
Holz statt Kohle, Gas und Öl?

Wie gelingt die Defossilisierung des Industriegesektors ohne Gefahr für Wälder und Klima?

Horst Fehrenbach und Silvana Bürck

Heidelberg, 2022



Erstellt im Auftrag des NABU (Naturschutzbund Deutschland) e.V.

IMPRESSUM

Autoren: Horst Fehrenbach, Silvana Bürck

Herausgeber: ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
Wilckensstraße 3 - D-69120 Heidelberg

Erscheinungsjahr: 2022

Bildquellen: Fehrenbach

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
1 Zusammenfassung	5
2 Summary	7
3 Hintergrund und Zielsetzung	8
4 Methodik	10
4.1 Fragestellung	10
4.2 Daten	11
4.3 Vorgehensweise	12
4.3.1 Status Quo des Holzeinsatzes im Industriesektor	13
4.3.2 Zukunftsprognosen des Holzeinsatzes	13
4.3.3 Zwei Szenarien des Holzeinsatzes	13
5 Ergebnisse	17
5.1 Status Quo des Holzeinsatzes im Industriesektor	17
5.1.1 Holzmenge	17
5.1.2 Einsatzzwecke & Alternativen	19
5.2 Zukunftsprognosen des Holzeinsatzes	21
5.3 Szenarien des Holzeinsatzes	23
5.3.1 Vergleich des Holzeinsatzes	23
5.3.2 Vergleich der Klimawirkung	25
6 Diskussion	28
7 Fazit	33
8 Literaturverzeichnis	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Überblick über die einzelnen Arbeitsschritte der Studie.	12
Abbildung 2: Aktueller und zukünftiger Holzeinsatz (HE) bei beiden Szenarien.	23
Abbildung 3: Zukünftiger Holzeinsatz (HE) bei beiden Szenarien differenziert nach Holzsortiment.	24
Abbildung 4: Verortung der Ziele der Industrie zum Holzeinsatz innerhalb des Szenarios Maximierung des Holzeinsatzes (HE).	24
Abbildung 5: Klimabilanz des Primärholzes 2022 und 2030 nach dem Speichersaldo-Ansatz (links) und der Berücksichtigung direkter Emissionen aus der Verbrennung (rechts).	26
Abbildung 6: Klimabilanz des Sekundärholzes für die Jahre 2022 und 2030 differenziert nach beiden Szenarien des Holzeinsatzes (HE); der Speichersaldo beträgt hier Null, da er hier dem Alt- und Sekundärholz nicht anzurechnen ist.	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenstellung zentraler Datengrundlagen	11
Tabelle 2: Kernelemente der beiden Szenarien	14
Tabelle 3: Überblick über die Ergebnisse der Literaturrecherche zum Holzeinsatz in der Industrie.	18

1 Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele der Industrie und ihrer damit einhergehenden Defossilisierung ist entscheidend, welche Rolle der Einsatz von Holz in diesem Sektor aktuell und zukünftig spielen wird. Holz soll hierbei zur Bereitstellung von Prozesswärme dienen. Dabei ist der Rohstoff attraktiv aufgrund seiner Eigenschaft besonders hohe Temperaturbereiche erzielen zu können und durch seine flexible Verfügbarkeit im Gegensatz zu anderweitigen erneuerbaren Energieträgern. Allerdings geht die Nutzung von Holz, insbesondere von Waldholz, mit negativen Auswirkungen auf das Klima und die Umwelt einher. Untersuchungen der letzten Jahre zeigen, dass die Verbrennung von Holz nicht, wie in bisherigen Bilanzen gehandhabt, völlig klimaneutral ist. Vor diesem Hintergrund stellt diese Studie dar, wie eine Defossilisierung der Industrieprozesswärme mit möglichst wenig Entnahme von Holz aus den Wäldern erfolgen kann.

Im Jahre 2021 wird Holz im Umfang von 23,3 TWh bzw. 7,71 Mio. t in der Industrie zur Bereitstellung von Prozesswärme verwendet. Dieses setzt sich zu 68 % aus Sekundärholz (u.a. Sägereste, Altholz) und zu 32 % aus Primärholz (Waldholz, darunter auch Waldrestholz) zusammen. Damit können Temperaturbereiche von 50-500°C erzielt werden. Aktuelle wissenschaftlichen Studien ist zu entnehmen, dass für alle Temperaturbereiche erneuerbare Alternativen zur Holzenergie bestehen. Der von Holz bediente hohe Temperaturbereich kann beispielsweise durch "Grüne Gase" (Biomethan, Wasserstoff) und Elektrizität gedeckt werden. Auch jüngste Veröffentlichungen der Industriebranchen beinhalten das Ziel zukünftig Wasserstoff und Elektrizität für Prozesswärme einzusetzen, um somit das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen. Hierbei setzt die Industrie auf einen Energieträgermix. Neben Grünen Gasen und Elektrizität zielt die Industrie nach wie vor auf Biomasse ab. Hierbei soll vor allem Holz verwendet werden. Zukünftig soll der Biomasseeinsatz von 23,3 TWh auf 48,4 TWh in 2030 und 73,2 TWh in 2045 verstärkt werden. Umgerechnet würde dies einem Holzeinsatz in Höhe von 26,9 Mio. t in 2045 entsprechen. Die Frage ist nun: Wird diese Holzmenge tatsächlich erforderlich sein vor dem Hintergrund, dass die Industrie auf den Ausbau erneuerbarer Elektrizität und einen noch stärkeren Hochlauf der Produktion von grünem Wasserstoff setzt? Bleibt somit eher die zweite Frage, ob es industrielle Einsatzbereiche gibt, in denen Holz als Energieträger schwer verzichtbar sein wird. Um dies zu untersuchen, wurden im Rahmen dieser Studie zwei Szenarien des zukünftigen Holzeinsatzes entwickelt.

Das Szenario **Maximierung des Holzeinsatzes** orientiert sich direkt an den Zielen zum Biomasseeinsatz der Industrie und geht demnach von einer starken Zunahme von Primär- und Sekundärholz im Industriesektor aus. Dem gegenüber entspricht das Szenario **Minimierung des Holzeinsatzes** einer starken Reduktion des gesamten Holzeinsatzes für die Energieerzeugung in der Industrie. Da es weitestgehend technische Alternativen zur Holzverbrennung gibt, wird ab 2030 komplett auf den Einsatz von Primärholz verzichtet und es kommt nur noch ein geringerer Anteil von Sekundärholz zum Einsatz. Der durch die Reduktion des Holzeinsatzes verbleibende Bedarf an Energie für die Prozesswärme wird mittels Grünen Gasen und Elektrizität gedeckt.

Der Szenarienvergleich zeigt deutlich, dass beim Szenario **Minimierung des Holzeinsatzes** deutlich weniger Holz eingesetzt wird im Gegensatz zum Szenario **Maximierung des Holzeinsatzes**. Infolgedessen reduziert sich auch die Klimawirkung bei einem verminderten

Holzeinsatz unter Berücksichtigung von CO₂-Emissionen der Holznutzung. Durch die Reduktion des Holzeinsatzes in der Industrie und der Verwendung alternativer erneuerbarer Energieträger ist also eine Transformation der Industrie möglich, ohne Beeinträchtigung der Wälder und ohne Verluste in der Energiebereitstellung für die Industrie.

2 Summary

Against the background of the industry's climate protection goals and its accompanying defossilisation, it is decisive what role the use of wood will play in this sector currently and in the future. Wood is to be used to provide process heat. The raw material is attractive because of its ability to achieve particularly high temperature ranges and its flexible availability in contrast to other renewable energy sources. However, the use of wood, especially forest wood, is associated with negative effects on the climate and the environment. Studies conducted in recent years show that the combustion of wood is not completely climate-neutral, as has been the case in previous assessments. Against this background, this study presents how the defossilisation of industrial process heat can be achieved with the least possible extraction of wood from the forests.

In 2021, 23.3 TWh or 7.71 million tonnes of wood will be used in industry to provide process heat. This is made up of 68 % secondary wood (including sawmill residues, waste wood) and 32 % primary wood (forest wood, including forest residues). Temperature ranges of 50-500°C can thus be achieved. Current scientific studies show that renewable alternatives to wood energy exist for all temperature ranges. The high temperature range served by wood can, for example, be covered by "green gases" (biomethane, hydrogen) and electricity. Recent publications by the industrial sectors also include the goal of using hydrogen and electricity for process heat in the future in order to achieve the goal of climate neutrality. Here, the industry is relying on a mix of energy sources. In addition to green gases and electricity, the industry continues to target biomass. Wood in particular is to be used here. In the future, the use of biomass is to be increased from 23.3 TWh to 48.4 TWh in 2030 and 73.2 TWh in 2045. Converted, this would correspond to a wood input of 26.9 million tonnes in 2045. The question now is: Will this amount of wood actually be necessary against the background of the industry's focus on the expansion of renewable electricity and an even stronger ramp-up of the production of green hydrogen? This rather leaves the second question of whether there are industrial areas of application in which wood will be difficult to do without as an energy source. To investigate this, two scenarios of future wood use were developed in this study.

The **Maximisation of Wood Use scenario** is directly oriented towards the targets for biomass use in industry and thus assumes a strong increase in primary and secondary wood in the industrial sector. In contrast, the scenario **Minimisation of wood use** corresponds to a strong reduction of the total wood use for energy production in industry. Since there are largely technical alternatives to wood combustion, from 2030 onwards the use of primary wood is completely abandoned and only a smaller proportion of secondary wood is used. The remaining demand for energy for process heat resulting from the reduction in wood use is covered by green gases and electricity.

The comparison of scenarios clearly shows that significantly less wood is used in the **minimisation of wood use scenario** in contrast to the **maximisation of wood use scenario**. As a result, the climate impact is also reduced in the case of reduced wood use, considering CO₂ emissions from wood use. By reducing the use of wood in industry and using alternative renewable energy sources, a transformation of industry is possible without harming the forests and without losses in the energy supply for industry.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Um die Klimaziele der Politik zu erreichen, muss sich der Industriesektor massiv transformieren. Für den gesamten Wärmesektor, welcher auch die Industrie bedient, besteht das explizite Ziel, bis zum Jahr 2030 den Anteil erneuerbarer Energien auf mindestens 27 Prozent zu erhöhen (dena 2021).

Der Weg zur Klimaneutralität steht dabei vor großen Herausforderungen, trägt der Industriesektor aufgrund seines hohen Energiebedarfs (C.A.R.M.E.N. e.V. 2021b) doch 23 % zur gesamten Treibhausgasemission Deutschlands bei (BCG 2021). Mehr als zwei Drittel davon gehen auf den Bedarf an Prozesswärme zurück (IN4climate.NRW 2022). Dem BDH (2022) zufolge beträgt die Energiemenge für die Bereitstellung von Prozesswärme in der Industrie 1823,9 PJ, wovon nur ein geringer Anteil aktuell aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. Insgesamt betrachtet liegen die Emissionen aus der Bereitstellung von Energie für Prozesswärme nach den Emissionen des Verkehrssektors bereits an zweiter Stelle (FVH 2017). Als Lösungswege zur Emissionsreduzierung wird der Ersatz von fossilen Energieträgern durch regenerative Quellen gesehen, vor allem aber die Steigerung der Energieeffizienz. Biomasse, vor allem Holz, kann in diesem Kontext technisch für die Bereitstellung von Prozesswärme und Prozessdampf in der Industrie eingesetzt werden (Neumann 2021).

Holz und holzbasierte Brennstoffe werden von verschiedener Seite als Teil der Lösung ins Spiel gebracht, da sie als verlässlich und nachhaltig betrachtet werden (C.A.R.M.E.N. e.V. 2021a). Die scheinbar kurzfristige Verfügbarkeit dieser Quelle macht sie attraktiv als Alternative zu derzeit noch schwerer umsetzbaren und teuren Optionen wie z.B. Elektrifizierung oder Grüne Gase (FVH 2020). In manchen Branchen werden Holz und Reststoffe aus der Holzverarbeitung bereits zur Prozesswärmeerzeugung genutzt, v.a. in der Papier- und Zellstoffindustrie. Holz weist dabei den Vorteil auf, dass es oft ohne große Umrüstungen als kostengünstige Alternative zu fossilen Energieträgern in Industrieprozessen eingesetzt werden kann. Und schließlich bezeichnet die Klimabilanzierung der EU-Staaten oder der Unternehmen im Rahmen des ETS den Energieträger Holz als eine „emissionsneutrale“ Rohstoffquelle. Auch von Seiten des Bundes bestehen mehrfach Anreizsysteme, wie beispielsweise das Bundesförderprogramm für Energieeffizienz in der Wirtschaft (C.A.R.M.E.N. e.V. 2020a), welches Holz als eine attraktive Alternative erscheinen lässt.

Zahlreiche Industriebranchen setzen daher auf Holzverbrennung, um ihre Prozesswärme und/oder Verbrennungsprozesse zu dekarbonisieren, wodurch der Holzeinsatz zunimmt. Auch jüngste angestrebte Kooperationsaktivitäten zwischen großen Pelletproduzenten und Pelletabnehmern verdeutlichen die Brisanz dieser Thematik (EUWID 2022a; b). Pelletproduzenten zufolge sind industrielle Holzpellets bereits auf dem Vormarsch in der Industrie für die Bereitstellung „grüner Prozesswärme“ (Debate Energy 2022; enviva 2022a; b; Forum Nachhaltige Holzenergie 2022).

