

Gerfried Jungmeier

Treibhausgas-Bilanz im Lebenszyklus der stofflichen und energetischen Holznutzung

erschienen 06/2014 in der Broschüre „Nachhaltiger Klimaschutz“ des ÖBMV



Die Nutzung von Holz als erneuerbarer Rohstoff und Energieträger kann wesentlich zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen beitragen, wenn das Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft stammt und fossile Rohstoffe ersetzt werden. Grundsätzlich kann das Holz als Rohstoff sowohl stofflich, als auch energetisch genutzt werden. Die einzelnen Sortimente und Produkte einer Holzernte, wie z. B. Äste, Rinde und Stammholz, können je nach Qualität für unterschiedliche Zwecke eingesetzt werden. Die wesentlichen stofflichen Holznutzungs-schienen sind:

- Papier, Zellstoff und Pappe (Karton)
- Holzprodukte, wie Bauholz oder Möbel
- Span- und Faserplatten
- Chemikalien, z. B. Essigsäure, Phenole

Die wesentlichen energetischen Holznutzungen sind:

- Wärme/Kälte
- Strom
- zukünftig Biotreibstoffe (Fischer-Tropsch)

Die verstärkte Nutzung und der Einsatz erneuerbarer Energieträger sind ein wichtiger Teil der EU-Strategie zur Reduzierung ihrer Treibhausgas (THG)-Emissionen und zur Erfüllung jener Ziele, die im EU Energie- und Klimapaket festgelegt sind. In Österreich kommt dabei der forstlichen Biomasse eine besonders wichtige Rolle zu.

Kohlenstoffkreislauf der Holznutzung

Über die autotrophe Kohlendioxid-Assimilation forstlicher Baumarten wird

Kohlendioxid aus der Luft aufgenommen und in Form von Holz als Kohlenstoffverbindung gespeichert. Bei dessen energetischer Nutzung wird der Kohlenstoff durch den Verbrennungsprozess jedoch wieder an die Atmosphäre abgegeben. Bei der stofflichen Nutzung wird der Kohlenstoff zum Teil in den Holzprodukten während deren Nutzungsdauer im Papier, in Spanplatten oder Bauholz länger gespeichert. Am Ende der Nutzungsdauer bzw. nach allfälligem mehrmaligem stofflichen Recycling werden diese Holzprodukte in der Regel einer energetischen Verwertung zugeführt, wobei der gespeicherte Kohlenstoff wiederum als Kohlendioxid in die Atmosphäre freigesetzt wird. Insgesamt entspricht die Summe des durch Pflanzenwachstum aus der Atmosphäre gebundenen Kohlendioxids jener Menge, die bei der stofflichen und energetischen Nutzung freigesetzt wird. In 1.000 kg trockenem Holz sind etwa 500 kg Kohlenstoff gespeichert, die insgesamt beim Wachstum etwa 1.800 kg CO₂ aus der Atmosphäre aufgenommen haben.

Unter der Voraussetzung einer nachhaltigen Waldwirtschaft (wie im Österreichischen Forstgesetz verankert) kann die Holznutzung daher auch als „CO₂-neutral“ bezeichnet werden. Die zeitliche Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre ändert sich jedoch über die gesamte Dauer der Holznutzung, da zunächst Kohlendioxid während des Wachstums aufgenommen und in den Bäumen gespeichert wird (bis zu 100 Jahren). Je nach Art der stofflichen und energetischen Nutzung wird ein Teil dieses Kohlenstoff-

Der Kohlenstoff-Kreislauf

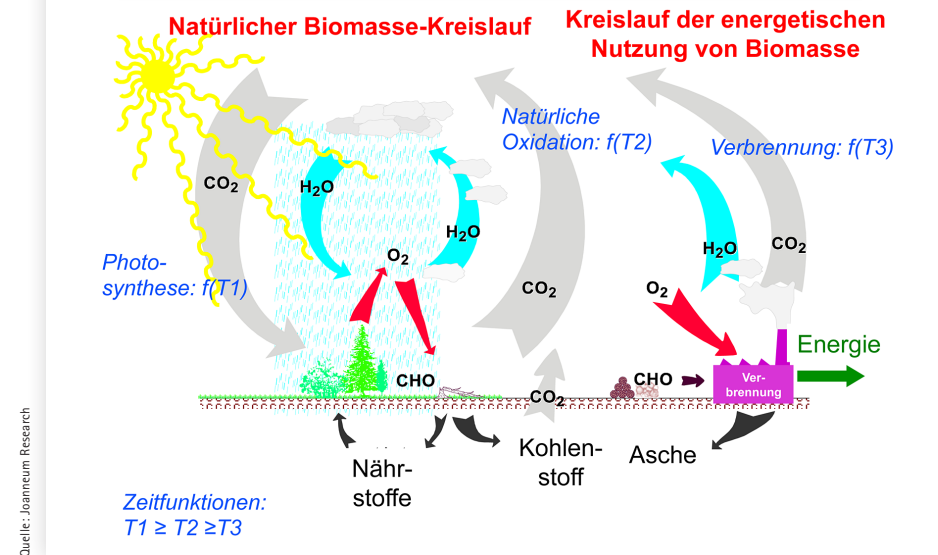


Abb. 1: Kohlenstoffkreislauf in der Natur und bei der energetischen Nutzung

fes gleich durch Verbrennung freigesetzt, während der andere Teil bei der stofflichen Nutzung in den Produkten während deren Nutzungsdauer gespeichert bleibt und erst bei der energetischen Verwertung der Produkte wieder an die Atmosphäre abgegeben wird. In den internationalen Richtlinien des IPCC zur Bilanzierung des Kohlenstoffes aus der Holznutzung im Rahmen der Erstellung der Klimabilanzen werden diese Effekte berücksichtigt, wobei für den Energiesektor die CO₂-Emissionen aus der energetischen Holznutzung mit „Null“ bzw. „CO₂-neutral“ bilanziert werden. Die Änderungen des Kohlenstoffspeichers vor allem in der Forstwirtschaft werden im Bereich „Agriculture, forestry and other land use“ (AFOLU) erfasst.

