaltiges Potenzial</b>		
Referenzszenario	[PJ/a] 4.65	5.07
Vorratsanstieg	[PJ/a] 4.40	4.78
Erhöhte Nutzung	[PJ/a] 5.09	5.53

Bei den Potenzialgrössen handelt es sich um den Durchschnitt der Potenziale der Jahre 2023-2053

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung basierend auf den Daten von Thees; Lemm; Stadelmann (2023).

Hinweis: Für die Berechnung des ökologisch-ökonomisch nachhaltigen Potenzials wurden im regulären Wald Bereitstellungskosten bis 75 CHF/m<sup>3</sup> und im Schutzwald Bereitstellungskosten bis 150 CHF/m<sup>3</sup> als wirtschaftlich machbar angenommen.

**Abbildung 7: Ökologisch und ökologisch-ökonomisch nachhaltiges Waldenergieholzpotenzial in m<sup>3</sup>/Jahr im Kanton Bern**

Bewirtschaftungsszenario	Holzmarktpräferenzen	
	stoffliche Nutzung bevorzugt	energetische Nutzung bevorzugt
<b>ökologisch nachhaltiges Potenzial</b>		
Referenzszenario	[m3/a] 752'292	828'430
Vorratsanstieg	[m3/a] 714'864	784'088
Erhöhte Nutzung	[m3/a] 821'619	900'724
<b>ökologisch-ökonomisch nachhaltiges Potenzial</b>		
Referenzszenario	[m3/a] 638'324	701'034
Vorratsanstieg	[m3/a] 604'135	661'551
Erhöhte Nutzung	[m3/a] 698'611	764'614

Bei den Potenzialgrössen handelt es sich um den Durchschnitt der Potenziale der Jahre 2023-2053

Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung basierend auf den Daten von Thees; Lemm; Stadelmann (2023).

Hinweis: Für die Berechnung des ökologisch-ökonomisch nachhaltigen Potenzials wurden im regulären Wald Bereitstellungskosten bis 75 CHF/m<sup>3</sup> und im Schutzwald Bereitstellungskosten bis 150 CHF/m<sup>3</sup> als wirtschaftlich machbar angenommen.

## Welches Szenario ist für das Projekt zu verwenden?

Die Wahl der Szenarien und die Frage, wann die Nutzung auch ökonomisch nachhaltig ist, ist letztlich eine Frage der Wettbewerbsfähigkeit der Forstbetriebe bzw. der gesamten Holznutzungskette sowie der Politik und kann im Rahmen des Projekts nicht abschliessend beantwortet werden. Ebenfalls kann nicht beantwortet werden, welches Szenario im Sinne einer Prognose am realistischsten ist. Die Szenarien sind deshalb im Sinne einer Bandbreite zu verstehen und verdeutlichen, dass das effektiv verfügbare Waldholz von zahlreichen Faktoren abhängt.

Im Sinne einer strategischen Ausrichtung schlagen wir vor, sich bei der Weiterverwendung der Daten von Thees; Lemm; Stadelmann (2023) auf das Holzmarktszenario **«stoffliche Nutzung bevorzugt»** auszurichten (siehe Visionsbericht). Nach Rücksprache mit dem AWN<sup>15</sup> steht zudem die Referenzbewirtschaftung (**Referenzszenario**) im Vordergrund. Dies im Wissen darum, dass es verschiedene Faktoren gibt, welche das Potenzial für die energetische Nutzung erhöhen oder reduzieren können. Um die Schwankungen in einzelnen Jahren abzufangen und eine längerfristige Aussage zu ermöglichen, wird jeweils der **Durchschnitt der Potenziale der Jahre 2023-2053** verwendet (siehe dazu den übernächsten Abschnitt).

Bei diesem Szenario<sup>16</sup> liegt das ökologisch nachhaltige Potenzial im Kanton Bern bei ca. **5.5 PJ/Jahr bzw. 750'000 m<sup>3</sup>/Jahr** (siehe Abbildung 6, Abbildung 7). Bei einer erhöhten Nutzung und / oder bei einer energetischen Holzmarktpreferenz kann diese Nutzung (vorübergehend) erhöht werden. Bei bevorzugter energetischer Nutzung liegen die Potenziale von Waldenergieholz pro Jahr um 65'000 bis 85'000 m<sup>3</sup> höher als bei der stofflich bevorzugten.

## Annahmen hinter den Szenarien

Die Annahmen für die verschiedenen Szenarien basieren auf einer übergeordneten Strategie des BAFU und einem Experten-Workshop im Rahmen der AWN-Studie von Thees; Lemm; Stadelmann (2023), bei der die einzelnen Fraktionen der holzigen Biomasse der stofflichen und energetischen Nutzung zugewiesen wurden. Der Anteil des nachhaltig nutzbaren Waldenergieholzes am gesamten nachhaltig nutzbaren Waldholz (stofflich + energetisch) beträgt in diesen Szenarien ca. 45 %. Es ist aber auch denkbar, dass mit neueren technologischen Entwicklungen wie z. B. Scrimber in Zukunft der stofflich nutzbare Anteil der holzigen Biomasse über die getroffenen Annahmen hinausgeht und somit entsprechend weniger Waldenergieholz zur direkten energetischen Nutzung zur Verfügung stehen würde. Sofern die Kaskadennutzung funktioniert, könnte dieser Anteil aber langfristig wieder als Altholz energetisch genutzt werden. Der Anteil Altholznutzung hängt aber wieder vom Import und Export von Holz über die Kantongrenzen ab und ist in diesen Szenarien nicht berücksichtigt (siehe Kapitel 3.3).

---

<sup>15</sup> Auch das AWN verwendet das Szenario „stoffliche Nutzung – Referenzszenario“. Zudem verwendet das AWN in seiner Kommunikation jeweils den Durchschnitt der Jahre 2023-2053.

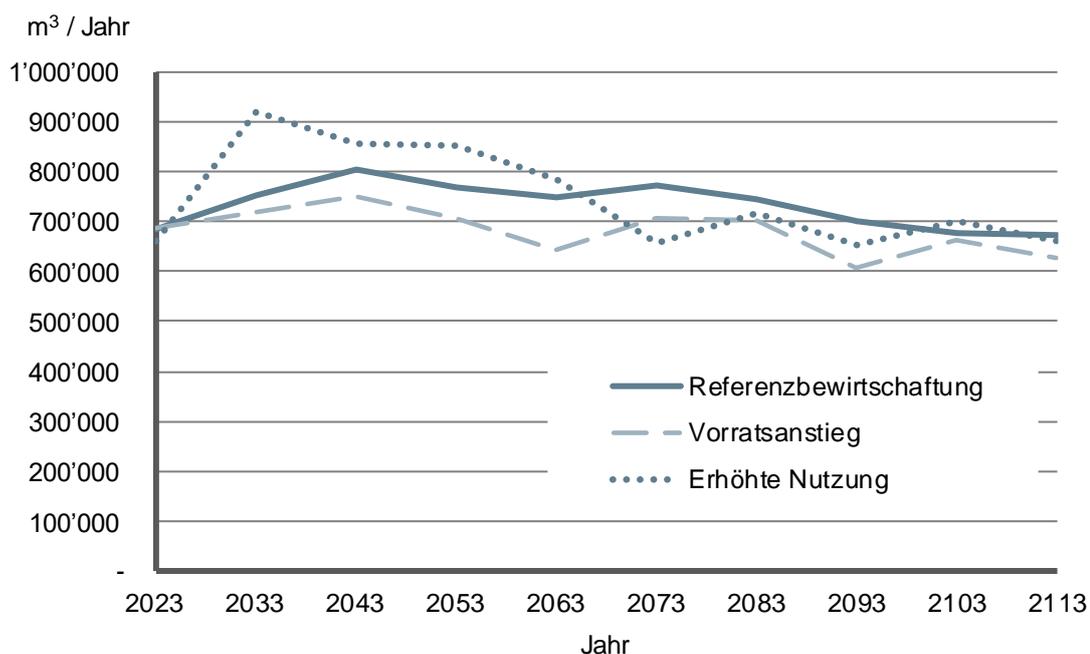
<sup>16</sup> Nachhaltiges Potenzial gemäss Thees; Lemm; Stadelmann (2023), Szenarienkombination „stoffliche Nutzung bevorzugt“, „Referenzbewirtschaftung“ und Durchschnitt der Potenziale der Jahre 2023-2053.

### Wie entwickeln sich die Waldenergieholzpotenziale über die Jahre und nach Region?

Thees; Lemm; Stadelmann (2023) haben in ihrer Studie die Entwicklung der nachhaltigen Waldenergieholzpotenziale von 2023 bis 2113 modelliert. Abbildung 8 zeigt die zu erwartenden Waldenergieholzmengen des Kantons Bern bei einer stofflich präferierten Holzmarktsituation für die drei Waldbewirtschaftungsszenarien «Referenzbewirtschaftung», «Vorratsanstieg» und «erhöhte Nutzung».

Dabei bewegen sich die Energieholzmengen für die Szenarien «Referenzbewirtschaftung» und «Vorratsanstieg» bis 2053 zwischen 700'000 und 800'000 m<sup>3</sup> pro Jahr. Beim Szenario «erhöhte Nutzung» können kurzfristig sogar bis 900'000 m<sup>3</sup> genutzt werden. Ab 2083 gleichen sich die langfristig nutzbaren Energieholzmengen an und liegen in allen Szenarien in einem ähnlichen Bereich.

**Abbildung 8: Gesamte, langfristig nutzbare Energieholzmengen des Kantons Bern nach drei Bewirtschaftungsszenarien bei einer Holzmarktsituation, welche die stoffliche Nutzung bevorzugt**

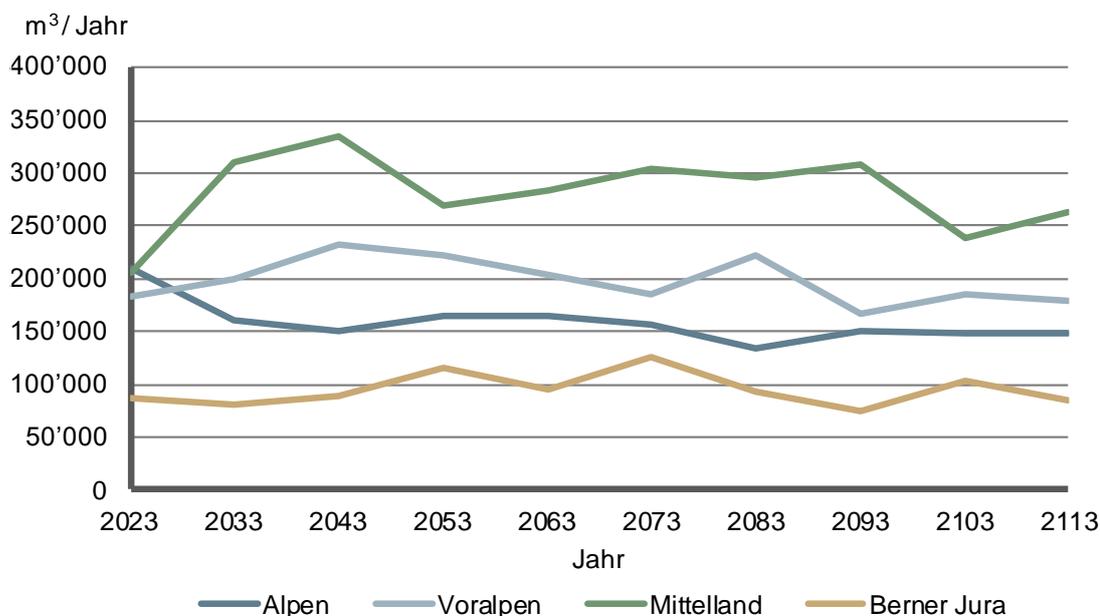


Quelle: Eigene Darstellung basierend auf den Daten von Thees; Lemm; Stadelmann (2023), S. 24.

Wie Abbildung 9 zeigt, sind die nachhaltig nutzbaren Potenziale nicht gleichmässig auf die vier Waldabteilungen des Kantons Bern verteilt (Szenario «Referenzbewirtschaftung» bei stofflicher Nutzung bevorzugt). Das grösste nachhaltig nutzbare Potenzial liegt im Mittelland, gefolgt von den Voralpen, Alpen und dem Berner Jura. Dabei fällt auf, dass die Potenziale der

Waldabteilungen über den Zeitraum bis 2113 relativ stabil bleiben (für weitere Auswertungen siehe Thees; Lemm; Stadelmann (2023)).<sup>17</sup>

**Abbildung 9: Gesamte, langfristig nutzbare Energieholzmengen der Waldabteilungen des Kantons Bern beim Szenario Referenzbewirtschaftung und einer Holzmarktpräferenz, welche die stoffliche Nutzung bevorzugt.**



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf den Daten von Thees; Lemm; Stadelmann (2023), S. 27.

### 3.2.2 Heutige energetische Nutzung holziger Biomasse

#### Wie viel holzige Biomasse wird heute bereits genutzt?

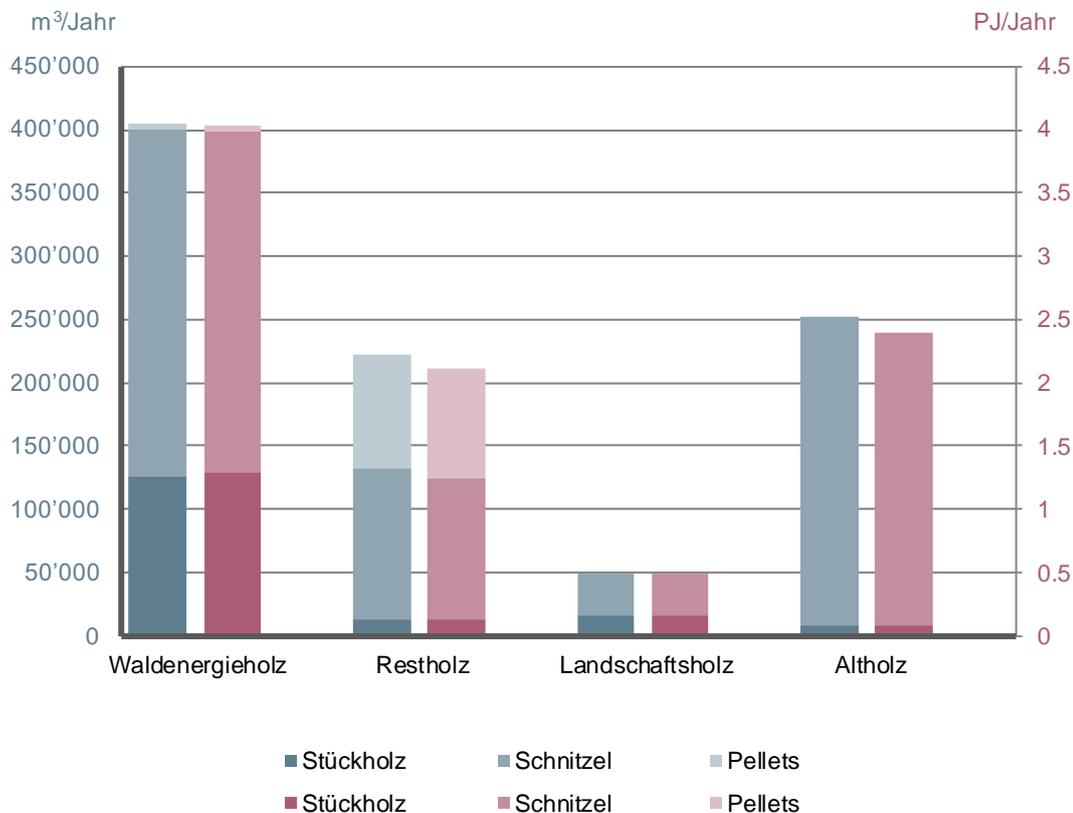
Holzenergie Schweiz hat für das BAFU die energetische Holznutzung der Schweiz und der Kantone aufgeteilt nach den holzigen Biomassefraktionen Waldholz, Restholz, Landschaftsholz (Flurholz) und Altholz abgeschätzt.<sup>18</sup> Wie in Abbildung 10 dargestellt, wurden im Jahr 2021 total 926'000 m<sup>3</sup> Energieholz im Kanton Bern energetisch verwertet (ca. 9.16 PJ). Diese verteilen sich wie folgt auf die verschiedenen Holzfraktionen:

- Waldenergieholz: 404'000 m<sup>3</sup> bzw. 4.16 PJ
- Restholz: 222'000 m<sup>3</sup> bzw. 2.11 PJ (inklusive Pellets)
- Landschaftsholz (Flurholz): 49'000 m<sup>3</sup> bzw. 0.49 PJ
- Altholz: 252'000 m<sup>3</sup> bzw. 2.4 PJ

<sup>17</sup> Hinweis: Die Waldabteilungen weisen unterschiedliche grosse Waldflächen auf. Um einen direkten Vergleich zu ermöglichen, wäre deshalb auch der Vergleich von m<sup>3</sup>/ha/Jahr relevant.

<sup>18</sup> Holzenergie Schweiz (2023)

**Abbildung 10: Nutzung von Energieholz im Kanton Bern im Jahr 2021, dargestellt als Holz- und Energiemengen (blaue Säulen: Holzmengen in m<sup>3</sup>/Jahr, rote Säulen: Energiemengen in PJ/Jahr)**



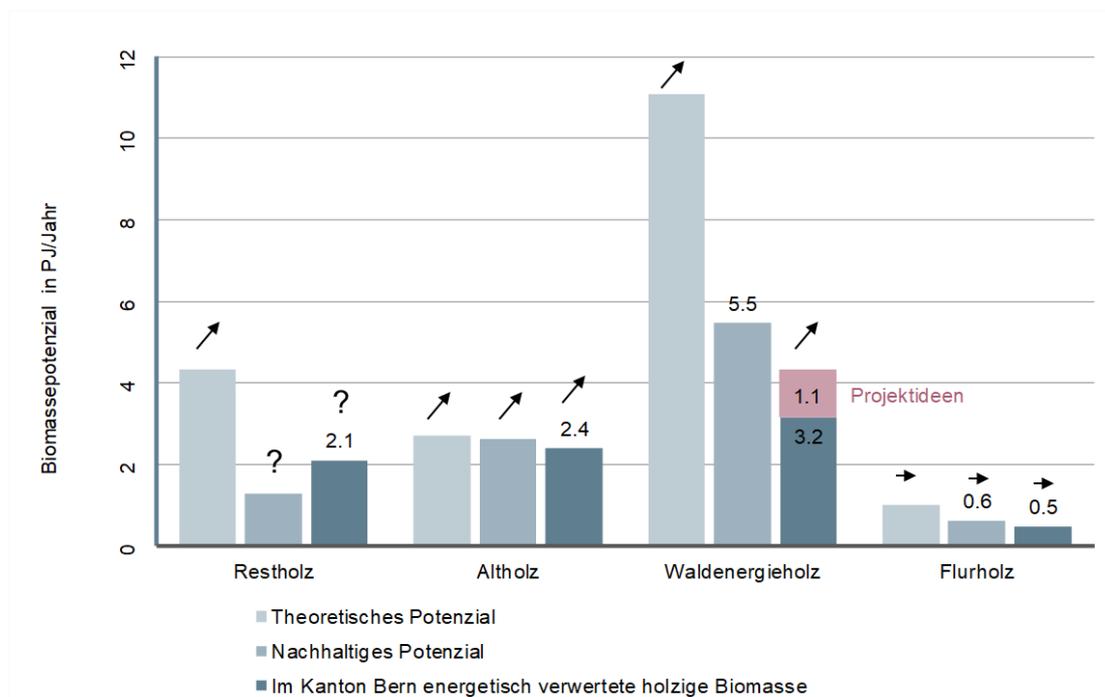
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten der Studie von Holzenergie Schweiz (2023).

### 3.2.3 Zusätzlich nutzbares Energieholzpotenzial

Abbildung 11 zeigt eine Übersicht des theoretischen Energieholzpotenzials, des nachhaltig nutzbaren Energieholzpotenzials sowie der heutigen Nutzung. Die erwartete Entwicklung für die Zukunft ist mit Pfeilen angedeutet. Das grösste nachhaltige und zusätzlich nutzbare Potenzial liegt beim Waldenergieholz. Für die Herleitung der dargestellten nachhaltigen Waldenergieholzpotenziale wird auf Abschnitt 3.2.1 verwiesen. Nachfolgend werden die verbleibenden Potenziale und die möglichen zukünftigen Entwicklungen der einzelnen Holzfraktionen erläutert.

**Abbildung 11: Energetische Potenziale holzige Biomasse**

Dargestellt sind die theoretischen, nachhaltigen und bereits genutzten Potenziale nach Biomassenfraktion. Die Pfeile und Fragezeichen deuten die erwartete Entwicklung für die Zukunft an. Für das nachhaltige Waldenergieholzpotenzial wird nicht das heutige Potenzial, sondern der Durchschnitt der Jahre 2023-2053 für die Holzmarktsituation «stoffliche Nutzung präferiert» und das «Referenzszenario» dargestellt (daher auch kein Pfeil für Zukunft).



Anmerkungen: Das nachhaltige Waldenergiepotenzial basiert auf der folgenden Szenarienkombination: Holzmarktsituation «stoffliche Nutzung präferiert» im Referenzszenario. Für weitere Informationen siehe Abschnitt 3.2.1.