Neben der energetischen Verwertung sehen manche Branchen, wie die Chemische Grundstoffindustrie, in Holz und Biomasse eher einen notwendigen Ersatzrohstoff für eine künftig nicht-fossile Kunststoffproduktion. Nutzungskonflikte bestehen zwischen einer stofflichen und einer energetischen Nutzung, angetrieben durch Akteure zahlreicher Branchen. Diese Konflikte um die knappe Ressource und die Frage der Priorisierung bestimmter Nutzung, wie sie in der Nationalen Bioökonomiestrategie gefordert wird, engen die Möglichkeiten deutlich ein.

Die zentralen Fragen sind, in welchem Verhältnis steht der Bedarf der Industrie an Holz für die Erreichung ihrer Klimaziele, welche Mengen an Holz stehen überhaupt zur Verfügung und wie verhält es sich mit der Emissionseinsparung durch die energetische Holznutzung.

Das Ziel der Kurzstudie ist es somit, darzustellen, inwieweit und in welchen Zeiträumen die Industrieprozesse in Deutschland auf emissionsarme Alternativen umgestellt werden könnten und wo technische Hürden existieren, welche einen Einsatz von Holzbiomasse (oder anderen kohlenstoffbasierten Energieträgern) auf absehbare Zeit alternativlos machen. Damit soll die übergeordnete Fragestellung der Defossilisierung des Industriesektors ohne Gefahr für Wälder und Klima beantwortet werden.

Die Studie ist folgendermaßen aufgebaut: In Kapitel 4 wird die Methodik einschließlich der Forschungsfragen, Datengrundlage und der Vorgehensweise erläutert. Im Anschluss werden in Kapitel 5 die zentralen Ergebnisse dargestellt und im darauffolgenden Kapitel (Kapitel 6) diskutiert. Abschließend wird in Kapitel 7 ein Fazit aus den Ergebnissen der Studie gezogen.

4 Methodik

4.1 Fragestellung

Die Studie beinhaltet mehrere Fragestellungen. Diese ermöglichen es, ein Bild der potenziellen Defossilisierung der Industrie zu zeichnen.

Folgende Fragestellungen stehen im Fokus der Studie:

1. Welche Holzmengen werden derzeit im Industriesektor zu Energiezwecken eingesetzt?
2. Für welche Einsatzzwecke wird im Industriesektor derzeit über den Ersatz von fossilen Stoffen durch Holzbiomasse nachgedacht? Bei welchen dieser Einsatzfelder existieren technische (klimafreundlichere) Alternativen? Wo ist ein Einsatz von Holzbiomasse/kohlenstoffbasierten Energieträgern absehbar alternativlos?
3. Welche Holzmengen werden laut vorliegenden Studien bis 2030 sowie bis 2045/2050 von der Industrie benötigt?
4. Welche Holzmengen braucht die Industrie bei weiterem Ausbau des Holzeinsatzes im Vergleich zu einer Reduktion des Holzeinsatzes?
5. Wie gestaltet sich die Klimabilanz im Fall einer Maximierung des Holzeinsatzes und im Fall einer Minimierung?

4.2 Daten

Die zentralen Daten beziehen sich primär auf Dokumentationen des Sektors Holzenergie und Industrie. Darüber hinaus werden für Umrechnungen Faktoren aus BioGrace¹ und von Hennenberg et al. (2022) und Fehrenbach et al. (2022) verwendet. Ergänzend werden Erkenntnisse einer umfassenden Literaturstudie integriert. Tabelle 1 gibt die zentralen Datengrundlagen wieder.

Tabelle 1: Zusammenstellung zentraler Datengrundlagen

Herausgeber	Bericht/Veröffentlichung	Art der Daten	Jahr des Datensatzes	Quellenbezeichnung
Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH	Broschüre des Projektes der Initiative Holzwärme	u. a. Daten zum Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte in Deutschland im Jahr 2021	2021	BDH (2022)
Boston Consulting Group	Bericht in Zusammenarbeit mit dem BDI	u. a. Daten zum zukünftigen Einsatz von Biomasse für Prozesswärme	2021	BCG (2021)
ifeu	BioGrace	Daten zur THG-Lebenswegbilanzberechnung (u. a. Ertragsdaten, Allokations- und Umwandlungsfaktoren)	2009	ifeu (o.J.)
Umweltbundesamt	Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE (Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie)	u. a. Daten zu Holzsortimenten in Biomasseanlagen < 1 MW und > 1 MW	2021	Hennenberg et al. (2022)
ifeu/Öko-Institut	Artikel im wissenschaftlichen Journal <i>forests</i>	Daten zu Emissionen und Speichersaldo	2018	Fehrenbach et al. (2022)

¹ www.biograce.net

4.3 Vorgehensweise

In Abbildung 1 wird die Abfolge der einzelnen Schritte schematisch dargestellt. Im Folgenden wird die Vorgehensweise der einzelnen Schritte erläutert.

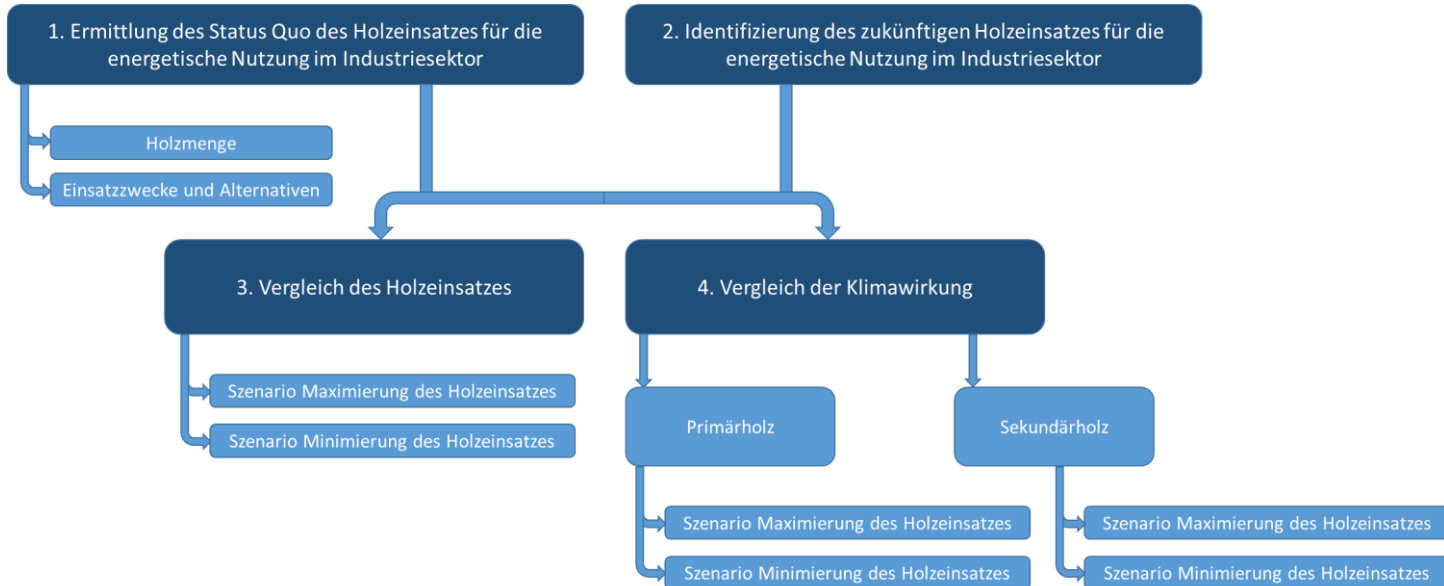


Abbildung 1: Überblick über die einzelnen Arbeitsschritte der Studie.

Begriffliche Definitionen

Innerhalb der Studie werden insbesondere die beiden Begriffe „Primärholz“ und „Sekundärholz“ verwendet, da über die EU-Gesetzgebung künftig holzartige Biomassen nach diesen Klassen unterschieden werden. Im Folgenden werden diese Begriffe erläutert. Im Weiteren orientieren sich die Begrifflichkeiten zu Holzsortimenten an Fehrenbach et al. (2019); Hennenberg et al. (2022).

Primärholz

Primärholz umfasst die Holzsortimente Waldholz, forstliche Reststoffe und holzartige agrarische Anbaubiomasse. Waldholz entspricht alles dem Wald entnehmbares Holz. Dazu zählt Sägestammholz, sonstiges Derbholz und Rinde.

Forstliche Reststoffe, auch Waldrestholz genannt, ist Holz, welches unter der sogenannten Derbholzgrenze, d.h. der Durchmesser ist < 7 cm, liegt.

Zu agrarischer Anbaubiomasse zählt ausschließlich holzartige Biomasse im Sinne von Kurzumtriebsplantagen (KUP).

Primärholz entspricht folglich holzartiger Biomasse, welche direkt dem Wald oder ehemaligen Agrarflächen (KUP) entnommen wird. Der Anteil von KUP ist im Vergleich zu den anderen Sortimenten des Primärholzes vernachlässigbar gering. Dem Bundeswaldgesetz zufolge sind KUP Teil der Agrarwirtschaft, allerdings nur solange eine Rotationsperiode < 20 Jahre eingehalten wird. Bei längeren Umtriebszeiten werden KUP der Forstwirtschaft zugeschrieben (FNR 2014).

Sekundärholz

Sekundärholz umfasst die Holzsortimente Garten- und Landschaftspflegematerial, Industrierestholz und Abfallholz. Im Gegensatz zu Primärholz umfasst Sekundärholz folglich holzartige Biomasse, die nicht direkt dem Wald entnommen wird.

Garten- und Landschaftspflegematerial entspricht sogenanntem Grüngut (Biomasse aus Wegebegleitgrün, von öffentlichen und privaten Grünflächen), welches an Sammelplätzen anfällt.

Zu Industrierestholz zählen in Betrieben der Holzbe- oder -verarbeitung anfallenden Holzreste (v.a. Sägenebenprodukte und Holzwerkstoffreste).

Abfallholz beinhaltet das gesamte Altholz bzw. Gebrauchtholz.

4.3.1 Status Quo des Holzeinsatzes im Industriesektor

Holzmenge

Um auf die Frage der aktuell eingesetzten Holzmenen im Industriesektor Antwort zu geben, wird eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Hierbei wird die interne Literatur-Datenbank des ifeu sowie Online-Literatur-Datenbanken wie Scopus, Springer, Wiley, ResearchGate und Google Scholar auf das Vorhandensein entsprechender Daten zum Holzeinsatz im Industriesektor hin geprüft. Darüber hinaus erfolgt eine online Desktop-Recherche mit den beispielhaften Schlagworten „Holzeinsatz Industrie“, „Holz Prozesswärme“, „Biomasse Industrie“, „Holzmenge Industrie“.

Einsatzzwecke & Alternativen

Parallel zur Literaturrecherche für die Holzmenge im Industriesektor wird Literatur für die Identifikation der Einsatzzwecke des Holzeinsatzes gesichtet. Dabei werden die bereits aufgeführten Literatur-Datenbanken geprüft und eine online Desktop-Recherche durchgeführt. Die verwendeten Schlagworte sind „Einsatzzweck Holz Industrie“, „Verwendung Holz Industrie“, „Nutzung Holz Industrie“. Diese Suche ermöglicht auch die Identifikation möglicher Alternativen der Bereitstellung von Energie für den Industriesektor.

4.3.2 Zukunftsprognosen des Holzeinsatzes

Um identifizieren zu können welche Holzmenen bis zu den Zieljahren 2030 und 2045/2050 eingesetzt werden, wird die in Arbeitsschritt 1 identifizierte Literatur auf Daten zum zukünftigen Holzeinsatz hin geprüft.