Die THG-Bilanz der Bioenergienutzung ist überwiegend durch die im C-Kreislauf stattfindenden Wachstums-, Speicher- und Zerfallsprozesse bestimmt. Im Fall der Nut-

zung forstlicher Rohstoffe haben diese Prozesse – im Vergleich zu landwirtschaftlichen Rohstoffen mit etwa einem Jahr ohne Nutzungsänderungen – lange Zeitkonstanten bis über 100 Jahre; wird z. B. Schlagrücklass energetisch verwertet, ist davon auszugehen, dass diese Reststoffe andernfalls im Wald verbleiben und dort langsam zu CO₂ abgebaut werden.

Holzfluss

In Abb. 2 sind die Holzströme in Österreich 2011 dargestellt. Insgesamt werden etwa 42,3 Mio. fm zur Nutzung aufgebracht (9,5 Mio. fm Import, 24,9 Mio. fm Holznutzung Wald und 7,9 Mio. fm sonstiges Holzaufkommen), wovon 24,0 Mio. fm energetisch und der Rest stofflich genutzt werden, z. B. 4,6 Mio. fm in Papier- und Zellstoffprodukten, 3,4 Mio. fm in Holzplatten und 5,7 Mio. fm als Schnittholz für den Export. In Abb. 3 wird die energetische Holznutzung

Quelle: klimaaktiv energieholz, Österreichische Energieagentur, FHP

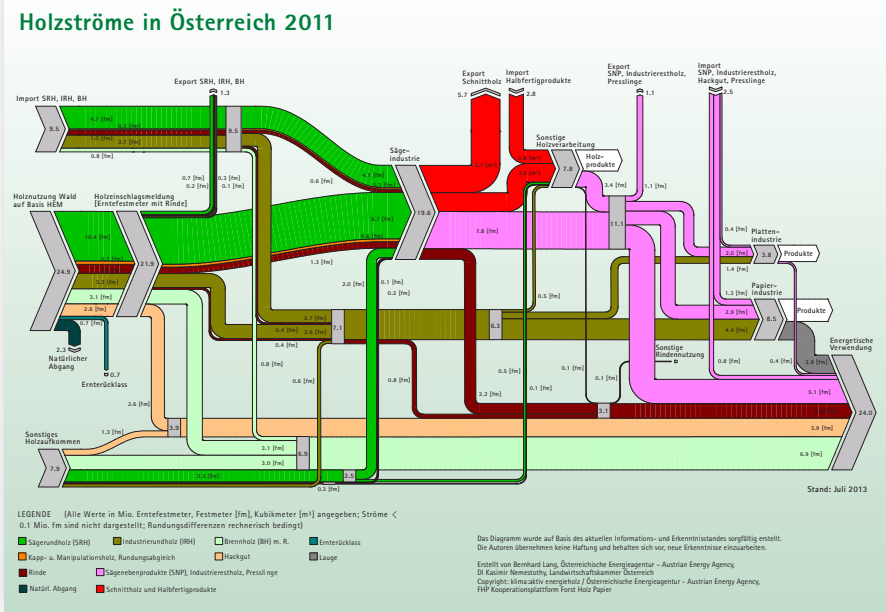


Abb. 2: Holzströme in Österreich 2011

in Österreich 2011 detaillierter dargestellt. Von den 24,0 Mio. fm energetisch genutztem Holz werden etwa 66% zur Wärmeerzeugung (29% Brennholz, 10% Pellets und Briketts, 27% Hackgut) und etwa 34% zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt. Weiters können auch Chemikalien und zukünftig Treibstoffe aus Holz erzeugt werden.

Lebenszyklusanalyse der Holznutzung (LCA)

International besteht Einigkeit darüber, dass die Umweltwirkung eines Produktes oder einer Dienstleistung nur auf Basis einer Lebenszyklusanalyse bewertet werden kann. Die Lebenszyklusanalyse – auch Ökobilanz genannt – ist eine Methode zur Abschätzung der möglichen Umweltauswirkungen eines Produktes, einer Dienstleistung oder eines Unternehmens. Es werden die Umweltaspekte im Verlaufe des Lebensweges eines Produktes von der

Rohstoffgewinnung über Herstellung, Vertrieb, Anwendung, Abfallbehandlung bis zur endgültigen Entsorgung – „von der Wiege bis zur Bahre“ – untersucht (Umweltmanagement Ökobilanz EN ISO 14040: 2006). In der Lebenszyklusanalyse werden somit alle Treibhausgas-Emissionen des Energie- und Materialeinsatzes ermittelt, die mit der Holznutzung verbunden sind. Für die Holznutzung bedeutet dies, dass die folgenden wesentlichen Prozesse inklusive Hilfsenergie und Hilfsstoffe berücksichtigt werden müssen (s. Abb. 4):

- Forstwirtschaft
- Transporte
- Sägeindustrie
- Produktion von Zellstoff, Papier und Holzprodukten
- Energieanlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung
- Stoffliches Recycling
- Verwertung von Reststoffen sowie
- Errichtung und Entsorgung der jeweiligen Anlagen.

