

# 2. Holz als Energieressource

## 2.1 Ressourcenverbrauch und verfügbare Ressourcen

Holz ist weltweit eine wichtige Energiequelle. In Dänemark liefern Waldhackschnitzel, Brennholz, Holzabfälle, Holzpellets und in sehr geringem Umfang der Weidenanbau Energieholz. Der größte Teil des Holzes, das auf den ca. 460.000 ha Waldfläche eingeschlagen wird, endet entweder direkt oder nach anderweitiger Nutzung als Energieholz. Angesichts der Zielsetzung der dänischen Regierung, die Waldfläche im Laufe einer Baumgeneration zu verdoppeln, wachsen die gesamten Holzbrennstoffressourcen auf längere Sicht.

### Energieholzverbrauch

Nach Berechnungen der dänischen Energiebehörde über die Energieproduktion 1997 deckt Holz ca. 21.000 TJ, das entspricht 28% der gesamten Produktion aus erneuerbaren Energien. Tabelle 1 zeigt die Verteilung auf die einzelnen Holzbrennstoffe.

Tabelle 1 zeigt, dass Waldholz und Restholz aus der Industrie insgesamt einen Energiegehalt von 21.013 TJ haben, das entspricht dem Energiegehalt von ca. 500.000 Tonnen Öl.

Das statistische Amt in Dänemark registriert seit 1950 detailliert den Holzeinschlag in den dänischen Wäldern, der bei etwa 2 Mill. m<sup>3</sup> Festmasse liegt, mit einigen größeren Schwankungen auf

Brennstoff	1997 genutzt (TJ)	Anteil (%)
Schnitzel	2.703	13
Brennholz	9.603	46
Abfallholz	5.879	28
Holzpellets	2.828	13
Insgesamt	21.013	100

Tabelle 1: Nutzung von Holzbrennstoffen. Zum Vergleich: 1000 Tonnen Öl haben einen Energiegehalt von 42 TJ (7).

Jahreseinschlag, Mio. m<sup>3</sup> Festmasse

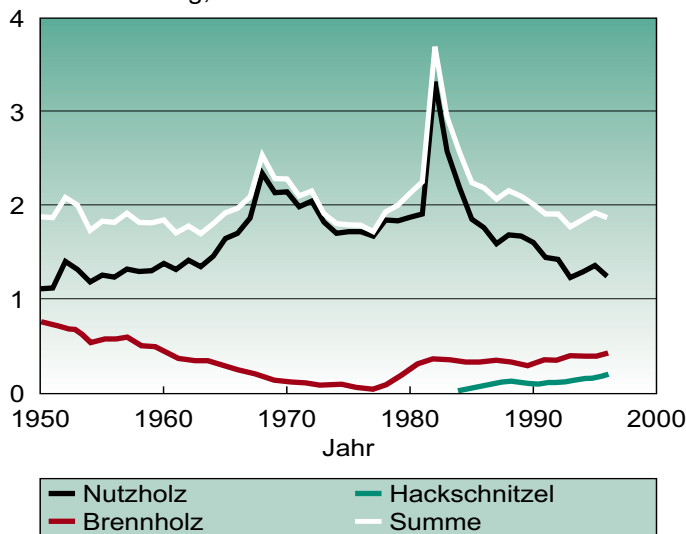


Schaubild 3: Einschlag 1950-1996, verteilt auf Nutzholz, Brennholz und Hackschnitzel. Die Windbrüche 1967 und besonders 1981 führten zu einem höheren Einschlag. (8)

Grund von Windbrüchen in den Jahren 1967 und 1981. 1996 wurden ca. 620.000 m<sup>3</sup> Festmasse entsprechend ca. 108.000 Tonnen Öl direkt für die Energieproduktion genutzt, das sind ca. 33% des gesamten Einschlags.

*Waldhackschnitzel* kommt aus der Erst- und Zweidurchforstung von Fichtenbeständen, aus dem Einschlag überreifer und teilweise abgestorbener Kiefernplantagen, aus dem Einschlag in klima- und insektengeschädigten Beständen, aus dem Einschlag von Bestandeschutzholz (Baumart, die zusammen mit der Haupt-Baumart gepflanzt wird und diese gegen Frost, Unkraut u.a. schützt), von Baumwipfeln bei Kahlschlag (Fällen des gesamten Bestandes am Ende der Umtriebszeit) in Fichtenbeständen. In den letzten 20 Jahren ist Waldhackschnitzel als Brennstoff immer wichtiger geworden, die Produktion beträgt ca. 200.000 m<sup>3</sup> Festmasse pro Jahr.

*Brennholz* wird überwiegend in Laubholzbeständen bei Durchforstung und Kahlschlag produziert (Kronenholz, Äste, Wurzelholz). Brennholz war früher das wichtigste Produkt des Waldes, um die Jahrhundertwende herum wurde Holz als Energiequelle zunächst von Kohle, später von Erdöl abgelöst. Die Ölkrise in den 70er Jahren und die Erhöhung der Abgaben auf Öl und Kohle Mitte der 80er Jahre haben Holz für Energiezwecke jedoch wieder attraktiv werden lassen.

Laut Statistik produziert die Forstwirtschaft 420.000 m<sup>3</sup> Festmasse Brenn-

holz, dabei nicht erfasst ist der Verbrauch an Brennholz aus Gärten, Parken, Hecken u.a. Der gesamte Verbrauch wird auf ca. 700.000 m<sup>3</sup> Festmasse pro Jahr geschätzt (9).

*Holzabfälle* bestehen aus Rinde, Sägemehl, Hobelspänen, Abrissholz u.a. und werden in der Regel von den Betrieben selbst verfeuert. Jährlich werden ca. 640.000 m<sup>3</sup> Festmasse genutzt, ein Teil davon dient zur Herstellung von Holzpellets oder Holzbriketts, eine verhältnismäßig neue Produktion in Dänemark. Darüber hinaus werden für diese Produktion große Mengen Holzabfälle aus dem Ausland importiert. Der Verbrauch von Holzpellets und Holzbriketts beträgt ca. 200.000 Tonnen, bzw. ca. 20.000 Tonnen pro Jahr.