4.3.3 Zwei Szenarien des Holzeinsatzes

Vergleich des Holzeinsatzes

Ausgehend von dem in Arbeitsschritt 4.3.1 identifizierten Status Quo des Holzeinsatzes für die energetische Nutzung in der Industrie und des in 4.3.2 wiedergegebenen zukünftigen Holzeinsatzes werden zwei Szenarien entwickelt. Für Holzmenen, die in 4.3.1 und 4.3.2 in TWh ausgedrückt werden, erfolgt eine Umrechnung in Mio. t auf Basis folgender Annahmen:

- Wirkungsgrad: 80 %
- Umrechnungsfaktor für Primärholz: 11,677 MJ/kg_{luto} (Waldderbholz) aus Hennenberg et al. (2022)
- Umrechnungsfaktor für Sekundärholz: 14,762 MJ/kg_{luto} (Alt- und Gebrauchtholz) aus Hennenberg et al. (2022)

Das Szenario **Minimierung des Holzeinsatzes** entspricht einer potenziellen möglichen De-fossilisierung der Prozesswärmebereitstellung in der Industrie bei einer Reduktion des Holzeinsatzes auf das technisch notwendige Maß. Dem gegenüber entspricht das Szenario **Maximierung des Holzeinsatzes** einer Fortschreibung des Status Quo unter Berücksichtigung der Ziele der Industrie hinsichtlich des zukünftigen Holzeinsatzes für die energetische Nutzung. Die zentralen Kernelemente beider Szenarien werden in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2: Kernelemente der beiden Szenarien

Szenario	Minimierung Holzeinsatz	Maximierung Holzeinsatz
Initialer Holzeinsatz in 2022 (TWh)	23,33	23,33
Anteil Sekundärholz in 2022	68 %	68 %
Anteil Primärholz in 2022	32 %	32 %
Ziel 2030	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion des Sekundärholzeinsatzes um 50 % auf 34 % Vollständige Reduktion des Primärholzeinsatzes auf 0 % 	<ul style="list-style-type: none"> Zunahme des gesamten Holzeinsatzes auf 48,8 TWh
Ziel 2045	<ul style="list-style-type: none"> Unverändert gegenüber 2030 	<ul style="list-style-type: none"> Zunahme des gesamten Holzeinsatzes auf 73,2 TWh
Weitere Annahmen	<ul style="list-style-type: none"> Lineare Reduktion des Primärholzeinsatzes von 32 % auf 0 % zwischen 2022 und 2030 Lineare Reduktion des Sekundärholzeinsatzes von 68 % auf 34 % zwischen 2022 und 2030 Kontinuierlicher Einsatz von Sekundärholz im Umfang von 34 % zwischen 2030 und 2050 	<ul style="list-style-type: none"> Lineare Zunahme des gesamten Holzeinsatzes von 23,33 TWh auf 48,8 TWh zwischen 2022 und 2030 Lineare Zunahme des gesamten Holzeinsatzes von 48,8 TWh auf 73,2 TWh zwischen 2030 und 2045 Fortschreibung der linearen Zunahme des gesamten Holzeinsatzes bis 2050 Kontinuierlicher Einsatz von Sekundärholz im Umfang von 4,84 Mio. t zwischen 2022 und 2050 Kontinuierliche Zunahme des Einsatzes von Primärholz entsprechend der Differenz zwischen gesamten Holzeinsatz und Anteil für Sekundärholz

Die Angaben aus Tabelle 2 zu den Anteilen des Sekundärholzes bzw. des Primärholzes gehen auf Hennenberg et al. (2022) zurück. Diese Daten umfassen die Menge an verfeuerter Holz differenziert nach Privathaushalten, Biomasseanlagen (BMA) < 1 MW und Bio-

masseanlagen > 1 MW. Darüber hinaus besteht eine Differenzierung hinsichtlich der Holzsortimente. Der über beide BMA gewichtete mittlere Anteil des Sekundärholzes am gesamten Holzeinsatz beträgt 68 %. Dieser Anteil beinhaltet Garten- und Landschaftspflegematerial, Industrierestholz und Abfallholz. Der Anteil des Primärholzes inklusive Waldrestholz und agrarischer Anbaubiomasse umfasst 12 %¹.

Ausgehend von den Zielen und Annahmen aus Tabelle 2 erfolgt in diesem Arbeitsschritt eine Modellierung des Holzeinsatzes für die Jahre 2030, 2045 und 2050.

Vergleich der Klimawirkung

Im Anschluss an die Ermittlung des Holzeinsatzes in beiden Szenarien erfolgt die Berechnung der Klimawirkung. Hierbei wird auch die Frage aufgegriffen, wie mit dem Kohlenstoffspeicher im Holz und der Emission von CO₂ aus der Holzverbrennung umzugehen ist. In der bisherigen Konvention werden die bei der Verbrennung von Holzbrennstoffen entstehenden CO₂-Emissionen in Treibhausgasbilanzen mit Null angesetzt. Die Begründung: Holz und Biomasse generell sind nachwachsende Rohstoffe, deren Kohlenstoffgehalt zeitlich gebunden ist und am Lebensende (Zerfall oder Verbrennung) als CO₂ in die Atmosphäre zurückkehrt, aus der es zuvor aufgenommen worden war. Der Kohlenstoff befindet sich somit im Kreislauf. Diese Betrachtung ist jedoch idealisiert, denn Wachstum von Biomasse und deren Nutzung halten sich keineswegs zwangsläufig die Waage. Wird mehr Wald gerodet als nachwächst, ist das Gleichgewicht gestört. In den Regeln des IPCC zur Bilanzierung nationaler Treibhausgasinventare (IPCC 2006) ist das auch berücksichtigt.

Tatsächlich geht jedoch die globale Bilanz des biogenen CO₂ nicht auf: nach IPCC (2019) wurden im Zeitraum 2007 bis 2016 jährlich im Mittel 5,2 Mrd. t CO₂ netto durch Landnutzungsänderung, einschließlich Entwaldung und Aufforstung/Wiederaufforstung und durch Holzernte emittiert. Diese Emissionen bzw. Senken werden separat auf nationaler oder globaler Ebene in den Inventarberichten bilanziert (UBA 2021). Die Nutzenwendungen wie z.B. die Holzverbrennung im Energiesektor werden dagegen als neutral dargestellt.

Dabei lässt sich die mit einem entnommenen Volumen an Holz verbundene Reduktion an Senkenleistung des Waldes schlüssig in CO₂-Emissionen überführen. Als geeignete Größe wird u. a. der sogenannte CO₂-Speichersaldo erachtet, der ausdrückt, wie stark sich die Senkenleistung im Wald je entnommener Holzmenge verändert. Der Speichersaldo wurde vom Öko-Institut entwickelt (CO₂-Speichersaldo 2022) und von Soimakallio et al. (2022) mit breiter Datenbasis unterlegt. Praktisch angewendet wurde er von Fehrenbach et al. (2021).

Alternativ zum Speichersaldo kann die tatsächliche direkte Emission aus der Verbrennung des Holzes in die Klimabilanz einbezogen werden. Die Veränderung der Senkenleistung spielt folglich keine Rolle mehr, weil der Kohlenstoff im Holz wie fossiler Kohlenstoff betrachtet wird. Der Anteil des im Holz gebundenen Kohlenstoffs ist ebenfalls Fehrenbach et al. (2022) zu entnehmen und beträgt 0,5 kg C pro kg lufttrockenem Holz.

Beide Möglichkeiten werden bei der Berechnung der Klimawirkung angewendet und die Ergebnisse an den Holzsortimenten Sekundärholz bzw. Primärholz gespiegelt. Hierbei gilt zu beachten, dass lediglich dem Anteil des Primärholzes, welches direkt dem Wald entnommen wird, ein Speichersaldo zugeschrieben wird. Im Fall der Anrechnung der direkten CO₂-Emissionen besteht kein Unterschied zwischen den Sortimenten.

¹ Siehe auch begriffliche Erläuterungen in Kapitel 4.3

Emissionsfaktoren, als auch der Wert des Speichersaldos sind Fehrenbach et al. (2022) entnommen:

- Speichersaldo mittlere Variante: 115 g CO₂-Äq./MJ
- Emission Produktionskette: 2,3 g CO₂-Äq./MJ
- Weitere Emissionen: 0,41 g CO₂-Äq./MJ
- Substitution: - 80 g CO₂-Äq./MJ

Für die Klimabilanz werden die Emissionen aus Speichersaldo bzw. direkte Emission der Verbrennung und Produktionskette aufsummiert. Anschließend erfolgt eine Substitutionsgutschrift in Anlehnung an Fehrenbach et al. (2022).

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes erfolgt eine Bilanzierung der Klimawirkung für das Jahr 2022 und 2030 differenziert nach Sekundärholz bzw. Primärholz. Dieser Arbeitsschritt wird für beide Szenarien durchgeführt.

5 Ergebnisse

Im Folgenden werden die einzelnen Arbeitsschritte differenziert nach Arbeitsschritt dargestellt. Eine Diskussion der Ergebnisse erfolgt im anschließenden Kapitel (Kapitel 6).

5.1 Status Quo des Holzeinsatzes im Industriesektor

5.1.1 Holzmenge

Insgesamt betrachtet ist der Anteil erneuerbarer Energien in der Wärmebereitstellung in den letzten Jahren nur geringfügig auf 15 % gestiegen. Der Großteil dieses Anteils (80 %) geht auf biogene Brennstoffe zurück, dazu zählt Holz (dena 2021).

Der Anteil industrieller Prozesswärme aus erneuerbaren Energiequellen betrug im Jahr 2020 5 %. Der Großteil der Prozesswärme (75 %) wird durch fossile Energieträger gedeckt. Weitere ca. 20 % der Prozesswärme entfallen auf Strom und Fernwärme (C.A.R.M.E.N. e.V. 2020b).

Die genaue Identifizierung der Holzmenge, die aktuell im Industriesektor eingesetzt wird, gestaltet sich als herausfordernd. Angaben dazu werden folgenden Quellen entnommen:

- Fachverband Holzenergie (FVH): BDH (2022), FVH (2022)
- Bundeswirtschaftsministerium (BMWI): BMWI (2021)
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR): FNR (2021)

Ein Überblick über die gesamten identifizierten Zahlen zum Holzeinsatz in der Industrie ist in Tabelle 3 gegeben.

Den Angaben des FVH ist zu entnehmen, dass für Haushalte ein Holzeinsatz im Umfang von 81 TWh und für den Industriesektor und die Nahwärmekonzepte Holzenergie im Umfang von 53 TWh anfällt (BDH 2022). Die Dokumentation des BDH (2022) erlaubt darüber hinaus eine Differenzierung in die Bereiche Holzeinsatz für die Industrie und Nahwärmekonzepte. Den Angaben zufolge machen feste Biobrennstoffe für den Einsatz in der Industrie einen Anteil von 11 % am gesamten Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte aus im Jahr 2021. Bei einem gesamten Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte von 199,4 TWh entspricht der Anteil der Industrie einem Holzeinsatz im Umfang von **23,3 TWh**.

Die Angaben des BMWI und des FNR liegen in einer ähnlichen Bandbreite. So beläuft sich der Holzeinsatz in der Industrie im Jahr 2020 dem BMWI zufolge auf 24.029 GWh (24,03 TWh) (BMWI 2021). In gleicher Weise wie in der Dokumentation des FVH wird ebenfalls der prozentuale Anteil fester Biobrennstoffe für die gesamte Industrie, welcher sich auf 13,2 % des gesamten Endenergieverbrauchs erneuerbarer Energien beläuft, wiedergegeben. Bei einem gesamten Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien im Umfang von 181,7 TWh entspricht dies ca. 24 TWh. Der Vergleich der Daten zwischen BMWI und FVH zeigt, dass sich der Holzeinsatz im Industriesektor von 24 TWh im Jahr 2020 auf 23,33 TWh im Jahr 2021 leicht reduziert hat.

Der Website des FVH ist ebenfalls zu entnehmen, dass in 2020 13,2 Prozent der Wärme aus Erneuerbaren Energien für industrielle Prozesse bereitgestellt wurden (FVH 2022).

Der FNR zufolge wird in 2021 für den Sektor Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Heizkraftwerke (HKW) und Heizwerke (HW) Holz im Umfang von 25,9 % der gesamten erneuerbaren Wärme eingesetzt (FNR 2021). Bei einem gesamten Umfang erneuerbarer Wärme in Höhe von 199,4 TWh entspricht dies 51,64 TWh für den aggregierten Sektor Industrie, GDH, HKW, HW.

Das Centrale Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk (CARMEN) erläutert, dass das Holzsortiment des Holzeinsatzes in der Industrie Holzpellets und holzige Rest- und Abfallstoffe aus der Kreislaufwirtschaft umfasst. Dies beinhaltet auch Holz aus der Landschaftspflege und aus der Kompostierung und Altholz der Kategorien A I und A II (C.A.R.M.E.N. e.V. 2020b).

Die Frage verfügbarer zusätzlicher Potenziale für die Zukunft wird in Kapitel 5.2 behandelt.

Tabelle 3: Überblick über die Ergebnisse der Literaturrecherche zum Holzeinsatz in der Industrie.

Quelle	Definition	Menge	Einheit	Erläuterung in der Quelle
BDH (2022)	Biogene Festbrennstoffe (Industriesektor und die Nahwärmekonzepte)	53	TWh	-
BDH (2022)	Biogene Festbrennstoffe 2021 (Industrie)	11	%	Anteil am gesamten Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte
BMWI (2021)	Biogene Festbrennstoffe 2020 (Industrie)	24.029	GWh	Endenergieverbrauch Wärme
BMWI (2021)	Biogene Festbrennstoffe 2020 (Industrie)	13,2	%	Endenergieverbrauch Wärme aus erneuerbaren Energien
FVH (2022)	Biogene Festbrennstoffe 2020 (Industrie)	13,2	%	EE-Wärme
FNR (2021)	Biogene Festbrennstoffe 2021 (Industrie, GHD, HKW/HW)	25,9	%	Erneuerbare Wärme

5.1.2 Einsatzzwecke & Alternativen

Welche Art Wärme wird benötigt?

