

Anlage zum Forschungsbericht

**Bilanz und  
Perspektiven der  
Holzenergienutzung in  
Baden-Württemberg**

L. Eltrop, J. Moerschner,  
M. Härdtlein, A. König



# **Bilanz und Perspektiven der Holzenergienutzung in Baden-Württemberg**

Der Forschungsbericht entstand aus einem Forschungsvorhaben, das vom Ministerium für Ernährung und Ländlicher Raum Baden-Württemberg – MLR im Rahmen der Zukunftsoffensive III unter dem AZ 46(54)-8214.07 gefördert wurde.

L. Eltrop, J. Moerschner, M. Härdtlein, A. König

Mai 2006

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart  
Prof. Dr.-Ing. A. Voß

**ISSN 0938-1228**



---

## Inhaltsverzeichnis der Anlagen

---

7.	Anlagen.....	3
7.1	Arbeitsschritte einer Ökobilanz.....	3
7.2	Bereitstellung von Holzbrennstoffen .....	6
7.2.1	Berücksichtigte Holzkatgorien .....	6
7.2.2	Betrachtete Bereitstellungsketten für Holzbrennstoffe .....	6
7.3	Anlagen zur Wärme- und Stromerzeugung für verschiedene Versorgungsaufgaben.....	19
7.3.1	System 1: Wärmeversorgung eines Einfamilien-Niedrigenergiehauses (EFH-I).....	19
7.3.2	System 2: Wärmeversorgung eines Einfamilienhauses mit durchschnittlichem Wärmedämm-Standard (EFH-II).....	19
7.3.3	System 3: Wärmeversorgung eines Mehrfamilienhauses (MFH) mit Wärmedämmstandard 90-er Jahre (MFH).....	20
7.3.4	System 4: Nahwärmeversorgung eines Wohngebietes bzw. kommunalen Gebäudes / Gebäudeverbundes.....	21
7.3.5	System 5: Industrierwärmebereitstellung mit gekoppelter Stromerzeugung über eine Dampfturbine (wärmegeführt) .....	23
7.3.6	System 6: Nahwärmeversorgung eines größeren Wohn- und Gewerbegebietes und Stromerzeugung mit ORC-Anlage (wärmegeführt).....	24
7.3.7	Konventionelle Vergleichssysteme (fossil gefeuerte Referenzanlagen) für die Versorgungsaufgaben (siehe Kapitel 3).....	26
7.4	Beschäftigungseffekte eines Ausbaus der Holzenergienutzung.....	29
7.4.1	Grundlagen und Methodik der Ermittlung von Beschäftigungseffekten.....	29
7.4.2	IER-Workshop „Beschäftigungswirkungen der Holzenergienutzung in Baden-Württemberg“ am 05.11.2004.....	31
7.5	Literatursammlung .....	36
7.6	Abbildungsverzeichnis.....	46
7.7	Tabellenverzeichnis.....	47



---

# Bilanz und Perspektiven der Holzenergienutzung in Baden-Württemberg

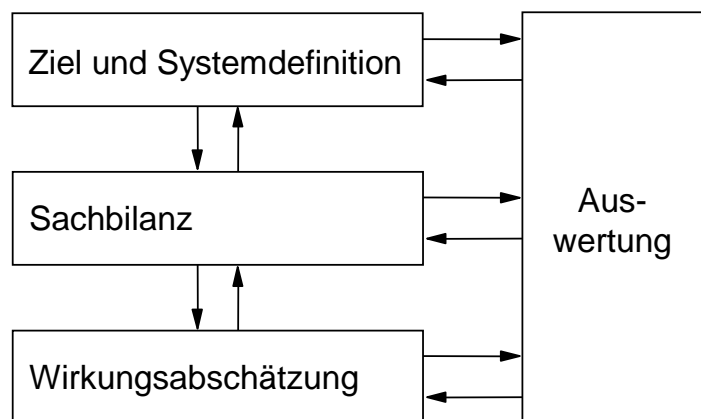
---

## 7. Anlagen

---

### 7.1 Arbeitsschritte einer Ökobilanz

Ein Überblick über den grundsätzlichen Ablauf einer Ökobilanz ist in **Abb. 7-1:** Arbeitsschritte einer Ökobilanz (nach ISO 14 040) dargestellt.



**Abb. 7-1:** Arbeitsschritte einer Ökobilanz (nach ISO 14 040)

Diese einzelnen Schritte werden nachfolgend kurz diskutiert.

**Ziel und Systemdefinition.** Ziel und Systemdefinition einer Ökobilanz müssen eindeutig festgelegt sein. Der Untersuchungsrahmen sollte ausreichend definiert werden, um sicherzustellen, dass die Untersuchung widerspruchsfrei und für das vorgegebene Ziel hinreichend ist. Dabei ist die Ökobilanz ein iterativer Prozess. Es kann notwendig sein, den Untersuchungsrahmen während der Durchführung durch zusätzlich gesammelte Informationen zu modifizieren.

Weiterhin ist festzulegen, welche Schritte des sogenannten Produktlebenszyklus in die Betrachtungen einbezogen werden. Üblicherweise soll sich die Bilanzierung von der Rohstofferschließung und -gewinnung über die Produktion und Nutzung bis hin zur Entsorgung und Wiederverwertung erstrecken ("von der Wiege bis zur Bahre"), um alle mit diesem Produkt verbundenen Auswirkungen zu erfassen.

**Sachbilanz.** In der Sachbilanz werden die im vorherigen Schritt definierten Größen erhoben. Dieser Prozess zur Erstellung einer Sachbilanz ist iterativ. Während Daten gesammelt und die Produktsysteme näher untersucht werden, können neue Datenanforderungen oder Einschränkungen erkannt werden, die eine Änderung der Verfahren zur Datensammlung erfordern, damit die Ziele noch erfüllt werden können. Manchmal können auch Sachverhalte festgestellt werden, die Änderungen des Ziels oder des Untersuchungsrahmens erfordern.

Letztlich besteht die Sachbilanz aus der Auflistung der in der Ziel- und Systemdefinition festgelegten Eingangs- und Ausgangsgrößen, differenziert nach einzelnen Abschnitten eines Lebensweges. Um diese Größen zu erhalten, muss die Realität so weit in ein Modell überführt werden, dass die zu bilanzierenden Größen quantifizierbar werden. Zur modellhaften Abbildung der realen Lebenswege wird die Prozesskettenanalyse verwendet.

Da sich der Produktinput eines Prozesses aus dem Produktoutput vorangegangener Prozesse zusammensetzt und der Output dieses Prozesses üblicherweise wiederum Input anderer Prozesse ist, kann eine Prozesskette gebildet werden, indem man die Prozesse, welche den Lebensweg eines Produktes darstellen, in einer hierarchischen Struktur entsprechend miteinander verbindet. Jeder Prozess ist dabei durch Produktflüsse (Inputs und Outputs) sowie durch mit dem System verbundene, ein- und austretende Elementarflüsse gekennzeichnet. Um den Bilanzierungsaufwand zu begrenzen, müssen nach ISO 14 040 für Ökobilanzen Systemgrenzen und sog. "Abschneidekriterien" definiert werden. Damit werden vor- und nachgelagerte Prozesse, die keinen relevanten Einfluss auf das Bilanzergebnis haben, in der Prozesskette nicht mehr berücksichtigt (z. B. Aufwendungen für den die Anlage planenden Ingenieur).

Um solche Elementarflüsse der vor- und nachgelagerten Prozesse, die in der Prozesskette nicht mehr erfasst werden, dennoch zumindest größenordnungsmäßig abschätzen zu können, wird die Prozesskette in Erweiterung der Ökobilanznorm ISO 14 040 durch eine sektorale Analyse ergänzt (sog. Hybridansatz). Dazu kann auf sogenannte Input-Output-Tabellen zurückgegriffen werden, welche auf der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung beruhen.

**Wirkungsabschätzung.** Wirkungen entstehen nicht durch die Stoffströme innerhalb eines Produktlebensweges (bzw. Systems), sondern durch die Stoffströme, die in den Lebensweg einfließen bzw. aus diesem austreten und in den entsprechenden Quellen bzw. Senken Veränderungen hervorrufen. Beispielsweise wird bei der

Wärmeerzeugung aus leichtem Heizöl infolge der CO<sub>2</sub>-Einträge in die Senke "Atmosphäre" eine "Wirkung" hervorgerufen, die als anthropogener Treibhauseffekt bezeichnet wird. Ebenso stellt eine Veränderung der Quellen eines Systems, beispielsweise der Verbrauch an Rohstoffen wie fossilen Energieträgern (Ressourcenverbrauch) eine Wirkung dar.

Die von einem Produkt/System verursachten Wirkungen können sehr unterschiedlicher Art sein. Definitionsgemäß werden in Ökobilanzen von den möglichen Wirkungen nur umweltbezogene Wirkungen näher untersucht (z. B. Gesundheitsschäden durch Luftschadstoffe). **Tabelle 7-1** zeigt eine Auswahl derzeit diskutierter Wirkungskategorien.

**Tabelle 7-1:** Auswahl von Wirkungskategorien in Ökobilanzen

Wirkungskategorie	Indikatoren	Einheit
Ressourcenverbrauch		
- nicht-energetisch	Rohstoffaufwand, z. B. Erze	Kg
- energetisch	Summe fossiler Energieträger (Primärenergie)	TJ; GWh
Anthropogener Treibhauseffekt	CO <sub>2</sub> ; CH <sub>4</sub> ; N <sub>2</sub> O	kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente
Stratosphärischer Ozonabbau	N <sub>2</sub> O	kg N <sub>2</sub> O
Versauerung terrestrischer Ökosysteme	NO <sub>x</sub> ; SO <sub>2</sub>	kg SO <sub>2</sub> -Äquivalente
Eutrophierung	Gesamtstickstoff	kg N
Fotosmog	Ozonvorläufersubstanzen	Kg
Human- und Ökotoxizität	Ausgewählte Einzelsubstanzen	Kg
Naturraum-Inanspruchnahme	Flächendenaturierung, Hämerobie	m <sup>2</sup>
Lärm	-	

Oft wird in der Praxis gemäß der definierten Ziele nur ein Teil der **Tabelle 7-1** aufgeführten Wirkungskategorien betrachtet. Entsprechend wurde auch in vorliegender Studie vorgegangen. Die zu betrachtende Auswahl wurde mit dem MLR abgestimmt.

**Auswertung.** Die Auswertung ist die Phase der Ökobilanz, bei der die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend dem festgelegten Ziel und dem Untersuchungsrahmen der Ökobilanz zusammengefasst werden, um Schlussfolgerungen und Empfehlungen zu geben. Dabei sind auftretende Ziel-

konflikte durch unterschiedliche Vorteilhaftigkeiten der verglichenen Optionen in geeigneter Form aufzulösen.

In der Vergangenheit wurden für die Auswertung eine Reihe unterschiedlicher Verfahren entwickelt, in denen im Extremfall alle Umweltwirkungen in einer einzigen Kennzahl zusammengefasst sind. Bisher hat sich allerdings keines der verwendeten Verfahren durchgesetzt. Vielmehr hat sich gezeigt, dass es aus gegenwärtiger Sicht kein allgemeingültiges Bewertungsverfahren gibt, sondern dass die Art der Bilanzauswertung entsprechend der Zielstellung einer Studie ausgerichtet werden muss.

## 7.2 Bereitstellung von Holzbrennstoffen

### 7.2.1 Berücksichtigte Holzkategorien

Bei der Bereitstellung von Holzbrennstoffen aus Waldholz finden verschiedene Holzkategorien Verwendung.

Unter Derbholz versteht sich die oberirdische Holzmasse verschiedener Baumarten mit einem Durchmesser größer als 7 cm mit Rinde. Nicht-Derbholz ist die oberirdische Holzmasse bis 7 cm Durchmesser sowie das Stockholz. Stockholz ist die unterirdische Holzmasse, die zumeist aber keine weitere Verwendung findet. Industrierundholz ist Derbholz unterschiedlicher Holzart und Qualität, das der Papier-, Zellstoff- und Plattenindustrie zugeführt wird. Unter Langholz versteht sich Industrierundholz mit Längen von 3 - 6 m. Unter Langholz können auch fallende Längen über 1 m eingestuft werden.

### 7.2.2 Betrachtete Bereitstellungsketten für Holzbrennstoffe

Nachfolgend werden die einzelnen für das Projekt herangezogenen Arbeitsschritte und Verfahren der untersuchten Bereitstellungsketten (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) näher erläutert, diese wurden in den Studien /LWF 1996-2003/ zu Holzbrennstoff - Bereitstellungsverfahren ausführlich beschrieben.

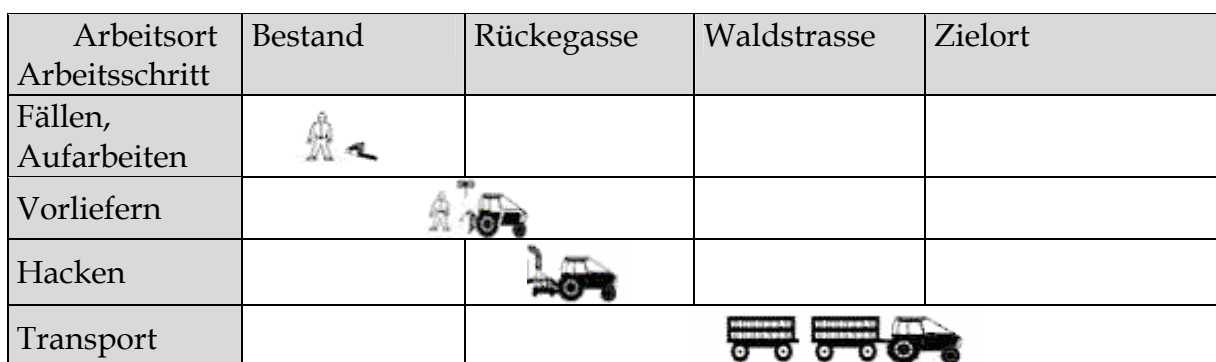
Die betrachteten Verfahren eignen sich für den Einsatz in Hanglagen bis ca. 20 - 25 % Gefälle. Nach /FVA 2003/ sind ca. 2/3 der Waldflächen in Baden-Württemberg Hanglagen mit mehr als 10 % Gefälle.

