

Potenziale, Chancen und Risiken der Energieholznutzung

Zur Rolle des Holzes im Schweizer Energiesystem

Oliver Thees, Renato Lemm, Matthias Erni und Isabel Ballmer

WSL Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf
 oliver.thees@wsl.ch, renato.lemm@wsl.ch, matthias.erni@wsl.ch, isabel.ballmer@wsl.ch

Die geplante Umsetzung der Energiewende lässt einen zunehmenden Druck auf die natürlichen Ressourcen und in der Folge auch einen Einfluss der erneuerbaren Energieträger auf die Landschaft erwarten. Für die wichtige erneuerbare Ressource Holz stellt sich dabei die Frage, wie es um die Potenziale, Chancen und Risiken der Energieholznutzung in der Schweiz bestellt ist.

1 Einleitung

1.1 Problematik und Zielsetzung

Die Kenntnis der Potenziale, Chancen und Risiken der Energieholznutzung ist bedeutsam für die gesamte Forstbranche, steht doch die energetische Nutzung des Holzes derzeit hoch im Kurs:

- Das Erntevolumen von Waldenergieholz sowie der gesamte Energieholzverbrauch steigen seit mehr als zehn Jahren.
- Energieholz ist für viele Forstbetriebe ein wichtiges Standbein geworden, namentlich für Laubholzbetriebe.
- Energieholz ist wegen seiner vielfältigen Umweltwirkungen (insbesondere für die Verbesserung der CO₂-Bilanz und den Klimaschutz)

- bedeutsam und wird als grünes, zukunftsfähiges Produkt der Forstwirtschaft wahrgenommen.
- Die Schweizer Waldholzvorräte werden aus verschiedenen Gründen seit Jahren deutlich unternutzt; die Energieholznutzung wirkt diesem Trend entgegen.

Trotz dieser Vorteile lassen sich für die Zukunft Risiken ausmachen, etwa wenn die Energieholzpotenziale aus politischen oder ökonomischen Gründen nicht genutzt und in der Folge die Umweltwirkungen nur in geringem Umfang erreicht und die Abnehmer unterversorgt werden. Es gibt aber auch Chancen, denn die Energieholzpotenziale können in anderen Energieformen als der Wärme und durch nachfrageorientierten Einsatz im Ener-

giesystem hochwertiger als bisher verwertet werden. Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel dieses Beitrages, die Rolle des Energieholzes im zukünftigen Energiesystem zu bestimmen und die skizzierten Risiken und Chancen näher zu analysieren. Dabei liegt der Schwerpunkt der Betrachtungen auf dem Waldenergieholz.

1.2 Vorgehensweise

Holz ist als erneuerbare Ressource ein Element im Energiesystem der Zukunft. Welche Rolle das Holz dabei spielen wird, ergibt sich aus einem Wettbewerbsprozess, in dem alle erneuerbaren sowie ein verbleibender Anteil fossiler Ressourcen involviert sind. Für das Ergebnis sind technische und ökonomische sowie politische Faktoren bedeutsam.

Es bietet sich an, die Analyse auf der Grundlage eines Marktmodells anzugehen. Grundsätzlich gilt es zu ermitteln, wieviel Holz zur Verfügung stehen und wie gross der Bedarf sein wird. Zur

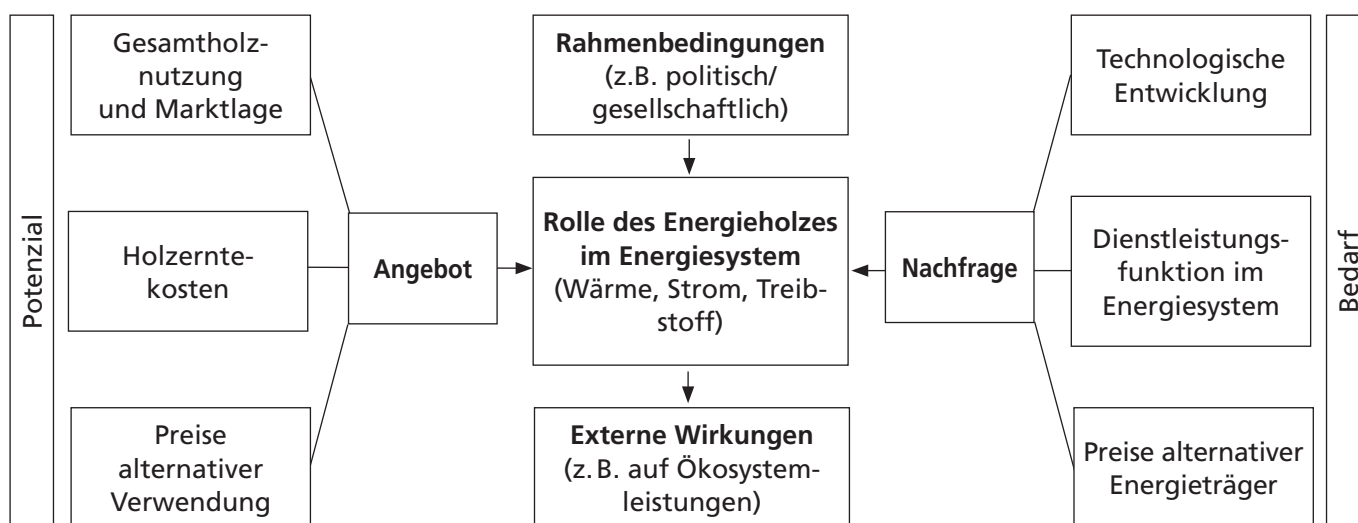


Abb. 1. Die Bestimmungsfaktoren für die Rolle des Holzes im Energiesystem der Zukunft: schematische Darstellung eines marktorientierten Ansatzes für das Vorgehen.

Beantwortung der ersten Frage kann das Energieholzangebot hergeleitet werden. Wichtige Faktoren sind dabei die Gesamtnutzungsmenge, die Holzerntekosten und die Preise, die durch eine alternative Verwendung erzielt werden können. Die zweite Frage zielt auf die Nachfrageseite, wo die technologische Entwicklung ebenso eine Rolle spielt wie die Preise der alternativen Energieträger (vgl. Abb. 1).

Angesichts der skizzierten Zusammenhänge gilt es also, die Potenziale, die Wirtschaftlichkeit und die Technologien der Holzenergie im Kontext der anderen erneuerbaren Energien über verschiedene Zeiträume zu ermitteln und zu bewerten.

Als Rahmenbedingungen sind die Einhaltung der Klima- und Umweltziele, der Ausstieg aus der Kernenergie und die Gewährleistung der Versorgungssicherheit des Landes gesetzt. Dabei sollen nicht nur Strom, sondern auch Wärme und Treibstoffe berücksichtigt werden. Übergeordnetes Ziel ist die nachhaltige Versorgung unseres Energiesystems durch den effizienten Einsatz erneuerbarer Ressourcen. Nachhaltig heisst dabei: wirtschaftlich, umweltverträglich und gesellschaftlich akzeptiert. Die Antworten sollen und können nur unter Berücksichtigung aller erneuerbaren Energien gegeben werden.

2 Kategorien und Eigenschaften des Holzes

Energieholz bezeichnet Holz, das zur Erzeugung von Energie genutzt wird. Entsprechend der Herkunft lässt sich das Energieholz in die Kategorien Waldholz, Flurholz, Plantagenholz, Industrierestholz und Altholz unterteilen.

Waldenergieholz wird im Wald produziert, gerntet und ist für die energetische Nutzung bestimmt. Das Waldholz hat bei allen Kategorien, insbesondere auch bei den zusätzlich nutzbaren Potenzialen, den grössten Anteil (Abb. 2). **Flurholz** beinhaltet alle verholzten Baum- und Buschkompartimente, welche nicht im Wald anfallen. Es wird oft auch als Landschaftspflegeholz bezeichnet. **Plantagenholz** bezeichnet Holz aus Plan-

tagen auf landwirtschaftlichen Flächen. Solche Plantagen haben in der Schweiz nach STEUBING *et al.* (2010) zur Zeit kein nachhaltiges Potenzial. Als **Restholz** werden naturbelassene Reste aus dem Holz der verarbeitenden Betriebe bezeichnet. Hauptsächlich handelt es sich um das Restholz, das in Sägereien anfällt. Darin ist auch ein beträchtlicher Anteil Rinde enthalten. Ob das Restholz energetisch oder stofflich genutzt wird, ist von Art und Umfang des Eigenverbrauchs und von den Marktbedingungen bzw. den Preisen der konkurrierenden Nutzungen abhängig. **Altholz** stammt aus Gebäudesanierungen oder anderen materiellen Verwendungen (z.B. Möbel, Verpackungen), das in dieser Form nicht mehr weiterverwendet wird. Es handelt sich meist um behandeltes Holz.

Wald-, Flur- und Plantagenholz stammen direkt aus der biologischen Produktion. In Mitteleuropa werden in der Regel die oberirdischen Teile der Biomasse von Bäumen und Sträuchern energetisch genutzt. Es sind dies der Schaft, die Äste und das Reisig, wobei in der Regel nicht nur das Holz, sondern auch die Rinde genutzt wird. Blätter und Nadeln verbleiben oft ganz oder zum grössten Teil im Wald. Restholz und Altholz sind vom Umfang der stofflichen Nutzung des Waldholzes abhängig. Beide stammen aus der

technischen Weiterverarbeitung bzw. aus dem Gebrauch.

Die Ressource Holz zeichnet sich durch Besonderheiten bezüglich (i) seiner technologischen Eigenschaften, (ii) seines Aufkommens, (iii) seiner Nutzungsmöglichkeiten und (iv) den politischen Rahmenbedingungen aus.

(i) Holz verfügt über einen hohen Brennwert, ist lagerfähig und kohlenstoffhaltig. Der hohe Brennwert macht Holz interessant für Prozesswärme. Seine Lagerfähigkeit prädestiniert Holz als komplementäre Energieform zur fluktuierenden Wind- und Sonnenenergie. Schliesslich ist Holz als Kohlenstoff-Ressource interessant, da bei verschiedenen Verwendungen kohlenstoffbasierte Energieträger (C-Fuels) kaum zu ersetzen sind. Dies betrifft insbesondere den Kraftstoffbedarf im Mobilitätssektor.

(ii) Die Ressource ist mengenmässig begrenzt und fällt kontinuierlich und dezentral an. Holz gelangt wie oben gezeigt aus verschiedenen Quellen in die energetische Nutzung. Die originäre Quelle ist in der Hauptsache das Waldholz. Seine nachhaltige Nutzung ist sogar gesetzlich verankert und wird hoheitlich überwacht.

