

# **Energiegehalt von Hackschnitzeln** **- Überblick und Anleitung zur Bestimmung -**

**P. Verscheure**



Abteilung Arbeitswirtschaft und Forstbenutzung

**ISSN 1430-3396**

Herausgeber und Bezugsanschrift:

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Abteilung Arbeitswirtschaft und Forstbenutzung

Postfach 708, 79007 Freiburg i. Br.

Wonnhaldestraße 4, 79100 Freiburg i. Br.

Telefon: (0761) 4018 - 238

Telefax: (0761) 4018 - 333

e-Mail: [awf@fva.bwl.de](mailto:awf@fva.bwl.de)

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise,  
sowie fotomechanische Wiedergabe  
nur mit Genehmigung des Herausgebers

## INHALT

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Heizwert und Brennwert</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Wassergehalt und Feuchtigkeit</b> .....	<b>2</b>
<b>4 Die Energieeinheiten</b> .....	<b>2</b>
<b>5 Die Bezugsgrößen</b> .....	<b>2</b>
<b>6 Die Einflußfaktoren</b> .....	<b>3</b>
<b>6.1 Der Energiegehalt pro Kilogramm Holz (kWh/kg)</b> .....	<b>3</b>
6.1.1 <i>Auswirkung verschiedener Holzarten</i> .....	3
6.1.2 <i>Auswirkung verschiedener Feuchtigkeits-/Wassergehalte</i> .....	5
<b>6.2 Der Energiegehalt je Schüttkubikmeter Hackschnitzel (kWh/Sm<sup>3</sup>)</b> .....	<b>5</b>
6.2.1 <i>Auswirkung verschiedener Holzdichten</i> .....	5
6.2.2 <i>Auswirkung verschiedener Feuchtigkeits-/Wassergehalte</i> .....	6
6.2.3 <i>Auswirkung verschiedener Packungsfaktoren</i> .....	6
6.2.3.1 <i>Vergleichende Untersuchungen zu Packungsfaktor und Energiegehalt</i> .....	6
<b>7 Bestimmen des Wassergehaltes</b> .....	<b>7</b>
7.1 <b>Trockenschrankmethode</b> .....	<b>7</b>
7.2 <b>Backofenmethode</b> .....	<b>8</b>
7.3 <b>Anwendung eines Feuchtemeßgerätes</b> .....	<b>8</b>
<b>8 Bestimmen des Hackschnitzelgewichtes</b> .....	<b>9</b>
8.1 <b>Containerweise</b> .....	<b>9</b>
8.2 <b>Eimerweise</b> .....	<b>9</b>
<b>9 Bestimmen des Energiegehaltes</b> .....	<b>10</b>
<b>9.1 Der Energiegehalt pro Kilogramm Hackschnitzel</b> .....	<b>10</b>
9.1.1 <i>Rechnerisch</i> .....	10
9.1.2 <i>Tabellarisch</i> .....	10
9.1.3 <i>Über den Wärmezähler</i> .....	10
<b>9.2 Der Energiegehalt je Schüttkubikmeter Hackschnitzel</b> .....	<b>11</b>
9.2.1 <i>Rechnerisch</i> .....	11
9.2.2 <i>Tabellarisch</i> .....	11
9.2.3 <i>Über den Wärmezähler</i> .....	12
<b>10 Literatur</b> .....	<b>12</b>

## **Kurzfassung**

Die inhomogene Zusammensetzung der Hackschnitzel bereitet oft Schwierigkeiten bei der Heizwertbestimmung. Der Heizwert dieses Brennstoffes ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Zum besseren Verständnis des Vorgehens bei der Energiegehaltsermittlung, wird die Bedeutung der einzelnen Faktoren für den Heizwert aufgezeigt. Anschließend werden verschiedene Methoden zur Ermittlung des Heizwertes vorgestellt.