Quelle: klimaaktiv energieholz, Österreichische Energieagentur, FHP

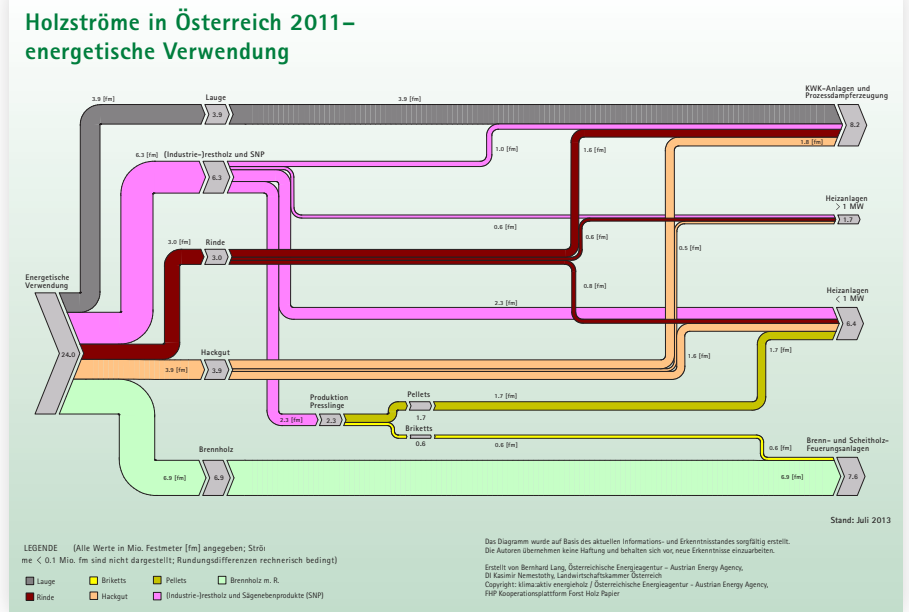


Abb. 3: Holzströme in Österreich 2011 für die energetische Verwendung

Dies bedeutet, dass die THG-Bilanz der stofflichen und energetischen Holznutzung auf Basis einer Lebenszyklusanalyse gemacht werden muss, in der neben der THG-Bilanz der Forstwirtschaft

- bei der energetischen Holznutzung die Errichtung, der Betrieb inklusive Bereitstellung des Biomassebrennstoffes und Entsorgung und
- bei der stofflichen Holznutzung die Erzeugung der Produkte, deren Nutzung sowie Verwertung am Ende der Nutzungsdauer

berücksichtigt werden müssen (s. Abb. 5). Da in fast allen Fällen der Holznutzung der Einsatz von Hilfsenergie durch Treibstoffe, Strom oder Hilfsmaterialien, wie z. B. Schmier- oder Bindemittel, aus fossilen Rohstoffen notwendig ist, ist jede Art der Holznutzung mit THG-Emissionen verbunden. Aufgrund der zeitlichen Dynamik der CO₂-Aufnahme durch die Forstwirtschaft, der CO₂-Emission durch die

Holz-Verbrennung sowie die C-Speicherung im Wald (Bäume, Boden) und in Holzprodukten (z. B. Papier, Spanplatten, Biochemikalien) müssen für die Lebenszyklusanalyse entsprechende Kohlenstoff-Modelle zur Bilanzierung herangezogen werden. Da die energetische und stoffliche Holznutzung immer eng miteinander verbunden sind, ist bei der Festlegung der Systemgrenzen für die THG-Bilanzierung der rein stofflichen bzw. energetischen Holznutzung in den meisten Fällen eine Allokation notwendig, z. B. nach Masse oder Energie. Diese Vereinfachung durch Allokation muss bei der Ergebnisinterpretation und Verallgemeinerung der THG-Bilanzierung berücksichtigt werden.

Drei Treibhausgase

In der Treibhausgas-Bilanz der Holznutzung sind alle drei relevanten Treibhausgase

- Kohlendioxid (CO₂)
- Methan (CH₄) und
- Lachgas (N₂O)



mit ihrem Beitrag zum Treibhauseffekt (in Kohlendioxid-Äquivalent, CO₂-Äq.) zu berücksichtigen. Die Treibhausgase werden folgend beschrieben:

- Kohlendioxid (CO₂), eine geruch- und geschmacklose Kohlen-Sauerstoff-Verbindung, entsteht als Hauptprodukt bei der Verbrennung von Kohlenstoff. Die pro Energieeinheit emittierte CO₂-Menge ist unter anderem vom Kohlenstoffgehalt des Brennstoffes abhängig. Des Weiteren entsteht CO₂ beim aeroben Abbau von Biomasse. Im Prozess der Photosynthese wird das CO₂ aus der Atmosphäre in der Pflanze gebunden.
- Methan (CH₄), eine brennbare Kohlenwasserstoff-Verbindung, ist Hauptbestandteil von Erdgas und ein Produkt der unvollständigen Verbrennung. Des Weiteren entsteht CH₄ beim anaeroben Abbau von Kohle und bei der Förderung

von Erdöl und Erdgas sowie bei der Lagerung und Nutzung tierischer Exkremente.

- Lachgas (N₂O) ist eine farblose und toxische Stickstoff-Sauerstoff-Verbindung, die unter bestimmten Bedingungen bei Verbrennungsprozessen entsteht. Die dabei emittierte Menge an N₂O ist vor allem vom Stickstoffgehalt des Brennstoffes und der Verbrennungstemperatur abhängig. N₂O-Emissionen treten auch bei Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen im Boden und bei der Lagerung von Gülle und Mist auf.

Als Maß für die THG-Wirkung dieser Gase wird das Treibhausgaspotenzial (GWP – Global Warming Potential) verwendet, das den Beitrag verschiedener Gase zu einer möglichen Erwärmung der Erdatmosphäre in Form einer äquivalenten Menge CO₂ ausdrückt.