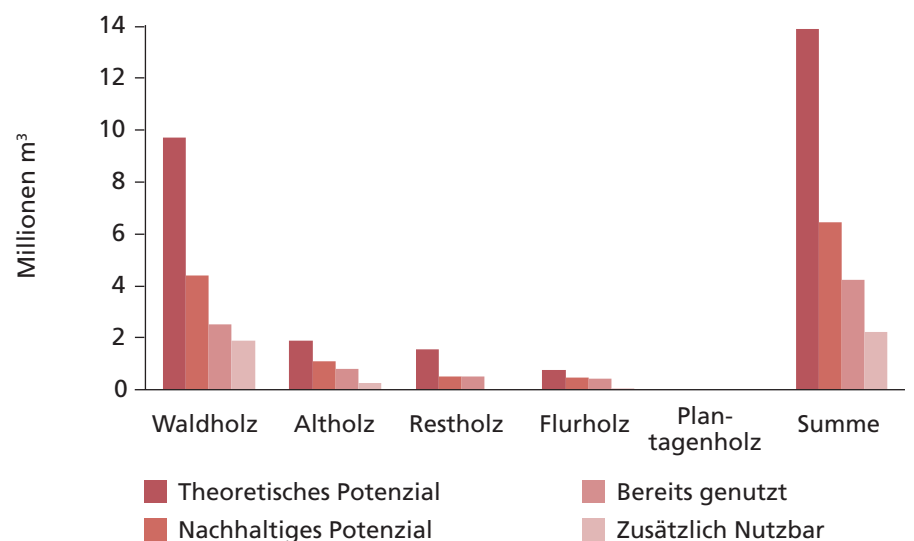


Abb. 2. Energieholzpotenziale der Schweiz nach Ursprungskategorien angegeben in Holzmassen (m^3 feste Holzmasse/Jahr; Waldholz 2017–2026, übrige Kategorien 2011; basierend auf Daten von BAFU 2013a, BAFU 2013b, BFS 2014a, BFS 2014b, BRÄNDLI *et al.* 2010, LEHNER *et al.* 2014, STEUBING *et al.* 2010, THEES *et al.* 2013).

(iii) Holz zeichnet sich durch eine Vielfalt von Nutzungsmöglichkeiten aus. Hierdurch entsteht eine Nutzungskonkurrenz – zum Beispiel zwischen stofflicher und energetischer Verwendung. Auch innerhalb der energetischen Verwendung kann Holz vielfältig zur Erzeugung von Wärme, Strom oder Treibstoff eingesetzt werden. Darüber hinaus ist Holz auch kaskadisch nutzbar. Holz kann zuerst (ggf. sogar mehrfach) stofflich und am Schluss seines Lebenszyklus noch energetisch genutzt werden. Die Allokation entscheidet sich sowohl auf den Holzmärkten als auch auf den Energiemärkten.

(iv) Die Holzproduktion vollzieht sich auf rund einem Drittel der Landesfläche und liegt auf der Schnittstelle mehrerer Sektoralpolitiken, die sie in ihrem Sinne beeinflussen. Dazu gehören die Wald-, Agrar- und Umweltpolitik sowie die Energie- und Ressourcenpolitik.

3 Anteil des Holzes an der Energieversorgung

Holz spielt im Gesamtvergleich zu allen Energieträgern eine untergeordnete Rolle. Betrachtet man jedoch die Erneuerbaren für sich, so ist Holz derzeit nach der Wasserkraft die zweit-

wichtigste erneuerbare Energiequelle in der Schweiz. Im Kontext aller energetisch verwendeten Biomasse nimmt das Holz eine noch bedeutendere Position ein (Abb. 3).

In den letzten Jahren hat die Nutzung von Holzenergie zugenommen. Holz deckt etwa vier Prozent des gesamten Schweizer Endenergieverbrauchs. Rund acht Prozent des Wärmebedarfs und 0,4 Prozent des Strombedarfs (Anteil Feuerungen mit Holz und Holzanteilen an der Elektrizitätserzeugung). Die Wärmeerzeugung macht mit 95 Prozent derzeit den grössten Anteil der energetischen Holznutzung aus.

4 Energieholz-Potenziale

Die Abschätzung der Potenziale auf der Ressourcenebene bildet das Fundament für die Beurteilung der zukünftigen Rolle des Holzes im Energiesystem. Dabei gilt es einerseits, nachvollziehbare verlässliche Potenziale zu berechnen, und andererseits die Einflüsse zu identifizieren, die die Potenziale verändern können.

Folgende Potenziale lassen sich inhaltlich abgrenzen (vgl. BALLMER in diesem Band): (i) das theoretische Potenzial, (ii) das nachhaltige Potenzial, (iii) das bereits genutzte Potenzial

und (iv) das zusätzlich nutzbare Potenzial. Ersteres beziffert eine nur theoretisch erreichbare Obergrenze und bezieht sich auf das langfristig durchschnittlich pro Jahr anfallende Holz ohne Einschränkungen. Der Abbau allfälliger Vorräte wird dabei nicht erfasst. Das nachhaltige Potenzial ergibt sich, wenn das theoretische Potenzial um diejenige Holzmenge vermindert wird, die aufgrund von Restriktionen oder wegen einer höherwertigen Verwendung der energetischen Nutzung entzogen wird. Restriktionen können technischer, ökologischer, politischer, rechtlicher oder wirtschaftlicher Art sein und sind oft aneinander gekoppelt. Beispiele sind die Unterschutzstellung von Waldflächen, die stoffliche Nutzung des Holzes oder nicht kostendeckende Holzerlöse. Von besonderem Interesse ist das zusätzlich nutzbare Potenzial. Es stellt die Differenz zwischen dem nachhaltigen Potenzial und der bereits genutzten Menge dar. Potenzialangaben beinhalten also immer eine Aussage über die Verfügbarkeit der Ressource.

Abbildung 2 zeigt die kurzfristigen Potenziale der verschiedenen Kategorien des Energieholzes auf der Ressourcenebene. Insgesamt beträgt das theoretische Energieholz-Potenzial 13,9 Mio. m³/a. Das nachhaltige Potenzial beläuft sich auf 6,5 Mio. m³/a, wovon

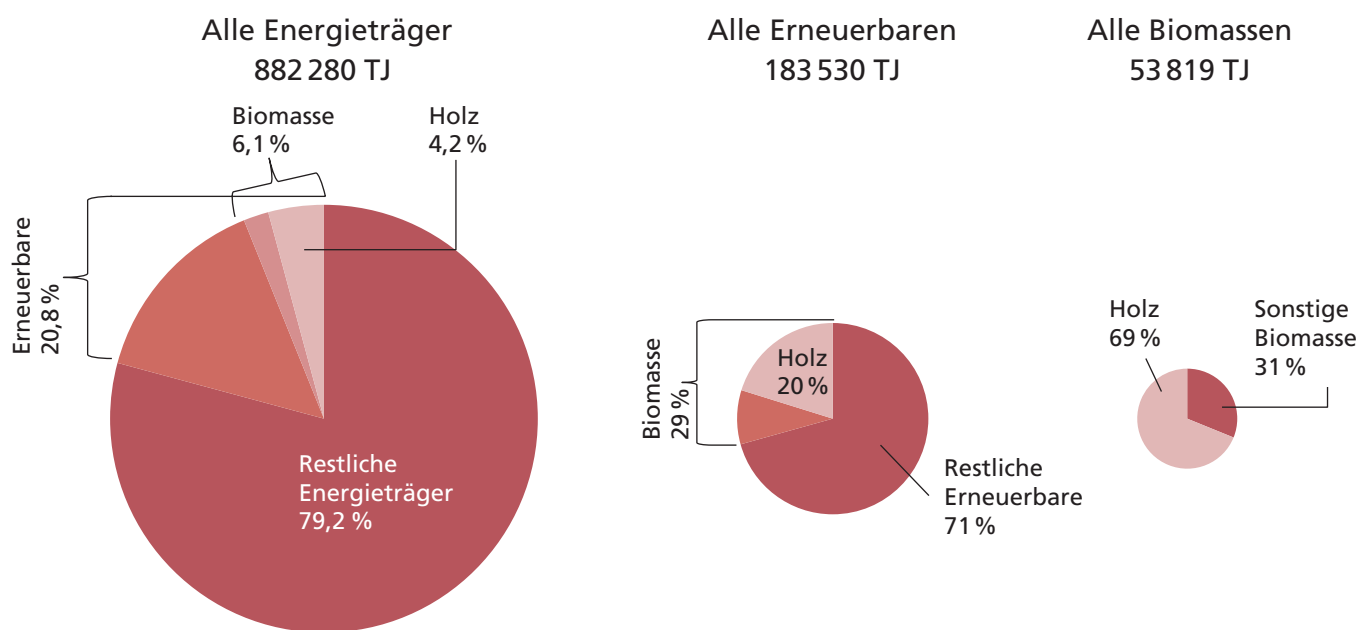


Abb. 3. Energieholz im Kontext der Energieträger – Endenergieverbrauch 2012 in Terajoule (TJ), (Wärme, Strom und Treibstoff). Massstabsgetreue Darstellung, basierend auf Daten des BFE (2013a).

bereits 4,2 Mio. m³/a genutzt werden. Zusätzlich nutzbar sind danach noch 2,2 Mio. m³/a. Nennenswerte zusätzlich nutzbare Potenziale gibt es nur beim Waldholz und – in deutlich geringem Umfang – beim Altholz. Die den Holzmengen entsprechenden Energiemengen der Potenziale lassen sich der Tabelle 1 entnehmen.

Das Waldenergieholz stellt das grösste Energieholzpotenzial dar. Der jährliche Holzzuwachs im Schweizer Wald entspricht dem theoretischen Potenzial und betrug 2011 9,7 Mio. m³ (BRÄNDLI 2010). Das nachhaltige Potenzial wird als Mittelwert zweier Varianten eines nachhaltigen Nutzungsszenarios aus THEES *et al.* (2013) für die Jahre 2017 bis 2026 abgeschätzt (Szenario B, Varianten 1 und 2) und beträgt 4,4 Mio. m³/a. Das bereits genutzte Potenzial beläuft sich auf rund 2,5 Mio. m³/a (THEES *et al.* 2013; der Anteil des forststatistisch nicht erfassten energetisch genutzten Holzes wurde grob und eher hoch geschätzt). So ergibt sich eine zusätzlich nutzbare Menge von 1,9 Mio. m³/a Waldenergieholz, die als konservative Schätzung zu interpretieren ist.

Beim Altholz errechnet sich ein nachhaltig nutzbares Potenzial von 1,1 Mio. m³/a, wovon 0,3 Mio. m³ beziehungsweise 27 Prozent zusätzlich nutzbar sind. Beim Restholz wird das energetisch nachhaltig nutzbare Potenzial auf 0,5 Mio. m³/a und vollständig ausgeschöpft eingeschätzt. Die Rinde nimmt dabei einen beträchtlichen Anteil von 40 Prozent ein. Ob das Restholz in

der Be- und Verarbeitung energetisch oder stofflich genutzt wird, ist von der Art und Umfang des Eigenverbrauchs und von den Marktbedingungen beziehungsweise den Preisen der konkurrierenden Nutzungen abhängig. Die insgesamt anfallende Restholzmenge ist beeinflusst durch die stofflich genutzte Menge Waldholz und den Stammholzexport. Mit letzterem wird auch Restholz und damit auch Energieholz exportiert.