Schlagwörter: Heizwert, Energiegehalt, Wassergehalt, Feuchtigkeit

## **Abstract**

Because of the inhomogeneous composition of chipped wood, the determination of the thermal value is often problematic. The thermal value of this fuel depends on several variables. To have a better understanding of how energetic determination proceeds, the impact of these variables for the energetic content is pointed out. Finally, different methods for the determination of the energetic content are showed.

keywords: thermal value, energetic content, moisture content, water content

## 1 Einleitung

Gegenwärtig werden auf dem Energieholzmarkt verschiedenste Hackschnitzelqualitäten angeboten. Speziell Energieholz aus der Holzverarbeitung (Späne, Rinde, Hackschnitzel) zeigt je nach Herkunft große Unterschiede in Form und Wassergehalt auf.

Zur Beurteilung der Hackschnitzelqualität ist neben der Dimension und der Reinheit des Brennstoffs vor allem die Kenntnis des Energiegehaltes von Bedeutung. Da der Energiegehalt infolge der unterschiedlichen Brennstoffzusammensetzung ständigen Schwankungen unterliegt und einer genaueren Untersuchung bedarf, bereitet seine Bestimmung in der Praxis immer wieder Probleme.

Die gängige Bestimmung des Energiegehaltes über die Heizwerttabellen ist die einfachste, sicherlich aber nicht die genaueste Methode, zumal neuere Untersuchungen aus der Schweiz ergaben, dass die Werte bisher recht deutlich überschätzt wurden. Es ist deshalb sinnvoll, die Bedeutung einzelner Faktoren für den Energiegehalt aufzuzeigen. Ergänzend werden möglichst genaue und einfach durchzuführende Methoden zur Bestimmung des Energiegehaltes vorgestellt.

## 2 Heizwert und Brennwert

Der im Holz enthaltene Energiegehalt kann durch den **Brennwert** (früher oberer Heizwert) oder durch den **Heizwert** (früher unterer Heizwert) angegeben werden (BUNDESAMT FÜR KONJUNKTURFRAGEN 1995).

- Der Brennwert (Ho): ist die Energiemenge, die bei der Verbrennung von 1 kg feuchtem Holz freigesetzt wird, wenn das im Holz enthaltene Wasser im Abgas flüssig vorliegt.
- Der Heizwert (Hu): ist die Energiemenge, die bei der Verbrennung von 1 kg feuchtem Holz freigesetzt wird, wenn das im Abgas enthaltene Wasser dampfförmig vorliegt. Hier ist die nutzbare Verbrennungswärme durch die im Wasserdampf enthaltene Verdampfungswärme vermindert.

Da die Abgase in der Regel über 150 °C heiß sind und die Kondensationswärme des in den Rauchgasen enthaltenen Wasserdampfes nicht nutzbar gemacht wird (KOLLMANN 1982), ist in der Praxis der Gebrauch des unteren Heizwertes (Hu) üblich.

### 3 Wassergehalt und Feuchtigkeit

Zur Angabe des Wasseranteils im Holz können zwei Größen verwendet werden (BUNDESAMT FÜR KONJUNKTURFRAGEN 1995):

- Der Wassergehalt ( $x$ ;  $w$ ): Anteil des im Brennstoff enthaltenen Wassers, angegeben in Prozent der Masse, bezogen auf das feuchte Holz.
- Die Holzfeuchtigkeit ( $u$ ): Anteil des im Brennstoff enthaltenen Wassers, angegeben in Prozent der Masse, bezogen auf die Trockenmasse des Holzes.

Wassergehalt und Feuchtigkeit können über folgende Formeln ineinander umgerechnet werden:

$$\text{Wassergehalt } x[\%] = \frac{u \cdot 100[\%]}{u + 100[\%]}$$

$$\text{Feuchtigkeit } u[\%] = \frac{x \cdot 100[\%]}{100 - x[\%]}$$

### 4 Die Energieeinheiten

Als Maßeinheit für die Wärmemenge wird heute das Joule (J) verwendet und hat damit die früher übliche Kalorie (cal) abgelöst. Eine weitere, in der Energieholz-Praxis übliche Maßeinheit, ist die Kilowattstunde (kWh).