*Energieweide* mit einer kurzen Umtriebszeit von 3-4 Jahren wird auf Landwirtschaftsflächen aufgeforstet. Die Produktion ist in Dänemark noch nicht besonders verbreitet, bepflanzt sind nur etwa 500 ha. Verglichen mit anderen Holzbrennstoffen ist die Brennstoffmenge aus Energieweide von untergeordneter Bedeutung.

### Die Ressourcen in Zukunft

Die dänische Forschungsanstalt für Wald und Landschaft hat die Größe der verfügbaren Holzbrennstoffressourcen (Brennholz und Hackschnitzel) aus dänischen Wäldern über 0,5 ha berechnet (10). Die Ressourcen wurden berechnet

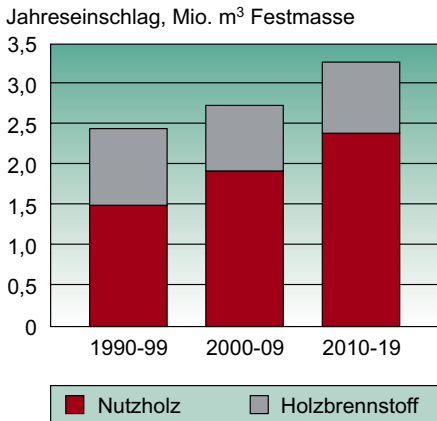


Schaubild 4: Fortschreibung (ab 1994) des potenziellen Jahreseinschlages von Nutzholz und Holzbrennstoff in den Zeiträumen 1990-99, 2000-09 und 2010-19. Es wird davon ausgegangen, dass der Holzeinschlag in den nächsten gut 20 Jahren steigt (10).

nach den Waldzählungsangaben 1990 über die Baumarten- und Alterszusammensetzung der Wälder und die Holzproduktion. Berechnet wurden jährliche Durchschnittswerte für die Zeiträume 1990-1999, 2000-2009 und 2010-2019 nach Voraussagen, die bei den gegenwärtigen Absatzbedingungen für Zelluloseholz und andere Konkurrenzprodukte für Holzbrennstoffe als realistisch erscheinen.

Unter anderem wegen neuer Waldanpflanzungen wird damit gerechnet, dass der gesamte jährliche Einschlag in den nächsten 20 Jahren auf ca. 3,2 Mill. m<sup>3</sup> Festmasse steigen wird (Schaubild 4). Es ist zu beachten, dass der Einschlag (Schaubild 3) laut Danmarks Statistik im Vergleich zur Fortschreibung für 1990-99 um jährlich ca. 500.000 m<sup>3</sup> Festmasse niedriger liegt. Diese Divergenz liegt daran, dass die Forstwirtschaft keine ausreichenden Absatzmöglichkeiten für Holz zu Energiezwecken hat. Es wird erwartet, dass der jährliche Nutzholzeinschlag in beiden Zeiträumen nach dem Jahr 2000 steigt. Dagegen wurde berechnet, dass der Brennholzeinschlag und die Waldhackschnitzelproduktion von ca. 950.000 m<sup>3</sup> Festmasse auf ca. 800.000 m<sup>3</sup> Festmasse fallen und im letzten Zeitraum wieder auf ca. 900.000 m<sup>3</sup> Festmasse ansteigen werden (Schaubild 4). Die Änderung des Einschlags liegt an einer schiefen Altersklassenverteilung der Nadelholzfläche, der Abwicklung von Bergkiefer- und Murraykieferbe-

ständen und einem steigenden Einschlag in Laubholzbeständen (11).

Der gesamte potenzielle Jahreseinschlag kann mit einiger Sicherheit festgelegt werden, die Verteilung zwischen Brennstoff und anderen Produkten dagegen unterliegt einer Reihe von äußeren Faktoren. Setzt sich die Entwicklung der letzten Jahre fort, wird der Brennstoffanteil zunehmen.

Nach den Zahlen in der Berechnung sind die Wälder in der Lage, die gegenwärtig bestehenden Heiz- und Heizkraftwerke mit Hackschnitzel zu versorgen und darüber hinaus die erforderliche Menge Holz von 200.000 Tonnen Hackschnitzel pro Jahr (dies entspricht ca. 250.000 m<sup>3</sup> Festmasse) zu liefern, die die Elektrizitätswerke nach der Biomasse-Vereinbarung ab dem Jahr 2004 verwenden müssen.

## 2.2 Aufforstung und Holz für Energiezwecke

**Unter Aufforstung wird die Neuanlage von Wald auf Landwirtschaftsflächen verstanden. Die zukünftige Versorgung mit Energieholz soll zum Teil durch Aufforsten sichergestellt werden. Hierbei kann die Energieholzproduktion durch eine Erhöhung der Anzahl Pflanzen im Verhältnis zur Anzahl Pflanzen in normalen Kulturen und durch die Verwendung von Bestandesschutzholz sichergestellt werden.**

### Energiepolitische Zielsetzung

Ziel des dänischen Forstgesetzes ist es, die dänischen Wälder zu schützen und zu bewahren, die Stabilität, Eigentumsstruktur und Produktivität der dänischen

Forstwirtschaft zu verbessern und darüber hinaus zu einer Erhöhung der Waldfläche beizutragen (12). Ziel der dänischen Regierung ist es, die Waldfläche im Laufe der nächsten Baumgeneration (80-100 Jahre) zu verdoppeln. Dieses Ziel ist auch von energiepolitischem Interesse und im Zusammenhang mit der Biomasse-Vereinbarung von 1993 und dem Energiehandlungsplan, Energi 21, zu sehen, aus dem hervorgeht, dass die Nutzung von Biomasse, hierunter Hackschnitzel, im Energiesektor erhöht werden soll (2). In der dänischen Strategie für eine nachhaltige Forstwirtschaft ist präzisiert, dass diese Verdopplung der Waldfläche durch einen regelmäßigen Pflanzstakt erreicht werden soll (13). Das heißt, jährlich müssen ca. 5.000 ha aufgeforstet werden, hiervon 2.000-2.500 ha von Privaten. Seit 1989 wurde allerdings nur knapp die Hälfte dieser Fläche bepflanzt.

