

Stoffliche oder thermische Holznutzung?

Auswirkungen steigender Ölpreise auf Sortierung und C-Bilanz

Fabian Härtl

Im Rahmen des Projekts „Konkurrenz um Holz: Ökologische, soziale und ökonomische Effekte der stofflichen und energetischen Verwertung von Holz“¹⁾ wird eine Holzaufkommensprognose für Bayern erarbeitet. Die Prognose berücksichtigt betriebswirtschaftliche Aspekte und ermöglicht es, Marktverschiebungen bei sich ändernden ökonomischen Rahmenbedingungen abzubilden. Durch verschiedene Preisszenarien können Auswirkungen auf das Holzangebot modelliert werden. Am Beispiel einer Kohlenstoffbilanz wird gezeigt, wie das dabei verwendete Modell YAFO geeignet ist, auch Aussagen über Ökosystemleistungen abzuleiten.

Hintergrund

Öl ist der Treibstoff der modernen Zivilisation. Trotz aller Bemühung in Richtung regenerativer Energiequellen sind fossile Energieträger weiterhin weltweit die wichtigste Basis für Industrie und Infrastruktur. Veränderungen des Ölpreises haben unmittelbare Konsequenzen in allen Bereichen des Wirtschaftslebens und treffen auch die Endverbraucher direkt (beim Auftanken vor der nächsten Heizperiode) und indirekt durch die Verteuerung von Warenproduktion und -transport. Natürlich wird auch die Entscheidung, auf welche Weise Strom und Wärme erzeugt werden sollen, davon beeinflusst. 2008 wurden bereits 10 % des Primärenergiebedarfs in Bayern aus erneuerbaren Ressourcen (Wasser, Wind, Sonne, Biomasse)

¹⁾ Das Projekt „Konkurrenz um Holz“ wird mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (G33), des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Förderkennziffer 22009411) und des Verbandes Bayerischer Papierfabriken e.V. gefördert.

Dipl.-Ing. silv. (Univ./) Forstass. F. Härtl ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung der Technischen Universität München (TUM).



Fabian Härtl
haertl@forst.wzw.tum.de

erzeugt [2], zwei Drittel davon aus Biomasse und 40 % wiederum davon aus Holz [33]. Zwar werden oft auch Umweltschutzgedanken in die Entscheidungen über die genutzte Energieart miteinbezogen, doch letztlich ist der Preis ein wichtiger Faktor, wenn nicht sogar der Hauptfaktor, für die Wahl der Energiequelle. Hohe Preise fossiler Brennstoffe führen zu einer erhöhten Nachfrage nach Alternativen. Die Holzgewinnung aus dem Wald kann aufgrund ihrer langen Produktionszeiten nicht beliebig flexibel kurzfristige Nachfrageänderungen kompensieren. Wenn das Angebot nicht in ausreichendem Maße auf diese höhere Nachfrage reagieren kann, führt dies zu höheren Preisen in diesen Segmenten.

Die Nachfrageverschiebung aufgrund steigender Ölpreise führt daher zu Verschiebungen innerhalb der angebotenen Holzsortimente und zu steigenden (Energie-) Holzpreisen. Dieser Zusammenhang wurde bereits mehrfach nachgewiesen [1,22,35,42] und mithilfe von Investitionsrechnungen durch STANG [38] sowie Regressionsanalysen durch STIMM [39] quantifiziert. Da nicht zu erwarten ist, dass sich die Nachfrage nach Industrie- und Stammholz nennenswert reduzieren wird oder diese Sortimente aufgrund eines deutlichen Angebotsüberschusses sogar unter dem Scheitholzpreis verkauft werden müssen, ist davon auszugehen, dass die unmittelbare Konkurrenz zwischen Industrieholz und Energieholz auch die Preise der anderen Sortimente ansteigen lässt. Diese Einschätzung wird von HILLRING,

MANTAU, RAUNIKAR und BUONGIORNO geteilt [8, 16, 24, 25, 31]. Die Forstbetriebe werden auf diese Preise innerhalb ihrer Möglichkeiten als Mengenanpasser reagieren. Die Auswirkungen sieht man bereits deutlich: Zwischen 1994 und 2005 verdoppelte sich der Brennholzverbrauch privater Haushalte in Deutschland [25, 44]. 2010 wurde zum ersten Mal mehr Holz thermisch als stofflich genutzt [24].

Ob und inwieweit der Effekt steigender Energiepreise z. B. durch die Erschließung unkonventioneller Gaslagerstätten in Schiefergestein mittels neuer Förder-techniken („Fracking“) und eine dadurch sich eventuell vollziehende Entkopplung des Gaspreises vom Ölpreis abgemildert wird, kann noch nicht abgeschätzt werden. Studien, die diese Entkopplung bereits unterstellen, rechnen jedoch ebenso mit steigenden Gaspreisen [3, 34]. Die mit diesen Techniken verbundenen hohen Kosten und Gefahren für Mensch und Umwelt [29] sowie die sehr schnell abfallende Ergiebigkeit der Lagerstätten [43] sollten jedenfalls bei der Beurteilung des quantitativen Einflusses auf den Markt nicht übersehen werden.