### 7.2.2.1 Motor-manuelle Holzbrennstoffbereitstellung

Die motor-manuelle Bereitstellung ist vorwiegend in der Selbstwerbung zu finden. Der Geräteeinsatz beschränkt sich fast ausschließlich auf die beim Selbstwerber bereits vorhandenen Maschinen.

#### Hackschnitzel

Gefällt und entastet wird mit der Motorsäge, das Vorliefern des entasteten Stammes zur Rückegasse erfolgt mit Hilfe einer Anbauseilwinde an einem landwirtschaftlichen Schlepper. Das Hacken des vorkonzentrierten Holzes erfolgt auf der Rückegasse mit einem von Hand beschickten Anbauhacker und einem landwirtschaftlichen Schlepper. Zum Transport der Hackschnitzel zum Verbrennungsort werden ein weiterer Schlepper sowie zwei landwirtschaftliche Anhänger benötigt. Die Hackschnitzel werden direkt vom Hacker in den Anhänger geblasen. Der zweite Anhänger verhindert Wartezeiten des Hackers beim Transport der HS. Einen Überblick über die motor-manuelle Hackschnitzelbereitstellung liefert **Abb. 7-2**. Die zur Berechnung der Leistungs- und Kostendaten verwendeten Maschinen sind in **Tabelle 7-2** zusammengefasst. Betriebsmittelverbrauch und Zeitbedarf der einzelnen Teilschritte sind in **Tabelle 7-3** dargestellt. Die hierfür zugrunde gelegten Entfernungsannahmen sind in **Tabelle 7-4** zusammengefasst.



**Abb. 7-2:** Bereitstellungskette motor-manuell HS

**Tabelle 7-2:** Maschineneinsatz motor-manuell HS

Arbeitsschritt	Maschine
Fällen, Aufarbeiten	Motorsäge Stihl MS290
Vorliefern	Anbauseilwinde Doppeltrommel Pfanzelt Typ 306, John Deere 6310
Hacken	Dreipunkt-Anbau-Hacker Husmann H8Z, John Deere 6310
Transport	Landw. Anhänger mittelgroß- EWK 8, John Deere 6310

**Tabelle 7-3:** Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, motor-manuell HS





Arbeitsschritt	Maschinenzeit [min]	Arbeitszeit- bedarf [min]	Betriebsmittelaufwand	
			Kraftstoff [l]	Schmierstoffe [l]
Fällen, Aufarbeiten	7,44	9,30	0,22	0,06
Vorliefern	3,02	6,04	0,30	~0
Hacken	5,76	7,20	0,57	0,01
Transport	3,76	6,71	0,37	~0

**Tabelle 7-4:** Entfernungsannahmen motor-manuell HS

Mittlere Vorlieferentfernung	10 m
Mittlere Rückentfernung	0 m
Ferntransport	20 km

### Scheitholz

Wie bei der HS-Kette wird zunächst gefällt und anschließend aufgearbeitet. Das Derbholz wird anschließend zur Waldstrasse mit einer Anbauseilwinde vorgeliefert und dort auf Normmaße eingeschnitten. Der Transport der abgelängten Rundhölzer erfolgt mit einem Schlepper und Anhänger zum Landwirtschaftlichen Betriebshof. Dort wird mit Hilfe eines elektrisch betriebenen Spaltgerätes das Spaltholz gewonnen. Die **Abb. 7-3** gibt den Überblick über das Verfahren, **Tabelle 7-5** die verwendeten Maschinen und **Tabelle 7-6** den Zeitbedarf und Betriebsmittelverbrauch der Teilschritte an. Die verwendeten Entfernungsannahmen stehen in **Tabelle 7-7**.

Arbeitsort Arbeitsschritt	Bestand	Rückegasse	Waldstrasse	Zielort
Fällen, Aufarbeiten, Einschneiden				
Vorliefern				
Transport				
Spalten				

**Abb. 7-3:** Bereitstellungskette motor-manuell SH

**Tabelle 7-5:** Maschineneinsatz motor-manuell SH

Arbeitsschritt	Maschine
Fällen, Aufarbeiten	Motorsäge Stihl MS290
Vorliefern	Anbauseilwinde Doppeltrommel Pfanzelt Typ 306, John Deere 6310
Transport	Landw. Anhänger mittelgroß- EWK 8, John Deere 6310
Spalten	Amboss H90-40, E-Motor

**Tabelle 7-6:** Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, motor-manuell SH

Arbeitsschritt	Maschinen- zeit [min]	Arbeitszeit-bedarf [min]	Betriebsmittelaufwand		
			Kraft- stoff [l]	Schmier- stoffe [l]	Elektr. [kWh]
Fällen, Aufarbeiten	7,44	9,30	0,22	0,06	-
Vorliefern	3,02	6,04	0,30	~0	-
Rücken/Transport	3,76	6,71	0,37	~0	-
Einschneiden/Spalten	10,72	14,65	0,11	0,03	0,23

**Tabelle 7-7:** Entfernungsannahmen motor-manuell SH

Mittlere Vorlieferentfernung	10 m
Mittlere Rückeentfernung	0 m
Ferntransport	20 km






### 7.2.2.2 Teilmechanisierte Holzbrennstoffbereitstellung

Teilmechanisierte Verfahren weisen einen höheren Maschineneinsatz als motor-manuelle Verfahren auf, was das Rücken, Vorliefern, Transport und weitere Verwertung zu HS oder Scheitholz betrifft. Teilmechanisierte Verfahren sind insgesamt für den Forstarbeiter ergonomischer als die zuvor vorgestellten Verfahren zu beurteilen.

#### Hackschnitzel aus Durchforstungsholz 1:

Gefällt wird im gelösten Zwei-Mann-Verfahren. Das Vorliefern und Konzentrieren des entasteten Baumes an der Rückegasse mit Funkseilwinde kann entkoppelt von einer Person durchgeführt werden. Das Rücken zur Waldstrasse geschieht mit der Zange eines Forstspezialschleppers. Gehackt wird mit einem Mobilhacker auf der Waldstraße direkt in einen LKW Wechselcontainer. Der Transport zum Bestimmungsort erfolgt mit einem LKW und Wechselcontainern. Der Organisationsaufwand ist auf Grund der zeitlich entkoppelten Arbeitsschritte gering. **Abb. 7-4**

zeigt den Ablauf des Verfahrens, **Tabelle 7-8** die verwendeten Maschinen und **Tabelle 7-9** den Zeitbedarf und Betriebsmittelverbrauch der Teilschritte an. Die verwendeten Entfernungsannahmen sind **Tabelle 7-10** zu entnehmen.

Arbeitsort Arbeitsschritt	Bestand	Rückegasse	Waldstrasse	Zielort
Fällen, Aufarbeiten				
Vorliefern				
Rücken				
Hacken				
Transport				

**Abb. 7-4:** Bereitstellungskette teilmechanisiert HS 1

**Tabelle 7-8:** Maschineneinsatz teilmechanisiert HS 1

Arbeitsschritt	Maschine
Fällen, Aufarbeiten	2* Motorsäge Stihl MS290
Vorliefern	Anbauseilwinde Doppeltrommel Pfanzelt Typ 306, John Deere 6310
Rücken	Forstspezialschlepper Timberjack 360 D mit Rückekran
Hacken	Mobiler Hacker (JENZ HEM 25 D), auf LKW
Transport	DB-Actros 2646, Wechselcontainer

**Tabelle 7-9:** Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, teilmechanisiert HS 1



Arbeitsschritt	Maschinenzeit [min]	Arbeitszeit-bedarf [min]	Betriebsmittelaufwand	
			Kraftstoff [l]	Schmierstoffe [l]
Fällen, Aufarbeiten	7,44	9,30	0,22	0,06
Vorliefern	3,02	6,04	0,30	~0
Rücken	2,14	2,38	0,46	0,05
Hacken	2,03	3,01	0,85	0,01
Transport	3,40	6,55	0,97	0,01







**Tabelle 7-10:** Entfernungsannahmen teilmechanisiert HS 1

Mittlere Vorlieferentfernung	10 m
Mittlere Rückeentfernung	200 m
Ferntransport	20 km

**Hackschnitzel aus Durchforstungsholz 2:**

Es handelt sich um ein gekoppeltes Verfahren, das aus zwei Arbeitsschritten besteht. Zunächst wird in der „Zangenzone“, Reichweite der Zange eines Forstspezialschleppers, im gelösten Zwei-Mann-Verfahren gefällt und das entastete Holz mit dem Forstspezialschlepper zur Waldstrasse gerückt. Anschließend wird in der „Seilzone“ mit einer Anbauseilwinde von zwei Arbeitern (ein Arbeiter betätigt Motorsäge, der andere die Funkseilwinde) gefällt und zur Rückegasse vorgeliefert und konzentriert. Das Rücken zur Waldstrasse geschieht wieder mit der Zange des Forstspezialschleppers. Gehackt wird auf der Waldstraße mit einem Mobilhacker direkt in einen Wechselcontainer. Der Transport der Container wird von einem LKW mit Hakenlift durchgeführt. Für einen optimalen Ablauf ist eine gute Organisation notwendig. Das Verfahren ist in **Abb. 7-5** dargestellt. **Tabelle 7-11** zeigt die hierfür ausgewählten Maschinen, der Zeitbedarf und Betriebsmittelverbrauch der einzelnen Arbeitsschritte sind in **Tabelle 7-12** zu sehen. Der Masseanfall an Holz verteilt sich zu 50 % auf die Zangenzone und zu 50 % auf die Seilzone. Die der Berechnung zugrunde gelegten Entfernungsannahmen sind **Tabelle 7-13** zu entnehmen.

Arbeitsort Arbeitsschritt	Zangenzone	Rückegasse	Waldstrasse	Zielort
Fällen, Aufarbeiten				
Rücken				

Arbeitsort Arbeitsschritt	Seilzone	Rückegasse	Waldstrasse	Zielort
Fällen, Aufarbeiten, Vorliefern				
Rücken				
Hacken				
Transport				

**Abb. 7-5:** Bereitstellungskette teilmechanisiert HS 2

**Tabelle 7-11:** Maschineneinsatz teilmechanisiert HS 2

Arbeitsschritt	Maschine
Fällen, Aufarbeiten	2* Motorsäge Stihl MS290
Vorliefern	Anbauseilwinde Doppeltrommel Pfanzelt Typ 306, John Deere 6310
Rücken	Forstspeziialschlepper Timberjack 360 D mit Rückekran
Hacken	Mobiler Hacker (JENZ HEM 25 D), auf LKW
Transport	DB-Actros 2646, Wechselcontainer

**Tabelle 7-12:** Zeitbedarf/Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, teilmechanisiert HS 2

Arbeitsschritt	Maschinenzeit [min]	Arbeitszeit-bedarf [min]	Betriebsmittelaufwand	
			Kraftstoff [l]	Schmierstoffe [l]
<b>1. Arbeitsschritt: Zangenzone:</b>				
Fällen, Aufarbeiten	3,72	4,64	0,12	0,02
Rücken	1,26	1,40	0,27	0,03
<b>2. Arbeitsschritt: Seilzone</b>				
Fällen, Aufarbeiten, Vorliefern	5,23	7,67	0,26	0,03
Rücken	1,07	1,19	0,23	0,02
<b>3. Arbeitsschritt</b>				
Hacken	2,03	3,01	0,85	0,01
Transport	3,40	6,55	0,97	0,01






**Tabelle 7-13:** Entfernungsannahmen teilmechanisiert HS 2

Mittlere Vorlieferentfernung	10 m
Mittlere Rückeentfernung	200 m
Ferntransport	20 km

### Hackschnitzel aus Kronenmaterial

Als momentan angewandtes Verfahren soll auch die Bereitstellung von Hackschnitzel aus Kronenmaterial betrachtet werden. Hierfür wird angenommen, dass Kronenmaterial bei der Derbholzgewinnung im Bestand zurückbleibt und kostenfrei zur Verfügung steht. Das Kronenmaterial mit einem Durchmesser kleiner als 7 cm bzw. Langholz, das beim Ablängen Bereiche mit zu kleinem Durchmesser aufweist, wird von Hand zur Rückegasse vorgeliefert und konzentriert. Mit einem Tragschlepper wird das Material zur Waldstraße gerückt und dort mit einem Mobilhacker aufgearbeitet. Der Transport zum Verbraucher erfolgt mit einem LKW. Der Ablauf kann bis auf das Hacken und Transportieren der HS zeitlich entkoppelt erfolgen. Das Verfahren ist in **Abb. 7-6** dargestellt. Die zur Berechnung verwendeten

Maschinen aus **Tabelle 7-14** ergeben in **Tabelle 7-15** die Werte für den Zeitbedarf und Betriebsmittelverbrauch des Verfahrens. Die hierfür angenommenen Entfernungen sind **Tabelle 7-16** zu entnehmen.