Die Bewertung der Potenziale und ihrer Entwicklung in Tabelle 1 unterstreicht einerseits die grosse Bedeutung des Waldholzes und relativiert andererseits die Verfügbarkeiten der zusätzlich nutzbaren Potenziale bei sämtlichen Kategorien.

5 Energieholz-Angebot

5.1 Überblick

Waldholz ist in der Schweiz die bedeutendste verholzte Biomasse und zugleich die wichtigste Quelle der originären nachhaltigen Versorgung mit Holz als Rohstoff für energetische und stoffliche Verwertungen. Allerdings bestehen bezüglich seiner Verfügbarkeit zahlreiche Risiken und Unsicherheiten, die dazu führen können, dass die Potenziale nicht ausgeschöpft werden. Diese betreffen insbesondere die Zuverlässigkeit der langfristigen Angaben. Die Energieholzpotenziale kön-

nen vor allem aus politischen sowie aus ökonomischen, insbesondere wettbewerbsbedingten Gründen beschränkt werden.

Fehleinschätzungen der Waldholzpotenziale, insbesondere der zusätzlichen verfügbaren Mengen, kommen häufig vor. Die Ursachen sind vielfältig. Oft werden die inhaltlichen, zeitlichen und räumlichen Abgrenzungen der Potenzialkategorien nicht genau beachtet. Darüber hinaus sind die Einflussfaktoren der Verfügbarkeit und die Wettbewerbsverhältnisse nicht ausreichend bekannt. Der Entscheid, wo welche Energieform beziehungsweise das Holz langfristig verwendet wird, wird in der Regel im Vergleich der Wettbewerbsfähigkeit alternativer Verwendungen getroffen. Ferner wird oft unterschätzt, wieviel vom Zusatzpotenzial bereits von konkurrierenden Dritten energetisch oder stofflich in Anspruch genommen wird. Schliesslich wird auch unterschätzt, welche Kosten bei der Produktion tatsächlich anfallen beziehungsweise welche Preise für die Ressourcen zu zahlen sind. Falsche betriebliche Investitionsentscheide und volkswirtschaftliche Fehlallokationen der Ressourcen können die Folge sein.

Gerade die Waldenergieholzpotenziale sind keine starren Grössen. Sie hängen wie oben erwähnt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Dies macht es notwendig, die Haupteinflussfaktoren zu identifizieren und ihre Wirkung im Zeitablauf zu analysieren. Diese sind ökonomischer, ökologischer und politischer Art (Tab. 2).

Tab. 1. Energieholzpotenziale der Schweiz nach Ursprungskategorien angegeben in Energiemengen (Waldholz 2017–2026, übrige Kategorien 2011; Datengrundlagen: siehe Abb. 2).

Potenziale	Gesamt		Bezüglich energetischer Nutzung						Trend beim Verbrauch	Besondere Risiken bezüglich der Verfügbarkeit
	Theoretisches Potenzial		Nachhaltiges Potenzial		Bereits genutzt		Zusätzlich nutzbar			
	TWh	PJ	TWh	PJ	TWh	PJ	TWh	PJ		
Waldholz	22,5	81,1	10,2	36,7	5,8	20,9	4,4	15,8	steigend	Zusatzpotenziale nur zu höheren Kosten realisierbar Konkurrenz mit stofflicher Nutzung
Altholz	4,1	14,6	2,3	8,4	1,8	6,4	0,6	2,0	steigend	hoher Exportanteil
Restholz	3,2	11,5	1,0	3,7	1,0	3,7	0,0	0,0	sinkend	stark abhängig vom Rundholzeinschnitt und Rundholzexport Konkurrenz mit stofflicher Nutzung
Flurholz	2,1	7,4	1,2	4,5	1,1	4,0	0,1	0,5	steigend	stark abhängig von Transportkosten
Plantagenholz	?	?	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	–	fehlende Akzeptanz
Summe	31,8	114,6	14,8	53,3	9,7	34,9	5,1	18,4		

Im Folgenden werden vor allem die ökonomischen Einflussfaktoren vertieft, weil sie einen sehr grossen Einfluss haben und vom Forstbetrieb selbst beeinflusst werden können. Politische und gesellschaftliche Faktoren werden in Kapitel 7 behandelt.

5.2 Gesamtholznutzung und Holzmarktsituationen

Ein wichtiger Einflussfaktor auf das nachhaltig nutzbare Potenzial an Waldenergieholz ist die Höhe des gesamten Holzeinschlags. Je mehr Holz insgesamt geerntet wird, desto grösser ist auch die Menge an Waldenergieholz. Dieser Zusammenhang findet seine Ursache in der Kuppelproduktion von Stamm-, Industrie- und Energieholz: Zumindest in jedem stärkeren Baum sind immer alle drei Hauptsortimente enthalten. Wenn man also Stammholz ernten will, erntet man zwangsläufig auch Industrie- und Energieholz. Insbesondere die beiden letztgenannten Hauptsortimente sind über mehr oder weniger grosse Bereiche substituierbar: Industrieholz kann zu einem grossen Teil als Energieholz verwendet werden und umgekehrt. Dies gilt in einem gewissen Umfang auch für das nicht hochwertige Stammholz. Über die Höhe des Gesamteinschlages und die tatsächliche Allokation entscheidet letztlich die Marktsituation.

Vor diesem Hintergrund wurden Modellberechnungen der Schweizer Holznutzung auf Basis des dritten Landesforstinventars (LFI3) durchgeführt (THEES *et al.* 2013). Unterstellt wurden verschiedene Szenarien der Holzernnte und Varianten der Holzmarktlage (Tab. 3). Die Szenarien B bis D unterstellen Mehrnutzungen von 25, 50 und 75 Prozent gegenüber dem Status quo der Holzernnte (Szenario A). Die Varianten des Holzmarktes werden jeweils durch eine Situation mit hoher und mit geringer (Energie-)Holznachfrage beschrieben.

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse. Man erkennt den Anstieg der Energieholzmengen bei steigender Gesamtnutzung bzw. steigender Mehrnutzung. Man erkennt auch, dass beim jeweils gleichen Szenario die Energieholzmengen bei hoher Nachfrage sehr stark zunehmen. Diese Zunahme infolge

Tab. 2. Haupteinflussfaktoren auf die Waldenergieholzpotenziale.

	Haupteinflussfaktoren		
	ökonomisch	ökologisch	politisch/ gesellschaftlich
Gesamte Holzeinschlagsmenge	Mortalität	Waldverjüngung/ Baumartenverteilung	
Holzmarkt (Holzsartierung)	Waldverjüngung	Nutzungsintensität (Totholz, Nährstoffentzug/ Zertifizierung)	
Energiemarkt			
Holzerntekosten			
Waldeigentum			

Tab. 3. Waldenergieholzpotenziale (m³ Derbholz und Reisig mit Rinde) im Zeitraum 2017 bis 2026 bei vier Nutzungsszenarien A–D und zwei Marktsituationen (Varianten 1 und 2). (Marktsituationen: Variante 1: geringe Nachfrage, Variante 2: hohe Nachfrage; SE: Schätzfehler in %; Quelle: THEES *et al.* 2013)

Szenario	Artengruppe	Variante 1		Variante 2	
		1E3 [m ³ /a]	SE [%]	1E3 [m ³ /a]	SE [%]
Szenario A «Wie bisher»	Nadelholz	1812	7	2616	7
	Laubholz	1317	5	1742	5
	Total	3128	5	4357	5
Szenario B «25 % Mehrnutzung»	Nadelholz	2168	5	3135	5
	Laubholz	1492	6	1994	6
	Total	3660	4	5129	4
Szenario C «50 % Mehrnutzung»	Nadelholz	2633	4	3819	4
	Laubholz	1779	5	2380	5
	Total	4411	4	6198	4
Szenario D «75 % Mehrnutzung»	Nadelholz	3087	4	4488	4
	Laubholz	2094	5	2809	4
	Total	5180	3	7297	3

der Holzsortierung ist sogar stärker als die Zunahme der gesamten Mehrnutzung beziehungsweise Einschlagsmenge. Damit wird deutlich, in welchem Umfang sich das durchschnittliche Potenzial von rund 4 Mio. m³/a je nach Szenario und Marktsituation ändern kann. Die Szenarien A und B können als relativ realistisch angesehen werden. Allerdings wird beim Szenario A weniger Holz genutzt als nachwächst. Wirklich nachhaltig (weil die Nutzung ungefähr dem Zuwachs entspricht) und als Mehrnutzungsziel operational ist das Szenario B (Mehrnutzung 25 %). Auf dieses Szenario beziehen sich daher die folgenden Potenzialangaben.

Zur weiteren Beurteilung der o.a. Potenziale ist darauf hinzuweisen, dass die Ernteverluste und die Flächen-

restriktionen nicht in Abzug gebracht sind. Die Ernteverluste beim Derbholz, welches energetisch genutzt wird, sind als gering anzunehmen (5–15 %); die Ernteverluste in Form von Reisig und Blättern bzw. Nadeln bei der Nutzung von Vollbäumen sind dagegen deutlich höher (30–50 %). Diese Praxisangaben aus der Schweiz liegen im Bereich der in WITTKOPF (2005) zitierten einschlägigen Untersuchungen. Flächenrestriktionen, wie vor allem Waldreservate, in denen die Nutzung untersagt ist, nehmen derzeit noch weniger als 2,5 % der Waldfläche ein; ihr Anteil steigt allerdings. Ausserdem ist noch anzumerken, dass alle Mengenangaben in Tabelle 3 nichts über deren tatsächliche Verfügbarkeit auf dem Holzmarkt aussagen.

Mit Hilfe der Nutzungsszenarien und Holzmarktvarianten sowie den Ern-

tekostenschätzungen lassen sich mögliche Unter- und Obergrenzen der Potenziale sowie ihre Variabilität ausloten und so Abschätzungen der wahrscheinlich realisierbaren Potenziale entwickeln.

Der Einfluss der Holzsortierung auf das nachhaltig nutzbare Potenzial an Waldenergieholz wurde bereits deutlich gemacht. Die Holzsortierung bestimmt auf der Grundlage von quantitativen und qualitativen Merkmalen des Holzes sowie aufgrund der erzielbaren Erlöse und der tatsächlichen Absatzmöglichkeiten, welche Teile des Baumes welcher Verwendung zugeführt werden. Vor allem die Absatzmöglichkeiten bestimmen zur Zeit, wieviel Holz als Energieholz auf den Markt gelangt.