Die Berechnungen der dänischen Energiebehörde aus dem Jahr 1996 über die Hackschnitzelmengen aus den dänischen Wäldern bis zum Jahr 2025 (vgl. dazu (10)) gehen von einer Zunahme der Waldfläche um 5000 ha pro Jahr aus. Die Energieholzproduktion in Form von Hackschnitzel aus der Aufforstung wird auf 4 PJ pro Jahr veranschlagt (aus einem gesamten Energiebeitrag von knapp 10 PJ pro Jahr aus Hackschnitzel). Es wird daher erwartet, dass die Aufforstung einen wesentlichen Beitrag zum gesamten Energieholzverbrauch in Zukunft leisten wird (14).

### Energieholz aus zukünftiger Aufforstung

Die Energieholzproduktion auf künftig aufzuforstenden Flächen im Verhältnis



Neupflanzung von Laubwald. Mit einem Pflanzstakt von z.Zt. 2000 bis 2500 ha/Jahr müssen der Aufforstungstakt oder die Produktion von Energieholz aus bestehendem Wald erhöht werden, um das Ziel der dänischen Energiebehörde zu erfüllen.

zur Energieholzproduktion in bestehenden Wäldern kann u.a. durch eine im Vergleich zu üblicher Praxis höhere Anzahl Pflanzen sowie durch Bestandesschutzholz gesteigert werden. Allerdings darf eine Ertragssteigerung nicht auf Kosten der Vielseitigkeit in der Forstwirtschaft erfolgen. Faktoren wie Produktion von Qualitätsholz, Bewahrung der Natur, Schutz kulturgeschichtlicher Werte und Erholungsmöglichkeiten genießen hier ebenfalls hohen Stellenwert.

Bei einer größeren Anzahl Pflanzen wird die Fläche schneller von Pflanzen bedeckt, und es kann mehr produziert werden. Berechnungen zeigen, dass die mögliche Hackschnitzelproduktion aus Fichte durch eine Erhöhung der Pflanzenanzahl von ca. 4.500 auf 6.500 Pflanzen pro ha um 30-50 % gesteigert werden kann. Da die Anpflanzungskosten aber ebenfalls entsprechend steigen und der Hackschnitzel-Mehrertrag die Kosten für mehr Pflanzen nicht deckt, ist eine höhere Anzahl Pflanzen nur dann interessant, wenn sich außer einem höheren Hackschnitzelertrag andere Vorteile wie bessere Holzqualität, bessere Bestandsqualität und geringere Reinhaltungskosten erzielen lassen.

Bestandesschutzholz wird üblicherweise zusammen mit der - häufig empfindlicheren - Hauptbaumart gepflanzt, um diese gegen Frost, Unkraut u.a. zu schützen. Bestandesschutzholz sind Baumarten, deren Jungbäume ein schnelles Wachstum kennzeichnet. Dadurch erhöht sich die Holzproduktion, und bei den ersten Durchforstungen - das Bestandesschutzholz wird hierbei reihenweise gefällt - fallen große Mengen Hackschnitzel an. Als Bestandesschutzholz geeignet sind u.a. Hybridlärche, Schwarz- und Roterle, Pappel, Waldkiefer und Birke. Bei Hybridlärche als Bestandesschutzholz in einer Fichtenkultur steigt der Hackschnitzelertrag bei einer Pflanzenzahl von 6.400 pro ha (4200 Fichten und 2200 Hybridlärchen) um ca. 35% im Vergleich zu einem reinen Fichtenbestand (Schaubild 5) (15).

Normalerweise wird Hackschnitzel nur in Nadelholzbeständen produziert, bei der Produktion von Hackschnitzel in Laubholzbeständen, z.B. Buche, lässt sich der Hackschnitzelertrag durch die Pflanzung von Bestandesschutzholz erheblich steigern. Bei Hybridlärche lässt sich der Hackschnitzelertrag im Vergleich

Hackschnitzelproduktion, rm pro ha

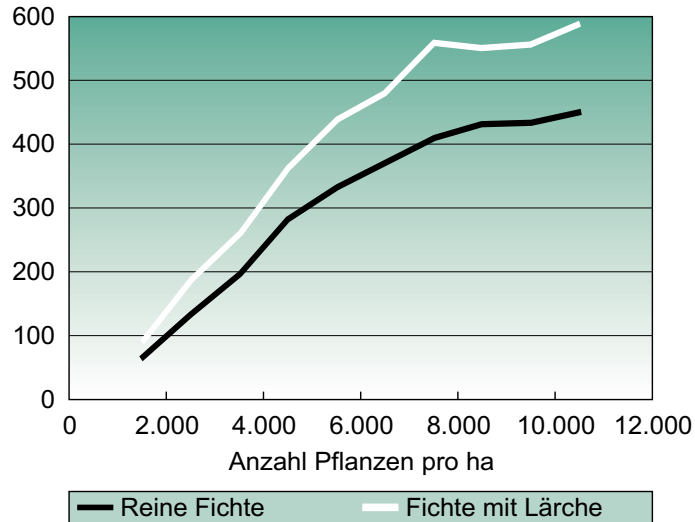


Schaubild 5: Hackschnitzelproduktion in rm/ha für reine Fichte/Fichte mit Bestandesschutzholz (Lärche) in Ostdänemark. Mit Bestandesschutzholz steigt die Hackschnitzelproduktion und kann auf wieder aufzuforstenden Flächen mit ähnlichen Pflanzmodellen entsprechend erhöht werden (1 m<sup>3</sup> Festmasse = ca. 2,8 rm) (15).

zu einem reinen Buchenbestand verdreifachen.

Die Berechnungen des Hackschnitzelertrages wurden auf der Grundlage existierender Versuchsdaten mit Fichte vorgenommen. Künftig sollen die Wälder aber neuen Anforderungen an erhöhte Diversität und flexible Bestände genügen. Das bedeutet, dass künftig mehr Mischkulturen angelegt werden.