Bei den Projektideen handelt es sich um Vorhaben und «Ideen», deren Realisierung (noch) nicht definitiv feststeht.

Für Erläuterungen zum Restholz siehe den nachfolgenden Abschnitt.

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf:

Thees; Lemm; Stadelmann (2023) für theoretische und nachhaltige Potenziale Waldenergieholz im Kanton Bern,

Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) für theoretische und nachhaltige Potenziale Altholz, Flurholz und Restholz

Holzenergie Schweiz (2023) für bereits genutzte Potenziale und Projektideen

Erni; Burg; Bont; u. a. (2020) und Interviewergebnisse für die zukünftigen Entwicklungen

Je nach Datenquelle wird für die holzige Biomasse die Einheit Primärenergie, Endenergie oder Nutzenergie verwendet, wobei leichte Abweichungen zwischen den drei Energieformen bestehen, da bei der Umwandlung Energie benötigt wird oder verloren geht. Die Primärenergie umfasst das im Wald anfallende Holz. Um von der Primärenergie (Holz im Wald) zur Endenergie (z.B. Schnitzel) zu gelangen, wird Energie benötigt, um das Holz im Wald zu ernten, das Holz zu hacken, pressen, trocknen etc. Von der Endenergie bis zur Nutzenergie (effektiv genutzte Energie) gibt es wiederum Energieverluste aufgrund des Nutzungsgrades. Da die Energieverluste bei der holzigen Biomasse sehr gering sind, werden die verschiedenen Energieformen im Bericht synonym verwendet.

## Waldenergieholz

Abbildung 11 zeigt das durchschnittliche **Waldenergieholzpotenzial** über den Zeitraum 2023-2053. Mit den Annahmen einer Holzmarktsituation, welche die stoffliche Nutzung präferiert, und dem Referenzszenario ergibt sich ein **nachhaltiges Potenzial** von **5.5 PJ/Jahr**.<sup>19</sup>

Die Schätzung zur **aktuellen Nutzung** beträgt **3.2 PJ/Jahr** und basiert auf den Zahlen von Holzenergie Schweiz (2023). Zusätzlich zum im Jahr 2021 genutzten Energieholz sind die geplanten Projekte («Projektideen») dargestellt (siehe roter Balken, ca. 1.1 PJ/Jahr). Bezieht man zusätzlich auch die geplanten Projekte mit ein (ca. 1.1 PJ/Jahr), so ergibt sich für den Kanton Bern ein zusätzlich nutzbares Potenzial von 1.2 PJ/Jahr; ohne diese Projekte ergibt sich ein zusätzlich nutzbares Potenzial von 2.3 PJ/Jahr.

Im Vergleich mit anderen Kantonen bestehen im Kanton Bern noch ungenutzte Potenziale. Gemäss Interviewaussagen unterscheiden sich die ungenutzten Waldenergieholzpotenziale zudem stark zwischen den **Regionen des Kantons Bern**. Während im Mittelland nur noch geringe zusätzlich nutzbare Potenziale vorhanden sind (vor allem in Privatwäldern), bestehen in den ländlichen Regionen noch ungenutzte Potenziale, vor allem in schlecht zugänglichen Gebieten. Allerdings würde das zusätzlich nutzbare Waldenergieholzpotenzial des Kantons Bern mit der Inbetriebnahme von wenigen weiteren grossen Anlagen ausgeschöpft werden.

## Restholz

Restholz umfasst Produktionsabfälle aus Sägewerken sowie Schreinereien, Zimmereien oder Möbelfabriken sowie unbehandelte Holzresten von Baustellen (Gerüstbretter, Spriessmaterial). Die Abbildung 11 erweckt den Eindruck, dass im Kanton Bern mehr Restholz energetisch genutzt wird, als anfällt (**aktuelle Nutzung** von ca. **2.1 PJ/Jahr**). Die Gründe für diese Differenz liegen vermutlich in den unterschiedlichen Datenquellen (siehe Legende Abbildung 11) mit unterschiedlichen Erhebungsjahren sowie im Export/Import<sup>20</sup> – z.B. von Pellets – über die Kantongrenzen hinweg. Die Interviewaussagen bestätigen jedoch, dass die nachhaltig nutzbaren Potenziale beim Restholz heute weitgehend ausgeschöpft sind. Wie sich die im Kanton Bern anfallenden Restholzpotenziale entwickeln, hängt stark davon ab, wo sich neue holzverarbeitende Betriebe ansiedeln bzw. ob die bestehenden Betriebe im Kanton Bern bleiben bzw. ihre Kapazitäten erhöhen, was schwierig vorherzusagen ist (darum Fragezeichen in Abbildung 11).

## Altholz

Zum Altholz gehören bereits genutzte Holzbauteile und Holzmaterialien wie zum Beispiel hölzerne Verpackungen (Kisten, Paletten), aber auch Möbel, die das Lebensende erreicht haben. Diese können nach der werkstofflichen Nutzung als Altholz energetisch verwertet werden. Das **nachhaltig nutzbare** Altholzpotenzial wird für den Kanton Bern heute auf rund **2.6 PJ/Jahr**

---

<sup>19</sup> Thees; Lemm; Stadelmann (2023)

<sup>20</sup> In der Studie von Holzenergie Schweiz (2023) zu der heutigen energetischen Nutzung der Holzigen Biomasse werden auch Pellets zum Restholz gezählt, obwohl der Rohstoff und seine Potenziale nicht kantonal eingegrenzt werden kann.

geschätzt.<sup>21</sup> Das nachhaltige Potenzial ist mit einer **heutigen Nutzung von 2.4 PJ/Jahr** schon beinahe ausgeschöpft. Geht man von einer weiteren Zunahme der Holzverwendung im Bau aus, dürfte längerfristig auch mehr Altholz (Kaskadennutzung) anfallen und auch energetisch genutzt werden. Somit würde sich sowohl das nachhaltig nutzbare wie auch die genutzte Menge Altholz in Zukunft erhöhen (sofern sie im Kanton verbleibt). Unausgeschöpfte Potenziale im Kanton Bern bestehen heute gemäss Interviewaussagen auch darin, dass (bezogen auf die gesamte Schweiz) ein nennenswerter Teil des Altholzes ins Ausland exportiert wird.<sup>22</sup>

### **Flurholz bzw. Landschaftspflegeholz**

Flurholz bzw. Landschaftspflegeholz ist holzartige Biomasse, die ausserhalb des Waldareals wächst.<sup>23</sup> Anders als bei Waldenergieholz steht beim Flurholz keine wirtschaftliche Nutzung im Vordergrund. Ausserdem hat Flurholz gegenüber Energieholzplantagen den Vorteil, dass es keine eigenen zusätzlichen Flächen beansprucht und nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion steht.<sup>24</sup>

Mit einer **heutigen Nutzung von 0.5 PJ/Jahr** bestehen beim Flurholz nur geringe zusätzlich nutzbare Potenziale (Abbildung 11). Allerdings sind hier die Unsicherheiten relativ gross, da für das genutzte Potenzial keine offizielle statistische Erhebung erfolgt und dieses modelliert bzw. berechnet wurde. Um die zusätzlichen Potenziale zu erschliessen, bestehen ökonomische, technische und ökologische Hindernisse.<sup>25</sup> Gemäss Erni; Burg; Bont; u. a. (2020) ist in Zukunft kaum mit grösseren Veränderungen der Potenziale zu rechnen.

## **3.3 Einsatzbereiche, Verbrauchsentwicklung**

Nachfolgend werden die heutige Nutzung und die zukünftige Verbrauchsentwicklung der holzigen Biomasse für die folgenden Einsatzbereiche diskutiert:

- Energetische Nutzung
- Werkstoffliche Nutzung
- Rohstoffliche Nutzung
- NET

---

<sup>21</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017).

<sup>22</sup> Erni; Thees; Lemm (2017) beziffern diesen Anteil im Jahr 2014 auf fast einen Drittel. Gemäss dieser Studie hatte der Kanton Bern zu diesem Zeitpunkt die grössten Altholzpotenziale der Schweiz, wobei der grösste Teil dieser Ressource vor Ort energetisch genutzt und nur eine geringe Menge ins Ausland exportiert wurde.

<sup>23</sup> Beispielsweise wächst Flurholz bzw. Landschaftspflegeholz auf Grünflächen entlang von Strassen und Bahnen, an Uferbereichen, in Siedlungsgebieten (bspw. Park-, Sportanlagen, Friedhöfe), als Hecken im Kulturland oder auf landwirtschaftlichen Nutzflächen (bspw. in Obstanlagen oder Weinbergen).

<sup>24</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017).

<sup>25</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017).

## a) Einsatzbereiche der energetischen Nutzung

Die klassischen Verfahren zur energetischen Nutzung von Holz sind Verbrennung, Vergasung und Vergärung. Ein neu aufkommender Bereich ist zudem die Pyrolyse (siehe dazu den Exkurs Pflanzenkohle im Anhang 6.1). Das Energieholz wird in verschiedenen Anlagentypen verwertet und danach den unterschiedlichen energetischen Einsatzbereichen zugeführt.

### Energieholzverbrauch nach Anlagentyp

Bei der Diskussion der energetischen Nutzung von holziger Biomasse ist insbesondere auch interessant, wie sich diese energetische Holznutzung auf die verschiedenen Anlagentypen verteilt. Abbildung 12 zeigt den Energieholzverbrauch im Kanton Bern aufgeteilt nach Einzelraumfeuerungen, Gebäudeheizungen, automatischen Feuerungen sowie Altholznutzung in Spezialfeuerungen. Die Datenlage zur energetischen Verwertung von Holz nach Anlagentyp im Kanton Bern ist lückenhaft. Deshalb basieren die Zahlen der Abbildung auf diversen Annahmen und wurden aufgrund von schweizweiten Daten approximiert. Addiert man den Energieverbrauch von Holz nach Anlagentyp, beträgt die Gesamtnutzung von Energieholz ca. 8.79 PJ im Jahr 2021 (siehe Abbildung 12), was mit den Daten von Holzenergie Schweiz (2023) von 9.16 PJ vergleichbar ist.

Abbildung 12: Energieholzverbrauch im Kanton Bern im Jahr 2021

	Anlagenbestand (31.12.2021)	Install. Feuerungsleist. [MW]	Energiever- brauch Holz* [PJ]	Genutzte Wärme [PJ]	erneuerbare elektrisch produzierte Energie [PJ]
Einzelraumfeuerungen mit Holz**	120'000	651	1.08	0.65	0.00
Gebäudeheizungen mit Holz	13'865	418	2.02	1.51	0.00
Automatische Feuerungen mit Holz	2'373	481	3.89	2.93	0.21
Altholznutzung in Spezialfeuerungen	19	122	1.80	1.08	0.13
<b>Total</b>	<b>136'257</b>	<b>1'671</b>	<b>8.79</b>	<b>6.16</b>	<b>0.34</b>

\*Für den Energieverbrauch von Holz wurden klimaneutrale Werte der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien verwendet

\*\*Die Verbrauchsmenge der Einzelraumfeuerungen wurde um 50% reduziert

Quelle: Eigene Berechnung. Die Angaben für automatische Feuerungen stammen aus der schweizerischen Holzenergiestatistik (Erhebungsjahr 2021, S. 72 & 73). Der Anlagenbestand sowie die installierte Feuerungsleistung für Einzelraumfeuerungen, Gebäudeheizungen und Altholznutzung wurden durch das AUE zur Verfügung gestellt. Weitere Angaben wurden mit den nationalen Werten aus der schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien approximiert. Die Verbrauchsmengen der Einzelraumfeuerungen wurden um 50% reduziert, um den überschätzten Holzverbrauch in Klein-Holzheizungen (Cheminéeöfen und Kachelöfen) zu kompensieren.

Der Energieholzverbrauch im Kanton Bern verteilt sich wie folgt auf die verschiedenen Anlagentypen:

- **Einzelraumfeuerungen mit Holz** verwerteten 2021 ca. **1.08 PJ** holzige Biomasse und machen zahlenmässig den weitaus grössten Anteil der Anlagen aus. Dabei handelt es sich v.a. um Feuerungen in privaten Haushalten. Gemäss Schätzungen des kantonalen Kaminfegermeisterverbandes sind im Kanton Bern ca. 120'000 Einzelraumfeuerungen installiert,

wobei der Kanton Bern im nationalen Vergleich überdurchschnittlich viele Anlagen hat. Hier gibt es grosse Unterschiede der Nutzung, wobei einzelne Haushalte Einzelraumfeuerung im Winter täglich und andere nur einmal im Jahr brauchen. Es ist davon auszugehen, dass die Nutzung von Holz in Einzelraumfeuerungen überschätzt wird, weshalb die Verbrauchsmengen der Einzelraumfeuerungen um 50%<sup>26</sup> reduziert wurde.

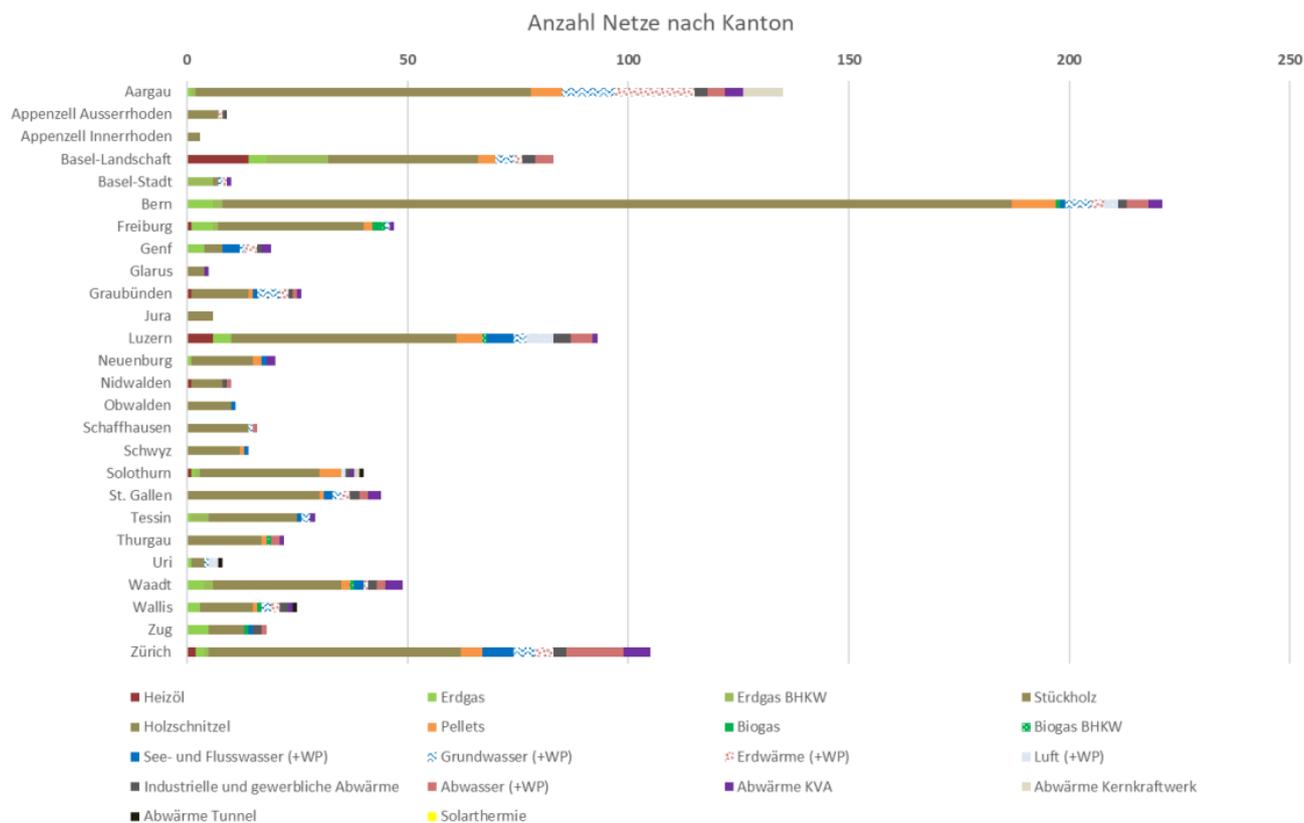
- Die **Gebäudeheizungen mit Holz** machen mit einem Anlagenbestand von ca. 13'870 zahlenmässig die zweitgrösste Anlagenkategorie aus. Hier wurden 2021 ca. 2 PJ aus holziger Biomasse bereitgestellt.
- Die **automatischen Feuerungen mit Holz** liefern mit 3.9 PJ am meisten Energie.
- Bei der **Altholznutzung in Spezialfeuerungen** handelt es sich bei den meisten Anlagen um Wärmeverbünde. Die Daten ergeben eine Wärmeproduktion von ca. 1.8 PJ.

Ein Teil des Energieholzes wird in **Wärmeverbänden** eingesetzt. Im Kanton Bern bestanden 2021 insgesamt 221 Wärmeverbünde, die zum Grossteil mit Holz betrieben wurden. Im Vergleich mit anderen Kantonen gibt es damit im Kanton Bern bereits sehr viele Wärmeverbünde (siehe Abbildung 13). Gemäss Interviewaussagen bestehen zahlreiche Bemühungen für weitere Wärmeverbünde (siehe u. a. die geplanten Projekte in Abbildung 11), was die Nutzungskonflikte verstärken bzw. zu Versorgungsengpässen mit Energieholz führen könnte.

---

<sup>26</sup> Gemäss Absprache mit dem AUE. Holzenergie Schweiz (2023) geht in der neuen Datenerhebung von einer Reduktion der Verbrauchsmenge in Kaminöfen auf 40% und einer Reduktion der Verbrauchsmenge in Kachelöfen auf 80% aus.

Abbildung 13: Anzahl Thermische Netze nach Kanton und Hauptenergieträger



Quelle: Verband Fernwärme Schweiz VFS (2022), S. 10.  
Dieser Verband heisst heute anders: Thermische Netze Schweiz TNS

Hinweis: Die Netze konnten bisher noch nicht vollständig erfasst werden. somit. Die Abbildung zeigt einen Zwischenstand der Erfassung und ist deshalb nicht vollständig.

## Einsatz für Raumwärme und Warmwasser

Warmwasser und Raumwärme machen heute einen Hauptanteil am Energieverbrauch der Schweiz aus. Bisher wird ein grosser Teil dieses Bedarfs durch Heizöl und Erdgas gedeckt. Der Wärmebedarf übersteigt die nachhaltig verfügbaren Potenziale der Biomasse um ein Vielfaches.<sup>27</sup> Gemäss der Vision 2050+ für den Kanton Bern ist die zukünftige Deckung von Raumwärme und Warmwasser mit dem Einsatz von Biomasse deshalb in der Regel keine uneingeschränkt geeignete Option, zumal vor allem mit Wärmepumpen Alternativen zur Defossilisierung von Raumwärme bestehen. Sinnvoll kann jedoch die Deckung der **Spitzenlast im Winter** sowie die Bereitstellung von Warmwasser aus Holz sein. In solchen Fällen kann sich auch eine Kombination von Wärmepumpen und der energetischen Nutzung holziger Biomasse anbieten. Zudem kann in ländlichen Regionen, wo viel Holz vor Ort anfällt, der Einsatz im Raumwärmebereich weiterhin sinnvoll sein.

<sup>27</sup> Nussbaumer (2023).

### Einsatz für Prozesswärme

Die Energieperspektiven 2050+<sup>28</sup> sowie das White Paper Wood<sup>29</sup> des Schweizer Programm SCCER BIOSWEET gehen davon aus, dass **Energieholz vor allem zur Dekarbonisierung bei höhertemperaturigen Prozessen** zum Einsatz kommen soll. Wärmepumpen, wie sie für die Raumheizung und Warmwasserbereitung eingesetzt werden, sind für die Bereitstellung von Prozesswärme nicht geeignet.<sup>30</sup> Auch am Workshop war unter den beteiligten Akteuren weitgehender Konsens zu einem verstärkten Einsatz der holzigen Biomasse im Hochtemperaturbereich vorhanden. Für weitere Informationen wird auf den Visionsbericht verwiesen.

### b) Einsatzbereiche der werkstofflichen Nutzung

Es wird eine deutliche Steigerung der werkstofflichen Nutzung von regionalem Holz erwartet, insbesondere als Baumaterial im Gebäudebereich. Neben dem Einsatz im Baugewerbe sind auch andere werkstoffliche Nutzungen wie z. B. zur Herstellung von Möbeln denkbar. Um einen möglichst grossen Umweltnutzen zu erzielen, sind vermehrt Kreisläufe und eine stärkere Kaskadennutzung anzustreben. **Damit sollen auch Waldholzsortimente, die bisher nicht oder energetisch genutzt wurden, vermehrt stofflich genutzt werden. Neue Verfahren und Technologien können dabei neue Möglichkeiten eröffnen.** Im Sinne einer Vision sei an dieser Stelle das Beispiel eines Bioproduktewerks genannt. Ein solches konzentriert sich auf die stoffliche Nutzung und erzeugt naturverträgliche Produkte, Energie und Nebenströme aus Holz. Es arbeitet mit mechanischen, chemischen und biochemischen und biotechnologischen Verfahren und orientiert sich an höchsten Anforderungen nachhaltiger Geschäftsmodelle.<sup>31</sup>

**Besonderes Potenzial besteht bei der Versorgung des Holzbaus mit verleimten Querschnitten aus Schweizer Holz und Produktion. Diese Entwicklungen stehen in Einklang mit den Zielen der Ressourcenpolitik Holz 2030.**<sup>39</sup> Damit solche neuen Technologien verbessert und vermehrt eingesetzt werden können, müssen Anbieter und Nachfrager kooperieren, sowie Verbände, Unternehmen und die Sektoralpolitik gemeinsam bessere Rahmenbedingungen schaffen.