Vorsilbe	Faktor
Kilo (k)	$10^3$
Mega (M)	$10^6$
Giga (G)	$10^9$
Peta (P)	$10^{12}$

**Tabelle 1:** Multiplikationsfaktoren (JONAS & GÖRTLER 1997)

1 kWh	=	3.600 kJ
1 kcal	=	4,19 kJ
1 MJ	=	239 kcal
1 GJ	=	0,278 MWh

**Tabelle 2:** Umrechnungseinheiten (JONAS & GÖRTLER 1997)

### 5 Die Bezugsgrößen

Der Energiegehalt des Holzes wird entweder auf das Holzgewicht oder auf das Holzvolumen bezogen.

- Das Gewicht: wird i.d.R. in Kilogramm (kg) ausgedrückt, kann aber auch in Tonnen (t) angegeben werden. In der Praxis bezieht man sich auf das Gewicht des feuchten Holzes. Bezieht sich das Gewicht auf die Trockensubstanz, so wird der Zusatz „atro“ (absolut trocken) hinzugefügt.
- Das Volumen: Das für Hackschnitzel übliche Volumenmaß ist der Schüttkubikmeter ( $\text{Sm}^3$ ). Er gibt die Menge an geschütteten Holzteilen wieder, die unter Einschluß der Luftzwischenräume ein Gesamtvolumen von einem Kubikmeter füllen.

## 6 Die Einflußfaktoren

- Der Energiegehalt von 1 kg Holz ist von zwei Einflußfaktoren abhängig:
  - ◆ Holzart
  - ◆ Wassergehalt (Holzfeuchtigkeit)
- Der Energiegehalt von 1  $\text{Sm}^3$  Holz wird von drei Faktoren beeinflusst:
  - ◆ Holzdichte
  - ◆ Wassergehalt (Holzfeuchtigkeit)
  - ◆ Packungsfaktor

### 6.1 Der Energiegehalt pro Kilogramm Holz (kWh/kg)

#### 6.1.1 Auswirkung verschiedener Holzarten

Die Elementarzusammensetzung des Holzes schwankt zwischen den Baumarten nur geringfügig (vgl. Tabelle 3). Bezogen auf das Trockengewicht, bestehen deshalb keine großen Unterschiede zwischen dem Heizwert (kWh/kg) von Nadel- und Laubhölzern. Der etwas höhere Heizwert (kWh/kg) der Nadelhölzer (ca. 7 %) ist auf deren zusätzlichen Anteil an Harzen und energiereicherem Lignin zurückzuführen.

Holzarten	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Schwefel	FIA	Hu <sub>wf</sub>
							[%] <sub>waf</sub>
Nadelhölzer	50,8	6,2	43,0	ca. 1	< 0,01	88,0	5,4
Laubhölzer	49,2	6,0	44,8	ca. 1	< 0,01	85,0	5,0

FIA: flüchtige Anteile  
waf: wasserfrei und aschefrei  
wf: wasserfrei

**Tabelle 3:** Die Elementarzusammensetzung von Nadel- und Laubhölzern (ÖNORM M 7132 1986)

Was den Heizwert von **Rinde** betrifft, gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben. Nach ÖNORM M 7132 (1986) kann bei hohem Gehalt an Harzen oder anderen Extraktstoffen der Heizwert um bis zu 2,5 MJ/kg (ca. 0,7 kWh/kg) höher sein als der von Holz. KOLLMANN (1982) hingegen, zeigt in seinen Heizwerttabellen auch Rinden mit einem geringeren Heizwert als das entsprechende Holz (vgl. Tabelle 4).

Brennstoff	x [%]	Hu [kWh/kg]	Abweichung von Holzmittelwerten [kWh/kg]
Fichtenrinde	0	5,0	- 0,4
Kiefernborke	15-17	4,7	+ 0,2
Eichenborke	15-17	3,9	- 0,3

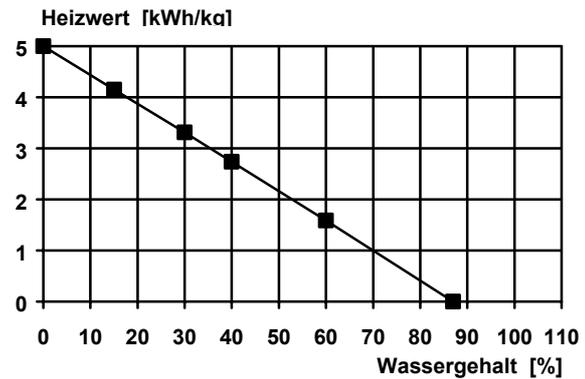
**Tabelle 4:** Der Heizwert verschiedener Rinden (KOLLMANN 1982, leicht verändert)

