

# Wald-Energieholzaufkommen in Baden-Württemberg – Bereitstellungskosten und Standortanalyse

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)

(Mit 4 Abbildungen und 2 Tabellen)

G. KAPPLER<sup>✉</sup>, B. KOCH<sup>\*</sup> und L. LEIBLE

(Angenommen Monat 2010)

## SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

*Waldrestholz; Wald-Energieholz; Standortanalyse; Bereitstellungskosten.*

*Forest residues; forest energy wood; locations analysis; supply costs.*

## 1. EINLEITUNG

Ein wesentlicher Eckpunkt zur Untersuchung der Umsetzbarkeit und Realisierungschancen der auf Biomasse gestützten Energiebereitstellungsketten bildet die Kenntnis um die Potenziale, deren Aufkommensort und Verfügbarkeit. So wurde in einem Artikel der AFJZ-Ausgabe (180. Jahrgang Heft 5/6) dargelegt (KAPPLER et al., 2009), dass in Baden-Württemberg noch ungenutzte Potenziale<sup>2)</sup> des mengenmäßig bedeutendsten Bioenergieträgers Wald-Energieholz<sup>3)</sup> für eine energetische Nutzung zur Verfügung stehen. Schließlich verbleiben unter den gegenwärtig gegebenen ökonomischen und technischen Rahmenbedingungen schätzungsweise 85% dieses Potenzials ungenutzt im Wald.

Allerdings wird die an einem bestimmten Ort zur Verfügung stehende Menge an Wald-Energieholz, welche dem Wald tatsächlich entnommen und einer energetischen Nutzung zugeführt werden kann, maßgeblich durch den Marktpreis und die vor Ort gegebene Kostensituation bezüglich der Erschließung bestimmt. So wird aufbauend auf dem bereits erschienenen Artikel im Folgenden auf die Bereitstellungskosten der dargelegten Wald-Energieholzpotenziale eingegangen. Dabei wurden für die Ableitung der Kostensituation neben dem Holzsortiment auch Gelände- und Eigentumsverhältnisse mit berücksichtigt. Durch den Einsatz eines geografischen Informationssystems konnte hieraus eine kartografische Darstellung zu den Bereitstellungskosten (frei Waldstraße) abgeleitet werden, wobei als kleinste räumliche Bezugsgröße die einzelnen Gemeinden Baden-Württembergs gewählt wurden.

Die Bildung gemeindespezifischer Bereitstellungskosten erlaubt, durch Vorgabe bzw. Variation eines fiktiven Marktpreises, diejenige Menge an Wald-Energieholz abzuschätzen, die sich in Abhängigkeit von diesem Preis ergibt. Ausgehend von den dargelegten Ergebnissen werden in diesem Artikel zudem für drei exemplarisch ausgewählte Standorte bzw. Einzugsgebiete die Aufkommens- und Kostensituation einer genaueren Betrachtung unterzogen. Schließlich ist es für die Auswahl von Standorten für Biomasseheiz(kraft)werke unabdingbar, das verfügbare Aufkommen und die Bereitstellungskosten für einen bestimmten Anlagenstandort möglichst genau abschätzen zu können.

<sup>\*</sup>) Universität Freiburg, Institut für Forstökonomie, Abteilung FELIS.

<sup>✉</sup>) E-Mail: [kappler@kit.edu](mailto:kappler@kit.edu)

<sup>2)</sup> In diesem Artikel wurde für Baden-Württemberg ein verfügbares Aufkommen von 1,2 Mio. Megagramm Trockenmasse (Mg TM) abgeleitet, von dem wiederum rund 0,9 Mio. Mg als leicht verfügbar eingestuft wurden.

<sup>3)</sup> Zur Begrifflichkeit: Wald-Energieholz schließt neben dem Waldrestholz auch Schwachholz sowie Anteile des nichtverwerteten Abgangs und des Stammholzes mit ein.

## 2. METHODIK

Die realitätsnahe Abbildung ortsspezifischer Bereitstellungsprozesse und -kosten von Wald-Energieholz ist mit besonderen methodischen Schwierigkeiten verbunden. Schließlich stellt dessen Bereitstellung frei Waldstraße bzw. Sammelplatz in Form von Hackschnitzel einen sehr anspruchsvollen Prozess dar. Welches Verfahren in der Praxis tatsächlich eingesetzt wird, muss von Fall zu Fall entschieden werden und hängt von einer Reihe von Faktoren ab, z.B. der Erschließungssituation, der Hiebsmenge, der Qualitätsanforderung, den Transport- und Lagermöglichkeiten, etc. (KANZIAN et al., 2006). In diesem Artikel ist nicht beabsichtigt, die einzelnen Verfahren zu untersuchen bzw. zu diskutieren. Bezüglich der hier dargelegten Bereitstellungskosten von Wald-Energieholz (frei Waldstraße bzw. Sammelplatz) in Form von Hackschnitzel wurden keine eigenen Abschätzungen durchgeführt, sondern vielmehr auf verschiedene Literaturangaben zurückgegriffen. Hierbei zeigte sich allerdings, dass es diesbezüglich nur wenige Aussagen gibt und sich die hierzu durchgeführten Auswertungen ausschließlich auf Testläufe bzw. Versuchskampagnen stützen. Wie in der Literatur diskutiert (vgl. WITTKOPF, 2005), ist es hierbei besonders problematisch, die Maschinendaten bzw. Arbeitskosten mit den tatsächlichen Durchsatzmengen zu korrelieren, weil diese Größen von vielen – nur wenig spezifizierbaren – technischen, individuellen und lokalen Bedingungen abhängig sind. Insofern können die aus der Literatur entnommenen Kostensätze folglich nur eine Orientierung für die in der Praxis tatsächlich zu erwartenden Werte darstellen.

