



Schlussbericht – 12.04.2024

Nachhaltige und effiziente Biomassennutzung im Kanton Bern

Vision, Zielkonflikte und mögliche
Stossrichtungen für Massnahmen

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: Vision, Zielkonflikte und mögliche Stossrichtungen für Massnahmen
Auftraggeber: Wyss Academy for Nature an der Universität Bern und Amt für Umwelt und Energie des Kantons Bern (AUE)
Ort: Bern
Datum: 12.04.2024

Begleitgruppe

(Alphabetische Reihenfolge)

Andreas Keel (Holzenenergie 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

Samuel Zahner (Projektleitung)
Tanja Engel
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

Monbijoustrasse 14
CH - 3011 Bern
Tel +41 31 356 61 61
bern@ecoplan.ch

Dätwylerstrasse 25
CH - 6460 Altdorf
Tel +41 41 870 90 60
altdorf@ecoplan.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Ziel.....	1
1.1	Ziel und Zweck	1
1.2	Vorgehen.....	2
2	Heutiges System der Biomassennutzung	3
3	Biomassenpotenziale	6
3.1	Holzige Biomasse	6
3.2	Hofdünger, weitere Biomassen	10
4	Zukünftiges System der Biomassennutzung	14
4.1	Netto-Null und Kreislaufwirtschaft als übergeordnete Ziele	14
4.2	Kriterien und Grundsätze zur optimalen Allokation der Biomasse.....	17
4.3	Vision 2050+ für den Kanton Bern	19
5	Nutzungskonflikte, Hürden, Fehlanreize und mögliche Lösungsansätze.....	25
5.1	Holzige Biomasse	25
5.2	Hofdünger, weitere Biomasse	27
6	Fazit und vorgeschlagene Stossrichtungen für Massnahmen.....	30
	Anhang	35
	Literaturverzeichnis	46

1 Ausgangslage und Ziel

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: «*Effiziente Nutzung der Biomasse für die Energieproduktion*». Das **Ziel dieses Projekts** 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 **CO₂-neutrale Gesellschaft** geleistet werden.¹

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

- ein gemeinsames Systemverständnis der heutigen Biomassennutzung zu erarbeiten (siehe Kapitel 2),
- die nachhaltig verfügbaren Biomassenpotenziale im Kanton Bern zu analysieren (wichtigste Ergebnisse in Kapitel 3),
- eine Vision für die zukünftige Biomassennutzung zu entwickeln (siehe Kapitel 4),
- daraus die wichtigsten Konflikte, Hürden und Fehlanreize abzuleiten (siehe Kapitel 5)
- und Stossrichtungen für mögliche Massnahmen und Inkubatoren vorzuschlagen (siehe Kapitel 6).

Zweck und Grenzen des vorliegenden Berichts

Der vorliegende Bericht soll das heutige Systemverständnis der Akteure und die wichtigsten Eckpunkte für eine zukünftige Vision zusammenfassen. Für detailliertere Analysen und Informationen wird auf den Hintergrundbericht² verwiesen.

Der Bericht 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 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>

² Ecoplan (2024)

1.2 Vorgehen

Das Vorgehen orientiert sich am Solutionscape-Ansatz³ der Wyss Academy, der sich aus den folgenden fünf Elementen zusammensetzt (siehe Abbildung 1-1):

- 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

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. In einer ersten Phase wurde das heutige Biomassensystem und das Verständnis der Akteure dieses Systems untersucht. Dazu wurden 10 Expert/-innen-Interviews durchgeführt, die aktuelle Literatur analysiert und Abschätzungen zu den Biomassenpotenzialen im Kanton Bern erstellt (siehe Hintergrundbericht). Anschliessend wurden in einem Workshop mit 23 Teilnehmenden erste Eckpunkte für eine gemeinsame Vision und erste Ideen für Inkubatoren diskutiert. Schliesslich wurde die Vision 2050+ konkretisiert und daraus Stossrichtungen für mögliche Massnahmen abgeleitet.

Abbildung 1-1: Solutionscape Process gemäss der Wyss Academy for Nature



Quelle: Wyss Academy for Nature (2022)

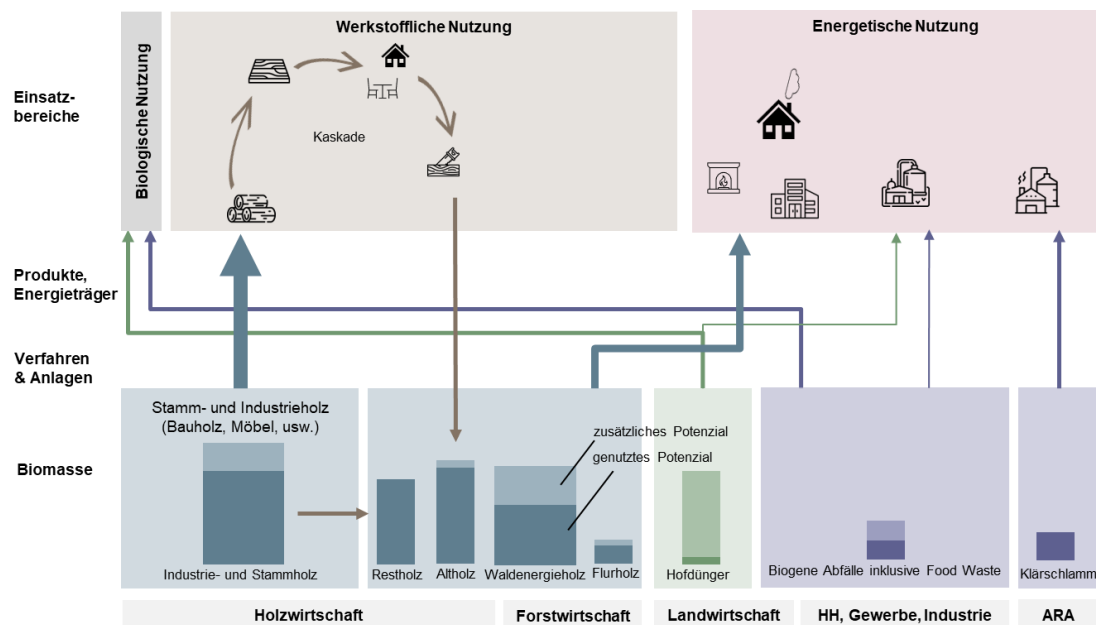
³ Wyss Academy for Nature (2022)

2 Heutiges System der Biomassennutzung

Der Zweck des Systembildes ist es, mit einer ganzheitlichen Sicht die wichtigsten Stoff- und Energieflüsse der anfallenden Biomasse bis zu den entsprechenden Einsatzbereichen aufzuzeigen, um basierend darauf mögliche Zukunftsentwicklungen und Zielkonflikte diskutieren zu können. Abbildung 2-1 zeigt ein vereinfachtes Systembild der heutigen Biomassennutzung im Kanton Bern auf. Es wird Biomasse aus der Holz- und Forstwirtschaft, der Landwirtschaft und Landschaftspflege, sowie aus dem Gewerbe, der Industrie und den Haushalten berücksichtigt. Die Biomassen werden in diesem Bericht in drei Fraktionen eingeteilt: Holzige Biomasse, Hofdünger und übrige Biomasse (biogene Abfälle⁴ sowie Klärschlamm aus den Abwasserreinigungsanlagen (ARA)).

Die Säulen in Abbildung 2-1 zeigen, wie viel der nachhaltig verfügbaren Potenziale heute bereits genutzt werden und welche zusätzlichen Potenziale noch bestehen. Aus den Biomassen können mit unterschiedlichen Verfahren Produkte oder Energieträger hergestellt werden, welche schliesslich von den Kunden 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).

Abbildung 2-1: Vereinfachtes Systembild der Biomassennutzung im Kanton Bern



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

⁴ Unter dem Begriff «biogene Abfälle» werden in diesem Bericht organischer Hauskehricht, organische Abfälle aus der Industrie und Grüngut aus Haushalt und Landschaft zusammengefasst

Forst- und Holzwirtschaftssystem

Mengenmässig die mit Abstand wichtigste Biomasse ist das Waldholz. 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.⁵

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. Ausserdem 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 (LRV) erfüllt sind.⁶ Die Kombination der werkstofflichen Holznutzung mit anschliessender energetischer Nutzung des Altholzes wird auch Kaskadennutzung genannt. Als weitere Holzfraktion fällt das Flurholz an, welches ausserhalb des Waldareals wächst.

Energetischer Einsatz der Biomasse

Betrachtet man die energetische Nutzung der Biomasse etwas genauer (Abbildung 2-2), so zeigt sich, dass vor allem Holzfeuerungen für Gebäude und Holzheizkraftwerke oder Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK) eine wichtige Rolle spielen. Die dabei generierte Wärme wird 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.⁷ Die übrigen Verfahren wie Industriefeuerungen, Biogasanlagen⁸ und Treibstoffherstellung spielen eine weniger grosse Rolle. Die Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA), die auch biogene Abfälle verbrennen (vgl. Kapitel 3.2), tragen massgeblich zur Strom- und Wärmeversorgung im Kanton Bern bei. Dabei gilt rund die Hälfte der aus der Kehrlichtverbrennung erzeugten CO₂-Emissionen als CO₂-neutral.⁹

⁵ Quelle: Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 2022.

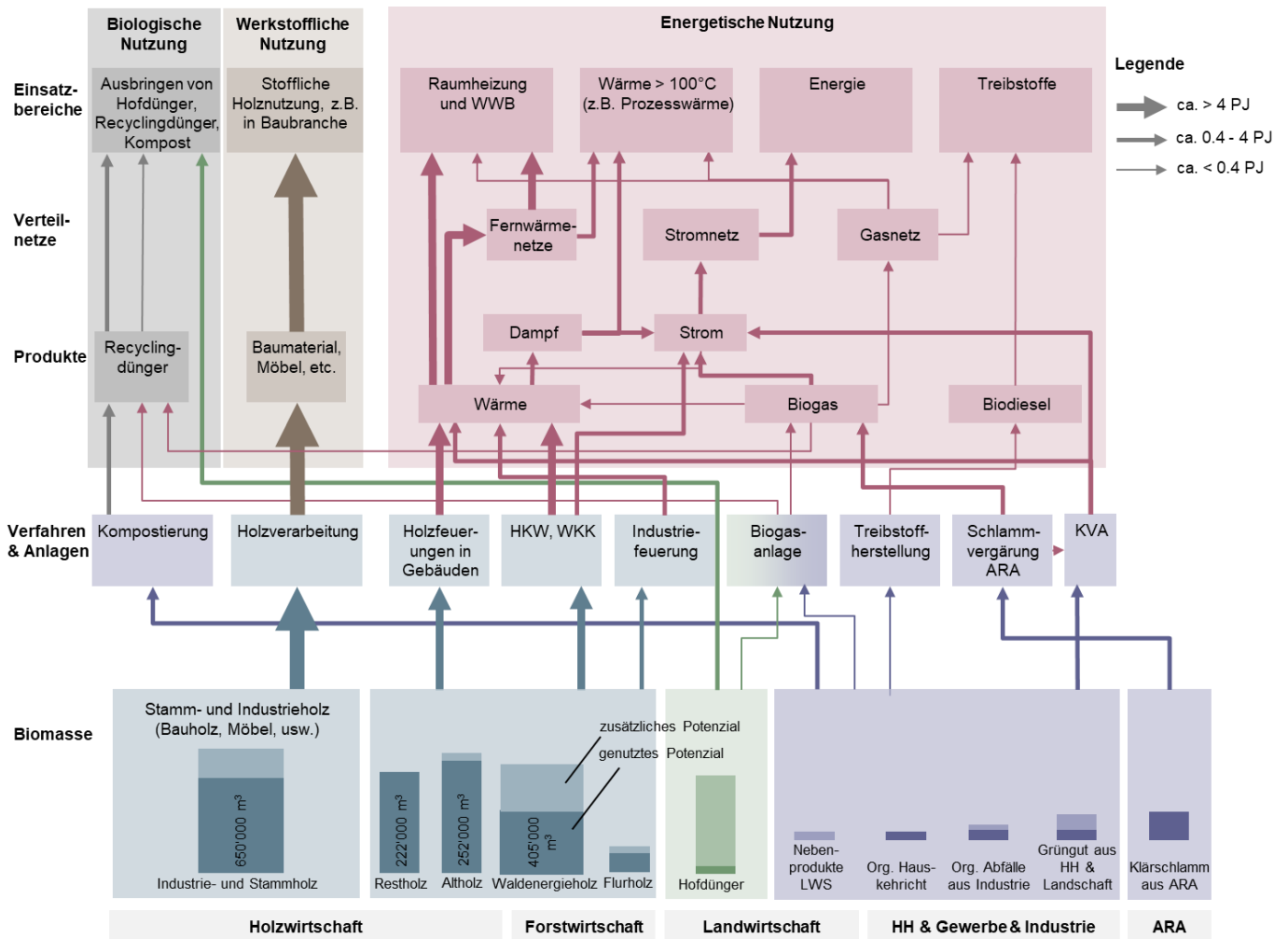
⁶ Siehe Anhang 2 Ziff. 72 LRV

⁷ Die 65 ARA erzeugen insgesamt rund 167 GWh/Jahr

⁸ Die landwirtschaftlichen und gewerblichen Biogasanlagen erzeugen insgesamt rund 60 GWh/Jahr

⁹ Der in den KVA produzierte Strom und die produzierte Wärme wird aber nicht nur aus Kehrlicht, sondern auch mit Holz und Erdgas erzeugt.

Abbildung 2-2: Biomassennutzung im Kanton Bern heute mit detaillierter Betrachtung der energetischen Nutzung



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 (2022b); Thees; Burg; Erni; u. a. (2017)

3 Biomassenpotenziale

Die folgenden Abschnitte fassen die im Hintergrundbericht detailliert beschriebenen Biomassenpotenziale für den Kanton Bern zusammen. Dabei stehen die **energetischen Potenziale** im Zentrum und werden in PJ pro Jahr angegeben. Im Gegensatz zur energetischen Nutzung ist bei anderen Nutzungen (werkstofflich, rohstofflich) die räumliche Systemgrenze in der Regel grösser. Daher ist für diese anderen Nutzungen eine kantonale Bilanzierung (der Potenziale und Nutzung) wenig sinnvoll und wird entsprechend nicht dargestellt. So exportiert der Kanton Bern beispielsweise einen wesentlichen Anteil an Industrie- und Stammholz in andere Kantone, während beim Energieholz der Nettoexport in der mengenmässigen Betrachtung eine geringe Rolle spielt.

Es wird zwischen folgenden energetischen Biomassenpotenzialen unterschieden:¹⁰

- Das **theoretische Potenzial** umfasst die im Kanton Bern erzeugte Biomasse, die theoretisch maximal genutzt werden könnte. Diese Grösse basiert auf Modellrechnungen.
- Das **nachhaltige Potenzial** ergibt sich aus dem theoretischen Potenzial abzüglich der ökologischen, teilweise ökonomischen 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 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.

3.1 Holzige Biomasse

Waldenergieholz

Die mit Abstand grössten energetischen Biomassenpotenziale liegen beim Waldenergieholz (naturbelassene Holzsortimente, welche direkt aus dem Wald für eine energetische Nutzung eingesetzt werden). Das Amt für Wald und Naturgefahren (AWN) hat die zukünftigen Waldenergieholzpotenziale darum mit verschiedenen Szenarien untersuchen lassen (Thees; Lemm; Stadelmann (2023)). Die Potenziale wurden für zwei Holzmarktpreferenzen (stoffliche vs. energetische Nutzung bevorzugt) sowie für drei Bewirtschaftungsszenarien (Referenzszenario, Vorratsanstieg und erhöhte Nutzung) berechnet. Ergänzend dazu kann zwischen ökologisch und ökologisch-ökonomisch nachhaltigen Potenzialen unterschieden werden, womit sich

¹⁰ 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. Für die vorliegende Studie wurden wo immer möglich aktuellere und räumlich spezifischere Grundlagen verwendet (siehe dazu Hintergrundbericht).

insgesamt 12 mögliche Szenarien-Kombinationen ergeben. Für die genauen Zahlen, Definition und Interpretation dieser Zahlen wird auf den Hintergrundbericht verwiesen.