Nach KOLLMANN (1982), ist der Heizwertverlust je kg Trockensubstanz von **zersetztem Holz** gering, da der Unterschied im Heizwert zwischen abgebauter Cellulose und frischem Holz klein ist. Eine Heizwert-Untersuchung an ein bis zwei Jahre gelagertem Buchen- und Tannenstammholz bestätigt diese Aussage. Die Ergebnisse lassen keine nennenswerten Verluste (1-3 %) zu frisch eingeschlagenem Holz erkennen. (BECKER, VERSCHEURE 1998).

### 6.1.2 Auswirkung verschiedener Feuchtigkeits-/Wassergehalte

Durch die Verdampfung des Wassers während des Verbrennungsprozesses wird Wärme verbraucht. Je mehr Wasser im Holz enthalten ist, desto geringer wird sein Heizwert.

Beispiel: Bei der Verbrennung von Holz mit einem Wassergehalt von 60 %, ist der Heizwert um ca. 70 % geringer als bei der Verbrennung von absolut trockenem Holz.



**Tabelle 5:** Abhängigkeit des Heizwertes [kWh/kg] vom Wassergehalt (JONAS & GÖRTLER 1997)

## 6.2 Der Energiegehalt je Schüttkubikmeter Hackschnitzel (kWh/Sm<sup>3</sup>)

### 6.2.1 Auswirkung verschiedener Holzdichten

Laubhölzer haben i.d.R. eine höhere Dichte als Nadelhölzer. Da aus diesem Grund die verwertbare Holzsubstanz höher ist, haben Laubhölzer volumenbezogen einen höheren Energiegehalt als Nadelhölzer. Besonders cellulosereiche Laubhölzer wie Weide und Pappel haben dagegen einen verhältnismäßig niedrigeren Energiegehalt. Der energetische Wert von einem Schüttkubikmeter Nadelholz ist im Vergleich zum Laubholz (Ausnahme: Weichlaubhölzer) ca. 30 % geringer.

Holzart	Mittlere Darrdichte [kg/m <sup>3</sup> ]
Fichte	430
Tanne	410
Lärche	550
Douglasie	470
Eiche/Buche	680
Ahorn	600
Pappel	410

**Tabelle 6:** Rohdichten verschiedener Holzarten in absolut trockenem Zustand (ÖNORM M 7132 1986)

Nach KOLLMANN (1982) verliert **anbrüchiges** oder **faules** Holz durch seinen Gewichtsverlust einen Teil seiner Energie. Eine Untersuchung an zwei Jahre gelagertem Tannen- und Buchenstammholz stellte einen Gewichtsverlust von 6-9 % (im Mittel 8 %) gegenüber der Holz-Trockensubstanz von frisch eingeschlagenen Tannen und Buchen fest. Der Energiegehalt pro Schüttkubikmeter verringerte sich in dieser Zeit um 3-10 % (im Mittel 6 %) (BECKER, VERSCHEURE 1998).

### 6.2.2 Auswirkung verschiedener Feuchtigkeits-/Wassergehalte

Der Wassergehalt hat praktisch keinen Einfluß auf das Holzvolumen. Der Energiegehalt je Schüttkubikmeter wird daher vom Wassergehalt weit weniger beeinflusst als dies beim Energiegehalt pro Kilogramm der Fall ist (BUNDESAMT FÜR KONJUNKTURFRAGEN 1995).

Beispiel: Bei der Verbrennung von Holz mit einem Wassergehalt von 60 %, ist der Energiegehalt vergleichsweise nur 20 % geringer als bei der Verbrennung von absolut trockenem Holz (vgl. Punkt 6.1.2).