Gestützt auf eine Auswertung von Literaturangaben (KAPPLER, 2008, S. 151/160), wurde von den in *Tabelle 1* dargelegten Kostensätzen für die Bereitstellung von Wald-Energieholz in Form von Hackschnitzel frei Waldstraße ausgegangen.

Diese wurden in Abhängigkeit der Holzsortimente verschiedenen Klassen (leicht, mittel, schwer) zugeordnet, die sich in erster Linie durch die Berücksichtigung unterschiedlicher Hangneigungen ergeben. Es sei hier angemerkt, dass es sich bei den in der *Tabelle 1* zugrunde gelegten Kostensätzen, aufgrund der bereits genannten bestehenden Unsicherheiten, nur um grobe Richtwerte handeln kann. Da diese Kosten von einer Vielzahl von Faktoren bzw. Rahmenbedingungen abhängen, die sich von Fall zu Fall stark unterscheiden, wurden die in *Tabelle 1* dargestellten Kostensätze als Bandbreite angegeben.

Unter Nutzung der räumlichen Analysemöglichkeiten eines geografischen Informationssystems, wurden anhand gemeindespezifischer Gegebenheiten (Hangneigung, Besitzstruktur, Waldaufbau) diese Kostensätze mit den für die jeweilige Gemeinde abgeleiteten unterschiedlichen Aufkommen an Wald-Energieholzsortimenten verknüpft. Hieraus ergibt sich eine gemeindespezifische, durchschnittliche Kostengröße, die in Form einer Ergebniskarte dargestellt werden kann.

Durch die Kopplung von gemeindespezifischen Wald-Energieholzsortimenten mit differenzierten Kostensätzen kann nicht nur das Gesamtaufkommen einer einzelnen Gemeinde, sondern in der Summe auch das Gesamtaufkommen für Baden-Württemberg in

Tab. 1

**Angenommene Kostensätze für die Bereitstellung von Hackschnitzel (aus Wald-Energieholz) frei Waldstraße.**

**Assumed cost rates for the supply of wood chips (from forest energy wood) free logging road.**

Wald-Energieholzsortiment	Angenommener Kostensatz (€/Mg TM) <sup>1)</sup>			
	Topografische Bereitstellungsbedingungen <sup>2)</sup>	leicht	mittel	schwer
Nadel-Stammholz (energetisch nutzbar)		20-30	50-70	60-90
Laub-Stammholz (energetisch nutzbar)		20-30	40-60	50-80
Nadel-Schwachholz		30-60	80-130	110-170
Laub-Schwachholz		30-50	70-120	100-150
Liegenbleibendes Nadel-Derholz und Nadel-Nichtderholz (einschl. Nadeln)		40-70	80-120	100-160
Liegenbleibendes Laub-Derholz und Laub-Nichtderholz		40-60	70-110	90-140

<sup>1)</sup> gerundete Werte; Mg TM = Megagramm Trockenmasse.

<sup>2)</sup> siehe KAPPLER, 2008.

Abhängigkeit eines vorgegebenen Kostensatzes dargestellt werden. Damit lässt sich letztlich eine Aufkommensfunktion ableiten.

Darüber hinaus ermöglicht die Zuordnung spezifischer Aufkommen und Kostensätze zu den einzelnen Gemeinden, potenzielle Standorte für Bioenergieanlagen differenziert zu bewerten. Dies soll hier anhand dreier exemplarisch ausgewählter Standorte in Baden-Württemberg veranschaulicht werden. Hierbei stand die Frage im Vordergrund, inwieweit die Potenzial- und Kostensituation durch unterschiedliche Landnutzungsstrukturen und topografische Bedingungen beeinflusst werden. Es wurden folgende Standorte ausgewählt: Schillingstadt (überwiegend landwirtschaftliche Flächennutzung; günstige topografische Geländebeziehungen), Forbach (überwiegend forstwirtschaftliche Flächennutzung; schwierige Geländebeziehungen) und Sigmaringen (sowohl landwirtschaftliche als auch forstwirtschaftliche Flächennutzung; gemischte Geländebeziehungen). Bei jedem der drei ausgewählten Anlagenstandorte wurde vereinfacht von kreisförmigen Einzugsgebieten mit einem Radius von 15 bzw. 25 km ausgegangen. In der Realität sind je nach Topografie und Verkehrsnetz auch andere Formen von Einzugsgebieten nahe liegend. Für die Auswertung und Gegenüberstellung der Standorte wurden unter Einsatz eines geografischen Informationssystems alle im Einzugsgebiet liegenden Gemeinden ausgewählt und daraus die Summe der Aufkommen und die durchschnittlichen Kosten abgeleitet.

Auf eine tiefere Erläuterung der methodischen Vorgehensweise soll hier nicht weiter eingegangen werden. Es sei diesbezüglich auf die diesem Artikel zugrunde gelegte Publikation des Autors (KAPPLER, 2008) verwiesen.