Die Auswirkungen einer höheren Anzahl Pflanzen werden durch Versuche untersucht.

### Demonstrationsversuche

Die Forschungsanstalt für Wald und Landschaft führt 1998-99 in Zusammenarbeit mit dem Generaldirektorat für Forst und

Natur an drei Orten in Dänemark Demonstrationsversuche auf Aufforstungsflächen durch. Zweck dieser Versuche ist es u.a., die Energieholzproduktion in Mischkulturen auf verschiedenen Böden zu untersuchen. Die Versuche sollen die Mehrkosten bei einer Erhöhung der Pflanzenzahl, mögliche Gewinne in Form eines geringeren Reinhaltungs- und Nachbesserungsbedarfs (Neupflanzung eingegangener Pflanzen) sowie längerfristig eine bessere Holzqualität aufzeigen.

Die Demonstrationsversuche umfassen neun unterschiedliche Pflanzungsmodelle mit folgenden Baumartmischkulturen:

- Nadelholzmischkulturen (Sitkafichte/Fichte und Douglasie mit oder ohne Lärche als Bestandesschutzholz).



foto: hedese/kskabel/bert wikilund

Die dänische Waldfläche soll in den nächsten 80 – 100 Jahren verdoppelt werden. Viele der neuen Wälder werden Laubwälder mit Eiche und Buche als Hauptbaumarten sein.

- Reine Laubholzbestände und Laubholz-mischkulturen (Buche, Eiche und Eiche mit Rot-/Schwarzerle).
- Mischwaldbestände (Buche mit Douglasie und Buche mit Lärche).

Es wird eine Standardanzahl Pflanzen gewählt, die entweder mit der Hauptbaumart verdoppelt wird (Buche, Fichte, Sitkafichte, Eiche, Douglasie) oder durch Verwendung von Hilfsbaumarten (Erle, Lärche).

Die Versuche werden laufend von Messungen begleitet, die Werte für den Energieholzertrag werden bei den ersten Durchforstungen in ca. 15 - 20 Jahren erhoben. Die Ergebnisse fließen in die Planung der künftigen Aufforstung ein.

### Gesetzgebung und Zuschüsse

Bei der Aufforstung müssen Anpflanzungspläne vom dänischen "Strukturdirektorat für Landwirtschaft und Fischerei" (Strukturdirektorat for Landbrug og Fiskeeri) genehmigt werden. U.a. muss untersucht werden, ob die Aufforstung in Übereinstimmung mit den Plus- und Minus-Gebieten steht, die die dänischen Kreise in ihren Regionalplänen ausgewiesen haben, d.h. Gebiete, in denen eine Aufforstung erwünscht oder unerwünscht ist.

Von Seiten der öffentlichen Hand wird versucht, die private Aufforstung über verschiedene Subventionsregelungen zu fördern, bisher nur teilweise mit Erfolg. Am meisten aufgeforstet wird auf den Flächen des "Generaldirektorates für Forst und Natur" oder in privater Regie ohne Subventionen. Zur Jahreswende 1996-97 trat eine neue Subventionsregelung im Rahmen des Forstgesetzes in Kraft. Das Interesse an Aufforstung ist dadurch gestiegen, u.a. wegen Einkommenskompensation und verbesserten Subventionsmöglichkeiten. Zurzeit gehen daher mehr Anträge ein als Subventionsmittel zur Verfügung stehen.

Der Rahmen für Aufforstung und Subventionsmöglichkeiten ist in einer Reihe von Gesetzen und Bekanntmachungen festgelegt. Eine Bedingung für Zuschüsse ist, dass die Fläche der Hegewaldpflicht unterliegt, so dass das Bestehen des Waldes auch künftig gesichert ist. Darüber hinaus gelten bestimmte Bedingungen für Aufbau und Größe des Waldes. Die Subventionsregelungen



foto: biopress/torben skøtt

*Die Fläche wurde vor dem Setzen der Weidenstecklinge gründlich gesäubert. Gesetzt wird mit einer zweireihigen Pflanzmaschine, ein Markierungsarm am Traktor sorgt dafür, dass die Reihen völlig parallel werden. Die Zwillingräder des Traktors verteilen den Druck, so dass der Boden nicht unnötig komprimiert wird.*

umfassen u.a. vorbereitende Untersuchungen wie Bodenuntersuchungen und Flächenfestlegung, Pflanzung und Bestandspflege, Errichtung von Zäunen und eine 20-jährige Einkommenskompensation (16). Nähere Informationen erteilen die örtlichen Staatlichen Forstämter in Dänemark.

### 2.3 Energiewald

Weide wird seit Jahrhunderten als Kulturpflanze für Geräte, Fassreifen, Körbe und Zäune verwendet. Im Hinblick auf die Produktion von Hackschnitzel für energetische Zwecke wird Weide in Dänemark erst seit wenigen Jahren angebaut, das Hackschnitzel wird gegenwärtig nur in begrenztem Umfang in Heizwerken in Dänemark genutzt.

#### Energiewald in Dänemark

Unter Energiewald versteht man Anpflanzungen mit Laubbäumen (in der Regel Weide) mit schnellem Jugendwachstum und der Fähigkeit zur Stecklingsvermehrung und Stockausschlag. Durch intensiven Anbau werden diese Eigenschaften genutzt, um Biomasse für Energiezwecke zu produzieren.

Nach dem Energiehandlungsplan von 1996, Energi 21, soll der Anteil von

Energiepflanzen oder anderer Biomasse (ausschließlich Stroh) an der Energieversorgung von 0 im Jahr 2005 auf ca. 45 PJ im Jahr 2030 wachsen. Ohne andere Biomasse entspricht das dem Ertrag von etwa 500.000 ha Weide. Der Anbau von Energiepflanzen hängt allerdings stark von der EU-Agrarpolitik und Subventionsregelungen ab. Um das Potenzial von Energiepflanzen zu beurteilen, ist ein Demonstrations- und Entwicklungsprogramm angelaufen, das den künftigen Einsatz von Energiepflanzen beleuchten kann.