Deshalb wurden bei den Simulationen zur Ermittlung der Energieholzpotenziale unterschiedliche Holzmarktsituationen berücksichtigt. Hierzu wurden im Vorfeld die energieholzungtauglichen Anteile bei zwei unterschiedlichen Marktsituationen bzw. Intensitäten der Energieholznutzung eingeschätzt.

Die Tabelle 4 zeigt die prozentualen Energieholzanteile in den verschiedenen Stärkeklassen bei Nadel- und

Laubholz bei einer geringen (Energie-) Holznachfrage (Variante 1) und einer hohen (Energie-)Holznachfrage (Variante 2).

Bei Variante 2 würde im Falle von Laubholz praktisch sämtliches Holz der Güteklasse D und ein Grossteil der Güteklasse C der energetischen Nutzung zugeführt. Derzeit fehlen beispielsweise Absatzmöglichkeiten für die Buche, so dass sogar ein grosser Teil des Stammholzes als Energieholz verwendet wird. Die politisch angestrebte Kaskadennutzung ist offensichtlich stark marktabhängig und findet derzeit auf breiter Front nicht statt.

5.3 Holzerntekosten

Die Waldenergieholzpotenziale hängen massgeblich davon ab, ob sie wirtschaftlich genutzt werden können. Es ist daher wichtig zu wissen, welche Energieholzmengen zu welchen Kosten bereitgestellt und welche Deckungsbeiträge an die forstbetrieblichen Gesamtkosten durch das Produkt Energieholz geleistet werden können. Bei der ersten Frage geht es darum, die kurzfristige wirtschaftliche Verfügbarkeit der Potenziale mit-

tels einer Teilkostenbetrachtung differenziert zu beurteilen. Bei der zweiten Frage steht die langfristige Verfügbarkeit der Potenziale im Rahmen einer Vollkostenbetrachtung im Zentrum. Dabei wird geprüft, inwieweit mit den Erlösen für Hackschnitzel die gesamten Kosten ihrer Bereitstellung gedeckt werden können.

Teilkostenbetrachtung

Zur Beurteilung der wirtschaftlichen Verfügbarkeit der Holzpotenziale wurden deren Bereitstellungskosten als Waldhackschnitzel ermittelt. Kalkuliert wurden Ernte-, Hack- und Transportkosten. Es handelt sich um Kostenträgereinzelkosten, das heisst, diese sind den produzierten Leistungseinheiten direkt zurechenbar. Die Erntekosten basieren auf Kalkulationen im Rahmen des LFI 3, die mit dem Holzernteproduktivitätsmodell HeProMo (FRUTIG *et al.* 2009) für jeden Stichprobenpunkt durchgeführt wurden. Detaillierte Angaben zur Berechnung finden sich in THEES *et al.* (2013).

Abbildung 4 gibt differenziert nach Nadel- und Laubholz sowie nach Produktionsregionen Aufschluss über die Bereitstellungskosten – bezogen auf die in den Potenzialen enthaltenen Energiemengen. Die Angaben beziehen sich auf den Fall einer geringen Holznachfrage sowie die Szenarien A und B. Die Bereitstellungskosten beinhalten die Kosten für das Fällen, Aufarbeiten und Rücken sowie für das Hacken und Transportieren des Energieholzes bis an den Verarbeitungsort. Die Darstellung lässt folgende Feststellungen zu: (i) Der grösste Anteil der kostengünstigen Waldenergieholzpotenziale liegt im Mittelland – dies gilt sowohl für das Nadel- als auch für das Laubholz. (ii) Es gibt etwas mehr kostengünstige Laubholzpotenziale als Nadelholzpotenziale. (iii) Die Realisierung zusätzlicher Waldenergieholzpotenziale im Szenario B (25 % Mehrnutzung) ist nur zu höheren Kosten möglich. (iv) Dabei gibt es grosse zusätzliche Potenziale beim Nadelholz vor allem in den Alpen und beim Laubholz auf der Alpensüdseite.

Die Bereitstellungskosten für das Holz sind ein Schlüsselfaktor für die Wirtschaftlichkeit der gesamten Holzenergiesysteme und damit für die Nutzung der zusätzlich nutzbaren Wald-

Tab. 4. Definition des Waldenergieholzes bei zwei Holzmarktsituationen.

Baumkompartimente	Stärkeklasse	Nadelholz [%]		Laubholz [%]	
		Variante 1 (Min)	Variante 2 (Max)	Variante 1 (Min)	Variante 2 (Max)
Schaftderbholz Ø > 7 cm in Rinde, Sortimentslänge* erreichbar	0	100	100	100	100
	1a	80	100	100	100
	1b	20	40	100	100
	2a	10	30	50	90
	2b	10	20	40	80
	3a	10	20	40	80
	3b	20	40	40	80
	4	20	40	40	80
	5	20	40	50	80
6	20	50	50	80	
Restliches Derbholz Ø > 7 cm in Rinde, keine Sortimentslänge* möglich	0–6		100		
Reisig			100		
Blätter/Nadeln			100		

* Unterstellt wird die Aushaltung der Längenklasse L1 (d.h. Kurzholz, Trämel, Mindestlänge Nadel- und Laubrundholz = 3,0 m) Zu allen Abgrenzungen wurden Stellungnahmen von Waldwirtschaft Schweiz, Holzenergie Schweiz und dem Verband Schweizerischer Forstunternehmungen eingeholt.

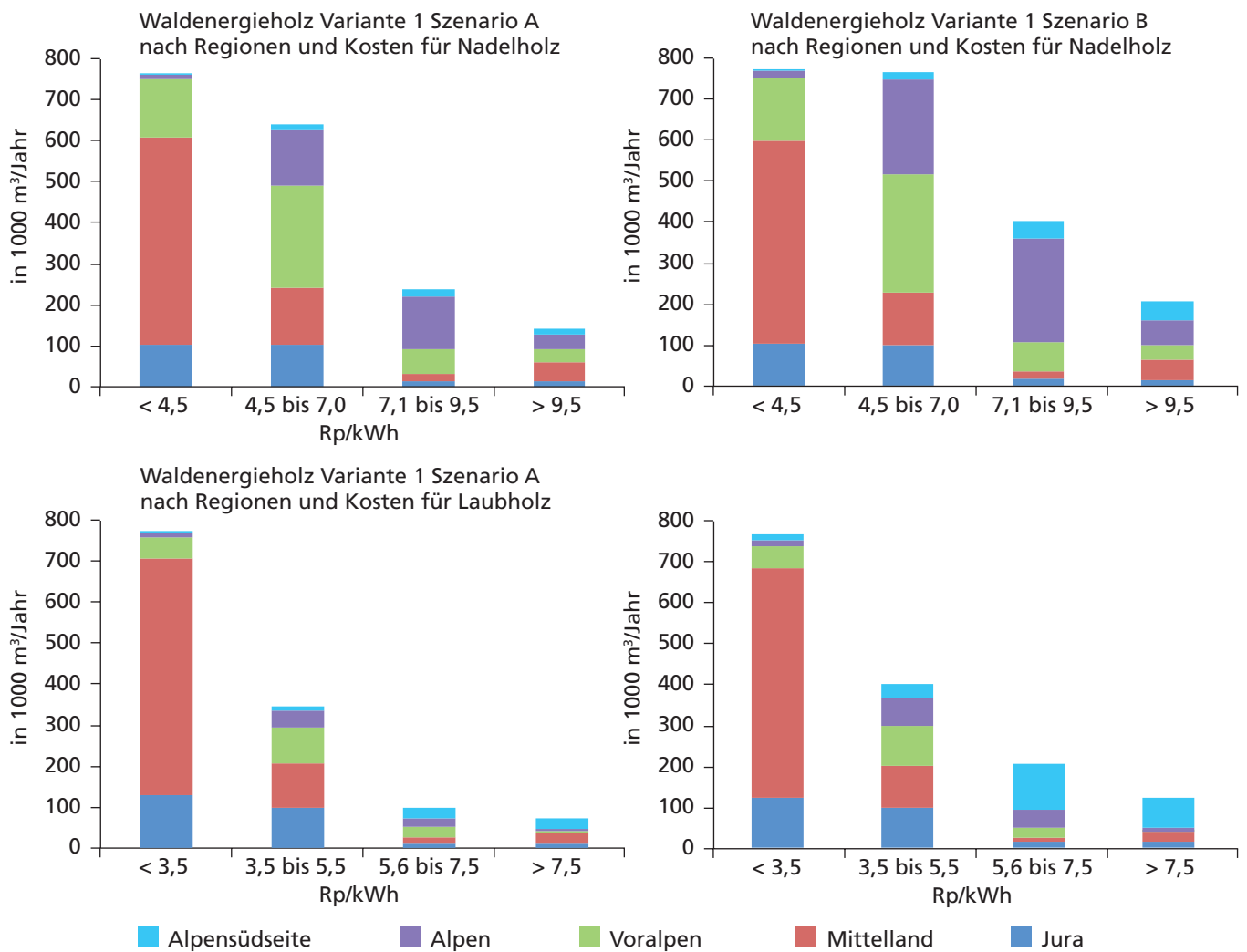


Abb. 4. Bereitstellungskosten (Ernte-, Hack- und Transportkosten) für Nadel- und Laub-Waldenergieholz (m³ Derbholz und Reisig mit Rinde) für die Nutzungsszenarien A und B bei einem wenig energieholzfreundlichen Holzmarkt (Variante 1) in der Periode 2017 bis 2026.

energieholzpotenziale. Will man die Verfügbarkeit verbessern, müssen die Kosten in der gesamten Lieferkette gesenkt werden.

Angesichts des hohen Anteils motormanueller beziehungsweise gering mechanisierter Erntemethoden sind Kostensenkungspotenziale bei der Ernte zu vermuten. Der Kostensenkung kommt eine besondere Bedeutung zu, wo sie die Nutzung zusätzlicher Potenziale im steilen Gelände ermöglicht. Möglichkeiten hierzu liegen in technischen und organisatorischen Massnahmen, wie in der Vollbaumnutzung mit Kombiseilgeräten und ähnlichen Methoden sowie in grossen Holzschlägen.

Die ausgewiesenen Bereitstellungskosten stellen grobe Schätzungen dar, um einen Überblick über die Potenziale in der ganzen Schweiz zu erhalten.

Sie streuen in hohem Mass; es ergibt sich eine Bandbreite in der Grössenordnung von 2 bis 10 Rp/kWh. Es ist zu beachten, dass sie keine Verwaltungs- und Investitionskosten beinhalten. Für den Waldeigentümer rechnet sich die Bereitstellung von Energieholz oft nicht oder nur knapp. Seine Vorteile beschränken sich (i) auf die Absatzmöglichkeit der für die stoffliche Nutzung nicht geeigneten Kuppelprodukte, sowie in der Folge (ii) auf die Vermeidung von Forstschutzproblemen im Nadelholz und von Folgekosten bei späteren Holzerntemassnahmen durch liegengelassenes Holz.