Arbeitsort Arbeitsschritt	Bestand	Rückegasse	Waldstrasse	Zielort
Vorliefern				
Rücken				
Hacken				
Transport				

**Abb. 7-6:** Bereitstellungskette Kronenmaterial HS

**Tabelle 7-14:** Maschineneinsatz Kronenmaterial HS

Arbeitsschritt	Maschine
Vorliefern	-
Rücken	Tragschlepper Timberjack 1010B,
Hacken	Mobiler Hacker (JENZ HEM 25 D), auf LKW
Transport	DB-Actros 2646, Wechselcontainer

**Tabelle 7-15:** Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, Kronenmaterial HS






Arbeitsschritt	Maschinenzeit	Arbeitszeit- bedarf	Betriebsmittelaufwand	
	[min]		[min]	Kraftstoff [l]
Vorliefern	-	26,18	-	-
Rücken	3,14	3,49	0,42	0,04
Hacken	2,03	3,01	0,85	0,01
Transport	3,40	6,55	0,97	0,01

**Tabelle 7-16:** Entfernungsannahmen Kronenmaterial HS

Mittlere Vorlieferentfernung	10 m
Mittlere Ruckeentfernung	225 m
Ferntransport	20 km

## Scheitholz

Der Baum wird mit der Motorsäge gefällt und aufgearbeitet. Anschließend wird das Langholz mit einer Anbauseilwinde zur Rückegasse vorgeliefert. Das Rücken des vorkonzentrierten Langholzes zur Waldstrasse übernimmt ein Forstspezialschlepper mit angebautem Rückekran. Den Transport des Langholzes zum Brennstoffaufbereiter übernimmt ein LKW. Dort wird das Langholz möglichst direkt just in time vom Rungenaufbau in die Aufnahmevorrichtung eines vollautomatischen Säge-/Spaltautomates umgeladen. So entfällt der zusätzliche Arbeitsschritt von Abladen und Bestücken des Spalters. Die erzeugten Scheithölzer werden in dafür geeigneten Behältern gelagert. Das Verfahren ist in **Abb. 7-7** dargestellt, die eingesetzten Maschinen in **Tabelle 7-17**. Zeitbedarf und Betriebsmittelverbrauch sind in **Tabelle 7-18** mit den zugrunde gelegten Entfernungsannahmen in **Tabelle 7-19** dargestellt.

Arbeitsort Arbeitsschritt	Bestand	Rückegasse	Waldstrasse	Zielort
Fällen, Aufarbeiten				
Vorliefern				
Rücken				
Transport				
Spalten				

**Abb. 7-7:** Bereitstellungskette teilmechanisiert SH

**Tabelle 7-17:** Maschineneinsatz teilmechanisiert SH

Arbeitsschritt	Maschine
Fällen, Aufarbeiten	Motorsäge Stihl MS290
Vorliefern	Anbauseilwinde Doppeltrommel Pfanzelt Typ 306, John Deere 6310
Rücken	Forstspezialschlepper Timberjack 360 D mit Rückekran
Transport	Actros 2646 für Stammholz mit Anhänger
Spalten	Pinosa EPC 4400 Vollautomat

**Tabelle 7-18:** Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, teilmechanisiert SH

Arbeitsschritt	Maschinenzeit [min]	Arbeitszeit- bedarf [min]	Betriebsmittelaufwand		
			Kraftstoff [l]	Schmier- stoffe [l]	Elektr. [kWh]
Fällen, Aufarbeiten	7,44	9,30	0,22	0,06	-
Vorliefern	1,51	6,04	0,15	~0	-
Rücken	2,14	2,38	0,46	0,05	-
Transport	6,81	13,09	1,94	0,02	-
Spalten	4,89	6,98	-	-	5,21

**Tabelle 7-19:** Entfernungsannahmen teilmechanisiert SH

Mittlere Vorlieferentfernung	10 m
Mittlere Ruckeentfernung	200 m
Ferntransport	40 km




### 7.2.2.3 Vollmechanisierte Holzbrennstoffbereitstellung

Bei den vollmechanisierten Verfahren wird kein Arbeitsschritt der Holzernte manuell ausgeführt. Der Maschinenführer steuert alle Funktionen aus einer klimatisierten Kabine heraus.

#### Hackschnitzel aus Restholz der Stammholzernte mit HS-Harvester

Der Harvester fährt über die Rückegassen in den Bestand ein. Die vormarkierten Bäume werden mit dem am Kran befindlichen Harvesterkopf umfasst, zu Fall gebracht und vom Maschinenführer auf Industrieholzqualität beurteilt. Industrieholz wird entastet, vermessen und abgelängt zur Seite gelegt. Das Ausschuss-Derbholz sowie Kronenmaterial wird direkt dem Häckselaggregat zugeführt. Die Arbeitsprozesse der Stammholzgewinnung können hierbei nicht der Hackschnitzelgewinnung angelastet werden. Sobald der Hackschnitzelcontainer des Harvesters gefüllt ist, wird er mit dem Container des Shuttles ausgetauscht. Das Shuttle liefert nun den gefüllten Container zur Waldstrasse vor. Dort werden die Hackschnitzel in den Container eines LKW umgeladen. Das abgelängte Stammholz wird später von einem Tragschlepper aufgenommen. Alle Verfahrensschritte der HS-Gewinnung sind zeitlich gekoppelt, eine gute Logistik zur Vermeidung von Wartezeiten ist bei diesem Verfahren dringend notwendig. Das Verfahren ist in

**Abb. 7-8** beschrieben mit den zugehörigen Maschinen in **Tabelle 7-20**. Die hierfür berechneten Werte für Arbeitszeitbedarf und Betriebsmittelverbrauch stehen in **Tabelle 7-21**. Die für die Berechnung verwendeten Entfernungsannahmen sind **Tabelle 7-22** zu entnehmen.

Arbeitsort Arbeitsschritt	Bestand	Rückegasse	Waldstrasse	Zielort
Fällen, Aufarbeiten, Vorliefern, Hacken				
Rücken				
Transport				

**Abb. 7-8:** Bereitstellungskette vollmechanisiert HS

**Tabelle 7-20:** Maschineneinsatz vollmechanisiert HS

Arbeitsschritt	Maschine
Fällen, Aufarbeiten, Vorliefern	HS-Harvester Erjo 7/65 R
Rücken	HS-Shuttle Skogsjan 1008 LT 8WD
Transport	DB-Actros 2646, Wechselcontainer

**Tabelle 7-21:** Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, vollmechanisiert HS





Arbeitsschritt	Maschinenzeit [min]	Arbeitszeit- bedarf [min]	Betriebsmittelaufwand	
			Kraftstoff [l]	Schmierstoffe[l]
Fällen, Aufarbeiten, Vorliefern, Hacken	3,27	4,19	1,91	0,57
Rücken	2,12	3,93	0,32	0,06
Transport	3,40	6,55	0,97	0,01

**Tabelle 7-22:** Entfernungsannahmen vollmechanisiert HS

Mittlere Vorlieferentfernung	0 m
Mittlere Rückentfernung	279 m
Ferntransport	20 km

### Hackschnitzel aus Stammholz

Der Ablauf des Verfahrens ist in **Abb. 7-9** dargestellt. Der Harvester fährt über die Rückegasse in den Bestand ein. Die vormarkierten Bäume werden mit dem am Kran befindlichen Harvesterkopf gefällt, entastet, vermessen und als Langholz abgelängt zur Seite gelegt. Zeitlich entkoppelt kann nun der Tragschlepper in den Bestand einfahren und das Holz zur Waldstrasse rücken. Dort wird es nun entweder direkt auf einen LKW für Langholz umgeladen oder zunächst gepoltert und später abtransportiert. Das Langholz wird auf dem Lagerplatz des Brennstoffaufbereiters vorgehalten, bis es zum Aufbessern der Brennstoffqualität benötigt und dafür gehackt wird. Die zum Einsatz kommenden Maschinen sind in **Tabelle 7-23** zusammengefasst, **Tabelle 7-24** zeigt den Zeitbedarf und Verbrauch an Betriebsmitteln des Verfahrens. Die zur Berechnung verwendeten Entfernungsannahmen sind **Tabelle 7-25** zu entnehmen.

Arbeitsort Arbeitsschritt	Bestand	Rückegasse	Waldstrasse	Zielort
Fällen, Aufarbeiten Vorliefern				
Rücken				
Transport				
Hacken				

**Abb. 7-9:** Bereitstellungskette vollmechanisiert Stammholz-HS

**Tabelle 7-23:** Maschineneinsatz vollmechanisiert Stammholz-HS

Arbeitsschritt	Maschine
Fällen, Aufarbeiten, Vorliefern	Harvester Timberjack 1270B
Rücken	Tragschlepper Timberjack 1010B,
Transport	Actros 2646 für Stammholz mit Anhänger
Hacken	Mobiler Hacker (JENZ HEM 25 D) im stationären Einsatz

**Tabelle 7-24:** Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, vollmechanisiert Stammholz-HS

Arbeitsschritt	Maschinenzeit	Arbeitszeit- bedarf	Betriebsmittelaufwand	
	[min]	[min]	Kraftstoff [l]	Schmierstoffe [l]
Fällen, Aufarbeiten, Vorliefern,	4,08	5,24	0,90	0,27
Rücken	3,14	3,49	0,42	0,04
Transport	6,81	13,09	1,94	0,02
Hacken	1,05	1,31	0,44	~0

**Tabelle 7-25:** Entfernungsannahmen vollmechanisiert Stammholz-HS

Mittlere Vorlieferentfernung	0 m
Mittlere Ruckeentfernung	225 m
Ferntransport	40 km

### 7.3 Anlagen zur Wärme- und Stromerzeugung für verschiedene Versorgungsaufgaben

#### 7.3.1 System 1: Wärmeversorgung eines Einfamilien-Niedrigenergiehauses (EFH-I)

**Tabelle 7-26** gibt einen Überblick über die zugrunde gelegten Anlagenkenndaten und Emissionen für die Pellet- und die Stückholz-Zentralheizung zur Wärmeversorgung eines Einfamilien-Niedrigenergiehauses.

**Tabelle 7-26:** Anlagenkenndaten und Emissionswerte für System 1: Einfamilienhaus mit Niedrigenergiestandard (EFH-I)

		Pellets- Zentralheizung	Stückholz* Zentralheizung
Anlagengröße	kW	10	15
Gesamtnutzungsgrad	%	78	70
Brennstoffbedarf	MWh/a	12,8	14,3
Wassergehalt Brennstoff	%	8	18
Heizwert	MJ/kg	17	15
Spezif. NO <sub>x</sub> -Emissionen	kg/MWh	0,006	0,280
Spezif. Partikel-Emissionen	kg/MWh	0,072	0,380
Brennstoffbereitstellung		Lieferung durch Händler	Motor-manuell in Eigenleistung

\* hier: Fichte

#### 7.3.2 System 2: Wärmeversorgung eines Einfamilienhauses mit durchschnittlichem Wärmedämm-Standard (EFH-II)

**Tabelle 7-27** gibt einen Überblick über die zugrunde gelegten Anlagenkenndaten und Emissionsdaten für die Holzkessel zur Wärmeversorgung für das System 2 EFH-II.

**Tabelle 7-27:** Anlagenkenndaten und Emissionswerte für System 2: Einfamilienhaus mit durchschnittlichen Wärmedämm-Standard (EFH-II)

		<b>Pellets- Zentralheizung</b>	<b>Stückholz- Zentralheizung</b>	<b>Holz- Hackschnitzel- Heizung</b>
Anlagengröße	kW	18	25	18
Pufferspeicher (-größe)	l	-	2.500	-
Gesamtnutzungsgrad	%	80	75	78
Brennstoffbedarf	MWh/a	42,5	45,3	43,6
Wassergehalt Brennstoff	%	8	18	25
Heizwert	MJ/kg	17	15	13,4
Spezif.	kg/MWh	0,335	0,280	0,442
NO <sub>x</sub> -Emissionen				
Spezif. Partikel- Emissionen	kg/MWh	0,072	0,380	0,254
Brennstoff- bereitstellung		Lieferung durch Händler	Motor-manuell in Eigenleistung	Motor-manuell in Eigenleistung bzw. als lw. Leistung

### 7.3.3 System 3: Wärmeversorgung eines Mehrfamilienhauses (MFH) mit Wärmedämmstandard 90-er Jahre (MFH)

**Tabelle 7-28** gibt einen Überblick über die zugrunde gelegten Anlagenkenndaten und Emissionen für die Biomassekessel zur Wärmeversorgung eines Mehrfamilienhauses.

**Tabelle 7-28:** Anlagenkenndaten und Emissionswerte für System 3: Mehrfamilienhaus mit Dämmstandard 90er Jahre (MFH)

		<b>MFH Stückholz- Zentralheizung</b>	<b>MFH Holz-Hackschnitzel- Heizung</b>
Anlagengröße	kW	60	60
Pufferspeicher (-größe)	l	6.000	-
Gesamtnutzungsgrad	%	75	78
Brennstoffbedarf	MWh/a	170,5	179,5
Wassergehalt Brennstoff	%	18	25
Heizwert	MJ/kg	15	13,4
Spezif. NO <sub>x</sub> -Emissionen	mg/Nm <sup>3</sup>	0,280	0,431
Spezif. Partikel-Emissionen	mg/Nm <sup>3</sup>	0,380	0,248
Brennstoffbereitstellung		80 % motor- manuell; 20% teilmechanisch	motor-manuell

### 7.3.4 System 4: Nahwärmeversorgung eines Wohngebietes bzw. kommunalen Gebäudes / Gebäudeverbundes

Es werden zwei Versorgungsfälle betrachtet, die über eine *Nahwärmeversorgung* abgedeckt werden:

1. Versorgung eines *kommunalen Gebäudes* / Beheizung einer Schwimmbadanlage
2. Versorgung eines *Wohngebietes* mit 60 Wohngebäuden gerechnet nach

**Tabelle 7-29** gibt einen Überblick über die zugrunde gelegten Anlagenkenndaten und Emissionen für die Holz-Hackschnitzel-Heizzentralen.