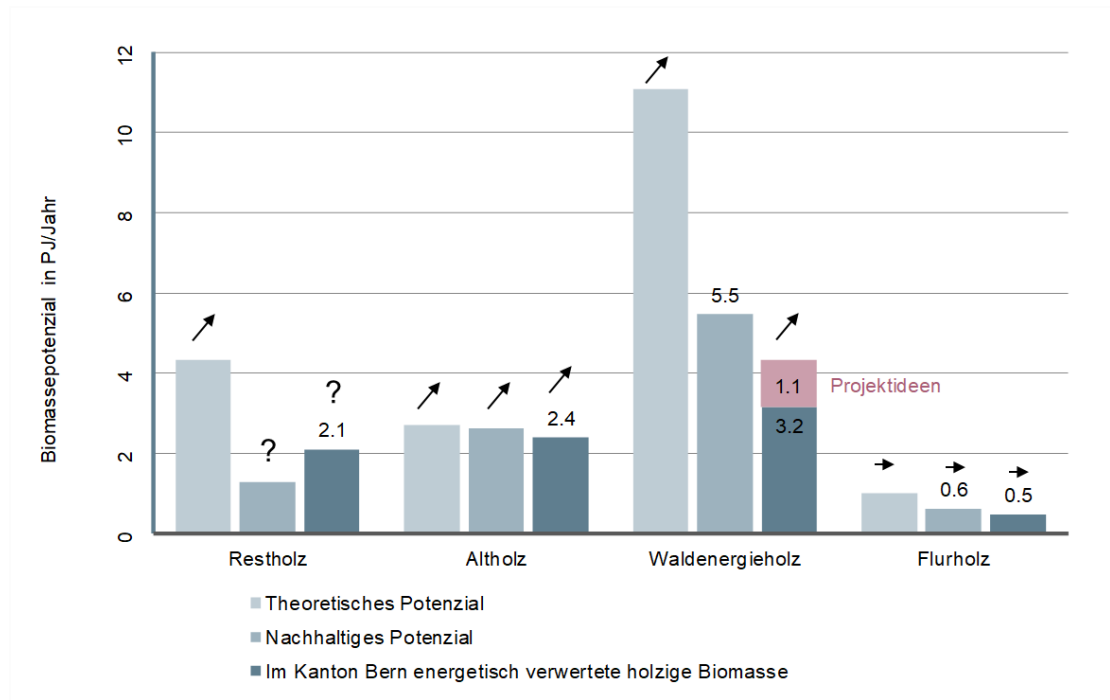
Die Bandbreite an Szenarien verdeutlicht, dass aufgrund der vielen Einflussfaktoren keine genaue Prognose zum zukünftigen Potenzial möglich ist. Dennoch wird in der nachfolgende Abbildung 3-1 einfachheitshalber für das nachhaltige Waldenergieholzpotenzial nur der Wert von 5.5 PJ/Jahr angegeben, was der Berechnung der Szenarienkombination «stoffliche Nutzung bevorzugt» und dem Bewirtschaftungsszenario «Referenzbewirtschaftung» entspricht. Bei der Interpretation sind die entsprechenden Unsicherheiten (siehe Box) zu berücksichtigen. Je nach Unsicherheitsfaktor, ist dieser Wert als zu optimistisch oder pessimistisch einzustufen.

Wichtige Unsicherheiten bei der Abschätzung der nachhaltig verfügbaren Waldenergieholzpotenziale

- Infolge des Klimawandels könnten häufigere Extremereignisse zu einer erhöhten Mortalität führen und aktive Massnahmen zur Verjüngung und Entwicklung des Waldes erfordern, was gebietsweise zu einem Vorratsabbau führen kann. Der Vorratsabbau kann allenfalls zu erhöhten Anteilen direkt als Waldenergieholz anfallen, besonders dann, wenn sich die Nutzung nicht für eine stoffliche Verwertung eignet oder die Nachfrage oder Verarbeitungskapazitäten fehlen. Entsprechend ist an Stelle des Referenzszenarios auch eine erhöhte Nutzung denkbar. -> Erhöhung des nachhaltigen Waldenergieholzpotenzials in den nächsten Jahrzehnten
- Im Modell mussten Annahmen zum Anteil des nachhaltig nutzbaren Waldenergieholzes am gesamten nachhaltig nutzbaren Waldholz (stofflich + energetisch) getroffen werden, dieser beträgt ca. 45 %. Technologische Veränderungen können jedoch dazu führen, dass bisher energetisch genutzte Waldholzsortimente in Zukunft stofflich genutzt werden. -> Abnahme des nachhaltigen Waldenergieholzpotenzials
- Die Berechnung umfasst auch Potenziale, welche sich heute nicht zur Ernte lohnen. Die effektive Nutzung hängt einerseits von den Marktpreisen und andererseits stark von den Bereitstellungskosten ab. Dabei sind die Kosten erheblich von der strukturellen Entwicklung der Waldwirtschaft geprägt. Für Besitzer von kleinen Waldflächen lohnt sich eine intensive Bewirtschaftung oftmals nicht oder es fehlen an den dazu nötigen Voraussetzungen (z.B. Planung, Erschliessung, Arbeitsverfahren etc.). -> Abnahme des nachhaltigen Waldenergieholzpotenzials
- Sich verändernde gesellschaftliche Ansprüche an den Wald können zu ökologischen und letztlich politischen Restriktionen zur Nutzung des Potenzials führen. -> Abnahme des nachhaltigen Waldenergieholzpotenzials
- Abbildung 3-1 zeigt das über den Zeitraum 2023 – 2053 gemittelte Potenzial. Betrachtungen von anderen Zeiträumen führen zu Abweichungen bei diesen Zahlen (siehe Hintergrundbericht).

Abbildung 3-1: Energetische Potenziale holziger Biomasse im Kanton Bern

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).



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 im Kanton Bern.
 Holzenergie Schweiz (2023) für bereits genutzte Potenziale von Restholz, Altholz, Waldenergieholz und Flurholz im Jahr 2021 sowie Projektideen.
 Erni; Burg; Bont; u. a. (2020) und Interviewergebnisse für die zukünftigen Entwicklungen.

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

Für Erläuterungen zum Restholz siehe den nachfolgenden Abschnitt.

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.

Die Schätzung zur aktuellen Nutzung basiert auf den Zahlen von Holzenergie Schweiz¹¹. Zusätzlich zum im Jahr 2021 genutzten Energieholz sind die geplanten Projekte dargestellt (siehe roter Balken, ca. 1.1 PJ/Jahr). Das zusätzlich nutzbare Waldenergieholz-Potenzial ist abhängig vom unterstellten Bewirtschaftungsszenario und den künftigen Holzpreisen: Vergleicht man die Säule des nachhaltigen Potenzials mit den 2021 genutzten Potenzialen, so sind noch mehr als 40 % der nachhaltigen Waldenergieholz-Potenziale ungenutzt. Berücksichtigt man jedoch zusätzlich die Projektideen (Erhöhung Säule heutige Nutzung) ist das zusätzlich nutzbare Potenzial deutlich geringer. Aufgrund der Unsicherheiten (siehe Box oben) lässt sich das effektiv zusätzlich nutzbare Potenziale nur schwer bestimmen. Würde man bspw. nur jene Waldenergieholzpotenziale berücksichtigen, welche sich heute zur Ernte lohnen¹² würde sich die Säule der nachhaltigen Potenziale reduzieren und es wäre nur wenig zusätzliches Waldenergieholz nutzbar.

Im Vergleich mit anderen Kantonen bestehen im Kanton Bern noch am meisten ungenutzte Potenziale – insbesondere in ländlicheren Regionen.¹³ Gemäss Interviewaussagen unterscheiden sich diese ungenutzten Waldenergieholz-Potenziale 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 ländlicheren Regionen noch ungenutzte Potenziale, welche vor allem in schlecht zugänglichen Gebieten liegen, wobei hier die Bereitstellungskosten in der Regel höher, teilweise auch sehr hoch sind.

Restholz

Restholz sind Produktionsabfälle aus Sägewerken sowie Schreinereien, Zimmereien oder Möbelfabriken, welche bspw. als Pellets energetisch verwertet werden können. Die Datengrundlage zur Abschätzung der Restholzpotenziale ist deutlich weniger gut als beim Waldenergieholz. Die Abbildung 3-1 erweckt den Eindruck, dass im Kanton Bern mehr Restholz energetisch genutzt wird, als anfällt. Die Gründe für diese Differenz liegen vermutlich in den unterschiedlichen Methoden und Datenquellen (siehe Legende Abbildung 3-1) mit unterschiedlichen Erhebungsjahren so wie im Export/Import über die Kantonsgrenzen hinweg. Die Säule der effektiven Nutzung umfasst beispielsweise den Pelletverbrauch. Die Herkunft der Pellets kann jedoch nicht kantonal eingegrenzt werden.

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, und ob die bestehenden Betriebe im Kanton Bern bleiben bzw. ihre Kapazitäten erhöhen, was schwierig vorherzusagen ist (darum Fragezeichen in Abbildung 3-1). Neue

¹¹ Keel, Andreas; Kühne, Albin; Chrenko, Richard (2023).

¹² Siehe dazu beispielsweise die Überlegungen im Hintergrundbericht zu ökonomisch-ökologisch nachhaltigen Waldenergieholzpotenzialen anhand der Bereitstellungskosten.

¹³ Thees; Burg; Erni; u. a. (2017)

Technologien wie z. B. Scrimber¹⁴ könnten zudem dazu führen, dass Restholz in Zukunft vermehrt werkstofflich anstatt energetisch genutzt wird, indem es zu höherwertigen Holzbauprodukten verarbeitet wird (Upcycling).

Altholz

Zum Altholz gehören bereits genutzte Holzbauteile und Holzmaterialien wie zum Beispiel hölzerne Verpackungen (Kisten, Paletten), aber auch Möbel, die das Lebensende erreicht haben. Das nachhaltig nutzbare Altholzpotenzial wird für den Kanton Bern heute auf rund 2.6 PJ/Jahr geschätzt.¹⁵ Geht man von einer weiteren Zunahme der Holzverwendung im Bau aus, dürfte längerfristig auch mehr Altholz (Kaskadennutzung) anfallen. Optimierungsmöglichkeiten bestehen gemäss Interviewaussagen darin, dass Altholz, welches heute ins Ausland exportiert wird, in Zukunft vermehrt auch in der Schweiz verwertet wird.

Flurholz bzw. Landschaftspflegeholz

Flurholz bzw. Landschaftspflegeholz ist holzartige Biomasse, die ausserhalb des Waldareals wächst.¹⁶ Beim Flurholz bestehen nur geringe zusätzlich nutzbare Potenziale (Abbildung 3-1). Allerdings sind hier die Unsicherheiten relativ gross, da für das genutzte Potenzial keine offizielle Statistik besteht und dieses modelliert bzw. berechnet wurde. Um die zusätzlichen Potenziale zu erschliessen, bestehen ökonomische, technische und ökologische Hindernisse.¹⁷ Gemäss Erni; Burg; Bont; u. a. (2020) ist in Zukunft kaum mit grösseren Veränderungen zu rechnen.

3.2 Hofdünger, weitere Biomassen

Hofdünger

Bei Gülle und Mist aus der Nutztierhaltung (Hofdünger) bestehen noch grosse (energetisch und stofflich) ungenutzte Potenziale (vgl. Abbildung 3-2). Das **theoretische** energetische Hofdüngerpotenzial für den Kanton Bern wird auf ungefähr 3.5 PJ/Jahr (potenzieller Methanertrag) geschätzt, wovon ca. **1.8 PJ/Jahr nachhaltig** nutzbar wären.¹⁸ 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.

¹⁴ Mit Scrimber wird eine innovative Technologie des Zerspreisseln verwendet, womit auch minderwertige Holzsortimente zu hochwertigen, statisch tragenden Baumaterialien verarbeitet werden können. So kann die Holzausbeute auf 90% erhöht werden. Quelle: Scrimber CSC (2023)

¹⁵ Thees; Burg; Erni; u. a. (2017)

¹⁶ Beispielsweise wächst Flurholz bzw. Landschaftspflegeholz auf Grünflächen entlang von Strassen und Bahnen, an Uferbereichen, im Siedlungsgebiete (bspw. Park-, Sportanlagen, Friedhöfe), als Hecken im Kulturland oder auf landwirtschaftlichen Nutzflächen (bspw. in Obstanlagen oder Weinbergen).

¹⁷ Thees; Burg; Erni; u. a. (2017)

¹⁸ Thees; Burg; Erni; u. a. (2017)

Sowohl technisch als auch ökologisch könnte nämlich ein deutlich höherer Anteil des Hofdüngers in Biogasanlagen genutzt werden.¹⁹ Mit der «Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung 2050» steht eine Veränderung der Konsum- und Produktionsmuster und damit verbunden auch eine Reduktion der Tierhaltung zur Diskussion²⁰. Damit würde sich auch der anfallende Hofdünger und damit das nutzbare Potenzial reduzieren.

Mit den heute verfügbaren Technologien lohnt sich die energetische Nutzung des Hofdüngers wirtschaftlich oftmals nicht und es bestehen noch weitere Hürden, welche die energetische Verwertung erschweren (siehe Kapitel 5.2). Heute wird Hofdünger im Kanton Bern darum nur sehr begrenzt genutzt (ca. 0.1 PJ/Jahr ²¹).

Biogene Abfälle

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, auch weil wichtige Zielkonflikte mit anderen Politikbereichen (z. B. Bodenschutz) bestehen.

Die neuste Abfallerhebung des BAFU²² 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 und Verwendung des Gärguts als Recyclingdünger²³ bestehen jedoch Zielkonflikte 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 5.2).

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 Prozent reduzieren.²⁴ Die nachhaltig verfügbaren Potenziale für die energetische Verwertung werden darum in den nächsten Jahren eher abnehmen.

¹⁹ Schnorf; Trutnevyte; Bowman; u. a. (2021) sowie Siegrist; Bowman; Burg (2022)

²⁰ BLW, BLV, BAFU (Hrsg.) (2023), siehe bspw. S. 14f

²¹ Das bereits genutzte Potenzial wurde anhand von Daten des AUE zu Biogasanlagen der KEV-Bezügerliste 2020 abgeschätzt.

²² Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2023)

²³ Der sogenannte organische Recyclingdünger umfasst sowohl Kompost als auch Gärgut. Recyclingdünger wird in der Landwirtschaft als Bodenverbesserer, Erosionsschutzmittel oder für die Rekultivierung eingesetzt.

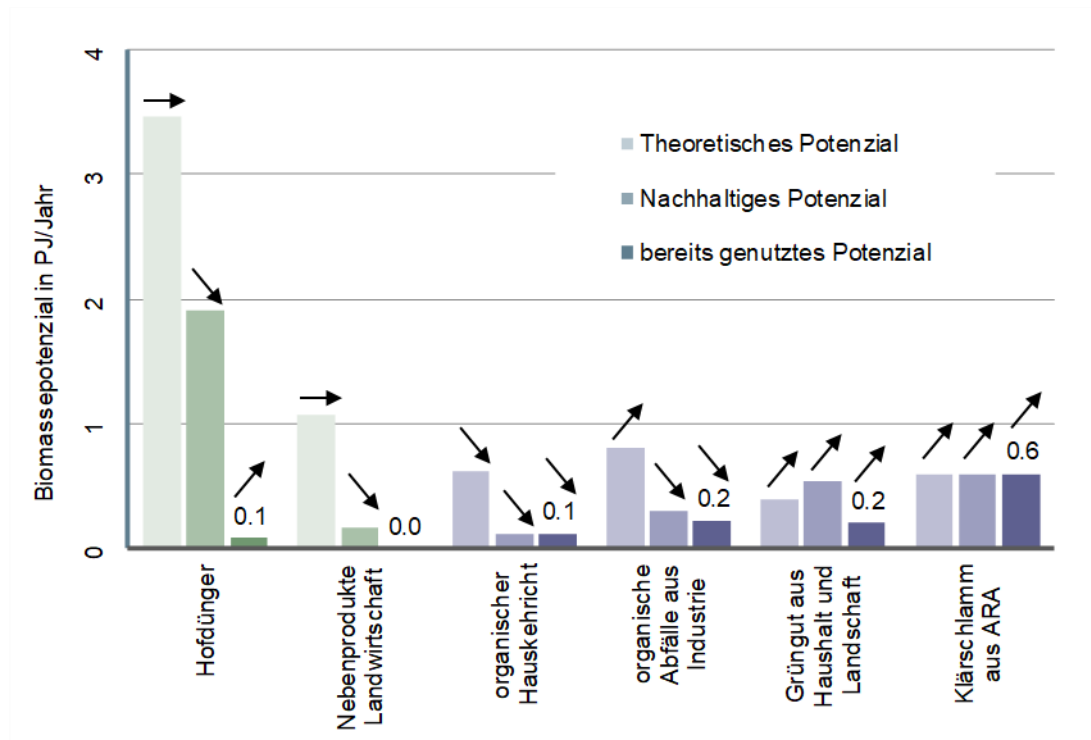
²⁴ Der Bundesrat (2022).