Vollkostenbetrachtung

WIDAUER (2013) hat am Beispiel des Kantons Aargau im Rahmen einer Vollkostenbetrachtung untersucht, inwieweit die gesamten Kosten der

Energieholzaufarbeitung durch ihre Erlöse gedeckt werden können. Er analysierte Aargauer Forstbetriebe auf der Grundlage der Betriebskostenabrechnung (BAR, «ForstBAR»). Die Betriebe konnten die Kosten der Holzernte von 2007 bis 2013 knapp decken. Dabei deckte der Energieschnitzelholz-Erlös die Kosten der Waldbewirtschaftung im mehrjährigen Mittel nur zu rund 67 Prozent (Abb. 5). Zusätzlich müsste der Energieschnitzelholz-Erlös aber auch die anteiligen Kosten für den Unterhalt der Waldstrassen, die Verwaltung und einen Teil der 1. Produktionsstufe (Schlagräumung, minimale Pflege, Anzeichnung) decken, um die Energieholzbereitstellung nachhaltig zu gewährleisten. Aufgrund der ForstBAR-Ergebnisse verursachte die Energieschnitzelholz-Bereitstellung Kosten von rund 91 CHF je Fm (Festmeter ≙

m³ verkauftes Holz), 50 Prozent mehr als der bisher im Durchschnitt erzielte Erlös. Diesem Wert liegen die Annahmen zu Grunde, dass die Holzernte, der Strassenunterhalt und die Verwaltung für alle Sortimenten (Stamm-, Industrie- und Energieholz) gleich viel kosten und dass von den Kosten der 1. Produktionsstufe (biologische Produktion) auf die Hackschnitzelerzeugung nur etwa ein Drittel der ausgewiesenen Kosten entfallen (kaum Bestandesbegründung, deutlich weniger intensive Pflege, kaum Wildschadenverhütung).

Die Forstbetriebe (im Aargau) müssen sich bewusst sein, dass die bisherigen Energieschnitzelholz-Preise im Durchschnitt nur etwa zwei Drittel der Bereitstellungskosten decken.

Die Preiskalkulation der Lieferanten muss sich daher auf die Vollkosten der Bereitstellung stützen, wenn die Energieholzbereitstellung langfristig nachhaltig sein soll. Dabei ist daran zu erinnern, dass Energieschnitzelholz in vielen Fällen aufgrund langfristiger Verträge geliefert wird, und sich dadurch eine zusätzliche Restriktion ergibt.

6 Energieholz-Nachfrage

6.1 Heutige Nachfrage

Wie bereits erwähnt (Kap. 3), deckt Holz vier Prozent des gesamten Schweizer Endenergieverbrauchs und rund acht Prozent des Wärmebedarfs.

Die Wärmeerzeugung macht mit rund 95 Prozent derzeit den grössten Anteil der energetischen Holznutzung aus. Der Einsatz zur Erzeugung von Strom spielt heute eine untergeordnete und die Erzeugung von Treibstoffen aus Holz ist derzeit irrelevant.

Die aktuelle Entwicklung des Energieholzverbrauchs zeigt einen steigenden Trend. Gleiches gilt für die Entwicklung des Energieholzpreises. Ausgehend von rund 3,3 Mio. m³ im Jahr 2000 steigt der jährliche Energieholzverbrauch bis heute. Seit dem Jahr 2008 liegt der Verbrauch über 4 Mio. m³. Im Jahr 2011 beträgt er 4,2 Mio. m³ (Angaben inkl. Holzeinsatz in Kehr-richtverbrennungsanlagen), im Jahr 2012 4,7 Mio. m³. Dieser Anstieg lässt sich in der Hauptsache auf die Zunahme der automatischen Feuerungen mit mehr als 50 kW Leistung zurückführen (Abb. 6).

Das Waldenergieholz hat daran den grössten Anteil, nämlich 40 bis 50%. Die Entwicklung des Verbrauchs von Waldenergieholz zeigt einen leicht steigenden Trend. Ausgehend von rund 1,2 Mio. m³ in der Periode 2000 bis 2005 steigt der jährliche Energieholzverbrauch. Seit dem Jahr 2010 liegt der Verbrauch über 1,6 Mio. m³. Im Jahr 2011 betrug er 1,7 Mio. m³. Davon wurden 56 Prozent als Stückholz und 44 Prozent als Hackschnitzel aufgearbeitet, wobei der Trend beim Hackholz steigend ist. Diese Zahlen beruhen auf den gemeldeten Holzverkäufen (Forststatistik) und beinhalten unter anderem nicht den Eigenverbrauch von Energieholz im Privatwald. Dieses bis-

her nicht quantifizierte Volumen ist beträchtlich und beträgt vermutlich einige hunderttausend Kubikmeter.

Die Allokation des Holzes zwischen stofflicher und energetischer Verwertung wird über den Preis gesteuert und begünstigt derzeit das Energieholz – die Preise für die energetische Nutzung sind zur Zeit höher: Restholzschnitzel ab Sägewerk werden bei stofflicher Verwertung mit etwa 50 CHF/Fm (18 CHF/SRm; Fm=Festmeter; SRm=Schüttraummeter) vergütet und bei energetischer Nutzung mit 78 bis 90 CHF/Fm (28 bis 32 CHF/SRm). Waldholz wird bei stofflicher Verwertung mit etwa 40 bis 50 CHF/Fm vergütet und bei energetischer mit rund 60 CHF/Fm. Die Wettbewerbsfähigkeit des Produktes Waldenergieholz (Hackschnitzel) scheint dabei allerdings, wie in Kapitel 4 gezeigt, nicht gegeben zu sein. Bei der stofflichen Verwertung als Industrieholz sieht die Bilanz jedoch noch schlechter aus.

Die Abrechnung der Energieholzliefereien erfolgt bei automatisierten Feuerungen anhand der erzeugten Energiemengen. Bei dem derzeit für Waldholz üblichen Erlös von 5 Rp/kWh und einem durchschnittlichen Energieinhalt 800 kWh/SRm³ ergibt sich ein Preis von 70 CHF/Fm. Das Ergebnis hängt stark von der Qualität (Energieinhalt) der Lieferungen ab, wobei die Feuchte des Materials eine wichtige Rolle spielt. Bei einem Erlös von 6 Rp/kWh und einem durchschnittlichen Energieinhalt von 800 kWh/SRm³ ergibt sich ein Preis von 90 CHF/Fm, womit die Vollkosten gedeckt werden könnten.

Angesichts dieser Ergebnisse sei daran erinnert, dass bezogen auf den Energieinhalt Holzbrennstoffe meist deutlich weniger kosten als Heizöl. Dies trifft besonders für Hackschnitzel zu. Für Heizöl liegen die Preise derzeit bei 10 bis 11 Rp/kWh. Allerdings erfordert eine Hackschnitzelheizung höhere Investitionen. Die Situation wird deutlich komplexer, wenn man auch die anderen Energieholzkategorien, die verschiedenen Anlagentechnologien und alle möglichen Energieformen in die Betrachtung einbezieht. Abbildung 7 gibt hierzu einen Überblick über die aktuelle Situation in der Schweiz.

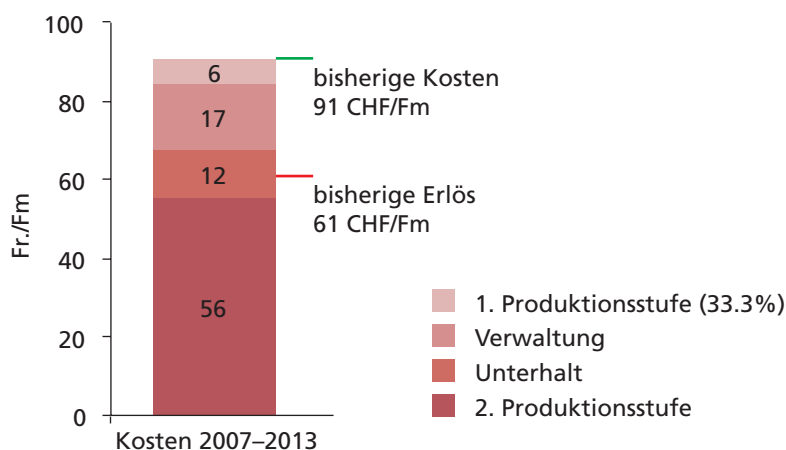


Abb. 5. Gegenüberstellung der Kosten der Energieschnitzelholz-Bereitstellung mit den Energieschnitzelholz-Erlösen in den Aargauer BAR-Betrieben 2007 bis 2013 (WIDAUER 2013).

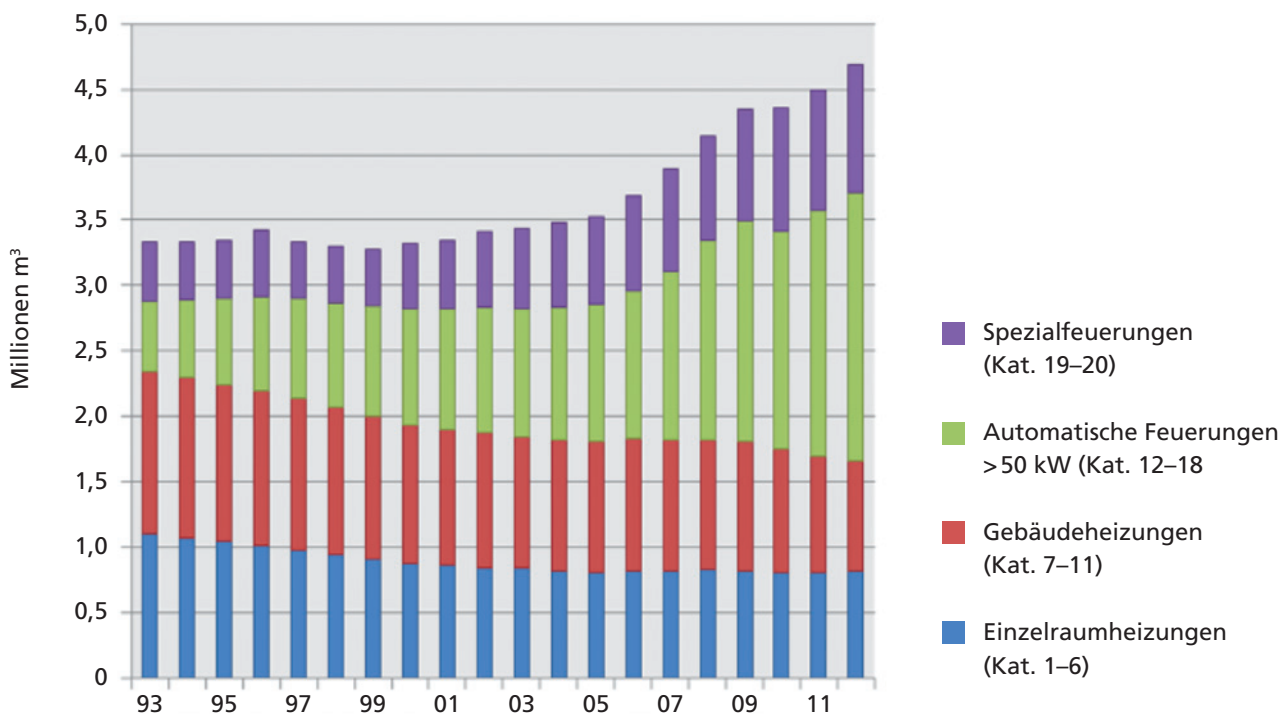


Abb. 6. Gesamter Energieholzverbrauch in der Schweiz nach Feuerungstyp zwischen 1993 und 2012 (in Mio. m³). Quelle: BFS 2013b.