### c) Einsatzbereiche der rohstofflichen Nutzung

Ein bisher kaum genutzter Einsatzbereich ist die rohstoffliche Nutzung der (holzigen) Biomasse. Gemäss Brethauer; Riediker; Thees; u. a. (2021) und Badra (2023) könnte die holzige Biomasse (oder auch sonstige Biomasse) künftig ein wichtiger Rohstoff für die **chemische Industrie** sein. Die holzige Biomasse kann als Kohlenstoffquelle dienen, um die bisherigen Kohlenstoffquellen Erdöl und Erdgas zu ersetzen und die Chemieindustrie zu defossilisieren.

---

<sup>28</sup> Prognos; INFRAS (2021).

<sup>29</sup> Thees; Erni; Burg; u. a. (2023)

<sup>30</sup> Brethauer; Riediker; Thees; u. a. (2021).

<sup>31</sup> Lehner (2018)

Anstelle von Holz als direkter Kohlenstoffquelle kann das CO<sub>2</sub> zur Defossilisierung auch aus der Atmosphäre entzogen werden oder nach der Verbrennung direkt bei den KVA oder Industrieeöfen bzw. industriellen Prozessen abgeschieden und genutzt werden. Dieses Verfahren nennt sich «Carbon Capture and Utilization» (CCU). CCU ist allerdings nur dann CO<sub>2</sub>-neutral, wenn CO<sub>2</sub> bei der Verbrennung von Holz (oder von biogenen Abfällen) abgeschieden und einer weiteren Nutzung zugeführt wird. In welchem Umfang die holzige Biomasse in diesen Prozessen in Zukunft eine Rolle spielen wird, ist noch unklar.

#### **d) Einsatzbereich NET**

Ein Thema, das immer mehr an Bedeutung gewinnt, ist der Einsatz von Negativemissionstechnologien. Dazu gehören Verfahren, mit denen CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entfernt und dauerhaft gespeichert werden kann. NET umfasst sowohl technische (z. B. BECCS<sup>32</sup> und DACCS<sup>33</sup>) als auch biologische Ansätze (Wald- und Bodenmanagement sowie Pflanzenkohle). BECCS (Bioenergie mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung) ist ein Verfahren, welches spezifisch auf Bioenergieanlagen ausgerichtet ist und das CO<sub>2</sub> abscheidet und speichert.

Ein weiterer NET-Einsatzbereich, der kontrovers diskutiert wird, ist der Einsatz von (holziger) Biomasse zur Herstellung von Pflanzenkohle (siehe dazu auch den Exkurs im Anhang 6.1). Bei dieser rohstofflichen Nutzung<sup>34</sup> wird aus der holzigen Biomasse mittels Pyrolyse Pflanzenkohle hergestellt. Bisher wird die Pyrolyse v.a. bei grossen Anlagen angewandt. Da in der Schweiz aktuell nur holzige Biomasse für die Herstellung von Pflanzenkohle zugelassen ist, konzentriert sich die Diskussion aktuell v.a. auf diese Biomassefraktion. Eine (verstärkte) zukünftige Nutzung von holziger Biomasse zur Herstellung von Pflanzenkohle würde in Konkurrenz zu anderen Nutzungsformen (stofflich, energetisch) stehen und könnte die Nutzungskonflikte bzw. den Wettbewerb um den Rohstoff verstärken. Falls in Zukunft neben der holzigen Biomasse auch weitere Ausgangsstoffe (z. B. Hofdünger, weitere Biomassen) für die Herstellung von Pflanzenkohle zugelassen würden, könnte sich der Druck auf die holzige Biomasse reduzieren.

#### **e) Fazit für die zukünftigen Einsatzbereiche für holzige Biomasse**

In Zukunft ist mit einem vermehrten Einsatz der holzigen Biomasse in den folgenden Bereichen zu rechnen (für mehr Informationen wird auf den Visionsbericht verwiesen):

- Zunahme der werkstofflichen Nutzung von Holz (insbesondere im Bausektor)
- Energetische Nutzung zur Wärmebereitstellung, vor allem als Prozesswärme und zur Spitzenlastdeckung

---

<sup>32</sup> Bioenergy with Carbon Capture and Storage.

<sup>33</sup> Direct Air Carbon Capture and Storage.

<sup>34</sup> BECCS (Bioenergie mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -speicherung): Bei der rohstofflichen Verwertung geschieht eine chemische Veränderung der verwerteten Biomasse z.B. indem mit dem Pyrolyseverfahren Pflanzenkohle hergestellt wird. Die dabei entstehende Pflanzenkohle kann anschliessend stofflich eingesetzt werden (z.B. in der Baubranche oder durch chemische Verwertung).

- Zusätzliche rohstoffliche Nutzung

### 3.4 Herausforderungen und Lösungsansätze für die Zukunft

Gemäss dem Solutionscape-Ansatz<sup>35</sup> wurden als Teil der Systemanalyse die grössten Herausforderungen und die wichtigsten Stellschrauben in den Interviews mit Expert/-innen identifiziert und hergeleitet. Diese wurden anschliessend im Rahmen des Workshops aufgenommen und weiterentwickelt. Die wichtigsten Herausforderungen im Sinne von Zielkonflikten oder Hürden für eine ganzheitliche Nutzung der holzigen Biomasse sind in der nachfolgenden Abbildung 14 aufgeführt. Daraus leiten sich wichtige Stossrichtungen für die zukünftige Entwicklung ab. Für weitere Informationen wird auf den Visionsbericht verwiesen.

**Abbildung 14: Wichtigste Rahmenbedingungen, Zielkonflikte und Hürden bei der holzigen Biomasse und Stossrichtungen für die Zukunft**

Herausforderung	Kurzbeschreibung	Stossrichtungen, Lösungsansätze
Tiefer Organisationsgrad in der Waldwirtschaft	Wichtige Hürden zur Nutzung der Potenziale in Randregionen sind der tiefe Organisationsgrad der Waldwirtschaft (Stichwort kleine Privatwälder) und die teils mangelnde Erschliessung.	– Aktive Holzwirtschaft
Unsicherheiten aufgrund des Klimawandels	Störungen / Ereignisse aufgrund des Klimawandels nehmen zu und erschweren die Planbarkeit und den Einsatz der holzigen Biomasse zusätzlich. Deshalb sind resiliente Systeme gefordert.	– Resiliente Wald-Wirtschaftssysteme – Aktive Wald- und Holzwirtschaft – Differenzierte Förderung
Zunehmende Nutzungskonflikte und Versorgungsengpässe	Der Bedarf nach holziger Biomasse wird in den nächsten Jahren aus verschiedenen Einsatzbereichen weiter zunehmen: – Vermehrte stoffliche Nutzung (Bausektor) – Weitere Wärmeverbunde sind in Planung – Nutzung der holzigen Biomasse als C-Quelle in der chemischen Industrie – Nutzung der holzigen Biomasse als Kohlenstoff-Senke (z. B. Pflanzenkohle) Gleichzeitig sind die verbleibenden Potenziale beschränkt. Es ist somit davon auszugehen, dass sich unter gleichbleibenden Bedingungen die Nutzungskonflikte verstärken. Als Folge steigt auch das Risiko, dass die Versorgungssicherheit mancher Anlagen nicht mehr gewährleistet werden kann.	Energieholzpotenziale und -verwertung monitoren: – Verbesserung regionale <u>Datengrundlagen</u> – Verfügbarkeits- bzw. <u>Versorgungsnachweis</u> – Nationales / kantonales <u>Monitoring</u> als Früherkennung und Anpassung von politischen Programmen Innovationen zur Optimierung der Kaskadennutzung und des Upcyclings vorantreiben: – Energiefördersysteme regional ausrichten und Fehlanreize in den Fördersystemen reduzieren – Regionale Wertschöpfung von Wald und Holz stärken – Differenzierte <u>Fördersysteme</u>
Zusätzlicher Einsatzbereich als NET	– BECCS bietet eine Möglichkeit, die Biomasse als C-Senke zu benutzen, welche die energetische Nutzung nicht konkurrenziert. – Bisher wird die Pyrolyse v.a. bei grossen Anlagen angewandt. Damit die Pyrolyse in grösserem Stil angewendet werden kann, müssen die bestehenden Anlagen zuverlässiger und günstiger werden.	– Förderung von technologischen Entwicklungen

<sup>35</sup> Wyss Academy for Nature (2022)

Herausforderung	Kurzbeschreibung	Stossrichtungen, Lösungsansätze
Holzpreise, internationale Verflechtung	Nationale oder kantonale Eingriffe in den Holzmarkt sind aus zwei Gründen i.d.R. schwierig: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Die (relativen) Holzpreise beeinflussen stark, wie das Holz genutzt wird (energetisch vs. stofflich).</li> <li>– Aufgrund der starken internationalen Verflechtung sind auch die nationalen Holzpreise stark von den internationalen Holzpreisen abhängig.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Überprüfung der nationalen und kantonalen Anreizsysteme.</li> <li>– Differenzierte Förderung (z. B. regionale Unterschiede, stoffliche Nutzung stärken)</li> </ul>
Technologische Hürden zum Einsatz von Pyrolyse für Pflanzenkohle	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bisher wird Pyrolyse v.a. in grossen Anlagen angewandt. Um Pflanzenkohle im grossen Stil zu verbreiten, braucht es zuverlässigere und günstigere Anlagen.</li> <li>– Bisher gibt es in der Schweiz erst einen Pyrolyseanlagenbauer, womit der Markt sehr eingeschränkt ist.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Unterstützung von Forschung zu Pyrolysetechnologie und -anlagen</li> <li>– Anreize setzen zum Bau von Pyrolyseanlagen</li> </ul>
Raumplanerische Hürden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fehlende Lagerplätze für Altholz</li> <li>– Raumplanerische Hürden bei der Bewilligung von Lagerplätzen für Altholz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Raumplanerische Hürden identifizieren, und falls nötig abbauen</li> </ul>
Hemmnisse zum Einsatz von Holz im Baubereich	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Heute ist es bereits möglich, mit Holz Plusenergie-Überbauten und -Quartiere zu bauen. Aufgrund vom fehlenden Bewusstsein, persönlichen Präferenzen oder Normen (z. B. SIA-Normen) bestehen aber Hürden zum Einsatz von Holz im Gebäudebereich.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hürden für die baustoffliche Nutzung identifizieren und abbauen</li> </ul>
Emissionen bei der Verbrennung (Vollzugsschwierigkeit)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Holzfeuerungen machen immer noch rund 16 % der gesamten Feinstaubemissionen der Schweiz aus. Die Feinstaubemissionen sollen trotz zunehmender Verbrennung von Energieholz in Zukunft abnehmen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verbrennung von Holz in grösseren und mit Filtertechnologie ausgerüsteten Anlagen</li> <li>– Einsatz von Elektrofilter in Kleinholzfeuerungen bis 70 kW</li> <li>– Konsequenterer Vollzug des Verbots von Verbrennungen in freier Natur</li> </ul>

Hinweis: Die in den Interviews und am Workshop am wichtigsten erachteten Stossrichtungen wurden in der Vision 2050+ (siehe Visionsbericht) weiter vertieft und ausgeführt.

## 4 Hofdünger, landwirtschaftliche Biogasanlagen

### 4.1 Potenziale

Beim Hofdünger bestehen noch grosse (energetisch und stofflich) ungenutzte Potenziale (vgl. Abbildung 15). Unter Hofdünger werden alle Ausscheidungen aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung zusammengefasst (sowohl in flüssiger als auch in fester Form; Gülle, Vollgülle und Mist).

Das **theoretische** Hofdüngerpotenzial für den Kanton Bern wird auf ca. 3.5 PJ/Jahr (potenzieller Methanertrag) geschätzt und umfasst den Hofdünger, der aktuell in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung in einem Jahr anfällt. Davon sind gemäss Thees et al. (2017) **1.8 PJ/Jahr nachhaltig** energetisch nutzbar. Dies ist vor allem auf die Kleinstrukturen der Schweizer Landwirtschaft und die entsprechenden organisatorischen Hindernisse zurückzuführen, die es schwierig machen, den vorhandenen Hofdünger zu nutzen. Sowohl technisch als auch ökologisch könnte nämlich ein deutlich höherer Anteil genutzt werden.<sup>36</sup> **Heute wird erst ein sehr geringer Anteil** des nachhaltigen Potenzials energetisch genutzt, gemäss eigenen Berechnungen mit Daten des AUE ca. 0.1 PJ/Jahr.<sup>37</sup>

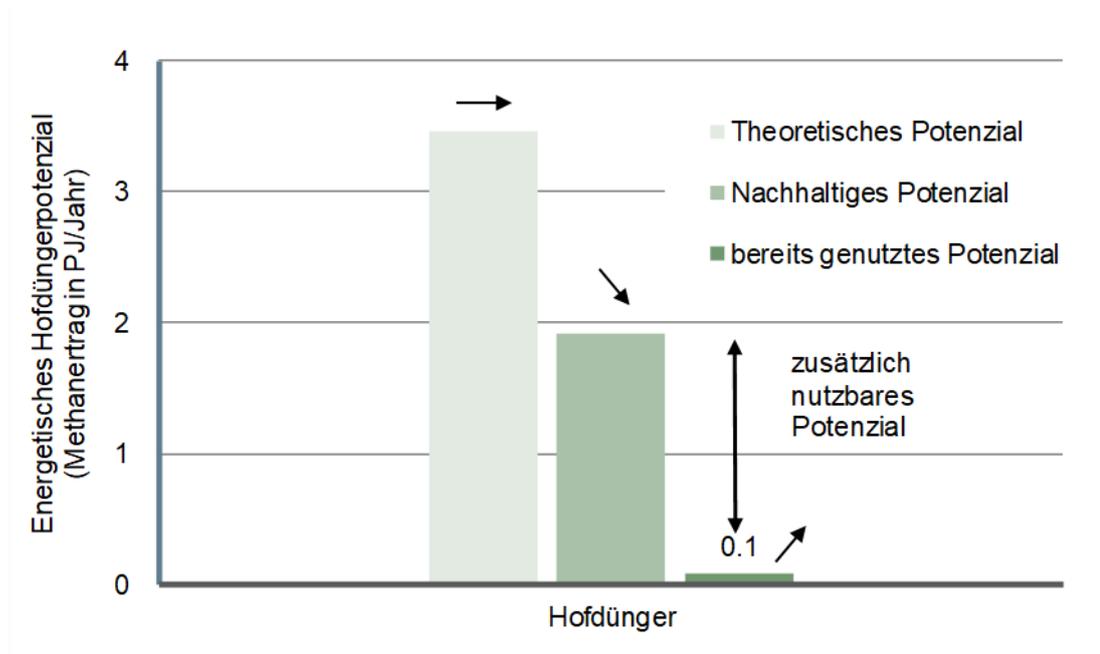
---

<sup>36</sup> Schnorf; Trutnevyte; Bowman; u. a. (2021) sowie Siegrist; Bowman; Burg (2022)

<sup>37</sup> Siehe Anhang 6.2 zu den Datengrundlagen

**Abbildung 15: Energetische Potenziale von Hofdünger**

Dargestellt sind das theoretische, nachhaltige und bereits genutzte Potenzial. Die Pfeile deuten die erwartete Entwicklung für die Zukunft an.



Quelle: Eigene Darstellung. Das theoretische und nachhaltige Potenzial (potenzieller Methanertrag) basiert auf Thees; Burg; Erni; u. a. (2017). Das bereits genutzte Potenzial wurde anhand von Daten des AUE zu Biogasanlagen aus der KEV-Bezügerliste 2020 berechnet. Die Pfeile deuten an, wie sich das nachhaltige Potenzial und die Nutzung des Hofdüngers in Zukunft entwickeln könnte.

Zur Berechnung des nachhaltigen Potenzials werden vom theoretischen Potenzial (dies entspricht dem in einem Jahr anfallenden Hofdünger aus der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung im Kanton Bern) folgende Hofdüngermengen abgezogen:<sup>38</sup>

- Hofdüngerverluste durch Weidegang
- Hofdünger der Gebiete mit zu geringem Hofdüngeranfall, um den Betrieb einer dezentralen Biogasanlage mit dem Hofdünger aus der engeren Nachbarschaft zu ermöglichen

Zwei gegenläufige Entwicklungen können das nachhaltig nutzbare Potenzial in Zukunft erhöhen oder vermindern: Einerseits reduziert sich das Potenzial unter einem Szenario einer Landwirtschaft mit weniger Viehhaltung. Andererseits könnte es sich auch erhöhen, falls neue Technologien und/oder Kooperationen der Landwirt/-innen dazu führen, dass sich die Verwertung auch bei geringeren Mengen lohnt (siehe restriktive Annahme für Gebiete mit geringem Hofdüngeranfall). Für den vorliegenden Bericht gehen wir davon aus, dass aufgrund einer geringeren Anzahl Nutztiere (siehe z.B. die «Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung 2050»<sup>39</sup>)

<sup>38</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017).

<sup>39</sup> BLW, BLV, BAFU (Hrsg.) (2023).

und mehr Weidegang etwas weniger Hofdünger anfallen wird. Gleichzeitig werden die Betriebe seit Jahren grösser, was die Nutzung von Hofdünger wiederum vereinfacht.<sup>40</sup>

### **Zusätzliche nachhaltige Potenziale – aber heute noch nicht nutzbar**

Gemäss den Abschätzungen von Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) besteht also noch ein grosses ungenutztes, nachhaltiges Potenzial (potenzieller Biomethanertrag) von ca. **1.7 PJ/Jahr**, welches heute aber noch nicht nutzbar ist. Mit den heute verfügbaren Technologien ist die energetische Nutzung des Hofdüngers oftmals wirtschaftlich nicht tragfähig und es bestehen noch weitere Hürden, welche die energetische Verwertung erschweren (siehe Kapitel 4.3). Um das ungenutzte Hofdüngerpotenzial mobilisieren zu können, sind darum wesentliche Weiterentwicklungen nötig.<sup>41</sup> Zurzeit sind zahlreiche Technologien für Biogasanlagen<sup>42</sup> in Entwicklung. Die Unsicherheiten sind allerdings gross bzw. es ist heute schwer abschätzbar, wie viel Hofdünger in Zukunft mit den Technologien genutzt werden kann. Chancen bieten u.a. Kooperationen der Landwirt/-innen, um die Ressourcen gemeinsam nutzen zu können. Auch Gemeinden und Kantone könnten dazu beitragen, die Zusammenarbeit und Implementierung zu erleichtern (z.B. Genehmigungsverfahren vereinfachen; Ausweisung von Gebieten, die sich für den Bau von Biogasanlagen besonders eignen). Je nach Bemühungen wird in Zukunft mehr oder weniger Hofdünger genutzt werden.

Weiter zu betrachten ist bei den zusätzlich nutzbaren Potenzialen die räumliche Verteilung. Die Karte im Anhang (Abbildung 26) zeigt die nachhaltig nutzbaren Hofdüngerpotenziale, aufgelöst auf Gemeindeebene und die bereits bestehenden landwirtschaftlichen Biogasanlagen.

## **4.2 Einsatzbereiche, Verbrauchsentwicklung**

### **Heutige Einsatzbereiche**

Hofdünger wird hauptsächlich durch anaerobe Vergärung in Biogas umgewandelt und anschliessend zu Biomethan aufbereitet. In Pilotanlagen findet z.T. auch eine direkte hydrothermale Vergärung zu Biomethan statt. Das Biogas wird zur Produktion von Strom und/oder Wärme genutzt oder ins Erdgasnetz eingespeist.

Im Kanton Bern werden aktuell:<sup>43</sup>

- **15 landwirtschaftliche Biogasanlagen** betrieben,
- welche eine **Gesamtleistung von 3'103 kW** haben
- und pro Jahr **16'325'000 kWh Elektrizität produzieren**

<sup>40</sup> Vgl. Burg; Bowman; Hellweg; u. a. (2019)

<sup>41</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017).

<sup>42</sup> Für Beispiele von technologischen Entwicklungen zur energetischen Nutzung von Hofdünger wird auf Burg; Bowman; Thees; u. a. (2021) verwiesen.

<sup>43</sup> Quelle: KEV-Bezüger/innenliste 2021, Auskunft AUE.

Die produzierte und verbrauchte Biogasmenge wird nicht erhoben, und auch die produzierte und genutzte Wärme ist nicht bekannt. Da die meisten Biogasanlagen nicht an ein Wärmenetz angeschlossen sind, verbrauchen sie die Wärme entweder selbst oder lassen sie verpuffen. Für die vorliegende Ist-Analyse ist dieser Wärmeverlust zu vernachlässigen, bei einer allfälligen vermehrten Verwendung von Hofdünger sollte dies aber berücksichtigt werden. Wie viele landwirtschaftliche Biogasanlagen im Kanton Bern Biogas ins Erdgasnetz einspeisen, ist nicht bekannt.