In Dänemark werden nur auf ca. 500 Hektar Landwirtschaftsfläche Weidenkulturen angebaut (15), in Schweden sind schätzungsweise ca. 17.000 ha bepflanzt. Energieweide ist eine landwirtschaftliche Nutzpflanze, d.h. der Anbau kann gestoppt und stattdessen etwas anderes angebaut werden.

#### Anbau

Weide kann auf unterschiedlichen Böden angebaut werden. Böden, die eine gute Wasserversorgung garantieren, eignen sich gut. Auf leichten Böden ohne Bewässerung sind die Erträge instabil. Die Wurzeln von Weiden können Dränrohre verstopfen. Die Fläche muss von Landwirtschaftsmaschinen befahren werden können, auch in den Wintermonaten, wenn geerntet wird (17).

Bei der Begründung von Energiewald in Dänemark werden Stecklinge von Klonen der Echten Korbweide verwendet, diese haben bisher das beste Produktionspotenzial gezeigt. Im Frühjahr werden üblicherweise pro ha ca. 15.000-20.000 Stecklinge von einjährigen Trieben gepflanzt. Angepflanzt wird maschinell, und die 20 cm langen Stecklinge werden bis auf ein paar Zentimeter senkrecht in den Boden gedrückt. Ein neues Verfahren hat ergeben, dass die Anpflanzungskosten um die Hälfte gesenkt werden können, wenn ein ca. 20 cm langes, gehacktes Material waagrecht ausgelegt und maschinell in den Boden geriefelt wird (18). Im ersten Winter nach der Anpflanzung können die Triebe 5 - 8 cm über dem Boden beschnitten werden, um die Triebbildung zu fördern. Dies ist besonders in dünnen Beständen von Vorteil und da, wo pro Steckling nur 1-2 Triebe ausgebildet wurden (19).

Unkräuter, besonders Gräser, sind der schlimmste Feind in der Begründungsphase. Die Fläche sollte daher vor der Anpflanzung gründlich gesäubert werden, z.B. durch Rigolen. Unkraut lässt sich am leichtesten und wirkungsvollsten mit Herbiziden bekämpfen, kombiniert mit mechanischer Säuberung. Bei der Ernte, die in Abständen von wenigen Jahren erfolgt, wird alles außer Blättern und Wurzeln entfernt. Daher muss gedüngt werden, damit das Produktionsniveau aufrecht erhalten werden kann.

Tabelle 2 zeigt die Düngermengen für eine Weidenkultur in den einzelnen Jahren.

Das Düngen von Energieweide mit Abwässern, Klärschlamm oder Gülle ist eine Alternative zu Kunstdünger. Das dichte, tiefe Wurzelnetz der Weiden eignet sich gut, um den Gehalt des Schlammes an Pflanzennährstoffen und Schwermetallen aufzufangen. Das Brennholz enthält daher im Vergleich zu Waldhackschnitzel relativ große Mengen Stickstoff und Cadmium. Unter den richtigen Verbrennungsbedingungen wird der größte Teil des Stickstoffes als  $N_2$  freigesetzt, die Schwermetalle bleiben in der Asche zurück. Dies ist eine wichtige Voraussetzung dafür, dass Schlamm als Dünger für Energieweide als umweltmäßig positiv bezeichnet werden kann (20).

## Ernte und Lagerung

Die Fläche wird zum ersten Mal 3-4 Jahre nach Pflanzung abgeerntet, die Wei-

	N	P	K
Pflanzungsjahr	-	0-30	80-130
1. Produktionsjahr	45-60	-	-
2. Produktionsjahr	100-150	-	-
3. Produktionsjahr	90-120	-	-
1. Jahr nach Ernte	60-80	0-30	80-160
2. Jahr nach Ernte	90-110	-	-
3. Jahr nach Ernte	60-80	-	-

Tabelle 2: Düngung von Energieweide (1. und 2. Umtrieb, kg/ha). – bedeutet keine Düngung. Auf Lehm Böden muß im 1. Jahr normalerweise kein Stickstoff zugeführt werden, auf leichteren Sandböden unter Umständen 30-50 kg (19).

dentriebe sind dann ca. 6 m hoch. Erntezeit ist der Winter, und im folgenden Frühjahr wachsen aus den Stümpfen neue Triebe. Nach weiteren 3-4 Jahren kann erneut geerntet werden. Man rechnet damit, dass die Weiden mindestens 20 Jahre ohne Produktionsrückgang wachsen können, d.h. es kann 4-5 Mal geerntet werden, bevor eine Neubegründung erforderlich ist.

Versuche haben ergeben, dass eine Langzeitlagerung von Weidenhackschnitzel schwierig ist, denn in frischem Zustand hat Weidenhackschnitzel einen Wassergehalt von ca. 55 - 58% des Gesamtgewichts. Außerdem enthalten die jungen Weidentriebe viel Rinde und viele Nährstoffe. In Weidenhackschnitzel-Haufen findet daher typisch eine starke Temperaturentwicklung und ein erheblicher Trockensubstanz-Verlust statt. Diese Entwicklung hängt von der Hackschnitzelgröße ab: je größer die Hackschnitzelstücke sind, desto geringer ist der Abbau. Weide kann am besten über längere Zeit gelagert werden, wenn die Triebe nicht gehackt, sondern ganz gela-

gert werden. Diese Lösung ist teuer. Eine andere Methode, die bereits erfolgreich erprobt wurde, ist das luftdichte Verpacken von Weidenhackschnitzel. Ohne Sauerstoff erfolgt kein Abbau (21). Da eine Langzeitlagerung schwierig ist, wird das Hackschnitzel normalerweise direkt zum Heizwerk transportiert.