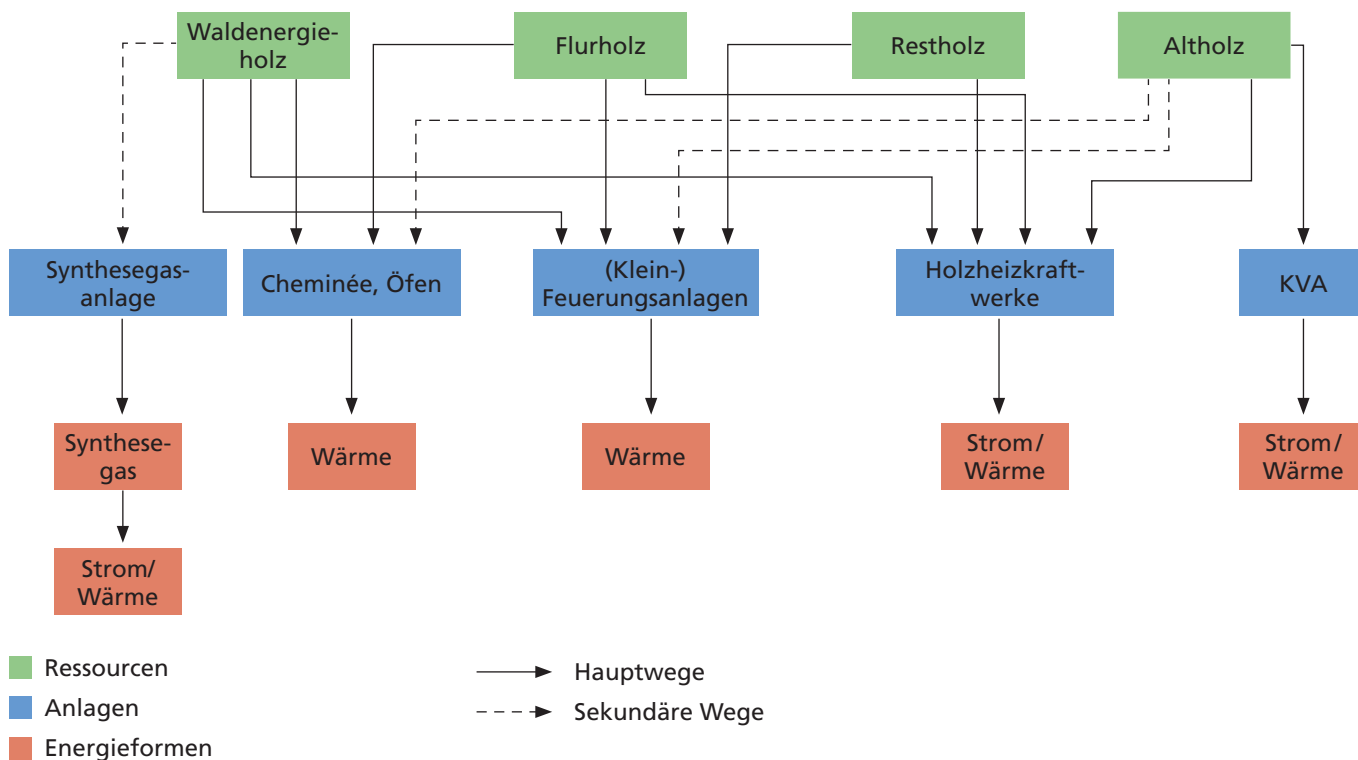


Abb. 7. Heutige Situation der Stoffströme des Energieholzes in der Schweiz unter Berücksichtigung der Quellen, Anlagen und Energieformen seiner Nutzung.

6.2 Zukünftige Nachfrage

Der Ausstieg aus der Kernenergie sowie die für die Erreichbarkeit der Klimaziele aktuell zu hohen CO₂-Emissionen konventioneller Kraftwerke machen den Umbau des Schweizer Energiesystems notwendig. Fluktuierende erneuerbare Energien, vor allem aus Photovoltaik- und Windenergieanlagen, könnten in Zukunft eine zentrale Rolle im Energiesystem spielen. Durch die unregelmässige Stromerzeugung mit Sonne und Wind erfahren die Speicherung und die bedarfsgerechte Verfügbarkeit von Elektrizität eine neue Bedeutung. Es ergibt sich die besondere Anforderung, die Versorgungssicherheit durch Vernetzung und Steuerung auf der gesamten Strecke von Produktion, Speicherung, Transport und Verbrauch zu gewährleisten (dynamisches Lastmanagement, intelligente Stromnetze). Ein stabiles System von wenigen, grossen Energieversorgern wird abgelöst. An seine Stelle tritt eine vermehrt unregelmässige Produktion vieler, eher kleiner Produzenten. Akzeptanz und Beteiligung der Verbraucher sind neben der Umwelt- und Klimaverträglichkeit, der Versorgungssicherheit und der Wirtschaftlichkeit ebenfalls wichtig. Die Entwicklung läuft auf ein dezentral organisiertes System der Stromproduktion mit erhöhten Anteilen erneuerbarer Energien hinaus. Es stellt hohe Anforderungen an die Flexibilität und die Wirtschaftlichkeit der beteiligten Akteure.

Der Wandel zu einer nachhaltigen Energieversorgung – nicht nur mit Strom, sondern auch mit Wärme und Treibstoffen – rückt bestimmte Anforderungen des Energiesystems in den Vordergrund. Es entsteht ein Bedarf

- an Energieträgern, die eine Substitution fossiler Energieträger ermöglichen,
- an lagerfähigen und flexibel einsetzbaren Energieträgern zur Kompensation fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung (z.B. via SNG-Herstellung und Gasnetz),
- an kohlenstoffbasierten erneuerbaren Energieträgern, insbesondere für den Kraftstoffbedarf im Mobilitätssektor (z.B. Kraftstoffe für LKW-Transporte auf der Langstrecke und für den Luftverkehr).

Biomasse und insbesondere Holz erfüllt im Gegensatz zu den anderen erneuerbaren Energieträgern alle diese Anforderungen. Ein Alleinstellungsmerkmal der Biomasse ist, dass sie die einzige erneuerbare Energie darstellt, die Kohlenstoff enthält. Es gibt also Bereiche des Verbrauchs, in denen ein Ausweichen auf andere nachhaltige Ressourcen nur bedingt möglich ist. Wo langfristig welche Energieform verwendet wird, entscheidet sich immer auf der Basis der Wettbewerbsfähigkeit bezüglich alternativer Verwendungen.

Will man die mittel- und langfristige Nachfrage beurteilen, ist man mit verschiedenen Überlegungen bezüglich der Mengen und der Effizienz des energetischen Holzeinsatzes konfrontiert:

Die Energiestrategie 2050 geht im Szenario Neue Energiepolitik (NEP) nach KIRCHNER *et al.* (2012) davon aus, dass Holz im Gegensatz zur heutigen Situation mittel- und langfristig (bis 2050) vermehrt zur Erzeugung von Strom eingesetzt wird. Der Einsatz von Holz zur Erzeugung von Wärme soll dagegen stark zurückgehen. Das Szenario geht weiter von einer starken Zunahme der Biotreibstoffe aus, woraus man eine Zunahme der Nachfrage nach Holz ableiten könnte. Allerdings sagt das Szenario nichts darüber aus, welche Rohstoffe für die Biotreibstoffe vorgesehen sind. In welcher Energieform das Holz eingesetzt wird, entscheidet sich aber letztlich lokal vor Ort auf der Basis seiner Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu technologisch möglichen Alternativen.

Biogas aus Holz und anderen Biomassen in Erdgasqualität, erzeugt und eingespeist in das Gasnetz, ermöglicht ein flexibles und nachfrageorientiertes Energieangebot: Es kann in verbrauchsarmen Zeiten problemlos gespeichert und bei Bedarfsspitzen oder wenn andere erneuerbare Energieträger nicht zur Verfügung stehen, zur Deckung des Wärme- und Strombedarfs herangezogen werden. Mit Holz lässt sich so eine höhere Wertschöpfung erzielen und zu einer CO₂-reduzierten Energieversorgung beitragen. Der Forstbetrieb als Energieholzlieferant (und Teil der Produktionskette des gasförmigen Treibstoffes) wird so trotz der limitierten Ressource zu einem wichtigen Dienstleister im Ener-

giesektor, in dem er ein flexibles und nachfrageorientiertes Energieangebot ermöglicht.

Förderlich für die Nachfrage wird ausserdem auch sein, dass die Erzeugung von Wärme und Strom aus Holz eine hohe Substitutionswirkung mit einer bis zu 90%-igen Reduktion fossiler CO₂-Emissionen erzielt NUSSBAUMER (2013).

Damit wird deutlich, dass das Holz eine wichtige Rolle im Energiesystem der Zukunft spielen kann: einerseits als direkter Lieferant benötigter Energie in Form von Wärme, Strom und Treibstoff sowie andererseits als Dienstleister im Energiesystem und im Klimaschutz.

7 Politische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen

7.1 Laubholzförderung

Die Wahl der Baumarten ist in Folge der langen Produktionszeiträume eine weitreichende Entscheidung im Forstbetrieb und obliegt grundsätzlich dem Eigentümer. Die Baumartenzusammensetzung bestimmt massgeblich das wirtschaftliche Ergebnis der Forstbetriebe und die ökologische Leistungsfähigkeit des Waldes. Deshalb nehmen die Kantone Einfluss auf die Baumartenwahl des Waldeigentümers. Die forstpolitische Tendenz zu naturnahen Wäldern mit vorwiegend standortheimischen Baumarten führte zu einer starken Förderung des Laubholzes auf Kosten der früher üblicheren Pflanzung von Nadelholz.

Darüber hinaus bestimmt die Baumartenzusammensetzung auch die Grösse der Energieholzpotenziale: Je grösser der Laubholzanteil, desto grösser das Energieholzpotenzial (vgl. Tab. 4). Das Beispiel der Baumartenwahl zeigt eine Einflussnahme des Staates, die zu langfristigen Potenzialveränderungen führt, die sich in diesem Fall positiv auf die Energieholzpotenziale auswirken.