Das Konzept des THG-Potenzials wurde entwickelt, um die Beiträge der Gase auf die Erwärmung der Erdatmosphäre vergleichbar und damit summierbar zu machen. Die THG-Wirkung eines Kilogramms des Gases wird als Vielfaches („Äquivalenzfaktor“) der Treibhauswirkung von einem Kilogramm CO₂ angegeben. Mit den Äquivalenzfaktoren werden die Gasmengen von CH₄ und N₂O in äquivalente CO₂-Mengen (CO₂-Äq.) umgerechnet.

Die Beiträge der Treibhausgase zum THG-Effekt in CO₂-Äquivalenten sind (Bezug 100 Jahre wie in den internationalen Richtlinien des IPCC vorgegeben):

- 1 kg CO₂ = 1 kg CO₂-Äq.
- 1 kg CH₄ = 25 kg CO₂-Äq.
- 1 kg N₂O = 298 kg CO₂-Äq.

Referenzsystem bzw. Substitution: Fläche, Wald, Energie, Papier etc.

Bei der Bewertung der THG-Bilanz der Holznutzung ist es auch wichtig, ob durch

die erzeugten Produkte andere Produkte z. B. aus fossilen Rohstoffen ersetzt werden, und wenn ja, welche. Die THG-Emissionen der substituierten Produkte müssen ebenfalls auf Basis einer Lebenszyklusanalyse ermittelt werden.

Bei der energetischen Holznutzung werden meist andere Energieträger, wie Öl, Erdgas, Kohle oder andere erneuerbare, wie z.B. Wasserkraft, ersetzt. Bei der stofflichen Holznutzung ist der Ersatz anderer Produkte nicht immer eindeutig, da nicht für alle Holzprodukte gleichwertige andere Produkte zur Verfügung stehen. Bei Holz als Baustoff können die ersetzten Produkte z.B. Metalle, Beton oder Kunststoff sein. Bei Produkten aus Zellstoff, wie etwa Karton, kann es sich bei den ersetzten Produkten um Kunststoff oder Aluminium handeln. Bei der Substitution ist generell davon auszugehen, dass nicht immer 100% andere Produkte ersetzt werden bzw. bei einer Zunahme des Bedarfs (Beispiel: Der Zuwachs

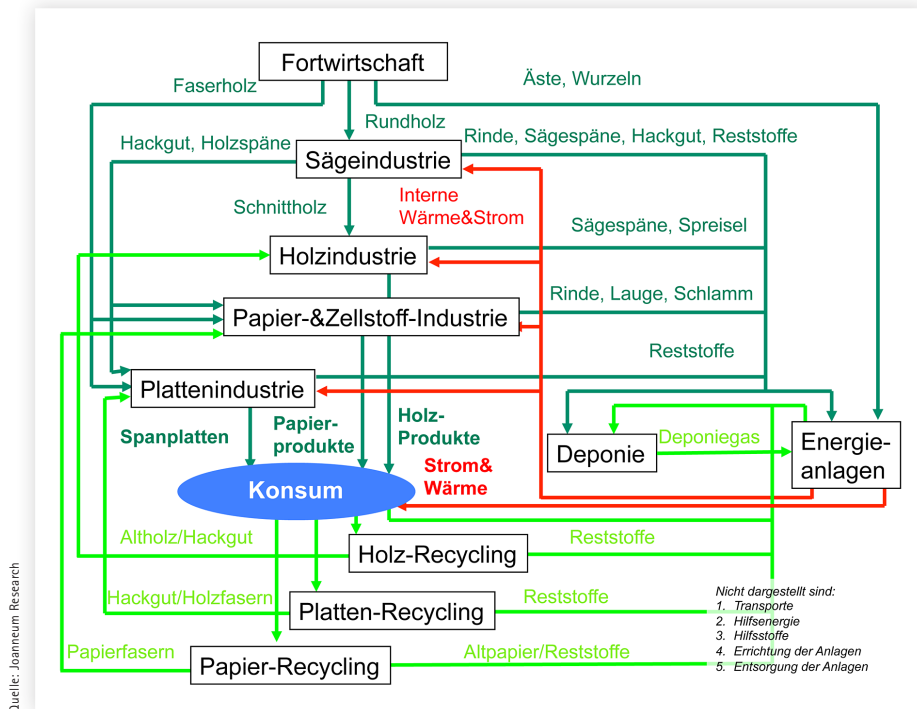


Abb. 4: Prozesse im Lebenszyklus der stofflichen und energetischen Holznutzung

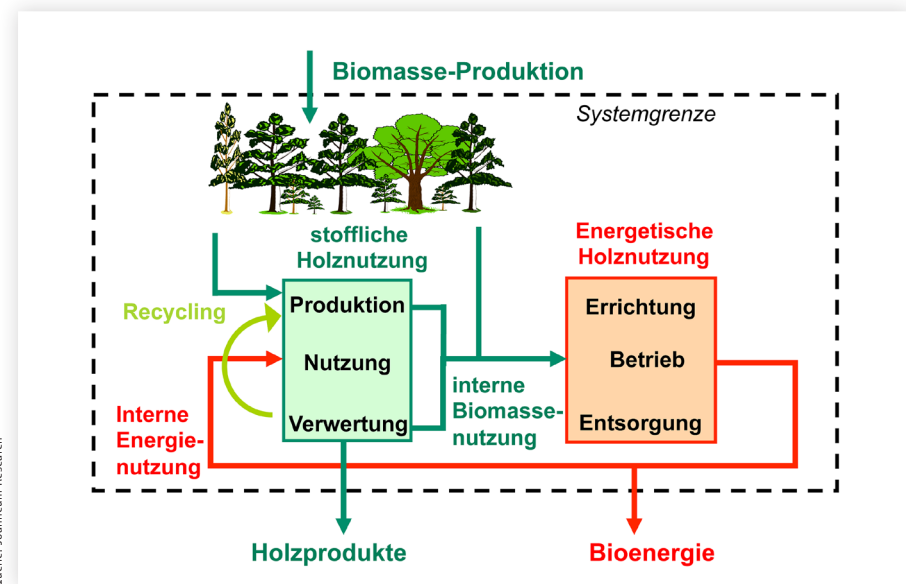


Abb. 5: Lebenszyklusanalyse der stofflichen Holznutzung (Produktion – Nutzung – Verwertung) und energetischen Holznutzung (Errichtung – Betrieb – Entsorgung)

des jährlich steigenden Wärmebedarfes wird durch Wärme aus energetischer Holznutzung gedeckt).