Die Kategorien «**Nebenprodukte aus der Landwirtschaft**» und «**Grüngut aus Haushalt und Landschaft**» weisen gemäss den Abschätzungen im Vergleich mit den anderen beiden Kategorien noch hohe ungenutzte Potenziale auf. Dabei gilt es aber zu berücksichtigen, dass die Unsicherheiten der Abschätzung gross sind und auch hier wesentliche Zielkonflikte bestehen. So sind beispielsweise Ernterückstände auch wertvolle Ressourcen für eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung. Das Grüngut aus der Landschaft kann auch wichtige Strukturelemente für die Biodiversität bilden. Schliesslich handelt es sich auch bei diesen Kategorien zu einem Teil um Food Waste bzw. Nebenströme, welche so weit wie möglich vermieden oder durch Produktinnovationen als Nahrungsmittel genutzt werden sollten.

Klärschlamm

Die Verfahren der ARA wurden in den letzten Jahren optimiert, so dass heute beim Klärschlamm kaum noch ungenutzte Potenziale bei der anaeroben Vergärung und Herstellung von Biogas bestehen. Aktuell wird praktisch das gesamte theoretische und nachhaltige Klärschlammpotenzial ausgeschöpft (vgl. Abbildung 3-2). Aufgrund des Bevölkerungswachstums ist aber mit einer leicht steigenden Menge Klärschlamm und somit auch deren Verwertung zu rechnen.

Abbildung 3-2: Energetische Potenziale Hofdünger und übrige Biomasse: dargestellt sind die theoretischen, nachhaltigen und bereits genutzten Potenziale nach Biomassenfraktion. Die Pfeile deuten die erwartete Entwicklung für die Zukunft an.



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf:
 Thees; Burg; Erni; u. a. (2017) für theoretisches und nachhaltiges Potenzial des Hofdüngers und der übrige Biomasse (ausser Klärschlamm),
 Heutige Nutzung von Hofdünger gemäss den Landwirtschaftliche Biogasanlagen der KEV-Bezüger-Liste 2020 (Daten des AUE)
 Burg; Bowman; Hellweg; u. a. (2019) sowie Interviewaussagen für zukünftige Entwicklungen
 Daten des AWA (2022) zum bereits genutzten Potenzials aus Klärschlamm.

Hinweis: Beim Grünut 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 Grünut. Deshalb ist für das Grünut aus Haushalt und Landschaft das nachhaltige Potenzial höher als das theoretische.

4 Zukünftiges System der Biomassennutzung

4.1 Netto-Null²⁵ und Kreislaufwirtschaft als übergeordnete Ziele

Der fortschreitende Klimawandel und steigende Ressourcenbedarf machen die Dekarbonisierung zu einer der grossen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Der Kanton Bern will bis 2050 klimaneutral werden, was in der kantonalen Verfassung mit dem Klimaschutz-Artikel²⁶ festgehalten ist. Verschiedene Aktivitäten des Kantons wie z. B. der Green New Deal²⁷ oder die Umweltstrategie²⁸ der Wirtschafts-, Energie- und Umweltdirektion zielen auf eine Reduktion der Treibhausgasemissionen und auf eine kreislauffördernde Wirtschaft ab. In der Kreislaufwirtschaft werden Produkte und Materialien so lange wie möglich im Umlauf gehalten. Zudem soll der Wert der Produkte länger erhalten bleiben, damit möglichst wenige Primärmaterialien gebraucht werden und weniger Abfall anfällt.

Biomassen als begrenzte Ressourcen mit vielfältigen Einsatzmöglichkeiten

Um die Ziele des Klimaschutzes und der Kreislaufwirtschaft zu erreichen, müssen fossile Rohstoffe sowohl bei energetischen als auch nichtenergetischen Anwendungen ersetzt werden. Die Nutzung von Biomasse ist dabei eine mögliche Alternative, welche vielseitige Einsatzmöglichkeiten bietet. Biomassen werden nicht nur für die energetische Nutzung immer attraktiver, sondern beispielsweise auch als Ersatz für fossile Rohstoffe im Bausektor, bei der Herstellung von Kunststoffen, in der chemischen Industrie, in der Textilindustrie und im Einsatz als Negativemissionstechnologien. Wie in Kapitel 3 aufgezeigt, bestehen heute zwar noch – je nach Biomassenfraktion unterschiedlich grosse – zusätzlich nutzbare Potenziale. Doch die Potenziale sind beschränkt und reichen bei weitem nicht aus, um den heute fossilen Kohlenstoff dieser Einsatzbereiche zu ersetzen. Selbst bei der ausschliesslichen Betrachtung des Energieholzes, übersteigen schweizweit die für die energetischen Anwendungsmöglichkeiten benötigte Biomasse das vorhandene Potenzial um mehr als den Faktor 5.²⁹

Kaskadennutzung und Upcycling

Biomassen eignen sich aufgrund ihrer chemisch-physikalischen Eigenschaften besonders für die Nutzung in Kaskaden oder Kreisläufen. Der grösste Effekt für den Klimaschutz wird dann erzielt, wenn die verschiedenen Nutzungen kombiniert werden können und die Biomasse möglichst langfristig gebunden bleibt (siehe Beispiel Holz im nachfolgenden Exkurs).

²⁵ 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.

²⁶ Verfassung des Kantons Bern, Artikel 31a, Version vom 06.06.1993

²⁷ Grosser Rat des Kantons Bern (2021)

²⁸ Wirtschafts-, Energie- und Umweltdirektion des Kantons Bern (2021)

²⁹ Nussbaumer (2023)

Viele Strategien, unter anderen die Ressourcenpolitik Holz 2030³⁰, streben darum beim Holz eine Kaskadennutzung an. Am Anfang der Kaskade ersetzt Holz energieintensive Baustoffe und am Ende der Kaskade wird das Altholz energetisch verwertet. Der Kaskadenansatz stösst aber an Grenzen, v.a. aus zwei Gründen:

- **Verkürzte Kaskade:** 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.³¹
- **Upcycling:** Um langfristig möglichst viel CO₂ zu binden, müssen aus dem Holz vor allem tragende Bauteile (z. B. Stützen, Träger, Wände, Dächer) und Gebäude erstellt werden. Andere Produkte aus Holz haben in der Regel eine geringere Lebensdauer. Damit Holz einen möglichst grossen Beitrag zu Netto-Null leisten kann, muss zukünftig ein Vielfaches mehr an Holz als heute in tragenden Elementen und darüber hinaus grundsätzlich in Gebäuden verbaut werden. Mit Upcycling könnten z.B. nicht-tragende Bauteile aus Holz zu tragenden Bauteilen verarbeitet und somit «upcycled» werden. Ein besonders grosses Potenzial besteht bei der Versorgung des Holzbaus mit verleimten Querschnitten aus Schweizer Holz und Produktion. Gemäss Schätzungen ist der Inlandverbrauch von Leimholz ca. dreimal so hoch wie die Inlandproduktion.³¹ Möchte man sämtliche Werkstoffe im Hochbau durch Holz ersetzen, würde dies den jährlichen Bedarf das nachhaltige Potenzial an Derbholz³² bei weitem übersteigen.³³ Im Sinne einer Vision, ist somit auch vermehrt ein Upcycling von holzbasierten Produkten anzustreben (siehe Abbildung 4-1).

Exkurs: Holznutzung vs. Senken-Wirkung des Waldes³⁴

Schweizer Wälder sind eine wichtige Kohlenstoffsенке. Der Beitrag zum Klimaschutz ist aber weitaus grösser, wenn Wälder auch genutzt und nicht nur die Holzvorräte im Wald gesteigert werden. Werden die verschiedenen Nutzungen kombiniert, kumuliert sich auch der Beitrag zum Klimaschutz. Dazu tragen im Wesentlichen folgende Effekte bei.

- **Holzprodukte als Kohlenstoff-Lager:** Werden aus dem geernteten Holz langlebige Produkte wie z.B. tragende Bauteile hergestellt, kann das Kohlenstoff-Lager im Vergleich zur natürlichen Lebensdauer des Baumes verlängert werden.³⁵

³⁰ Bundesamt für Umwelt BAFU (2021)

³¹ Bundesamt für Umwelt BAFU (2021)

³² Als Derbholz werden in der Forstwirtschaft Stämme und Äste mit einem Durchmesser von mindestens 7 cm bezeichnet.

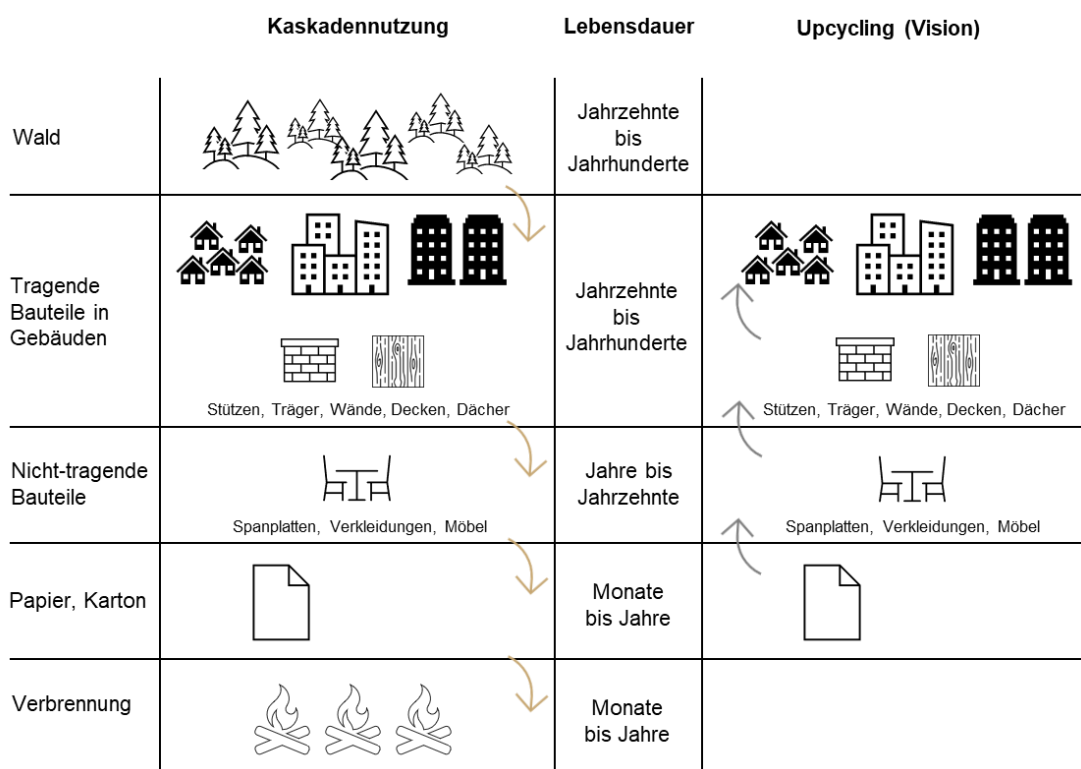
³³ Badra (2023)

³⁴ Walz; Taverna (2010)

³⁵ Ob und wie stark dieser Effekt eintritt, hängt somit u.a. vom Erntezeitpunkt des Baumes bzw. dessen natürlichen Lebensdauer ab sowie wie langlebige Produkte aus dem Holz hergestellt werden. Zudem spielt es eine Rolle, ob die Ernte einen Einfluss auf das Nachwachsen von jüngeren Bäumen hat, welche in derselben Zeit mehr CO₂ binden können als ältere Baume (abflachende Zuwachskurve).

- **Substitution anderer Werkstoffe (weniger graue Energie):** Produkte und Konstruktionen aus Holz verursachen in der Regel deutlich weniger CO₂-Emissionen als bei vergleichbaren Werkstoffen (Beton, Backsteinen, Keramik etc.)
- **Substitution fossiler Energieträger:** Bei der Verbrennung von Holz wird so viel CO₂ frei, wie der Baum im Laufe seines Wachstums der Atmosphäre entzogen hat und wie er bei Verrottung wieder freisetzen würde. Die Verbrennung von Holz gilt daher als CO₂-neutral. Werden mit der Verbrennung von Holz fossile Brennstoffe ersetzt, so werden entsprechend Emissionen eingespart.

Abbildung 4-1: Kaskadennutzung und Upcycling von Holz



Quelle: Eigene Darstellung mit Inputs von Stefan Zöllig

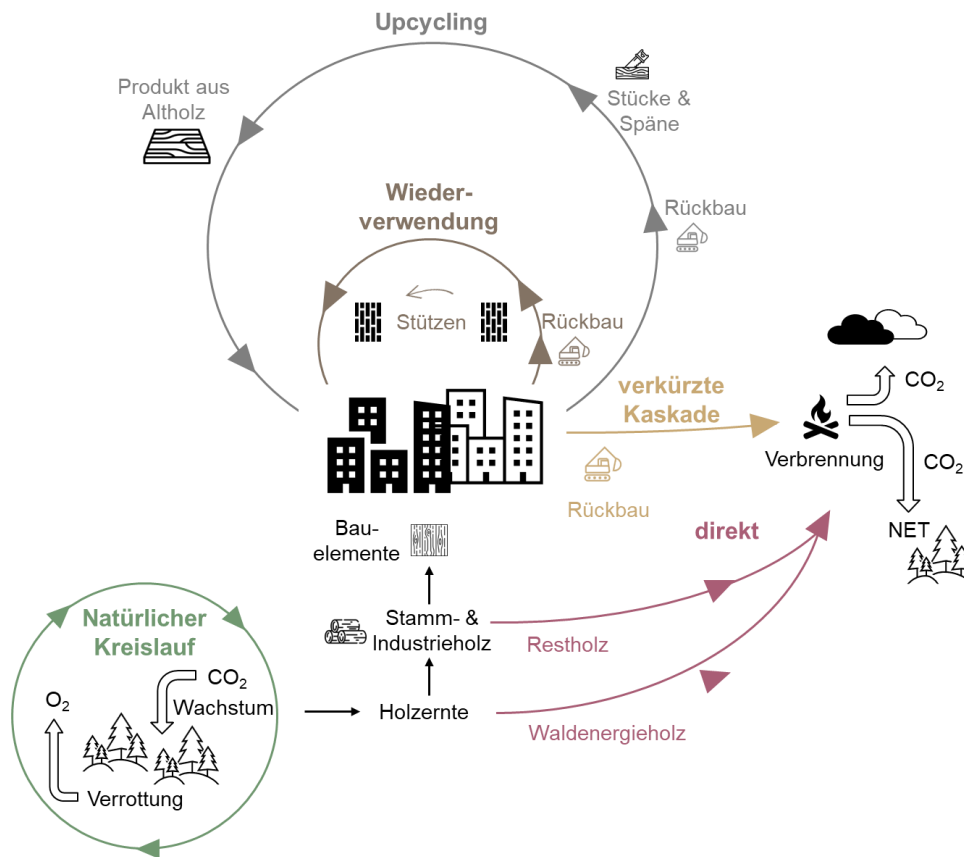
4.2 Kriterien und Grundsätze zur optimalen Allokation der Biomasse

Welche Kreisläufe sind langfristig zu priorisieren?

Oftmals sind verschiedene Kreisläufe denkbar und aus einer systemischen Perspektive stellt sich die Frage, welche Kreisläufe angestrebt werden sollen. Zur Erreichung von Netto-Null gilt es, wenn immer möglich Kreisläufe anzustreben, bei denen der in der Biomasse enthaltene Kohlenstoff möglichst langfristig gebunden und wenig Energie verbraucht wird. Bei Möbeln gibt es heute teilweise bereits etablierte Kreisläufe, in der Bauwirtschaft aber noch wenig. Für das Beispiel Holz folgen daraus folgende Prioritäten (vgl. Abbildung 4-2 für die Holz-Bauwirtschaft):

- 1. Priorität Wiederverwendung: Bereits genutztes Bauholz wird z. B. in Form von Stützen in anderen Gebäuden direkt wieder verwendet (brauner Kreislauf).
- 2. Priorität Upcycling: Neue Produkte werden aus Restholz oder Altholz hergestellt, z.B. aus Spänen und Stücken von Spanplatten (grauer Kreis).
- 3. Priorität Kaskade: Altholz wird verbrannt (hellbrauner Pfeil).
- 4. Priorität direkte energetische Verwertung: Waldholz und Restholz werden direkt energetisch verwertet, womit keine Mehrfachnutzung möglich ist (rote Pfeile).
- Letzte Priorität, keine Waldnutzung: Waldholz wird gar nicht genutzt. Solange sich zusätzliche Vorräte aufbauen, wirkt der Wald als Senke. Längerfristig gelangt das CO₂ aber wieder zurück in die Atmosphäre und der Beitrag für den Klimaschutz ist geringer als bei einer Nutzung (siehe auch obigen Exkurs). Hinzu kommt, dass bei der Nichtnutzung nicht mehr alle von der Gesellschaft beanspruchten Waldfunktionen gewährleistet werden können.