Langfristig, über einen Zeitraum von fast 100 Jahren, nehmen die Waldenergieholzpotenziale in der Schweiz zu (Abb. 8). Die Nadelholzpotenziale nehmen ab und die Laubholzpotenzi-

ale (mit ihren geringeren Stammholz- und grösseren Energieholzanteilen) nehmen zu. Wichtige Ursachen dieser Entwicklung sind die laubholzfördernde Waldpolitik, die grossen Sturmergebnisse Vivian und Lothar, bei denen viel Nadelholz geworfen wurde, sowie die klimabedingte Nadelholzmortalität bzw. die durch extreme Hitzeperioden bedingten Käferkalamitäten.

7.2 Waldzertifizierung

Abbildung 9 zeigt die zu erwartenden Potenziale bezogen auf Energiemengen, wie sie sich nach Baumkompartimenten zusammensetzen. Gegenüber den bisherigen Darstellungen ist nun der gesamte oberirdische Baum inklusive der Nadeln und Blätter erfasst. Der Anteil von Reisig und Nadeln beträgt je nach Marktsituation ein Viertel (Variante 2) bis ein Drittel (Variante 1) des gesamten Potenzials und stellt somit eine relevante Möglichkeit der energetischen Mehrnutzung dar. Diese Option bietet sich im Nadelholzbereich, wo es noch ungenutzte Potenziale im steilen Gelände gibt und wo die Vollbaumnutzung eine sehr effiziente Methode darstellt, die Erntekosten zu senken und zugleich zusätzliche Energieholzpotenziale zu nutzen. Die Vollbaumnutzung kommt derzeit auf 12 Prozent der Waldfläche zur Anwendung, in den Alpen und Voralpen sogar etwas häufiger (BRÄNDLI 2010). Hier stellt diese Erntemethode vor allem auch für die Bewirtschaftung des Schutzwaldes eine wirtschaftlich effiziente Methode dar.

Durch die Vollbaumnutzung erhöht sich der Nährstoffentzug und es kann je nach Ausgangssituation des Waldstandortes und je nach Intensität der Nutzung zu Beeinträchtigungen der Nährstoffversorgung kommen. Allerdings verbleibt schon bei der Ernte ein relevanter Teil des Reisigs, der Blätter und Nadeln im Wald. Negative Auswirkungen lassen sich vermindern, in dem die Zahl der Eingriffe mit Vollbaumnutzung im Leben eines Waldbestandes reduziert und grosse Teile der Baumkronen im Bestand belassen werden. Da ausserdem hohe Nährstoffgehalte eine thermische Nutzung erschweren (NUSSBAUMER 2013), ist es in der Regel sinnvoll, dieses nähr-

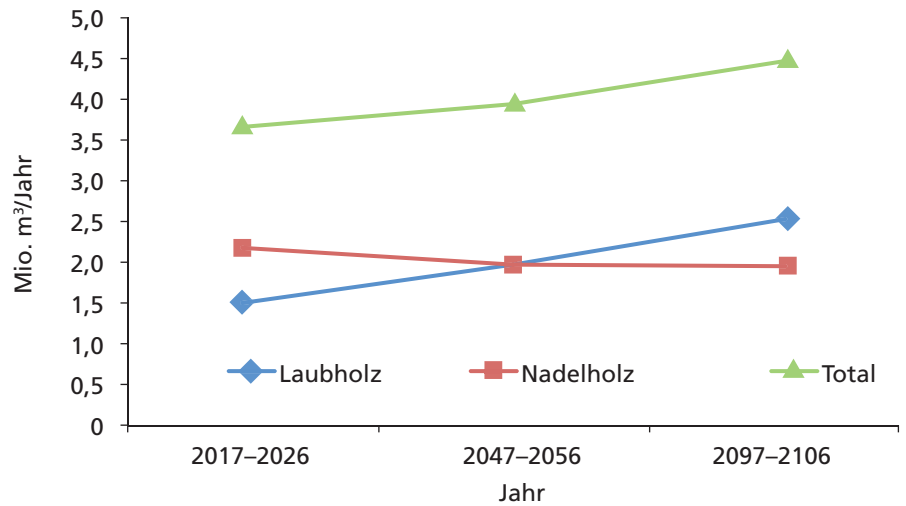


Abb. 8. Langfristige Entwicklung der Waldenergieholzpotenziale (m³ Derbholz und Reissig mit Rinde) beim Nadel- und Laubholz (THEES *et al.* 2013, Szenario B, Variante 1).

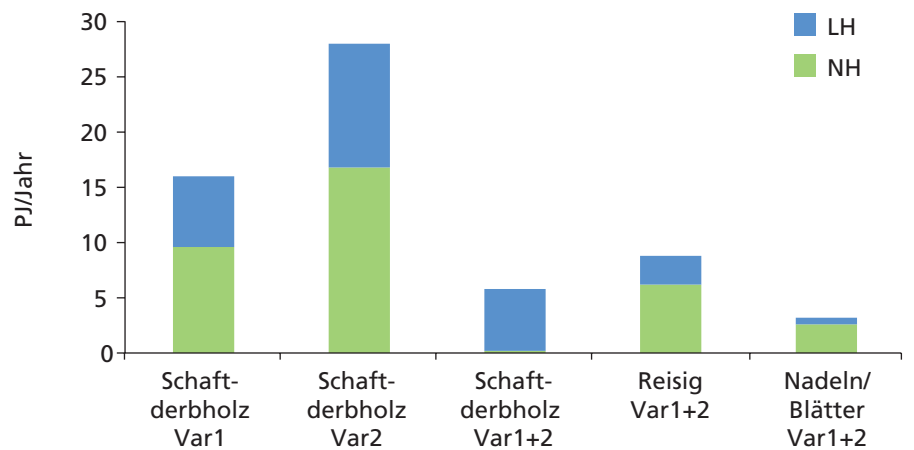


Abb. 9. Energiemengen der Waldenergieholzpotenziale aufgeschlüsselt nach Baumkompartimenten für das Nutzungsszenario B und zwei Holzmarktvarianten (Variante 1 und Variante 2) in der Periode 2017 bis 2026. Quelle: THEES *et al.* 2013.

stoffreiche Material (mit zudem hohem Wassergehalt) grösstenteils im Wald zu belassen. Es ist heute möglich und lohnenswert, diese Aspekte im Sinne einer umfassenden Nachhaltigkeit zu koordinieren. Hierfür liegen erste Grundlagen vor, zum Beispiel ein Nährstoffbilanzierungsmodell, um die Eignung Schweizer Waldstandorte für verschiedene Nutzungsvarianten hinsichtlich des Nährstoffentzugsrisikos zu beurteilen (LEMM *et al.* 2010).

Ohne dieses ökologische Risiko differenziert zu betrachten, gestattet der FSC Deutschland die Nutzung von Astmaterial unterhalb der Derbholzgrenze seit Anfang des Jahres nicht mehr. Deshalb kam die Bereitstellung von Energieholzhackschnitzeln im Staatswald einiger Bundesländer zum Erliegen

(z.B. in Baden-Württemberg; vgl. Holzenergie-Fachverband Baden-Württemberg, 2014 und FUS 2014). Das Beispiel der Zertifizierung zeigt eine Einflussnahme der Politik, die zu sehr kurzfristigen, beträchtlichen Potenzialveränderungen führt und sich in diesem Fall negativ auf die Energieholzpotenziale auswirken.

Das Reisig stellt mit 7,2 PJ (2000 GWh) bzw 8,7 PJ (2417 GWh) ein relevantes Potenzial dar. Dabei entfallen in beiden Fällen 71 Prozent auf das Nadelholzreisig. Nadeln und Blätter haben einen Anteil von vier beziehungsweise drei Prozent und stellen eine Energiemenge von 2,1 PJ (583 GWh, Szenario A) beziehungsweise 3,5 PJ (972 GWh, Szenario B) dar. Dabei entfallen in beiden Fällen 84 Prozent auf die Nadeln.

8 Wirkungen auf andere Ökosystemleistungen

Die Auswirkungen der Energieholznutzung auf die Landschaft, also auf Wald und Flur, lassen sich anhand der Ökosystemdienstleistungen gesamthaft beurteilen. Eingeschätzt wurden Chancen und Risiken der Nutzung von Wald- und Flurholz für die energetische Verwendung. Energieholzplantagen sind ausgenommen. Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse anhand beispielhafter, nicht abschliessender Beurteilungskriterien.

Energieholznutzung birgt eine ganze Reihe von Risiken. Ihnen stehen jedoch Chancen gegenüber, welche die Risiken vermindern beziehungsweise kompensieren können. In der Summe dürften in der Schweiz – vor allem kurz- und mittelfristig – keine gravierenden negativen Folgen für die Ökosystemleistungen zu erwarten sein.

Vor allem im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien sind weniger Akzeptanzprobleme zu erwarten. Dies vor allem, weil oder solange Energieholzplantagen nicht vorgesehen und keine grossen, sichtbaren Infrastrukturen für die Energieholzproduktion notwendig sind. Akzeptanzprobleme bei temporären, hochmechanisierten Erntemassnahmen können allenfalls durch die positive Wirkung eines traditionell aufgeräumten Waldes kompensiert werden. Den Problemen der Luftreinhaltung kann mit technischen und rechtlichen Mitteln begegnet werden.

Die Gefahr einer Übernutzung des Schweizer Waldes ist gesamthaft nicht gegeben, da derzeit eine Phase der

Unternutzung andauert. Allerdings sind lokale und regionale Übernutzungen nicht auszuschliessen und stellen ein Risiko dar. Für den Umgang mit diesem Risiko hat die nachhaltige Forstwirtschaft Regelungen und Instrumentarien geschaffen. Es sind dies die hoheitliche Nachhaltigkeitskontrolle und die betrieblichen Wirtschaftspläne, deren Operationalität und Tauglichkeit jedoch in der Schweiz, in erster Linie durch eine zweckmässige Betriebsinventur, verbessert werden muss. Ein grosses Risiko besteht aber gleichwohl in der mangelnden Wettbewerbsfähigkeit des Waldenergieholzes, weil diese langfristig einerseits die Versorgungs- und Klimaziele und andererseits die wirtschaftliche Situation der Forstbetriebe selbst gefährdet.

9 Schlussfolgerungen

Um die Rolle des Energieholzes im Energiesystem in der Zukunft zu definieren, wurden Angebot von und Nachfrage nach Energieholz heute und in Zukunft beleuchtet. Es zeigt sich, dass

- das Waldholz und das Waldmanagement eine Schlüsselrolle einnehmen,
- negative Auswirkungen auf die Landschaft gering gehalten werden können,
- letztlich auf beiden Marktseiten Chancen und Risiken auszumachen sind.