**3. ERGEBNISSE**

In welchem Ausmaße sich die Bereitstellungskosten von Waldhackschnitzel (frei Waldstraße) über die Gemeinden Baden-Würt-

tembergs hinweg unterscheiden, zeigt *Abbildung 1*. Wie nicht anders zu erwarten, ergibt sich hierbei ein sehr differenziertes Bild; die Bereitstellungskosten liegen in einem Bereich von 35 bis 142 €/Mg TM. Dies wird maßgeblich durch die vor Ort gegebenen Bedingungen (Erschließungssituation, Geländebeziehungen, etc.) bestimmt und zeigt, dass insbesondere im Schwarzwald, aufgrund der ungünstigen Topografie, die Bereitstellung sehr kostenintensiv ist. Aus den dieser räumlichen Verteilung zugrunde liegenden Berechnungen lässt sich für Baden-Württemberg ein mengenmäßig gewichteter durchschnittlicher Kostensatz von rund 85 €/Mg TM ableiten (Bereitstellung von Hackschnitzel aus Wald-Energieholz frei Waldstraße; erfasste Menge insgesamt 1,2 Mio. MG TM).

Ein Blick auf den aktuellen Hackschnitzelpreisindex von CARMEN e.V. (2009) zeigt für das III. Quartal 2009 einen mittleren Waldhackschnitzelpreis von rund 80 €/Mg (65% TM, Anlieferung von 80 Srm im Umkreis von 20 km). Unter der Annahme, dass als Preis für Großabnehmer eher ein durchschnittlicher Wert von rund 70 €/Mg anzusetzen ist, ergibt sich unter Umrechnung auf die Trockenmasse und ohne die Berücksichtigung von Transportkosten (bei 20 km schätzungsweise 12 €/Mg TM) ein Vergleichspreis von annähernd 60 €/Mg TM (frei Waldstraße).

Wird bei der Planung von Bioenergieanlagen von diesem durchschnittlichen Bereitstellungspreis von 60 €/Mg TM<sup>4)</sup> ausgegangen und nach eingangs beschriebener Methodik auf die Gemeinden von Baden-Württemberg übertragen, ergibt sich die in *Abbildung 2* dar-

<sup>4)</sup> In der von NEUGEBAUER et al. (2005) durchgeführten Umfrage bewegte sich das Preisniveau für Waldhackschnitzel im Mittel bei 65 €/Mg TM frei Anlage. Abzüglich der in diesem Preis enthaltenen Transportkosten von schätzungsweise 10 €/Mg TM ergibt sich ein durchschnittlicher Bereitstellungspreis (frei Waldstraße) von 55 €/Mg TM.

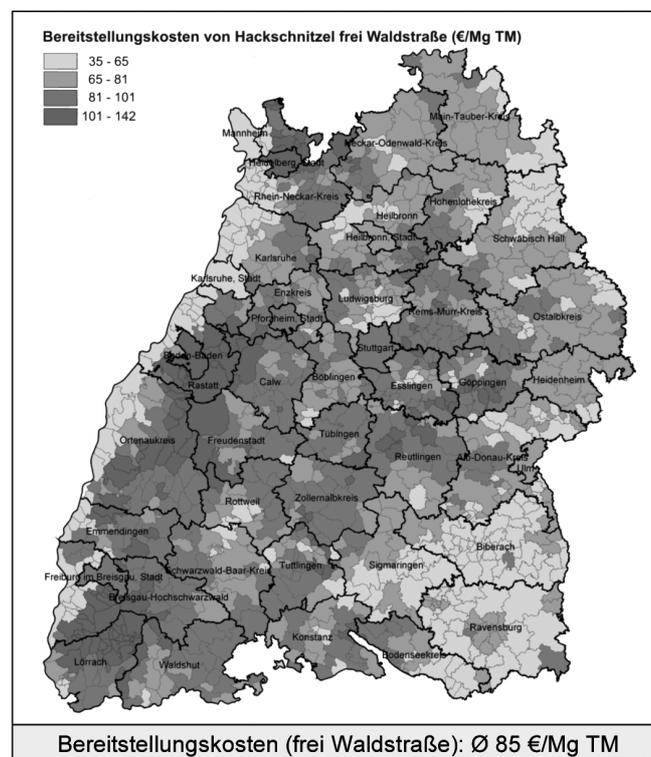


Abb. 1

Gemeindespezifische Bereitstellungskosten für Wald-Energieholz (Hackschnitzel, frei Waldstraße) in Baden-Württemberg.

Municipality specific supply costs for forest energy wood (wood chips, free logging road) in Baden-Württemberg.