Methode

Aufgrund der zentralen Bedeutung des Rohölpreises für die Wirtschaft gibt es eine Vielzahl von Studien, die sich mit dessen Entwicklung beschäftigen. Vier größere internationale Studien mit insgesamt achtzehn voneinander zum Teil stark abweichenden Ölpreisszenarien wurden als Basis für eigene Szenarien genommen [10, 17, 19, 27]. Die Szenarien wurden gemäß ihres für das Jahr 2035 vorhergesagten Ölpreises in aufsteigender Folge gereiht und daraus Gruppen gebildet. Die erste Gruppe beschreibt einen annähernd konstanten Preis (A0-Basiszenario) und die zweite im Mittel einen Anstieg um 115 % gegenüber dem Preis von 2010 (A100-Szenario). Aus von der IEA [28] publizierten Daten wurde über eine lineare Regression der Zusammenhang zwischen dem Rohölpreis der Sorte Brent und dem Endverbraucherpreis für Heizöl in Deutschland abgeleitet.

Um von den Heizölpreisen auf die Scheitholzpreise schließen zu können, wurde unterstellt, dass die Abnehmer sich bei ihrer Entscheidung

über den Energieträger in der Summe von Wirtschaftlichkeits-Grenzpreisen leiten lassen, also maximal den Preis für Brennholz zahlen werden, bei dem sich eine Investition in eine Holzfeuerung noch lohnt [38]. Da der so ausgeübte Nachfragedruck zum Teil durch Fortschritte in der Gebäudeisolation, verbrauchsärmere Heizungen und ein erhöhtes Brennholzangebot abgepuffert werden kann, wurde angenommen, dass die reale Preisentwicklung nur ein Niveau von 80 % der Grenzpreisentwicklung erreicht. Für Energieholzsorimente im Nadelholz bedeutet dies einen Anstieg der Zahlungsbereitschaft von 1,44 €/Fm bei einer Verteuerung des Heizöls um 1 ct/l. Im Laubholz sind es dementsprechend 2,00 €/Fm. In Kombination mit den von STIMM [39] untersuchten Beziehungen zwischen Nichtstammholz- und Stammholzpreisen, der keine signifikante Abhängigkeit zwischen diesen beiden Preisgruppen nachwies, konnten Preisszenarien abgeleitet werden, die bei steigendem Ölpreis eine Tendenz in Richtung eines Einheitspreises zeigen. Der Ölpreis drückt den Scheitholzpreis nach oben und schiebt den gewohnten Preisfächer der unterschiedlichen Güten und Stärkeklassen allmählich zusammen (s. Kasten Preisszenario). Als Basispreise dienen Mittelwerte der Jahre 2006 bis 2010 aus den Preisstatistiken der Bayerischen Staatsforste [4].

Die verwendeten Naturaldaten entstammen der zweiten Bundeswaldinventur [5] und wurden mit dem Waldwachstumssimulator WEHAM [6, 7] fortgeschrieben. Aus den BWI-Traktecken im Wuchsgebiet 12 „Tertiäres Hügelland“ wurde je Eigentümerkategorie (Staatswald inkl. Bundeswald, Kommunalwald, Großprivatwald

über 20 ha und Kleinprivatwald bis 20 ha) ein Modellbetrieb erstellt. Die Naturaldaten wurden entsprechend der Preisszenarien finanziell bewertet.

Anschließend wurde die Nutzung der Bestände für jeden der vier Betriebe mit dem Modell YAFO 1.1 optimiert, welches auf nichtlinearen Optimierungstechniken beruht und über den Value-at-Risk-Ansatz sowie Monte-Carlo-Simulationen naturale und finanzielle Risiken der Waldbewirtschaftung mitberücksichtigt. Zwei Sortiervarianten sind jeweils möglich. Eine Variante „stoffliche Verwertung“, die den aktuellen Sortiergepflogenheiten nachgebildet ist, und eine Variante „thermische Verwertung“ mit erhöhten Energieholzanteilen ohne Industrieholzaushaltung. Für nähere Erläuterungen siehe den Beitrag in AFZ-DerWald Nr. 18/2012 [14] sowie [15].

Um eine Kohlenstoffbilanz zu erstellen, wurden die Volumina des aufstockenden Vorrats sowie der geernteten Holzmengen in Kohlenstoffmassen umgerechnet. Bei den genutzten Mengen wurden zusätzlich Produktspeicher und Substitutionspotenzial berücksichtigt (s. Kasten Kohlenstoffberechnung).