## Eigenschaften als Brennstoff

Weidenhackschnitzel unterscheidet sich nur unwesentlich von anderem Hackschnitzel, kann aber mehr Rinde und Wasser enthalten. Der untere Heizwert von absolut trockenem Weidenholz unterscheidet sich nicht von dem anderer Holzarten, sondern liegt bei ca. 19 GJ pro Tonne Trockensubstanz. Dagegen ist Weidenholz verglichen mit den meisten anderen Holzarten ein leichtes Holz. Das heißt, ein Raummeter Weidenhackschnitzel enthält weniger Trockensubstanz (ca. 120 kg/rm) als beispielsweise ein Raummeter Buchenhackschnitzel (ca. 225 kg/rm). Dies spielt eine Rolle für die Volumenmengen, die ein Heizwerk hantieren muss, um die gleiche Wärmeproduktion zu erreichen. Durch seinen hohen Wassergehalt eignet sich das Hackschnitzel besonders für Werke, die eine Rauchgaskondensierungsanlage haben. In diesem Fall wird die Verdampfungswärme rückgewonnen.

## Produktion von Energieweide

In Energieweidebeständen müssen alle Produktionskosten von einem geringwertigen Produkt getragen werden: Weidenhackschnitzel. Das macht die Produktion von Energieweide anfällig verglichen mit der Stroh- oder Waldhackschnitzelproduktion. Bei der Produktion von Stroh für die energetische Nutzung trägt die Ge-



foto: biopress/torben skott

Bei der Ernte von ganzen Trieben mit Spezialmaschinen im Winter wird alles außer Blättern und Wurzeln entfernt. Die Weidentriebe werden dicht über dem Boden geschnitten und über ein Band auf die Ladefläche befördert.

treideproduktion alle Ausgaben bis einschließlich Mähdreschen, das Stroh muss nur für Bergung, Transport und Lagerung bezahlen. Ebenso bezahlt die Produktion von Sägewerksholz für den Holzanbau, das Waldhackschnitzel bezahlt für Hacken, Lagerung und Transport zum Heizwerk. Der Weidenanbau ist daher wirtschaftlich riskant und sehr abhängig vom Ernteumfang.

Es besteht daher großes Interesse, das Produktionsniveau für Weidenwald in Dänemark zu bestimmen. Von Zeit zu Zeit werden hohe Produktionszahlen von 10-12 Tonnen Trockensubstanz oder mehr pro ha genannt, diese sind aber oft in einzelnen, kleineren und sehr intensiv betriebenen Weidenkulturen erreicht worden und daher keine realistischen Prognosewerte für den Ernteertrag in kommerziellen Kulturen. Produktionsmessungen in dänischen Weidenkulturen von 1989 bis 1994 zeigen, dass die Durchschnittsproduktion bei jährlich ca. 7,5 Tonnen Trockensubstanz pro ha liegt - das ist weniger als bisher angenommen. Die Ergebnisse der Produktionsmessungen haben nicht eindeutig Aufschluss über den Einfluss der Wachstumsfaktoren auf das Produktionsniveau geben können, doch wurde dieser Durchschnittsertrag in Weidenbeständen erzielt, die intensiv gedüngt und von denen die Hälfte künstlich bewässert worden waren. Messungen der Produktion wurden an Klonen vorgenommen, die Anfang der 90er Jahre verbreitet waren (22). Dänische Messungen an neuen Klonen wurden im Rahmen eines EU-Projektes vorgenommen. Die vorläufigen Ergebnisse deuten darauf hin, dass die neuen Klonen einen bescheidenen Mehrertrag im Vergleich zu den alten erbringen.

## Die Zukunft von Energieweide

Vorläufig gibt es Grund, zu verfolgen, wie sich der Weidenanbau in Schweden - dem führenden Land in diesem Bereich - entwickelt. Von hier kommen immer mehr Informationen über die Entwicklung von Klonen, über Ernteerträge, Erntekosten und die Böden, auf denen Weide am besten gedeiht. Es ist vorstellbar, dass der Weidenanbau seine Nische in der Agrarlandschaft findet, weil Weiden auf Böden wachsen, die für Getreidepflanzen weniger gut geeignet sind. Und schließlich

Bezeichnung	Siebdeck	Fraktion-santeil (%)	
		Fein	Grob
Übergroße Schnitzel	45 mm runde Löcher	< 5	< 15
Überdicke Schnitzel	8 mm Spalten	< 25	< 40
Gutstoff	7 mm runde Löcher	> 40	> 23
Feinhackschnitzel	3 mm runde Löcher	< 20	< 15
Staub		< 10	< 7
Hiervon:			
Spreißel 10-20*	100-200 mm Länge	< 2	< 12
Spreißel > 20*	> 200 mm Länge	< 0,5	< 6

Tabelle 3: Größenverteilung von Fein- und Grobhackschnitzel nach der alten Norm Nr. 1, die zur Zeit überarbeitet wird (26).

\* Durchmesser > 10 mm.

kann die Weide dank ihrer Fähigkeit zur Abwasser- und Bodenreinigung möglicherweise zur Lösung von Umweltproblemen beitragen.

## 2.4 Physische Charakterisierung von Holzbrennstoffen

**In Dänemark wird Holz aus der Forstwirtschaft und der Holzindustrie - Brennholz, Hackschnitzel, Rinde, Späne, Briketts, Pellets und Abbruchholz - u.a. in Kaminöfen, in Verbrennungsanlagen für Holzpellets, in Fernwärmenetzen und Heizkraftwerken verbrannt. Die Technologien in diesen Anlagen stellen unterschiedliche Anforderungen an die physischen Eigenschaften des Holzes, d.h. an Größe, Größenverteilung, Feuchtegehalt, Aschegehalt und Reinheit (Steine, Erde, Sand).**

Eine physische Charakterisierung von Holzbrennstoffen kann bei der Wahl von Brennstoffen für unterschiedliche Verbrennungsanlagen und -technologien eine Rolle spielen. Angaben zu den physischen Eigenschaften von Holzbrennstoffen finden außerdem beim Abschluss von Lieferverträgen, bei der Spezifikation von Brennstoffen für bestimmte Typen von Verbrennungsanlagen sowie bei der Ausarbeitung von Qualitätsbeschreibungen für Holzbrennstoffe Anwendung. Die Kenntnis der Eigenschaften unterschiedlicher Holzbrennstoffe fördert somit eine möglichst umweltverträgliche und ökonomisch optimale Anwendung (23).