### Verbrauchsentwicklung

In den letzten Jahren sind aufgrund der bestehenden Hürden (siehe 4.3) kaum neue landwirtschaftliche Biogasanlagen hinzugekommen. Die meisten Interviewten gehen davon aus, dass sich das kurzfristig (in den nächsten Jahren) kaum ändern wird. Sobald neue marktfähige Technologien vorhanden sind, könnte aber Bewegung in den Markt bzw. in die Einsatzbereiche kommen. Zurzeit sind viele Technologien zur Verwendung von Hofdünger in Entwicklung (z. B. Fest-Flüssig-Trennung, mikrobielle Vorvergärung, Dampf-Vorbehandlung, Kohlenstoffrückgewinnung durch Pflanzenkohle, Gasreiniger, Katalytische Methanisierung, Biologische Methanisierung, Brennstoffzellen), für Details dazu wird auf Burg et al. 2021<sup>44</sup> verwiesen.

Gemäss Aeesuisse; Gazenergie; Swiss Cleantech; u. a. (2023) soll Biogas in Zukunft wo möglich ins Gasnetz eingespeist werden. Das BFE schätzt das schweizweite Produktionspotenzial von landwirtschaftlichem Biogas auf 16 PJ (bzw. 4.4 TWh). Davon liegen ca. 50 % in Gemeinden, die weniger als 5 km vom Gasnetz entfernt sind, wo das Gas eingespeist werden kann.<sup>45</sup>

Siegrist; Bowman; Burg (2022) haben in ihrer Studie geeignete Standorte für Biogasanlagen zur Produktion und Einspeisung von Elektrizität, Wärme und Biomethan aus Biomasse identifiziert. Die Abbildungen im Anhang 6.6 zeigen die Biomassenpotenziale von Hofdünger nach Gemeinde sowie die geeigneten Zonen für die Produktion von Elektrizität, Wärme und Biomehan auf. Demnach besteht das Potenzial für weitere Biogasanlagen im Kanton Bern insbesondere im Mittelland.

## 4.3 Herausforderungen und Lösungsansätze für die Zukunft

Ein Positionspapier von Aeesuisse; Gazenergie; Swiss Cleantech; u. a. (2023) sieht drei Handlungsfelder vor, um die verfügbare Menge an Biogas (aus Hofdünger oder weiteren Biomassen) zu steigern:

- Die Zahl der Biogasanlagen und die Menge energetisch nutzbarer Substrate (z. B. Hofdünger) sollen durch tragfähige Anreizsysteme und zielführende Rahmenbedingungen gesteigert werden.

---

<sup>44</sup> Burg; Bowman; Thees; u. a. (2021): White Paper: Biogas aus Hofdünger in der Schweiz: Energiepotenzial, Technologieentwicklung und Ressourcenmobilisierung. SCCER-BIOSWEET, WSL.

<sup>45</sup> Konferenz Kantonalen Energiefachstellen EnFK (2018).

- Wo sinnvoll, soll das verfügbare Biogas ins Gasnetz eingespeist werden. Fördermodelle können entsprechend angepasst werden.
- Importiertes Biogas bzw. erneuerbare Gase sollen in der Schweiz anerkannt werden. Nur so kann der Gasbedarf längerfristig klimaneutral gedeckt werden.<sup>46</sup>

Weiter werden in der nachfolgenden Abbildung 16 die wichtigsten Herausforderungen im Sinne von Zielkonflikten oder Hürden für eine ganzheitliche Nutzung von Hofdünger zusammengefasst. Diese stammen grösstenteils aus den Interviews mit Expert/-innen und wurden anschliessend im Rahmen des Workshops weiterentwickelt. Für weiterführende Informationen zu den Stossrichtungen und die zukünftigen Entwicklungen wird auf den Visionsbericht verwiesen.

**Abbildung 16: Wichtigste Rahmenbedingungen, Zielkonflikte und Hürden bei Hofdünger und Stossrichtungen für die Zukunft**

Herausforderung	Kurzbeschreibung	Stossrichtungen, Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Raumplanerische Rahmenbedingungen</li> <li>– Aufwendige und komplizierte Bewilligungsverfahren</li> <li>– Zonenkonformität</li> </ul>	<p>Die heutigen raumplanerischen Rahmenbedingungen können den Bau und Betrieb von Biogasanlagen erschweren durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Lange Genehmigungsverfahren</li> <li>– Vorgaben an die Bauten</li> <li>– Zonenkonformität</li> </ul> <p>Zudem sind die Vorgaben häufig bei kleineren Anlagen einfacher umzusetzen, es würden sich aber insbesondere grössere Biogasanlagen wirtschaftlich lohnen.<sup>47</sup></p>	<p>Raumplanerische Grundlagen für mehr Planungssicherheit sowie vereinfachte und kürzere Genehmigungsverfahren von Biogasanlagen schaffen.<sup>48</sup></p> <p>Vereinfachung der Bewilligungsverfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Klarer aufzeigen, in welcher Bauzone welche Anlage-Typen möglich sind</li> <li>– Einfachere, raschere Bewilligungsverfahren</li> <li>– Entwicklung von Anlagen, welche auch unterirdisch gelegt werden können und damit die raumplanerischen Konflikte reduzieren</li> <li>– Lockerung der Vorschriften<sup>49</sup></li> </ul>
Fehlreize in den Fördersystemen	Die KEV wurde durch Änderungen in der Energieförderungsverordnung (EnFV) abgelöst, welche seit Januar 2023 in Kraft ist. Neu erhält jeder Biogasbetreiber von Grossanlagen eine Flatrate, egal wann er den Strom einspeist. Somit wird ein Fehlreiz geschaffen, da die Nutzung von Biogas v.a. auf den spezifischen Bedarf (z. B. Regelenergie, Einspeisung in Erdgasnetze) ausgerichtet sein sollte. Kleinanlagen werden mit einem einmaligen Investitionsbeitrag unterstützt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Anpassung der Rahmenbedingungen</li> <li>– Anpassung der Anreize / Förderungen (z. B. Anpassung des «Fehlreizes Verstromung»)</li> <li>– Anreizsysteme mehr auf die stoffliche Nutzung / NET ausrichten</li> </ul>
Fehlende marktfähige Technologien für reine Hofdüngeranlagen	Bisher ist nur die anaerobe Vergärung marktreif, aber einige vielversprechende Technologien in Entwicklung.	<p>Entwicklung marktfähiger Technologien für Hofdüngeranlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Technologien für kleine Hofdüngeranlagen bis zur Marktreife fördern</li> </ul>

<sup>46</sup> Bemerkung: Nachhaltigkeitskriterien sind hier wichtig, um sicherzustellen, dass keine negativen Auswirkungen durch die Verlagerung von Ressourcen ins Ausland entstehen. Dies insbesondere im Hinblick auf den Anbau von Energiepflanzen.

<sup>47</sup> Hinweis: Der Einzelantrag (Art. 18d) von Nationalrätin Barbara Schaffner wurde im Nationalrat genehmigt, wodurch die Raumplanerischen Vorschriften zu gewerblichen Biogasanlagen in Zukunft voraussichtlich gelockert werden.

<sup>48</sup> Aeesuisse; Gazenergie; Swiss Cleantech; u. a. (2023).

<sup>49</sup> Aeesuisse; Gazenergie; Swiss Cleantech; u. a. (2023).

Herausforderung	Kurzbeschreibung	Stossrichtungen, Lösungsansätze
	Zur Mobilisierung des Hofdünger-Potenzials braucht es v.a. marktfähige Technologien für kleine bis mittelgrosse Hofdüngeranlagen, welche ohne Co-Substrate betrieben werden und ein Intermediat (z. B. Methan) herstellen können.	– Technologien, welche ohne Co-Substrate auskommen, fördern
Komplexität der Technologie	Komplexe Technologien / Anlagen erfordern einen professionellen Betrieb, Überwachung und Wartung, was für die Landwirt/-innen schwierig zu gewährleisten ist. Auch der arbeitsintensive Betrieb der Anlagen stellt für Landwirt/-innen eine Herausforderung dar.	– Entwicklung marktfähiger und einfach betriebbarer Technologien für Hofdüngeranlagen
Wirtschaftlichkeit, finanzielles Risiko	– Landwirtschaftliche Biogasanlagen sind heute <sup>50</sup> ohne Co-Substrate (z. B. Speiseabfälle, Glycerin) nicht wirtschaftlich betreibbar. Der Co-Substrat-Markt ist jedoch grösstenteils ausgeschöpft. – Einzelhofanlagen sind mit hohen Investitions- und Betriebskosten verbunden. Aufgrund ihrer geringen Leistung sind sie heute oft nicht wirtschaftlich betreibbar.	– Entwicklung marktfähiger Technologien für Hofdüngeranlagen – Förderung von gemeinschaftlichen Hofdüngeranlagen
Verfügbarkeit von Co-Substraten	Da der Hofdünger zu einem grossen Teil aus Wasser besteht, lohnt sich die Vergärung heute in der Regel nur durch Beimischung von Co-Substraten. Der Markt an verfügbaren Co-Substraten ist weitgehend ausgeschöpft und für die Landwirt/-innen bedeutet die Abhängigkeit von Co-Substraten ein zusätzliches Risiko (z. B. Verträge mit Grossverteilern mit relativ kurzen Kündigungsfristen).	– Entwicklung marktfähiger Technologien für <u>reine</u> Hofdüngeranlagen
Bisher kaum Nutzung als C-Quelle oder NET	Mit Hofdünger soll / kann längerfristig stoffliche Wertschöpfung generiert werden, insbesondere als C-Quelle für die chemische Industrie. Dies wird heute noch nicht bzw. kaum gemacht. Hofdünger soll / kann mittel- bis längerfristig auch als Kohlenstoffsenke (Pyrolyse) genutzt werden.	– Nutzungsformen von Hofdünger als C-Quelle prüfen – Valorisierung des CH <sub>4</sub> als Energie oder für die chemische Industrie (stoffliche Nutzung C) sowie Einspeisung ins Netz – Ausweitung der zugelassenen Ausgangsstoffe für Pyrolyse prüfen
Soziale Hürden	Um eine höhere Produktivität zu erzielen, bräuchte es vermehrt gemeinschaftliche Ansätze, z. B. von mehreren Landwirtinnen und Landwirten. Gemäss Burg; Troitzsch; Akyol; u. a. (2021) liegen Teile der Hindernisse in der Zusammenarbeit zwischen den Landwirten und Landwirtinnen. Mit einer verstärkten Zusammenarbeit könnten zusätzliche Potenziale erschlossen werden.	– Milchgenossenschaften könnten zusätzlich zur Milch auch den Hofdünger sammeln und verarbeiten – Gemeinden stärker aktivieren – Sensibilisierung im Rahmen landwirtschaftlicher Beratung – Zusammenarbeit zwischen Landwirtinnen und Landwirten fördern
Soziale Akzeptanz	Biogasanlagen erzeugen negative externe Effekte wie Geruch, Verkehr etc.	– Sensibilisierung der betroffenen Bevölkerung

Hinweis: Siehe zudem weitere generelle Herausforderungen bei der Nutzung von Biomasse in Biogasanlagen in Abschnitt 5.3.

<sup>50</sup> Nicht wirtschaftlich zumindest vor der seit 2023 angepassten Energieförderverordnung. Wie sich die Wirtschaftlichkeit mit diesen Massnahmen verändert, wird sich in den nächsten Jahren zeigen (siehe dazu auch Abschnitt Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zu möglichen Lösungsansätzen)

## 5 Weitere Biomasse: Biogene Abfälle, Ernterückstände, Klärschlamm etc.

### 5.1 Potenziale

Abbildung 17 zeigt eine Übersicht der Potenziale der weiteren Biomassen. Diese umfassen folgende Fraktionen:<sup>51</sup>

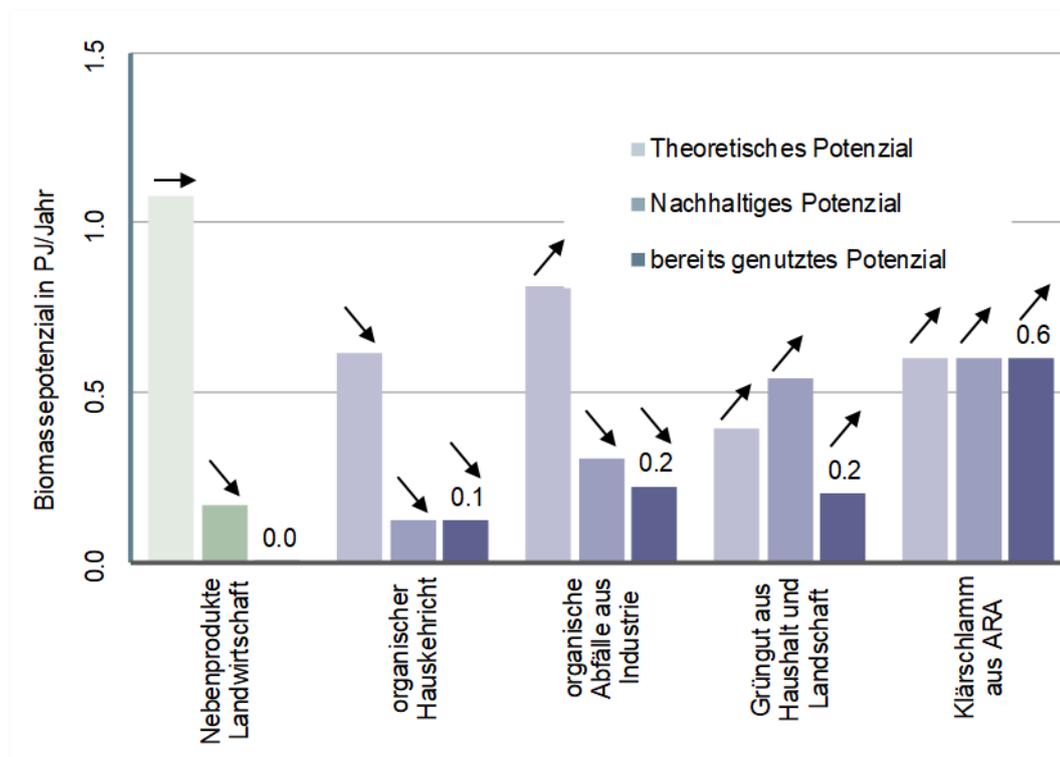
- **Nebenprodukte der Landwirtschaft:** Rückstände nach der Ernte des Hauptproduktes sowie integrierte Zwischenkulturen (z. B. Stängel-, Kraut- oder Stroharten).
- **Organischer Hauskehricht:** Organische Anteile des von Haushalten stammenden vermischten Siedlungsabfalls, der getrennt gesammelt oder stofflich verwertet wird.
- **Organische Abfälle aus Industrie und Gewerbe:** Pflanzliche, tierische oder mikrobielle Abfälle in Form von Lebensmittelabfällen aus der industriellen Verarbeitung, der Gastronomie, dem Detailhandel sowie weitere organische Abfälle aus der Papier- und Tabakproduktion.
- **Grüngut aus Haushalt und Landschaft:** Nicht-verholzte biogene Abfälle, welche aus den Haushalten oder der Landschaftspflege stammen und durch die kommunale Abfallwirtschaft separat gesammelt werden.
- **Klärschlamm aus den ARA:** Schlamm, der bei der Behandlung von Abwasser in der ARA anfällt.

---

<sup>51</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017).

**Abbildung 17: Biomassenpotenziale der weiteren Biomassen (Biogene Abfälle, Ernterückstände, Klärschlamm etc.) im Kanton Bern**

Dargestellt sind die theoretischen, nachhaltigen und bereits genutzten Potenziale nach Biomassenfraktion. Die Pfeile deuten die erwartete Entwicklung für die Zukunft an.



Quelle: Eigene Darstellung

Das theoretische Potenzial (potenzieller Methanertrag) der Biomassefraktionen stammt aus den Daten von Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) und lag direkt für den Kanton Bern vor. Das nachhaltige und bereits genutzte Potenzial (potenzieller Methanertrag) basiert auf den schweizweiten Werten von Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) und wurde für den Kanton Bern heruntergerechnet. Für die Biomasse «organischer Hauskehricht» gehen wir gemäss Interviewaussagen davon aus, dass das nachhaltige Potenzial bereits ausgenutzt ist. Das bereits genutzte Potenzial der Biomasse «Klärschlamm aus ARA» wurden mit Daten des AWA (2022) berechnet.

Hinweis: Beim Grüngut aus Haushalt und Landschaft wird auch die Menge Bio-Abfälle, die heute im Hauskehricht landen, aber mit dem heutigen Stand stofflich zu verwerten wären, zum nachhaltigen Potenzial dazugezählt. Dabei handelt es sich um eine Verschiebung der Bioabfälle aus dem gemischten Hauskehricht zum getrennt gesammelten Grüngut. Deshalb ist für das Grüngut aus Haushalt und Landschaft das nachhaltige Potenzial höher als das theoretische.

Beim Grüngut aus Haushalt und Landwirtschaft ist aufgrund von Zielkonflikten mit der Bodenverbesserung umstritten, ob zusätzliches Potenzial zur energetischen Vergärung (mit anschliessender Ausbringung auf den Feldern) besteht.

### 5.1.1 Nebenprodukte aus der Landwirtschaft

Die Kategorie «Nebenprodukte aus der Landwirtschaft» umfasst die Rückstände nach der Ernte, sowie die integrierten Zwischenkulturen im Pflanzenbau. Dazu gehören z.B. Stängel-, Kraut- oder Strohart. Das **nachhaltig nutzbare Potenzial** für den Kanton Bern wird auf ca. **0.17 PJ/Jahr** geschätzt. Grösstenteils wird dieses nachhaltige Potenzial heute auf den Feldern

belassen oder in den Boden eingearbeitet. Bisher wird mit ca. **0.03 PJ/Jahr** erst ein geringer Anteil des Potenzials energetisch verwertet.<sup>52</sup>

Bei diesen noch ungenutzten Potenzialen gilt jedoch zu beachten, dass die Unsicherheiten der Abschätzung gross sind und wesentliche Zielkonflikte bestehen. So sind beispielsweise Ernterückstände auch wertvolle Ressourcen für eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung (Nährstoffversorgung) und Grüngut aus der Landschaft kann wichtige Strukturelemente für die Biodiversität bilden. Schliesslich handelt es sich bei dieser Kategorie zu einem Teil auch um Nebenströme, welche so weit wie möglich vermieden oder durch Produktinnovationen als Nahrungsmittel genutzt werden sollten (Kreislaufwirtschaft). Deshalb ist davon auszugehen, dass das für die energetische Nutzung nachhaltig verfügbare Potenzial in Zukunft eher abnehmen wird.

### 5.1.2 Biogene Abfälle: Organischer Hauskehricht, organische Abfälle aus der Industrie, Grüngut aus Haushalt und Landschaft

Biogene Abfälle<sup>53</sup> – u.a. Food Waste – fallen im organischen Hauskehricht, in der Industrie und im Grüngut aus Haushalt und Landschaft an. Summiert man die heutige energetische Nutzung der biogenen Abfälle, so liegt diese mit ca. **5.55 PJ/Jahr** knapp hinter der energetischen Nutzung des Klärschlammes aus den ARA.

#### Organischer Hauskehricht

Der organische Hauskehricht umfasst die organischen Anteile der vermischten Siedlungsabfälle von Haushalten, welche nicht getrennt gesammelt oder stofflich verwertet werden. Dazu gehören alle pflanzlichen, tierischen oder mikrobiellen Materialien, die im Hauskehricht landen. Das nachhaltige Potenzial umfasst den gesamten Anteil der organischen Abfälle im Hauskehricht, abzüglich der Menge Bio-Abfälle, welche nach heutigem Stand sinnvoll separat gesammelt und stofflich zu verwerten wären (dieser Anteil wird der Kategorie «Grüngut aus Haushalt und Landschaft» dazugerechnet).<sup>54</sup> Der gesamte Schweizer Kehricht muss heute in Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) verbrannt werden. Somit wird das gesamte nachhaltige Potenzial heute bereits energetisch in der KVA verwertet.

Für die Zukunft gilt, dass eine stoffliche Verwertung oder getrennte Sammlung der biogenen Abfälle einer energetischen Verwertung in der KVA zu bevorzugen ist. Deshalb wird davon ausgegangen, dass sich in Zukunft das nachhaltige Potenzial und insbesondere die Menge des in der KVA energetisch verwerteten organischen Hauskehrichts reduziert und stattdessen separat gesammelt und dem Grüngut zugeführt wird. Bei einer häufigeren Vergärung der

---

<sup>52</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017), heruntergebrochen auf den Kanton Bern.

<sup>53</sup> Unter dem Begriff «biogene Abfälle» werden in diesem Bericht organischer Hauskehricht, organische Abfälle aus der Industrie und Grüngut aus Haushalt und Landschaft zusammengefasst.

<sup>54</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017).

biogenen Abfälle und Verwendung des Gärguts als Recyclingdünger<sup>55</sup> bestehen jedoch Zielkonflikte mit dem Bodenschutz und der Landwirtschaft. Denn das Sammelgut ist häufig mit Fremdstoffen belastet, die ohne entsprechende Behandlung auch im Gärgut und schliesslich im Recyclingdünger verbleiben.