**Tabelle 7-29:** Anlagenkenndaten und Emissionswerte für System 4

		Holz- Hackschnitzel- Heizzentrale I	Holz- Hackschnitzel- Heizzentrale II
Anlagengröße (Biomasse-Anteil)	MW	1	1,5
Anlagengröße (fossil) (Reserve- und Spitzenlast)	MW		3
Volllaststunden (Biomasse-Anteil)	h/a	3.200	4.500
Brennstoffbedarf (Biomasse-Anteil)	MWh/a	5.490	8.430 (83.000 l/a)
Wassergehalt Bio-Brennstoff	%	50	50
Heizwert Bio-Brennstoff	MJ/kg		
Volllaststunden (fossil)	h/a		220
Brennstoffbedarf (fossil)	MWh/a	170,5	--
Spezif. NO <sub>x</sub> -Emissionen	kg/MWh	0,236	0,230
Spezif. Partikel-Emissionen	mg/Nm <sup>3</sup>	0,039	0,038
Bio-Brennstoffbereitstellung		Wald-HS teilmechanisiert 85%; Grüngut-HS 15%	Wald-HS teilmechanisiert 60%; Industrierest- holz 30%; Grüngut- HS 10%

Für die *Nahwärmeversorgung eines kommunalen Gebäudes* (Schwimmbadanlage) wird eine Anlage mit einer Holzessel-Leistung von 1000 kW (siehe Anlage 42 aus der Landesdatenbank Holzenergieanlagen) betrachtet. Es handelt sich um eine

Stufenrostfeuerung. Der Betriebsbericht des Jahres 2001 weist 3.200 Volllaststunden des Holzkessels mit 5.490 MWh/a Wärmeproduktion, bei einem Brennstoffbedarf von etwa 6.900 Sm<sup>3</sup> pro Jahr aus. Davon wurden 85 % aus Grüngut und 15 % aus Waldhackgut abgedeckt, zu einem mittleren Preis von 8,18 €/Sm<sup>3</sup> (50 % Wassergehalt). Ein Gaskessel mit 1.400 kW Leistung für die Reserve- und Spitzenlast lieferte bei 1.400 Volllaststunden/a etwa 2.235 MWh/a Endenergie (10 kWh/m<sup>3</sup> Erdgas). Er wird ergänzt durch einen Ölkessel mit 1.850 kW Leistung, mit welchem etwa 100 Volllaststunden/a (147,5 MWh/a Endenergie bei 10 kWh/l Heizwert, gleich 14.750 l/a Heizöl) geliefert wurden. Das System ist mit 90/70 °C Vor-/Rückklufttemperatur ausgelegt.

Die Emissionsdaten sind wie folgt angegeben (in mg/Nm<sup>3</sup> Rauchgas): NO<sub>x</sub>: 199; CO: 59; C<sub>org</sub>: k.A.; Staub<sub>gesamt</sub>: 35. Ascheanfall 42 t/a gesamt, davon 35,7 t Grobasche, 6,3 t Feinasche, welche vollständig deponiert wird.

Für den Versorgungsfall der *Nahwärmeversorgung eines Wohngebietes* wird ein Wohngebiet mit 60 Wohngebäuden vorgesehen. Der Leistungsbedarf wird mit insgesamt 4.500 kW angegeben (davon 1.500 kW Holzkessel). Das Wärmenetz hat eine Länge von 1.580 m (Hauptnetz), die Hausanschlüsse weitere 900 m, so dass das Wärmenetz insgesamt eine Länge von 2.480 m aufweist. Der errechnete Wärmebedarf beläuft sich bei 9600 m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche auf 9.260 MWh/a Endenergie.

Für die Heizzentrale II wurden als gemessene Emissionen im Betriebsbericht 2000 folgende Angaben gemacht (in mg/Nm<sup>3</sup> Rauchgas): NO<sub>x</sub>: 126; CO: 103; C<sub>org</sub>: 8; Staub<sub>gesamt</sub>: 21. Der Ascheanfall betrug 8,4 t/a. Zum Hilfsenergiebedarf, Personalaufwand usw. wurden keine Angaben gemacht. Da diese Angaben zur Kalkulation der ökologischen Aspekte nicht ausreichend sind, wurde auf in sich konsistente Emissionswerte aus der Literatur zurückgegriffen. Dazu wurden Daten aus der Gemis-4.2-Datenbank herangezogen.

Einige technische Kenndaten zweier typischer Nahwärmesysteme sind in **Tabelle 7-30** dargestellt. Durch die Übertragungsverluste des Wärmeverteilnetzes sowie der Hausübergabestationen und Warmwasserspeicher in den zu versorgenden Gebäuden ist die vom Heiz- bzw. Heizkraftwerk bereitzustellende Wärme (d. h. Wärme frei Heizwerk) größer als die Wärmenachfrage aller angeschlossenen Verbraucher.

**Tabelle 7-30:** Kenndaten typischer Nahwärmenetze (aus Leitfaden Bioenergie, 2005)

System	NW-I	NW-II
Wärmenachfrage (GJ/a) <sup>a</sup>	8 000	26 000
Wärme ab Heizwerk (GJ/a) <sup>b</sup>	9 900	32 200
Netzlänge (m)	2 000	6 000
Rohrdimension	DN 80	DN 150
Vorlauf-/Rücklauftemperatur (°C) <sup>c</sup>	70/50	70/50
Nutzungsgrad Wärmeverteilnetz (%)	0,85	0,85
Nutzungsgrad Übergabestation (%) <sup>d</sup>	0,95	0,95

<sup>a</sup> alle angeschlossenen Abnehmer;

<sup>b</sup> unter Berücksichtigung der Verluste des Wärmenetzes und der Hausstationen;

<sup>c</sup> durchschnittlicher Wert für das Gesamtjahr;

<sup>d</sup> durchschnittlicher Nutzungsgrad aller angeschlossenen Verbraucher (Warmwasser 80 %, Raumheizung 98 %)

### 7.3.5 System 5: Industrierwärmebereitstellung mit gekoppelter Stromerzeugung über eine Dampfturbine (wärmegeführt)

Es handelt sich hier um ein Dampfturbinen-Holz-HKW mit einer Feuerungswärmeleistung von 26,7 MW<sub>th</sub>, Entnahme-Kondensations-Dampfturbine (6,1 MW<sub>el</sub> Nennleistung). Sie dient sowohl der Prozessdampf- als auch der Nahwärme- und Kälteerzeugung über eine Absorptionskälteanlage. Die Auslegung des Heizkraftwerkes ist Holzenergie-optimiert. So werden 95 % der insgesamt durch das HKW abgegebenen Energie aus Holz erzeugt.

Wärme wird mit 210 °C/13 bar ausgekoppelt und als Prozessdampf abgegeben. Diese Dampfschiene wird bei Bedarf parallel auch mit zwei öl- bzw. erdgasbefeuelten Reservedampfkesseln gespeist, welche ausschließlich der Wärmebereitstellung dienen. Eine zweite Auskopplung erfolgt bei 3,5 bar. Über Wärmetauscher erfolgt hier die Wärmeabgabe mit max. 130 °C Vorlauftemperatur als Hochtemperatur-Nahwärme, welche auch mehrere in das Netz eingebundene Absorptions-Kälteanlagen antreibt (HT-Netz) und mit max. 85 °C Vorlauftemperatur als Mitteltemperatur-Nahwärme (MT-Netz). Aus der Abdampfkondensation wird zunächst ein erheblicher Teil der MT-Wärme gewonnen sowie mit 45 °C Vorlauftemperatur das Niedertemperatur-Nahwärmenetz (NT-Netz) versorgt. Über den Luftkondensator (LUKO) können bis zu 2/3 der bei Turbinen-Volllast anfallenden Wärme bei fehlender Abnahme im Kondensationsbetrieb weggekühlt werden. Die vielfältige Wärmeauskopplung auf unterschiedlichen Temperaturniveaus einschließlich Kälteerzeugung ermöglicht einen hohen Wärmenutzungsgrad auch in den Sommermonaten und kann damit als idealisierte Form einer Einbindung von Holzenergie mit Dampfkraftprozess in regionale Energieversorgungskonzepte mit

Zukunftspotenzial angesehen werden. Es wird ein Jahresnutzungsgrad (Brennstoffinput zu Energieoutput) von 69,7 % angenommen.

Die Auslegung des HKW ist wärmeoptimiert. Dennoch findet in Zeiten mit schwacher Wärmeabnahme auch Stromerzeugung im Kondensationsbetrieb statt. Insofern bezeichnet der Betreiber die Betriebsweise der Anlage als „holzenergieoptimiert“. Zwei mit Heizöl oder Erdgas befeuerte Kessel mit 10,5 MW bzw. 22 MW Feuerungswärmeleistung dienen als Backup und Spitzenlastabdeckung der Wärmeversorgung. Die Lastanpassung erfolgt zunächst über Dampfdruckspeicherung in den Reservekesseln, bei höherer Wärmeabnahme wird mit Drosselung der Turbinenleistung (Erhöhung der Dampfnahmemöglichkeit) reagiert, bevor fehlende Wärmemengen durch die Reservekessel zugeführt werden. Auf diese Art werden 95 % der insgesamt durch das HKW abgegebenen Energie aus Holz erzeugt.

### **7.3.6 System 6: Nahwärmeversorgung eines größeren Wohn- und Gewerbegebietes und Stromerzeugung mit ORC-Anlage (wärmegeführt)**

Diese Biomasse-Anlage dient zur Grundlast-Wärmebereitstellung eines bestehenden Nahwärmenetzes für die vorwiegende Versorgung eines Wohngebietes, welches bisher mit Erdgas beheizt wurde und sich gegenwärtig in der Aufsiedelung befindet (Ostfildern Scharnhäuser Park). Die bestehenden Erdgaskessel decken weiter die Spitzen- und Reserverlast der Wärmeversorgung.

Das Biomasse-HKW hat eine Brennstoffleistung (=Feuerungswärmeleistung) von 8,7 MW<sub>th</sub>. Der auf einer Stufenrostfeuerung installierte Thermoölkessel liefert 6 MW<sub>th</sub> an das ORC-System. Das ORC-Modul hat eine Nennleistung von 1.000 kW<sub>el</sub>. Nach dem Kreisprozess zur Stromerzeugung werden aus der ORC-Anlage bis zu 4,65 MW<sub>th</sub> Leistung und über einen Heißwasser-Economizer, welcher zur Wärmerückgewinnung aus den Rauchgasen dient, bis zu 1,61 MW<sub>th</sub> Leistung an das Nahwärmenetz geliefert. Dieses wird mit einer mittleren Vorlauftemperatur von 90 °C aus der Biomasseanlage bedient. Die Anlage besitzt auch ein luftbetriebenes Rückkühlwerk, welches mit einem eigenen Kreislauf in den Rücklauf der ORC-Anlage eingebunden ist und auf die Leistung des ORC-Moduls ausgelegt wurde, so dass dieses aus technischer Sicht auch im Kondensationsbetrieb ohne Wärmeabnahme unter Vollast Strom erzeugen kann.

Die Brennstoffbeschickung erfolgt aus einem überdachten Lager mit Schubstangen-Kratzboden, welches den Brennstoffvorrat für etwa eine Woche fasst. Die heißen Rauchgase erwärmen hinter dem Thermoölkessel zunächst den Rücklauf des

Thermoöls (Thermoöl-Economizer) und anschließend den Vorlauf des Nahwärmenetzes (Heißwasser-Economizer), nachdem dieser den Kondensator der ORC-Anlage passiert hat. Über einen Luft-Vorerwärmer (LUVO) werden die Rauchgase schließlich bis auf etwa 150 °C abgekühlt. Wegen der hohen Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes von bis zu 60 °C kann über die Wärmenetzeinbindung keine vollständige Rauchgaskondensation erzielt werden. Für die Rauchgasreinigung ist einem trockenen Elektrofilter ein Multizyklon vorgeschaltet.

Das Thermoöl treibt den ORC-Kreislauf an. In diesem befindet sich ein organisches Medium (Silikonöl), welches bei weit niedrigeren Temperaturen verdampft als Wasser, aus Umweltsicht aber erheblich unbedenklicher ist als die früher besonders bei Anlagen zur geothermischen Stromerzeugung verwendeten, FCKW-basierten Arbeitsmedien mit ihren klimaschädigenden Wirkungen. Hinter der Turbine der ORC-Anlage wird der entspannte Dampf des ORC-Arbeitsmediums mit der Wärmeabnahme des Nahwärmesystems kondensiert. Damit kann eine Heißwassertemperatur bis 80 °C erzielt werden. Bei höherer Wärmelast des Netzes wird zunächst mit dem Heißwasser-Economizer und schließlich mit den Reservekesseln nachgeheizt, um bei hoher Wärmeabnahme auch Vorlauftemperaturen bis über 90 °C zu erreichen.

Für die Bilanzberechnungen wird aus ökologischen Gründen ein wärmegeführter Betrieb der Anlage angenommen, was zu geringeren absoluten Stromerträgen aber einem günstigen Jahresnutzungsgrad von 81 % führt. Aus heutiger wirtschaftlicher Sicht (EEG-Stromvergütung) wäre der stromgeführte Betrieb zu bevorzugen, allerdings bei deutlich geringerem Jahresnutzungsgrad (57,1 %), da bei der angenommenen Netzeinbindung und Wärmenachfrage fast die Hälfte der aus Biomasse erzeugten Wärme ungenutzt weggekühlt werden müsste. Auch bei sehr günstigen Annahmen der Wärmenutzung könnten bei stromgeführter Energieerzeugung im vorhandenen Umfeld nicht mehr als knapp 70 % Jahresnutzungsgrad erreicht werden (bei 7.000 Volllaststunden Wärmeabgabe pro Jahr). Es ergeben sich rechnerisch bei wärmegeführtem Betrieb knapp 4.900 Volllaststunden Wärme- und 4.600 Volllaststunden Stromerzeugung pro Jahr.