## Brennholz

Unter Brennholz werden zersägte Holzstücke (Rundlinge oder Scheite) aus Stammholz ohne Zweige, aus Wurzel- und Kronenholz oder aus Ästen von Laub- oder Nadelbäumen verstanden. Ofenfertiges Brennholz wird normalerweise in Stücke von 15-35 cm Länge zersägt. Am besten für die meisten Brennholzöfen geeignet sind Scheite von 6 - 8 cm Dicke. Brennholz besteht aus Stammholz und Rinde.

Der Feuchtegehalt von waldfriischem Fichtenholz beträgt ca. 55-60% des Gesamtgewichts, für Buchenholz ist der entsprechende Wert ca. 45% (24). Nach der Sommertrocknung fällt der Feuchtegehalt auf ca. 15% des Gesamtgewichts, je nach Wind und Wetter, Stapelung und Abdeckung (empfehlenswert, wenn das Holz in Brennholzöfen verwendet werden soll) (25). Der Aschegehalt beträgt oft weniger als 2% des Trockensubstanzgehaltes.

## Hackschnitzel

Hackschnitzel ist zerteiltes Holz mit einer Länge in Faserrichtung von 5-50 mm. Es enthält außerdem längere Zweige (Spreißel) und eine feinere Fraktion (Staub). Waldhackschnitzel aus ganzen Bäumen einschließlich Ästen stammt aus Erstdurchforstungen von Nadelholzbeständen oder aus der Umstellung alter Bergkiefer- und Murraykieferbestände. Auch Kronen und anderer Abraum bei Kahlschlägen werden zu Hackschnitzel verarbeitet. Sägewerkshackschnitzel ist ein Nebenprodukt beim Sägen von Blockholz, und Weidenhackschnitzel kommt

von Weidentrieben in 15-20-jährigem Umtrieb auf Landwirtschaftsflächen.

Welches Hackschnitzel am besten geeignet ist, hängt von der Art der Verbrennungsanlage ab. Ein neues System zur Qualitätsbeschreibung von Hackschnitzel auf der Grundlage der Größenverteilung wird zur Zeit ausgearbeitet, weil die alte Norm aus dem Jahr 1987 nicht länger deckend ist für die Hackschnitzeltypen, die produziert und verwendet werden. Die alte Norm teilte Hackschnitzel in Fein- und Grobhackschnitzel ein (Tabelle 3).

Das Hackschnitzel, das jetzt an die Heizwerke geliefert wird, ist gröber als Grobhackschnitzel. Die neue Qualitätsbeschreibung geht daher von drei Hackschnitzeltypen aus: fein, grob und extra grob. Diese Bezeichnungen beziehen sich auf die Größenverteilung und sagen nichts über die Qualität aus.

Parallel zur Ausarbeitung einer neuen dänischen Qualitätsbeschreibung sind auf europäischer Ebene die Arbeiten an einer Norm für feste Biobrennstoffe angelaufen. Hierbei sollen Messverfahren standardisiert und gemeinsame Qualitätsbeschreibungen ausgearbeitet werden.

Siebanalysen geben die Gewichtsverteilung zwischen Hackschnitzel verschiedener Größenkategorien an. Diese Größenkategorien basierten bei der alten Norm auf einem Rüttelsieb, wie es auch für Zellulose- und Spanplattenhackschnitzel verwendet wird. Die neue Qualitätsbeschreibung, die zur Zeit ausgearbeitet wird, basiert auf einem neuen rotierenden Sieb, das für eine bessere Hackschnitzelsortierung sorgt.

Das neue rotierende Sieb hat einen Beschickungstrichter, einen Beschickungsrütteltisch und eine Sortierwalze. Auf dem Beschickungsrütteltisch können Spreißel und Äste aussortiert werden. Die rotierende Walze hat fünf Siebe mit 3, 8, 16, 45 und 63 mm runden Löchern. Das Sieb sortiert das Hackschnitzel in drei Qualitäten: fein, grob und extra grob mit folgenden Klassen (Tabelle 4).

In der alten Norm wurden Spreißel als Partikel beschrieben, die länger als 10 cm und dicker als 1 cm waren, weil diese Partikel in Förderschnecken sehr hinderlich sein können. In der neuen Qualitätsbeschreibung deckt die Bezeichnung Spreißel alle Partikel von mehr als 10 cm Länge, ungeachtet ihres

Bezeichnung	Siebdeck	Fraktionsanteil (%)		
		Fein	Grob	Extra grob
Überlang 20*	> 200 mm Länge	< 0,5	< 1,5	< 1,5
Überlang 10	100-200 mm Länge	< 3	< 6	< 6
Übergroß	> 63 mm	0	< 3	**
Extra groß	> 45 und < 63 mm	< 2	< 15	**
Groß	> 16 und < 45 mm	< 60	keine	**
Mittel	> 8 und < 16 mm	keine	keine	< 25
Klein	> 3 und < 8 mm	< 35	< 25	< 8
Staub	< 3 mm	< 10	< 8	< 4

\* Überlang: Bei einem Durchmesser >1 cm dürfen die Stücke max. 50 cm lang oder max. 5 x 5 x 25 cm sein.

\*\* Diese drei Klassen müssen zusammen mindestens 60% ausmachen.

*Tabelle 4: Die Größenkategorien des neuen rotierenden Siebes unterscheiden sich von denen des alten Siebes. Hier ein Vorschlag für die Anforderungen an die neuen Hackschnitzelqualitäten, basiert auf dem rotierenden Sieb. Seit Anfang 1999 befindet sich der Vorschlag in der Anhörungsphase, die Werte der Tabelle sind daher im Augenblick (März 1999) noch nicht endgültig beschlossen.*

Durchmessers. Diese Partikel stellen ein Problem bei der Handtierung des Hackschnitzels dar. Der Anteil von Partikeln mit mehr als 10 cm Länge hat große Bedeutung für die Brückenbildungseigenschaften des Hackschnitzels.