Abbildung 4-2: Vision von Kaskaden und Kreisläufen der Holz-Bauwirtschaft



Quelle: Eigene Darstellung mit Inputs von Stefan Zöllig.

In welchem Bereich Biomassen am besten eingesetzt werden, kann nicht immer eindeutig bestimmt werden. Zur Beurteilung, ob und in welchem Bereich ein Einsatz sinnvoll ist, können die folgenden Kriterien³⁶ und Grundsätze herangezogen werden:

Bestehen erneuerbare Alternativen zur Biomasse (Systemisch)?

Obwohl die werkstoffliche Nutzung der Biomasse erste Priorität erhalten sollte, spielt die energetische Verwertung von Biomasse insbesondere dann eine wichtige Rolle, wenn andere erneuerbare Technologien als Ersatz von fossilen Energieträgern und zur Bereitstellung von Energie fehlen. So sollte Energieholz insbesondere als Prozesswärme bei hohen Temperaturen genutzt werden, da dazu nur sehr aufwändige Alternativen bestehen (siehe dazu Kapitel 4.3).

Besteht genügend Biomasse für die Anwendung (Potenzial)?

Der Einsatz ist vor allem dann sinnvoll, wenn Biomasse einen wesentlichen bzw. gezielten Beitrag für den entsprechenden Einsatzbereich leisten kann. Würde man beispielsweise das

³⁶ Basierend auf Brethauer; Studer (2021) sowie Studer; Poldervaart (2017), Nussbaumer (2023).

anfallende Waldenergieholz und Flurholz vollständig zu Bereitstellung von Komfortwärme nutzen, könnte damit gesamtschweizerisch nur ein sehr geringer Anteil des gesamten Bedarfs gedeckt werden.³⁷

Wie können am meisten CO₂-Emissionen verhindert werden (Substitution)?

Je nach Einsatzbereich kann die Biomasse unterschiedlich viel fossile Energie ersetzen. Durch modellbasierte Lebenszyklusanalysen können verschiedene Einsatzbereiche miteinander verglichen werden, indem berechnet wird, wie viele fossile CO₂-Emissionen pro Einheit Kohlenstoff durch die jeweiligen Einsatzbereiche eingespart werden können (Ressourceneffizienz).³⁸ In der Praxis ist diese Grösse jedoch häufig nicht bekannt.

Wie kann die Biomasse regional am besten genutzt werden (Regionalität)?

Schliesslich sollten Biomassen möglichst in den Regionen genutzt werden, in denen sie anfallen. Denn aus ökologischer und ökonomischer Sicht ist es nur bedingt sinnvoll Biomassen über weite Strecken zu transportieren. Folglich soll die Biomassennutzung auch angepasst an die spezifischen räumlichen Gegebenheiten erfolgen. Entsprechend können sich die Prioritäten und auch die Fördersysteme auch regional unterscheiden.

4.3 Vision 2050+ für den Kanton Bern

Gestützt auf diese übergeordneten Überlegungen zur Kreislaufwirtschaft, den vorgestellten Grundsätzen, weiterer Literatur sowie den Ergebnissen aus den Interviews und des Workshops wurde eine Vision zur Biomassennutzung 2050+ für den Kanton Bern entwickelt. Diese soll die wichtigsten erwünschten Eckpunkte der künftigen Biomassennutzung skizzieren und festhalten, inwiefern aus wissenschaftlicher Sicht und bei den beteiligten Akteuren Konsens dazu besteht.

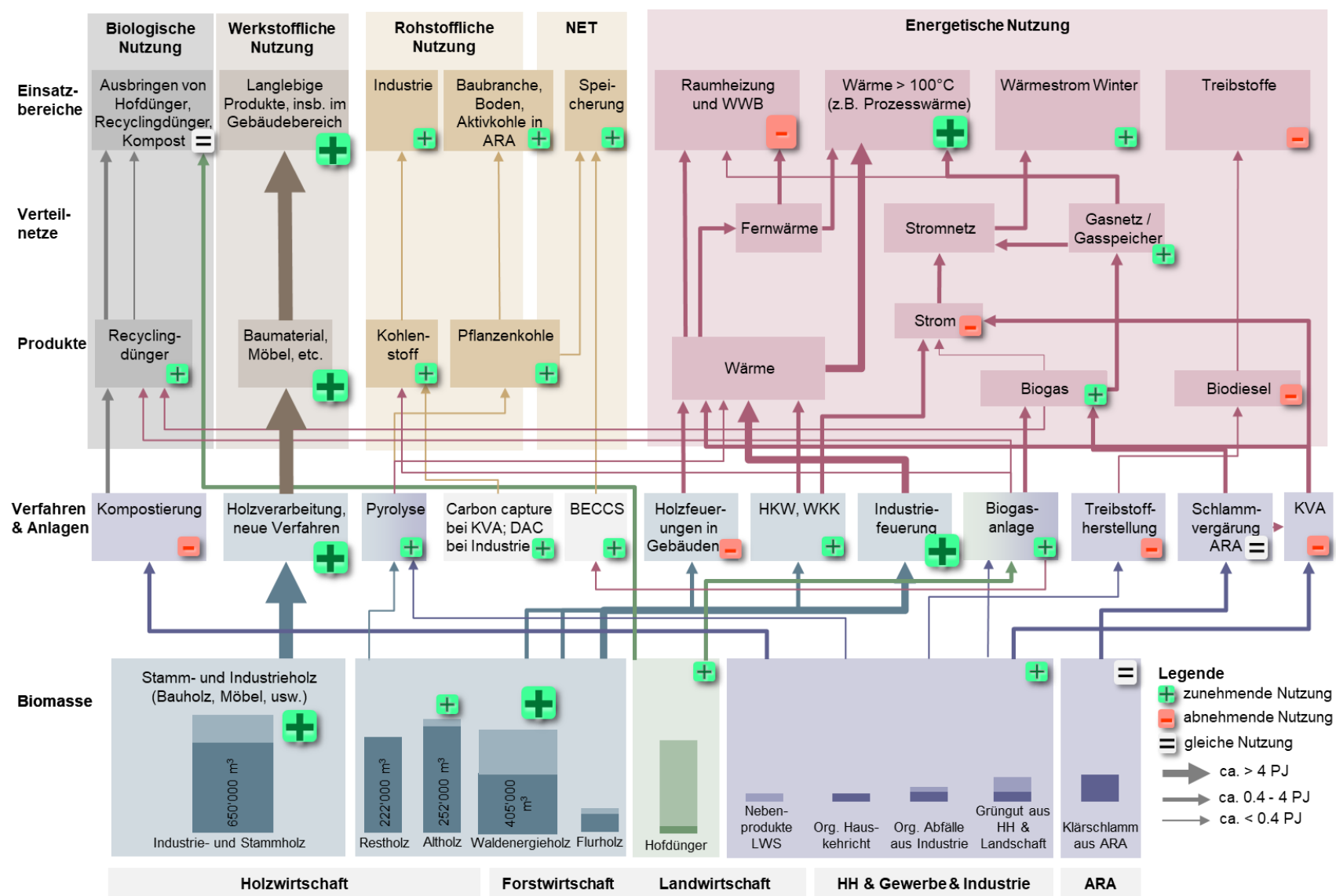
Die nachfolgende Abbildung 4-3 zeigt die wichtigsten Veränderungen dieser Vision im Vergleich zum heutigen Systembild auf. Mit den Symbolen  und  ist angedeutet, bei welchen Stoff- und Energieströmen welche Veränderungen erwünscht werden. Besonders grosse Veränderungen sind mit grösseren / fetteren Symbolen angedeutet. Zusätzlich zu der heutigen Biomassennutzung (biologisch, werkstofflich und energetisch) kommt in der Vision 2050+ die rohstoffliche Nutzung von Biomasse sowie die Nutzung als Negativemissionstechnologie (NET)³⁹ hinzu.

³⁷ Brethauer; Riediker; Thees; u. a. (2021).

³⁸ Studer; Poldervaart (2017) sowie Brethauer; Riediker; Thees; u. a. (2021).

³⁹ Durch die Pyrolyse, Carbon Capture and Storage (CCS) oder Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -speicherung (BECCS) kann Kohlenstoff gesammelt und gespeichert werden. Wird der Kohlenstoff langfristig gebunden, spricht man von einer Negativemission.

Abbildung 4-3: Systembild der zukünftigen Biomassennutzung im Kanton Bern (Vision 2050+)



Quelle: Eigene Abbildung

Zunahme der werkstofflichen Nutzung von Holz

Es wird eine deutliche Steigerung der werkstofflichen Nutzung von regionalem Holz angestrebt, insbesondere als Baumaterial im Gebäudebereich. Denn Gebäude aus Holz stossen im Vergleich zu Massivbauten aus Beton oder Backstein über den ganzen Lebenszyklus betrachtet nur etwa halb so viel CO₂ aus.⁴⁰ 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 sowie Nebenströme aus Holz. Es arbeitet mit mechanischen, chemischen, biochemischen und biotechnologischen Verfahren und orientiert sich an höchsten Anforderungen nachhaltiger Geschäftsmodelle.⁴¹

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 2030.⁴⁰ 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.

Wärmebereitstellung, vor allem als Hochtemperatur-Prozesswärme und zur Spitzenlastdeckung

Warmwasser, Raum- und Prozesswärme 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.⁴² Die zukünftige Deckung von Raumwärme und Warmwasser mit dem Einsatz von Biomasse ist deshalb in der Regel keine geeignete Option, zumal vor allem mit Wärmepumpen Alternativen zur Dekarbonisierung bestehen. Sinnvoll kann jedoch die Deckung der **Spitzenlast im Winter** sein.⁴² Zudem kann in ländlichen Regionen, wo viel Holz vor Ort anfällt, der Einsatz nicht nur im Warmwasser- sondern auch im Raumwärmebereich weiterhin sinnvoll sein.

Anders sieht es bei der Bereitstellung von Hochtemperatur-Prozesswärme für die Industrie aus (z. B. Wasserdampf). Da diese ein deutlich höheres Temperaturniveau aufweist als Warmwasser und Raumwärme, lässt sich die Biomasse für Hochtemperatur-Prozesswärme kaum durch Wärmepumpen ersetzen, da diese auf effiziente Weise keine solch hohen Temperaturen

⁴⁰ Bundesamt für Umwelt BAFU (2021).

⁴¹ Lehner (2018)

⁴² Nussbaumer (2023).

erzeugen können.⁴³ Die Energieperspektiven 2050+⁴⁴ gehen deshalb davon aus, dass der **Einsatz von Biomasse** (insb. Holz) **im Hochtemperaturbereich** ein wichtiger Anwendungsbereich sein wird. Auch am Workshop war dazu unter den beteiligten Akteuren weitgehender Konsens vorhanden. Jedoch werden die zusätzlich nutzbaren holzigen Biomassenzpotenziale nicht ausreichen, um den gesamten Bedarf an Prozesswärme zu decken. So schätzt Nussbaumer (2023) den gesamtschweizerischen Bedarf für Prozesswärme auf 15 TWh/a, was ungefähr der heute genutzten Holzenergiemenge entspricht.

Da die direkte Verbrennung einen höheren Substitutionseffekt erzielt als die vorgängige Umwandlung zu Holzgas, ist diese vorzuziehen.⁴² Mit einer verstärkten stofflichen Nutzung von Holz sowie der Kaskadennutzung ist mit einer gewissen Verzögerung auch mit einem höheren Anfall von Altholz zu rechnen. Dieses Altholz könnte auch im Hochtemperaturbereich eingesetzt werden.

Trotz zunehmender Energieholznutzung sollen die Emissionen an Feinstaub und Luftschadstoffen aus Feuerungen reduziert werden. Heute machen die Feinstaubemissionen aus Holzfeuerungen rund 16 % der gesamten Feinstaubemissionen der Schweiz aus.⁴⁵ Diese Emissionsreduktion soll erreicht werden, indem die Feinstaubemissionen in offenen Cheminées und Wohnraumfeuerungen reduziert werden.

Zusätzliche rohstoffliche Nutzung

Als neue bzw. sich verstärkende – heute erst marginale – Nutzungskategorien kommen die rohstoffliche Nutzung und Negativemissionstechnologien (NET) hinzu (siehe hellbraune Ebenen auf der Abbildung 4-3). Brethauer; Riediker; Thees; u. a. (2021) und Badra (2023) gehen davon aus, dass Biomasse künftig ein wichtiger Rohstoff für die **chemische Industrie** sein wird. Heutzutage sind für die Chemieindustrie Erdöl und Erdgas die wichtigsten Kohlenstoffquellen, die durch verschiedene Verfahren in Grundchemikalien aufbereitet werden. Für die Chemieindustrie kann also keine Dekarbonisierung angestrebt werden, sondern es muss eine Defossilisierung stattfinden. Biomasse stellt eine mögliche solche Kohlenstoffquelle dar.

Anstelle von Biomasse könnte zur Defossilisierung auch CO₂ aus der Atmosphäre entzogen und genutzt werden oder CO₂ bei den KVA oder Industrieöfen abgeschieden und genutzt werden, was als «Carbon Capture and Utilization» (CCU) bezeichnet wird. CO₂-neutral ist CCU dann, wenn bspw. bei der Verbrennung von Holz oder von biogenen Abfällen das CO₂ abgeschieden und einer weiteren Nutzung zugeführt wird. Grundsätzlich könnte so genügend CO₂ gewonnen werden, um die weltweite Chemikalienproduktion zu defossilisieren. Da CCU sehr energieintensiv ist, würde dadurch aber der Stromverbrauch ansteigen und es müssten sehr grosse Massenströme verarbeitet werden, da CO₂ einen tiefen Kohlenstoffanteil besitzt.⁴⁶ CCU

⁴³ Brethauer; Riediker; Thees; u. a. (2021).

⁴⁴ Prognos; INFRAS (2021).

⁴⁵ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/luftschadstoffquellen/feuerungen-und-heizungen-als-luftschadstoffquellen.html>

⁴⁶ Kätelhön; Meys; Deutz; u. a. (2019)

ist einer der grossen Forschungsschwerpunkte der nächsten Jahre der EU, was auf die grosse Bedeutung dieser Technologie hindeutet, aber auch zeigt, dass noch viele offene Fragen bestehen. Es ist darum noch unklar, in welchem Ausmass CCU zur Defossilisierung der chemischen Industrie beitragen soll und wird und welche Rolle die Biomasse dabei spielt.

Einsatz als NET

Ein Thema, dass immer mehr an Bedeutung gewinnt, ist der Einsatz von Negativemissionstechnologien. Dazu gehören Verfahren, mit denen CO₂ aus der Atmosphäre entfernt und dauerhaft gespeichert werden kann. NET umfasst sowohl technische (z. B. BECCS⁴⁷ und DACCS⁴⁸) als auch biologische Ansätze (Wald- und Bodenmanagement sowie Pflanzenkohle). BECCS (Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -speicherung) ist ein Verfahren, welches spezifisch auf Bioenergieanlagen ausgerichtet ist und das CO₂ abscheidet und speichert.

Ein weiterer NET-Einsatzbereich, der kontrovers diskutiert wird, ist der Einsatz von Biomasse als **Pflanzenkohle**. Grundsätzlich besteht ein enormes Potenzial als C-Senke. So zeigt eine Studie von Agroscope⁴⁹, dass bei konsequenter Anwendung von Pyrolyse bis zum Jahr 2050 in der Schweiz 80 % der verbleibenden Treibhausgasemissionen kompensiert werden könnten. Bei der holzigen Biomasse steht die Herstellung von Pflanzenkohle jedoch in Konkurrenz zu anderen Einsatzbereichen. Da Pyrolyseanlagen immer kleine Kraftwerke mit mehreren Funktionen⁵⁰ sind, gehen wir für die Vision 2050+ davon aus, dass Pyrolyseanlagen vermehrt dort gebaut werden, wo einerseits ungenutzte Biomasse vorhanden ist (z. B. bei der Lebensmittelindustrie, Papierindustrie oder zur Nutzung von Altholz) und gleichzeitig ein Wärmebedarf besteht, damit die entstehende Wärme direkt verwendet werden kann (z. B. in der Industrie oder für nahegelegene Gebäudeheizungen).