In **Tabelle 7-31** werden nach den anfangs getroffenen Systemfestlegungen die energetischen Kennzahlen vom Brennstoffinput bis zum Endenergie-Output dargestellt. Die energetische Bewertung der Wärmeabgabe jedes Systems erfolgt dabei nach einem exergetischen Ansatz (vgl. Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.). Der elektrische Wirkungsgrad bezieht sich auf die Stromerzeugung aus Biomasse. Die Deckung des ausgewiesenen Eigenstrombedarfs

erfolgt aus dem Mittelspannungsnetz und liegt bei 12 % der Brutto-Stromerzeugung (vgl. **Tabelle 7-31**).

**Tabelle 7-31:** Kenndaten des Holzhackschnitzelheizkraftwerkes mit ORC-Anlage zur Stromerzeugung

Parameter	Einheit	ORC-Anlage
Heizwert Brennstoff	MJ/kg <sup>1</sup>	9,08
Brennstoffeinsatz	MWh Hu/a	43 452
	t/a	17 233
Heizwert Produktgas	MJ/Nm <sup>2</sup>	-
Stromertrag brutto	MWhel/a	4 600
Eigenverbrauch Strom	MWhel/a	550
	% v. Brutto	12,0
Wärmeabgabe (Vorlauf-Temp. 90°C) <sup>3</sup>	MWhth/a	30 590
Lebensleistung Strom <sup>4</sup>	MWh	92 000
Lebensleistung Wärme <sup>4</sup>	MWh	611 800
Nutzungsgrad elektrisch System	%	10,6
Nutzungsgrad thermisch System	%	70,4
Jahresnutzungsgrad System	%	81,0
Wärmeabgabe exergetisch	MWh <sub>exerg</sub> /a	6 739
Exerget. Gew. Strom	%	40,56696
Exerget. Gew. Wärme	%	59,43304
Allok. Lebensleistung exerget. <sup>4</sup>		4,409E-09

<sup>1</sup> bezogen auf 20 Gew.% Wasser im zugeführten Brennstoff  
<sup>2</sup> bezogen auf Produktgas  
<sup>3</sup> bezogen auf 45 Gew.% Wasser im Brennstoff  
<sup>4</sup> bezogen auf einen 20-jährigen Betrachtungszeitraum; in den Allokationsfaktor nach exergetischer Lebensleistung gehen erzeugte Energiemengen und exergetische Gewichtung der Strom- und Wärmeerzeugung ein ( $1/\sum \text{kWh}_{\text{exerg}}$ )

### 7.3.7 Konventionelle Vergleichssysteme (fossil gefeuerte Referenzanlagen) für die Versorgungsaufgaben (siehe Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.)

**Wärmebereitstellung aus fossilen Energieträgern.** Zur Raumwärme- und Warmwasserbereitung mit Heizöl oder Erdgas finden heute überwiegend Spezialkessel, Niedertemperatur- und Brennwertkessel Verwendung. In den Untersuchungen zur ökologischen Analyse werden Niedertemperaturkessel und Brennwertkessel betrachtet.

Niedertemperaturkessel (NT-Kessel) werden - im Gegensatz zu herkömmlichen Kesseltypen, in denen die Kesselwassertemperatur bei ca. 80 bis 90 °C konstant

gehalten wird - mit gleitender Kesselwassertemperatur von 75 bis auf 40 °C oder tiefer betrieben. Vor allem bei Kesseln mit Warmwassererwärmung lassen sich dadurch die Abgas- und Bereitschaftsverluste während der heizungsfreien Sommerzeit deutlich verringern und somit Jahresnutzungsgrade von 91 bis 93 % (bezogen auf den Heizwert) erreichen.

Die beste Ausnutzung der im Brennstoff enthaltenen Energie lässt sich jedoch mit Brennwertkesseln erzielen. Durch Abkühlung der heißen Abgase über den Rücklauf des Heizungssystems werden dabei die fühlbare Restwärme der Abgase sowie die latente Wärme (Verdampfungswärme) des im Abgas enthaltenen Wasserdampfs genutzt. Diese Verdampfungswärme kann dabei allerdings nur gewonnen werden, wenn die Rücklauftemperatur des Heizungssystems unterhalb der Taupunkttemperatur des Abgases liegt und somit ein Teil des Wasserdampfes kondensieren kann. Auf Grund des höheren Wasserstoffanteils im Brennstoff lässt sich bei erdgasbefeuerten Kesseln mit 11 % ein höherer theoretischer Energiegewinn als bei heizölbefeuerten Kesseln (6 %) erzielen. Neben den im Vergleich zu erdgasbefeuerten Brennwertkesseln schlechteren energetischen Rahmenbedingungen sind bei heizölbefeuerten Brennwertgeräten auch die chemischen Eigenschaften des Kondensats gegenüber erdgasbefeuerten Geräten ungünstiger. Durch den Schwefelgehalt im Heizöl ist der Anteil der im Abgas und damit auch der im Kondensat enthaltenen sauren Bestandteile wesentlich höher.

Zur Deckung der Versorgungsaufgaben kann, je nach Heizlast der untersuchten Gebäude, der Einsatz von erdgasbefeuerten Kesseln mit Brennwerttechnik sowie ölbefeuerten Niedertemperatur-Kesseln unterstellt werden (**Tabelle 7-32**).

**Tabelle 7-32:** Technische Kenngrößen der mit fossilen Brennstoffen befeuerten Referenz-Anlagen

Versorgungsfall		EFH-I		EFH-II		MFH	
Referenzanlage <sup>a</sup>		Brennwert	Niedertemp.	Brennwert	Niedertemp.	Brennwert	Niedertemp.
Nennleistung	(kW)	5	6	18	20	60	67
Feuerungstechnik <sup>a</sup>		BW	NT	BW	NT	BW	NT
Brennstoff		Erdgas	Heizöl EL <sup>b</sup>	Erdgas	Heizöl EL <sup>b</sup>	Erdgas	Heizöl EL <sup>b</sup>
Lebensdauer	(a)	15	15	15	15	15	15
Kesselnutzungsgrad	(%)	104	93	104	93	104	93
Systemnutzungsgrad	(%)	95	85	101	91	100	90
Brennstoffeinsatz	(GJ/a)	34,5	38,5	117,2	131	495,5	553,5
Warmwasserspeicher	(l)	160	160	160	160	800	800

<sup>a</sup> BW = Erdgas-Brennwertkessel; NT = Niedertemperatur-Ölkessel; <sup>b</sup> Heizöl Extra Leicht  
Quelle: /Hartmann, Kaltschmitt 2002/

Auch bei der Wärmebereitstellung für eine Wohngebiet bzw. ein Kommunales Gebäude in einem Nahwärmeversorgungssystem wurden Öl und Gas als fossile Referenzsysteme angenommen und etwa gleich große Öl- und Gasbrenner als Alternative für die Biomasse-Kessel angesetzt.

**Wärme- und Strombereitstellung aus fossilen Energieträgern.** Zur Deckung der Nachfrage nach elektrischer Energie werden in Deutschland zu einem erheblichen Anteil am Strommix Wärmekraftwerke betrieben. Da die Stromerzeugung aber nicht im Mittelpunkt der hier durchgeführten Untersuchungen steht, wird auf den detaillierten Vergleich von aus Holzenergie erzeugtem Strom mit aus fossil befeuerten Wärmekraftwerken erzeugtem Strom verzichtet. Vielmehr werden für die Referenzsysteme der Nah- und Fernwärmeversorgung analog zur oben geschilderten Einzelhausversorgung ökologische Kennzahlen der Bereitstellung von Nutzwärme in unterschiedlichen Wärmenetzsituationen aus GEMIS 4.2. verwendet. Dort ist u.a. auch die Wärmeerzeugung über Gas-BHKW's mit Gutschrift der erzeugten Elektrizität berücksichtigt. Solche Kraftwerke wandeln einen Teil des Energieinhalts fossiler Brennstoffe (Stein- und Braunkohle, Erdgas, Erdöl) in elektrische Energie um. Zur großtechnischen Stromerzeugung finden in Deutschland dabei Dampf- und Gasturbinenkraftwerke sowie kombinierte Gas- und Dampfprozesse (GuD) Anwendung. In der Betrachtung wird der Vorgehensweise anderer Studien gefolgt, in welchen die Wärmeerzeugung mit einer Strom-Gutschrift in

---

Höhe des bundesdeutschen Strom-Mix versehen wird, um eine gleichwertige Betrachtung aller Optionen zu ermöglichen.

## **7.4 Beschäftigungseffekte eines Ausbaus der Holzenergienutzung**

Methodisch ist an die Analyse von Beschäftigungswirkungen neuer Technologien oder von wirtschaftlichen Strukturänderungen eine Reihe von Anforderungen zu stellen. Daher sollen einige Vorüberlegungen zur Analyse von Beschäftigungswirkungen angestellt werden.

### **7.4.1 Grundlagen und Methodik der Ermittlung von Beschäftigungseffekten**

Bei der Analyse muss zunächst eine Differenzierung und Ausweisung von positiven und negativen Beschäftigungseffekten erfolgen. Unter positiven Beschäftigungseffekten werden solche Arbeitsplatzwirkungen verstanden, durch die neue Arbeitsplätze geschaffen oder bestehende erhalten werden. Unter negativen Beschäftigungswirkungen werden solche Arbeitsplatzwirkungen verstanden, durch die an anderer Stelle der Volkswirtschaft bestehende Arbeitsplätze vernichtet oder die Schaffung neuer Arbeitsplätze verhindert wird.

Ebenso sollten direkte und indirekte Beschäftigungseffekte unterschieden werden. Direkte (positive) Beschäftigungseffekte sind solche, die durch die Investitionen in energietechnische Anlagen, durch den Betrieb dieser Anlagen sowie durch Aufwendungen für private und öffentliche Dienstleistungen entstehen. Bei indirekten Beschäftigungseffekten handelt es sich um Effekte der „zweiten und dritten Runde“.

Weiterhin ist zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Beschäftigungseffekten zu differenzieren. Viele direkte Effekte des Zubaus von Energietechnologien machen sich relativ kurzfristig bemerkbar und führen zu positiven Beschäftigungseffekten. Indirekte Effekte treten auf gesamtwirtschaftlicher Ebene häufig erst mittel- oder langfristig in Erscheinung.

Schließlich sollten Brutto- und Nettobeschäftigungseffekte deutlich voneinander unterschieden werden. Bei den Bruttoeffekten werden nur die positiven direkten und indirekten Beschäftigungseffekte erfasst. Dagegen lassen sich die Nettoeffekte nur aufgrund einer umfassenden Bilanz der positiven und negativen, der direkten und indirekten sowie der kurz- und langfristigen Effekte feststellen.

Grundsätzlich werden 5 Effekte einer Beschäftigungswirkung unterschieden:

- 1. Investitionseffekt:** Investitionen in neue Anlagen lösen Beschäftigungseffekte aus
- 2. Betriebseffekt:**
  - a. Wartung von Betrieb der Anlagen
  - b. Ersatz bisher genutzter Brennstoffe
- 3. Budgeteffekt:** Mehrkosten ersetzen andere Ausgaben
- 4. Dynamischer Effekt:** Veränderungen des Marktes: Förderung, neue Preise, Märkte, Produkte, Technologien
- 5. Außenhandelseffekt:**
  - a. Veränderungen Export / Import von Anlagen gegenüber bisher
  - b. Verringerte Deviseneinnahmen für Energielieferanten (Öl, Gas, Import-kohle) mit Konsequenzen für deren Käufe von Gütern bei uns (internationaler Budgeteffekt)

Diese Effekte rufen sehr unterschiedliche Wirkungen am Arbeitsmarkt hervor:

1. Verteilungswirkung: technologisch, regional, sektoral, sozial, Bildungsniveau
2. Verlagerungswirkung: Konkurrenz, Substitution
3. Direkte Wirkungen: Anlagenbau, Anlagenbetrieb
4. Indirekte Wirkungen: Holzwirtschaft, Vor- und Nachketten

Der Investitionseffekt übt eine direkte Verteilungswirkung auf den Arbeitsmarkt aus. Durch die Investition in neue Technologien, werden in diesem Sektor Arbeit und Arbeitsplätze geschaffen bzw. erhalten. Häufig wird die Zahl der in diesem Sektor beschäftigten Mitarbeiter als Maß der Beschäftigungswirkung einer Technologie angesehen.

Der Betriebseffekt kann weiterhin eine direkte Wirkung auf den Arbeitsmarkt auslösen, in dem Arbeitsplätze im Bereich der Wirtschaft erhalten oder geschaffen werden, die für den Betrieb, die Wartung und z.B. auch die Brennstoffbereitstellung für eine neue Anlage zuständig sind.

Der Budgeteffekt übt über die Neuverteilung der Kaufkraft zwischen verschiedenen Sektoren einen ganz entscheidenden und bedeutenden Effekt auf die Beschäftigung aus. Die Investition in eine neue Technologie führt dazu, dass in anderen Bereichen, z.B. dort wo früher Investitionen getätigt wurden, diese wegfallen, und damit auch Beschäftigung abgebaut wird. Der Neuaufbau von Beschäftigung ist daher immer auch mit einer Verlagerungswirkung von einem Sektor in den anderen verbunden.

Schließlich wirken auf den Arbeitsmarkt auch noch dynamische und Außenhandels-effekte, die direkten und indirekten Wirkungen z.B. auf einzelne Sektoren der Holzwirtschaft (Bereitstellung, Anlagenbau, Anlagenbetrieb, etc.) haben können.

#### **7.4.2 IER-Workshop „Beschäftigungswirkungen der Holzenergienutzung in Baden-Württemberg“ am 05.11.2004**

##### **7.4.2.1 Zielsetzung des Workshops**

Im Rahmen des Projektes sollten auf dem Workshop Ansätze erarbeitet und erste Ergebnisse zur Ermittlung von Beschäftigungseffekten durch die Holzenergienutzung in Baden-Württemberg zusammengestellt und mit Fachvertretern und Experten diskutiert werden.