Der Feuchtegehalt in Hackschnitzel aus ganzen Bäumen hängt davon ab, wann und woraus es gemacht wird. Hackschnitzel aus frisch geschlagenen Bäumen hat einen Feuchtegehalt von

ca. 50-60% des Gesamtgewichts. Wenn die gefällten Bäume den Sommer über 3 bis 6 Monate lang trocknen können, fällt der Feuchtegehalt auf ca. 35-45% des Gesamtgewichts. Hackschnitzelbefeuerte Kessel mit Vorverbrennung für Einfamilienhäuser u.a. können Hackschnitzel mit einem Feuchtegehalt zwischen 20 und 50% des Gesamtgewichts hantieren, Fernwärmewerke akzeptieren normalerweise Hackschnitzel mit einem



foto: finn jensen

*Der Prototyp des neuen, rotierenden Siebes. Das Hackschnitzel wird oben in den Trichter geschüttet, auf einem Rütteltisch ausgerichtet und zum Fallrohr (links) befördert, wo es in die rotierende Walze fällt. Die runden Löcher der Walze werden von links nach rechts größer. Die einzelnen Fraktionen werden sortiert und der Inhalt der Siebdecks wird gewogen. Von links: Überlang, Staub, klein, mittel, groß, extra groß und übergroß.*

Feuchtegehalt von 30-55%. Fernwärme- werke mit Rauchgaskondensierung sind normalerweise an Hackschnitzel mit einem hohen Feuchtegehalt interessiert, um die Kondensationswärme nutzen zu können.

Eventuelle Verschmutzungen des Hackschnitzels durch Steine, Erde und Sand erhöhen den Aschegehalt. Der Aschegehalt in ganzen Bäumen hängt von der Baumart sowie von der Menge an Nadeln, Zweigen und Stammholz ab. Der natürliche Aschegehalt in Nadeln kann über 5% des Trockengewichts liegen, in Zweigen und Rinde ca. 3% und in Stammholz ca. 0,6% (27). Brennstoff für kleine Kessel und Fernwärmewerke hat einen Aschegehalt von 1-2% des Trockengewichts.

### Rinde

Energetisch nutzbare Rinde entsteht beim Entrinden in Nadelholz-Sägewerken und beim Abschneiden von Schwarzen in Laubholz-Sägewerken. Zerkleinerte Rinde kann im Prinzip nicht zu Hackschnitzel gezählt werden. Siebanalysen von Rinde zeigen, dass die Größenverteilung sehr uneinheitlich und der Staubanteil hoch ist (28).

Rinde ist sehr feucht, ca. 55-60 % des Gesamtgewichts, und wird daher wegen des hohen Feuchtegehalts normalerweise in Spezialkesseln verfeuert. Da Rinde die äußerste Schicht eines Baumes darstellt, findet man hier am häufigsten Verschmutzungen durch Erde, Sand und in bestimmten Fällen Blei aus Schrotflinten.

### Sägemehl und -späne

Bei Sägemehl und -spänen handelt es sich um Restholz aus der Holz verarbeitenden Industrie. Es entsteht beim Hobeln, Fräsen u.ä. Sägemehl und -späne sind zwischen 1 und 5 mm in Durchmesser und Länge. Der Feuchtegehalt in Sägemehl hängt von dem Werkstück ab, das zersägt wurde. Bei Holz für Fenster, Sparren u.a. kann der Feuchtegehalt 6-10% des Trockengewichts betragen, aber 45-65% des



foto: forskningscentret for skov & landskab/flerming ruine

*Waldhackschnitzel, Sägemehl und frische Rinde von Nadelholz sowie Holzpellets.*

Gesamtgewichts bei frisch gefällten Stämmen.

Hobelspäne sind sehr trocken und haben einen Feuchtegehalt zwischen 5 und 15% des Gesamtgewichts. Sie werden daher zur Herstellung von Holzpellets und -briketts verwendet. Der Verschmutzungsgrad ist gering, da in der Regel Stammholz verwendet wird, der Aschegehalt beträgt daher weniger als 0,5% des ofentrockenen Gewichts.

### Holz-briketts und Holzpellets

Holz-briketts sind rechteckig oder zylindrisch mit einer Länge von 10-30 cm und einem Durchmesser von 6-12 cm. Holz-pellets sind zylindrisch mit einer Länge von 5-40 mm und einem Durchmesser von 8-12 mm.

Briketts und Pellets bestehen aus trockenem, zerkleinertem Holz, in erster Linie aus Hobelspänen und zum Teil aus unter hohem Druck gepresstem Sägemehl. Die Größenverteilung ist sehr einheitlich, der Brennstoff ist daher leicht zu hantieren. Pellets der gleichen Partie haben den gleichen Durchmesser. Hinzu kommt ein geringer Feuchtegehalt von ca. 8-10 % des Gesamtgewichts (29).

Bei der Verbrennung von Briketts und Pellets entsteht nur wenig Schlacke, und der Ascheanfall ist gering, ungefähr 0,5-1% des Trockengewichts. (30).

### Abriss- und Abfallholz

Abrissholz ist Holz, das bereits anderweitig verwendet wurde, bevor es als Brennholz genutzt wird, z.B. Bauholz, Restholz von Neu- oder Umbauarbeiten und Schalungsbretter. Sonstiges Recyclingholz umfasst z.B. Einwegpaletten und Verpackungsholz. Das Holz wird vor dem Verbrennen zerkleinert und ist von sehr unterschiedlicher Größe. Abrissholz ist meistens verhältnismäßig trocken mit einem Feuchtegehalt von ca. 10-20% des Gesamtgewichts. Das Verbrennen von Abrissholz und anderen Holzabfällen ist problematisch, weil es Rückstände von Farben, Leim, Imprägnierungsmitteln, Gummi und Kunststoffteilen enthalten kann, je nach dem früheren Anwendungszweck. Wenn die Pellets Leim (max. 1% des Trockengewichts), Farbrückstände u.ä. enthalten, muss eine Müllabgabe gezahlt werden. Außerdem dürfen die Pellets nicht in normalen Pelletöfen verbrannt werden (31).