Verkehr, unterschiedliche Ansichten der Akteure

Neben der Wärmebereitstellung trägt der Verkehrssektor am meisten zum Energieverbrauch in der Schweiz bei, wobei etwas weniger als die Hälfte auf den privaten Personenverkehr entfällt, gefolgt vom internationalen Flugverkehr, dem Strassengüterverkehr und einem marginalen Anteil des Schienenverkehrs.⁵¹ Im Personenverkehr ist in den nächsten Jahren mit einer zunehmenden Elektrifizierung zu rechnen. Für den Flugverkehr ist Wasserstoff⁵² oder die Elektrifizierung⁵³ jedoch nur bedingt geeignet, da Langstreckenflüge in absehbarer Zeit weder

⁴⁷ Bioenergy with Carbon Capture and Storage.

⁴⁸ Direct Air Carbon Capture and Storage.

⁴⁹ Schmidt; Hagemann; Abächerli; u. a. (2021)

⁵⁰ 4 Funktionen, bzw. Einkommensströme von Pyrolyseanlagen: 1. Produktion von Pflanzenkohle, welche als werthaltiges Produkt verwendet werden kann; 2. Produktion von Wärme (und je nachdem auch Strom); 3. Entsorgung von Biomasse, für die aktuell (noch) keine Verwendung besteht; 4. Erzielen von Negativemissionen.

⁵¹ Brethauer; Riediker; Thees; u. a. (2021).

⁵² Der Einsatzbereich von Wasserstoff ist im Flugverkehr für Langdistanzen nicht geeignet.

⁵³ Im Flugverkehr wird sich die Elektrifizierung auf Kurzstrecken beschränken müssen.

elektrisch noch mit Wasserstoff durchgeführt werden können. Flüssige Biokraftstoffe sind daher vor allem im Flugverkehr eine denkbare Alternative zu den heute überwiegend erdölbasierten Kraftstoffen.

Gemäss Einschätzungen des Projektteams wird in der Schweiz aufgrund beschränkter Biomasse-Potenziale die Herstellung von Treibstoffen aus Biomasse und auch die Herstellung von synthetischen Treibstoffen keine massgebende Rolle spielen. Die Kosten wären in der Schweiz im Vergleich zu grossindustriellen Anlagen im Ausland, welche bspw. auch die bisherige Logistik der Erdölindustrie nutzen können, bei weitem nicht konkurrenzfähig. Treibstoffe aus Biomasse und synthetischer Treibstoff werden vermutlich grösstenteils importiert werden. Über die Sinnhaftigkeit von Biomasseimporten in Form von flüssigen Treibstoffen gingen allerdings die Meinungen der Stakeholder auseinander. Während die einen argumentierten, dass die regionale Biomasse zu wertvoll sei, um daraus Treibstoffe herzustellen (geringere Substitutionswirkung als bei Prozesswärme und zur Deckung der Spitzenlast von Raumwärme und Warmwasser im Winter⁵⁴), argumentierten andere, dass der Import eine Verlagerung des Problems ins Ausland und somit keine wirkliche Lösung darstelle.

Zusätzliche Biogasproduktion vor allem aus Hofdünger

Zur Deckung des (weiter steigenden) Strombedarfs stehen die erneuerbaren Technologien Wasserkraft, Photovoltaik und Windkraft zur Verfügung. Während das zusätzliche Potenzial bei Wasserkraft und Windkraft im Kanton Bern begrenzt ist, besteht bei der Photovoltaik ein grosses Ausbaupotenzial. Allerdings stellen die starken Schwankungen des Solarstroms den gleichmässigen Betrieb des Stromnetzes vor grosse Herausforderungen. Die Speicherung von Biogas mit anschliessender Verstromung ist daher eine mögliche Technologie, um die Schwankungen des Solarstroms auszugleichen. Insbesondere die noch ungenutzten Hofdüngerpotenziale könnten dazu eine interessante Option sein.⁵¹ Damit das Biogas ins Erdgasnetz eingespeist werden kann, ist eine Aufbereitung (durch Abtrennung von CO₂) zu Biomethan notwendig. Burg; Bowman; Thees; u. a. (2021) gehen davon aus, dass verschiedene Technologien⁵⁵ in den nächsten Jahren bis Jahrzehnte marktreif werden, so dass Hofdünger eine wichtige energetische und klimapolitische Rolle spielen kann.

⁵⁴ Siehe z.B. Nussbaumer (2023).

⁵⁵ Folgende technologische Entwicklungen werden von Burg; Bowman; Thees; u. a. (2021) beschrieben: Technologien für eine bessere Vorbehandlung von Hofdünger vor der anaeroben Vergärung (mikrobielle Vorvergärung, Dampf-Vorbehandlung); Alternativen zur anaeroben Vergärung (hydrothermale Vergasung, Karbonisierung); Gasreinigung; katalytische und biologische Methanisierung; Einsatz von Brennstoffzellen.

5 Nutzungskonflikte, Hürden, Fehlanreize und mögliche Lösungsansätze

Ausgehend von den Eckpunkten der Vision 2050+ stellt sich die Frage: «Welche Ziel- und Nutzungskonflikte, Hürden und Fehlanreize stehen heute im Wege, um diese Vision zu erreichen?».

Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit und der zunehmenden Beliebtheit der Biomassen besteht **vermehrt die Herausforderung, Nutzungskonflikte** zu vermeiden und geeignete **Rahmenbedingungen zur Förderung der angestrebten Kreisläufe** und optimalen Nutzung zu schaffen und wo möglich bestehende **Hürden** (z. B. fehlende Technologien) abzubauen (siehe dazu bspw. Empfehlung zu übergeordneten Strategien in Kapitel 6). Nachfolgend werden die wichtigsten dieser «Stellschrauben» aufgeführt.

5.1 Holzige Biomasse

Ableitend aus der Vision 2050+ und den noch zur Verfügung stehenden nachhaltigen Potenzialen lässt sich festhalten, dass sich vor allem bei der holzigen Biomasse wesentliche Nutzungskonflikte, Fehlanreize und Hürden abzeichnen, welche nachfolgend aufgeführt sind.

Stoffliche vs. energetische Nutzung von holziger Biomasse (Nutzungskonflikt)

Im Sinne der Kreislaufwirtschaft soll eine Steigerung der werkstofflichen Nutzung von regionalem Holz angestrebt werden, vor allem als Baumaterial im Gebäudebereich. Gleichzeitig übersteigt der Wärmebedarf das anfallende Energieholz bei weitem. Durch grössere Ausschöpfung der Waldholzpotenziale in den nächsten Jahren und je nach Markt- und Preisentwicklung könnten sich die energetische und werkstoffliche Verwertung von Holz noch stärker konkurrenzieren. Für einen grösstmöglichen Beitrag zum Klimaschutz gilt es die Rahmenbedingungen so anzupassen, dass es zu keiner energetischen Nutzung zu Lasten der werkstofflichen Nutzung kommt.

→ Lösungsansätze: siehe Stossrichtungen A bis E in Kapitel 6

Raumwärme und Warmwasser vs. Hochtemperaturwärme und Spitzenbedarf (Nutzungskonflikt, Fehlanreize)

Der Substitutionsbedarf für Raumwärme, Warmwasser und Hochtemperaturwärme übersteigt die Potenziale der holzigen Biomasse bei weitem.⁵⁶ Um einen möglichst grossen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, soll zukünftig mehr holzige Biomasse für die Erzeugung von Hochtemperaturwärme verwendet werden, dies zulasten des Einsatzes für Raumwärme und Warmwasser. Aktuell bestehen aber diverse Fördersysteme⁵⁷, welche den Bau von Holzfeuerungen in Gebäuden unterstützen, was zu einer der Zukunftsvision gegenläufigen Holznutzung führt.

⁵⁶ Nussbaumer (2023)

⁵⁷ Z.B. kantonales Gebäudeprogramm, Energie Zukunft Schweiz, myclimate

Gemäss Interviewaussagen könnten einzelne wenige neue Wärmekraftwerke dazu führen, dass das gesamte verbleibende (nachhaltige) Potenzial der holzigen Biomasse im Kanton Bern dadurch aufgebraucht wird.

→ Lösungsansätze: siehe Stossrichtungen D, E in Kapitel 6

Energetische oder stoffliche Nutzung von Biomasse vs. Negativemissionstechnologie (NET) oder C-Quelle (potenzielle Nutzungskonflikte)

Da heute nur holzige Biomasse als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Pflanzenkohle zugelassen ist, würde die Produktion von Pflanzenkohle im grossen Stil die Nutzungskonflikte zur holzigen Biomasse verstärken. Sollten in Zukunft weitere Biomassefraktionen als Ausgangssubstrat zugelassen werden, würde dies den Druck auf die holzige Biomasse reduzieren. Andere Arten von NET wie z. B. Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -speicherung (BECCS)⁵⁸ stehen ergänzend und nicht in Konkurrenz zur energetischen Verwertung. Sollte sich zudem abzeichnen, dass Biomasse im grösseren Umfang zur Defossilisierung in der chemischen Industrie eingesetzt wird, würde dies die Nutzungskonflikte ebenfalls verschärfen. Aus Sicht des Projektteams besteht im Moment kein Handlungsbedarf, weshalb keine Stossrichtungen für Massnahmen vorgeschlagen werden.

Fehlende marktfähige Technologien zur Nutzung von Nebensortimenten (Hürde)

Ein grosser Anteil der Holzernte (in erster Linie des Laubholzes) wird heute direkt energetisch verwertet, weil es an rentablen Verfahren zur werkstofflichen Nutzung der Nebensortimente (Reisig, Rinde, Restholz) fehlt. Zudem wird das Altholz vor allem energetisch verwertet oder exportiert. Im Sinne einer optimierten Kaskadennutzung und des Upcyclings sind darum marktfähige Verfahren und Technologien gefragt, welche auch diese bisher nicht verwertbaren Holzsortimente materiell nutzen können. Gefragt sind insbesondere Verfahren, welche diese Nebensortimente zu hochwertigen Halbfabrikaten verarbeiten, so dass sie als langlebige Bauteile in Gebäuden verwendet werden können.

→ Lösungsansätze: siehe Stossrichtung A in Kapitel 6

Hemmnisse zum Einsatz von Holz im Baubereich (Hürde)

Mit Holz ist es heute möglich, Plusenergie-Überbauungen und -Quartiere zu bauen und zu betreiben. In der Praxis werden die meisten Gebäude aber immer noch mit anderen Materialien gebaut, welche eine deutlich schlechtere CO₂-Bilanz aufweisen. Neben fehlendem Bewusstsein und persönlichen Präferenzen spielen auch Hürden bei den Rahmenbedingungen eine Rolle. Viele Normierungen (z. B. SIA-Normen) sind historisch gewachsen und weisen Hürden für den Einsatz von Holz im Gebäudebereich auf.

→ Lösungsansätze: siehe Stossrichtung B in Kapitel 6

⁵⁸ Bei BECCS-Technologien wird Biomasse in industriellen Prozessen verwertet und das entstehende Kohlenstoffdioxid abgeschieden und gespeichert.

Emissionen bei der Verbrennung (Vollzugsschwierigkeiten)

Die Luftbelastung konnte seit den 1990er Jahren stark reduziert werden. Doch Holzfeuerungen machen immer noch rund 16 % der gesamten Feinstaubemissionen der Schweiz aus. Die Feinstaubemissionen sollen trotz zunehmender Verbrennung von Energieholz in Zukunft abnehmen. Indem mehr Holz in grösseren und mit effizienter Filtertechnologie ausgerüsteten Anlagen verbrannt wird, sollte dies möglich sein. Für Kleinholzfeuerungen bis 70 kW können beispielsweise Elektrofilter eingesetzt werden.⁵⁹ Es wird darum darauf verzichtet, in Kapitel 6 einen separaten Lösungsansatz zu diesem Thema aufzuführen. Neben den Holzfeuerungen tragen auch Verbrennungen in freier Natur zur Feinstaubbelastung bei. Natürliche Wald-, Feld- und Gartenabfälle dürfen ausserhalb von Anlagen nur verbrannt werden, wenn sie so trocken sind, dass dabei nur wenig Rauch entsteht (Art. 26b LRV). Leider kommt es im Kanton Bern aber immer wieder zu illegalen Verbrennungen mit grosser Rauchentwicklung.

5.2 Hofdünger, weitere Biomasse

Fehlende marktfähige Technologien für reine Hofdüngeranlagen (Hürde)

Da Hofdünger zu einem grossen Teil aus Wasser besteht, wird die Vergärung heute in der Regel durch Beimischung von Co-Substraten durchgeführt, um so die Effizienz und somit die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage zu steigern. Da kaum noch zusätzliche Co-Substrate verfügbar sind und der Transport von Hofdünger sich nur über sehr geringe Distanzen lohnt, braucht es marktfähige Technologien für kleine bis mittelgrosse Biogasanlagen, welche ohne Co-Substrate betrieben werden können. Damit solche Anlagen in der Masse abgesetzt werden können, müssen die Anlagen zudem einfach und mit wenig Aufwand betreibbar sein.

→ Lösungsansätze: siehe Stossrichtung F in Kapitel 6

Kleinteilige Produktionsstrukturen in der Landwirtschaft (Hürde)

Neben technologischen Hürden verhindern auch ökonomische, organisatorische und soziale Gründe den Bau von weiteren Biogasanlagen. Aufgrund der kleinteiligen Produktionsstrukturen der Schweizer Landwirtschaft ist es für grössere Anlagen nötig, dass eine Vielzahl von Landwirtinnen und Landwirte eng zusammenarbeiten, was Burg et al. (2021) als ein Hindernis identifiziert haben.⁶⁰ Anstösse zum Bau von grösseren Anlagen sollen darum auch von Dritten kommen.

→ Lösungsansätze: siehe Stossrichtung G in Kapitel 6

⁵⁹ Gemäss Expertenaussage wäre es aber effizienter, die alten, handbeschickten Kleinholzfeuerungen durch moderne, gesteuerte Anlagen (Pellets, Schnitzel, Stückholz) zu ersetzen.

⁶⁰ Burg; Troitzsch; Akyol; u. a. (2021)

Marktprämie für Strom aus Biogasanlagen (Fehlanreiz)

Die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) wurde durch Änderungen der Energieförderungsverordnung (EnFV) abgelöst, die seit Januar 2023 in Kraft sind. Damit wurde unter anderem eine gleitende Marktprämie für Strom aus Biogasanlagen eingeführt. Im Sinne der Vision 2050+ wäre es jedoch sinnvoller, Biogas künftig in das Erdgasnetz einzuspeisen und gezielt bei besonders hohem Bedarf zu verstromen, z.B. zum Ausgleich der Fluktuationen des Solarstroms.

→ Lösungsansätze: siehe Stossrichtung H in Kapitel 6

Unausgeschöpfte Potenziale zur Reduktion von Food Waste (fehlendes Bewusstsein, fehlende Technologien)

Bei einem wesentlichen Anteil der übrigen Biomasse handelt es sich um Lebensmittelabfälle, welche schweizweit rund 25 % der Umweltbelastung des Ernährungssystems ausmachen. In der Reduktion von Food Waste besteht somit ein wesentlicher Hebel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Der Bundesrat will die vermeidbaren Lebensmittelverluste bis 2030 halbieren und damit die Umweltbelastung und Treibhausgasemissionen der Ernährung um 10-15 % reduzieren.⁶¹ Dazu sollen einerseits das Bewusstsein für die Problematik erhöht werden und andererseits auch Produktinnovationen zur besseren Verwertung von Nebenströmen⁶² vorangetrieben werden.

→ Lösungsansätze: siehe Stossrichtung I in Kapitel 6

Fremdstoffe bei biogenen Abfällen (Hürde)

Das Gärgut aus Biogasanlagen wird idealerweise als Recyclingdünger verwendet. Viele Separatsammlungen von biogenen Abfällen sind jedoch mit Fremdstoffen belastet, welche – wenn nicht richtig aussortiert / entfernt – im Gärgut übrigbleiben und schlussendlich auf den Feldern landen. So zeigte eine Analyse im Auftrag des BAFU, dass 43 % der Proben beim festen Gärgut die Richtlinie von < 0.1 % Gewichtsanteil überschritten⁶³, wobei sich die Situation in den letzten Jahren möglicherweise etwas verbessert hat. Es besteht somit das Risiko, dass Recyclingdünger in Verruf geraten und nicht mehr sinnvoll abgesetzt werden können. Damit zusätzliche biogene Abfälle in einem sinnvollen Kreislauf sowohl energetisch wie auch stofflich verwertet werden können, muss der Fremdstoffanteil in Zukunft reduziert werden.