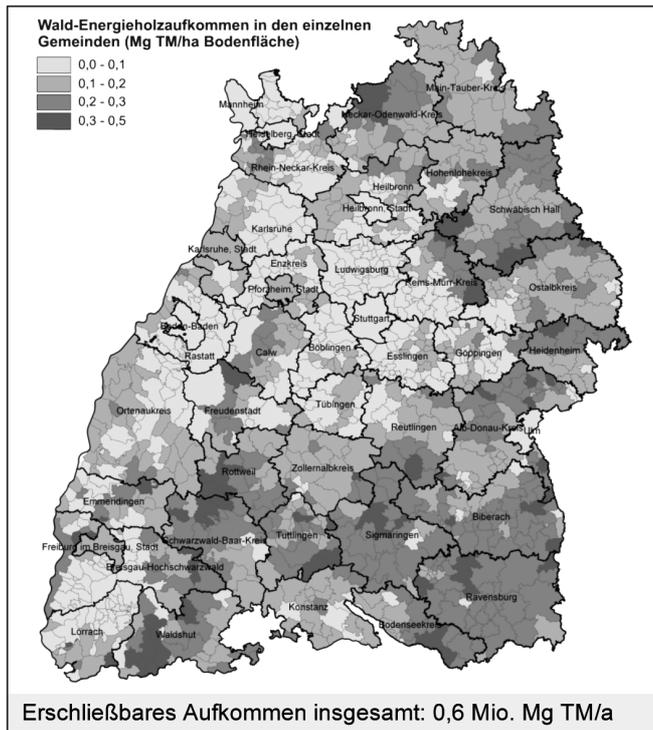


Abb. 2

Gemeindespezifisches Wald-Energieholzaufkommen in Baden-Württemberg (bei einem Hackschnitzelpreis frei Waldstraße von 60 €/Mg TM).

Municipality specific volume of forest energy wood in Baden-Württemberg (at a wood chip price free logging road of 60 €/Mg DM).

gestellte räumliche Verteilung des mobilisierbaren Aufkommens. Für eine kostengünstige Bereitstellung von Wald-Energieholz erscheinen somit insbesondere die süd-östlichen Gebiete von Baden-Württemberg geeignet zu sein.

Somit erweisen sich Gebiete als vorteilhaft, die im Vergleich zum Schwarzwald zwar nur über relativ geringe Waldflächenanteile verfügen, dort aber aufgrund geeigneter Geländebeziehungen kostengünstig Wald-Energieholz bereitgestellt werden kann. Zu einem ähnlichen Ergebnis hinsichtlich der räumlichen Verteilung kam auch die Analyse von SIGMUND und FROMMHERZ (2000).

Ausgehend von dem genannten Bereitstellungspreis von 60 €/Mg TM, können in Baden-Württemberg schätzungsweise nur etwa 0,6 Mio. Mg TM – das sind rund 27% des abgeschätzten theoretischen Gesamtaufkommens in Höhe von 2,2 Mio. Mg TM – tatsächlich mobilisiert bzw. bereitgestellt werden (vgl. *Abbildung 2*). Ausgehend von den gemeindespezifischen Wald-Energieholzsortimenten und deren spezifischen Erfassungskosten lassen sich mit steigenden Hackschnitzelpreisen frei Waldstraße die in *Abbildung 3* dargestellten Aufkommensmengen mobilisieren (s. KAPPLER, 2008, S.59f). Wie veranschaulicht, können bei einem Preis von unter 20 €/Mg TM frei Waldstraße nahezu keine Hackschnitzel bereitgestellt bzw. erworben werden.

Entsprechend dem s-förmigen Verlauf der Kurve ist für das Aufkommen im Bereich von 60 bis 80 €/Mg TM eine hohe Preiselastizität gegeben, was bedeutet, dass relativ geringe Preissteigerungen ein entsprechend größeres Angebot zur Folge haben. In grober Näherung können in diesem preiselastischen Bereich rund 60% des gesamten theoretischen Aufkommens<sup>5)</sup> in Höhe von 2,2 Mio. Mg/TM bereitgestellt werden.

Steigt das zu beobachtende gegenwärtige Energiepreisniveau und die damit korrespondierende Nachfrage nach „Energieholz“ weiter an, wird sich zwangsläufig auch der Marktpreis für Waldhackschnitzel erhöhen. Auch die von CARMEN e.V. (2009) publizierte Preisentwicklung von Waldhackschnitzel für die Jahre 2006 bis 2009 lässt einen solchen Trend vermuten. Übertragen auf die Aufkommensfunktion (*Abb. 3*) ergäbe – ausgehend von dem aktuellen Preis von 60 €/Mg TM – bereits ein Anstieg des Marktpreises (den Großabnehmer bezahlen) um 10 bis 20 €/Mg TM (frei Waldstraße) eine sprunghafte Zunahme des mobilisierbaren Aufkommens.

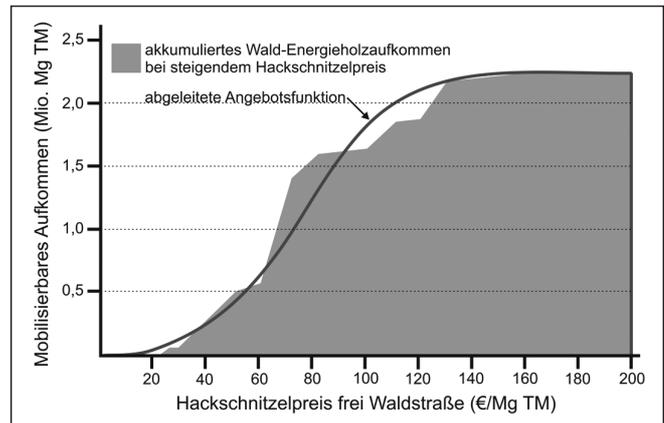


Abb. 3

Mobilisierbares Wald-Energieholzaufkommen in Abhängigkeit des Hackschnitzelpreises frei Waldstraße.

Mobilizable forest energy wood subject to the wood chip price free logging road.