Industrielle Wärme bzw. Prozesswärme stellt sich je nach Industriezweig unterschiedlich dar. Zunächst ist das Temperaturniveau entscheidend. Nach Frisch et al. (2010) verteilen sich die Nutzungen von Prozesswärme nach Temperaturniveaus wie folgt:

- 10 % unter 100°C:
hauptsächlich in der chemischen Industrie und im Ernährungsgewerbe
- 15,2 % zwischen 100 und 500°C:
hauptsächlich in der chemischen Industrie, der Papierindustrie und im Ernährungsgewerbe
- 26,2 % zwischen 500 und 1.000°C:
hauptsächlich in der chemischen Industrie, der Metallindustrie und der Zement-, Glas-, Keramikindustrie
- 48,4 % über 1.000°C:
hauptsächlich in der Metallindustrie und der Zement-, Glas-, Keramikindustrie

Die jeweiligen Temperaturbereiche werden differenziert in Niedrigtemperaturbereich (bis 100 °C), mittlerer Temperaturbereich bis 500 °C und Hochtemperaturbereich > 500°C (C.A.R.M.E.N. e.V. 2020b).

Die hohen Temperaturen dominieren folglich, mit etwa ein Dreiviertel des Einsatzes von Prozesswärme höher als 500°C. Die größten Verbraucher sind

- die Metallindustrie (38 % am gesamten Prozesswärmeverbrauch)
- die chemische Industrie (23 % am gesamten Prozesswärmeverbrauch)
- die Zement-, Glas-, Keramikindustrie (21 % am gesamten Prozesswärmeverbrauch).

Die Art des Prozesswärmeeinsatzes ist ebenfalls zu unterscheiden, da sie Hinweise darauf liefert, welche Energieträger gut geeignet sind. Vielfach geht es darum einen Prozess auf das erforderliche Temperaturniveau zu beheizen, um die gewünschte Reaktion zu erreichen (Schmelzen z.B. bei Metallen, Kalzinieren und Versintern z.B. bei Zement). Aber auch Reduktionsreaktionen (z.B. beim Metallverhütten) oder Dampfreaktionen (z.B. Steam reforming in der chemischen Industrie) spielen eine Rolle.

Wie gut ist Holz für Prozesswärme geeignet?

Grundsätzlich ist Holz als Energieträger gut geeignet, um hohe Temperaturen zu erzielen (Maaß et al. 2018). Für niedrigere Temperaturniveaus kommen somit grundsätzliche alternative Energiequellen in Frage (siehe weiter unten).

Die Industrie mit dem höchsten Bedarf an Prozesswärme im Hochtemperaturbereich setzt bisher so gut wie kein Holz ein. Bei Metall- und Zementprozessen erfolgt der Einsatz des Energieträgers oder Reduktionsmittels in direktem Kontakt mit dem Erzeugnis. In der Metallindustrie ist dies schwierig mit einem heterogenen und niederkalorischen Material wie Holz zu verbinden. Die Zementindustrie setzt zwar bereits (heterogene) Abfallstoffe in großem Umfang ein, zumindest in Deutschland wird jedoch so gut wie kein Holz verwendet, was auf dessen geringe Attraktivität gegenüber Alternativen schließen lässt.

Weitere Gründe, warum der Holzeinsatz teilweise limitiert ist, sind Schwierigkeiten mit Holz die starken Lastspitzen, die häufig in der Industrie auftreten, zu decken, da Holzheizkessel kontinuierlich betrieben werden sollten. Zudem waren und sind Investitionskosten von Biomasseprojekten in der Industrie sehr kostspielig, wodurch der Einsatz von Holz in der Industrie weiter limitiert wird (C.A.R.M.E.N. e.V. 2020b).

Sehr gut geeignet ist Holz dagegen zur Erzeugung von Prozessdampf (C.A.R.M.E.N. e.V. 2020b), für Anwendungen mit Thermalöl oder Heißluft (FVH 2020).

Gerade in der Papierindustrie werden eigens erzeugte holzbasierte Reststoffe zur Bereitstellung von Prozessdampf eingesetzt. Dies ist naheliegend, da diese Reststoffe bei der Herstellung von Papier anfallen.

Alternativen

Welche Alternativen es zum Einsatz von Holz in der Industrie gibt, ist abhängig vom Temperaturbereich.

Informationen von C.A.R.M.E.N. zufolge kann der Bereich geringer Temperaturen $< 250^{\circ}\text{C}$ grundsätzlich mit solarer Prozesswärme gedeckt werden (C.A.R.M.E.N. e.V. 2020b). Dem Bericht des Hamburg Instituts (Maaß et al. 2018) ist zu entnehmen, dass feste Biomasse eine Bandbreite an Temperaturen von 50 bis $> 500^{\circ}\text{C}$ erzielen kann. Andere Energieträger auf Basis von Geothermie oder Solarenergie können dagegen geringere Temperaturniveaus $< 250^{\circ}\text{C}$ erreichen. Somit kommen für niedrigere Temperaturniveaus grundsätzlich alternative Energiequellen in Frage. Neben fester Biomasse kann dem Bericht des Hamburg Instituts zufolge auch mit Gasen erneuerbarer Energien (EE-Gase) sowie mit Elektrizität ein hoher Temperaturbereich erzielt werden. Zu den EE-Gasen zählen laut Maaß et al. (2018) Wasserstoff und Methan (Methan umfasst laut der Studie Biomethan). Ob weitere Energieträger zu Methan zählen, ist der Studie nicht zu entnehmen. Grundsätzlich wird der Begriff Methan im Kontext EE-Gase als Biomethan und synthetisch hergestelltes Methan (engl. Synthetic Natural Gas – SNG) aufgefasst. Aus Umweltschutzsicht sollte Biomethan ausschließlich auf Abfall- und Reststoffen basieren. Fehrenbach et al. (2019) konnten hierfür abhängig vom Szenario ein Potenzial von $14,7 - 36,1$ PJ bzw. $4 - 19$ TWh errechnen.

Folglich bestehen auch für den aktuellen Holzeinsatz Alternativen für alle Temperaturbereiche.

Der Industrie zufolge soll die Klimaneutralität der Industrie bis 2045 erfolgt sein (BCG 2021). Über alle Industriesektoren hinweg spielen dabei gemäß BCG (2021) die folgenden Energieträger eine zentrale Rolle:

- Strom
- Grüne Gase
- und zu geringeren Anteilen Müllverbrennung, Umgebungswärme, Fernwärme und Biomasse.

Es kann festgestellt werden, dass die Industriesektoren, die BCG (2021) zufolge selbst im Jahr 2045 noch einen Einsatz von Biomasse verzeichnen, bereits 2045 ihren größten Energiebedarf durch Strom und teilweise sogenannte „Grüne Gase“ decken. In BCG (2021) umfasst der Begriff Grüne Gase Biomethan und Wasserstoff. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass theoretisch alle Industriebranchen Wasserstoff und Grüne Gase anstatt Biomasse verwenden können. Der Hintergrund ist, dass Biomasse den hohen Temperaturbereich der Industriesektoren abdeckt. Da wie erläutert, jedoch auch Strom und Grüne Gase diesen Temperaturen abdecken können (Maaß et al. 2018) und die Industriebranche selbst diese beiden Energieträger 2045 über alle Branchen hinweg einsetzen möchte (BCG 2021), kann davon ausgegangen werden, dass diese Energieträger Biomasse ersetzen können. Das heißt, es ist davon auszugehen, dass der Hochtemperaturbereich, der mit Biomasse bestellt werden soll, ebenfalls durch Strom und Grüne Gase gedeckt werden kann. Somit ist der Einsatz von Holz in der Industrie nicht alternativlos.

Agora (2019) erläutern, dass ein nachhaltiger Biomasseeinsatz bereits ein limitiertes Potenzial aufweist und dass bereits zahlreiche Nutzungskonflikte um das limitierte Gut bestehen. Den Autor*innen zufolge kann für eine klimaneutrale Industrie lediglich direkte und indirekte Elektrifizierung, sowie Carbon Capture and Storage zum Einsatz kommen. Die notwendigen Technologien für die Klimaneutralität der Industrie stehen den Autor*innen der Studie zufolge bereits jetzt zur Verfügung oder sind kurz vor ihrer Marktreife. In der Studie wurden Szenarien des Technologiemies dargestellt, mit denen die Ziele der Industrie erreicht werden. In den Szenarien wird ein geringerer Anteil an Biomasse als in BCG (2021) angesetzt, Strom spielt bei den Szenarien die zentrale Rolle.

Zu ähnlichen Erkenntnissen kommt die Studie Ariadne (2021). Auch hierin werden Szenarien zukünftiger Technologien vorgestellt. Die Autor*innen kommen zu dem Schluss, dass Strom und Wasserstoff die zentralen zukünftigen Energieträger der Industrie sein werden und dass bereits bis 2030 CO₂-neutrale Verfahren in der Industrie hochskaliert werden sollen, um das Ziel der Klimaneutralität der Industrie bis 2045 zu erreichen. Hierfür sollen insbesondere in der Wasserstoff- und Strombereitstellung entsprechende Maßnahmen erfolgen, die wiederum entsprechende Investitionen erfordern. Dazu seien klare Preissignale zu setzen, die eine Präferenz von Strom vor anderen Energieträgern mit sich bringen.

Auch die im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz entwickelten und aktuell veröffentlichten Langfristszenarien, welche zukünftige Entwicklungen des Energiesystems modellieren um die Klimaziele zu erreichen, setzen sektorübergreifend auf eine Reduktion von Primärholz und eine Zunahme weiterer alternativer Energieträger (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung et al. 2022).

5.2 Zukunftsprognosen des Holzeinsatzes

Der zukünftige Holzeinsatz in der Industrie wird insbesondere durch die Ziele der Industrie bestimmt. Dem Bericht von BCG (2021) kann entnommen werden, dass der Endenergieverbrauch in der Prozesswärme von 472 TWh im Jahr 2019 auf 444 TWh im Jahr 2030 und 366 TWh im Jahr 2045 reduziert werden soll. Parallel zur gesamten Reduktion des Endenergieverbrauchs soll ein Anstieg des Einsatzes von Biomasse von 5 % im Jahr 2019 auf 11 % im Jahr 2030 und 20 % im Jahr 2045 erfolgen.

Umgerechnet in TWh wird somit folgender Holzeinsatz in der Industrie anvisiert:

- 2030: 48,8 TWh
- 2045: 73,2 TWh.

Welche zusätzliche Energieholzpotenziale gibt es überhaupt?

Eine entscheidende Frage ist die Verfügbarkeit von Holz als Energieträger. Dabei ist zunächst zwischen verschiedenen Arten Holz zu unterscheiden, vor allem zwischen Primärholz und Sekundärholz (siehe begriffliche Erläuterungen in Kapitel 4.3).

Was Sekundärholz betrifft, ist von keinen zusätzlichen Mengen auszugehen, da diese Stoffe per Definition nicht gezielt hergestellt werden. Eine Erhöhung von Sägeerzeugnissen wäre nur dann möglich, wenn der Einsatz an Stammholz in Sägereien aufgrund eines steigenden Bedarfs z.B. an Bauholz zunehmen würde. Dies würde eine Verlagerung von heute überwiegend energetisch genutzten Primärholz hin zur stofflichen Nutzung voraussetzen. Im Übrigen werden die heute anfallenden Mengen an Sekundärholz bereits vollständig genutzt, das meiste davon bereits zu Energiezwecken (Mantau et al. 2021).

Demnach wären zusätzliche Mengen nur von Primärholz zu liefern. Die Literatur zu Potenzialen liefert hierzu sehr unterschiedliche Zahlen. Brosowski et al. (2015) schätzen noch größere ungenutzte technische Potenziale zu Holz und forstwirtschaftlichen Reststoffen (ca. 12 Mio. t) ab, wobei hier insbesondere jene kleinteiligen Mengen, die als Waldrestholz bezeichnet werden aus Nachhaltigkeitsgründen umstritten sind. In der sogenannten Bio-Rest-Studie (Fehrenbach et al. 2019) wird die Situation bei Primärholz wie folgt beschrieben: Grundsätzlich gibt es keine „Reststoffe“ aus dem Wald, die nicht stofflich nutzbar wären (Wern et al. 2014). Es gibt in der Forstwirtschaft nur Reststoffe auf Grund der Lage am Holzmarkt oder Hölzer kleiner der Derbh Holzgrenze bzw. schadhafte Hölzer, die beide aus Naturschutz oder Bodenschutzgründen im Wald verbleiben sollten. Anhand der Studie von Ewald et al. (2017) wurde ein Potenzial von insgesamt 10 Mio. t Primärholz (absolut trocken) für die Energienutzung bei Erhalt der Marktanteile für die Sägewirtschaft, die Papier- und Holzwerkstoffindustrie abgeleitet. Dies entspricht einem Brennstoffenergieinhalt von ca. 50 TWh, bzw. unter Abzug von Umwandlungsverlusten etwa 45 TWh Prozessenergie.

Die derzeitige Nutzung an Primärholz durch Haushalte und Biomassenanlagen (BMA) liegt bereits bei 80 TWh Brennstoffenergieinhalt (30,8 Mio. t) (Hennenberg et al. 2022). Es stehen daher keine zusätzlichen nachhaltigen Potenziale mehr zur Verfügung, vielmehr müsste die Nutzung von Primärholz reduziert werden.