→ Lösungsansätze: siehe Stossrichtung J in Kapitel 6

⁶¹ Der Bundesrat (2022)

⁶² Unter Nebenströmen verstehen wir bisher nicht optimal genutzte Neben- oder Abfallprodukte der Lebensmittelproduktion oder der Landwirtschaft.

⁶³ Verein Inspektorat. Biomasse Suisse - Kompostforum Schweiz (2017)

Zielkonflikte mit dem Bodenschutz und einer nachhaltigen Landwirtschaft

Biogene Abfälle werden sinnvollerweise entweder vergärt und dann zu einem Recyclingdünger weiterverarbeitet oder direkt kompostiert. Im Sinne einer Kaskadennutzung wäre die zusätzliche Nutzung über die Vergärung optimal.⁶⁴ Mit der Vergärung bestehen aber verschiedene Zielkonflikte, so dass je nach lokalen Gegebenheiten auch die Kompostierung⁶⁵ oder Bodenverbesserungen vorteilhaft sein können. Abgesehen von der Fremdstoffproblematik (siehe oben) kann die Kompostierung auch für die Bodenstruktur und die Bodenlebewesen vorteilhaft sein. Jedoch ist besonders die Feldrandkompostierung auch mit Risiken (Eutrophierung Wasser, Luftemissionen) verbunden. Der Sachplan Abfall des Kantons Bern⁶⁶ sieht darum vor, dass je nach lokalen Gegebenheiten verschiedene Verfahren und Anlagentypen zum Einsatz kommen sollen. Diese Haltung wurde von den Stakeholdern am Workshop auch für die Zukunft als sinnvoll erachtet. Es werden darum keine zusätzlichen Stossrichtungen für Massnahmen dazu vorgeschlagen.

⁶⁴ Umweltbundesamt (2012)

⁶⁵ Platzkompostierung oder Feldrandkompostierung

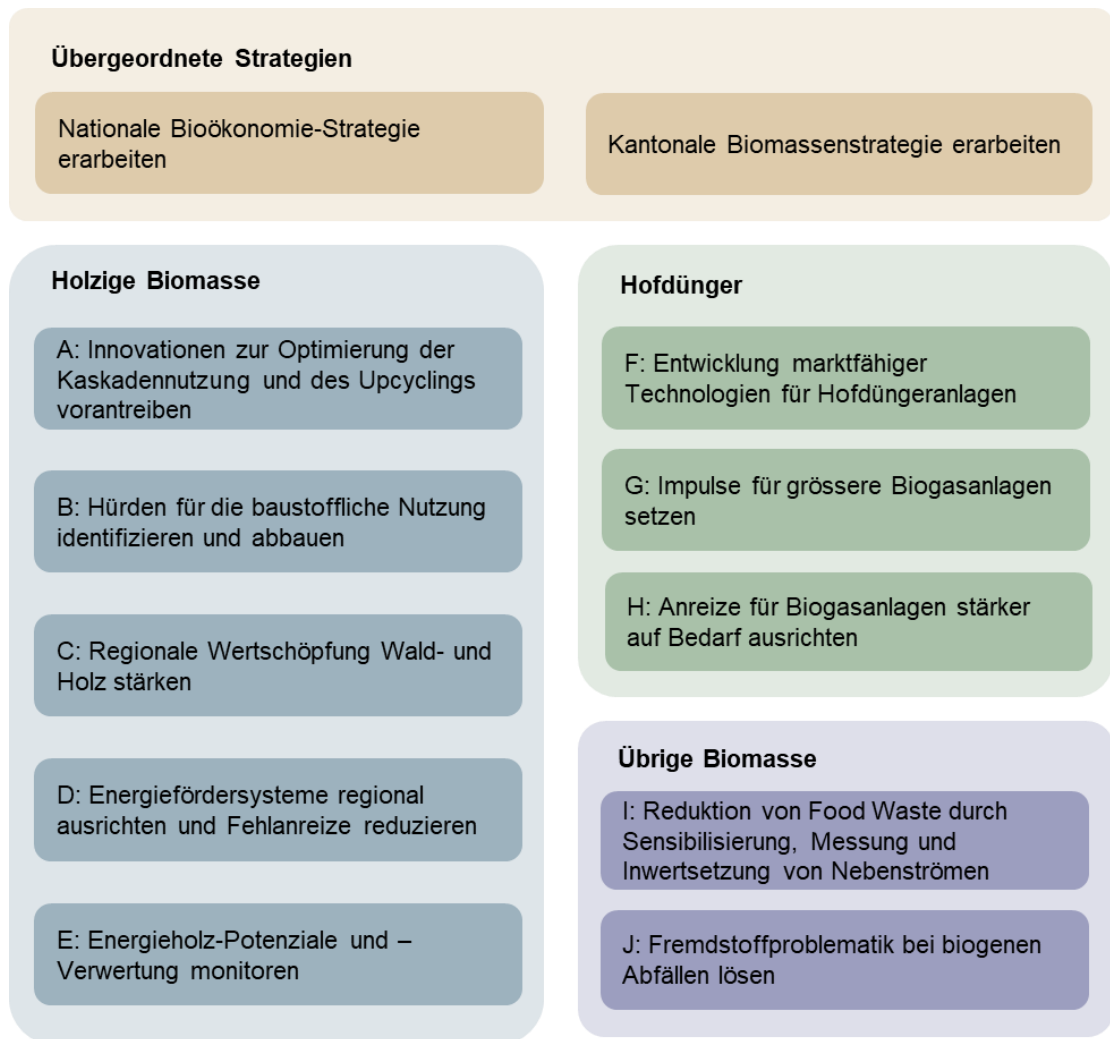
⁶⁶ Regierungsrat des Kantons Bern (2017)

6 Fazit und vorgeschlagene Stossrichtungen für Massnahmen

Biomassen spielen in der Diskussion zu Netto-Null eine sehr wichtige Rolle. Um ihr volles Potenzial auszuschöpfen, müssen sie noch stärker in Kaskaden und Kreisläufen genutzt werden. Aufgrund ihrer multivalenten Einsatzmöglichkeiten bei gleichzeitig begrenzter Ressource zeichnen sich erhebliche Nutzungskonflikte ab. Die energetische Nutzung ist vor allem in den Bereichen sinnvoll, in denen kaum erneuerbare Alternativen zur Verfügung stehen, respektive möglich sind. Um die Vision 2050+ zu erreichen, müssen auch technische Hürden überwunden und Fehlanreize beseitigt werden.

Um die grundlegenden Veränderungen (Transformation) in der biogenen Wertschöpfungskette zu erreichen, sind sowohl die nationalen und kantonalen Rahmenbedingungen anzupassen als auch konkrete Inkubatoren zu initiieren, die Innovationen vorantreiben. Wir empfehlen, für alle Biomassenfraktionen in einem ersten Schritt «No-Regret-Massnahmen⁶⁷» zu ergreifen und parallel dazu übergeordnete Strategien zu erarbeiten (siehe Abbildung 6-1). Im Folgenden werden die vorgeschlagenen Stossrichtungen A – I für Massnahmen kurz beschrieben. Darüber hinaus sind im Anhang erste Ideen für mögliche Massnahmen zu einigen Stossrichtungen aufgeführt.

⁶⁷ «No- oder «Low-Regret-Massnahmen» sind Handlungen, die unter heutigen Klimabedingungen mit oder ohne Folgen des Klimawandels einen ökologischen, ökonomischen oder sozialen Vorteil besitzen. Also Handlungen/Massnahmen, bei denen der zu erwartende Nutzen bereits unter den heutigen Klimabedingungen höher ist als die anfallenden Kosten.

Abbildung 6-1: Vorgeschlagene Stossrichtungen für Massnahmen und Inkubatoren**Übergeordnete Strategien erarbeiten**

Für die nationale Ebene empfiehlt das Projektteam in Anlehnung an die Empfehlungen des Nationalen Forschungsprogramms «NFP 66 Ressource Holz»⁶⁸ und in Übereinstimmung mit der Meinung von Expert/-innen die Erarbeitung einer Bioökonomiestrategie. Das Konzept der Bioökonomie soll den notwendigen Wandel vorantreiben, um von einer erdölbasierten zu einer Wirtschaft der nachwachsenden Rohstoffe zu gelangen. In der EU wird unter Bioökonomie die Produktion von erneuerbaren biologischen Ressourcen und die Umwandlung der Ressourcen und Abfallströme in höherwertige Produkte wie Nahrungs- oder Futtermittel, biobasierte Erzeugnisse oder Bioenergie verstanden.

⁶⁸ Siehe das Programmresümee der Leitungsgruppe NFP 66 (2017) oder einen der vier Teilberichte

Für den Kanton Bern empfiehlt das Projektteam, die kantonale Biomassenstrategie aus dem Jahr 2008⁶⁹ grundlegend zu überarbeiten. Wichtige übergeordnete Zielsetzungen haben sich seither verändert, weshalb die Teilstrategie heute überholt ist. Der Atomausstieg und die gleichzeitigen Bestrebungen zur Erreichung des Netto-Null-Ziels sowie die Transformation hin zu einer Kreislaufwirtschaft erfordern eine breitere Betrachtung der Biomassennutzung. Die Strategie kann auf den in diesem Bericht vorgestellten Grundsätzen für eine optimale Biomassennutzung (siehe 0) und der Vision 2050+ (4.3) aufbauen. Ein wichtiger Mehrwert einer solchen Strategie wäre es, längerfristige, behördenverbindliche Rahmenbedingungen zur Erreichung der Vision 2050+ zu schaffen und entsprechende Ziele zu konkretisieren. Daraus sollen weiterführende Massnahmen abgeleitet werden können.

Stossrichtungen für die holzige Biomasse

Der Beitrag von Holz zu Netto-Null ist dann am grössten, wenn möglichst viel einheimisches Holz in langlebige Produkte verbaut wird. Heute wird aber nur ein Teil der Holzernte werkstofflich genutzt und davon wiederum nur ein kleiner Teil für tragende Bauteile von Gebäuden. Zudem wird Altholz noch wenig stofflich wiederverwertet und stattdessen verbrannt oder exportiert. Für die Erreichung der Vision 2050+ ist es daher entscheidend, dass sich neue **Technologien und Verfahren**⁷⁰ im Markt durchsetzen, die den Einsatz von **Holz für langlebige Produkte** – insbesondere im Gebäudebereich – attraktiv machen (Stossrichtung A). Das Projektteam empfiehlt dazu, konkrete Inkubatoren zu initiieren (siehe Vorschläge im Anhang) und bestehende Gefässe wie den Aktionsplan Holz⁷¹ oder die Wald- und Holzförderung⁷² auszubauen und noch stärker auf solche Innovationen auszurichten. Weiter sollen mögliche **Hürden** für den Einsatz von Holz, insbesondere im Gebäudebereich, abgebaut werden (Stossrichtung B).

Die Strukturen der Wald- und Holzwirtschaft und die noch verfügbaren nachhaltigen Waldholzpotenziale sind im Kanton Bern regional sehr unterschiedlich. Gleichzeitig steht die Holzwirtschaft im internationalen Wettbewerb. Es gilt darum, vor allem in den Regionen mit noch ungenutzten Potenzialen, die **regionale Wertschöpfung Wald und Holz zu stärken** (Stossrichtung C). Auch die **Energiefördersysteme** sollen **regional ausgerichtet** werden. In ländlichen Regionen (z. B. über 800 m. ü. M.) kann eine Förderung von Holzheizungen weiterhin sinnvoll sein. In den anderen Regionen ist eine solche Förderung aus Sicht der Vision 2050+ kritisch zu beurteilen, da Holz im Energiebereich besser als Hochtemperatur-Prozesswärme für die Industrie genutzt wird – wenn die Möglichkeiten dafür vorhanden sind. Die zahlreichen Fördersysteme, die den Einsatz von Holz für die Raumwärme und Warmwasser unterstützen, sollten daher angepasst werden (Stossrichtung D). In diesem Zusammenhang empfehlen wir auch zu prüfen, ob Anreize geschaffen werden können, bestehende Hauptwärmeerzeuger, welche

⁶⁹ Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern; Amt für Umweltkoordination und Energie AUE (2008), Energiestrategie des Kantons Bern. Teilstrategie Biomasse.

⁷⁰ Mit neuen Technologien wie z.B. FAGUS Suisse oder Scrimber können bspw. auch «schlechtere» Sortimente für tragende Bauteile genutzt werden.

⁷¹ Bundesamt für Umwelt BAFU (2022a)

⁷² Bundesamt für Umwelt BAFU (2023)

Holz energetisch verwerten, umzurüsten. Dies mit dem Ziel, dass sie neben Wärmepumpen (Hauptheizung) nur noch zur Deckung der Spitzenlast im Winter und zur Warmwasseraufbereitung verwendet werden.

Die energetische Verwertung von Holz hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Basierend auf den Zahlen der energetischen Holznutzung im Jahr 2021⁷³ bestehen im Kanton Bern im Vergleich mit anderen Kantonen noch grosse zusätzliche Energieholzpotenziale. Allerdings sind zurzeit zahlreiche Anlagen (insbesondere Wärmeverbünde) in Planung und im Sinne der Vision 2050+ soll Holz stattdessen stärker in anderen Einsatzbereichen genutzt werden können. Das Projektteam empfiehlt darum, ein regional differenziertes **Monitoring für Energieholz** aufzubauen, wie es auch schon andere Kantone kennen (z. B. Kanton Waadt, siehe Anhang). Ergänzend dazu könnte die Bewilligung neuer Anlagen an einen Verfügbarkeitsnachweis geknüpft werden (Stossrichtung E).

Stossrichtung für Hofdünger

Um die noch grossen ungenutzten Potenziale beim Hofdünger zu mobilisieren, braucht es marktfähige **Technologien und Verfahren** für kleine bis mittelgrosse **Hofdüngeranlagen**, welche ohne Co-Substrate betrieben werden können. Solche Anlagen stellen ein Intermediat (z. B. Methan) her, welches sich energetisch – oder längerfristig möglicherweise auch stofflich – nutzen lässt, z. B. als C-Quelle für die chemische Industrie. Das Projektteam empfiehlt darum, konkrete Inkubatoren zu initiieren (z. B. eine Demoanlage), um Technologien und Verfahren für reine Hofdüngeranlagen voranzutreiben (Stossrichtung F).

Ergänzend zu diesen Kleinanlagen soll auch geprüft werden, ob Impulse für grössere Anlagen gesetzt werden können. Um genügend Ressourcen für eine grössere Anlagen zu haben, sind viele Lieferanten (Landwirt/-innen) nötig. Es soll geprüft werden, ob Anreize zur Zusammenarbeit zwischen Landwirt/-innen und auch Dritten (z.B. Molkereigenossenschaften, Gemeinden) gesetzt werden können.⁷⁴ (Stossrichtung G).

Eine der grossen Herausforderungen des künftigen Energiesystems liegt darin, die grossen Schwankungen beim Solarstrom auszugleichen, um einen gleichmässigen Betrieb des Stromnetzes sicherstellen zu können. Die noch grossen ungenutzten Hofdüngerpotenziale könnten hier einen wichtigen Beitrag leisten. Die Speicherung von **Biogas** mit anschliessender Verstromung könnten helfen, um die Schwankungen auszugleichen. Dazu müsste Biogas durch Abtrennung des CO₂ zu Biomethan aufbereitet und ins Erdgasnetz eingespeist werden. In diesem Zusammenhang empfehlen wir zu prüfen, ob bessere **Anreize** gesetzt werden bzw. allfällige Fehlanreize behoben werden können. So wurde beispielsweise mit der per Anfang 2023 revidierten Energieförderverordnung eine gleitende Marktprämie für Strom aus Biogasanlagen eingeführt. Um die Vision 2050+ zu erreichen, sollten die Anreize auf den spezifischen Bedarf (z. B. Regelernergie, Einspeisung in Erdgasnetze) ausgerichtet sein (Stossrichtung H).

⁷³ Holzenergie Schweiz (2023)

⁷⁴ Burg; Bowman; Thees; u. a. (2021)

Stossrichtungen für übrige Biomassen

In der **Reduktion von Food Waste** besteht ein wesentlicher Hebel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Beträchtliche Mengen von Food Waste fallen im Gastgewerbe und in der Lebensmittelindustrie in Form von Nebenströmen an. Im Gastgewerbe und der Hotellerie empfehlen wir darum, durch Sensibilisierung und gezielte betriebliche Management-Ansätze⁷⁵ die Lebensmittelabfälle zu reduzieren. Gleichzeitig sollen Produktinnovationen zu der Verwertung von Nebenströmen (z. B. Molke, Haferfilterkuchen) vorangetrieben werden (Stossrichtung I).