Für die Auswahl und Planung eines Anlagenstandortes für ein mit Waldhackschnitzel befeuertes Biomasseheiz(kraft)werk bildet die in einer bestimmten Region vorhandene Landnutzung ein erstes Auswahlkriterium. Allerdings zeigt sich, dass insbesondere in waldreichen Gebieten die regionale Bereitstellung von Hackschnitzel aufgrund der Topografie mit hohen Kosten verbunden ist. Da in Abhängigkeit der benötigten Brennstoffmenge das zu einem Standort zugehörige Einzugsgebiet in der Regel weit über die Grenzen einer einzelnen Gemeinde hinaus reicht, wird die Vorteilhaftigkeit eines Anlagenstandortes maßgeblich davon bestimmt, wie viele der im Einzugsbereich liegenden Gemeinden ein hohes Aufkommen an Biomasse bei gleichzeitig günstigen Bereitstellungskosten aufweisen. Diese Aspekte wurden bei der Auswahl der bereits benannten Standorte mit berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Standortanalyse für die drei exemplarisch ausgewählten Standorte hinsichtlich Aufkommens- und Kostensituation sind *Tabelle 2* zu entnehmen. Hierbei zeigt sich, dass die kreisförmigen Einzugsgebiete (vgl. *Abbildung 4*) der Standorte Schillingstadt und Sigmaringen, verglichen mit dem Einzugsgebiet von Forbach, über einen deutlich geringeren Umfang an Waldflächen verfügen – der durchschnittliche Anteil der Waldflächen an der Bodenfläche Baden-Württembergs beträgt rund 40%. Am Standort Forbach verringert sich der Waldanteil bei einer Ausdehnung des Einzugsgebiets ( $R = 25$  km), da dann die durch Wein- und Obstbau geprägten Flächen der Rheinebene mit im Einzugsgebiet liegen.

<sup>5)</sup> Vergleichbare Ergebnisse zeigt auch die Studie von DIETER et al. (2001). Ausgehend von einem Preis frei Waldstraße von ca. 65 €/Mg TM (hierbei wurden 15 €/Mg TM für Transport bereits herausgerechnet) wurde eine Potenzialausschöpfung von nahezu 50 % abgeschätzt.

Aufgrund des hohen Waldanteils liegt am Standort Forbach damit auch das frei verfügbare Wald-Energieholzaufkommen deutlich über den beiden anderen Anlagenstandorten. Allerdings ergaben die Auswertungen, dass von diesem Aufkommen weniger als

die Hälfte leicht verfügbar ist, d.h. ein Großteil des Aufkommens ist nur unter schwierigen topografischen Bedingungen zu mobilisieren. Bezüglich des leicht verfügbaren Aufkommens stellt sich der Standort Sigmaringen am vorteilhaftesten dar.

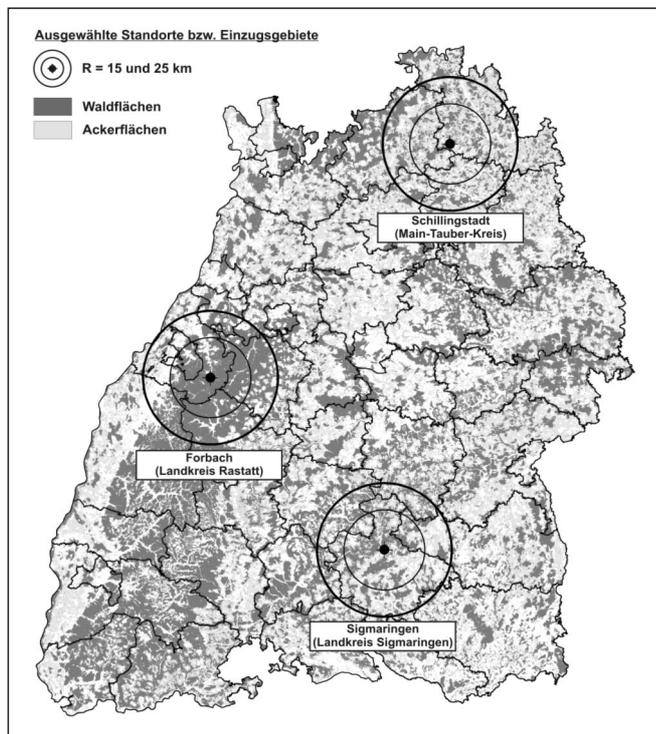


Abb. 4

Wald- und Ackerflächen, sowie drei exemplarisch ausgewählte Anlagenstandorte für eine vergleichende Standortanalyse in Baden-Württemberg.

Forest and arable land, as well as three exemplarily selected plant locations for a comparative location analysis in Baden-Württemberg.

Auf die schwierige topografische Situation ist ebenfalls zurückzuführen, dass am Standort Forbach die Bereitstellungskosten (frei Waldstraße) insgesamt am höchsten sind. Hierbei ergeben sich klare Vorteile zugunsten des Standortes Sigmaringen, bzw. allgemeiner formuliert, für Standorte mit leichter zugänglichen Holzaufkommen.

So lassen sich beim leicht verfügbaren Aufkommen – bei Bereitstellungskosten (frei Waldstraße) von rd. 60 €/Mg TM (vgl. Abbildung 3) – beispielsweise am Standort Sigmaringen (Radius des Einzugsgebiets: 25 km) rd. 50.000 Mg TM pro Jahr mobilisieren (s. Tabelle 2).