### **Organische Abfälle aus der Industrie**

Zu den organischen Abfällen aus der Industrie gehören verschiedenste Lebensmittelmüllrückstände aus der industriellen Verarbeitung, der Gastronomie oder dem Detailhandel. Zudem werden auch die organischen Abfälle aus der Papier- und Tabakproduktion dieser Kategorie zugewiesen.<sup>56</sup>

Das nachhaltige Potenzial umfasst alle organischen Abfälle der Industrie und des Gewerbes abzüglich des Anteils, der bereits heute stofflich verwendet wird, sowie der Menge, die stattdessen durch dezentrale Kompostierung vor Ort verwertet werden sollte. Somit ergibt sich für den Kanton Bern ein **nachhaltiges Potenzial von ca. 0.3 PJ/Jahr** (siehe Abbildung 17).<sup>57</sup>

Die organischen Abfälle aus Gewerbe und Industrie werden je nach Herkunft oder Zusammensetzung unterschiedlich entsorgt oder weiterverwertet (recycelt, verfüttert, vergärt, kompostiert, verbrannt oder an gemeinnützige Organisationen verschenkt). Gesamthaft werden **aktuell ca. 0.2 PJ/Jahr energetisch verwertet** (in KVA, ARA, Vergärungsanlagen).<sup>58</sup>

Die Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) enthält Vorschriften zur Vermeidung und Entsorgung von Abfällen sowie für das Errichten und Betreiben von Abfallanlagen. Aufgrund der technologischen Entwicklungen sowie der gesetzlichen Rahmenbedingungen (VVEA) ist davon auszugehen, dass das zusätzliche Potenzial von ca. 0.1 PJ in den nächsten Jahren ausgeschöpft sein wird. Weiter handelt es sich auch bei dieser Kategorie zu einem Teil um Food Waste bzw. Nebenströme, welche so weit wie möglich vermieden oder durch Produktinnovationen als Nahrungsmittel genutzt werden sollten. Durch eine bessere Inwertsetzung der Nebenströme rechnen wir damit, dass das nachhaltige Potenzial in Zukunft abnehmen und grösstenteils ausgeschöpft werden wird.

### **Grüngut aus Haushalt und Landschaft**

Das grösste nachhaltige Potenzial der weiteren Biomassen ist mit 0.54 PJ/Jahr beim **Grüngut aus Haushalt und Landschaft** vorhanden. Zu dieser Kategorie gehören die nicht verholzten biogenen Abfälle, die im Rahmen der kommunalen Abfallwirtschaft separat gesammelt werden

---

<sup>55</sup> Der sogenannte organische Recyclingdünger umfasst sowohl Kompost als auch Gärgut. Recyclingdünger wird in der Landwirtschaft als Bodenverbesserer, Erosionsschutzmittel oder für die Rekultivierung eingesetzt.

<sup>56</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017).

<sup>57</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017), heruntergebrochen auf den Kanton Bern

<sup>58</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017), heruntergebrochen auf den Kanton Bern

und aus den Haushalten und der Landschaftspflege stammen.<sup>59</sup> Zudem wird auch die Menge Bio-Abfälle, die heute im Hauskehricht landen, aber mit dem heutigen Stand stofflich zu verwerten wären, zum nachhaltigen Potenzial dazugezählt. Dabei handelt es sich um eine Verschiebung der Bioabfälle aus dem gemischten Hauskehricht zum getrennt gesammelten Grüngut. Deshalb ist für das Grüngut aus Haushalt und Landschaft das nachhaltige Potenzial höher als das theoretische. **Heute wird mit 0.2 PJ/Jahr** erst knapp ein Drittel des Grüngutes energetisch genutzt. Dieser Anteil wird zur Hälfte (52 %) vergärt oder kompostiert (48 %).<sup>60</sup>

Das bei der Vergärung entstehende Biogas wird verstromt, zur Wärmeerzeugung verbrannt oder zu Biomethan verarbeitet. Gemäss Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) besteht ein **zusätzlich nutzbares Potenzial von 0.4 PJ/Jahr**.<sup>61</sup> Das AWA sieht hingegen aufgrund der Fremdstoffproblematik (siehe Abschnitt 5.3.1) kaum zusätzlich nutzbares Potenzial.

## Fazit

Insgesamt bestehen bei den biogenen Abfällen vor allem auf lokaler Ebene noch ungenutzte Potenziale und Optimierungsmöglichkeiten. Im Vergleich zur holzigen Biomasse und dem Hofdünger sind die zusätzlich energetisch nutzbaren Potenziale jedoch deutlich kleiner.

Die neuste Abfallerhebung des BAFU<sup>62</sup> zeigt, dass die biogenen Abfälle gewichtsmässig nach wie vor den grössten Anteil (35.4 %) am Hauskehricht (gesamtschweizerisch) ausmachen. Entsprechend werden heute grosse Mengen an biogenen Abfällen in Kehrichtverbrennungsanlagen verbrannt, die auch vergärt werden könnten. Die BAFU-Studie schlägt darum auch vor, die Holsammlungen für biogene Abfälle (Gartenabfälle + Speisabfälle) auszubauen, insbesondere in städtischen Gebieten, wo die Möglichkeiten zur privaten Kompostierung beschränkt sind. Bei einer häufigeren Vergärung der biogenen Abfälle bestehen jedoch Zielkonflikte wie beispielsweise mit dem Bodenschutz und der Landwirtschaft. Denn das Sammelgut ist häufig mit Fremdstoffen belastet, die auch im Gärgut und schliesslich im Recyclingdünger verbleiben (siehe auch Abschnitt 5.3.1).

Aus übergeordneter Sicht liegt das grösste Umweltpotenzial in der Vermeidung von Lebensmittelverlusten (**Food Waste**). Der Bundesrat will die vermeidbaren Lebensmittelverluste bis 2030 halbieren und damit die Umweltbelastungen und Treibhausgasemissionen der Ernährung um 10 bis 15 % reduzieren.<sup>63</sup> Die nachhaltig verfügbaren Potenziale für die energetische Verwertung werden darum in den nächsten Jahren eher abnehmen.

---

<sup>59</sup> Nicht in diese Kategorie gehören die spezifischen Abfälle aus der industriellen Produktion, gewerblichen Produktion sowie gemischte Siedlungsabfälle (Kehricht). Auch verholzte Gartenabfälle gehören nicht in diese Kategorie und werden stattdessen bei der holzigen Biomasse dem Flurholz zugeordnet. Quelle: Thees; Burg; Erni; u. a. (2017).

<sup>60</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017).

<sup>61</sup> Thees; Burg; Erni; u. a. (2017).

<sup>62</sup> Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2023)

<sup>63</sup> Der Bundesrat (2022).

### 5.1.3 Klärschlamm

Bei der Behandlung von Abwasser in der Abwasserreinigungsanlage (ARA) fällt als Nebenprodukt Klärschlamm an. Dieser kann getrocknet, verbrannt und somit energetisch verwertet werden. Gemäss Interviewaussagen sowie der Studie von Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) wurden die Verfahren der ARA in den letzten Jahren so optimiert, dass heute beim Klärschlamm kaum noch ungenutztes Potenzial besteht und aktuell praktisch das gesamte theoretische und nachhaltige Potenzial für die anaerobe Vergärung von Klärschlamm energetisch ausgeschöpft wird. Heute erzeugt die energetische Verwertung von Klärschlamm im Kanton Bern ca. **0.6 PJ/Jahr**, womit der Klärschlamm die grösste energetische Nutzung der weiteren Biomassen aufweist (vgl. Abbildung 17).<sup>64</sup>

Aufgrund des Bevölkerungswachstums ist **in Zukunft mit mehr Abwasser und als Konsequenz auch einer leicht steigenden Menge Klärschlamm zu rechnen**. Es ist also davon auszugehen, dass das theoretische und nachhaltige Potenzial von Klärschlamm steigen und mehr Klärschlamm energetisch genutzt werden wird.

---

<sup>64</sup> Das bereits genutzte Potenzial der Biomasse «Klärschlamm aus ARA» wurden mit Daten des AWA (2022) berechnet.

## 5.2 Anlagentypen, Einsatzbereiche, Entwicklung

Gemäss Sachplan Abfall (Stand Daten 2014) werden 46 % der biogenen Abfälle auf Kompostieranlagen entsorgt bzw. verwertet, 37 % auf landwirtschaftlichen oder industriellen Vergärungsanlagen und 17 % in Faultürmen von ARA vergärt.<sup>65</sup>

### Stoffmengen

Die Stoffmengen der weiteren Biomassen und Abfälle lassen sich für das Jahr 2021 im Kanton Bern folgend zusammenfassen:

- Grüngut: Im Jahr 2021 wurde im Kanton Bern 101'477 t **Grüngut** durch die kommunalen Grüngutsammlungen gesammelt.<sup>66</sup>
- **Die Kehricht- und Sperrgutmenge** ist seit einigen Jahren stabil und betrug im Jahr 2021 222'429 t.
- Die **brennbaren Abfälle** betragen 426'539 t.
- Die **separat gesammelten Siedlungsabfälle** sind in den letzten Jahren ungefähr konstant geblieben. Gesamthaft wurden 2021 **209'575t** Abfall durch kommunale Sammlungen separat gesammelt. Der Durchschnitt pro Einwohner/in liegt bei 201 kg.
- Die Grünabfälle pro Einwohner/in sind in den letzten Jahren angestiegen und machen im Jahr 2021 mit 100 kg pro Einwohner/in knapp die Hälfte der separat gesammelten Abfälle aus

### Kläranlagen

Aktuell gibt es im Kanton Bern **65 ARA**, die Strom und Wärme produzieren (siehe Abbildung 18). 18 dieser ARA nahmen im Jahr 2021 61'000t Co-Substrate an (Auskunft AWA). Sechs Anlagen speisen Wärme in das Fernwärmenetz ein. Die ARA Region Bern AG und ARA Thunersee (Uetendorf) sind im Kanton Bern die einzigen beiden ARA, die Gas ins Erdgasnetz einspeisen (im Jahr 2022 9.4 GWh). Die ARA Frutigen stellt als einzige ARA flüssige biogene Treibstoffe her: Ein Teil des Methans wird direkt vor Ort aufbereitet und von Fahrzeugen getankt.<sup>67</sup>

---

<sup>65</sup> Regierungsrat des Kantons Bern (2017).

<sup>66</sup> Quelle: Datensatz «Kommunale Grüngutsammlung Kanton Bern 2021», zugestellt vom AWA.

<sup>67</sup> Gemäss Auskunft des AUE Kanton Bern, Abteilung Energieversorgung.

**Abbildung 18: Energieproduktion ARA im Kanton Bern, 2022**

Kennzahl	Einheit	Stand 2022
Anlagenbestand (31.12.2022)	Anzahl ARA	65
Stromproduktion	[PJ/Jahr]	0.071
Wärmeproduktion	[PJ/Jahr]	0.251
Einspeisung Gasnetz	[PJ/Jahr]	0.245
Einspeisung Fern- wärme	[PJ]	0.034

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten des AWA

### Weitere Anlagen

- **Gewerbliche Vergärungsanlagen:** Es bestehen im Kanton Bern nur einzelne gewerbliche Biogasanlagen, welche eine untergeordnete Rolle spielen (für weitere Informationen zu landwirtschaftlichen Biogasanlagen siehe Kapitel 4.2.).
- **Kehrichtverbrennungsanlagen:** Im Kanton Bern verwerten aktuell drei KVA<sup>68</sup> Biomasse. Total produzierten sie im Jahr 2021 0.55 PJ Elektrizität und speisten 0.31 PJ ins Fernwärmenetz ein, wobei vermutlich nur ein kleiner Teil der Energie aus Biomasse stammt.
- **Kompostierungsanlagen:** Im Kanton Bern sind sowohl Platzkompostierungsanlagen wie auch Feldrandkompostierungen im Einsatz.<sup>69</sup>

<sup>68</sup> Bern energiezentrale Forsthaus EWB, Biel MÜVE, Thun AVAG.

<sup>69</sup> Regierungsrat des Kantons Bern (2017).

### 5.3 Herausforderungen und Lösungsansätze für die Zukunft

Abbildung 19 fasst die wichtigsten Herausforderungen im Sinne von Zielkonflikten oder Hürden für eine ganzheitliche Nutzung der weiteren Biomassen zusammen. Diese stammen grösstenteils aus den Interviews mit Expert/-innen und wurden anschliessend im Rahmen des Workshops weiterentwickelt. Zudem werden in den nachfolgenden Unterkapiteln die Fremdstoffproblematik (Abschnitt 5.3.1) diskutiert, und Pro- und Contra-Argumente aufgezeigt, ob lenkend in die Stoffströme eingegriffen werden sollte oder nicht (Abschnitt 5.3.2). Für weiterführende Informationen zu den Stossrichtungen und die zukünftigen Entwicklungen wird auf den Visionsbericht verwiesen.

**Abbildung 19: Wichtigste Rahmenbedingungen, Zielkonflikte und Hürden bei den weiteren Biomassen und Stossrichtungen für die Zukunft**

Herausforderung	Kurzbeschreibung	Stossrichtungen, Lösungsansätze
Fehlanreize in den Fördersystemen	Mit den Änderungen der Energieförderungsverordnung (EnFV) wurde unter anderem eine gleitende Marktprämie für Strom aus Biogasanlagen eingeführt. Im Sinne der Vision 2050+ wäre es jedoch sinnvoller, Biogas für den Spitzenbedarf im Winter (beispielsweise Zwischenspeicherung und dann Einspeisung ins Gasnetz) zu verwenden oder Strom zum Ausgleich des Spitzenbedarfs (Regelenergie) zu erzeugen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Anpassung der Rahmenbedingungen</li> <li>– Anpassung der Anreize / Förderungen (z. B. Anpassung des «Fehlanreizes Verstromung»)</li> <li>– Anreizsysteme mehr auf die stoffliche Nutzung / NET ausrichten</li> </ul>
Entwicklung marktfähiger Technologien für Biogasanlagen	Zur Mobilisierung des verbleibenden Potenzials der weiteren Biomassen braucht es v.a. marktfähige Technologien für kleine bis mittelgrosse Biogasanlagen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entwicklung marktfähiger Technologien für Biogasanlagen:</li> <li>– Technologien fördern, die neben der energetischen Verwertung auch ein stoffliche Wertschöpfung erzielen können.</li> <li>– Technologien für kleine Biogasanlagen bis zur Marktreife fördern.</li> <li>– Technologien, welche ohne Co-Substrate auskommen, fördern.</li> </ul>
Konflikt um Co-Substrate, Abnehmerpreise der ARA	Siehe Abschnitt 5.3.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Diskussion zum Thema «Umlenkung» der Stoffströme siehe 5.3.2</li> </ul>
Food Waste	In der Reduktion von Food Waste besteht ein Hebel, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reduktion von Food Waste durch Sensibilisierung entlang der gesamten Wertschöpfungskette sowie Messung und Inwertsetzung von Nebenströmen.</li> </ul>
Fremdstoffproblematik	Siehe Abschnitt 5.3.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Siehe Abschnitt 5.3.1</li> </ul>
Zielkonflikt zwischen Vergärung und Bodenverbesserung / Kompostierung	Im Sinne der Kaskadennutzung werden biogene Abfälle zuerst mittels Vergärung energetisch genutzt und erst anschliessend zu Recyclingdünger verarbeitet oder kompostiert. Aus Bodensicht wird Kompostierung ohne Vergärung in der Regel vorgezogen, da vorteilhaft für Bodenlebewesen / Bodenstruktur und weniger ausgeprägte Fremdstoffproblematik.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zusammenarbeit von Vorvergärung und Nachkompostierung fördern.</li> <li>– Da je nach lokalen Begebenheiten andere direkte Nutzungen der Biomasse anstelle von Kompostierung oder Bodenverbesserung sinnvoller sein können, werden hier keine weiteren Stossrichtungen vorgeschlagen.</li> </ul>

### 5.3.1 Fremdstoffproblematik im Recyclingdünger

Im Sinne der Kaskadennutzung sollten biogene Abfälle mittels Vergärung energetisch genutzt, anschliessend zu Recyclingdünger<sup>70</sup> verarbeitet oder kompostiert und erst am Ende auf den Feldern ausgebracht werden. Bei der Vergärung von biogenen Abfällen muss jedoch sichergestellt werden, dass die Biomasse rein ist und keine unerwünschten Rückstände oder Fremdstoffe enthält, da diese anschliessend auch im Recyclingdünger enthalten sind.

Gemäss einer Studie der UMWEKO (2019) wurde bei einer Auswertung der Fremdstoffgehalte in Komposten und festen Vergärungsprodukten bei 27 Proben die Anforderungen der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) an den maximalen Kunststoffgehalt und bei einigen Proben auch die Anforderungen an den gesamten Fremdstoffgehalt nicht eingehalten. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Anforderungen heute besser eingehalten werden, da viele Anlagen in den letzten Jahren in neue Technologien investiert haben.

Für den stofflichen Kreislauf mit Recyclingdüngern braucht es entsprechende Abnehmer, wobei ein Grossteil der Recyclingdünger in der Landwirtschaft eingesetzt wird. Aufgrund von unerwünschten Rückständen / Fremdstoffen besteht das Risiko, dass Recyclingdünger in Verrügeraten und nicht mehr sinnvoll abgesetzt werden können. Deshalb wird eine vermehrte Nutzung von biogenen Abfällen zur Herstellung von Recyclingdünger als kritisch beurteilt, solange die Fremdstoffproblematik nicht abschliessend gelöst ist.

### 5.3.2 Soll lenkend in die Stoffströme der weiteren Biomassen eingegriffen werden?

Aus Sicht der Kaskadennutzung müsste die weitere Biomasse zuerst energetisch und anschliessend stofflich verwertet werden (Vergärung und Ausbringung als Recyclingdünger). Heute wird jedoch ein Teil auf den Feldern belassen oder direkt kompostiert. Zudem landet ein Grossteil der übrigen Biomassen in der ARA, welche in Konkurrenz zu den gewerblichen und landwirtschaftlichen Vergärungsanlagen stehen. Angesichts der Nutzungs- und Zielkonflikte bestehen dazu bei den Interviewten (siehe Anhang 6.7) verschiedene Meinungen. Folgende Argumente wurden dazu in den Interviews oder am Workshop genannt:

---

<sup>70</sup> Der sogenannte organische Recyclingdünger umfasst sowohl Kompost als auch Gärgut. Recyclingdünger wird in der Landwirtschaft als Bodenverbesserer, Erosionsschutzmittel oder für die Rekultivierung eingesetzt.