Die hier vorgestellte Kohlenstoffbilanz berücksichtigt lediglich das Derbholz (in Efm). Die entsprechenden Kohlenstoffmengen im Reismaterial, in den Wurzeln und im Boden wurden nicht berücksichtigt. Es wird unterstellt, dass die drei genannten C-Speicher keine nennenswerten Unterschiede im Vergleich der unterschiedlichen Preisszenarien aufzeigen und so zu den betrachteten Differenzen zwischen den Szenarien keinen Beitrag leisten.

Preisszenario

Die verwendeten Preisszenarien sind im Detail komplex. Daher werden zur Charakterisierung des hier vorgestellten A100-Szenarios nur beispielhaft einige Holzpreise für die Fichte im Jahr 2010 und im Jahr 2040 angeführt. 2010: B L 2b: 71 €/Fm (Mischpreis über alle Güten), IL 37 €/Fm, Brennholz 29 €/Fm. Die Aufarbeitung erfolgt je nach Sortiment und Stärkeklasse in unterschiedlichen Anteilen motormanuell oder maschinell, wobei der Anteil der motormanuellen Aufarbeitung mit steigendem Durchmesser zunimmt. Die Erntekosten inkl. Rückung liegen zwischen 16 und 22 €/Fm. Im Jahr 2040 steigen die Preise für B L 2b auf 133 €/Fm, für IL und Brennholz auf 126 €/Fm. Die Erntekosten liegen zwischen 18 und 25 €/Fm.

Ergebnisse und Diskussion

Es werden die Ergebnisse für das Wuchsgebiet 12 „Tertiäres Hügelland“ als Summe aller Eigentümerkategorien gezeigt. Abb. 1 zeigt für das Basisszenario den ausscheidenden Vorrat in Efm/ha/a für jede Simulationsperiode, aufgeteilt auf die vier Hauptbaumartengruppen sowie auf vier Hauptsortimente. Das Modell schlägt bei konstanten Preisen einen sehr gleichmäßigen Einschlag in etwa in Höhe des Zuwach-

Kohlenstoffberechnung

Der ausscheidende Vorrat je Simulationsperiode wird über baumartenabhängige Raumdichten in Tonnen umgerechnet und daraus die Kohlenstoffmasse berechnet [9]. Die einzelnen Sortimente werden zusätzlich unterschiedlich stark gewichtet, um ihre Nutzungsdauer und damit ihr Potenzial für die dauerhafte Kohlenstoffspeicherung zu berücksichtigen (C-Speicher Holzprodukte). Eine Auswertung der Literatur [9, 13, 18, 20, 23, 26, 30, 36, 37, 41] ergab folgende jeweilige durchschnittliche Nutzungsdauer: Möbel, Bauholz: 67 Jahre; Papier, Verpackung, Hygieneartikel: 3 Jahre; Energieholz: 2 Jahre. Diese jeweilige durchschnittliche Lebensdauer wird den Hauptsortimenten zugeordnet und gemäß der tatsächlichen Verwendung modifiziert. Nach KLEIN u. SCHULZ [21] werden über alle Baumarten im Schnitt 64 % des Stammholzvolumens zu Schnittholz verarbeitet. 36 % fallen als Sägerestholz an. Von Letzterem werden knapp 51 % energetisch genutzt (die über den Handel abgegebenen Mengen wurden hierbei anteilmäßig auf diese beiden Verwertungsschienen aufgeteilt) und 49 % gehen in die Holzwerkstoff- und Papierindustrie [11]. Entsprechend dieser Anteile wurde die Nutzungsdauer des Stammholzes gewichtet, woraus sich eine Lebensspanne von 44 Jahren für Stammholz ergibt. Von 2007 bis 2010 wurden in Bayern rund 700 000 t atro Holz pro Jahr für die Papier- und Zellstoffproduktion und ca.

833 000 t atro pro Jahr in der Holzwerkstoffindustrie eingesetzt. Gleichzeitig fielen pro Jahr 201 000 t atro Restholz an, das energetisch genutzt wurde, kompostiert oder zu Rindenmulch weiterverarbeitet wurde [11]. Die entsprechende Gewichtung der Lebensdauer des Industrieholzes führt zu einer Durchschnitts-Verweildauer von 16 Jahren.

Für Bauholz z. B. sei die jährlich gebundene Menge an Kohlenstoff (C) x . Da diese Menge von Jahr zu Jahr schwankt, ist x eine Funktion der Zeit: $x = x(t)$. Der Nutzungszeitraum des Bauholzes betrage T Jahre. Dann wird in jedem Jahr t die vor T Jahren gebundene Menge $x(t-T)$ wieder freigesetzt. Zu jeder Zeit sind

$$\sum_{(k=1)}^T x(t-k)$$

an C in den genutzten Produkten gebunden. Die kontinuierliche Holznutzung entzieht dem C-Kreislauf somit die im aktuellen Jahr genutzten $x(t)$ plus die in den genutzten Produkten gespeicherte Menge und setzt $x(t-T)$ frei. Der Reduktionsfaktor beträgt folglich

$$\frac{x(t-T)}{\sum_{(k=0)}^T x(t-k)}$$

Für T wird die obig genannte Nutzungsdauer eingesetzt. Der Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass die absolute Größe des Produktspeichers nicht berechnet werden muss.