Für die Industrie können somit nur dann zusätzliche Energieholzmengen bereitgestellt werden, wenn diese anderen Nutzer*innen (z.B. Haushalten) genommen werden. Wenn es gelänge den Einsatz bei diesen Einsatzzwecken zu verringern, würden Potentiale frei, die in besonders schwer ohne feste Brennstoffe zu bewerkstellenden Industrieprozessen zum Einsatz kommen kann (Fehrenbach et al. 2019).

5.3 Szenarien des Holzeinsatzes

Die Ergebnisse des Vergleichs der beiden Szenarien Maximierung und Minimierung des Holzeinsatzes werden im Folgenden differenziert nach Holzmenge und Klimawirkung betrachtet.

5.3.1 Vergleich des Holzeinsatzes

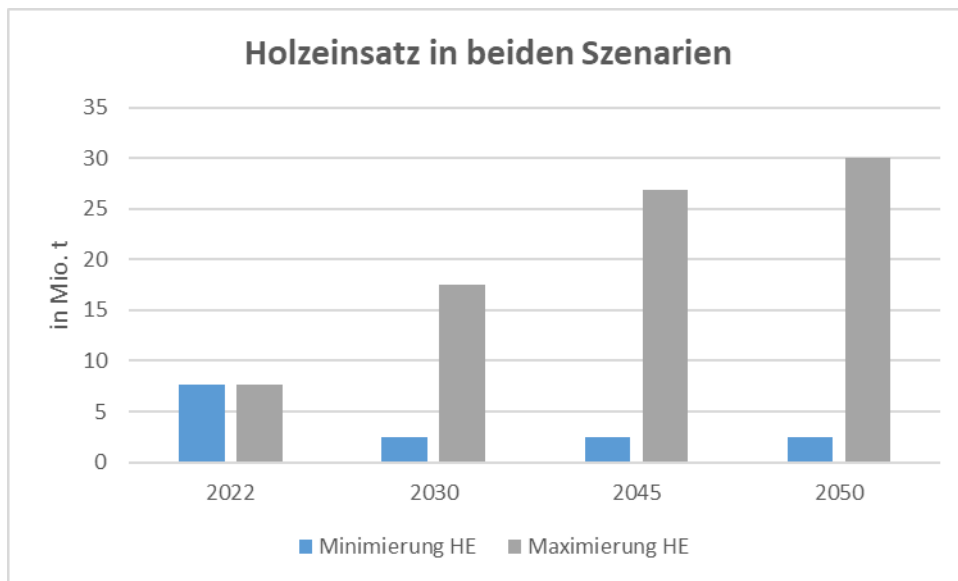


Abbildung 2: Aktueller und zukünftiger Holzeinsatz (HE) bei beiden Szenarien.

In Abbildung 2 wird die Holzmenge in Mio. t dargestellt, die in den Jahren 2022, 2030, 2045 und 2050 in der Industrie eingesetzt wird. Hierbei erfolgt eine Differenzierung nach dem Szenario Minimierung des Holzeinsatzes und Maximierung des Holzeinsatzes. Während im Jahr 2022, welches dem Ausgangsjahr entspricht, in beiden Szenarien die gleiche Menge an Holz, d.h. 7,71 Mio. t, eingesetzt werden, variiert der Holzeinsatz zwischen beiden Szenarien für die folgenden betrachteten Jahre.

Im Jahr 2030 hat sich der Holzeinsatz im Szenario Minimierung des Holzeinsatzes auf 2,42 Mio. t reduziert, während er im Szenario Maximierung des Holzeinsatzes auf 17,54 Mio. t angestiegen ist.

Im Szenario Minimierung des Holzeinsatzes bleibt der Holzeinsatz von 2,42 Mio. t auch in den folgenden Stützjahren 2045 und 2050 erhalten. Dem gegenüber nimmt der Holzeinsatz beim Szenario Maximierung des Holzeinsatzes weiter zu und beträgt im Jahr 2045 26,93 Mio. t und im Jahr 2050 30,06 Mio. t Holz.

Eine detailliertere Betrachtung nach Holzsortiment wird in Abbildung 3 gegeben. Hierbei wird der Holzeinsatz für das Jahr 2030 für beide Szenarien gegeben. Dabei erfolgt auch eine Differenzierung in Sekundärholz und Primärholz. Das Szenario Minimierung des Holzeinsatzes, welches im Jahr 2030 noch 2,42 Mio. t Holz in Anspruch nimmt, speist diesen Holzeinsatz ausschließlich aus Sekundärholz. Im Szenario Maximierung des Holzeinsatzes werden insgesamt 17,54 Mio. t Holz eingesetzt, welche sich zum größten Anteil mit 12,71 Mio. t aus Primärholz decken. Weitere 4,84 Mio. t werden durch Sekundärholz bereitgestellt - das entspricht dem heutigen Einsatz, welcher das Potential bereits mehr als ausschöpft und daher nicht weiter gesteigert werden kann.

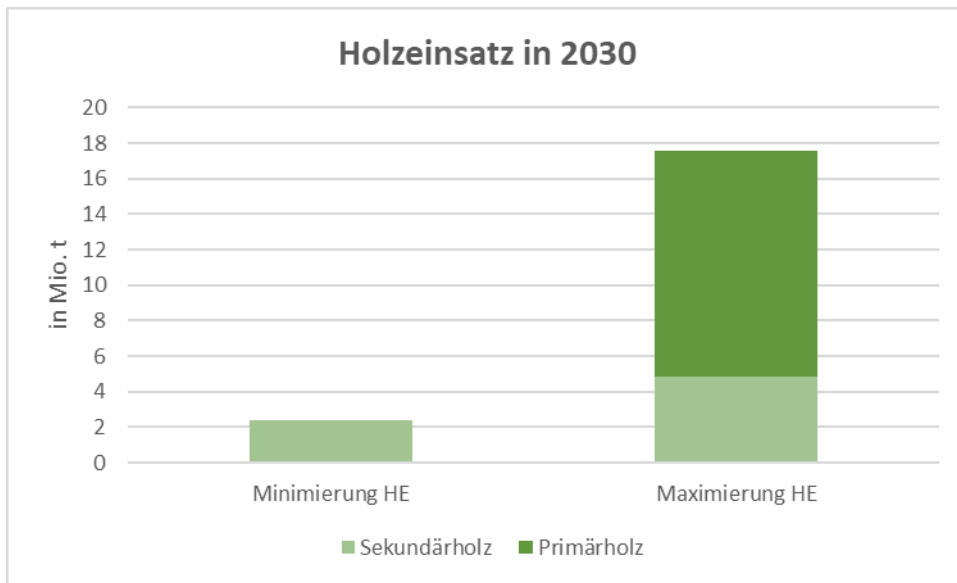


Abbildung 3: Zukünftiger Holzeinsatz (HE) bei beiden Szenarien differenziert nach Holzsortiment.

Zusätzlich zur Darstellung des Holzeinsatzes für die unterschiedlichen Stützjahre, werden in Abbildung 4 die in Kapitel 5.2 erläuterten Ziele der Industrie verortet. Die Darstellung des Holzeinsatzes differenziert nach Stützjahr und Szenario erfolgt hierbei in TWh, da die Ziele der Industrie ebenfalls in TWh angegeben sind. Grundsätzlich entspricht das Verhältnis des Holzeinsatzes zwischen beiden Szenarien dem Verhältnis, das auch in Abbildung 2 gegeben ist. Allerdings wird deutlich, dass im Szenario Maximierung des Holzeinsatzes im Jahr 2030 das Ziel der Industrie, nämlich ein Einsatz von Holz im Umfang von 48,8 TWh erreicht wird. Gleichermäßen wird das Ziel der Industrie von 73,2 TWh im Szenario Maximierung im Stützjahr 2045 erreicht.

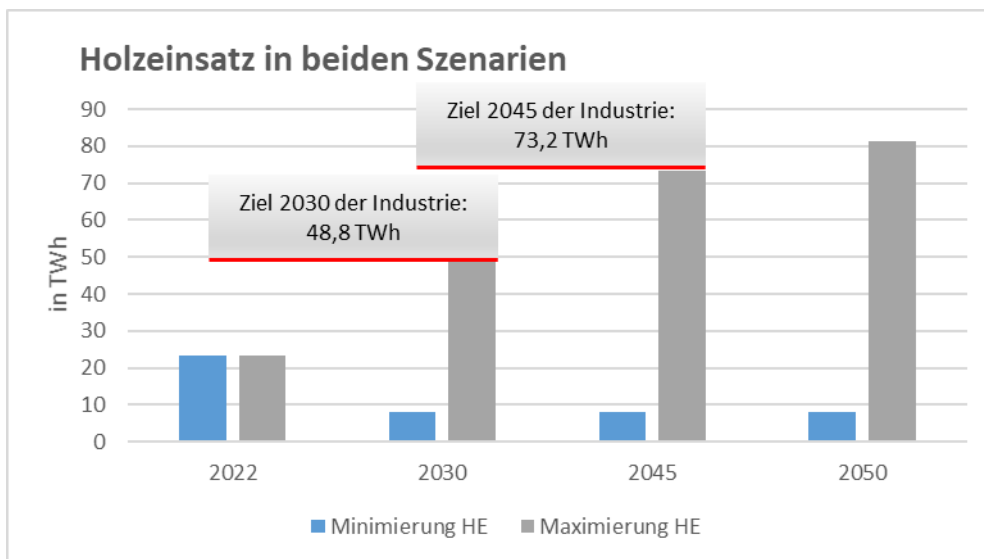


Abbildung 4: Verortung der Ziele der Industrie zum Holzeinsatz innerhalb des Szenarios Maximierung des Holzeinsatzes (HE).

5.3.2 Vergleich der Klimawirkung

In Abbildung 5 und Abbildung 6 wird die Klimawirkung der Szenarien Minimierung und Maximierung des Holzeinsatzes differenziert nach Holzsortiment (Primärholz/Sekundärholz) und nach Bilanzierungsansatz dargestellt.

Die Klimawirkung des Primärholzes in Mio. t CO₂ pro Jahr wird in Abbildung 5 wiedergegeben. Da beide Szenarien von einem gleichen Holzeinsatz im Jahr 2022 ausgehen, entsprechen die Ergebnisse des Stützjahres 2022 den Ergebnissen beider Szenarien. Aufgrund der Tatsache, dass im Jahr 2030 im Szenario Minimierung des Holzeinsatzes kein Primärholz mehr eingesetzt wird, wird in Abbildung 5 für das Jahr 2030 lediglich die Klimawirkung des Szenarios Maximierung des Holzeinsatzes wiedergegeben.

Die Netto-Emission setzt sich bei der Bilanzierung mit Speichersaldo aus dem Speichersaldo, welcher dem entgangenen Speichereffekt im Wald entspricht, den gesamten Emissionen aus der Produktionskette und der Substitutionsleistung (Ersatz von Erdgas) zusammen.

Für das Jahr 2022 liegt die Netto-Emission des Primärholzes in beiden Szenarien mit 1,27 Mio. t CO₂ Emissionen im positiven Bereich, d.h. hier erfolgt eine Emissionsfreisetzung. Ohne die Integration des Speichersaldos in Höhe von 4 Mio. t CO₂ würde die Netto-Emission des Primärholzes im Jahr 2022 im negativen Bereich bei 2,5 Mio. t CO₂ liegen. Dieser Wert entspricht der Substitution. Die Emissionen aus der Produktionskette nehmen in diesem Jahr einen marginalen Anteil von ca. 0,1 Mio. t CO₂ ein.

Im Jahr 2030 liegt die Netto-Emission im Szenario Maximierung des Holzeinsatzes bei Berücksichtigung des Speichersaldos bei 5,60 Mio. t CO₂, was ebenfalls einer Emissionsfreisetzung entspricht. Diese setzt sich aus dem Speichersaldo in Höhe von 17 Mio. t CO₂, den Emissionen aus der Produktionskette in Höhe von ca. 0,5 Mio. t CO₂ und der Substitution von 12 Mio. t CO₂ zusammen. Ohne Bilanzierung des Speichersaldos würde die Netto-Emission des Primärholzes mit ca. 12 Mio. t CO₂ ebenfalls im negativen Bereich liegen.

Die Netto-Emission der Bilanzierung unter Berücksichtigung der direkten CO₂-Emissionen setzt sich aus den direkten CO₂-Emissionen aus der Holzverbrennung, den Emissionen aus der Produktionskette und der Substitution zusammen.