Um in Zukunft noch mehr **biogene Abfälle** in Biogasanlagen vergären zu können, muss die Problematik der **Fremdstoffe gelöst werden**. Denn eine Vergärung ist vor allem dann sinnvoll, wenn geeignete biogene Abfälle und deren resultierendes Gärgut zu einem Recyclingdünger verarbeitet werden können. Das Projektteam empfiehlt darum, die Massnahmen aus dem Sachplan Abfall weiter voranzutreiben und wenn nötig weiterführende Massnahmen zu prüfen (Stossrichtung J).

⁷⁵ Z.B. mit dem [Food Save Management-Ansatz von UAW](#) (Netzwerk United Against Waste); Quelle: United Against Waste UAW (2022)

Anhang

Anhang A: Interviews- und Gespräche mit Expertinnen und Experten

Institution	Namen	Datum	Art des Gesprächs
AWN	Roger Schmidt	18.10.2022	Leitfadeninterview
AUE	Ulrich Nyffenegger	25.10.2022	Leitfadeninterview
LANAT	Marc Zuber Christoph Rudolph Andreas Leu	27.10.2022	Leitfadeninterview
Geschäftsstelle Holzenergie	Thomas Rohrer	03.11.2022	Leitfadeninterview
HAFL	Michael Studer	07.11.2022	Leitfadeninterview
Biomassezentrum Wimmis (Oberland Energie)	Horst Matzke Alessandro Benfatto	08.11.2022	Leitfadeninterview
BFE	Daniel Binggeli	29.11.2022	Leitfadeninterview
ETHZ	Vanessa Burg	31.11.2022	Leitfadeninterview
Ithaka Institut	Nikolas Hagemann	20.12.2022	Leitfadeninterview
AWA	Marc Häni	12.01.2023	Leitfadeninterview
Holzenergie Schweiz	Andreas Keel	23.08.2023	Vertiefungsgespräch
BFE	Daniel Binggeli	13.09.2023	Vertiefungsgespräch
Fachverband Charnet	Trimurti Irzan	13.09.2023	Vertiefungsgespräch
HAFL, BFE	Michael Studer (HAFL) Daniel Binggeli (BFE)	27.10.2023	Vertiefungsgespräch
ETHZ	Vanessa Burg	30.10.2023	Vertiefungsgespräch
Timbatec	Stefan Zöllig	16.11.2023	Vertiefungsgespräch
Foodways	Markus Hurschler	16.11.2023	Vertiefungsgespräch
AWN	Roger Schmidt	11.12.2023	Vertiefungsgespräch

Anhang B: Ideen für Massnahmen und Inkubatoren

Stossrichtung A: Innovationen zur Optimierung der Kaskadennutzung und des Upcyclings vorantreiben

Abbildung A-1: Idee Ressourceneffizienz von Leimholz erhöhen

	Beschrieb
Ziel	Es wird eine Dokumentation und Bewertung von bewährten Verfahren zur Produktion von Leimholz mit höherer stofflicher Ausbeute erstellt. Ziel ist, mit der Dokumentation die Industrie zu überzeugen, diese Verfahren anzuwenden und die entsprechenden Investitionen zu tätigen. So kann die Ressourceneffizienz von Leimholz gesteigert werden.
Bezug zur Vision	Die Anwendung von Verfahren mit höherer stofflicher Ausbeute führt zu folgenden Entwicklungen, welche in Einklang mit der Vision 2050+ stehen: – Ein grösserer Anteil der holzigen Biomasse kann stofflich genutzt werden. Durch die Ausbeutesteigerung erhöht sich gleichzeitig auch die Holzverfügbarkeit. – Langfristig wird mehr CO₂ in Gebäuden gebunden. – Holzprodukte können wirtschaftlicher erzeugt werden, wodurch der Holzbau gefördert wird.
Beschrieb	Bei der Produktion von Leimholz wird heute nur ca. 25 % des stehenden Baumes stofflich genutzt. Die restlichen 75 % des Baumes werden zur Herstellung von kurzlebigen Produkten verwendet oder energetisch verwertet. Dies obschon bereits Verfahren bestehen, welche eine höhere stoffliche Ausbeute erlauben. Im Rahmen des Projektes sollen bestehende und bewährte Verfahren zur Produktion von Leimholz gesammelt und bewertet werden. Basierend auf dieser Dokumentation kann die Holzindustrie von den Verfahren überzeugt werden, mit der Hoffnung, dass sie entsprechende Investitionen zugunsten der Verfahren mit höherer Ressourceneffizienz tätigen werden.
Ergebnisse / nächste Schritte	– Die bewährten Verfahren werden zusammengetragen, ihre Produktionsabläufe dargestellt und die Verfahren bewertet. – Die Verfahren werden hinsichtlich Konformität zu einschlägigen Normen und anderen Markthemmnissen geprüft. – Die Verfahren werden der Holzindustrie und den Unternehmen präsentiert.

Abbildung A-2: Idee Biomassenpotenzial Altholz

	Beschrieb
Ziel	Ziel ist, die Verwertung von Altholz (Abbruch- und Recyclingholz) zu hochwertigen Halbfabrikaten anzustossen, welche als langlebige Bauteile in Gebäuden eingesetzt werden können. Mit dem Projekt soll die Grundlage gelegt werden, um mögliche Investoren für ein industrielles Werk finden.
Bezug zur Vision	Der Wiedereinsatz von Altholz als langlebige Bauteile in Gebäuden entspricht den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft und des Upcyclings und steht somit im Einklang mit der Vision 2050+.
Beschrieb	Aktuell wird ein grosser Teil des Altholzes energetisch verwertet, als Basis für Span- oder andere Holzwerkstoffplatten verwendet oder exportiert. Ein kleinerer Teil wird zur Herstellung von Altholzverkleidungen verwendet. Damit das Altholz zukünftig zu hochwertigen Halbfabrikaten veredelt und als langlebige Bauteile in Gebäuden verwendet werden kann, braucht es eine Produktionslinie zur Aufbereitung von Alt- und Abbruchholz zu neuen Bauteilen. Indem die technische und wirtschaftliche Machbarkeit zur Herstellung von Holzbau-Halbfabrikaten aus Altholz aufgezeigt werden, sollen Investoren für ein solches industrielles Werk gefunden werden.
Nächste Schritte	– Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung – Gemeinsame Analyse des verfügbaren Altholzes mit einem Altholzverwerter – Herstellung einer Kleinstserie (in Zusammenarbeit mit Partnern der Holzindustrie) – Dokumentation und Präsentation der Ergebnisse – Suche nach möglichen Investoren

Stossrichtung B: Hürden für die baustoffliche Nutzung abbauen

Abbildung B-1: Idee Holzbau-Hemmnisse abbauen und kommunizieren

	Beschrieb
Ziel	Unnötige Hürden, welche den Holzbau behindern, sollen identifiziert und abgebaut werden.
Bezug zur Vision	Gemäss der Vision 2050+ soll holzige Biomasse in erster Linie stofflich genutzt werden. Indem allfällige Hürden zur stofflichen Nutzung identifiziert und abgebaut werden, wird zu der Vision beigetragen.
Beschrieb	Der Holzbau ist eine mögliche Massnahme, um die Klimaziele zu erreichen. Es bestehen aber verschiedene Normen, Gebräuche oder festgefahrene Abläufe, welche den Holzbau behindern. Damit das ökologische Potenzial des Holzbaus genutzt werden kann, müssen die Hürden und Hemmnisse identifiziert, kommuniziert, abgebaut und optimiert werden.
Nächste Schritte	Anhand von vier thematischen Studien sollen Hemmnisse zum Holzbau identifiziert sowie Massnahmen und Vorschläge abgeleitet werden: – Studie «plusenergie-Haus / Überbauung» – Studie «Zementverbrauch radikal senken» – Studie «bestehende Normen auf Holzbau-Verhinderung untersuchen» – Studie «Machbarkeit Brücken und Stege» Anschliessend werden die Ergebnisse, Kenntnisse und Massnahmenvorschläge breit kommuniziert

Stossrichtung C: Regionale Wertschöpfung Wald- und Holz stärken

Siehe bestehende Aktivitäten der Wyss Academy und des AWN im Rahmen des Projekts «AWN-2»:⁷⁶

- Innovative Holzprodukte aus schwer absetzbaren Rohholzsortimenten
- Machbarkeit Pilotanlage «Scrimber aus dem Emmental»
- Gemeinden nutzen den Wald nachhaltig für ihre Aufgaben
- Bauen mit regionalem oder eigenem Holz
- Marketing und Kommunikation Waldunternehmen
- Transformative Unternehmen in der Peripherie
- Architekten-Kommunikation

⁷⁶ Wyss Academy (2023), <https://www.wyssacademy.org/post/regionale-wertsch%C3%B6pfung-wald-und-holz?lang=de>

Stossrichtung D: **Energiefördersysteme regional ausrichten und Fehlanreize reduzieren**

Abbildung D-1: Idee Förderung von Holzheizungen regional ausrichten und stufenweise herunterfahren (kantonal / und oder regional)

	Beschrieb
Ziel	Die Fehlanreize zur Förderung von Holzheizungen werden behoben.
Bezug zur Vision	Energieholz soll in Zukunft hauptsächlich für den Hochtemperaturbereich eingesetzt werden. Der Einsatz im Raumwärme und Warmwasserbereich steht in Konkurrenz dazu und hat eine geringere Priorität.
Beschrieb	Mit dem kantonalen Gebäudeprogramm und diversen weiteren Fördersystemen werden Anreize zur Verwendung holziger Biomasse im Raumwärme- oder Warmwasserbereich gesetzt, u.a. die folgenden:⁷⁷ – Ersatz von Elektroheizungen durch Holzheizung oder Anschluss an Wärmenetz – Ersatz von Holzheizungen durch Holzheizungen – Ersatz von Öl- und Gasheizungen durch Holzheizungen oder Anschluss an Wärmenetz – Holzheizungen (Pellets, Schnitzel, Stückholz) – Wärmeerzeugung mit Holz / erneuerbarer Energie – Wärmenetze mit erneuerbarer Energie Um die Fehlanreize im Hinblick auf die Vision 2050+ zu reduzieren, wird darum empfohlen diese Anreize herunterzufahren und regional zu differenzieren. Ein möglicher Ansatz wäre z.B. nur noch Holzheizungen über 800 m ü. M. zu fördern
Nächste Schritte	Systematische Überprüfung der verschiedenen kantonalen und privaten Förderprogramme im Hinblick auf Fehlanreize und Ausarbeitung von Handlungsoptionen.

Abbildung D-2: Idee Ergänzung bestehender Fördersysteme (eher auf nationaler Ebene)

	Beschrieb
Ziel	Um die holzige Biomasse verstärkt in Einsatzbereiche zu lenken, welche gemäss der Vision 2050+ eine grössere Bedeutung einnehmen sollen, wird die Einführung von ergänzenden Fördersystemen geprüft.
Bezug zur Vision, Beschreibung	Folgende zusätzlichen Fördersysteme werden als prüfenswert erachtet: - Förderung der werkstofflichen und rohstofflichen Nutzung von Biomasse - Förderung der Nutzung von Biomasse als C-Quelle - Förderung von Negativemissionstechnologien - Stärkere Bepreisung von CO₂
Nächste Schritte	Unklar, abhängig von der nationalen Energiepolitik.

⁷⁷ <https://www.energiefranken.ch/de/suche-nach-kanton/BE>

Abbildung D-3: Neue Anreize setzen – Idee Sonderpreis Prix Lignum

	Beschrieb
Ziel	Mit dem «Sonderpreis Prix Lignum» sollen Gebäude mit einem geringen ökologischen Fussabdruck bzw. hohen Anteil an Holz ausgezeichnet werden. Damit wird kommuniziert, dass Gebäude mit einem geringeren ökologischen Fussabdruck gebaut werden können, wenn die richtigen Materialien eingesetzt werden.
Bezug zur Vision	Mit dem «Sonderpreis Prix Lignum» wird die Sichtbarkeit des Holzbaus erhöht. Dadurch wird die stoffliche Nutzung von holziger Biomasse gefördert.
Beschrieb	Alle drei Jahre wird der «Prix Lignum» für den innovativen Einsatz von Holz in Gebäuden vergeben. Bei diesem Preis wird aber der Anteil des Holzes am Gebäude nicht berücksichtigt und kaum auf ökologische Kriterien geachtet. Deshalb soll zusätzlich der «Sonderpreis Prix Lignum» eingeführt werden, bei dem die ökologischen Kriterien in den Fokus gerückt werden. Das Objekt, welches das beste Verhältnis von Holz zu Beton aufweist, gewinnt den Preis und wird publik gemacht. Die Preisvergabe könnte weiter in verschiedene Kategorien differenziert werden.
Nächste Schritte	– Festlegen der Methoden und Spielregeln der Preisvergabe – Umsetzung und Preisvergabe an der Austragung im Jahr 2024

Stossrichtung E: Energieholz-Potenziale und -Verwertung regional monitorieren

Idee E1: Regionalisierung Monitoring Holz

Im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE) hat Holzenergie Schweiz per Ende 2021 den aktuellen Verbrauch, das Potenzial und den zukünftigen Verbrauch von Energieholz abgeschätzt.⁷⁸ Mit dem Bericht wird eine Grundlage für ein Monitoring der Holzenergienutzung geschaffen und aufgezeigt, wie das laufende Monitoring – mit Berücksichtigung der Kaskadennutzung – in Zukunft erfolgen sollte.⁷⁹ Das aktuelle Monitoring ist vorerst auf eine Zeitdauer von drei Jahren beschränkt.

Die Erhebung des aktuellen Verbrauchs erfolgte auf nationaler und kantonaler Ebene und ist nicht nach Regionen aufgeschlüsselt. Aufbauend auf den bisherigen Erhebungen und Modellierungen ist ein Monitoring mit regional differenzierten Aussagen für den Kanton Bern aber wie folgt denkbar:

- **Potenziale:** Die zukünftigen Potenziale von Waldenergieholz basieren im Kanton Bern auf der Potenzialstudie von Thees; Lemm; Stadelmann (2023) und erlauben eine regionale Differenzierung nach den vier Waldabteilungen Alpen, Voralpen, Mittelland und Berner Jura.
- **Zukünftige Nutzung:** Die geplanten, aber noch nicht in Betrieb genommenen Anlagen («Projekte» und «Projektideen») werden von Holzenergie Schweiz bereits einzeln erfasst und können regional verortet und differenziert werden.
- **Aktuelle Nutzung:** Die Daten der aktuellen Nutzung liegen bisher erst auf kantonaler Ebene vor. Der Kanton Bern könnte die Verbrauchszahlen aber z. B. basierend auf einer Anlage-Liste nach Regionen differenzieren.

Exkurs: Beispiele von kantonalen Monitorings

Kanton Thurgau

Die Abteilung Energie des Kanton Thurgau überprüft regelmässig (2004, 2009, 2011, 2017, 2021) die Entwicklung der Energieholznutzung und die Wirksamkeit ihrer Fördermassnahmen. Dabei werden die Kennzahlen der aktuellen Nutzung dem Potenzial gegenübergestellt. Basierend auf dem zusätzlich verbleibenden Potenzial, werden mit dem Monitoring Empfehlungen für die Energieholznutzung der nächsten Jahre formuliert.⁸⁰

⁷⁸ Die Daten sind dabei nach Kanton und nach den Kategorien Waldholz, Landschaftsholz (entspricht der in diesem Bericht verwendeten Definition von Flurholz), Restholz und Altholz, sowie nach den Brennstoffen Stückholz, Schnitzel und Pellets aufgeteilt.

⁷⁹ Holzenergie Schweiz (2023)

⁸⁰ Amt für Energie, Kanton Thurgau (2023)

Kanton Waadt

Der Kanton Waadt hat in seiner Holzenergiestrategie verschiedene übergreifende Massnahmen zur Entwicklung einer regionalen Planung der Holzenergienutzung festgelegt:⁸¹

- **Monitoringsystem:** Der Kanton Waadt hat eine Reihe von Indikatoren eingeführt, um die Entwicklung der Holzkraftwerke und der verfügbaren Mengen Energieholz zu monitoren und sicherzustellen, dass nicht zu viel Energieholz eingeplant / genutzt wird.
- **Energieplanung:** Der Kanton Waadt veröffentlicht ein Energieholzkataster und eine Karte mit den Wärmenetzpotenzialen.
- **Holzenergie-Plattform:** Um eine optimale Umsetzung der Holzenergiestrategie zu erreichen müssen die Zusammenarbeit und der Wissenstransfer zwischen den Akteursgruppen (Branche, Waldarbeiter, Betreiber/-innen von Feuerungen, Ingenieur/-innen, Wissenschaftler/-innen, Bevölkerung etc.) verstärkt werden. Dazu initiiert der Kanton Waadt eine Holzenergie-Plattform mit Kommunikations- und Begleitmassnahmen rund um die laufenden Projekte.