Der verbleibende Vorrat ist für jede Simulationsperiode ohne nutzungsbedingte Reduktionen in tC umgerechnet worden (C-Speicher Wald). Die Summe aus der Änderung des C-Speichers Wald und dem Kohlenstoffgehalt des ausscheidenden Vorrats geteilt durch die Länge der Simulationsperiode (5 Jahre) ergibt die jährliche Nettoemission von C in t.

In einer weiteren Rechenvariante werden zusätzlich Substitutionseffekte berücksichtigt. Die Nutzung von Holz reduziert den Verbrauch anderer Rohstoffe, deren Nutzung bzw. Herstellung Kohlenstoff freisetzen würde. Hierzu wird auf die von SATHRE [32] publizierten Faktoren zurückgegriffen, die ein Substitutionspotenzial von 1,35 tC pro genutzter Tonne Holz für die stoffliche Holznutzung und 0,67 tC pro genutzter Tonne Holz für die thermische Nutzung angeben. In der vorgestellten Berechnung wird für Industrieholz der Wert für die stoffliche Nutzung herangezogen und zusätzlich unterstellt, dass lediglich Verpackungsmaterial einen nennenswerten Substitutionseffekt hat. Dessen Anteil am gesamten Industrieholz wurde mit 26 % beziffert [40]. Am Ende des Nutzungszeitraums wird unterstellt, dass das stofflich genutzte Holz noch thermisch verwertet wird und hierbei ein zusätzlicher Substitutionseffekt angerechnet werden kann. Das so berechnete Substitutionspotenzial wird zu den Nettoemissionen addiert.

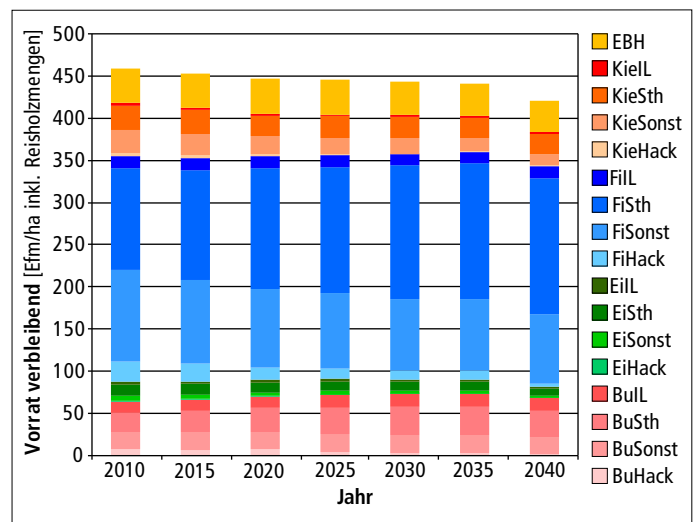
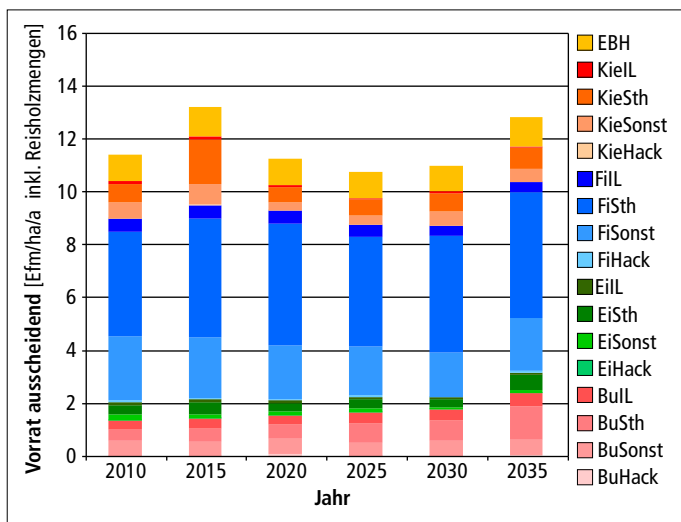


Abb. 1: Ausscheidender Vorrat Basisszenario

Abb. 2: Gesamtvorrat Basisszenario

In den Abb. 1 bis 4 sind die Holzvorräte auf die Hauptbaumartengruppen Fichte (Fi), Kiefer (Kie), Eiche (Ei) und Buche (Bu) und vier Hauptsortimente Stammholz (Sth), Industrieholz (IL), Hackschnitzel aus Derbholz (Hack) und sonstige Energieholzsortimente (Sonst) aufgeteilt. Als weiteres Sor-

timent ist jeweils das Hackschnitzelpotenzial aus Reisholz mengen über alle Baumarten angegeben (EBH). Die Trennung der Hackschnitzelmengen nach Derb- und Reisholz erleichtert die Einordnung der Ergebnisse gegenüber der forstüblichen Rechnung in Derbholzmengen.