Treibhausgasbilanzen

Anhand von ausgewählten Beispielen wird die Treibhausgasbilanz der stofflichen und energetischen Holznutzung dargestellt. Hierbei werden Daten aus Projekten der vergangenen Jahre verwendet, wobei aufgrund der projektspezifischen Fragestellungen auch unterschiedliche Systemgrenzen angesetzt werden, die bei den Beispielen kurz angeführt werden.

1. Wärme

In Abb.6 sind die THG-Emissionen von Nutzwärme im Lebenszyklus unterschiedlicher Heizungssysteme angeführt (Technologie 2014). Die CO₂-Emissionen aus der Holzverbrennung wurden, wie für den Energiesektor beim IPCC vorgesehen, mit „CO₂-neutral“ angesetzt. Die Aufwendungen in der Forstwirtschaft bzw. Holzverarbeitung wurden nach Masse alloziert. Die Veränderungen der Kohlenstoff-Speicher bzw. Landnutzungsänderungen wurden nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass die energetische Holznutzung für Nutzwärme bei Ersatz von fossilen Energieträgern um etwa 85 bis 90% geringere THG-Emissionen hat. Je nach Art des Brennstoffes aus Holz ergeben sich auch unterschiedliche THG-Emissionen.

2. Strom und Wärme

In Abb.7 sind die THG-Emissionen der gekoppelten Erzeugung von Strom und Nutzwärme im Lebenszyklus unterschiedlicher KWK-Systeme angeführt (Technologie 2014). Es werden die Emissionen in Gramm (g) pro 0,33 kWh Strom und 0,67 kWh Nutzwärme beim Kunden (inklusive Netze) angeführt. Die CO₂-Emissionen aus der Holzverbrennung wurden, wie für den Energiesektor beim IPCC vorgesehen, mit „CO₂-neutral“ angesetzt. Die Veränderungen der

Kohlenstoff-Speicher bzw. Landnutzungsänderungen wurden nicht berücksichtigt. Die Aufwendungen in der Forstwirtschaft bzw. Holzverarbeitung wurden nach Masse alloziert. Die Ergebnisse zeigen, dass die energetische Holznutzung für Strom und Nutzwärme bei Ersatz von fossilen Energieträgern um etwa 75 bis 90% geringere THG-Emissionen hat. Je nach Art der KWK-Technologie mit Hackgut ergeben sich aufgrund der Nutzungsgrade auch unterschiedliche THG-Emissionen.

3. Strom, Wärme und Treibstoff

Neue Entwicklungen z.B. an der TU Wien werden in Zukunft auch die gekoppelte Erzeugung von Biotreibstoffen, Strom und Nutzwärme aus Holz („Polygeneration“) ermöglichen, wie etwa über die Vergasung zu Fischer-Tropsch (FT)-Diesel und synthetischem Erdgas (SNG). In Abb.8 sind die THG-Emissionen der Polygeneration im Lebenszyklus von Systemen für FT-Diesel und SNG dargestellt (Technologie 2020). Es werden die Emissionen in Abhängigkeit der Anteile der einzelnen Energieträger abgebildet: Gramm pro 0,20 kWh Strom + 0,45 kWh Nutzwärme + 0,35 kWh Treibstoff. Die CO₂-Emissionen aus der Holzverbrennung wurden, wie für den Energiesektor beim IPCC vorgesehen, mit „CO₂-neutral“ angesetzt. Die Veränderungen der Kohlenstoff-Speicher bzw. Landnutzungsänderungen wurden nicht berücksichtigt. Beim Referenzsystem wurde auch eine Wärmeerzeugung aus Holz zu Grunde gelegt, da in dieser Analyse angenommen wurde, dass alte Biomasse-Heizwerke zukünftig durch Polygenerationsanlagen ersetzt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die energetische Holznutzung für Strom, Nutzwärme und Treibstoffe in diesem Fall um etwa 85 bis 90% geringere THG-Emissionen hat.

4. Strom, Wärme, Treibstoff und Chemikalien

Zukünftig wird es auch kommerziell möglich sein, in sogenannten „Bioraffinerien“ Che-

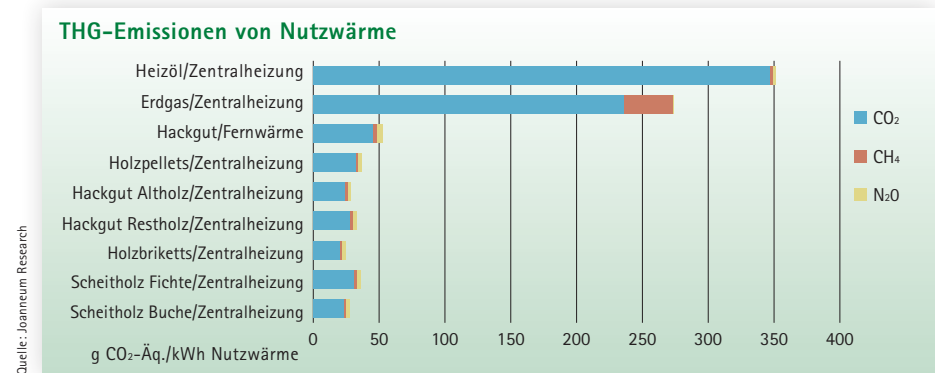


Abb. 6: Der Ersatz fossiler Energieträger senkt die Treibhausgas-Emissionen bei Nutzwärme um 85 bis 90%.