Dazu wurde in Fachbeiträgen und Diskussionen ein Überblick über den methodischen und inhaltlichen Stand des Wissens und über den künftigen Handlungs- und Forschungsbedarf gegeben. Der räumliche Schwerpunkt der Betrachtungen sollte der Raum Baden-Württemberg sein, aber auch darüber hinausgehende Perspektiven sollten eröffnet werden.

##### **7.4.2.2 Organisatorischer Rahmen und Programm**

1. Zeitpunkt: 05.11.2004
2. Dauer: halbtägig, vormittags
3. Art: Referate von je etwa 20 Min. Dauer mit anschließender Diskussion und einer moderierten Abschlussdiskussion
4. Zielgruppe: Ministerien (insbes. MLR), Landeseinrichtungen a. d. Bioenergie (Forstdirektion, KEA etc.), Wissenschaft Uni Stgt., Hohenheim etc.
5. Referate, Vorträge

- Der Workshop wurde mit einem Überblicksbeitrag eröffnet, der die Begriffe „Holzenergie“, „Nachhaltigkeit“ und „Beschäftigung“ in Baden-Württemberg miteinander verknüpft.
- In zwei Referaten wurden die praktischen Erfahrungen der Holzenergienutzung und ggf. daraus ableitbare Beschäftigungsaspekte aus Sicht der Forstwirtschaft und kommunaler Anwender bzw. Anlagenbetreiber und -planer dargestellt.
- Im nächsten Vortrag wurden methodische Ansätze zur Erfassung von Beschäftigungseffekten und am Beispiel des am IER entwickelten Tools „Newage“ ein Energiewirtschaftsmodell vorgestellt, mit dessen Hilfe Aussagen zu Beschäftigungswirkungen des Sektors „Holzwirtschaft“ und den gesamtwirtschaftlichen Verflechtungen getroffen werden können.
- In den beiden letzten Beiträgen wurden Ergebnisse aus zwei Projekten präsentiert, in denen u.a. Beschäftigungseffekte der Holzenergienutzung untersucht wurden.
- Die Abschlussdiskussion diente einer Zusammenfassung und dem Herausarbeiten von Lösungsansätzen zur beschleunigten Realisierung von Holzenergieprojekten

*Tabelle 7-33 zeigt das Programm der Veranstaltung.*

**Tabelle 7-33:** Programm des IER-Workshops „Beschäftigungswirkungen der Holzenergienutzung in Baden-Württemberg“ am 05.11.2004

<b>Zeit</b>	<b>Thema und Referent(en)</b>
09.00 Uhr	<b>Begrüßung und Eröffnung</b> Prof. Dr.-Ing. A. Voß, Institutsleiter IER MR M. Strittmatter, MLR
09.10 Uhr	<b>Einführung: Holzenergie als Baustein einer nachhaltigen Energieversorgung in BW - Welche Möglichkeiten bietet Bioenergie?</b> Dr. L. Eltrop, IER Universität Stuttgart
09.30 Uhr	<b>Energieholz - Bereitstellung und Einsatz. Nur ein Thema für die Forst- und Holzwirtschaft?</b> Dr. U. Sauter/B. Textor, FVA Freiburg
10.00 Uhr	<b>Kommunale Holzenergienutzung: Beschäftigungswirkungen aus Sicht der Praxis</b> W. Schuler, IBS Bietigheim-Bissingen
10.30 Uhr	<b>Methodische Ansätze zur Erfassung von Beschäftigungseffekten in Energiesystemen</b> Dr. U. Fahl, IER Universität Stuttgart
11.00 Uhr	<b>Kaffeepause</b>
11.30 Uhr	<b>Beschäftigungseffekte durch die Bereitstellung und energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe</b> E. Nieke/Dr. L. Leible, FZK-ITAS,

---

	Karlsruhe
12.00 Uhr	<b>Beschäftigungseffekte der Holzenergienutzung in BW - Ergebnisse eines MLR-Projektes</b> Dr. J. Moerschner, IER Universität Stuttgart
12.30 Uhr	<b>Kritische Bilanz des Workshops</b> Dr. L. Eltrop, Dr. J. Moerschner, IER Universität Stuttgart und im Anschluss <b>Abschlussdiskussion mit den Referenten</b> Moderation: T. Deines, MLR
13.30 Uhr	<b>Ende der Veranstaltung</b> Möglichkeit zum Mittagessen im RP

---

### 7.4.2.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse des Workshops wurden zum Abschluss des Tages noch einmal zusammenfassend dargestellt und diskutiert: Folgende Erkenntnisse ließen sich aus den Referaten ableiten:

#### *Dr. Ludger Eltrop - IER*

- Vorhandene Holzpotenziale in BW reichen noch bis jenseits des Jahres 2010
- Konkurrenz der Nutzung zwischen Landwirtschaft, gewerblicher Nutzung und Energiewirtschaft muss beachtet werden
- Beschäftigungswirkung sollte in eine ganzheitliche Bilanzierungen integriert werden
- In 2002 wurden 120.000 Beschäftigte brutto im Sektor Erneuerbare Energien in Deutschland gezählt
- Der Begriff „Beschäftigungseffekte“ muss genau definiert und die verschiedenen Aspekte müssen unterschieden werden

#### *Bernd Textor - FVA Freiburg*

- Laut Förderanträgen sinkt der Waldholzanteil im Brennstoffsortiment insgesamt erheblich und wird wohl überschätzt
- Großer Hacker schafft 500 Srm HS/Tag, Stammholz ab Lager; typisch: Hacken Grünschnitzel im Wald, auch im Bestand, neue Entwicklungen (z.B. Bündler; für Hanglagen??) Hacken ist am teuersten – Optimierung nötig
- Das EEG wird für Verschiebung sorgen bei der Nutzung von Waldholz
- Brennholz-Produktion macht etwa 5 % von Gesamterlös für Waldbesitzer aus, bestenfalls Deckung der Erntekosten, dies muss/kann gesteigert werden
- Preise: 10 - 15 €/Sm<sup>3</sup> Waldholz, deutlich über 50 €/t<sub>atro</sub> „Wir müssen billiger werden“; Anfalldichte entscheidend; KUP-Pappeln haben Potenzial, Ertrag ist

noch ungenügend, Erntekosten sind mit 78 €/t geringfügig mehr als Waldholz

- Horizontale + vertikale Allianzen in Wertschöpfungskette bilden: Privatisierung, auch zur Produktivitätssteigerung, aber dadurch Arbeitsplatzverluste

#### *Wolfgang Schuler - IBS*

- Betriebswirtschaftlich besteht der Wunsch nach möglichst geringem (!) Personal- / Betriebsaufwand!
- 100 - 500 h Betreuungsaufwand/a; Grund hoher Aufwand: Technische Ausführung der Anlagen
- 1.000 Anlagen in 20 a à 800 kW baubar, ca. 800 Mill. € Invest-kosten; daraus resultieren ca. 425 Arbeitsplätze bei 1.500 h/a und 40 - 60 €/h Lohn
- 1 Person für 5 Anlagen=200 Arbeitsplätze in 20 a
- Brennholzaufarbeitung dafür: 4.000 Sm<sup>3</sup>/Anlage; Lohn 30 €/h; 267 Arbeitsplätze
- Gesamt etwa 900 Arbeitsplätze nach 20 a; 1 Stelle/MW

#### *Dr. Ulrich Fahl - IER*

- Arbeit, Energie, Kapital und Umwelt sind Produktionsfaktoren, die Mobilität der Produktionsfaktoren ist entscheidend, Es wirken positive und negative Beschäftigungseffekte
- Vergleich von vier aktuellen Studien zu EE: Ergebnisse liegen dicht beieinander
  - DIW: ges. Umweltschutzbereich inkl. EE ist konstant (120.000 Arbeitsplätze); Bruttoeffekte, keine Saldierung
  - BEI: Aufrechnung Brutto/Negativ; grobe Abschätzung Budgeteffekt; Biomasse nur Strom betrachtet; Betrachtungszeitraum 20 a; technologieorientiert
  - IWH: Betrachtungszeitraum 10 a; stark sinkender Investitionseffekt über die Zeit; szenario-orientiert
  - RWI: Betrachtungszeitraum 10 a; zwei Szenarien; sich abschwächender Gesamteffekt bis leicht negativ (Saldo Investition und Budget)
- Fazit: Höhe der EEG-Vergütung ist entscheidend; Wirtschaftlichkeit; Nettoexport!

#### *Dr. Eberhard Nieke - FZ Karlsruhe*

- Nettobeschäftigungseffekte pro TWh Heizwert beim Heizwerk bis zu 1.000 AP; Kleinanlagen haben hohe Beschäftigungseffekte
- Bei Strom aus Verbrennung liegen die Kosten noch deutlich über den EEG-Vergütungen
- Bundesweit ca. 42.000 AP bundesweit f.d. Wärme- und Stromerzeugung aus der Verbrennung

- Direkte Effekte gut, indirekte und induzierte Effekte schwer abschätzbar; sektoral (z.B. Land- und Forstwirtschaft) können positive Effekte auftreten

*Dr. Johannes Moerschner - IER, Uni Stuttgart*

- Im Bereitstellungssektor können im Verdopplungsszenario BW je nach Betrachtungsweise zwischen 650 und 960 neue Arbeitsplätze entstehen
- Durch Brennstoffbereitstellung deutliche Beschäftigungseffekte bezogen auf Branche, Effekte aber eher rechnerisch
- Beschäftigungswirkung durch Anlagenbetrieb im Vergleich geringer, Wärmemarkt ist für Waldholz bedeutsam!
- Landschaftspflegematerial und Grünschnitt: Abschätzung der Beschäftigungseffekte ist in Arbeit, aber viele Aufbereitungsprozesse werden auch für herkömmliche Verwertungswege (Kompostierung) eingesetzt

### **Zusammenfassung - Schlussfolgerungen**

- Effekte (direkt, indirekt, induziert) müssen differenziert analysiert und getrennt angegeben werden; der methodische Ansatz und Umfang (Bilanzierungsrahmen) muss offen gelegt werden
- Bei der Holzenergie sind Beschäftigungseffekte am ehesten im Bereich der Brennstoff-Bereitstellung zu erwarten, unmittelbare Effekte aus dem Anlagenbau (Invest) oder -betrieb sind entweder klein oder nur schwer zu ermitteln
- Aktuelle Entwicklungen wie z.B. Ölpreisentwicklung haben erhebliche Effekte auf die Beschäftigungswirkung
- Förderung / Subventionierungssystematik beeinflussen die Beschäftigungseffekte erheblich

Es ist Forschungsbedarf gegeben, insbesondere in Bezug auf die genaue Charakterisierung der Verteilungseffekte sektoral und auch in Bezug auf direkte, indirekte und induzierte Effekte.

## 7.5 Literatursammlung

### Allgemein:

/BMU 2004/

BMU: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung, Stand März 2004. Berlin. 2004

/BMWi 2001/

BMWi: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Nachhaltige Energiepolitik für eine zukunftsfähige Energieversorgung. Energiebericht. Berlin, 2001

/Buddenberg und Kralemann 2002/

Buddenberg, J.; Kralemann, M.: Welches Potenzial bietet der Energieholzmarkt wirklich? Studie der Niedersächsischen Energieagentur. Hannover. 2002

/BUWAL 1990/

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): *Energie aus Heizöl oder Holz? Eine vergleichende Umweltbilanz*, Bern, Oktober 1990

/DIN-51730 1984/

DIN-51730: Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 51730: Prüfung fester Brennstoffe - Bestimmung des Ascheschmelzverhaltens. Beuth, Berlin, 1984

/DIN-51730 1998/

DIN-51730: Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 51730: Prüfung fester Brennstoffe - Bestimmung des Ascheschmelzverhaltens. Beuth, Berlin. 1998

/DIN-51731 /

DIN-51731: Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 51731: Prüfung fester Brennstoffe - Presslinge aus naturbelassenem Holz - Anforderungen und Prüfung. Beuth, Berlin, 1996

/DIN EN 12831 2004/

DIN EN 12831: Heizungssysteme in Gebäuden, Verfahren zur Berechnung der Nennheizlast. August 2003; Nationaler Anhang, Beiblatt 1 April 2004. Beuth Verlag GmbH, Berlin. 2004

/EEG 2004/

EEG: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG). Vorabfassung im Internet unter [www.eeg-aktuell.de](http://www.eeg-aktuell.de). 2004

/EU 1997/

EU: Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan der Kommission der Europäischen Gemeinschaft. 1997

/Eltrop, L. und Moerschner, J., 2004/

Eltrop, L. und Moerschner, J., 2004: Holzenergienutzung in Baden-Württemberg – eine ökonomische und ökologische Chance. In *Nachwachsende Rohstoffe – Forschungsprojekte für den Ländlichen Raum*, MLR BW

/fesa 2002/

fesa: *Land- und forstwirtschaftliche Biomasse zur Energiegewinnung. Situation, Potenziale und Perspektiven für die Region*, Freiburg, Januar 2002

/Fischer et al. 2002/

Fischer, J.; Scheuermann, A.; Dilger, M.; Wilfert, R.; Thrän, D.: Zwischenbericht zum „Monitoring Biomasseverordnung“. Institut für Energetik und Umwelt gemeinnützige GmbH, Leipzig. 2002

/FNR 2005/

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft: *Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen*, 2005

/Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e.V. 2000/

Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e.V.: *Beitrag zur Standardisierung von Holzbrennstoffen*, Eberswalde, 2000

/FDFREIBURG 2000/

Forstdirektion Freiburg: *Energetische Verwertung von Holz ? Potenzialuntersuchung Baden-Württemberg ? Elsass; Zwischenbericht*, Az.: 8650.99, Freiburg, Februar 2000

/Geiger und Wittke 2004/

Geiger, B.; Wittke, F.: Die energiewirtschaftlichen Daten der Bundesrepublik Deutschland. BWK Bd. 56 (2004), Heft 1/2, S. 41-46, 2004