ses vor, ohne dass weitere Restriktionen bei der Optimierung vorgegeben wurden. Die relativ ausgeglichenen Nutzungssätze liegen zwischen 9,8 Efm/ha/a im Jahr 2025 und 12,1 Efm/ha/a im Jahr 2015, im Mittel bei 10,7 Efm/ha/a. Diese Nutzungssätze führen zu einem leichten Vorratsabbau von beginnend 418 Efm/ha auf 383 Efm/ha im Jahr 2040, was einer Reduktion von lediglich 1,2 Efm/ha pro Jahr entspricht. Daraus lässt sich folgern, dass es auch unter Risikoaspekten sinnvoll ist, auf kontinuierliche Nutzungen im Wald zu setzen, um Schwankungen des Holzpreises (finanzielles Risiko) abfedern zu können als auch biotische und abiotische Schadereignisse (natürliches Risiko) durch über längere Zeiträume verteilte Eingriffe zu minimieren. Den Perioden des Vorratsaufbaus würden demnach in der Zukunft Perioden des Abbaus folgen, denn eine ständige Nutzung unterhalb des Zuwachses führt keineswegs zu einem Gleichgewicht, sondern zu überbestockten Beständen mit den dementsprechend einhergehenden Gefahren von Einzelbauminstabilität, Verlust von Mischbaumarten in der Verjüngung und hohen bzw. häufigen Holzanfällen durch Schadereignisse [12].

Vergleicht man das Basisszenario mit den Resultaten des A100-Szenarios (Abb. 3 und 4), lassen sich folgende Erkenntnisse herausarbeiten:

➤ Der Einschlag sinkt im Mittel nur unwesentlich auf 10,4 Efm/ha/a, verteilt sich jedoch nach einem anderen Muster auf die Perioden. Es können zwei Phasen beobachtet werden. In Phase I von 2010 bis 2020 verringert sich der Einschlag von vormals 10,2 bis 12,1 Efm/ha/a auf 8,4 bis 10,0 Efm/ha/a. In der anschließenden Phase II steigt der Einschlag von ursprünglich 9,8

bis 11,7 Efm/ha/a auf 11,9 bis 12,7 Efm/ha/a. Dies kann über zwei Effekte erklärt werden, die hier gegensätzlich wirken. Zum einen führen die erwarteten höheren Holzpreise in der Zukunft zu einer Verschiebung der geplanten Einschläge in die Zukunft, um den dort zu erwartenden höheren Erlös mitzunehmen. Oder anders gesagt, ein Mehr an Kapital wird aufgrund der besseren Verzinsung im Wald belassen. Die Vorräte steigen dementsprechend von 419 auf 438 Efm/ha im Jahr 2025 an. Zum anderen steigt jedoch das Risiko an. Nicht nur das Überlebensrisiko der einzelnen Bäume, sondern auch das Risiko, dass der prognostizierte höhere Holzpreis eintreffen wird. Dieser Effekt führt zu tendenziell früheren Holzeinschlägen und überwiegt ab 2030 den ersten Effekt, sodass von dieser Simulationsperiode an die Einschläge über die des Basisszenarios steigen.

➤ Die steigenden Holzpreise führen zu Verschiebungen innerhalb der Sortimente. Im Laufe des simulierten Betrachtungszeitraums nimmt der Anteil thermisch genutzter Sortimente im Fall des Preisanstiegs zu (vgl. Abb. 1 mit 3). Beispielsweise sinkt bei der Fichte der Anteil des Industrieholzes von 5 % auf 4 %. Der Stammholzanteil sinkt von 66 % auf 62 %. Scheitholz verliert von 27 % auf 15 %, während das Hackgut von 1 % auf 20 % steigt. Bei den anderen Baumarten ergibt sich ein ähnliches Bild. Das heißt, steigende und sich über alle Güten und Stärken allmählich nivellierende Preise führen zu immer höheren Anteilen an Holz, das gemäß der „thermischen Verwertung“ zu Ungunsten von Stamm- und Industrieholz sortiert wird (von 28 % auf 35 %). Dieses Ergebnis überrascht vom Prinzip her zu-

nächst nicht; es fällt jedoch auf, dass trotz des deutlichen Preisanstiegs kein vollständiges Umschwenken auf die thermisch dominierte Verwertungsschiene erfolgt. Hierfür zeigen sich folgende Eigenheiten der Holzernte verantwortlich:

- Hackschnitzel sind in der Herstellung teurer als Scheitholz, da hier als Kosten das Hacken und der Transport zum Zwischenlager mit angesetzt wurden. Dies führt im Schnitt zu um 9 €/Fm höheren Aufarbeitungskosten gegenüber der Scheitholzaushaltung.
- Selbst bei einem Einheitspreis über alle Sortimente ist die Stammholzaushaltung aufgrund des Stückmassesetzes lukrativ.