### 6.2.3 Auswirkung verschiedener Packungsfaktoren

Der Packungs- bzw. Auflockerungsfaktor steht für das Ausmaß an Verdichtung der Hackschnitzel in einem Raum. Er ist neben der Holzdichte entscheidend für das Holzrockengewicht (Atro-Gewicht) je Schüttkubikmeter. Je höher das Holzrockengewicht und damit die enthaltene Holzsubstanz, desto größer ist der Energiegehalt.

Der Packungsfaktor ist von zwei Größen abhängig:

- Dimension der Hackschnitzel: je stärker die Grobanteile (> 25 mm), desto geringer der Packungsfaktor (HOLZENERGIE BULLETIN 1997).
- Einlagerungs- bzw. Beladungsmethode: je nach Beschickungs-/Beladungsmethode von Silo/ Container (einblasen, lose schütten oder verdichten mit der Radladerschaufel) kann es zu unterschiedlichen Verdichtungen des Schüttgutes kommen.

#### 6.2.3.1 Vergleichende Untersuchungen zu Packungsfaktor und Energiegehalt

Die im Rahmen der Projekte „Schnittstellen I“ und „Schnittstellen II“ untersuchten Schnitzelvolumen zeigen deutliche geringere Trockengewichte als in den herkömmlichen Heizwerttabellen angegeben (vgl. Tabelle 8).

In „Schnittstellen I“ verringert sich dadurch der Energiegehalt je Kubikmeter Hackschnitzel um 13 % bei Laubholz bzw. 23 % bei Nadelholz (VEREINIGUNG FÜR HOLZENERGIE 1997).

Man kam zu dem Schluss, dass der Packungsfaktor um einiges geringer sein muss als bis dahin angenommen und dass damit die Energiegehalte je Kubikmeter Hackschnitzel bisher überschätzt wurden.

Eine ähnliche Untersuchung zum Energiegehalt und Trockengewicht von Hackschnitzeln im Rahmen einer Diplomarbeit bestätigt die vergleichsweise niedrigeren Energiegehalte von

Nadelholzhackschnitzeln aufgrund der geringeren Holzrockengewichte. Allerdings ist der Unterschied (Verringerung von 9 % gegenüber den Heizwerttabellen des BUNDESAMTES FÜR KONJUNKTURFRAGEN 1990) weit weniger ausgeprägt als in der Schweizer Untersuchung (vgl. Tabelle 9). Bei Laubholzhackschnitzeln liegen die ermittelten Trockengewichte je Schüttkubikmeter und damit auch der Energiegehalt sogar um 4 % über den in den Heizwerttabellen des Bundesamtes für Konjunkturfragen angegebenen Werten (BECKER, VERSCHEURE 1998).

Beide Untersuchungen zeigen recht deutlich, dass der Energiegehalt pro Schüttkubikmeter wesentlich vom Trockengewicht der Holzmasse abhängig ist. Um eine möglichst genaue Bestimmung des Energiegehaltes pro Schüttkubikmeter zu erhalten, ist deshalb eine Gewichtsermittlung der Hackschnitzel unbedingt erforderlich. Eventuell ist es auch sinnvoll, eine Serie von Laub- und Nadelhölzer zu wiegen, um für regelmäßig anfallende Hackschnitzelsortimente in einer Region das Trockengewicht pro Schüttkubikmeter zu kennen. Auf dieser Basis kann dann eine individuelle Heizwerttabelle erstellt werden (vgl. Punkt 9.2.1, S. 11). Voraussetzung dafür sind gleichbleibende Hackschnitzeldimensionen und Füllmethoden.

## 7 Bestimmen des Wassergehaltes

### 7.1 Trockenschrankmethode

- Entnahme von mindestens drei Proben (ca. 200-500 g) aus den feuchten Hackschnitzeln (je unterschiedlicher der Brennstoff, desto mehr Proben).

Hinweis: Der günstigste Zeitpunkt ist unmittelbar nach dem Hacken/Aufladen der Hackschnitzel in die Container. Bei längerer Lagerung können durch Kondensationsbildung oder Fremdwassereintrag ungleichmäßige Feuchtigkeitsverteilungen im Haufen entstehen (gegebenenfalls ist eine Durchmischung erforderlich).