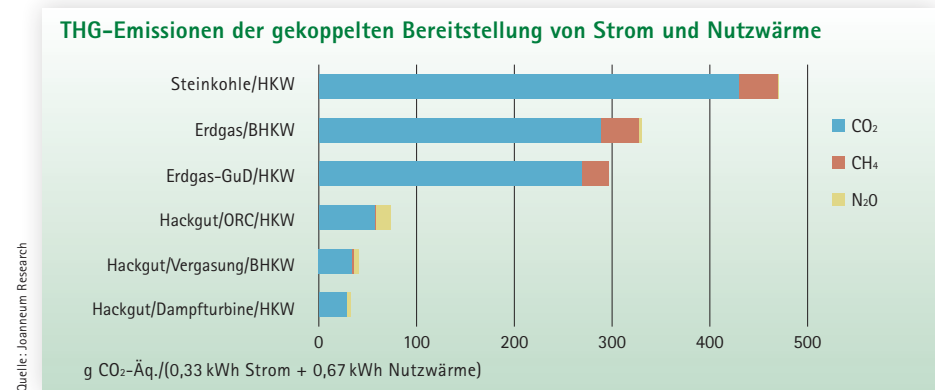


Abb. 7: Treibhausgas-Emissionen der gekoppelten Bereitstellung von Strom und Nutzwärme (ORC: Organic Rankine Cycle, GuD: Gas- und Dampf-Prozess)

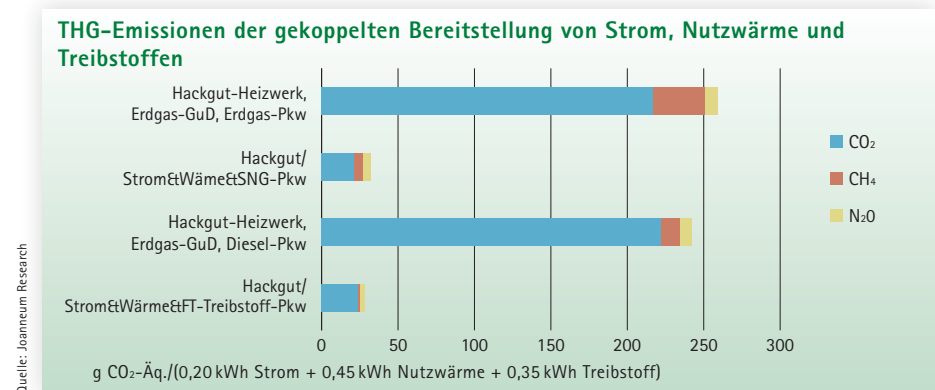


Abb. 8: Treibhausgas-Emissionen der gekoppelten Bereitstellung von Strom, Nutzwärme und Treibstoffen (Fischer-Tropsch (FT)-Diesel und synthetisches Erdgas - SNG)

mikalien aus Holz gemeinsam mit Strom, Wärme und Treibstoffen zu erzeugen, wie z.B. Phenol als Klebstoff für Spanplatten aus der Pyrolyse von Lignin der Bioethanol-Erzeugung aus Holz. In Abb.9 sind die THG-Emissionen der gekoppelten Erzeugung von Strom, Wärme, Bioethanol und Phenol aus Holz in einer Bioraffinerie dargestellt: 0,16 kWh Strom + 0,10 kWh Wärme + 0,68 kWh Treibstoff + 0,06 kWh Phenol. Es werden die Emissionen in Abhängigkeit der Energieanteile der einzelnen Produkte dargestellt. Die CO₂-Emissionen aus der Holzverbrennung wurden, wie für den Energiesektor beim IPCC vorgesehen, mit „CO₂-neutral“ angesetzt. Die Veränderungen der Kohlenstoff-Speicher bzw. Landnutzungsänderungen wurden nicht berücksichtigt, z.B. Kohlenstoff im Phenol. Auch wurde die Verwertung des Phenols am Ende der Nutzungsdauer nicht berücksichtigt, da diese Werte für das konventionelle Phenol gleich sind. Die Bioraffinerie wurde mit unterschiedlichen Referenzsystemen verglichen, die entweder nur fossile Energie oder eine Kombination von fossiler Energie und Holz nutzen. Die Ergebnisse zeigen, dass die kombinierte stoffliche und energetische Holznutzung in einer Bioraffinerie um bis zu 90% geringere THG-Emissionen haben kann.

5. Holzprodukte: Fensterrahmen und Deckenkonstruktionen

In Abb. 10 sind die THG-Emissionen der Erzeugung von Fensterrahmen (Holz, Aluminium und Kunststoff) und von Deckenkonstruktionen (Holz und Beton) dargestellt (Technologie 2010). Die Emissionen werden in Abhängigkeit der Energieanteile der einzelnen Produkte abgebildet. Die CO₂-Emissionen aus der Holzverbrennung wurden, wie für den Energiesektor beim IPCC vorgesehen, mit „CO₂-neutral“ angesetzt. Die Veränderungen der Kohlenstoff-Speicher bzw. Landnutzungsänderungen wurden nicht miteinbezogen, z.B. Kohlenstoff im Fensterrahmen. Auch wurde die Verwertung der Produkte am Ende der Nutzungsdauer nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Fensterrahmen aus Holz wesentlich geringere Emissionen hat als der Rahmen aus Aluminium. Der Kunststoff-Rahmen verursacht etwas geringere Emissionen als Holz. Aufgrund ähnlicher spezifischer Gewichte lassen sich die Fensterrahmen auf Basis einer Tonne vergleichen, auf die Deckenkonstruktion aus Holz und Beton trifft dies jedoch nicht zu. Der Vergleich ist also in dieser Form nicht eindeutig möglich. Weiters können die Holzprodukte am Ende der Nutzungsdauer energetisch genutzt

werden, womit wiederum THG-Emissionen aus fossilen Energieträgern vermieden werden. Daraus würde sich ein anderes Ergebnis ergeben.