Die Ergebnisse der Kohlenstoffbilanz (Abb. 5) zeigen als Mittelwert über den ganzen Betrachtungszeitraum geringe Unterschiede zwischen den beiden Szenarien und einen deutlichen Einfluss der Substitutionseffekte. Ohne Substitution sind die Wälder Nettoemittenten, da in beiden Szenarien kein weiterer Vorratsaufbau betrieben wird, so dass im Mittel 0,29 tC/ha/a (Basis) bzw. 0,28 tC/ha/a (A100) emittiert werden. Diese Situation entspräche dem Zustand eines ungenutzten Waldes im Vorratsgleichgewicht (bei einem Flächenbezug, der über lokale Störungen hinausgeht). Da die deutschen Wälder aktuell Vorrat aufbauen, wirken sie als Kohlenstoffsenken. Dieser Vorratsaufbau hat zum einen aber seine natürlichen Grenzen und zum anderen ist er aus den oben erwähnten Nutzungs- und Risikoaspekten problematisch. Eine dauerhafte Senke ist jedenfalls dadurch nicht erreichbar. Erst die Einrechnung der durch die Nutzung des Holzes als Produkt vermiedenen Kohlenstoffemissionen zeigt die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien und lässt den Wald in beiden Fällen zu einer Koh-

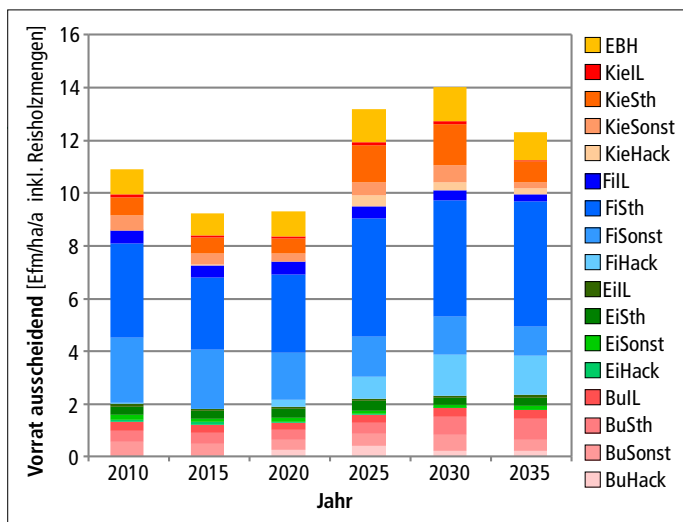


Abb. 3: Ausscheidender Vorrat A100-Szenario

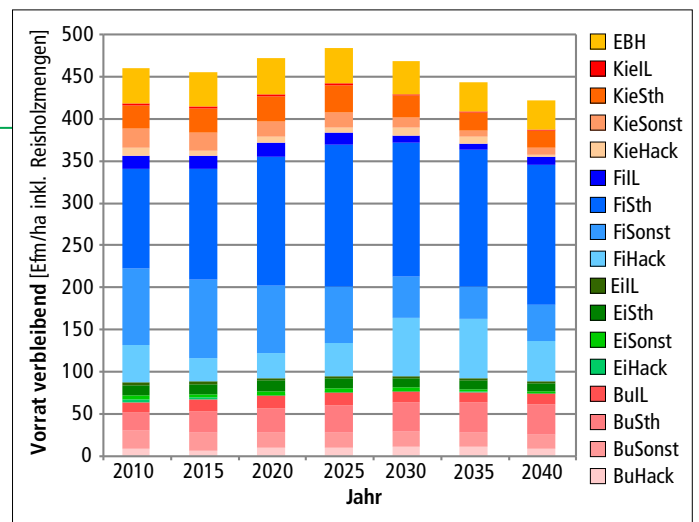


Abb. 4: Gesamtvorrat A100-Szenario

lenstoffsenke werden. Die Senkenleistung beläuft sich auf 2,96 tC/ha/a (Basis) bzw. 2,75 tC/ha/a (A100). Trotz der geringen Unterschiede zwischen den Varianten kann ein Trend aufgezeigt werden: Höhere Holzpreise führen im Mittel aufgrund des tendenziell in die Zukunft verlagerten Holzeinschlags zu einem höheren mittleren Vorrat 418 Efm/ha (A100) ggü. 404 Efm/ha (Basis). Die zu erwartende Nivellierung der Preisdifferenzierung zwischen den einzelnen Güten und Sorten führt gleichzeitig zu einer stärkeren Betonung der thermischen Verwertungsschiene. Im A100-Szenario werden im Jahr 2035 35 % des Fichtenholzes und 36 % des Buchenholzes thermisch genutzt, wohingegen