- Bis zur Bestimmung der Proben (sollte möglichst rasch erfolgen) sind die Beutel so zu verwahren, daß eine Veränderung des Wassergehaltes zuverlässig verhindert wird (Verschließen durch Knoten oder Gummibänder).
- Die feuchten Proben werden anschließend gewogen (Genauigkeit einer guten elektronischen Küchenwaage ist ausreichend).
- Die feuchten Hackschnitzel werden in einem Trockenschrank bei 103 °C bis zur Gewichtskonstanz (ca. 24 Stunden) getrocknet.

- Nach der Entnahme aus dem Trockenschrank werden die Schnitzelproben noch einmal gewogen.
- Die Berechnung der Feuchtigkeits- bzw. Wassergehalte geschieht dann anhand folgender Formeln:

$$\text{Feuchtigkeit } u \text{ [\%]} = \frac{\text{Gewicht des feuchten Holzes [kg]} - \text{Gewicht des trockenen Holzes [kg]}}{\text{Gewicht des trockenen Holzes [kg]}} \cdot 100$$

$$\text{Wassergehalt } x \text{ [\%]} = \frac{\text{Gewicht des feuchten Holzes [kg]} - \text{Gewicht des trockenen Holzes [kg]}}{\text{Gewicht des feuchten Holzes [kg]}} \cdot 100$$

## **7.2 Backofenmethode**

Alternativ zum Trockenschrank kann für die Trocknung der Schnitzelproben auch ein Backofen in Frage kommen. Die Backofentemperatur sollte zwischen 101 und 104 °C liegen und mittels Thermostat eingestellt werden. Die Hackschnitzel bleiben bis zur annähernden Gewichtskonstanz, je nach Wassergehalt 6-12 Stunden im Backofen. Bei feinen oder sehr nasen Spänen wird man öfters aufrühren und den Backofen einige Male lüften müssen (JONAS, GÖRTLER 1997).

Alle weiteren Schritte zur Berechnung des Wasser/Feuchtegehaltes erfolgen wie unter Punkt 7.1 beschrieben.

Hinweis: Die Trocknung bis zur annähernden Gewichtskonstanz im Backofen ergibt eine etwas ungenauere Wassergehaltsbestimmung. Sie ist jedoch hinreichend genau, wenn der Wasser/Feuchtegehalt zur Berechnung des Energiegehaltes pro Schüttkubikmeter herangezogen wird (vgl. Punkt 6.2.2, S. 6). Zur Berechnung des Energiegehaltes je Kilogramm braucht es jedoch eine sehr genaue Feuchte/Wassergehaltsmessung (vgl. Punkt 6.1.2, S. 5).

## **7.3 Anwendung eines Feuchtemeßgerätes**

Seit circa einem Jahr steht zur Wassergehaltsbestimmung von Hackschnitzeln das Feuchtemeßgerät vom Typ „FMG 3000“ zur Verfügung. Das Gerät verfügt über ein 60 Liter fassendes Meßgefäß in das die angelieferten Schnitzel eingefüllt werden. Durch Tastendruck kann der Wassergehalt sofort auf einem LCD-Display abgelesen werden (HOLZ-ZENTRALBLATT 1999).

Der Vorteil dieses Meßgerätes besteht in der schnellen Wassergehaltsermittlung einer größeren inhomogenen Hackschnitzelmenge. Weitere Informationen: Pandis GmbH, A-8041 Graz.

## 8 Bestimmen des Hackschnitzelgewichtes

### 8.1 Containerweise

- Es sollten mindestens drei volle Container eines Hackschnitzelsortimentes auf einer Fahrzeugwaage gewogen werden. Auf möglichst gleichmäßige Füllhöhen der Container ist zu achten!
- Rückwiegen eines leeren Containers und Berechnen des mittleren Nettogewichtes pro Container
- Das Hackschnitzelgewicht  $[\text{kg}/\text{Sm}^3]$  =  $\frac{\text{Nettogewicht } t \text{ [kg]}}{\text{Volumen } [\text{m}^3] \text{ des Containers}}$
- Das Trockengewicht  $[\text{kg}_{\text{atro}}/\text{Sm}^3]$  =  $\text{Frischgewicht } [\text{kg} / \text{Sm}^3] \cdot \frac{100 - x [\%]}{100}$