Auf der Angebotsseite gibt es politische und rechtliche sowie manage-

ment- und marktbedingte Risiken, welche die Potenziale und damit die Versorgung negativ beeinflussen können. Trotzdem weisen die Energieholzpreise und auch das Energieholzangebot von 2000 bis 2012 einen steigenden Trend auf. Es zeigt sich, dass letztlich die ökonomischen Faktoren entscheidend sind. Sie bestimmen die Mobilisierung der im Wald noch in grösserem Umfang vorhandenen Potenziale und die Allokation der Ressource. Sie bestimmen die Nachhaltigkeitswirkungen der Energieholznutzung. Besonders festzuhalten gilt: Eine nicht kostendeckende Bereitstellung von Waldenergieholz gefährdet langfristig die Versorgung und die Forstbetriebe selbst.

Schliesslich muss man sich bezüglich der Verfügbarkeit der Potenziale im Klaren sein, dass der Entscheid, wo welche Energieform genutzt bzw. das Holz langfristig verwendet wird, auf Basis der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Alternativen getroffen wird. Es geht also darum, die Wettbewerbsfähigkeit des Produktes Energieholz durch Kostensenkung nachhaltig zu sichern. Bezüglich der Waldenergieholzpotenziale bestehen noch Unsicherheiten beim zusätzlich nutzbaren Potenzial, weil der aktuelle Verbrauch im Privatwald schwer abzuschätzen ist.

Auf der Nachfrageseite wurden vor allem Chancen der Energieholznutzung identifiziert. Diese bestehen

(i) in der Möglichkeit zusätzlicher, höherwertiger energetischer Verwendungen. Sie ergeben sich durch die Technologieentwicklung, welche die

Tab. 5. Auswirkungen der Energieholzproduktion in Wald und Flur auf verschiedene Ökosystemdienstleistungen.

Ökosystemdienstleistungen	Kriterium	Risiken	Chancen
unterstützende	Nährstoffkreislauf Biodiversität	Nährstoffentzug Ascheausbringung Minderung Tothholzaufkommen	Optimierung Dekontamination Umwelt
bereitstellende	Rohstoffe (Holz)	Übernutzung einseitige Ausrichtung auf die Energieholzproduktion mangelnde Wettbewerbsfähigkeit mangelnde Kaskadennutzung	Wertschöpfung Kohlenstoff-Ressource langfristig Aufkommenssteigerung steigender Laubholzanteil (positiv für Energieholz)
regulierende	Klima	Feinstaub	CO ₂ -Substitution Forstschutz
kulturelle	Erholung	Akzeptanz Ernte	aufgeräumter Wald

Produktion von Synthesegas ermöglicht, oder die Dezentralisierung des Energiemarktes, welche die dezentrale Produktion von Strom mittels Wärmekraftkopplung befördert;

(ii) in den positiven Auswirkungen auf den Klimaschutz durch den Ersatz fossiler Brennstoffe.

Es wird davon ausgegangen, dass die genannten Vorteile zu einer erhöhten Nachfrage nach Energieholz führen. Diese lässt, verbunden mit den begrenzten Potenzialen *ceteris paribus* höhere Preise für das Energieholz erwarten, welche zur Deckung der vollen Kosten der Energieholzproduktion und zur Mobilisierung zusätzlicher Potenziale beitragen können.

Die Analyse der Angebotsseite hat gezeigt, dass die Energieholzproduktion im Wald ökonomische und ökologische Risiken für die Nachhaltigkeit und damit für die langfristige Versorgung birgt. Diese Risiken lassen sich vermindern: Zunächst durch Verzicht auf eine einseitige Ausrichtung der Waldbewirtschaftung auf die Energieholzproduktion. Durch die vollständige Abschöpfung des Waldholzzuwachses könnte die verfügbare Energieholzmenge in zweifacher Hinsicht gefördert werden: einerseits direkt durch die Zunahme des Waldenergieholzes und andererseits indirekt durch den Anstieg der energetisch nutzbaren Restholzmenge. Vor diesem Hintergrund ist eine nachhaltige, restriktivere Vorgehensweise bei der Einrichtung von Totalreservaten anzuraten. In Zusammenhang mit der ökologischen Nachhaltigkeit ist die Nährstoffentzugsproblematik bei der Holzernte zu beachten. Die Risiken der Vollbaumnutzung sind mit geeigneten Nährstoffbilanzierungsmodellen im Rahmen der Nutzungsplanung abzuschätzen und zu minimieren. Eine pauschale Handhabung der Problematik gemäss FSC Deutschland erscheint im Hinblick auf eine nachhaltige Waldbewirtschaftung suboptimal. Um die Produktion gemäss obiger Anforderungen zu gestalten, ist eine zweckmässige Betriebsinventur zu etablieren sowie Planungs- und Steuerungswerkzeug zur Verfügung zu stellen, die es erlauben, die Nachhaltigkeit zuverlässig zu beurteilen und die Nutzung zu optimieren.

Zusammenfassend bestehen die Chancen der Energieholznutzung darin, dass (i) die nachhaltigen Potenziale der vorhandenen Ressourcen ausgeschöpft werden und (ii) diese Ressourcen so eingesetzt werden, dass eine möglichst hohe Wertschöpfung erzielt wird und (iii) es gelingt, den Beitrag des Holzes zur «Green Economy» erfolgreich umzusetzen und zu kommunizieren.

10 Literatur

- BAFU Bundesamt für Umwelt, 2013a: Jahrbuch Wald und Holz 2012. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand: 174 S.
- BAFU Bundesamt für Umwelt, 2013b: Energieholzpotenziale ausserhalb des Waldes; In: LEHNER, L.; KINNUNEN, U.; WEIDNER, J.; LEHNER, J.; PAULI, B.; MENK, J., 2014: Branchenanalyse, Analyse und Synthese der Wertschöpfungskette, Wald und Holz in der Schweiz. 345 S.
- BALLMER, I.; THEES, O.; LEMM, R., 2014: Umsetzungsbeispiel Energiewende Aargau. Erneuerbare Energien in der Gesamtschau der einzelnen Energieträger. Forum für Wissen 2014. WSL Ber. 21: 51–68.
- BFE Bundesamt für Energie, 2013a: Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Ausgabe 2012: 73 S.
- BFE Bundesamt für Energie, 2013b: Schweizerische Holzenergiestatistik. Erhebung für das Jahr 2012: 75 S.
- BFS Bundesamt für Statistik, 2014a: Eidgenössische Holzverarbeitungserhebung. Auch auf: <http://www.agr.bfs.admin.ch>, letzte Sichtung: 06.10.2014.
- BFS Bundesamt für Statistik, 2014b: Schweizerische Forststatistik. Interaktive Statistikdatenbank STAT-TAB. Auch auf: <http://www.pxweb.bfs.admin.ch>, letzte Sichtung: 15.09.14
- BRÄNDLI, U.-B. (Red.) 2010: Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Bern, Bundesamt für Umwelt, BAFU. 312 S.
- FRUTIG, F.; THEES, O.; LEMM, R.; KOSTADINOV, F., 2009: Holzernteproduktivitätsmodelle HeProMo - Konzeption, Realisierung, Nutzung und Weiterentwicklung. In: THEES, O.; LEMM, R. (Hrsg.) Management zukunftsfähiger Waldnutzung. Grundlagen,

Methoden und Instrumente. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; Zürich, VDF. 441–466.

- FUS, 2014: Verfassungsbeschwerde gegen FSC. Auf <http://www.fus-efs.ch/startseite/infos/aktuell/verfassungsbeschwerde-gegen-fsc/>
- Holzenergie-Fachverband Baden-Württemberg, 2014: Baden-Württemberg: FSC-Zertifizierung kontra Energiewende? Auf <http://www.forstpraxis.de/baden-wuerttemberg-fsc-zertifizierung-kontra-energie-wende>
- KIRCHNER, A.; ESS, F.; GREBEL, T.; HOFER, T.; KEMMLER, A.; LEY, A.; PIÉGSA, A.; SCHÜTZ, N.; STRASSBURG, S.; STRUWE, J., 2012: Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000–2050, Ergebnisse der Modellrechnungen für das Energiesystem. 842 S.
- LEHNER, L.; KINNUNEN, U.; WEIDNER, J.; LEHNER, J.; PAULI, B.; MENK, J., 2014: Branchenanalyse, Analyse und Synthese der Wertschöpfungskette, Wald und Holz in der Schweiz. 345 S.
- LEMM, R.; THEES, O.; HENSLER, U.; HÄSSIG, J.; BÜRGI, A.; ZIMMERMANN, S., 2010: Ein Modell zur Bilanzierung des holzerntebedingten Nährstoffentzugs auf Schweizer Waldböden. Schweiz. Z. Forstwes. 161, 10: 401–412. doi: 10.3188/szf.2010.0401
- NUSSBAUMER, T., 2013: Entwicklungstrends der Holzenergie und ihre Rolle in der Energiestrategie 2050. Schweiz. Z. Forstwes. 164: S. 389–397. doi: 10.3188/szf.2013.0389
- STUEBING, B.; ZAH, R.; WAEGER, P.; LUDWIG, C., 2010: Bioenergy in Switzerland: Assessing the domestic sustainable biomass potential. *Renew. Sustainable Energy Rev.* 13: 2256–2265.
- THEES, O.; KAUFMANN, E.; LEMM, R.; BÜRGI, A., 2013: Energieholzpotenziale im Schweizer Wald. *Renew. Sustainable Energy Rev.* 164, 12: 351–364.
- WIDAUER, C., 2013: Kosten der Energieschnitzelholzbereitstellung. Überlegungen zum Schnitzelpreis. Unterlagen zum Referat im Rahmen des Energieholz-Workshops vom 11 April 2013 in Bremgarten: 11 S.
- WITTKOPF, S., 2005: Bereitstellung von Hackgut zur thermischen Verwertung durch Forstbetriebe in Bayern. Weihenstephan: Technische Universität München, Dissertation: 209 S.

Abstract**The potential, opportunities and risks of using energy wood: the role of wood in Switzerland's energy system**

Current and future supply and demand for energy wood will be studied to determine which role energy wood will play in Switzerland's future energy system. The potential of forest wood, farmland wood, plantation wood, industrial wood residues and waste wood will be analysed to establish supply levels. Forest wood shows the most potential. It will be used as an example to demonstrate how economic and political factors in particular could influence availability respectively potential in the short and long term. As for demand, current consumption of energy wood and predicted future changes in the use of wood for energy will be depicted, indicating increased demand and improved use of wood. This will conclude that wood can play an important role in the energy system of the future, as it both provides the required energy in the form of heat, electricity and fuel and can help to achieve climate goals. It will also demonstrate that forest wood and forest management are crucial when it comes to supply and the sustainability of use. Any negative impact that the use of energy wood has on the environment could be kept to a minimum.

Keywords: energy wood, forest wood, farmland wood, waste timber, matured timber, potential, wood market, wood harvesting costs, energy system