es im Basisszenario 28 % bzw. 26 % sind. Der schlechtere Substitutionseffekt des energetisch genutzten Holzes überwiegt den Effekt der höheren mittleren Vorratshaltung und lässt die A100-Variante in der C-Bilanz um 7 % schlechter abschneiden. Hochgerechnet auf Vorratsfestmeter und die Waldfläche Bayerns ergeben sich für das Basisszenario 10,0 Mio tC/a und für das A100-Szenario 9,3 Mio tC/a als gesamte Senkenleistung, was sicherlich aufgrund der günstigen Wuchsverhältnisse im Wuchsgebiet 12 den gesamt-bayerischen Wert etwas überschätzt. KLEIN et al. [21] errechneten im Vergleich dazu einen Wert von 8,8 Mio tC/a (Szenario NZ (Zuwachsnutzung) inkl. Energiesubstitution).

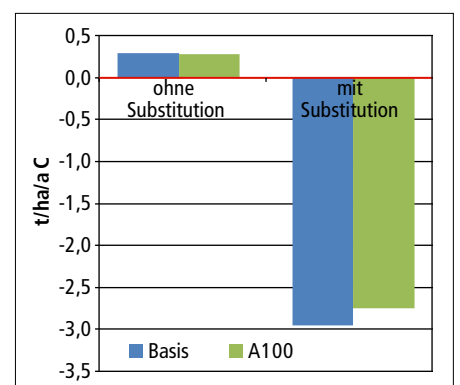


Abb. 5: Kohlenstoffemissionen

Literaturhinweise:

1] BAUER, J.; ZORMAIER, F.; BORCHERT, H.; BURGER, F. (2006): Energieholzmarkt Bayern: Analyse der Holzpotenziale und der Nachfragestruktur. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising. [2] BAYERISCHE STAATSRREGIERUNG (2011): Bayerisches Energiekonzept Energie innovativ. München. [3] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, I. (2012): Bayerische Energieszenarien 2050. München. [4] BAYSF/STAF0V (2010): Holzpreisstatistik für das Kalenderjahr ... für die Jahre 1975 bis 2010. München, Regensburg. [5] BMVEL (2005): Die zweite Bundeswaldinventur – BWI 2: Der Inventurbericht. Berlin. [6] BÖSCH, B. (2004): Benutzeranleitung WEHAM. Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung Version 1.14. [7] BÖSCH, B. (2004): WEHAM II: Modelle und Algorithmen. [8] BUONGIORNO, J.; RAU-NIKAR, R.; ZHU, S. (2011): Consequences of increasing bioenergy demand on wood and forests: An application of the Global Forest Products Model. Journal of Forest Economics, Vol. 17(2), S. 214-229. [9] BURSCHEL, P.; KÜRSTEN, E.; LARSON, B. C. (1993): Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt: Eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland. München. [10] US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA) (2011): International Energy Outlook. [11] FRIEDRICH, S.; ZORMAIER, F.; DIETZ, E.; HAMMERL, R.; BORCHERT, H.; EGNER, J.-P. (2012): Energieholzmarkt Bayern 2010. Freising. [12] HAHN, A.; KNOKE, T. (2012): Vom Sparbuch zum Risikopapier. AFZ-DerWald Nr. 14/2012, S. 27-30. [13] HARMON, M.; HARMON, J.; FERRELL, W.; BROOKS, D. (1996): Modeling carbon stores in Oregon and Washington forest products: 1900-1992. Climatic Change, Vol. 33(4), S. 521-550. [14] HÄRTL, F. (2012): Optimierung der Sortierung auf Forstbetriebsebene unter Risiko. AFZ-DerWald Nr. 18/2012 S. 13-16. [15] HÄRTL, F.; HAHN, A.; KNOKE, T. (2013): Risk-sensitive planning support for forest enterprises: The YAFO model. Computers and Electronics in Agriculture, Nr. 94, S. 58-70. [16] HILLRING, B. (2006): World trade in forest products and wood fuel. Biomass and Bioenergy, Vol. 30(10), S. 815-825. [17] IMF (2011): World Economic Outlook – April 2011: Tensions from the two-speed recovery,