### 8.2 Eimerweise

- Wiegen von mindestens drei vollen Eimern (10-20 l) eines Hackschnitzelsortimentes
- Schütteln und Pressen des Materials (die Verdichtung des Materials sollte in etwa der in den Containern gleichkommen)
- Rückwiegen eines leeren Eimers und Berechnen des mittleren Nettogewichtes pro Eimer
- Das Hackschnitzelgewicht  $[\text{kg}/\text{Sm}^3]$  =  $\frac{\text{Nettogewicht } [\text{kg}]}{\text{Volumen } [\text{l}] \text{ des Eimers}} \cdot 1.000$
- Das Trockengewicht  $[\text{kg}_{\text{atro}}/\text{Sm}^3]$  =  $\text{Frischgewicht } [\text{kg} / \text{Sm}^3] \cdot \frac{100 - x [\%]}{100}$

## 9 Bestimmen des Energiegehaltes

### 9.1 Der Energiegehalt pro Kilogramm Hackschnitzel

#### 9.1.1 Rechnerisch

- Wasser/Feuchtegehaltsbestimmung (vgl. Punkt 7, S. 7)
- Der Heizwert der feuchten Hackschnitzel kann anhand folgender Formel berechnet werden (KOLLMANN 1982):

$$Hu_w [\text{kcal / kg}] = \frac{Hu_{wf} [\text{kcal / kg}] - 6 \cdot u [\%]}{1 + \frac{u}{100}}$$

$Hu_w$  = Heizwert des Holzes bei einem Wassergehalt von  $x$  [%]

$Hu_{wf}$  = Heizwert des wasserfreien Holzes

Als Heizwert des wasserfreien Holzes können die Mittelwerte für Laub- und Nadelholz nach KOLLMANN (1982) eingesetzt werden (vgl. Tabelle 7). Besteht das Hackschnitzelsortiment aus einem Laubholz-/Nadelholzgemisch ist auch ein mittlerer Heizwert von 5,2 MWh/kg<sub>atro</sub> hinreichend genau (vgl. Punkt 6.1.1, S. 3).

#### 9.1.2 Tabellarisch

- Wasser/Feuchtegehaltsbestimmung (vgl. Punkt 7, S. 7)
- Entnahme des Heizwertes mit dem entsprechendem Wassergehalt aus einer Heizwerttabelle (vgl. Tabelle 9).

#### 9.1.3 Über den Wärmehzähler

Mischungen aus Wald-, Sägereholz, Rinde und Landschaftspflegehölzern zeichnen sich durch sehr inhomogene Wassergehalts- und Dimensionsverteilungen aus. Die Bestimmung des Wassergehaltes und/oder des Heizwertes wird damit problematisch. In diesem Fall kann der Heizwert über den Wärmehzähler bestimmt werden. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis des Nutzungsgrades des Heizkessels, das Vorhandensein eines Wärmehzählers in der Heizanlage und ein messbarer Siloinhalt.

- Zuerst wird die zu untersuchende Hackschnitzelmenge (2-4 Container) gewogen (vgl. Punkt 8.1, S. 9)
- Die gewogenen Hackschnitzel werden dann in das (fast) leere Silo abgekippt.

Hinweis: Je größer der Hackschnitzelrest im Silo ist, desto länger sollte sich der Versuchszeitraum erstrecken, um den Einfluß der Restmenge an der Energieerzeugung so gering wie möglich zu halten.

- Vor dem Versuchsbeginn wird die bisher erzeugte Wärmemenge am Wärmehähler abgelesen.
- Am Ende des Verbrennungszeitraumes kann durch Differenzbildung (Wert vor und nach der Verbrennung) die erzeugte Energie am Wärmehähler abgelesen werden.
- Der Energiegehalt [kWh] des Hackschnitzelgemischs = 
$$\frac{\text{Wert am Wärmehähler [kWh]}}{\text{Nutzungsgrad [\%]}} \cdot 100$$
- Der Energiegehalt [kWh/kg] = 
$$\frac{\text{Energiegehalt gesamt [kWh]}}{\text{Gesamtgewicht [kg]}}$$

Hinweis: Die Genauigkeit dieser Methode hängt wesentlich davon ab, inwieweit die ins Silo abgekippte Hackschnitzelmenge mit der ermittelten Energiemenge am Wärmehähler übereinstimmt und ob die Auslastung des Heizkessels zur Zeit der Nutzungsgraderhebung in etwa mit der Auslastung zum Zeitpunkt der Heizwertuntersuchung übereinstimmt.