Sollten künftig die Energiepreise deutlich ansteigen, und damit die Möglichkeit gegeben sein, auch die schwerer zugänglichen Aufkommen zu mobilisieren, böte der Standort Forbach das insgesamt größte Potenzial.

Ausgehend von einer mittleren Transportstrecke von 14 bzw. 24 Kilometern<sup>6)</sup>, entstehen nach eigenen Abschätzungen (ohne Berücksichtigung ortsspezifischer, infrastruktureller Gegebenheiten) für den Transport von Hackschnitzel (65% TM) mit dem Lkw (Abrollcontainer) durchschnittliche Kosten in Höhe von 11 €/Mg TM bzw. 13 €/Mg TM, wobei annähernd die Hälfte dieser Kosten durch Rüst- und Ladevorgänge bedingt sind.

Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass die Transportkosten (inkl. Be-, Um- und Entladevorgänge) lediglich rund 20 bis 30% der Bereitstellungskosten (frei Anlage) betragen und daher sehr viel weniger bedeutend sind als gemeinhin angenommen.

Sofern nicht nur das leicht verfügbare Aufkommen berücksichtigt wird, weisen die Bereitstellungskosten (frei Anlage) für die drei

<sup>6)</sup> Eigenen Abschätzungen zufolge ergeben sich die mittleren Transportstrecken für kreisförmige Einzugsgebiete aus dem mittleren Kreisabstand ( $\frac{2}{3} R$ ) und einem Verlängerungsfaktor ( $\sqrt{2}$ ); weitergehende Erläuterungen siehe KAPPLER (2008, S. 61ff).

Tab. 2

Ergebnisse einer Standortanalyse.  
Results of a location analysis.

Standort	Schillingstadt		Forbach		Sigmaringen	
	15	25	15	25	15	25
Radius des Einzugsgebietes (km)	15	25	15	25	15	25
Waldanteil (in % der Gesamtfäche)	33	34	80	64	47	42
Aufkommen (Mg TM)	20.000	55.000	37.000	98.000	31.000	75.000
davon leicht verfügbar	11.000	31.000	11.000	40.000	21.000	50.000
Bereitstellungskosten, Hackschnitzel frei Waldstraße (€/Mg TM), insgesamt	79	79	113	94	77	77
für den leicht verfügbaren Anteil	55	56	61	60	59	59
Transportkosten <sup>a)</sup> (€/Mg TM)	11	13	11	13	11	13
davon für Rüsten und Laden	5	5	5	5	5	5
Bereitstellungskosten, Hackschnitzel frei Anlage (€/Mg TM)	90	92	124	107	88	90
sofern nur der leicht verfügbare Anteil erfasst wird	66	69	72	73	70	72

<sup>a)</sup> Lkw-Transport mit Abrollcontainer, Hackschnitzel 65% TM.

betrachteten Standorte deutliche Unterschiede auf. Wird hingegen nur der leicht verfügbare Anteil des Aufkommens berücksichtigt, ergeben sich für alle drei Standorte nahezu identische Bereitstellungskosten in Höhe von rund 70 €/Mg TM. Dabei kann, wie bereits erwähnt, zu diesem Preis am Standort Sigmaringen die größte Menge an Waldhackschnitzel bereitgestellt werden.

#### 4. DISKUSSION UND AUSBLICK

Wie verdeutlicht, bedingt eine Ausweitung des Einzugsgebietes grundsätzlich eine Erhöhung des potenziell verfügbaren Aufkommens an Wald-Energieholz. Allerdings kann mit dieser Ausweitung auch eine Steigerung der durchschnittlichen Bereitstellungskosten von Wald-Energieholz (Hackschnitzel) frei Anlage verbunden sein. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn diese zusätzliche Biomasse – aufgrund schwieriger topografischer Gegebenheiten – mit erhöhten Kosten mobilisiert werden muss. Insofern wird eine beliebige Ausweitung des Einzugsgebietes nicht in jedem Falle von Vorteil sein, obwohl durch das höhere Aufkommen Bioenergieanlagen mit größerer Leistung realisiert werden können, die aufgrund von Skalen- bzw. Kostendegressionseffekten ökonomische Vorteile versprechen.

Im Falle ungünstiger Bereitstellungsbedingungen könnte das Wald-Energieholz ggf. selektiv, d.h. nur an denjenigen Orten erfasst werden, an denen dieses kostengünstig zur Verfügung steht.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die häufig verwendete vereinfachte Annahme kreisförmiger Einzugsgebiete lediglich ein modellhafter Ansatz sein kann. In der Realität werden die Einzugsgebiete zum Teil auch völlig andere räumliche Ausprägungen erfahren. Damit wäre, wie generell bei Ausweitung des Einzugsgebietes zu erwarten, allerdings eine Steigerung der Transportstrecke verbunden. Trotz der dadurch erhöhten Transportkosten ist dies nicht immer von Nachteil. Zum einen können diese Transportkosten durch die an einem Ort günstigeren Bereitstellungskosten (frei Waldstraße) kompensiert werden. Zum anderen zeigten die Analysen zu den Bereitstellungskosten frei Anlage, dass der Einfluss der Transportentfernung auf die Transportkosten weniger bedeutend ist als dies allgemein angenommen wird. Dies begründet sich dadurch, dass die Transportkosten auch Kosten für das Be- und Umladen enthalten, und diese bei geringen Transportentfernungen zu deutlich höheren spezifischen Transportkosten pro km führen als bei großen Transportentfernungen.