unemployment, commodities, and capital flows. IMF, Washington DC. [18] KARJALAINEN, T.; KELLOMÄKI, S.; PUSSINEN, A. (1994): Role of wood-based products in absorbing atmospheric carbon. Silva Fennica, Vol. 28(2), S. 67-80. [19] KESICKI, F.; REMME, U.; BLESL, M.; FAHL, U.; VOB, A. (2009): The third oil price surge – what is different this time and what are possible future oil price developments? Stuttgart. [20] KLEIN, D.; HÖLLERL, S.; BLASCHKE, M.; SCHULZ, C. (2013): The contribution of managed and unmanaged forests to climate change mitigation – a model approach at stand level for the main tree species in Bavaria. Forests, Vol. 4(1), S. 43-69. [21] KLEIN, D.; SCHULZ, C. (2012): Die Kohlenstoffbilanz der bayerischen Forst- und Holzwirtschaft. Abschlussbericht, Freising. [22] KNOLL, M.; RUPP, J. (2007): Stoffliche oder energetische Nutzung? Nutzungskonkurrenz um die Ressource Holz. Berlin. [23] LISKI, J.; PUSSINEN, A.; PINGOUD, K.; MÄKIPÄÄ, R.; KARJALAINEN, T. (2001): Which rotation length is favourable to carbon sequestration? Can. J. For. Res., Vol. 31(11), S. 2004-2013. [24] MANTAU, U. (2012): Energieholzverwendung in privaten Haushalten: Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Abschlussbericht. Hamburg. [25] MANTAU, U.; SÖRGE, C. (2006): Energieholzverwendung in privaten Haushalten. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente: Abschlussbericht. Hamburg. [26] MAR-LAND, E.; STELLAR, K.; MARLAND, G. (2010): A distributed approach to accounting for carbon in wood products. Mitig Adapt Strateg Glob Change, Vol. 15(1), S. 71-91. [27] OECD/IEA (2010): World Energy Outlook 2010. 1. Ausgabe. OECD, Paris. [28] OECD/IEA (2011): Oil Market Report: Annual statistical supplement with 2010 data. OECD, Paris. [29] OSBORN, S.; VENGOSH, A.; WARNER, N.; JACKSON, R. (2011): Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 108(20), S. 8172-8176. [30] PINGOUD, K.; SAVOLAINEN, I.; SEPPÄLÄ, H. (1996): Greenhouse impact of the Finnish forest sector including forest products and waste management. Ambio, Vol. 25(5), S. 318-326. [31] RAUNIKAR, R.; BUONGIORNO, J.; TURNER, J.; ZHU, S. (2010): Global outlook for wood and forests with the bioenergy demand implied by scenarios of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Forest sector models and their application. Forest Policy and Economics, Vol. 12(1), S. 48-56. [32] SATHRE, R.;

O'CONNOR, J. (2010): A synthesis of research on wood products & greenhouse gas impacts. 2. Auflage, Vancouver. [33] SCHÄFER, R.; ORTINGER, W. (2007): Holz: Rückgrat im Biomassemix Bayerns: Holz im bayerischen Gesamtkonzept Nachhaltige Rohstoffe ganz oben. LWF-aktuell, Vol. 14(61), S. 4-6. [34] SCHLESINGER, M.; HOFER, P.; KEMMLER, A.; KIRCHNER, A.; STRASSBURG, S.; LINDENBERGER, D. et al. (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung: Projekt Nr. 12/10 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Berlin. [35] SCHULTE, A. (2006): Mobilisierbare Holzpotenziale geringer als erwartet: Das neue Holzmaß ist ein Barreläquivalent – Politikempfehlungen aus einer Studie in NRW. Holzcentralblatt, Nr. 41, S. 1194-1195. [36] SKOG, K.; NICHOLSON, G. (1998): Carbon cycling through wood products: The role of wood and paper products in carbon sequestration. Forest Products Journal, Vol. 48(7), S. 75. [37] SMITH, J.; HEATH, L.; SKOG, K.; BIRDSEY, R. (2006): Methods for calculating forest ecosystem and harvested carbon with standard estimates for forest types of the United States. Gen. Tech. Rep. NE-343. Newtown Square, PA. [38] STANG, S.; BEINHOFER, B. (2007): Zur Preisentwicklung auf dem Energieholzmarkt. AFZ-DerWald Nr. 3/2007, S. 126-129. [39] STIMM, K. (2012): Zum Einfluss des Energiepreises auf das Energieholzangebot. Masterarbeit (Master's Thesis), Freising-Weißenstephan. [40] VDP (2012): Papier Kompass 2012. Bonn. [41] WIRTH, C.; SCHULZE, E.-D.; SCHWALBE, G.; TOMCZYK, S.; WEBER, G.; WELLER, E. (2004): Dynamik der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern Thüringens. Abschlussbericht zur 1. Phase des BMBF-Projektes „Modelluntersuchung zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls“. Gotha. [42] WITTKOPF, S. (2005): Bereitstellung von Hackgut zur thermischen Verwertung durch Forstbetriebe in Bayern. Dissertation, München. [43] ZITTEL, W.; ZERHUSEN, J.; ZERTA, M.; ARNOLD, N. (2013): Fossile und nukleare Brennstoffe – die künftige Versorgungssituation. Berlin. [44] ZORMAIER, F.; BORCHERT, H. (2007): Brennholzverbrauch steigt! Studie der Uni Hamburg liefert beachtenswerte Zahlen. LWF-aktuell, Vol. 14(61), S. 18-19.