**Abbildung 20: Argumente für und gegen eine Umlenkung der Stoffströme, um eine stärkere energetische Nutzung der weiteren Biomassen zu fördern.**

Pro / Contra	Argumente
<b>Pro:</b> <b>Stärkere energetische Nutzung und Umlenkung der Stoffströme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Es bestehen noch wesentliche unausgeschöpfte Potenziale, mit welchen im Kanton Bern noch zusätzliche Vergärungsanlagen betrieben werden könnten.</li> <li>– Die Feldrandkompostierung birgt neben Chancen der Bodenverbesserung auch Risiken (Eutrophierung Wasser, Luftemissionen). Es wäre umweltverträglicher diese Biomasse in professionellem Rahmen zu vergären.</li> <li>– Aus ökologischer Sicht bringt eine zusätzliche Nutzung der energetischen Potenziale über die Vergärung (Kaskadennutzung) einen grösseren Nutzen und ist insgesamt empfehlenswert (siehe bspw. Empfehlung Umweltbundesamt 2012).</li> <li>– Insbesondere hinsichtlich des Treibhauseffektes schneidet die Vergärung im Vergleich zur aeroben Kompostierung wesentlich besser ab.</li> <li>– Mit einer nachhaltigeren Landwirtschaft wird es in Zukunft noch mehr Ernterückstände geben, welche energetisch genutzt werden können.</li> <li>– Auch heute greift der Staat bereits lenkend ein. Durch die Quersubventionierung bei den ARA, können diese tiefere Annahmepreise anbieten als industrielle Vergärungsanlagen, wodurch heute ein grosser Anteil der Co-Substrate in die ARA gehen und weniger in die industriellen Vergärungsanlagen.</li> </ul>
<b>Contra:</b> <b>Keine stärkere energetische Nutzung und keine Umlenkung der Stoffströme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ARA sind absolute Vergärungsprofis, mit hoher Effizienz und sicherer Entsorgung. Eine Umlenkung weg von den ARA wäre nicht sinnvoll.</li> <li>– Im Gesamt-Energiekontext ist das zusätzliche Potenzial klein und es bestehen beträchtliche Risiken. Man sollte v.a. verhindern, dass neue Probleme geschaffen werden.</li> <li>– Eine gute Bodenqualität hat oberste Priorität und somit: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ist Kompost gegenüber einem Recyclingdünger in vielen Fällen vorteilhaft</li> <li>○ hat auch die Qualität bei der Produktion des Recyclingdüngers oberste Priorität. Mit zusätzlich vergärter Biomasse besteht das Risiko, dass die Qualität abnimmt.</li> </ul> </li> <li>– Das Einsammeln und Transportieren von Ernterückständen und landwirtschaftlichen Nebenprodukten aus abgelegenen Regionen ist auch energetisch nicht sinnvoll, Feldrandkompostierung / dezentrale Kompostierung ist da sinnvoller.</li> <li>– Das Argument des grösseren Nutzens der Vergärung an Stelle der Kompostierung stimmt pauschal nicht. Wenn man die Umweltnutzen und Umweltbelastungen der verschiedenen Anlagentypen ganzheitlich betrachtet, schneiden Kompostierung und Vergärung sehr ähnlich ab.</li> </ul>

## 6 Anhang

### 6.1 Exkurs: Grundlagen der Pyrolyse und Pflanzenkohle

#### Ausgangssubstrate, Prozess und Produkt der Pyrolyse

Grundsätzlich kann sowohl holzige wie auch nicht-holzige Biomasse pyrolysiert werden<sup>71</sup>, je nach Ausgangssubstrat ist allerdings eine andere Vorbehandlung nötig: Bei der holzigen Biomasse ist eine non-thermische Vorbehandlung möglich, bei der nicht-holzigen Biomasse kann das Ausgangssubstrat in der Vorbehandlung vergärt und das entstehende Methan pyrolysiert werden (siehe Abbildung 21). Allerdings eignet sich holzähnliches Substrat am besten für die Pflanzenkohleherstellung. Deshalb wird davon ausgegangen, dass in Zukunft Holz der wichtigste Ausgangsstoff zur Herstellung von Pflanzenkohle sein wird.<sup>72</sup> Zudem sind heute ausser naturbelassenem Holz noch keine weiteren Biomassen für die Pflanzenkohleproduktion zulässig.<sup>73</sup>

Durch Variation verschiedener Prozessparameter (Temperatur, Aufheizrate, Verweilzeit, Gehalte an Sauerstoff, Gehalte anderer Oxidationsmittel) ergeben sich fließende Übergänge z. B. zur Holzvergasung, Flash-Pyrolyse (Erzeugung von Bio-Öl), Physikalischen Aktivierung (Herstellung von Aktivkohle) und zur Torrefizierung (Rösten). Bei der Pyrolyse entsteht neben der **Pflanzenkohle** auch das **Pyrolyse-Öl**, sowie das **nicht-kondensierbare Pyrolyse-Gas**, welches üblicherweise in der Anlage durch direkte Verbrennung energetisch verwertet wird.<sup>74</sup>

---

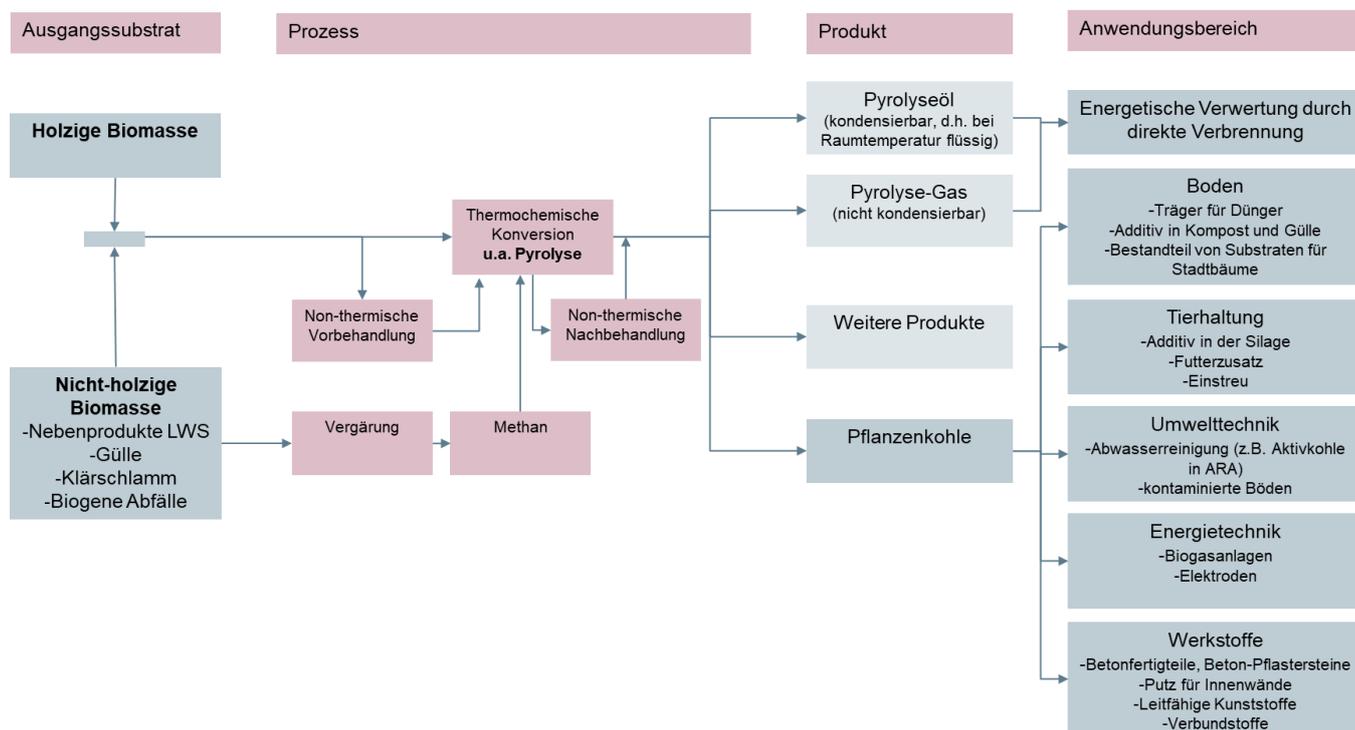
<sup>71</sup> Vogel (2023).

<sup>72</sup> Kaskad-E; Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW (2022).

<sup>73</sup> Bundesamt für Umwelt BAFU; Bundesamt für Landwirtschaft BLW (2023); Gutzwiller (2022).

<sup>74</sup> Schmidt; Hagemann; Abächerli; u. a. (2021).

Abbildung 21: Übersicht Pflanzkohle – Ausgangssubstrat bis Anwendungsbereiche



Quelle: Eigene Abbildung.

### Anwendungs- und Einsatzmöglichkeiten

Es gibt zahlreiche Anwendungen, Produkte und Materialien, in denen Pflanzkohle eingesetzt werden kann. Dabei ist aber nicht jede Pflanzkohle für jede Anwendung geeignet, da die Pflanzkohle je nach Ausgangsmaterial und Prozessbedingungen unterschiedliche Eigenschaften aufweist. Bisher konzentrieren sich die Anwendungen von Pflanzkohle gemäss Schmidt; Hagemann; Abächerli; u. a. (2021) v.a. auf die Landwirtschaft (Kompost, Güllezusätze, PK-basierte Dünger, Futtermittelzusatz, Stalleinstreu). Den grössten Wachstumsmarkt für den Einsatz von Pflanzkohle in der Schweiz sehen sie im Einsatz als Substrate für Stadtbäume.

Für den Einsatz von Biomasse als Negativemissionstechnologie (NET) steht die Pflanzkohle im Vordergrund. Im öffentlichen Diskurs wird v.a. der Einsatz der Pflanzkohle als Bodenverbesserer / in der Landwirtschaft kontrovers diskutiert. Doch die Einsatzmöglichkeiten von Pflanzkohle mit dem prioritären Senken-Ziel sind vielfältig. Schmidt; Hagemann; Abächerli; u. a. (2021) nennen über 15 Anwendungsbereiche. Wichtige Wachstumsmärkte sind zurzeit: Einsatz als Standhaltungssubstrat für Stadtbäume, im Regenwassermanagement und als Werkstoffe (z. B. Kaltasphalt).

Es ist davon auszugehen, dass der Einsatz von Pflanzkohle in Zukunft eher in Infrastrukturbauten – also in Bereichen mit weniger hohen Qualitätsansprüchen als für den landwirtschaftlichen Gebrauch – stattfinden wird.

## Pflanzkohle im Kontext der NET-Diskussion

Im Kontext von Netto-Null<sup>75</sup> bestehen grosse Hoffnungen im Bereich Pflanzkohle.<sup>76</sup> Pflanzliche Biomassen besteht in ihrer Trockenmasse etwa zur Hälfte aus Kohlenstoff. Um zu verhindern, dass der aufgenommene Kohlenstoff bei der pflanzlichen Zersetzung wieder in die Atmosphäre gelangt, kann Biomasse pyrolysiert werden, also unter Luftabschluss und grosser Hitze thermisch behandelt werden. Damit kann ein grosser Teil des Kohlenstoffs in stabile molekulare Strukturen umgewandelt werden. Potenzial besteht dabei in der Anwendung bei landwirtschaftlichen Böden, da die Böden damit einerseits gedüngt und andererseits lang andauernde Kohlenstoffsenken (mittlere Verweildauer in Böden von 1440 bis 14'500 Jahren) geschaffen werden können. Daneben bestehen zahlreiche weitere Einsatzbereiche von Pflanzkohlen als Werkstoffe (z. B. Beimischung zu Beton) in der Energietechnik (z. B. Erhöhung des spezifischen Gasertrags), Umwelttechnik (z. B. Ersatz von herkömmlicher Aktivkohle bei ARAs) oder Tierhaltung (z. B. Futterzusatz).<sup>77</sup>

## 6.2 Verwendete Daten und Unsicherheiten

Die Daten stammen aus unterschiedlichen Studien und der vollzogene Vergleich zwischen den Potenzialen und der aktuellen Nutzung ist darum mit relativ grossen Unsicherheiten behaftet.

Die **Grundlage für die Potenzialschätzungen** bildete die Studie von Thees; Burg; Erni; u. a. (2017), welche basierend auf Daten aus dem Jahr 2014 das theoretische, nachhaltige, bereits genutzte und zusätzlich nutzbare Biomassenpotenzial für die verschiedenen Biomassefraktionen abschätzt.<sup>78</sup> Wo immer möglich, wurden aktuellere und räumlich spezifischere Datengrundlagen verwendet, siehe dazu Abbildung 22.

Für die **holzige Biomasse** wurden für die Potenziale für Flurholz, Restholz und Altholz die Daten der Studie von Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) verwendet, für Waldenergieholz die Potenzialdaten der neuen Studie von Thees; Lemm; Stadelmann (2023). Die heutige Nutzung von holziger Biomasse wurde mit Daten der schweizerischen Holzenergiestatistik (2021), Daten des AUE (zu Holznutzung in Einzelraumfeuerungen, Gebäudeheizungen, automatische Feuerungen, Spezialfeuerungen) sowie der schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien (2021) approximiert. Generell bestand darin die Schwierigkeit, dass auf kantonaler Ebene nur wenig Daten bestehen und diese nur lückenhaft erhoben werden. Wo möglich wurden kantonale Daten verwendet und ansonsten die gesamtschweizerischen Daten über die Anzahl

---

<sup>75</sup> Netto-Null bedeutet, dass nicht mehr Treibhausgase in die Atmosphäre ausstossen werden, als durch natürliche und technische Speicher aufgenommen werden können. Um dies zu erreichen, müssen einerseits die Emissionen insbesondere im Gebäudebereich, im Verkehr und in der Industrie vermindert werden. Die verbleibenden Emissionen müssen durch den Einsatz von natürlichen oder technischen Speichern ausgeglichen werden.

<sup>76</sup> Agroscope (2021), Pflanzkohle in der Landwirtschaft.

<sup>77</sup> Agroscope (2021), Pflanzkohle in der Landwirtschaft.

<sup>78</sup> Folgende Biomassefraktionen wurden in der Studie behandelt: Verholzte Biomasse (Waldholz, Flurholz, Restholz, Altholz), nicht verholzte Biomasse (Hofdünger, Nebenprodukte aus dem landwirtschaftlichen Pflanzenbau, organischer Anteil Hauskehricht, Grüngut aus Haushalt und Landschaft, organische Abfälle aus Industrie und Gewerbe, Klärschlamm aus zentralen Abwasserreinigungsanlagen)

Anlagen auf den Kanton Bern heruntergerechnet. Zur heutigen Nutzung von Waldenergieholz wurden zusätzlich die Nutzungszahlen der Forststatistik aufbereitet und zur Vergleichbarkeit mit den Daten des vierten Landesforstinventars (LF14) um einen Zuschlag von 29.2 % korrigiert und in PJ umgerechnet. Insgesamt besteht bei der heutigen Nutzung von Waldenergieholz eine grosse Unsicherheit.

Um das **bereits genutzte Potenzial von Hofdünger** zu bestimmen, wurde mit Daten der KEV-Bezügerliste (2020) die Elektrizitätsproduktion der landwirtschaftlichen Biogasanlagen berechnet. Die Wärmeproduktion wird im Kanton Bern nicht gemessen und wurde deshalb über nationale Werte aus der schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien (2021) approximiert.

Vom AWA liegen sehr gute Daten zur energetischen Nutzung von **Klärschlamm** in Abwasserreinigungsanlagen vor. Mit diesen konnte die Strom- und Wärmeproduktion sowie die Einspeisung ins Gasnetz und die Fernwärmanlage berechnet werden.

Weiter gehen wir aufgrund der Interviewaussagen davon aus, dass beim Altholz, Restholz und organischen Hauskehricht das nachhaltige Potenzial bereits ausgeschöpft ist. In diesen Fällen wurde das bereits genutzte Potenzial dem nachhaltigen Potenzial von Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) gleichgesetzt.

**Abbildung 22: Übersicht der verwendeten Daten**

Daten	Quelle	Bemerkung / Methodik
<b>Theoretisches und nachhaltiges Potenziale</b>		
<b>Holzige Biomasse</b>		
– Waldenergieholz	Thees; Lemm; Stadelmann (2023)	Das ökologisch nachhaltige und das theoretische Potenzial wurden von der Studie von Thees; Lemm; Stadelmann (2023) übernommen. Das ökologisch-ökonomisch nachhaltige Potenzial wurde basierend auf den Daten von Thees; Lemm; Stadelmann (2023) von Ecoplan berechnet.
– Altholz, Flurholz, Restholz	Thees; Burg; Erni; u. a. (2017)	
<b>Hofdünger</b>		
	Burg; Bowman; Erni; u. a. (2018)	
	Thees; Burg; Erni; u. a. (2017)	
<b>Weitere Biomasse</b> (biogene Abfälle, Grüngut, Ernterückstände, Klärschlamm etc.)		
	Thees; Burg; Erni; u. a. (2017)	Das theoretische Potenzial des Kantons Bern entspricht den Resultaten von Thees; Burg; Erni; u. a. (2017). Daten zum nachhaltigen Potenzial sind nur auf nationaler Ebene vorhanden und nicht auf der kantonalen Ebene verfügbar. Deshalb wurden diese Grössen approximiert, indem das nationale Verhältnis auf das theoretische Potenzial des Kantons Bern angewandt wurde.
<b>Aktuelle Nutzung</b>		
<b>Holzige Biomasse</b>		
– Waldenergieholz, Altholz, Restholz, Landschaftsholz (Flurholz)	Holzenergie Schweiz (2023)	

Daten	Quelle	Bemerkung / Methodik
Auswertung der Forststatistik	Schweizerische Forststatistik 2021, Holzernte nach Kantonen	Da sich die Nutzungszahlen der Forststatistik von den Nutzungszahlen des Landesforstinventars (LFI) unterscheiden (siehe den Bericht von Geo-Partner (2010)), wurden die Daten der Forststatistik um 29.2 % erhöht, damit die Vergleichbarkeit mit den Daten der Potenzialstudien gewährleistet ist. Zur Umrechnung von m <sup>3</sup> /Jahr Holz in PJ/Jahr wurde angenommen, dass 1 Mio. m <sup>3</sup> Waldenergieholz 7.5 PJ Energie erzeugt.
<b>Berechnung des Holzverbrauch in Feuerungen:</b>		
– Einzelraumfeuerungen mit Holz	Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien: Detaildaten, Anhang B	Daten zu der energetischen Nutzung sind nur auf schweizweiter Ebene vorhanden. Diese Werte wurden basierend auf dem Anlagenbestand gemäss AUE auf den Kanton Bern heruntergerechnet. Die Verbrauchsmengen der Einzelraumfeuerungen wurden dabei um 50% reduziert, um den überschätzten Holzverbrauch in Klein-Holzheizungen (Cheminéeöfen und Kachelöfen) zu kompensieren. <sup>79</sup>
– Gebäudeheizungen mit Holz		
– Altholznutzung in Spezialfeuerungen		
– Automatische Feuerungen mit Holz	Schweizerische Holzenergiestatistik	
<b>Hofdünger</b>		
– Biogasanlagen Landwirtschaft	Gemäss Daten vom AUE zu den KEV-Bezüger 2020	
– Biogasanlagen Gewerbe/Industrie	Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien: Detaildaten, Anhang B	Daten zur energetischen Nutzung sind nur auf schweizweiter Ebene vorhanden. Diese Werte wurden auf den Kanton Bern heruntergerechnet (Annahme: der Kanton Bern macht 1/8 der Schweiz aus).
<b>Feuerungen und KVA</b>		
– Bern Energiezentrale Forsthaus EWB	ewb (2022)	
– Biel MÜVE	MÜVE Biel Seeland AG (2020)	
– Thun AVAG	AG für Abfallverwertung AVAG (2022)	
<b>Abwasserreinigungsanlagen</b>	Daten zur energetischen Nutzung von Klärschlamm in Abwasserreinigungsanlagen wurden vom AWA zur Verfügung gestellt.	

## 6.3 Methoden zur Abschätzung der Waldenergieholzpotenziale

### a) Szenarien der Studie von Thees; Lemm; Stadelmann (2023)

Die Waldenergieholzpotenziale wurden in Anlehnung an die Publikation von Erni; Thees; Lemm; u. a. (2022) sowie auf der Datenbasis des vierten Landesforstinventars (LFI4) berechnet. Die Felddaufnahmen fanden zwischen 2009-2017 statt und wurden für die vier

<sup>79</sup> Holzenergie Schweiz (2023) geht in der neuen Datenerhebung von einer Reduktion der Verbrauchsmenge in Cheminéeöfen auf 40% und einer Reduktion der Verbrauchsmenge in Kachelöfen auf 80% aus.

Waldabteilungen Alpen, Voralpen, Mittelland, Berner Jura für jeweils zehn Dekaden (2023-2113) erhoben.<sup>80</sup>

Die Simulationen wurden für drei Bewirtschaftungsszenarien (gemäss Vorgaben des BAFU) und zwei vom AWN definierte Holzmarktpreferenzen durchgeführt:<sup>80</sup>

- **Bewirtschaftungsszenarien:**
  - **Referenzbewirtschaftung (Referenzszenario):** Dieses Szenario widerspiegelt die aktuelle Nutzung und beschreibt die Fortführung der gegenwärtigen Waldbewirtschaftung bei moderatem Klimawandel. Dabei wird von einer mittleren globalen Erwärmung von maximal 2°C ausgegangen.
  - **Vorratsabbau:** Bei diesem Szenario ist die Ernte geringer als bei der Referenzbewirtschaftung. Es wird angenommen, dass der nationale Vorrat im Simulationszeitraum von 370 m<sup>3</sup>/ha auf 415 m<sup>3</sup>/ha ansteigen wird. Im Mittelland wird eine Vorratsenkung von 400 m<sup>3</sup>/ha auf 360 m<sup>3</sup>/ha angenommen.
  - **Erhöhte Nutzung:** In diesem Szenario werden zeitweise die überdurchschnittlichen hohen Vorräte im Berner Wald abgebaut. Dabei wurde in 4 Simulationszeitschritten das verfügbare Holzpotenzial ausgeschöpft. Aufgrund von Strasseninfrastruktur und / oder Schutzwäldern wurde für die vier Regionen unterschiedliche Ernten angenommen.
- Die **Holzmarktpreferenzen** widerspiegeln die Allokation des genutzten Holzes. Es wurden zwei Holzmarktpreferenzen unterschieden:
  - Stoffliche Nutzung bevorzugt
  - Energetische Nutzung bevorzugt

Welcher Anteil des Baumes (Rinde bis Rundholz) der energetischen Verwendung zugeführt wird, hängt von der Baumart, Dimension des Baumes, Qualität sowie den Holzmarktpreferenzen ab. Dabei wurden der Klimawandel und auch die Unterschiede zwischen Nadel- und Laubholz berücksichtigt.

## b) Umrechnung der Potenziale von m<sup>3</sup>/Jahr in PJ/Jahr

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Thees; Lemm; Stadelmann (2023) mit anderen Studien und dem heutigen Energieverbrauch zu ermöglichen, wurden die Waldenergieholzpotenziale von m<sup>3</sup>/Jahr in PJ/Jahr umgerechnet. Dazu wurden die folgenden Umrechnungsfaktoren verwendet:

- $\text{Energiegehalt Nadelholz [J]} = \text{Volumen Nadelholz m}^3 \cdot 0.758 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \cdot 2260 \frac{\text{kWh}}{\text{t}} \cdot 3.6 \cdot \frac{10^6 \text{J}}{\text{kWh}}$
- $\text{Energiegehalt Laubholz [J]} = \text{Volumen Laubholz m}^3 \cdot 1.116 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \cdot 2160 \frac{\text{kWh}}{\text{t}} \cdot 3.6 \cdot \frac{10^6 \text{J}}{\text{kWh}}$

Die Energieholzpotenziale in m<sup>3</sup> wurden aufgeteilt nach Nadel- und Laubholz zur Verfügung gestellt.