/Härdtlein et al. 2004/

Härdtlein, M., Eltrop, L., Thrän, D.: *Standardisierung biogener Festbrennstoffe*. Schriftenreihe *Nachwachsende Rohstoffe*, Band 23. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 2004

/Hartmann und Kaltschmitt 2002/

Hartmann, H.; Kaltschmitt, M. (Hrsg.): *Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse im Kontext der übrigen erneuerbaren Energien* Schriftenreihe „*Nachwachsende Rohstoffe*“ Band 3. 2. Auflage (vollständige Neubearbeitung). 692 S., Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 2002

/IE 2003/

IE: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: *Monitoring zur Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) aus Umweltsicht. Endbericht*, Leipzig, Dezember 2003

/IVD 2001/

Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Universität Stuttgart (Hrsg.): *Brennstoffqualität – Feuerungen – Emissionen*, 3. Stuttgarter Holzfeuerungs-Kolloquium am 20. September 2001, Stuttgart, 2001

/Kaltschmitt und Hartmann 2001/

Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2001

/Kaltschmitt und Hartmann 2002/

Kaltschmitt, M. und Hartmann, H.: *Biomasse als erneuerbarer Energieträger – Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse im Kontext der übrigen erneuerbaren Energien*. FNR-Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 3 (2.Auflage), Landwirtschaftsverlag Münster, 2002

/Kaltschmitt und Reinhardt 1997/

Kaltschmitt, M.; Reinhardt, G. A. (Hrsg.): Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Vieweg-Verlag, Braunschweig, 1997

/KEA 2002/

Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH: *Holzenergie in Baden-Württemberg und Elsaß*. Eine Studie im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, finanziert vom Land Baden-Württemberg und der EU. Persönliche Vorabinformation, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart. Druck des Endberichts in Vorbereitung

/König, A. und Eltrop, L., 2005/

Konkurrenzanalyse Biomasse – Integrierte Analyse und Bewertung der energetischen Nutzung von Biomasse zur Identifizierung aussichtsreicher Nutzungsoptionen. 14. Symposium Bioenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut (OTTI) e.V., Regensburg 2005, S. 85-90,

/Landesgewerbeamt Baden Württemberg 2001/

Landesgewerbeamt Baden Württemberg (Hrsg.): *Evaluierung der Holzenergieförderung in Baden-Württemberg*, Oktober 2001, 1. Zwischenbericht

/Leible et al. 2003/

Leible, L.; Arlt, A.; Fürniß, B.; Kälber, S.; Kappler, G.; Lange, S.; Nieke, E.; Rösch, C.; Wintzer, D.: Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Bereitstellung und energetische Nutzung organischer Rest- und Abfallstoffe sowie Nebenprodukte als Einkommensalternative für die Land- und Forstwirtschaft - Möglichkeiten, Chancen und Ziele. Karlsruhe: Forschungszentrum 2003 (Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6882), 278 Seiten. 2003

/Marheineke 2000/

Marheineke, T., Krewitt, W., Neubarth, J., Friedrich, R., Voß, A.: *Ganzheitliche Bilanzierung der Energie- und Stoffströme von Energieversorgungstechniken*. Forschungsbericht Band 74. Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung, Stuttgart, 2000

/Marutzky und Seeger 1999/

Marutzky, R.; Seeger, K.: Energie aus Holz und anderer Biomasse. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 1999

/Nitsch et al. 2004/

Nitsch et al.: Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, April 2004

/Öko-Institut 2004/

Öko-Institut e. V.: (Hrsg.): *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse*. Endbericht. Projekt gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Dezember 2004.

/ÖNORM-M7132 /

ÖNORM-M7132: Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM M7132: *Energiewirtschaftliche Nutzung von Holz und Rinde als Brennstoff - Begriffsbestimmung und brennstofftechnologische Merkmale*. Selbstverlag, Wien, 1998

/ÖNORM-M7133 /

ÖNORM-M7133: Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM M7133: *Energiehackgut, Anforderungen und Prüfbestimmungen*. Selbstverlag, Wien, 1998

/ÖNORM-M7135 /

ÖNORM-M7135: Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM M 7135: *Presslinge aus naturbelassenem Holz und naturbelassener Rinde - Pellets und Briketts, Anforderungen und Prüfbestimmungen*. Selbstverlag, Wien, 1998.

/Schneider et. al 2004/

Schneider, S.; Falkenberg, D.; Kaltschmitt, M.: *Erneuerbare Energien in Deutschland*, Stand 2003, BWK 4/2004, Bd. 56, April 2004

/Staiß 2003/

Staiß, F.: *Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg (Hrsg.): Jahrbuch Erneuerbare Energien*. Bieberstein-Verlag, Radebeul, 2003

/Starzer 2003/

Starzer, O., Rakos, C., Sedmidubsky, A.: *BIO-COST: Wie sich nationale Rahmenbedingungen auf die Investitionskosten von Biomasseheizkraftwerken auswirken können*, Projekt-Kurzbeschreibung im Internet: [http://www.eva.ac.at/\(print\)/projekte/biocost.htm](http://www.eva.ac.at/(print)/projekte/biocost.htm) (27.01.2003)

/Stockinger und Obernberger 1998/

Stockinger, H.; Obernberger, I.: *Systemanalyse der Nahwärmeversorgung mit Biomasse*. Abteilung für Grundlagen am Institut für Verfahrenstechnik, Technische Universität Graz. Schriftenreihe Thermische Biomassenutzung, Band 2 dbv-Verlag, Graz, 1998

/Strehler 2002/

Strehler, A.: *Energetische Holznutzung - Grenzen und Perspektiven*, Vortrag auf dem Fachkongress Zukunftsenergien im Rahmen der Essener e-world of energy, 14.02.2002

/TA Luft 2002/

TA Luft: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 24.Juli 2002, Inkrafttreten am 1.10.2002. GMBL. Heft 25-29, S.511-605, Carl Heymanns Verlag KG. 2002

/Thrän et al. 2004/

Thrän, D. et al. *Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext*. 2.Zwischenbericht. Auftraggeber; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Bearbeitung: Institut für Energetik und Umwelt (Leipzig), Universität Hohenheim, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Ökoinstitut e.V., 2004

/Thrän, D. und Eltrop, L. 2004

Thrän, Daniela und Ludger Eltrop, 2004: Normung biogener Festbrennstoffe. In „Nachwachsende Rohstoffe“, Mitteilungen der Fachbereichsarbeitsgruppe der Bundesanstalt für Landtechnik Wieselburg, Österreich. S. 9, Nr. 31, März 2004

/Wirtschaftsministerium BW 2003/

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg: Holz-Energie-Fibel. Holzenergienutzung, Technik, Planung und Genehmigung. Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 2. Auflage, 98 Seiten; Februar 2003

/Wolff 2001/

Wolff, F., Karrl, U., Rentz, O.: Energetische Nutzung von Alt- und Restholz in Baden-Württemberg, Tagungsbeitrag 10. OTTI-Symposium Energie aus Biomasse. Biogas, Pflanzenöl, Festbrennstoffe. 22. und 23.11.2001, Kloster Banz. Tagungsband, OTTI, Regensburg, 2001. 127-132

/Wolff 2005/

Wolff, F.: Biomasse in Baden-Württemberg - ein Beitrag zur wirtschaftlichen Nutzung der Ressource Holz als Energieträger. Universität Karlsruhe, Fak. für Wirtschaftswissenschaften. Dissertation 2004. Universitätsverlag Karlsruhe 2005

### **Bereitstellung:**

/AltholzV 2002/

AltholzV: Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz vom 15.08.2002. BGBl. I S. 3302, 2002

/Burger 2004b/

Burger, F.: Technologie und Ökonomie des Anbaus und der Ernte von Feldholz. In: Energieholzproduktion in der Landwirtschaft, Institut für Agrartechnik Bornim (Hrsg.), Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 35, Potsdam-Bornim. 2004

/Burger und Sommer 2003/

Burger, F.; Sommer, W.: Von der Pappel bis zum Hackschnitzel - Moderne Erntetechnik für Energiewälder. LWF aktuell, Nr. 39/2003, 2003

/Hartig 2000/

Hartig, S.: Bereitstellung von Waldhackschnitzeln - Aktuelle Verfahren, staatliche Förderung. Diplomarbeit Georg-August-Universität Göttingen. 2000

/Hartig 2001/

Hartig, S.: Aktuelle Daten zur Bereitstellung von Waldhackschnitzeln in Bayern. Situationsanalyse im Auftrag der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Freising. Institut für Forstliche Arbeitswirtschaft und Verfahrenstechnologie der Georg-August-Universität. 2001

/Hasler 2001/

Hasler, P., Nussbaumer, T.: *Herstellung von Holzpellets*, Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie und des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft der Schweiz, Arbon, Dezember 2001

/LFU 1999/

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): *Anlagen zur Aufbereitung von Holzabfällen in Baden-Württemberg*, Erhebung, Stand August 1999, Karlsruhe 1999

/LWF 1996/

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft: *Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwertung*, Forschungsbericht 8, Juni 1996

/LWF 1998/

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft: *Vollmechanisierte Waldhackschnitzel-Bereitstellung*, Forschungsbericht 16, Freising, April 1998

/LWF 1999/

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft: *Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von Waldhackschnitzeln*, Forschungsbericht 21, Freising, Juni 1999

/Meinhardt 2000/

Meinhardt, N.J.: *Energieholz in Baden-Württemberg. Potenziale und derzeitige Verwertung*. Diplomarbeit, FH Nürtingen, Fachbereich Landschaftsarchitektur/Stadt- und Umweltplanung, 2000

/Moerschner, et al. 2003/

Moerschner, J., S. Hartmann, L. Eltrop, 2003: *Biogene Reststoffe zur energetischen Nutzung: Mengen, Märkte und energetische Potential in Baden-Württemberg*. Zwölftes Symposium „Energie aus Biomasse“, Biogas, Flüssigkraftstoffe, Festbrennstoffe, Otti-Kolleg, Nov. 2003, S. 64-69.

/Müller-Sämann 2002/

Müller-Sämann, K.M. et al.: *Nachwachsende Rohstoffe in Baden-Württemberg: Identifizierung vorteilhafter Produktlinien zur stofflichen Nutzung unter besonderer Berücksichtigung umweltgerechter Anbauverfahren*, Zwischenbericht anlässlich des Statusseminars beim FZ Karlsruhe vom 26- bis 27. Februar 2002

/Raab, et. al., 2004/

Raab, Konrad, J. Fischer, B. Pilz, L. Eltrop, 2004: *Holzpellettheizungen – Technik und bauliche Anforderungen – Schriftenreihe des Holzabsatzfonds Bonn*, 2004

/Rösch/

Rösch, C., Wilwerding, A.: *Anbau, Bereitstellung und energetische Nutzung holzartiger Biomasse von Kurzumtriebsflächen aus ökologischer und ökonomischer Sicht*, Berichte Freiburger Forstliche Forschung, Heft 10

/TLL 2002/

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): *Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Energieholz*, Jena, August 2002

/Wittkopf et al. 2003/

Wittkopf, S.; Hömer, U.; Feller, S.: Bereitstellungsverfahren für Waldhackschnitzel - Leistungen, Kosten, Rahmenbedingungen. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (Hrsg.), LWF-Bericht 38, ISSN 0945 - 8131, Freising, 2003

### **Ökonomie:**

/BBE 2002/

Bundesinitiative BioEnergie (Hrsg.): *Markt- und Kostenentwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse*, Kurzfassung des Gutachtens, April 2002

/Becher 1995/

Becher, S., Kaltschmitt, M., Frühwald, A.: *CO<sub>2</sub>-Substitutionspotential und CO<sub>2</sub>-Minderungskosten einer energetischen Nutzung fester Biomassen in Deutschland*, in: BWK Bd. 47 (1995) Nr. 172, 33-38

/BMELF 2000/

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): *Gesamtwirtschaftliche Bewertung der Energiegewinnung aus Biomasse unter Berücksichtigung externer und makroökonomischer Effekte*, Oktober 2000, Vorläufiger Endbericht

/Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft 1993/

Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg: *Verwertung von Holz als umweltfreundlichem Energieträger – Eine Kosten-Nutzen-Untersuchung*, Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie 93/5, Hamburg, August 1993

Eltrop, L. et al. 2004

Eltrop, L.; Raab, K., Hartmann, H., 2004: *Bereitstellungskosten für Biobrennstoffe 2004*. Energie-Pflanzen IV/2005 S. 27 – 35.