Für das Jahr 2022 liegen die Netto-Emissionen für beide Szenarien mit 2,86 Mio. t CO₂ ebenfalls im Bereich der Emissionsfreisetzung. Die Netto-Emission besteht aus den direkten Emissionen aus der Holzverbrennung in Höhe von 5 Mio. t CO₂, den Emissionen aus der Produktionskette von ca. 0,1 Mio. t CO₂ und der Substitution von 2,5 Mio. t CO₂. Ohne die Integration der Verbrennungsemissionen würde die Gesamtbilanz im negativen Bereich bei ca. 2,5 Mio. t CO₂ liegen. Für das Stützjahr 2030 liegt die Netto-Emission des Primärholzes im Szenario Maximierung des Holzeinsatzes mit 11,85 Mio. t CO₂ im positiven Bereich. Hierbei dominieren ebenfalls die Emissionen aus der Verbrennung in Höhe von 23 Mio. t CO₂. Die Substitution in Höhe von 12 Mio. t CO₂ nimmt dagegen einen weitaus geringeren Anteil ein, ebenfalls die Emissionen aus der Produktionskette (0,5 Mio. t CO₂). Sofern die Verbrennungsemissionen in der Bilanz nicht integriert werden würden, würde die Netto-Emission einer Emissionseinsparung in Höhe von 12 Mio. t CO₂ entsprechen.

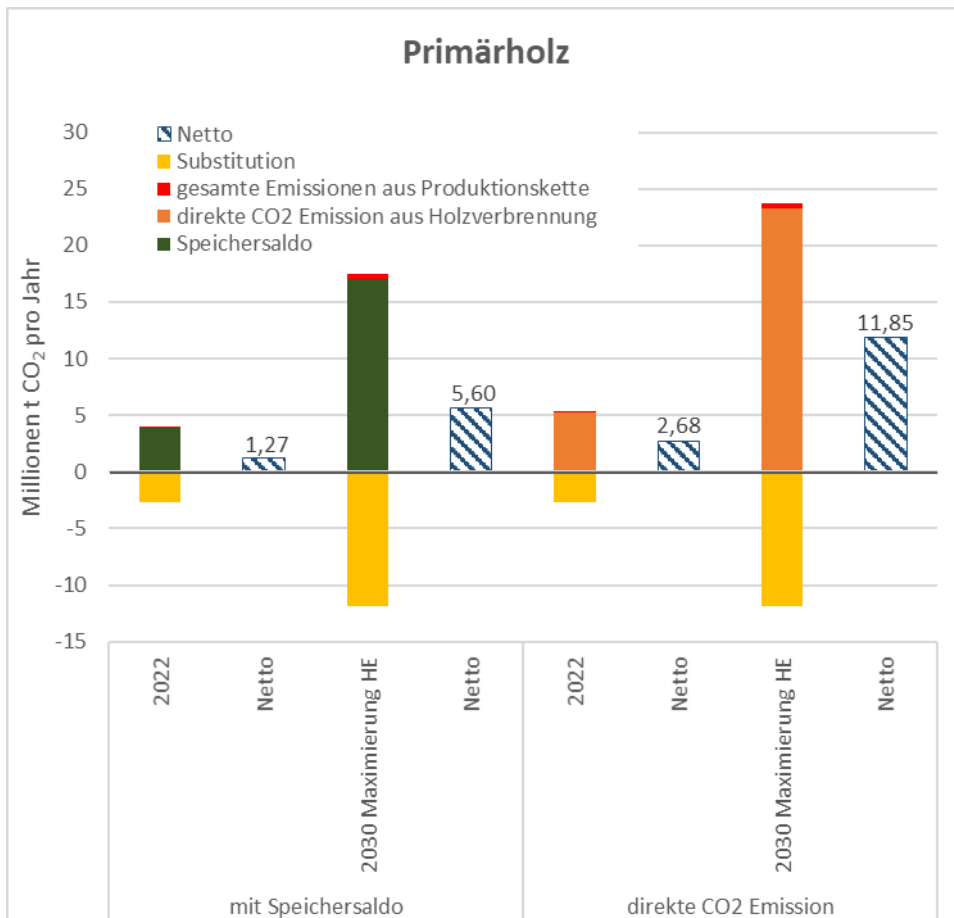


Abbildung 5: Klimabilanz des Primärholzes 2022 und 2030 nach dem Speichersaldo-Ansatz (links) und der Berücksichtigung direkter Emissionen aus der Verbrennung (rechts).

In Abbildung 6 werden die gesamten Ergebnisse der Klimawirkung des Sekundärholzes gegeben. Aufgrund der Tatsache, dass gemäß dem Speichersaldo-Ansatz der Speichersaldo nur auf Holz, welches direkt dem Wald entnommen wird, angerechnet wird, liegt für Sekundärholz der Speichersaldo für alle Stützjahre bei 0.

Das Ergebnis des Jahres 2022 bezieht sich gleichermaßen auf das Szenario Minimierung des Holzeinsatzes, wie auch die Maximierung des Holzeinsatzes. Grund hierfür ist derselbe initiale Holzeinsatz im Jahr 2022 bei beiden Szenarien. Die Netto-Emission des Sekundärholzes liegt mit 3,36 Mio. t CO₂ im positiven Bereich, d.h. im Jahr 2022 werden durch den Einsatz von Sekundärholz in beiden Szenarien Emissionen freigesetzt. Diese berechnen sich aus den direkten Emissionen aus der Holzverbrennung in Höhe von ca. 9 Mio. t CO₂, den Emissionen aus der Produktionskette in Höhe von 0,2 Mio. t CO₂ und der Substitution (5,6 Mio. t CO₂). Ohne die Berücksichtigung der Verbrennungsemissionen würde hier eine Emissionsminderung in Höhe von ca. 5,4 Mio. t CO₂ entstehen.

Im Jahr 2030 würde im Szenario Minimierung des Holzeinsatzes die Netto-Emission bei 1,84 Mio. t CO₂ liegen, im Szenario Maximierung des Holzeinsatzes bei 3,36 Mio. t CO₂. Bei der Maximierung des Holzeinsatzes gründet dieses Netto-Emission größtenteils in den Verbrennungsemissionen in Höhe von 4 Mio. t CO₂ und der Substitution in Höhe von 2,7 Mio. t CO₂. Aufgrund der Tatsache, dass im Szenario Maximierung des Holzeinsatzes kontinuierlich der Sekundärholzeinsatz aus dem Jahr 2022 fortgeführt wird, entspricht die Emissionsbilanz für Sekundärholz im Jahr 2030 derselben Bilanz wie im Jahr 2022.

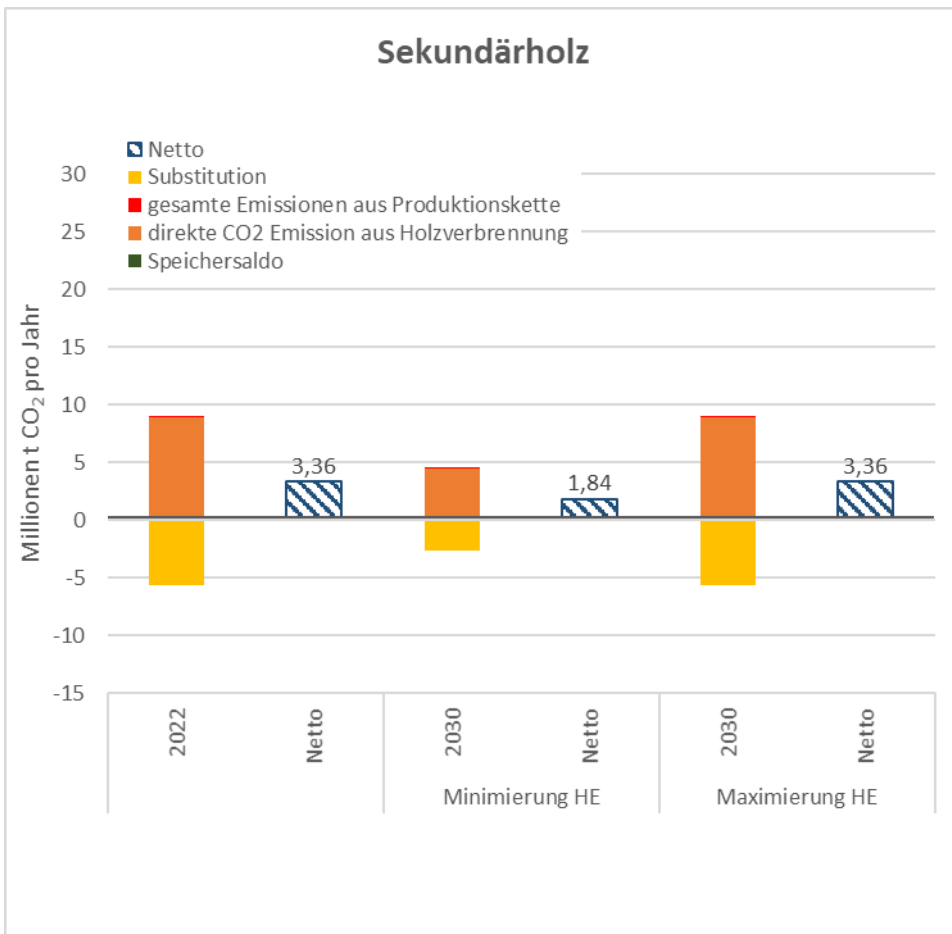


Abbildung 6: Klimabilanz des Sekundärholzes für die Jahre 2022 und 2030 differenziert nach beiden Szenarien des Holzeinsatzes (HE); der Speichersaldo beträgt hier Null, da er hier dem Alt- und Sekundärholz nicht anzurechnen ist.

6 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus Kapitel 5 vor dem Hintergrund der Fragestellungen in 4.1 interpretiert.

Status Quo des Holzeinsatzes im Industriesektor

Den Ergebnissen aus Kapitel 5.1 zufolge variiert der Holzeinsatz im Industriesektor zwischen 24 TWh im Jahr 2020 und 23,3 TWh im Jahr 2021. Dies entspricht einem Anteil von knapp 12 % am Endenergieverbrauch erneuerbarer Energie. Bei Berücksichtigung des Sektors Gewerbe – Handel – Dienstleistungen (GHD), Heizkraftwerke (HKW) und Heizwerke (HW) liegt der Holzeinsatz bei bis zu 51,6 TWh.

Aufgrund der Tatsache, dass der Holzeinsatz im Jahr 2020 in einer ähnlichen Bandbreite lag, ist davon auszugehen, dass die Angabe von 23,3 TWh im Jahr 2021 als richtungssicher betrachtet werden kann. Diese Menge entspricht umgerechnet ca. 7,71 Mio. t. Holz.

Eine detaillierte Differenzierung nach Industriesektor ist diesen Angaben zufolge leider nicht möglich. Nach den Angaben von BCG (2021) kann jedoch festgestellt werden, dass im Jahr 2019 der Einsatz von Biomasse vor allem im Industriesektor Papier, Verarbeitung von Steinen und Erden und Sonstige (d.h. v.a. die Zement- und Kalkindustrie) erfolgt. Allerdings dominierten in diesen Sektoren im Jahr 2019 nach wie vor die fossilen Energieträger.

Mehreren Quellen (u. a. BDI (BCG 2021)) zufolge geht der größte Energieverbrauch vor allem auf Anwendungen im Hoch- und Mitteltemperaturbereich zurück. Dazu zählt beispielsweise die Grundstoffchemie, aber auch der Bereich Roheisen, Stahl und Ferro-Legierungen.

Der Einsatz von Holz für die Bereitstellung von Prozesswärme hat den Vorteil, dass damit ohne größere Änderungen der Anlagentechnik sehr hohe Temperaturbereiche erzielt werden können. Folglich wird Holz u. a. in Industriesektoren der mittleren und hohen Temperaturbereiche eingesetzt.

Grundsätzlich wird für sämtliche Industriesektoren über den Ersatz von fossilen Rohstoffen durch erneuerbare Energie und damit auch durch Holzbiomasse nachgedacht. Bis 2045 sollen alle fossilen Brennstoffe mit erneuerbaren Energieträgern ersetzt werden. Biomasse spielt dabei zwar eine untergeordnete Rolle nach Strom und Grünen Gasen, allerdings soll den Zielen der Industrie zufolge in zahlreichen Industriesektoren (Papier, Verarbeitung von Steinen und Erden, Fahrzeugbau, Grundstoffchemie, Sonstige) unter anderem zukünftig Biomasse eingesetzt werden.

Aus den Ergebnissen geht jedoch hervor, dass für alle erforderlichen Temperaturbereiche theoretisch klimafreundlichere Alternativen zum Holzeinsatz bestehen. So kann für den niedrigen Temperaturbereich sowohl auf Solar- wie auch Geothermie zurückgegriffen werden, während für den Mittel- und Hochtemperaturbereich die Möglichkeiten der Prozesswärmebereitstellung durch Biomethan, Wasserstoff, synthetisch hergestelltes Methan (SNG) und durch Elektrizität gegeben sind.

Die Autor*innen betonen, dass diese Darstellung eine theoretische Darstellung ist und dass zum heutigen Stand die Frage bestehen bleibt, ob

- a) die Industriesektoren der mittleren und hohen Temperaturbereiche zeitnah einen Umstieg zu erneuerbaren Gasen und Elektrizität ermöglichen können
- b) ob dieser zusätzliche Bedarf an erneuerbaren Gasen und Elektrizität gedeckt werden kann und
- c) in welchen Zeiträumen ein Umstieg erfolgen kann.

Im Kontext zusätzlicher Bedarfe konnten die jüngst entwickelten Langfristszenarien bereits aufzeigen, dass auch bei einer Reduktion des Primärholzes und einer Zunahme zusätzlicher erneuerbaren Energieträger die Klimaziele erreicht werden können (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung et al. 2022).