<sup>80</sup> Thees; Lemm; Stadelmann (2023)

### c) Theoretisches Waldenergieholzpotenzial

Im Rahmen der Studie von Thees; Lemm; Stadelmann (2023) wurde das ökologisch nachhaltige Potenzial wie in Abbildung 23 berechnet.

Zur Berechnung des theoretischen Waldenergieholzpotenzials haben wir das ökologisch nachhaltige Potenzial verwendet und einen Zuschlag hinzugerechnet. Der Zuschlag unterscheidet sich je nach Bewirtschaftungsszenario:

- Referenzbewirtschaftung: + 15 % Zuschlag
- Vorratsanstieg: +15 % Zuschlag
- Erhöhte Nutzung: + 10 % Zuschlag

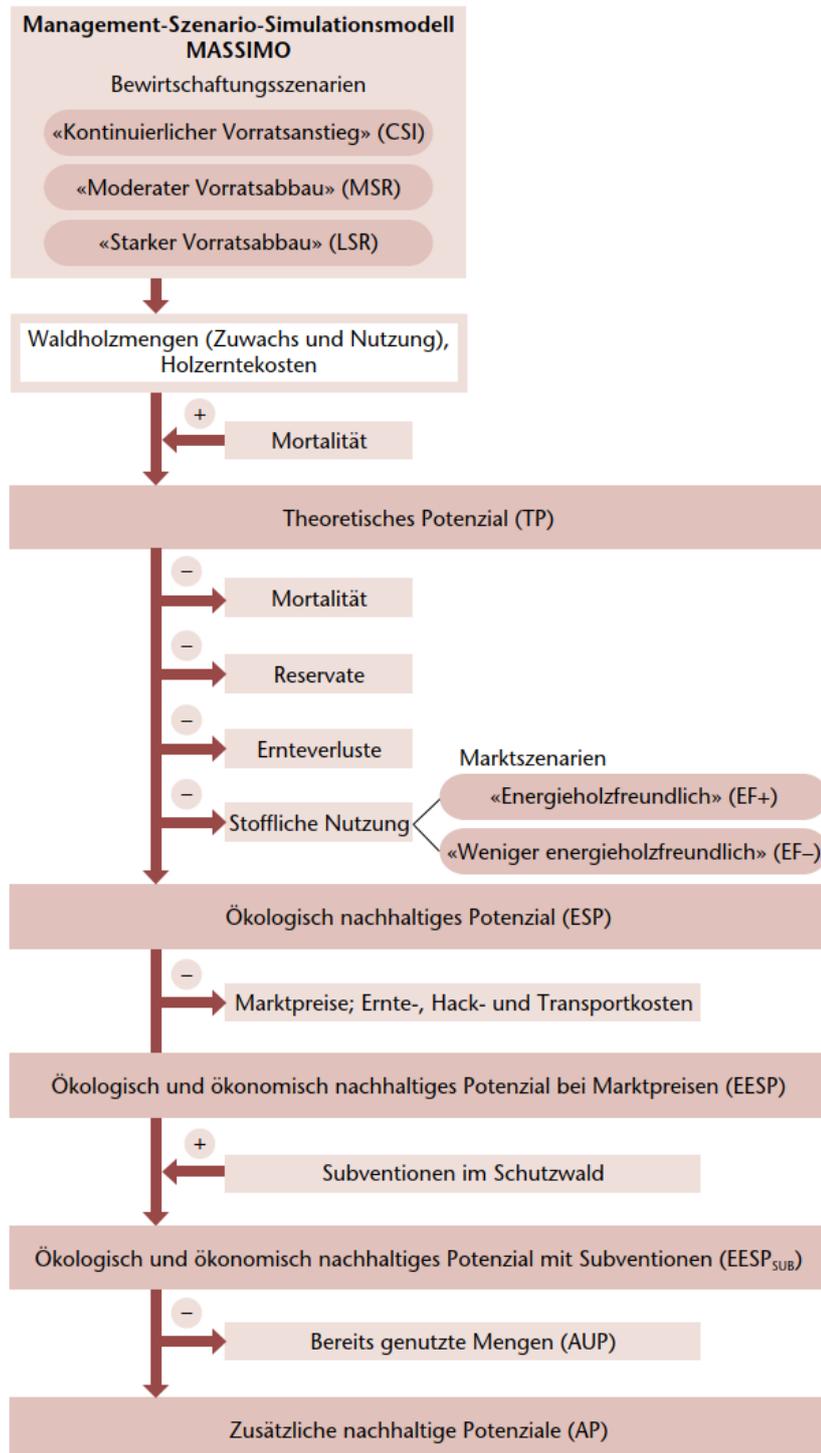
Das theoretische Potenzial der neuen AWN-Studie<sup>81</sup> fällt tiefer aus als in der ursprünglichen Studie von Thees; Burg; Erni; u. a. (2017). Dafür gibt es vier Gründe:

- Beim WSL-Bericht von 2017 beinhaltet das theoretische Potenzial die Mortalität, die Reservatsflächen und die Ernteverluste. Bei der neuen AWN-Studie wurden beim theoretischen Potenzial hingegen die Reservatsflächen und Ernteverluste bereits abgezogen. Lediglich die Mortalität wurde je nach Szenario durch einen nachträglichen Zuschlag von 10 % bzw. 15 % berücksichtigt, da man die Mortalität theoretisch nutzen könnte.
- Den beiden Studien liegen unterschiedlich alte Landesforstinventare zugrunde (Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) verwenden das LFI3, Thees; Lemm; Stadelmann (2023) verwenden das LFI4).
- Die beiden Studien benutzen für die Simulationen andere Szenarien der Waldbewirtschaftung.
- Damit Thees; Lemm; Stadelmann (2023) die Analyse der Vorratsabbauszenarien analysieren konnten, wurden in diesem Fall die höhere Nutzung und nicht der Zuwachs für die Simulationen verwendet. Das heisst, dass die beiden Studien von ihren Grundlagen her nicht gut vergleichbar sind.

---

<sup>81</sup> Thees; Lemm; Stadelmann (2023).

Abbildung 23: Konzeptioneller Rahmen zur Schätzung der Waldenergieholzpotenziale



Quelle: Erni; Thees; Lemm; u. a. (2022), S. 25.

#### **d) Ökologisches und ökologisch-ökonomisches Waldenergieholzpotenzial**

Im Rahmen der Studie von Thees; Lemm; Stadelmann (2023) wurde nur das ökologisch nachhaltige Waldenergieholzpotenzial ausgewiesen. Jedoch kann nicht das gesamte ökologisch nachhaltige Potenzial auch wirtschaftlich genutzt werden.

Um Aussagen über das wirtschaftlich nutzbare Potenzial treffen zu können, wurde nach Absprache mit Oliver Thees und Renato Lemm basierend auf den Daten von Thees; Lemm; Stadelmann (2023) das ökologisch-ökonomische Waldenergieholzpotenzial berechnet. Dazu wurde angenommen, dass im «normalen Wald» Holz bis zu Bereitstellungskosten von 75 CHF/m<sup>3</sup> und im Schutzwald bis zu 150 CHF/m<sup>3</sup> wirtschaftlich genutzt werden kann. Der Anteil Schutzwald in den vier Waldregionen wurde von den Studienautoren zur Verfügung gestellt.

### **6.4 Methodik zur Erhebung des aktuellen Energieholzverbrauchs**

Zur Abschätzung der heutigen energetischen Nutzung von holziger Biomasse wurde als Grundlage die Studie von Holzenergie Schweiz (2023) verwendet. Der Bericht erfasst per Ende 2021 den Verbrauch, das Potenzial und den zukünftigen Verbrauch von Energieholz. Die Daten sind dabei nach Kanton und nach den Kategorien Waldholz, Landschaftsholz (entspricht unserer Definition von Flurholz), Restholz und Altholz, sowie nach den Brennstoffen Stückholz, Schnitzel und Pellets aufgeteilt. Gleichzeitig zeigt der Bericht auch Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren auf den zukünftigen Verbrauch und die Potenziale von Energieholz. Zudem legt der Bericht die Grundlagen für ein Monitoring der Holzenergienutzung dar und zeigt auf, wie das laufende Monitoring – mit Berücksichtigung der Kaskadennutzung – in Zukunft erfolgen sollte.<sup>82</sup>

#### **a) Methodik zur Erhebung des aktuellen Energieholzverbrauchs**

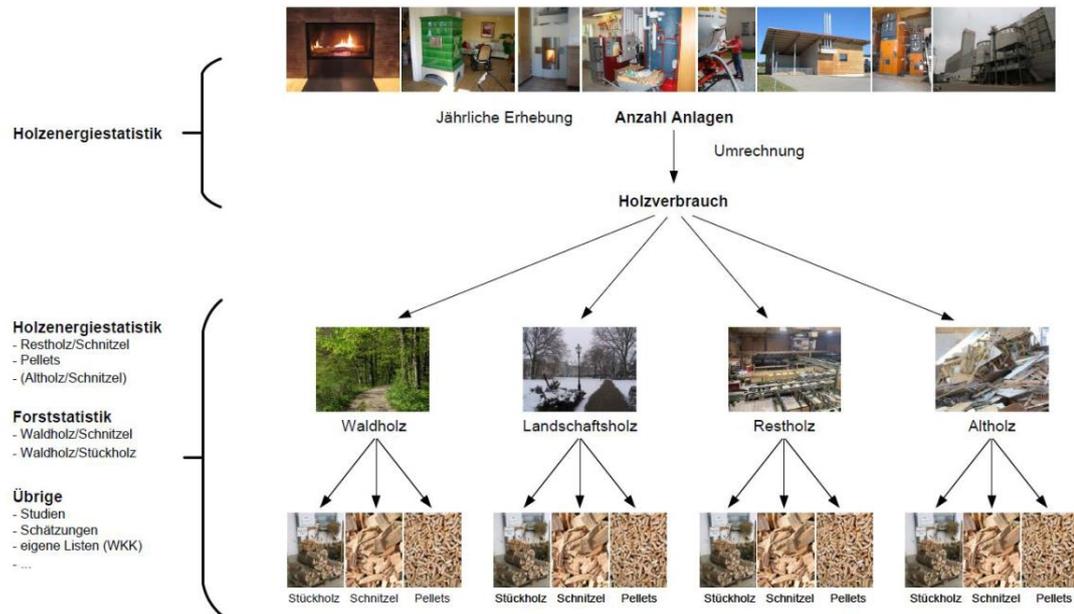
Die Erhebung des aktuellen Energieholzverbrauchs von Holzenergie Schweiz (2023) basiert auf drei verschiedenen Quellen (siehe auch Abbildung 24):

- Schweizerische Holzenergiestatistik
- Schweizerische Forststatistik
- Übrige (Studien, Schätzungen, Listen, Interviews, etc.)

---

<sup>82</sup> Holzenergie Schweiz (2023).

**Abbildung 24: Erhebung des aktuellen Energieholzverbrauchs im Rahmen der Studie von Holzenergie Schweiz (2023)**



Quelle: Holzenergie Schweiz (2023), S. 14.

Da die «Schweizerische Holzenergiestatistik» nur eine teilweise Zuordnung der verbrauchten Energieholzmengen zu den verschiedenen Holz kategorien (Waldholz, Flurholz, Restholz und Altholz), Brennstoffen und Kantonen erlaubt, wurden diese Daten mit der Schweizerischen Forststatistik weiter plausibilisiert.

Die Holzenergiestatistik ist mit Stärken und Schwächen verbunden, welche bei der Auswertung berücksichtigt werden müssen:<sup>83</sup>

- **Stärken:**
  - Für gewisse Anlagentypen ist eine Aufschlüsselung nach Anlagenzahl, Holzverbrauch, Kantonen und Waldholz und Restholz enthalten.
  - Die Statistik wird seit 1990 mit derselben Methodik ununterbrochen erhoben.
  - Die Grundlage für die automatischen Anlagentypen > 50 kW basieren auf den Listen der kantonalen Luftreinhalteämter und sind belastbar.
- **Schwächen**
  - Rückwirkende Anpassungen: Es werden bei fast jeder jährlichen Fortschreibung rückwirkend Anpassungen vorgenommen. Für das Jahr 2020 ergab dies eine Differenz von über 44'000 m<sup>3</sup>.

<sup>83</sup> Holzenergie Schweiz (2023).

- Überschätzung Holzverbrauch in Klein-Holzheizungen: Die Holzenergiestatistik überschätzt bei Klein-Holzheizungen die Anzahl Anlagen, den Betriebsgrad und den durchschnittlichen jährlichen Holzverbrauch pro Anlage.
- Zeitliche Verzögerung: Die Verbrauchsdaten liegen oftmals erst unvollständig vor und werden aufgrund der Kürze der Termine nicht mehr aktualisiert.
- Überschätzung von Altholzverbrauch und problematischen Holzabfällen.

Aufgrund der genannten Schwächen wurden für das Monitoring die folgenden Anpassungen der «Schweizerischen Holzenergiestatistik» vorgenommen:<sup>84</sup>

- «Anlagenkategorie 3» Cheminéeöfen: Reduktion der Verbrauchsmenge auf 40 %
- «Anlagenkategorie 5» Kachelöfen: Reduktion der Verbrauchsmenge auf 80 %
- «Anlagenkategorie 20» Holz in KVA: Reduktion der Verbrauchsmenge von 435'486 m<sup>3</sup> auf 174'194 m<sup>3</sup> (auf 40 % von [2])
- Generelle Plausibilisierung aller Daten mit anderen Quellen (z. B. Forststatistik)
- Korrekturfaktor «Urbanität» für spezifischen Holzverbrauch Stückholz pro Person

#### b) Methodik zur Erhebung des zukünftigen Verbrauchs

Neben der aktuellen Nutzung wurde in der Studie von Holzenergie Schweiz (2023) auch der zukünftige Holzenergieverbrauch abgeschätzt. Dies geschah im Rahmen von Projekten und Projektideen.

- **Projekte** sind Vorhaben, deren Inbetriebnahme oder Baubeginne seit dem Stichdatum vom 31.12.2021 bereits erfolgt ist sowie Anlagen, deren Realisierung noch nicht erfolgt ist aber mit Sicherheit erfolgen wird.
- **Projektideen** sind Vorhaben und «Ideen» deren Realisierung noch nicht definitiv feststeht.

Der zukünftige Verbrauch von grösseren Anlagen (Projekte und Projektideen) wurde über verschiedene Quellen erhoben. Dazu gehören u. a. Auswertung Mediendienst, «Netzwerk Holzenergie», QM Holzheizwerke, Kantone, übrige Quellen.<sup>85</sup>

## 6.5 Methodik zur Erhebung der Potenziale

Ungefähr die Hälfte der Kantone verfügen über Potenzialstudien, welche mehr oder weniger aktuell sind. Für den Kanton Bern beziehen wir uns auf die kantonalen Daten der nationalen Studie von Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) sowie die kantonale Studie von Thees; Lemm; Stadelmann (2023) zu den zukünftigen Waldenergieholzpotenzialen des Kantons Bern.

---

<sup>84</sup> Holzenergie Schweiz (2023).

<sup>85</sup> Holzenergie Schweiz (2023).

## 6.6 Hofdüngerpotenziale: Vorgehen und Annahmen zur Bestimmung geeigneter Standorte zur Produktion von Elektrizität, Wärme und Biomethan

Siegrist; Bowman; Burg (2022) sind wie folgt vorgegangen, um geeignete Standorte zur Produktion von Elektrizität, Wärme und Biomethan aus Biomasse zu identifizieren:

Zuerst wurden grundsätzlich **geeignete Gebiete zur Biogasproduktion und die verfügbare Biomasse** identifiziert. Die geeigneten Gebiete wurden aufgrund von verschiedenen Kriterien bestimmt. Dazu gehören gesetzliche Anforderungen, technische Einschränkungen und wirtschaftliche Gründe (Kosten des Anschlusses an eine Gasleitung). So wurden zwei Zonen ausgewiesen:

- Gebiete, die sich für die Biogasproduktion eignen
- Gebiete, welche sich für die Produktion von Elektrizität, Wärme oder Biomethan eignen

Um die **Gebiete zu bestimmen, in denen Biogasanlagen erlaubt sind**, wurde von den geeigneten Gebieten die Wohngebiete inklusive eines räumlichen Puffers abgezogen. Weiter wurde eine maximale Transportdistanz der Biomasse von 15 km implementiert.

Danach wurden **Gebiete ermittelt, die für mit Biogas betriebene Wärmenetze sowie für die Netzeinspeisung von Biomethan geeignet** sind. Dazu wurde eine maximale Distanz zum nächsten Wärmenetz oder Gasnetz verwendet.

Mit dem beschriebenen Vorgehen wurde ein realistisches (Abbildung 27) und ein Worst Case Szenario (Abbildung 28) berechnet. Abbildung 25 zeigt welche Parameter in den jeweiligen Szenarien für die verschiedenen Kriterien verwendet wurden. Die im realistischen Szenario verwendeten Parameter sind fett geschrieben, für das Worst Case Szenario wurde bei jedem Kriterium jeweils der restriktivste Parameter gewählt.

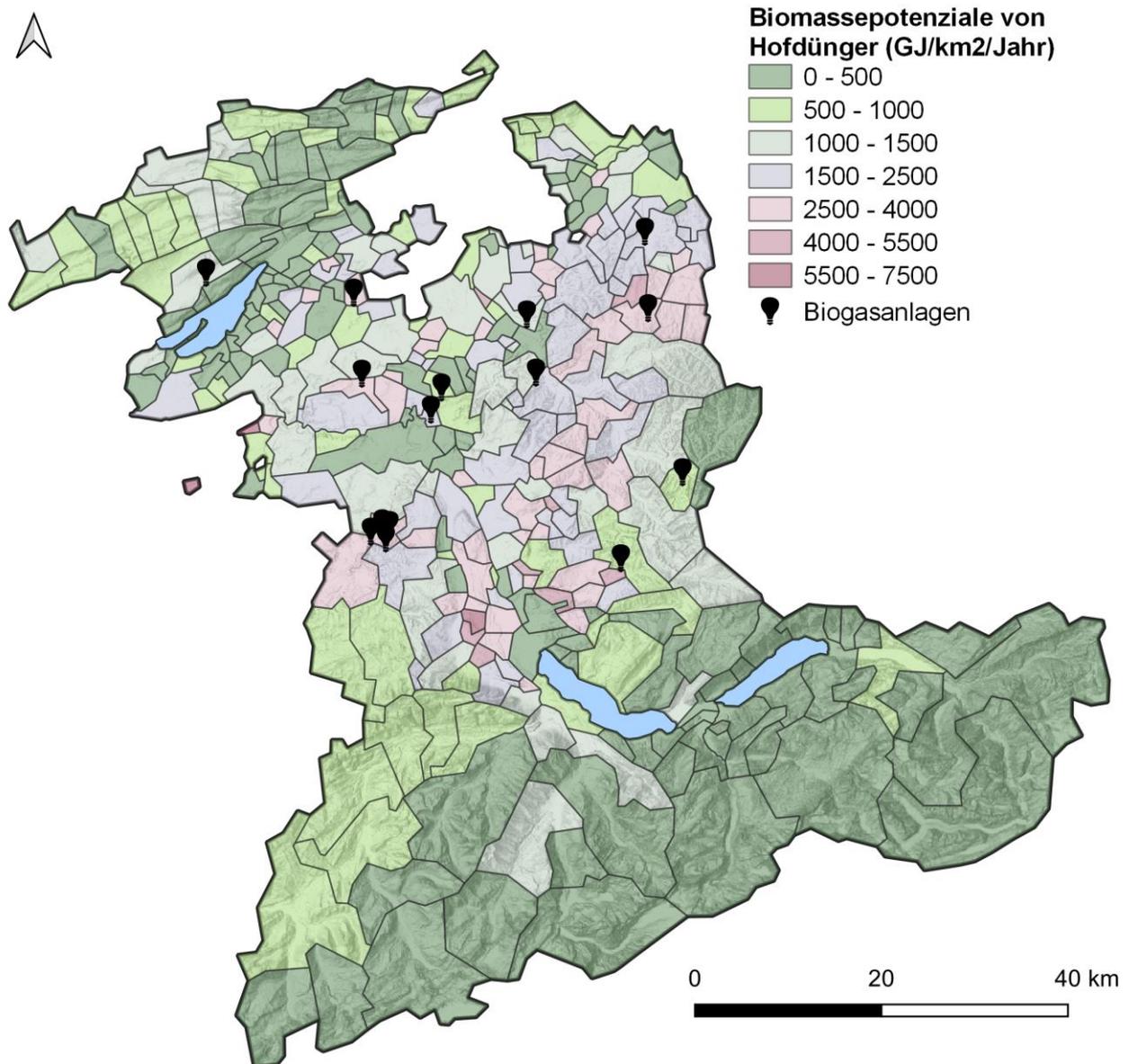
**Abbildung 25: Verwendete Parameter zur Bestimmung des realistischen und Worst Case Szenario**

Analysis	Relevant criteria	Parameter values (Increasingly restrictive to the right)
Legal	Location in agricultural zone	<b>Yes</b>
	Minimum distance to residential areas in m	<b>100</b> 200 300
Transport	Maximum biomass transport in km on road	20 <b>15</b> 10
Heat network	Maximum distance of heat network in m	<b>1000</b>
	Linear heat demand density in MWh/m/a	1 1.25 1.5 1.75 <b>2</b>
	Heat demand in MWh	<b>Current</b> Future
	Cumulating adjacent heat demand points	<b>Yes</b> No
Gas-to-grid	Maximum distance from gas grid in m	<b>1000</b> 900 800 700 600 500 400 300

Quelle: Siegrist; Bowman; Burg (2022), S. 3.