/CARMEN 2004/

CARMEN: *Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln und Holzpellets*, <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnipreise.html>, <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/pellets/pelletpreise.html>, Zugriff am 19.04.2004

/Hartmann 2002/

Hartmann, H.: *Kosten der Energiegewinnung aus Biomasse*. In: Hartmann, H.; Kaltschmitt, M. (Hrsg.): *Biomasse als erneuerbarer Energieträger*. Schriftenreihe *Nachwachsende Rohstoffe*, Band 3, Landwirtschaftsverlag, Münster. 2002

/LVMR 2003/

LVMR: *Verrechnungssätze für Baden-Württemberg*. Landesverband der Maschinenringe in Baden-Württemberg (Hrsg.), Stuttgart. 2003

/Schäfer 2000/

Schäfer, V.: *Wirtschaftlichkeit von Biomasse-Heizkraftwerken und Aspekte der Holzlogistik*, Vortrag vom 9. Januar 2002, <http://www.regionalverband.de/> (27.01.2003)

/Schweiger, 2000/

Schweiger, P.: *Wirtschaftlichkeit der Nutzung von Energie aus Biomasse*, <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de> (28.02.2000)

/Wagner und Wittkopf 2000/

Wagner, K.; Wittkopf, S.: Der Energieholzmarkt in Bayern. Berichte aus der LWF Nr. 26, 2000

### **Ökologie:**

/Burger 2004a/

Burger, F.: Ökologische Auswirkungen von Energiewäldern. In: *Energieholzproduktion in der Landwirtschaft*, Institut für Agrartechnik Bornim (Hrsg.): Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 35, Potsdam-Bornim. 2004

/Frischknecht 1996/

Frischknecht, R. (final editor), et al: *Ökoinventare von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Bezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz*. 3rd edition, Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt, ETH Zürich, Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, PSI Villigen, 1996

/Hartmann et al. 2000/

Hartmann, H.; Böhm, T.; Maier, L.: Naturbelassene biogene Festbrennstoffe - Umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), Reihe „Materialien“, Nr. 154, München. 2000

/Hartmann et al. 2002/

Hartmann, H.; Weiske, A.; Schneider, S.; Fröhlich, N.: Ökologische Analyse II - lokale Umwelteffekte. In: Hartmann, H.; Kaltschmitt, M. (Hrsg.): *Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht*, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Band 3. Landwirtschaftsverlag, Münster. 2002

/IEA Bioenergy 1999/

IEA Bioenergy (Hrsg.): *A Bibliography on Greenhouse Gas Balances of Bioenergy, Forestry, Wood Products, Land Use and Land Use Change*, September 1999

/ISO 1997-2000/

ISO (Hrsg.): *DIN EN ISO 14040-43. Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen; Sachbilanz; Wirkungsabschätzung; Bilanzauswertung*. Beuth Verlag, Berlin 1997-2000

/Moerschner, J., und Eltrop, L., 2004/

Moerschner, J.; Eltrop, L., 2004: Biomasse; in „Lebenszyklusanalysen ausgewählter zukünftiger Stromerzeugungstechniken Teil II – Berichte aus den Technikgruppen“ VDI Gesellschaft Energietechnik, 2004; S. 199 -255.

/Nill et al. 2001/

Nill, M.; Thrän, D.; Kaltschmitt, M.: Ökobilanz der Nutzung biogener Festbrennstoffe. In: Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.): *Bio- und Restabfallbehandlung VI*. Witzenhausen-Institut, Witzenhausen. 2001

/Pfeiffer 2000/

Pfeiffer, F., Struschka, M., Baumbach, G.: *Ermittlung der mittleren Emissionsfaktoren zur Darstellung der Emissionsentwicklung aus Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher*; Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes; Mai 2000

### **Konversion:**

/BiomasseV 2001/

BiomasseV: Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung), BGBl. 2001 Teil I Nr. 29. 2001

/Deines 2001/

Deines, T.; Huslik, A.; Frommherz, J.: *Anwenderdatenbank Holz-Heizwerke in Baden-Württemberg*. Tagungsbeitrag 10. OTTI-Symposium Energie aus Biomasse. Biogas, Pflanzenöl, Festbrennstoffe. 22. und 23.11.2001, Kloster Banz. Tagungsband, OTTI, Regensburg, 2001. 71-77

/DIANE 8 1994/

DIANE 8: Nussbaumer, T.; Hasler, P.; Jenni, A.; Erny, M.; Vock, W.;; Emissionsarme Altholznutzung in 1 - 10 MW Anlagen. DIANE Energie 2000 Programm, Eidgenössische Drucksachen und Materialzentrale, EDMZ-Nr. 805 180 d, 1994

/Fischer 2002/

Fischer, J.: Einsatzmöglichkeiten von Biomasse in KWK-Systemen. In: Tagung Biomasse in KWK-Anlagen, Leipzig. 2002

/Hartmann 2003a/

Hartmann, H. (Hrsg.): *Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen*. Sonderpublikation des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow, 2003

/Hartmann 2003b/

Hartmann, H. (Hrsg.): *Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen*. Auftraggeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. / Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Februar 2003

/Hartmann et al. 2003/

Hartmann, H., Schmid, V., Link, H.: *Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzcentralheizungsanlagen kleiner Leistung*. Partikelgrößenverteilung, Gesamtstaub und weitere Kenngrößen. Berichte aus dem TFZ 4. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe. Straubing, 2003

/Hartmann et al. 2004/

Hartmann, H.; Schmid, V.; Link, H.; von Puttkamer, T.; Unterberger, S.; Hering, T.; M., P.; Thrän, D.; Härdtlein, M.: Verbrennung. In: Härdtlein, M.; Eltrop, L.; Thrän, D. (Hrsg.): *Voraussetzungen zur Standardisierung biogener Festbrennstoffe*. Teil 1: Brennstoffeigenschaften, Auswirkungen und Einflussnahmemöglichkeiten. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Bd. 23. Landwirtschaftsverlag, Münster. 2004

/Hinsch 2000/

Hinsch, C.: *Mit Knickholz zur Nachhaltigkeit. Biomasse-Heizkraftwerk in Eckernförde erzeugt Wärme und Strom*, in: Neue Energie – Magazin für erneuerbare Energien – Nr. 12 / Dezember 2000

/Holzabsatzfonds 2004/

Holzabsatzfonds: Absatzförderfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft (Hrsg.): *Pelletheizungen - Technik und bauliche Anforderungen*. Informationsdienst Holz, Holzbau handbuch, Reihe 6, Teil 10, Folge 2, 2004

/IE 2004a/

IE: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: *Fortschreibung der Daten zur Stromerzeugung aus Biomasse. Bericht für die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat.) im Auftrag des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW). Leipzig, März 2004. 2004*

/IE 2004b/

IE: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: *Wärmegewinnung aus Biomasse. Anlagenband zum Abschlussbericht „Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)“, April 2004. Leipzig. 2004*

/LfU 2000/

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): *Verbrennungsversuche mit naturbelassenen biogenen Festbrennstoffen in einer Kleinf Feuerungsanlage – Emissionen und Aschequalität*, München, September 2000

/Marutzky1997/

Marutzky, R. (Hrsg.): *Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen – Emissionsminderung, Konzepte und ausgeführte Anlagen*, Düsseldorf, 1997

/Obernberger und Hammerschmid 2001/

Obernberger, I.; Hammerschmid, A.: *Biomasse-KWK mit ORC-Prozessen*. In: Biomasse KWK Tagung, Leipzig. 2001

/QM Holzheizwerke 2004/

QM Holzheizwerke: *Arbeitsgemeinschaft Qualitäts-Management Holzheizwerke: Schriftenreihe mit fünf Bänden*. [www.qmholzheizwerke.de](http://www.qmholzheizwerke.de). 2004

/Staiß et al. 2003/

F. Staiß, H. Böhnisch, H. Seul, *Konkurrenzanalyse zur energetischen Biomassennutzung: Stationär oder mobil?*, Fachtagung Forschungsverbund Sonnenenergie, Regenerative Kraftstoffe Entwicklungstrends, 2003

/Struschka 2003/

Struschka, M.: *Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher sowie Ableitung von geeigneten Maßnahmen zur Emissionsminderung*. Forschungsbericht 29944140, Texte des Umweltbundesamtes, 2003

/VDI2001/

VDI (Hrsg.): *Thermische Nutzung von fester Biomasse*, Tagung Salzburg vom 16.-17. Mai 2001, VDI-Berichte 1588

**Entsorgung:**

/Frieß 1999/

Frieß, H.: *Aschequalität von Biomasse-Heizkraftwerken – Ausbringung in der Land- und Forstwirtschaft*, Vortrag i.R. der 2. EUROFORUM-Fachtagung „Biomasse Energieträger für die Zukunft“ am 19./20. April 1999 in München

/FVA 2002a/

FVA: Holzasche-Ausbringung im Wald, ein Kreislaufkonzept, FVA-Kolloquium vom 5.-6.03.2002. Berichte Freiburger Forstliche Forschung, Heft 43, 2002

/FVA 2002b/

Forstliche Versuchsanstalt Freiburg: *Holzasche Ausbringung im Wald – Ein Kreislaufkonzept*. FVA-Kolloquium zur Vorstellung aktueller Projektergebnisse, Projekt-Endbericht in Vorbereitung. [http://fva.forst.uni-freiburg.de/kolloq2001\\_ asche\\_einl.htm](http://fva.forst.uni-freiburg.de/kolloq2001_asche_einl.htm), 26.04.2002

/IVD 2003/

IVD: Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Universität Stuttgart: Schadstoffströme bei der Entsorgung von Holzasche. Ministerium für Umwelt und Verkehr (Hrsg.), Reihe Abfall, Heft 76, 2003

/LWF1997/

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft: *Eigenschaften von Holzaschen und Möglichkeiten der Wiederverwertung im Wald*, Forschungsbericht 14, Freising, November 1997

/Oberberger 2001/

Oberberger, I.: Direkte Thermische Umwandlung (Verbrennung): Aschen und deren Verwertung. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): *Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken, Verfahren*. Springer Verlag, Berlin, 412-426. 2001

/Schulze 2003/

Schulze, D.: Nachbehandlungsverfahren für Holzaschen. Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Universität Stuttgart (Hrsg.): 4. Stuttgarter Holzfeuerungs-Kolloquium vom 08.04.2003: Planung und Betrieb von Holzfeuerungen - Von der Brennstoffaufbereitung bis zur Ascheverwertung, 2003

**7.6 Abbildungsverzeichnis**

<b>Abb. 7-1:</b>	Arbeitsschritte einer Ökobilanz (nach ISO 14 040) .....	3
<b>Abb. 7-2:</b>	Bereitstellungskette motor-manuell HS .....	7
<b>Abb. 7-3:</b>	Bereitstellungskette motor-manuell SH .....	8
<b>Abb. 7-4:</b>	Bereitstellungskette teilmechanisiert HS 1.....	10
<b>Abb. 7-5:</b>	Bereitstellungskette teilmechanisiert HS 2.....	11
<b>Abb. 7-6:</b>	Bereitstellungskette Kronenmaterial HS.....	13
<b>Abb. 7-7:</b>	Bereitstellungskette teilmechanisiert SH.....	14

<b>Abb. 7-8:</b>	Bereitstellungskette vollmechanisiert HS .....	16
<b>Abb. 7-9:</b>	Bereitstellungskette vollmechanisiert Stammholz-HS.....	17

## 7.7 Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 7-1:</b>	Auswahl von Wirkungskategorien in Ökobilanzen.....	5
<b>Tabelle 7-2:</b>	Maschineneinsatz motor-manuell HS .....	7
<b>Tabelle 7-3:</b>	Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, motor-manuell HS .	8
<b>Tabelle 7-4:</b>	Entfernungsannahmen motor-manuell HS .....	8
<b>Tabelle 7-5:</b>	Maschineneinsatz motor-manuell SH .....	9
<b>Tabelle 7-6:</b>	Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, motor-manuell SH .	9
<b>Tabelle 7-7:</b>	Entfernungsannahmen motor-manuell SH .....	9
<b>Tabelle 7-8:</b>	Maschineneinsatz teilmechanisiert HS 1 .....	10
<b>Tabelle 7-9:</b>	Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, teilmechanisiert HS 1 .....	10
<b>Tabelle 7-10:</b>	Entfernungsannahmen teilmechanisiert HS 1 .....	11
<b>Tabelle 7-11:</b>	Maschineneinsatz teilmechanisiert HS 2.....	12
<b>Tabelle 7-12:</b>	Zeitbedarf/Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, teilmechanisiert HS 2 .....	12
<b>Tabelle 7-13:</b>	Entfernungsannahmen teilmechanisiert HS 2.....	12
<b>Tabelle 7-14:</b>	Maschineneinsatz Kronenmaterial HS .....	13
<b>Tabelle 7-15:</b>	Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, Kronenmaterial HS.....	13
<b>Tabelle 7-16:</b>	Entfernungsannahmen Kronenmaterial HS .....	13
<b>Tabelle 7-17:</b>	Maschineneinsatz teilmechanisiert SH.....	14
<b>Tabelle 7-18:</b>	Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, teilmechanisiert SH.....	15
<b>Tabelle 7-19:</b>	Entfernungsannahmen teilmechanisiert SH.....	15
<b>Tabelle 7-20:</b>	Maschineneinsatz vollmechanisiert HS.....	16
<b>Tabelle 7-21:</b>	Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, vollmechanisiert HS.....	16
<b>Tabelle 7-22:</b>	Entfernungsannahmen vollmechanisiert HS.....	16
<b>Tabelle 7-23:</b>	Maschineneinsatz vollmechanisiert Stammholz-HS .....	17
<b>Tabelle 7-24:</b>	Zeitbedarf / Verbrauch je bereitgestellte MWh Brennstoff, vollmechanisiert Stammholz-HS.....	18
<b>Tabelle 7-25:</b>	Entfernungsannahmen vollmechanisiert Stammholz-HS .....	18

---

<b>Tabelle 7-26:</b> Anlagenkenndaten und Emissionswerte für System 1: Einfamilienhaus mit Niedrigenergiestandard (EFH-I) .....	19
<b>Tabelle 7-27:</b> Anlagenkenndaten und Emissionswerte für System 2: Einfamilienhaus mit durchschnittlichen Wärmedämm-Standard (EFH-II) .....	20
<b>Tabelle 7-28:</b> Anlagenkenndaten und Emissionswerte für System 3: Mehrfamilienhaus mit Dämmstandard 90er Jahre (MFH).....	20
<b>Tabelle 7-29:</b> Anlagenkenndaten und Emissionswerte für System 4.....	21
<b>Tabelle 7-30:</b> Kenndaten typischer Nahwärmenetze (aus Leitfaden Bioenergie, 2005) .....	23
<b>Tabelle 7-31:</b> Kenndaten des Holzhackschnitzelheizkraftwerkes mit ORC-Anlage zur Stromerzeugung .....	26
<b>Tabelle 7-32:</b> Technische Kenngrößen der mit fossilen Brennstoffen befeuerten Referenz-Anlagen .....	28
<b>Tabelle 7-33:</b> Programm des IER-Workshops „Beschäftigungswirkungen der Holzenergienutzung in Baden-Württemberg“ am 05.11.2004 .....	32