Idee E2: Einführung eines Verfügbarkeitsnachweises Holz prüfen

Um Engpässe frühzeitig zu erkennen, kann ergänzend zu einem regional differenzierten Monitoring die Einführung eines Verfügbarkeitsnachweises geprüft werden. Ein solcher Verfügbarkeitsnachweis wäre als Auflage zum Bau und Betrieb einer Anlage (ab einer bestimmten Grösse) denkbar und eng mit dem Monitoring verknüpft. Die Anlagenbetreiber melden ihren Holzbedarf bei den Holzverarbeitern an und erhalten von diesen eine Bestätigung der Bereitstellung der Holzmenge. Anschliessend melden die Anlagen die geplanten Projekte und bestätigten Holzmengen bei der Controllingstelle. Die Controllingstelle gleicht dies mit dem regionalen Monitoring ab und stellt – insofern genügend Holz verfügbar ist – den Verfügbarkeitsnachweis aus. In einem ersten Schritt könnte man die Branche auch auffordern, auf freiwilliger Basis die Verfügbarkeit von Holz für ihre Anlagen abzuklären. Der Verfügbarkeitsnachweis kann bei den Anlagen, bei den Holzfirmen und/oder den Gemeinden erhoben werden:

- **Verfügbarkeitsnachweis für Anlagen:** Die Anlagen müssen aufzeigen, von wo sie wie viel Holz nutzen werden. Dies ist v.a. im Zusammenhang mit dem Monitoring und den neu kommunizierten Möglichkeiten sinnvoll, wenn man darauf hinweisen kann, wo welche Mengen noch frei verfügbar sind. So kann eine sanfte Steuerung in die richtige Richtung erzielt werden.
- **Verfügbarkeitsnachweis für Anlagen und Holzlieferanten:** Die Anlagen müssen aufzeigen, von welchem Betrieb sie wie viel Holz beziehen werden. Zusätzlich müssen sie vom Betrieb eine Bestätigung der Bereitstellung des Holzes beilegen.
- **Verfügbarkeitsnachweis bei Gemeinden:** Ein Verfügbarkeitsnachweis kann eingesetzt werden, damit z. B. die Gemeinde Sarnen nachweisen kann, dass sie bereit ist, aus ihrem Wald eine bestimmte Anzahl Kubikmeter zu ernten und diese in einen Holzwärmeverbund einzusetzen.

⁸¹ Direction générale de l'environnement (DGE) (2017)

G: Impulse für grössere Biogasanlagen setzen

Abbildung G-1: Idee Sensibilisierung für grössere Biogasanlagen

	Beschrieb
Ziel	Ergänzend zu Kleinanlagen soll auch geprüft werden, welche Anstosse für grössere Hofdüngeranlagen gegeben werden können.
Bezug zur Vision	Um die noch ungenutzten Hofdüngeranlagen zu mobilisieren braucht es einen Mix aus Kleinanlagen (mit entsprechend zu entwickelnden Technologien) und grössere gemeinschaftliche Anlagen.
Beschrieb	Um genügend Ressourcen für eine grösser Anlagen zu haben, sind jedoch viele Lieferanten (Landwirt/-innen) nötig, was es für die einzelnen Landwirtschaftsbetriebe häufig unattraktiv macht, ein entsprechendes Projekt zu initiieren. Weiter können grössere gemeinschaftliche Ansätze auch Vorteile bezüglich der Produktivität und Finanzierbarkeit haben. Einzelhofanlagen sind mit hohen Investitions- und Betriebskosten verbunden. Aufgrund ihrer geringen Leistung sind sie heute oft nicht wirtschaftlich betreibbar. Es soll geprüft werden, ob Anreize zur Zusammenarbeit zwischen Landwirt/-innen und auch Dritten (z.B. Molkereigenossenschaften, Gemeinden) gesetzt werden können. Eine Möglichkeit zur Sensibilisierung bietet auch die landwirtschaftliche Beratung.
Nächste Schritte	Prüfen, ob Dritte (z.B. Gemeinden) zum Thema sensibilisiert werden sollen.

H: Anreize für Biogasanlagen stärker auf Bedarf ausrichten

Abbildung H-1: Idee Anreize in EnFV anpassen

	Beschrieb
Ziel	Biogas aus Hofdünger leistet in Zukunft einen Beitrag, um die Fluktuationen des Solarstroms auszugleichen. Es wird vermehrt ins Erdgasnetz eingespeist und kann bei Bedarf verstromt werden.
Fehlanreiz	Mit der heute für neue Anlagen geltenden Energieförderverordnung (EnFV) ⁸² erhält jede/-r Biogasbetreiber/-in eine Flatrate, egal wann er oder sie den Strom einspeist. Um die Vision 2050+ zu erreichen, sollten die Anreize auf eine mögliche Einspeisung ins Erdgasnetz und auf den spezifischen Bedarf (z.B. Ausgleich Fluktuationen des Solarstroms) ausgerichtet sein.
Bezug zur Vision	Zur Deckung des (weiter steigenden) Strombedarfs stehen die erneuerbaren Technologien Wasserkraft, Photovoltaik und Windkraft zur Verfügung. Während das zusätzliche Potenzial bei Wasserkraft und Windkraft im Kanton Bern begrenzt ist, besteht bei der Photovoltaik ein grosses Ausbaupotenzial. Allerdings stellen die starken Schwankungen des Solarstroms den gleichmässigen Betrieb des Stromnetzes vor grosse Herausforderungen.
Nächste Schritte	Kurzfristig stehen technologische Weiterentwicklungen im Vordergrund, so dass Biogas vereinfacht ins Erdgasnetz eingespeist werden kann (Aufbereitung des Biogases durch Abtrennung von CO₂ zu Biomethan). Längerfristig sollen die Anreize in der EnFV angepasst werden.

Stossrichtung I: Reduktion von Food Waste durch Sensibilisierung, Messung und Inwertsetzung von Nebenströmen

Abbildung I-1: Idee Skalierung Beratungsangebot: Food Save im Berner Oberland (BEO)

	Beschrieb
Ziel	Das Projekt richtet sich an die Gastronomie und die Hotellerie mit dem Ziel, Food Saving in der Gastronomie und Hotellerie vorantreiben bzw. Nahrungsmittelabfälle zu reduzieren. Dazu werden einzelne Gastronomen oder Hotels individuell untersucht und beraten, wie sie ihren Nahrungsmittelabfall reduzieren können.
Bezug zur Vision	Im Sinne der Vision 2050+ soll Biomasse in erster Linie als Nahrungsmittel verwendet und Lebensmittelabfälle so weit wie möglich reduziert werden.
Beschrieb	Mit dem UAW-Food Save Management Ansatz liegt ein Schema vor, mit dem der Nahrungsmittelabfall von Hotels und Restaurants systematisch analysiert werden kann. Dabei wird z. B. gemessen, bei welchen Arbeitsschritten wie viel von welchen Nahrungsmitteln entsorgt wird. Basierend auf diesen Ergebnissen können anschliessend Massnahmen identifiziert und umgesetzt werden, um die Nahrungsmittelabfälle zu reduzieren. Indem die Gastronomen oder Hotels weniger Nahrungsmittelabfälle produzieren, können sie einerseits Kosten sparen und sich andererseits in der Nachhaltigkeitskommunikation von Konkurrenten abheben. Es existiert bereits ein Programm, welches 27 Hotelbetriebe im Berner Oberland beraten hat. Es besteht jedoch noch Skalierungspotenzial in weiteren Gebieten im Kanton Bern sowie auf nationaler Ebene.⁸³
Ergebnisse / nächste Schritte	Aus den bisherigen Erfahrungen zeigt sich, dass insbesondere die Akquise von Firmen, Hotels und Gastronomiebetrieben sehr aufwändig ist. Für eine Skalierung im Kanton Bern wären Medienmitteilungen, Bekanntmachung über verschiedene Kanäle (Hotellerie Suisse, Tourismusorganisationen etc.) sowie Kaltakquise per Telefon nötig.

⁸² EnFV, gültig seit 01.01.2023, Quelle: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-91862.html>

⁸³ Siehe z.B. das nationale Programm von Reffnet, welches vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) finanziell unterstützt wird: <https://reffnet.ch/foodsaver/>

Abbildung I-2: Idee Inwertsetzung von Nebenströmen

	Beschrieb
Ziel	Identifikation und Inwertsetzung von bisher ungenutzten Nebenströmen.
Bezug zur Vision	Gemäss der Vision 2050+ soll Biomasse dort eingesetzt werden, wo die höchste Wertschöpfung und Mehrfachnutzung erreicht werden können. Dazu trägt die Inwertsetzung von Nebenströmen bei.
Beschrieb	Bei der Herstellung von Produkten fallen teilweise Nebenströme an, welche nicht immer sinnvoll genutzt werden. Dabei können Akteure der gesamten Wertschöpfungskette (Landwirtschaft, Gastronomie, Lebensmittelhersteller, Händler, etc.) betroffen sein. Mit diesem Inkubator sollen bisher ungenutzte Nebenströme identifiziert und in Wert gesetzt werden. Konkret sollen zwei Fragen beantwortet werden: – Welche spannenden Fälle bzw. Mengenströme gibt es im Kanton Bern? – Wie könnte man diese Mengenströme im Kanton Bern (besser) regulieren? Der Inkubator lässt sich gut am Beispiel von Hafermilch illustrieren: Aktuell wird Schweizer Hafer gefördert, um Hafermilch herzustellen. Bei der Verarbeitung von 1 kg Hafer fällt neben der Hafermilch ca. 0.86 kg Filterkuchen an. Dieser Nebenstrom wird aktuell zu einem grossen Teil als Tiernahrungsmittel eingesetzt. Im Rahmen des Inkubators würde die gesamte Lieferkette analysiert und untersucht, wie man den Filterkuchen besser in Wert setzen könnte.
Ergebnisse / nächste Schritte	Zuerst werden interessante Mengenströme im Kanton Bern identifiziert. Folgende Nebenströme fallen im Kanton Bern an und wären für das Projekt interessant: – Die Molke, welche bei der Produktion von Käse anfällt. – Der Filterkuchen, der bei der Produktion von Hafermilch anfällt. – Kartoffeln: Experten gehen davon aus, dass ca. 50 % der produzierten Kartoffeln nicht als Nahrungsmittel für die Schweiz verwendet werden. Bei diesen könnte die Nutzung optimiert werden. – Im Gemüsebau fallen diverse Nebenströme an. – Der Biertreber, der bei der Bierproduktion anfällt, wird heute teilweise als Proteinquelle verwendet. Anschliessend wird der einzelne Mengenstrom analysiert und identifiziert, wie dieser (besser) reguliert werden kann.

J: Fremdstoffproblematik bei biogenen Abfällen lösen

Siehe Massnahmen 2.a und 2.b im Rahmen des Sachplans Abfall.

Literaturverzeichnis

- Amt für Energie, Kanton Thurgau (2023): Holzenergie. URL <https://energie.tg.ch/erneuerbare-energien/holzenergie.html/839>, abgerufen am 29. September 2023.
- Badra, Dimitra Vlaskou (2023): Netto Null 2050 – Schweizer Holz für die Generationen Challenge.
- Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern und Amt für Umweltkoordination und Energie AUE (2008): Kanton Bern, Energiestrategie 2006. Umsetzung Bereich Biomasse.
- 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.
- Brethauer, Simone und Studer, Michael Hans-Peter (2021): Towards Net Zero Greenhouse Gas Emissions in the Energy and Chemical Sectors in Switzerland and Beyond - A Review. In: CHIMIA, 75, 9, 788.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2021): Ressourcenpolitik Holz 2030. Strategie, Ziele und Aktionsplan Holz 2021 – 2026.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2022a): Aktionsplan Holz. URL <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-wald-und-holz/wald-und-holz--fachinformationen/strategien-und-massnahmen-des-bundes/aktionsplan-holz.html>, abgerufen am 15. Dezember 2023.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2022b): Jahrbuch Wald und Holz 2022.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2023): Wald- und Holzforschungsförderung Schweiz (WHFF-CH). URL <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-wald-und-holz/wald-und-holz--fachinformationen/strategien-und-massnahmen-des-bundes/wald-und-holzforshungsfoerderung.html>, abgerufen am 15. Dezember 2023.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2023): Bericht zur Erhebung der Kerichtsackzusammensetzung 2022.
- 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.

- Direction générale de l'environnement (DGE) (2017): Stratégie bois-énergie du canton de Vaud.
- Ecoplan (2024): Nachhaltige und effiziente Biomassennutzung im Kanton Bern. Hintergrundbericht.
- 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.
- Grosser Rat des Kantons Bern (2021): Klimaschutz als Chance nutzen - Green New Deal für den Kanton Bern, Kanton Bern. URL <https://www.gr.be.ch/de/start/geschaefte/geschaeftsuche/geschaeftsdetail.html>, abgerufen am 2. November 2023.
- Holzenergie Schweiz (2023): Monitoring Holzenergie in der Schweiz. Entwurf Schlussbericht (31. Juli 2023).
- Kätelhön, Arne; Meys, Raoul; Deutz, Sarah; u. a. (2019): Climate change mitigation potential of carbon capture and utilization in the chemical industry. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, 116, 23, 11187–11194.
- Keel, Andreas; Kühne, Albin und Chrenko, Richard (2023): Grundlagenarbeit zu einem Monitoring Holzenergie in der Schweiz.
- Lehner, Ludwig (2018): Bioproduktewerk Schweiz - Übersicht zu Anforderungen und Voraussetzungen für eine Machbarkeitsprüfung.
- Leitungsgruppe NFP 66 (2017): Programmresümee des Nationalen Forschungsprogramms NFP 66 „Ressource Holz“.
- 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 Düngerzulassung 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.
- Scribner CSC (2023): Scribner - neue Technologien für den Weltmarkt, Scribner CSC. URL <https://www.scribner.com/de/technologien/>, abgerufen am 15. September 2023.
- 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.

- Studer, Michael und Poldervaart, Pieter (2017): Neue Wege zur holzbasierten Bioraffinerie, Thematische Synthese im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 66 «Ressource Holz», Schweizerischer Nationalfonds.
- Thees, Oliver; Burg, Vanessa; Erni, Matthias; u. a. (2017): Biomassenpotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung. Ergebnisse des Schweizerischen Energiekompetenz-zentrums SCCER BIOSWEET. In: WSL Berichte, 57.
- Thees, Oliver; Lemm, Renato und Stadelmann, Golo (2023): Künftige Waldenergieholzpotenziale im Kanton Bern.
- Umweltbundesamt (2012): Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. Ökobilanz der Bioabfallverwertung.
- United Against Waste UAW (2022): Food Save Management, United Against Waste - Just another WordPress site. URL <https://www.united-against-waste.ch/aktivitat/befoerdern-sie-ihr-team-zu-food-save-champions/>, abgerufen am 15. Dezember 2023.
- Verein Inspektorat. Biomasse Suisse - Kompostforum Schweiz, Daniel (2017): Bericht zur Analyse von Fremdstoffen in Kompost und festem Gärgut der Kompostier- und Vergärungsanlagen in der Schweiz gemäss ChemRRV. Im Auftrag von: BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe.
- Walz, Von Ariane und Taverna, Ruedi (2010): «Die Schweiz kann ihr CO₂-Ziel erreichen, jedoch nur unter Berücksichtigung von Kohlenstoffsenken sowie des Kaufs von ausländischen Emissionszertifikaten.» Damit unterstrich das BAFU letztes Jahr, dass der CO₂-bindende Wald für die Klimapolitik bedeutsam ist. Aber Wald und Holzverwendung können viel mehr zum Klimaschutz beitragen. Wie? In: Wald und Holz, 4/10.
- Wirtschafts-, Energie- und Umweltdirektion des Kantons Bern (2021): Umweltstrategie der Wirtschafts-, Energie- und Umweltdirektion – Umweltstrategie WEU 2021.
- 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 (2023): Regionale Wertschöpfung Wald und Holz, Wyss Academy. URL <https://www.wyssacademy.org/post/regionale-wertschöpfung-wald-und-holz?lang=de>, abgerufen am 15. Dezember 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.