## Hotspots und Coldspots der nachhaltigen Hofdüngerpotenziale

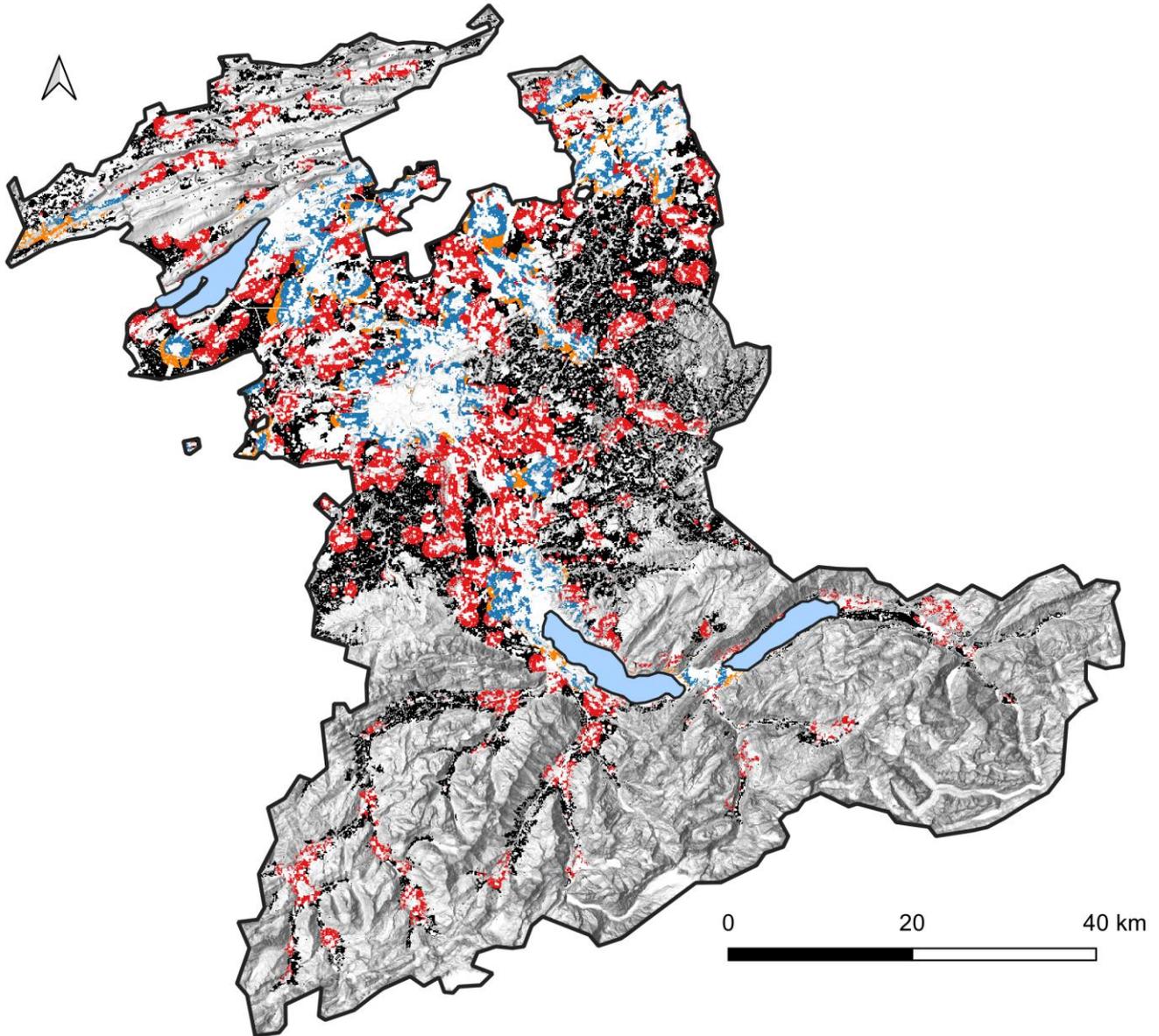
Abbildung 26: Nachhaltige Biomassepotenziale von Hofdünger und landwirtschaftliche Biogasanlagen im Kanton Bern



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf den Daten von Burg; Bowman; Erni; u. a. (2018); Angaben zu den landwirtschaftlichen Biogasanlagen gemäss Auskunft des AUE.

## Geeignete Standorte zur Produktion von Elektrizität, Wärme und Biomethan

Abbildung 27: Geeignete Standorte zur Produktion von Elektrizität, Wärme und Biomethan – Realistischer Fall

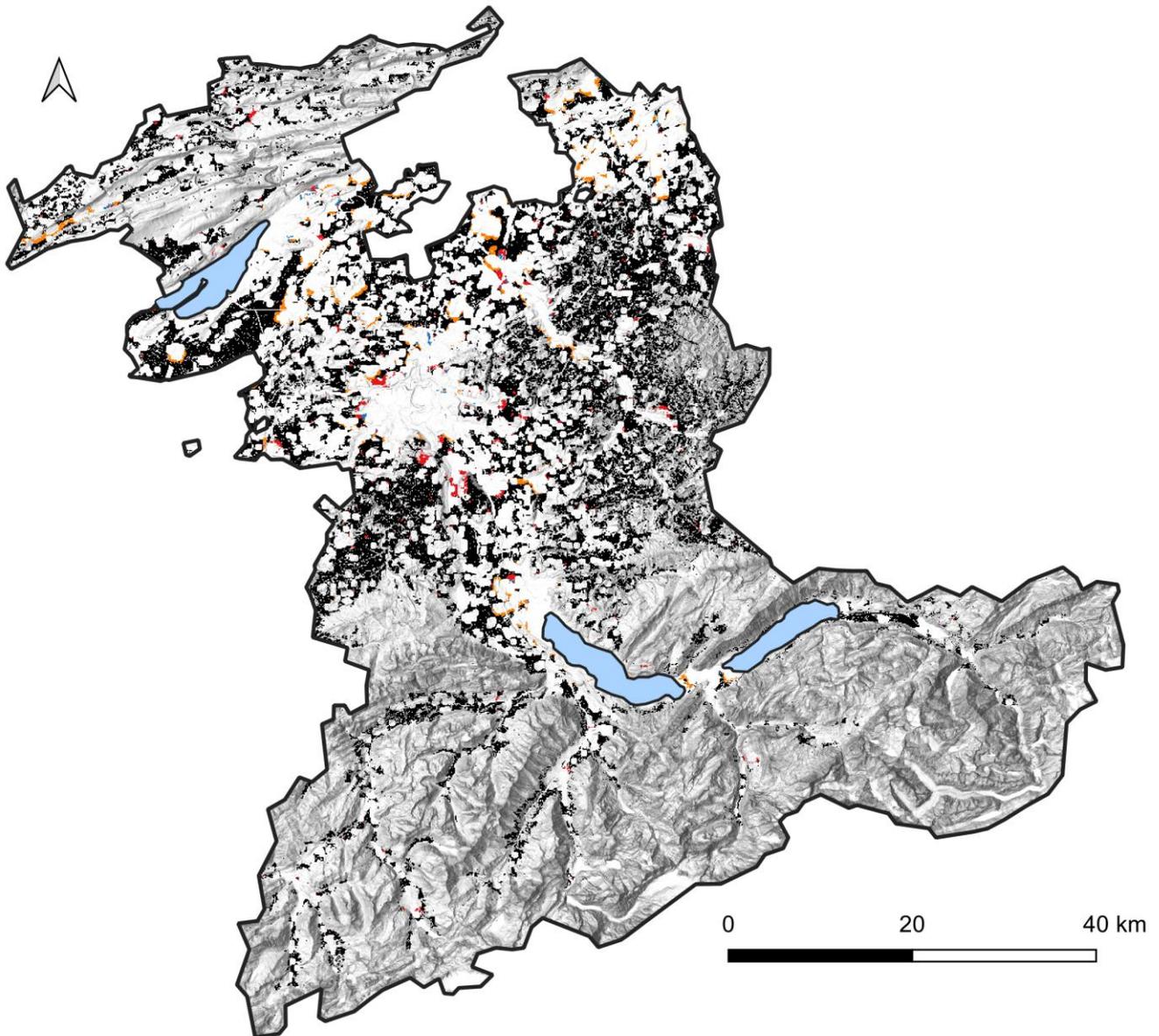


### Geeignete Zonen zur Produktion von Elektrizität, Wärme und Biomethan (Realistischer Fall)

- Geeignet für Elektrizitätsproduktion
- Geeignet für Gasversorgung, keine Wärmeversorgung
- Geeignet für Wärmeversorgung, keine Gasversorgung
- Geeignet für Gas- und Wärmeversorgung

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Siegrist; Bowman; Burg (2022)

Abbildung 28: Geeignete Standorte zur Produktion von Elektrizität, Wärme und Biomethan – Worst Case Fall



**Geeignete Zonen zur Produktion von Elektrizität, Wärme und Biomethan (Worst Case Fall)**

- Geeignet für Elektrizitätsproduktion
- Geeignet für Gasversorgung, keine Wärmeversorgung
- Geeignet für Wärmeversorgung, keine Gasversorgung
- Geeignet für Gas- und Wärmeversorgung

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Siegrist; Bowman; Burg (2022)

## 6.7 Beteiligte Akteure

**Abbildung 29: Interviewpartner/-innen der Expert/-inneninterviews**

Institution	Namen	Datum
AWN	Roger Schmidt	18.10.2022
AUE	Ulrich Nyffenegger	25.10.2022
LANAT	Marc Zuber Christoph Rudolph Andreas Leu	27.10.2022
Geschäftsstelle Holzenergie	Thomas Rohrer	03.11.2022
HAFL	Michael Studer	07.11.2022
Biomassezentrum Wimmis (Oberland Energie)	Horst Matzke Alessandro Benfatto	08.11.2022
BFE	Daniel Binggeli	29.11.2022
ETHZ	Vanessa Burg	31.11.2022
Ithaka Institut	Nikolas Hagemann	20.12.2022
AWA	Marc Häni	12.01.2023

Die Interviews wurden durch Ecoplan (Tanja Engel und Samuel Zahner) geführt.

**Abbildung 30: Interviewpartner/-innen der Vertiefungsgespräche**

Vertiefungsthema	Namen	Datum
Holz	– Andreas Keel, Holzenergie Schweiz	23.08.2023
Zukünftige Potenziale der holzigen Biomasse	– Daniel Binggeli, BFE	13.09.2023
Lösungsansätze für die zukünftige Nutzung der holzigen Biomasse		
Pflanzenkohle	– Irzan Trimurti, Charnet	13.09.2023
Systemverständnis	– Daniel Binggeli, BFE – Michael Studer, HAFL – Anja Strahm, Wyss Academy – Thomas Rosenberg, AUE – Jasmin Neuenschwander, AUE	27.10.2023
Systemverständnis	– Vanessa Burg, ETHZ	30.10.2023
Kaskadennutzung von holziger Biomasse	– Stefan Zöllig, Timbatec – Anja Strahm, Wyss Academy – Thomas Rosenberg, AUE	16.11.2023
Food Waste	– Markus Hurschler, Foodways – Anja Strahm, Wyss Academy – Thomas Rosenberg, AUE	16.11.2023
Potenziale holzige Biomasse	– Roger Schmidt, AWN	11.12.2023

Die Vertiefungsgespräche wurden durch EcoPlan (Tanja Engel, Samuel Zahner und/oder André Müller) geführt.

Abbildung 31: Teilnehmende des Workshops vom 22. Juni 2023

Institution	Name	Workshopthema
<b>Projektteam</b>		
Amt für Umwelt und Energie	Thomas Rosenberg	Hofdünger
Amt für Umwelt und Energie	Jasmin Neuenschwander	Weitere Biomassen
Wyss Academy	Anja Strahm	Weitere Biomassen
Ecoplan	André Müller	Holzige Biomasse (2)
Ecoplan	Samuel Zahner	Hofdünger
Ecoplan	Tanja Engel	Holzige Biomasse (1)
<b>Teilnehmende</b>		
Amt für Gemeinden und Raumordnung	Bruno Mohr	Holzige Biomasse (1)
AVAG / Oberland Energie	Alessandro Benfatto	Weitere Biomassen
Amt für Wasser und Abfall	Marc Häni	Weitere Biomassen
Amt für Wald und Naturgefahren	Roger Schmidt	Holzige Biomasse (1)
Berner Bauern Verband	Karin Oesch	Holzige Biomasse (2)
Berner Waldbesitzer	Anja Leser	Holzige Biomasse (1)
Fachverband Pflanzenkohle	Trimurti Irzan	Holzige Biomasse (2)
Geschäftsstelle Holzenergie	Thomas Rohrer	Holzige Biomasse (2)
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften	Michael Studer	Hofdünger
Regionalkonferenz Oberland-Ost	Alina von Allmen	Hofdünger
KEWU AG	Andreas Utiger	Weitere Biomassen
Amt für Landschaft und Natur	Marc Zuber	Hofdünger
Amt für Landschaft und Natur	Christoph Rudolf	Weitere Biomassen
Amt für Landschaft und Natur	Andreas Leu	Weitere Biomassen
Ökostrom Schweiz	Jürg Messerli	Weitere Biomassen
Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft	Renato Lemm	Holzige Biomasse (1)
Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft	Oliver Thees	Holzige Biomasse (2)

## Literaturverzeichnis

- Aeesuisse; Gazenergie; Swiss Cleantech; u. a. (2023): Positionspapier Biogas und andere erneuerbare Gase.
- AG für Abfallverwertung AVAG (2022): Geschäftsbericht 2021.
- Badra, Dimitra Vlaskou (2023): Netto Null 2050 – Schweizer Holz für die Generationen Challenge.
- BLW, BLV, BAFU (Hrsg.) (2023): Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung 2050. Verminderung von Treibhausgasemissionen und Anpassung an die Folgen des Klimawandels für ein nachhaltiges Schweizer Ernährungssystem.
- Brethauer, Simone; Riediker, Martin; Thees, Oliver; u. a. (2021): Die Rolle von Biomasse im zukünftigen schweizerischen Energie- und Rohstoffsystem. In: Schweiz Z Forstwes, 172, 7–15.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2021): Ressourcenpolitik Holz 2030. Strategie, Ziele und Aktionsplan Holz 2021 – 2026.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2022): Jahrbuch Wald und Holz 2022.
- Bundesamt für Umwelt BAFU und Bundesamt für Landwirtschaft BLW (2023): Pflanzenkohle in der Schweizer Landwirtschaft. Risiken und Chancen für Boden und Klima.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2023): Bericht zur Erhebung der Kerichtsackzusammensetzung 2022.
- Burg, Vanessa; Bowman, Gillianne; Erni, Matthias; u. a. (2018): Analyzing the potential of domestic biomass resources for the energy transition in Switzerland. In: Biomass and Bioenergy, 111, 60–69.
- Burg, Vanessa; Bowman, Gillianne; Hellweg, Stefanie; u. a. (2019): Long-Term Wet Bioenergy Resources in Switzerland: Drivers and Projections until 2050. In: Energies, 12, 18, 3585.
- Burg, Vanessa; Bowman, Gillianne; Thees, Oliver; u. a. (2021): Biogas aus Hofdünger in der Schweiz. Energiepotenzial, Technologieentwicklung und Ressourcenmobilisierung. White Paper. In: 2513327 bytes.
- Burg, Vanessa; Troitzsch, Klaus G.; Akyol, Deniz; u. a. (2021): Farmer's willingness to adopt private and collective biogas facilities: An agent-based modeling approach. In: Resources, Conservation and Recycling, 167, 105400.
- Der Bundesrat (2022): Aktionsplan gegen die Lebensmittelverschwendung. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 18.3829 Chevalley vom 25. September 2018.
- Ecoplan (2024): Nachhaltige und effiziente Biomassennutzung im Kanton Bern. Vision, Zielkonflikte und mögliche Stossrichtungen für Massnahmen.
- Energie Schweiz und Bundesamt für Energie BFE (2017): Energie aus Biomasse. Weil in organischen Abfällen und Holz viel drin steckt.
- Erni, Matthias; Burg, Vanessa; Bont, Leo; u. a. (2020): Current (2020) and Long-Term (2035 and 2050) Sustainable Potentials of Wood Fuel in Switzerland. In: Sustainability, 12, 22, 9749.

- Erni, Matthias; Thees, Oliver und Lemm, Renato (2017): Altholzpoteziale der Schweiz für die energetische Nutzung. Ergebnisse einer Vollerhebung. In: WSL Berichte, 52.
- Erni, Matthias; Thees, Oliver; Lemm, Renato; u. a. (2022): Zukünftige Potenziale der nachhaltigen Waldenergieholzversorgung in der Schweiz. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 173, 1, 24–35.
- ewb (2022): Geschäfts- und Nachhaltigkeitsbericht.
- Geo-Partner (2010): Klären von Differenzen zwischen Holznutzungsmengen nach Forststatistik und nach LFI.
- Gutzwiller, Stephan (2022): Pyrolyse im Kanton Bern und Berner Oberland zur Pflanzenkohle- und Wärmeproduktion. Potenzialstudie Biomasse.
- Holzenergie Schweiz (2023): Monitoring Holzenergie in der Schweiz. Entwurf Schlussbericht (31. Juli 2023).
- Kaskad-E und Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW (2022): PYROCHAR. Erweiterung von Biomasse-Substraten für zusätzliche Energie- und Pflanzenkohleproduktion.
- Konferenz Kantonalen Energiefachstellen EnFK (2018): Einspeisepotenzial von erneuerbarem Gas in das Schweizer Gasnetz bis 2030. Studie im Auftrag der EnFK. Zusammenfassung der Analyse – Juni 2018.
- Lehner, Ludwig (2018): Bioproduktewerk Schweiz - Übersicht zu Anforderungen und Voraussetzungen für eine Machbarkeitsprüfung.
- MÜVE Biel Seeland AG (2020): Jahresbericht 2019.
- Nussbaumer, Thomas (2023): Verwertungspfade Holzenergie. Ressourceneffizienz verschiedener Verwertungspfade zur Nutzung von Energieholz. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Zürich.
- Prognos und INFRAS (2021): Energieperspektiven 2050+. Exkurs Biomasse. Potenziale und Einsatz in den Szenarien.
- Regierungsrat des Kantons Bern (2017): Sachplan Abfall.
- Schmidt, Hans-Peter; Hagemann, Nikolas; Abächerli, Fredy; u. a. (2021): Pflanzenkohle in der Landwirtschaft. Hintergründe zur Düngertilgung und Potentialabklärung für die Schaffung von Kohlenstoff-Senken. Agroscope.
- Schnorf, Vivienne; Trutnevyte, Evelina; Bowman, Gillianne; u. a. (2021): Biomass transport for energy: Cost, energy and CO2 performance of forest wood and manure transport chains in Switzerland. In: Journal of Cleaner Production, 293, 125971.
- Siegrist, Armin; Bowman, Gillianne und Burg, Vanessa (2022): Energy generation potentials from agricultural residues: The influence of techno-spatial restrictions on biomethane, electricity, and heat production. In: Applied Energy, 327, 120075.
- Thees, Oliver; Burg, Vanessa; Erni, Matthias; u. a. (2017): Biomassenpotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung. Ergebnisse des Schweizerischen Energiekompetenzentrums SCCER BIOSWEET. In: WSL Berichte, 57.
- Thees, Oliver; Erni, Matthias; Burg, Vanessa; u. a. (2023): Energieholz in der Schweiz: Potenziale, Technologieentwicklung, Ressourcenmobilisierung und seine Rolle bei der

Energiewende. White Paper. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL.

Thees, Oliver; Lemm, Renato und Stadelmann, Golo (2023): Künftige Waldenergieholzpotenziale im Kanton Bern.

UMWEKO (2019): Kompostier- und Vergärungsanlagen. Erhebung in der Schweiz und Lichtenstein.

Verband Fernwärme Schweiz VFS (2022): Liste „Thermische Netze“. Auswertungsbericht 2021.

Vogel, Benedikt (2023): Energie und Pflanzenkohle aus neuen Quellen. In: Aqua & Gas, 2.

Wyss Academy (2021): Effiziente Nutzung der Biomassenpotenziale für die Energieproduktion, Wyss Academy. URL <https://www.wyssacademy.org/post/effiziente-nutzung-des-biomassenpotentials-für-die-energieproduktion?lang=de>, abgerufen am 2. November 2023.

Wyss Academy for Nature (2022): Ein visionärer Ansatz, Wyss Academy for Nature. URL <https://annualreport.wyssacademy.org/de/ein-visionarer-ansatz>.

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW (2017): Biomassennutzung in der Schweizer Landwirtschaft. Stoffflussanalyse landwirtschaftlicher Biomassen auf Produktions- und Nutzungsebene.

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW (2018): Biogene Güterflüsse – Update 2014. Massenflussanalyse der Biomasseflüsse der Schweiz.