6. Papier- und Holzprodukte

In Abb. 11 sind die THG-Emissionen unterschiedlicher Papier- und Holzprodukte im Vergleich zu möglichen konventionellen Produkten dargestellt (Technologie 2010). Die CO₂-Emissionen aus der Holzverbrennung wurden, wie für den Energiesektor

bei IPCC vorgesehen, mit „CO₂-neutral“ angesetzt. Die Veränderungen der Kohlenstoff-Speicher bzw. Landnutzungsänderungen wurden nicht erfasst, z.B. Kohlenstoff im Papier. Auch wurde die Verwertung der Produkte am Ende der Nutzungsdauer nicht berücksichtigt. Die THG-Emissionen werden pro Tonne dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der untersuchten Produkte ist ein direkter Vergleich nicht möglich. Es ist notwendig, für einzelnen spezifischen Anwendungen, etwa

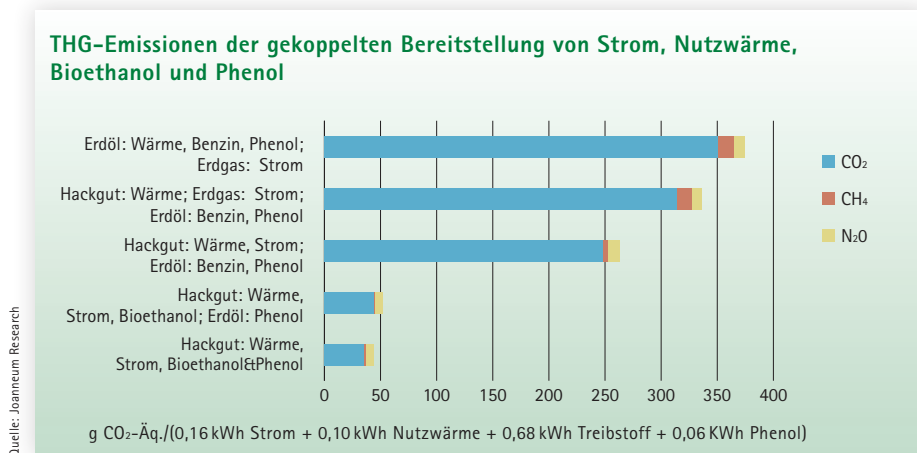


Abb. 9: Kombinierte stoffliche und energetische Holznutzung in einer Bioraffinerie kann 90% THG-Emissionen einsparen.

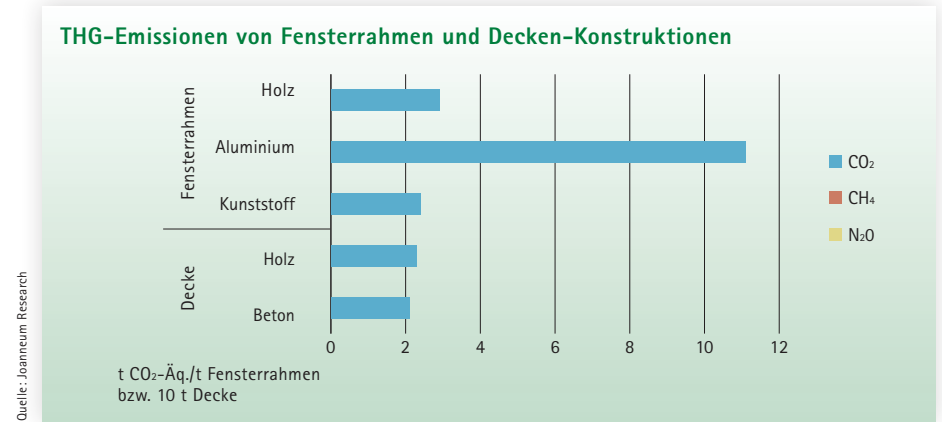


Abb. 10: Treibhausgas-Emissionen von Fensterrahmen und Decken-Konstruktionen – bei Holzfenstern und -decken ist die energetische Verwertung am Ende der Nutzungsdauer nicht berücksichtigt.

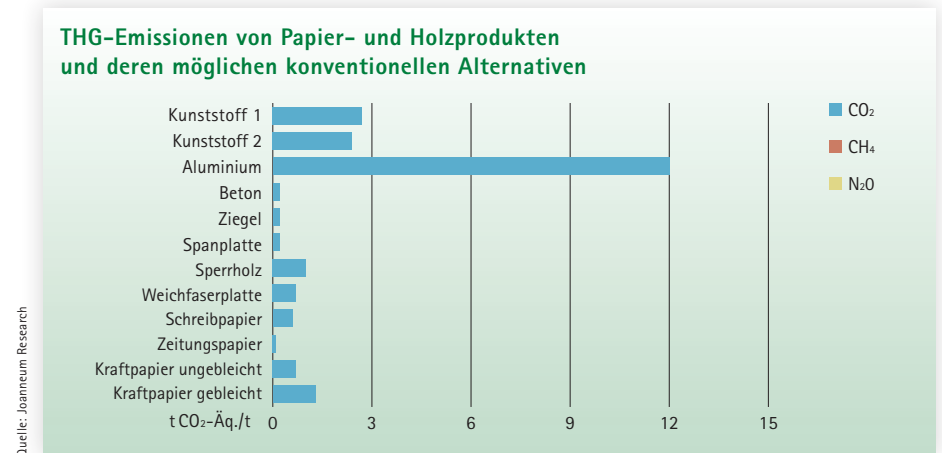


Abb. 11: Treibhausgas-Emissionen von Papier- und Holzprodukten und deren möglichen konventionellen Alternativen

Verpackungsmaterial die jeweiligen Substitutionsfaktoren zu ermitteln, z.B. kann 1 Tonne Karton durch 0,85 Tonnen Kunststoff ersetzt werden.