Um auf diese Fragestellungen antworten zu können und somit ein ganzheitliches Bild der Defossilisierung der Industrie geben zu können, sehen die Autor*innen zusätzlichen Forschungsbedarf. Dabei kann beispielsweise auch auf den Studien von Agora (2019); Ariadne (2021) aufgebaut werden, da diese bereits den Grundstein für die Modellierung der Defossilisierung der Industrie gesetzt haben und dabei insbesondere die technologischen Optionen im Fokus haben.

Zukunftsprognosen des Holzeinsatzes

Aus Kapitel 5.2 geht hervor, dass den Zielen der Industrie zufolge mit einem Einsatz von Biomasse im Umfang von 11 % des Endenergieverbrauchs erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2030 und mit 20 % bis 2045 gerechnet werden soll. Dadurch würde laut Industrie das Ziel der Klimaneutralität der Industrie bis 2045 erreicht werden. Grundsätzlich können jedoch die Ziele der Industrie in Frage gestellt werden, da aktuellen Szenarien zufolge die Sektorziele der Industrie nicht erreicht werden – trotz der Erhöhung des Biomasseeinsatzes (Agora 2019).

Umgerechnet würde dies bedeuten, dass bis 2030 ein Holzeinsatz in Höhe von 48,8 TWh und bis 2045 ein Holzeinsatz von 73,2 TWh erreicht werden soll. Bei einem kontinuierlichen Sekundärholzanteil von 68 % (4,8 Mio. t) entspricht dies einem gesamten Holzeinsatz von 17,5 Mio. t im Jahr 2030 und 26,9 Mio. t in 2045.

Diese Angaben wurden als Zukunftsprognose des Holzeinsatzes im Rahmen der Studie angenommen. Den Autor*innen ist bewusst, dass diese Angabe einem von der Industrie anvisierten Ziel entspricht und somit keine Garantie gegeben werden kann, ob bis zum Jahr 2030 und 2045 diese Zielvorstellungen tatsächlich erreicht werden. Auch wenn den Angaben der Industrie zufolge diese Zielvorgaben sich auf die gesamte (feste) Biomasse beziehen, nehmen die Autor*innen diese Zielvorgabe für den Holzeinsatz an. Dies ist begründet in der Tatsache, dass Holz den primären Anteil an der Biomasse der energetischen Nutzung für Prozessenergie ausmacht.

Es bestehen Unsicherheiten bezüglich der Frage, ob diese Ziele der Industrie technisch, sowie zeitlich realisierbar sind. In Kapitel 5.2 wurde ebenfalls erläutert, dass von Seiten der Biomasse die Potenziale als sehr limitiert zu betrachten sind und dass zukünftig davon ausgegangen werden kann, dass die Nutzungskonflikte um die sehr begrenzte Ressource Biomasse zunehmen werden.

Szenarien des Holzeinsatzes

Im Rahmen der Studie wurden zwei Szenarien entwickelt, ein Szenario Minimierung des Holzeinsatzes und ein Szenario Maximierung des Holzeinsatzes. Beide Szenarien gehen von einem initialen **Holzeinsatz** von 23,3 TWh im Jahr aus. Der Unterschied der beiden Szenarien liegt darin, dass beim Szenario Minimierung der gesamte Holzeinsatz bis 2030 stark reduziert wird. Ab diesem Zeitpunkt wird nur noch Sekundärholz, jedoch kein Primärholz

mehr eingesetzt. Die Sekundärholzmenge hat sich zwischen 2022 und 2030 jedoch auch auf die Hälfte reduziert.

Beim Szenario Maximierung wird dagegen der Holzeinsatz so verstärkt, dass die Zielvorgaben von 48,8 TWh und 73,2 TWh in den Jahren 2030 und 2045 erreicht werden. Insgesamt betrachtet nimmt der Holzeinsatz im Szenario Maximierung somit stark zu auf bis zu 81 TWh im Jahr 2050. In diesem Szenario wird jährlich die maximal mögliche Menge an Sekundärholz eingesetzt, während der Anteil des Primärholzes kontinuierlich ansteigt.

Für das Jahr 2030 braucht die Industrie gemäß dem Aspekt der Maximierung des Holzeinsatzes insgesamt 17,5 Mio. t Holz im Vergleich zum Szenario Minimierung des Holzeinsatzes mit 2,4 Mio. t. Während im Jahr 2045 im Szenario Minimierung des Holzeinsatzes nach wie vor 2,4 Mio. t Sekundärholz eingesetzt werden, wird dem Szenario Maximierung zufolge im Jahr 26,9 Mio. t Holz eingesetzt. Lediglich 4,84 Mio. t werden aus Sekundärholz gespeist, die restlichen 22,1 Mio. t werden mit direktem Primärholz gedeckt.

Es wurde an dieser Stelle bewusst darauf verzichtet im Szenario Minimierung des Holzeinsatzes den Sekundärholzanteil komplett zu reduzieren, da eine stoffliche Verwertung des gesamten Sekundärholzbestandteils, welches teilweise schadstoffkontaminiert ist, aus ökologischen Gründen nicht sinnvoll ist. Dennoch wird in diesem Szenario auch eine starke Reduktion des Sekundärholzeinsatzes auf 34 % angesetzt, um bestehende Potenziale zur stofflichen Nutzung einzuräumen.

Eine Sonderrolle nimmt die Branche der Kalkbrennerei ein. Aktuell bezieht die Kalkbrennerei ihre Energie für den Bereitstellung von Branntkalk vor allem aus Erdgas (UBA 2020). Im Zuge der erforderlichen Defossilisierung spielt die Ressource Holz für die Bereitstellung von Prozessgas eine essenzielle Rolle. Dies bedeutet, dass diese Branche künftig einen Bedarf an Holzenergie hat. Agora (2019) zufolge liegt der Energiebedarf der Industrie Kalk und Gips bei 29 PJ (8 TWh). Angesichts der Tatsache, dass für diese Branche Sekundärholz aufgrund der Qualitätsanforderungen für eine Bereitstellung von 8 TWh nicht infrage kommt, kann der Energiebedarf theoretisch nur mit Primärholz gedeckt werden. Umgerechnet würden diese 8 TWh ca. 2,5 Mio. t Primärholz entsprechen. Im Szenario Maximierung des Holzeinsatzes kann dieser Bedarf jährlich gedeckt werden, da jährlich Primärholz in ausreichendem Umfang zur Verfügung steht. Im Szenario Minimierung des Holzeinsatzes kann dieser Holzbedarf lediglich in den ersten Jahren (bis 2024) gedeckt werden, da der Primärholzanteil sich kontinuierlich von 2,8 Mio. t in 2022 auf 0 Mio. t in 2030 reduziert. Allerdings ist auch für diese Branche ein Einsatz von Holzbiomasse nicht absehbar alternativlos. Ab 2024 kann die Kalkbrennerei auf weitere hochwertige gasförmige erneuerbare Energieträger, vor allem Biomethan auf Basis von Alt- und Reststoffen zurückgreifen. Fehrenbach et al. (2019) ist zu entnehmen, dass in Abhängigkeit der Szenarien ein jährliches Biomethanpotenzial auf Basis von Alt- und Reststoffen in Höhe von 14,7-36,1 PJ, d.h. 4 – 10 TWh besteht. Mit 10 TWh kann bereits der komplette Energiebedarf der Kalkindustrie gedeckt werden. Unter der Annahme von 4 TWh kann der Bedarf der Kalkindustrie zur Hälfte gedeckt werden. Der verbleibende Energiebedarf kann mit weiteren erneuerbaren Energien, d.h. Wasserstoff und Strom gedeckt werden. Dem Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie zufolge besteht das Ziel, fossile Brennstoffe durch erneuerbare Energie (elektrisch, Wasserstoff, Biomasse) zu ersetzen (BVK 2020, 2022). Dies zeigt, dass die Verwendung von Wasserstoff und Strom durchaus eine Alternative zum Holzeinsatz darstellt. Folglich steht der Defossilisierung der Kalkindustrie auch unter Reduktion des Primärholzes, wie es im Szenario Minimierung des Holzeinsatzes der Fall ist, nichts im Wege.

Grundsätzlich entspricht die Ausgestaltung der Szenarien einer Vereinfachung, da für die Verringerung bzw. Zunahme des Holzeinsatzes in den Szenarien lineare Funktionen zwischen entsprechenden Stützjahren angenommen werden. Es steht außer Zweifel, dass der zukünftige Holzeinsatz nicht in dieser Kontinuität erfolgen wird. Aufgrund fehlender Hin-

weise über die zukünftige Entwicklung des Holzeinsatzes in der Industrie haben die Autor*innen diesen Ansatz gewählt. Eine richtungssichere Orientierung ist dennoch mit diesem partiell linearen Charakter gegeben.

Die Treibhausgasemissionen im Industriesektor liegen nach den nationalen Inventarermittlungen des Umweltbundesamts in den letzten Jahren recht konstant um die 180 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr (UBA 2022). Sie machen damit in 2020 etwa 7,9 % der Gesamtemissionen in Deutschland aus.

Die **Klimabilanz** durch den Einsatz von Holz für Industriewärme gestaltet sich je nach Szenario (Minimierung/Maximierung), dem Zieljahr (2022/2030/2045), den Holzsortimenten (Primärholz/Alt- und Industrierestholz) sowie der verwendeten Bilanzierungsart (mit/ohne Speichersaldo/direkte CO₂-Emissionen) wie folgt:

- Für das Jahr 2022 gleichen sich die Klimabilanzen beider Szenarien, da sie den gleichen initialen Holzeinsatz aufweisen.
Für Primärholz beträgt die Netto-Emission 1,27 Mio. t CO₂ mit Berücksichtigung des Speichersaldos und 2,68 Mio. t CO₂ mit Berücksichtigung der Verbrennungsemissionen.
Für Sekundärholz liegen die Netto-Emissionen bei 3,86 Mio. t CO₂ mit Berücksichtigung der Verbrennungsemissionen.¹
- Im Jahr 2030 wird im Szenario Minimierung des Holzeinsatzes kein Primärholz mehr eingesetzt. Für das Szenario Maximierung des Holzeinsatzes liegen die Netto-Emissionen in diesem Jahr zwischen 5,6 (inkl. Speichersaldo) und 11,8 (inkl. Verbrennungsemission) Mio. t CO₂. Für Sekundärholz liegen die Netto-Emissionen bei 1,8 Mio. t CO₂ im Szenario Minimierung des Holzeinsatzes und bei 3,3 Mio. t CO₂ im Szenario Maximierung des Holzeinsatzes.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Netto-Emissionen des Szenarios Maximierung des Holzeinsatzes die des Szenarios Minimierung deutlich übersteigen. Dem hohen Substitutionsanteil, basierend auf dem Ersatz von Erdgas, stehen bei der Bilanzierung inklusive Speichersaldo und bei der Bilanzierung inklusive Verbrennungsemissionen die direkten CO₂-Emissionen aus der Holzverbrennung gegenüber. Ohne Berücksichtigung des Speichersaldo und der direkten Emissionen aus der Holzverbrennung lägen die Netto-Emissionen im negativen Bereich, was einer Emissionseinsparung entspräche.

Diese liegt für 2022 bei -8,5 Mio. t CO₂-Äq. und in 2030 bis zu -18 Mio. t CO₂-Äq. bei Maximierung und damit bei 4 % bis 10 % der aktuellen Emissionen des Industriesektors.

Würden anstelle von Erdgas emissionsintensivere Brennstoffe ersetzt werden (z.B. Kohle), würde damit die Emissionslast durch den Speichersaldo oder die direkten Emissionen trotzdem nicht ausgeglichen, sprich auch dann würden die Netto-Emissionen im positiven Bereich liegen.

Faktisch liegen die Klimabilanzen unter Verwendung der beiden Bilanzierungsarten somit im Bereich der Emissionsfreisetzung.

Im Gegensatz zum Szenario Maximierung des Holzeinsatzes, welches sich stark an den Zielvorgaben der Industrie anlehnt, können mit einer Minimierung des Holzeinsatzes die Industrieprozesse Deutschlands auf emissionsarme Alternativen umgestellt werden. Unter dieser Voraussetzung besteht keine Beeinträchtigung der Wälder. Auch die Beeinträchtigung des Klimas fällt deutlich geringer aus als bei einem zukünftigen Holzeinsatz in der Industrie. Technische Herausforderungen bestehen größtenteils in der Bereitstellung von

¹ Der Speichersaldo trifft nicht für Abfallholz zu, da er im Anwendungsfall den primären Holzprodukten, aus denen das Abfallholz hervorgeht, zuzurechnen wäre.