Wie die Analysen zeigten, stellt die Bereitstellung von Waldhackschnitzel frei Waldstraße in der Prozesskette den größten Kostentreiber dar. Insofern sollte das diesbezügliche Rationalisierungspotenzial ausgeschöpft und weiterentwickelt werden. Dies erfordert detaillierte Kenntnisse über den Prozess und entsprechende technische und organisatorische Optimierungsansätze.

In Anbetracht der gewonnenen Ergebnisse erscheinen unter den gegenwärtigen technischen und insbesondere ökonomischen Rahmenbedingungen für Baden-Württemberg sehr viel weniger Standorte für größere Biomasseheizkraftwerke (Anlagenleistung  $\geq 20$  MW<sub>th</sub>, Einzugsgebietsradius ca. 25 km) geeignet zu sein als dies im Allgemeinen erwartet wird. In diesem Zusammenhang sei auch darauf hingewiesen, dass zusätzlich die an einem bestimmten Ort vorhandene und ggf. zunehmende Nutzungskonkurrenz mit betrachtet werden sollte.

Letztendlich haben die gegenwärtigen ökonomischen Rahmenbedingungen zur Folge, dass beispielsweise ein Großteil des Wald-Energieholzes, insbesondere aber die mengenmäßig bedeutsamen Sortimente mit geringem Durchmesser, weiterhin im Bestand verbleiben. Inwieweit und wann dieses größtenteils schwer mobilisierbare Potenzial einer Nutzung (in Großanlagen) zugeführt werden kann, hängt in erster Linie von der Entwicklung der Energiepreise

ab und davon, inwieweit es gelingt, durch technischen Fortschritt und organisatorische Maßnahmen (z.B. Hackschnitzel-Vertriebsgemeinschaften) verbesserte Marktverhältnisse zu schaffen.

Im Kanon einer Energiepreissteigerung könnten zudem Holzsortimente zur Verfügung stehen, für die es bisher nur eingeschränkte Absatzmöglichkeiten gibt, oder die bisher ausschließlich einer stofflichen Nutzung vorbehalten waren. Hierbei werden vermutlich neuartige Nutzungs- und Bereitstellungskonzepte in der Waldbewirtschaftung, wie beispielsweise das Freiburger-Stammholz-Plus-Konzept (TEXTOR, 2006), zunehmend an Bedeutung gewinnen und dazu beitragen, das wirtschaftlich mobilisierbare Potenzial an Wald-Energieholz weiter zu erhöhen. Hierzu sind sicherlich noch weitergehende regional/lokale Standortuntersuchungen nötig (HEPPERLE und SAUTER, 2007)

#### 5. ZUSAMMENFASSUNG

Für die Planung von Standorten für Bioenergieanlagen ist die Kenntnis um die an einem bestimmten Ort mobilisierbare Brennstoffmenge von großer Bedeutung. So wurde im Rahmen einer Analyse untersucht, wie sich das wirtschaftlich verfügbare Wald-Energieholzaufkommen und dessen Bereitstellungskosten frei Waldstraße bzw. Bioenergieanlage für Baden-Württemberg darstellen.

Die gemeindespezifische Darstellung erfolgte unter Einsatz eines geografischen Informationssystems, wobei differenzierte Kostensätze und ortsspezifische Gegebenheiten (Tab. 1) mit berücksichtigt wurden. Entsprechend der unterschiedlichen ortsspezifischen Geländebeziehungen zeigt sich dabei ein sehr differenziertes Bild (Abb. 1). Für die Bereitstellung von Hackschnitzel aus Wald-Energieholz ergibt sich ein durchschnittlicher Kostensatz in Baden-Württemberg von rund 85 €/Mg TM frei Waldstraße.

Ausgehend von einem Marktpreis für Großabnehmer von rund 60 €/Mg TM (frei Waldstraße) könnten in Baden-Württemberg schätzungsweise 0,6 Mio. Mg TM an Wald-Energieholz – das sind rund 27 % des abgeschätzten Gesamtaufkommens in Höhe von 2,2 Mio. Mg TM – tatsächlich mobilisiert bzw. bereitgestellt werden. Wie die räumliche Verteilung des bei diesem Preis mobilisierbaren Aufkommens zeigt, erweisen sich Gebiete als vorteilhaft, die zwar nur über relativ geringe Waldflächenanteile verfügen, dort aber aufgrund geeigneter Geländebeziehungen kostengünstig Wald-Energieholz bereitgestellt werden kann (Abb. 2).

Die Analysen zeigten zudem, dass ein Anstieg des Marktpreises (für Großabnehmer) um 10 bis 20 €/Mg TM zu einer sprunghaften Zunahme des mobilisierbaren Aufkommens führen könnte (Abb. 3). Eine Untersuchung dreier exemplarisch ausgewählter Standorte ergab Bereitstellungskosten ab ca. 70 €/Mg frei Anlage (Tab. 2). Zu diesem Preis kann allerdings nicht an jedem Standort die gleiche Aufkommensmenge bereitgestellt werden.