7. Forstwirtschaft und Holznutzung in Österreich

Um die THG-Bilanz der Holznutzung in Österreich vollständig erstellen zu können, sind neben den möglichen Substitutionseffekten der stofflichen und energetischen Holznutzung sowie der Betrachtung des Lebenszyklus noch die Kohlenstoff-Dynamik und -Speicherung in der Forstwirtschaft zu berücksichtigen. Dies ist nur möglich, wenn die Treibhausgase aus den Emissionen aus der Verbrennung, der Kohlenstoff-Speicherung im Wald und in den Holzprodukten sowie die Kohlenstoff-Aufnahme durch den Wald unter der Berücksichtigung von Substitutionseffekten über die Zeit bilanziert werden. Für diese Analysen wurden international einige Modelle entwickelt. In Österreich wurde hierzu im Projekt „Smart Forests“ ein Modell erstellt, um die THG-Bilanz unterschiedlicher Szenarien der Waldbewirtschaftung und der Holznutzung in ihrer zeitlichen Dynamik zu bewerten und ganzheitlich zu optimieren. Im Modell werden die Substitutionseffekte der energetischen und stofflichen Holznutzung berücksichtigt (wie in den Punkten 1 bis 6 beschrieben). Diese Modellierungen zeigen, dass die Zeitverzögerung bei der THG-Reduktion eine Rolle spielen kann – das heißt, dass die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von zusätzlichem Holz kurzfristig höher sein können als die zeitgleiche CO₂-Aufnahme durch das Holzwachstum. Diese Zeitverzögerung kann bedeuten, dass die vollständige THG-Reduktion erst längerfristig eintritt und somit die zusätzliche energetische Holznutzung zu den zeitlich nahegelegenen Klimaschutzzielen (z. B. +2°C-Stabilisierung der Erderwärmung bis 2050) nur in einem verringerten Ausmaß beitragen kann. Langfristig ist aber in jedem Fall die volle Klimawirksamkeit der

forstlichen Holznutzung gegeben. Somit kann die energetische Holznutzung unter bestimmten Annahmen kurzfristig (bis zu 40 Jahre) nur einen begrenzten, langfristig jedoch einen deutlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Mit dem Modell kann gezeigt werden, wie und unter welchen Randbedingungen die CO₂-Emissionen aus der verstärkten energetischen Holznutzung als „kohlenstoffneutral“ angesehen werden können. Diese zeitliche Abhängigkeit der Klimaaustrahlung der verstärkten Holznutzung sollte auch in der Klima- und Energiepolitik Österreichs Berücksichtigung finden, um kurz- und langfristig optimale Strategien zu entwickeln.

Schlussfolgerungen

Es ergeben sich folgend zusammenfassende Schlussfolgerungen für die THG-Bilanz der stofflichen und energetischen Holznutzung:

- Es gibt vielfältige stoffliche und energetische Arten der Holznutzung, z.B. Papier, Holzprodukte, Wärme oder Strom
- In der Realität zeigt sich, dass die stoffliche und energetische Holznutzung immer eng miteinander verbunden sind und jede Trennung im Rahmen der THG-Bilanzierung entsprechende Vereinfachungen gebraucht, die bei der Ergebnisbewertung berücksichtigt werden müssen. Beispielsweise gilt die Bilanzierung der CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Holz in der Energiewirtschaft als „CO₂-neutral“ nur für entsprechend längere Betrachtungszeiträume und eine nachhaltige Forstwirtschaft.
- Eine THG-Bilanz ist nur auf Basis einer Lebenszyklusanalyse möglich unter Berücksichtigung aller drei Treibhausgase: CO₂, CH₄ und N₂O.
- Der Lebenszyklus umfasst bei
 - der energetischen Holznutzung die Errichtung, den Betrieb inklusive Brennstoffbereitstellung und die Entsorgung der Energieanlagen.

- der stofflichen Holznutzung Produktion, Nutzung und Verwertung am Ende der Nutzungsdauer, z. B. Recycling.
- Um die THG-Bilanz bzw. Klimawirksamkeit der Holznutzung exakt feststellen zu können, muss die Bilanzierung in einer zeitabhängigen Betrachtungsweise der
 - CO₂-Fixierung durch Photosynthese im Wald, der
 - C-Speicherung im Wald und in den jeweiligen Holzprodukten sowie der
 - CO₂-Emissionen bei der Energienutzung erfolgen.
- Die Art und Menge der ersetzten Produkte aus fossilen Rohstoffen und Energieträgern hat wesentlichen Einfluss auf die THG-Bilanz der stofflichen und energetischen Holznutzung, wobei im Allgemeinen die ersetzten Energieträger bei der energetischen Holznutzung leichter zu ermitteln sind als die ersetzten Rohstoffe bei der stofflichen Holznutzung.

Die Betrachtung des Lebenszyklus zeigt, dass grundsätzlich weder die stoffliche noch die energetische Holznutzung alleine eine günstigere Treibhausgasbilanz aufweisen. Jedoch kann die kombinierte stoffliche und energetische Holznutzung eine sehr günstige Treibhausgasbilanz erzielen – insbesondere dann, wenn fossile Rohstoffe und Energie ersetzt werden und wenn das Holz aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung stammt.

Dipl.-Ing. Dr. Gerfried Jungmeier

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH,

RESOURCES – Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit,

gerfried.jungmeier@joanneum.at