Strom und Grünen Gasen, welche die Holzbiomasse, die aktuell eingesetzt wird, ersetzen. Folglich kann eine Defossilisierung der Industrie nur mit dem sofortigen Ausbau erneuerbarer Energien einhergehen. Zwar sind mit diesem Ausbau zusätzliche Flächenbedarfe für erneuerbare Energien (z.B: Wind- und Freiflächen-PV-Anlagen) erforderlich, jedoch reduziert sich der gesamte Flächenbedarf, da erneuerbare Energieträger wie Wind oder PV eine deutlich geringere Flächenbelegung aufweisen als feste Biobrennstoffe. Beispielsweise liegt für Freiflächen-PV-Anlagen die Flächenbelegung bei $22,5 \text{ m}^2$ 1a/MWh Strom, während sie für feste Biobrennstoffe 443 m^2 1a/MWh Strom beträgt (Fehrenbach et al. 2021).

Auch im Kontext Biokraftstoffe konnte kürzlich aufgezeigt werden, dass Biokraftstoffe aufgrund der hohen Flächenbelegung für die Anbaubiomasse eine höhere Flächenbelegung aufweisen als die Verwendung von Elektromobilität. Bei gleicher Fahrleistung werden bei Verwendung von Elektromobilität auf Basis von Strom aus Freiflächen-PV-Anlagen lediglich 3 % der gesamten Fläche der Anbaubiomasse für Biokraftstoffe belegt (Fehrenbach & Bürck 2022).

7 Fazit

Die vorliegende Studie hat aufgezeigt, dass eine Defossilisierung der Industrieprozesswärme ohne Beeinträchtigung der Wälder gelingen kann.

Während Industriezielen zufolge zukünftig verstärkt Biomasse, darunter primär Holz, für die Bereitstellung von Prozessenergie eingesetzt werden soll, wurde im Rahmen eines Szenarios „Minimierung des Holzeinsatzes“ dargestellt, wie eine Defossilisierung der Industrie erfolgen kann. Ausgehend von dem aktuellen Holzeinsatz in der Industrie im Umfang von 23, TWh (7,71 Mio. t) in 2021, welcher sich zu 32 % aus Primärholz und zu 68 % aus Sekundärholz zusammensetzt, kann der Holzeinsatz bis 2030 auf insgesamt 2,4 Mio. t reduziert werden. Diese Minimierung des Holzeinsatzes sieht vor, dass bis 2030 Primärholz komplett aus der energetischen Verwendung in der Industrie entnommen wird. Demzufolge reduziert sich die Beeinträchtigung der Wälder bis zum Jahr 2030. Ab diesem Zeitpunkt wird lediglich Sekundärholz im reduzierten Umfang eingesetzt, wodurch keine Beeinträchtigung der Wälder mehr erfolgt. Dabei wurden alle Industriesektoren, die aktuell oder zukünftig einen Holzeinsatz für die Prozesswärmebereitstellung verzeichnen, berücksichtigt. Es bestehen Alternativen für alle Temperaturbereiche der Prozesswärmebereitstellung, mit denen ein Ersatz der Holzenergie möglich ist. Zu den Alternativen zählen Solar- und Geothermie für die niedrigen Temperaturbereiche und Biomethan auf Basis von Abfall- und Reststoffe, Grüne Gase und Elektrizität für Hochtemperaturanwendungen. Zusätzlich dazu hat die Studie aufgezeigt, dass durch einen verringerten Holzeinsatz die Klimawirkung stark reduziert wird, im Gegensatz zu einer Zunahme des Holzeinsatzes, wie es von Seiten der Industrie anvisiert wird. Folglich kann eine Transformation der Industrie gelingen, bei der zum einen Wälder unversehrt bleiben und zum anderen die Klimabelastung weitestgehend reduziert wird.

8 Literaturverzeichnis

- Agora (2019): Klimaneutrale Industrie Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrale-industrie-hauptstudie/> (09.11.2022).
- Ariadne (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich | Ariadne. <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitat-2045-szenarienreport/> (09.11.2022).
- BCG (2021): KLIMAPFADE 2.0 Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-2-0-ein-wirtschaftsprogramm-fuer-klima-und-zukunft/> (07.10.2022).
- BDH (2022): Holz – die große erneuerbare Energie Effiziente Holzwärme für den Energiemix der Zukunft. https://www.fachverband-holzenergie.de/download_file/force/868/201 (07.10.2022).
- BMWI (2021): Erneuerbare Energien in Zahlen Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2020. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=12 (05.04.2022).
- Brosowski, A.; Adler, P.; Erdmann, G.; Stinner, W.; Thrän, D.; Mantau, U.; Blanke, C.; Mahro, B.; Hering, T.; Reinholdt, G. (2015): Biomassepotenziale von Rest und Abfallstoffen: Status quo in Deutschland. <https://mediathek.fnr.de/band-36-biomassepotenziale-von-rest-und-abfallstoffen.html> (09.06.2020).
- BVK (2020): Roadmap Kalkindustrie 2050. Über die klimaneutrale Produktion zur klimapositiven Industrie. <https://www.kalk.de/klimaschutz/co2-roadmap> (10.11.2022).
- BVK (2022): Technologiepfade - BV Kalk. <https://www.kalk.de/klimaschutz/technologiepfade>. (10.11.2022).
- C.A.R.M.E.N. e.V. (2020a): Prozesswärmeförderung: Holzenergie als Chance für die Industrie.
- C.A.R.M.E.N. e.V. (2020b): Prozesswärme mit Holzenergie bereitstellen.
- C.A.R.M.E.N. e.V. (2021a): C.A.R.M.E.N.-WebKonferenz zu „Prozesswärme mit Holzenergie“ am 18. Februar 2021.
- C.A.R.M.E.N. e.V. (2021b): C.A.R.M.E.N.-WebKonferenz “Prozesswärme aus Erneuerbaren Energien für Industrie und Gewerbe”.
- CO₂-Speichersaldo (2022): CO₂-Speichersaldo – CO₂-Emissionen der Holznutzung sichtbar machen. <https://co2-speichersaldo.de>. (10.10.2022).
- Debate Energy (2022): „Klimapositive Industrien rücken in greifbare Nähe“. In: *website*. <https://debate.energy/i/klimapositive-industrien-ruecken-in-greifbare-naehe/>. (10.10.2022).
- dena (2021): Solare Prozesswärme – Einsatzmöglichkeiten und Potenziale. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/FS_Solare_Prozesswaerme_-_Einsatzmoeglichkeiten_und_Potenziale.pdf. (10.10.2022).
- enviva (2022a): Biomass: Unlocking a Future Beyond Fossil Fuel. <https://www.envivabio-mass.com/wp-content/uploads/Biomass-Unlocking-a-Future-Beyond-Fossil-Fuel.pdf>. (10.10.2022).

- enviva (2022b): Enviva Releases White Paper on the Evolution of Modern Bioenergy in Heavy Industry Verticals. In: *Enviva Biomass*. <https://www.envivabio-mass.com/de/enviva-releases-white-paper-on-the-evolution-of-modern-bioenergy-in-heavy-industry-verticals/>. (10.10.2022).
- EUWID (2022a): LEAG-Marktabfrage für 1-2 Mio t/Jahr Energie- und Restholz. <https://www.euwid-holz.de/news/rundholz-schnittholz/leag-marktabfrage-fuer-1-2-mio-t-jahr-energie-und-restholz-130722/>. (10.10.2022).
- EUWID (2022b): Enviva vor Vertragsabschlüssen mit deutschen Pelletabnehmern. <https://www.euwid-holz.de/news/holzprodukte/enviva-vor-vertragsabschluesen-mit-deutschen-pelletabnehmern-050522/>. (10.10.2022).
- Ewald, J.; Rothe, A.; Hansbauer, M. M. (2017): Energiewende und Waldbiodiversität: Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben „Energiewende und Waldbiodiversität“ (FKZ 3512 83 0700). BfN-Skripten Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- Fehrenbach, H.; Bischoff, M.; Böttcher, H.; Reise, J.; Hennenberg, K. J. (2022): The missing limb: Including impacts of biomass extraction on forest carbon stocks in GHG balances of wood use. <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/3/365/htm>.
- Fehrenbach, H.; Bürck, S. (2022): CO₂-Opportunitätskosten von Biokraftstoffen in Deutschland. S. 41. <https://www.ifeu.de/service/nachrichtenarchiv/neue-studie-des-ifeu-im-auftrag-der-duh-biokraftstoffe-aus-anbaubiomasse-noch-viel-schlechter-als-ihr-bereits-ramponierter-ruf/> (10.05.2022).
- Fehrenbach, H.; Busch, M.; Bürck, S.; Bischoff, M.; Theis, S.; Reinhardt, J.; Blömer, J.; Grahl, B. (2021): Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen - Teil II Fallbeispiele. Texte Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Köppen, S.; Wern, B.; Pertagnol, J.; Baur, F.; Hünecke, K.; Dehoust, G.; Bulach, W.; Wiegmann, K. (2019): BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor). <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bioest-verfuegbarkeit-nutzungsoptionen-biogener> (09.06.2020).
- FNR (2014): Leitfaden Biogasaufbereitung und -einspeisung.
- FNR (2021): FNR - Heizen mit Biomasse: Fakten zum Thema Holzenergie. <https://heizen.fnr.de/heizen-mit-holz/fakten-zum-thema-holzenergie>. (10.10.2022).
- Forum Nachhaltige Holzenergie (2022): Einsatz von nachhaltiger Holzenergie zur Dekarbonisierung der Industrie. <https://secureserver-cdn.net/160.153.138.53/pva.4f4.myftpupload.com/wp-content/uploads/2022/06/FNH-Vortrag-Dekarbonisierung.pdf>. (10.10.2022).
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung; Consentec GmbH; ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH; TU Berlin – Lehrstuhl für Energie- und Ressourcenmanagement (2022): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland (Langfristszenarien 3). im Auftrag des BMWK. <https://www.langfristszenarien.de> (17.11.2022).
- Frisch, S.; Pehnt, D. M.; Otter, P.; Nast, M. (2010): Prozesswärme im Marktanreizprogramm. ifeu, DLR, ZSW. S. 33. <https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Prozesswaerme-im-MAP.pdf>.
- FVH (2017): Holzenergie vereint Wirtschaftskraft, Klimaschutz und Stärkung des Ländlichen Raums. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2a-hUKEwj7uLzwxtX6AhVmSPEDHWPCAooQFnoECAk-QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.fachverband-holzenergie.de%2Fdownload_file%2Fforce%2F556%2F201&usq=AOvVaw3MtQ863ZPaxLnAC4et48rG (10.10.2022).
- FVH (2020): PROZESSWÄRME AUS HOLZENERGIE Klimaschutz in der Industrie.
- FVH (2022): Wärme - Fachverband Holzenergie. <https://www.fachverband-holzenergie.de/waerme>. (10.10.2022).

- Hennenberg, K.; Böttcher, H.; Braungardt, S.; Köhler, B.; Reise, J.; Köppen, S.; Bischoff, M.; Fehrenbach, H.; Pehnt, M.; Werle, M.; Mantau, U. (2022): Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie - Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE. S. 236. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_12-2022_aktuelle_nutzung_und_foerderung_der_holzenergie.pdf.
- IN4climate.NRW (2022): Prozesswärme für eine klimaneutrale Industrie - Impulspapier der Initiative IN4climate.NRW.
- IPCC (2006): CHAPTER 1. INTRODUCTION TO THE 2006 GUIDELINES. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_1_Ch1_Introduction.pdf (09.06.2020).
- Maaß, C.; Sandrock, D. M.; Fuß, G. (2018): Strategische Optionen zur Dekarbonisierung und effizienteren Nutzung der Prozesswärme und -kälte. S. 27. https://www.hamburg-institut.com/wp-content/uploads/2021/07/BEE-Dekarbonisierung_Prozesswaerme.pdf (10.10.2022).
- Mantau, U.; Döring, P.; Weimar, H.; Glasenapp, S. (2021): Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklung des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1990 bis 2020. Hamburg.
- Neumann, H. (2021): Holz als Rohstoff für Prozesswärme in der Industrie gefragt. In: *top agrar*. <https://www.topagrar.com/energie/news/holz-als-rohstoff-fuer-prozesswaerme-in-der-industrie-gefragt-12491064.html>. (10.10.2022).
- UBA (2020): ProBas - Prozessdetails: Steine-ErdenCaO-GGR-Ofen-DE-2020. <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessdetails.php?id=%7B86C6457F-ABF7-4F8C-803E-794F6EBCB973%7D>. (10.11.2022).
- UBA (2021): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2021: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2019. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-19_cc_43-2021_nir_2021_1.pdf (11.11.2021).
- UBA (2022): Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland. In: *2022_03_15_trendtabellen_thg_nach_sektoren_v1.0.xlsx*. https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.umweltbundesamt.de%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fmedien%2F361%2Fdokumente%2F2022_03_15_trendtabellen_thg_nach_sektoren_v1.0.xlsx&wdOrigin=BROWSELIN. (10.11.2022).
- Wern, B.; Kay, S.; Vogler, C.; Baur, F.; Gärtner, S.; Hienz, G.; Keller, H.; Müller-Lindenlauf, M.; Stockmann, F.; Wenzelidis, Ma.; Hagemann, H.; Schulte (2014): Regionale Konzepte zum Ausbau der Bioenergieerzeugung aus Holz – nachhaltige und energieeffiziente Strategieentwicklung unter besonderer Berücksichtigung der Holzkaskaden. S. 311.