In Anbetracht der gewonnenen Ergebnisse erscheinen unter den gegenwärtigen technisch und insbesondere ökonomischen Rahmenbedingungen für Baden-Württemberg sehr viel weniger Standorte (Abb. 4) für größere Biomasseheizkraftwerke (Anlagenleistung  $\geq 20$  MW<sub>th</sub>, Einzugsgebietsradius ca. 25 km) geeignet zu sein, als gemeinhin angenommen. In der Folge davon wird ein Großteil des Wald-Energieholzaufkommens weiterhin ungenutzt im Bestand verbleiben.

#### 6. Summary

Title of the paper: *Volume of forest energy wood in the Federal State of Baden-Wuerttemberg – supply costs and locations analysis.*

Knowing a given location's mobilizable biomass volume is an essential part in the planning process for bioenergy plants.

Within the framework of an analysis, it was explored in which way the economically available forest energy wood and resulting supply costs (free logging road or bioenergy plant) in the Federal State of Baden-Württemberg were displayed.

The municipality specific illustration was carried out by applying a geographical information system in which differentiated and spatial characteristics (*tab. 1*) were taken into account.

Corresponding to the various spatially specific topographical characteristics, the analysis shows a very diversified pattern.

The supply of wood chips from forest energy wood costs about 85 €/Mg DM<sup>7)</sup> (free logging road) on an average in Baden-Württemberg.

Based on a market price of about 60 €/Mg DM (free logging road) for bulk buyers, an estimated 0.6 million Mg DM of forest energy wood – this is about 27% of the estimated total volume of 2.2 million Mg DM – could actually be mobilized and supplied in Baden-Württemberg.

As the spatial dispersion of the volume supplied at this price shows, those areas, which have low supply costs due to favourable topographical conditions, turn out to be advantageous, although they have relatively few areas of forest.

Furthermore, the analyses have shown that an increase in the market price (for bulk buyer) from 10 to 20 €/Mg DM could affect an erratic growth of the mobilizable volume (*fig. 3*).

An investigation of three exemplarily selected locations has shown supply costs from nearly 70 €/Mg DM free bioenergy plant (*tab. 2*).

However, the same volume of forest energy wood cannot be supplied for this quoted price at every given location.

In view of the obtained results, the number of locations suitable for larger bioenergy plants (capacity  $\geq 20$  MW<sub>th</sub>, radius of the sup-

<sup>7)</sup> Mg DM = Megagram dry matter.

ply area 25 km) is, under the current technical and economic conditions in Baden-Württemberg, much lower than is commonly assumed.

Consequently, a large part of forest energy wood remains unutilized in stock.

## 7. Literatur

- CARMEN e.V. (2009): Energie. Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln [[www.carmen-ev.de](http://www.carmen-ev.de), letzter Zugang 06.11.2009].
- DIETER, M., H. ENGLERT und M. KLEIN (2001): Abschätzung des Rohholzpotentials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland. Bundesforschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft, Hamburg, 40 S.
- HEPPERLE, F. und U.-H. SAUTER (2007): Was kann nachhaltig genutzt werden? – Biomassepotenziale aus dem Wald und der freien Landschaft in der Projektregion. In: CREMER, T., BECKER, G., SAUTER, U.-H. (Hrsg.): Mobilisierung und wirtschaftliche Nutzung von Rohholz aus Wald und Landschaft zur Energieerzeugung. Abschlussbericht zur Vorlage bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt 2007. Freiburg, 93 S.
- KANZIAN, C., B. FENZ, F. HOLZLEITNER und K. STAMPFER (2006): Waldhackguterzeugung als Schlagrücklass. Fallbeispiele im Laub- und Nadelholz. Universität für Bodenkultur Wien. Institut für Forsttechnik, 31 S.
- KAPPLER, G., B. KOCH und L. LEIBLE (2009): Wald-Energieholzaufkommen in Baden-Württemberg. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 180. Jahrgang, Heft 5/6, S. 125–129.
- KAPPLER, G. (2008): Systemanalytische Untersuchung zum Aufkommen und zur Bereitstellung von energetisch nutzbarem Reststroh und Waldrestholz in Baden-Württemberg – eine auf das Karlsruher bioliq<sup>®</sup>-Konzept ausgerichtete Standortanalyse. Forschungszentrum Karlsruhe, FZKA 7416, 169 S. [Online verfügbar unter: <http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA7416.pdf>]
- NEUGEBAUER, G., S. WITTKOPF, C. BAUDISCH und F. GÜNSCHE (2005): Hackschnitzel auf dem Vormarsch. Umfrage bei bayerischen Biomasseheizwerken – Material und Kosten. LWF-aktuell Nr. 48, S. 9–10.
- SIGMUND, V. und J. FROMMHERZ (2000): Herleitung des verfügbaren Wald-Energieholzpotenzials in Baden-Württemberg auf der Basis der Forsteinrichtungsplanung. Landesforstverwaltung Freiburg, 17 S.
- TEXTOR, B. (2006): Bereitstellungsverfahren und Bereitstellungskosten von Waldhackschnitzel. Vortrag beim Workshop „Bioenergienutzung in Baden-Württemberg – Bereitstellung von Energieholz aus dem Wald“ im Forstlichen Bildungszentrum Karlsruhe am 17.10.2006.
- WITTKOPF, S. (2005): Bereitstellung von Hackgut zur thermischen Verwertung durch Forstbetriebe in Bayern. Dissertation, Technische Universität München, 209 S.