## **9.2 Der Energiegehalt je Schüttkubikmeter Hackschnitzel**

### **9.2.1 Rechnerisch**

- Heizwertbestimmung pro Kilogramm ( vgl. Punkt 9.1.1, S. 10)
- Bestimmen des Hackschnitzelgewichtes (vgl. Punkt 8, S. 9)
- Energiegehalt [kWh/Sm<sup>3</sup>] = Energiegehalt [kWh/kg] x Hackschnitzelgewicht [kg/Sm<sup>3</sup>]

Hinweis: Die Genauigkeit dieses Verfahrens ist von einer präzisen Gewichtsermittlung abhängig.

### **9.2.2 Tabellarisch**

- Heizwertbestimmung je Kilogramm (vgl. Punkt 9.1.2, S. 10)

- Die Hackschnitzelgewichte je  $\text{Sm}^3$  Laub/Nadelholz werden aus den Heizwerttabellen übernommen und der entsprechende Energiegehalt in der Tabelle abgelesen. Weichlaubhölzer wie Weide und Pappel werden zu der gleichen Gewichtsklasse gezählt wie die Nadelhölzer.

Hinweis: Diese Methode ist ungenauer als das rechnerische Verfahren, da die Mittelwerte aus den Tabellen mehr oder weniger stark von den tatsächlichen Hackschnitzelgewichten pro Schüttkubikmeter abweichen können (vgl. Punkt 6.2.3, S. 6).

### 9.2.3 Über den Wärmehähler

- Bestimmen des Heizwertes pro Kilogramm (vgl. Punkt 9.1.3, S. 10)
- Bestimmen des Hackschnitzelgewichtes (vgl. Punkt 8.1, S. 9)
- Energiegehalt [ $\text{kWh}/\text{Sm}^3$ ] = Energiegehalt [ $\text{kWh}/\text{kg}$ ] x Hackschnitzelgewicht [ $\text{kg}/\text{Sm}^3$ ]

Hinweis: Die Genauigkeit dieser Methode wird im wesentlichen von der Aussagekraft des Nutzungsgrades und der exakten Zuordnung der Hackschnitzelmenge zum abgelesenen Energiewert am Wärmehähler beeinflusst (vgl. Punkt 9.1.3, S. 10).

## 10 Literatur

**BECKER, G.; VERSCHEURE, P. (1998):** Versorgungs- und Logistik-Konzept zur Energieerzeugung aus Holz. Forschungsbericht am Institut für Forstbenutzung und Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg

**BUNDESAMT FÜR KONJUNKTURFRAGEN (1990):** Energieholzversorgung. Brennschnitzel-Produktion und -Vertrieb. IP Holz

**BUNDESAMT FÜR KONJUNKTURFRAGEN (1995):** Projektieren automatischer Holzfeuerungen. Pacer-Publikationen. Bern

**HOLZENERGIE BULLETIN (1997):** Neue Untersuchungen zur Schnitzelqualität. Heft Nr. 42

**HOLZ-ZENTRALBLATT (1999):** Schnellmessung des Wassergehaltes von Holzhackgut. Nr. 68

**JONAS, A.; GÖRTLER, F. (1997):** Energie aus Holz. 7. Auflage. Niederösterreichische Landes-Landwirtschaftskammer. Wien

**KOLLMANN, F. (1982):** Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Band 1. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York

**ÖNORM M 7132 (1986):** Österreichisches Normungsinstitut. Wien

**WALDWIRTSCHAFT VERBAND SCHWEIZ:** Arbeitsblätter Energieholz-Hackschnitzel aus dem Wald. Solothurn, Schweiz

Holzart	Holzbeschaffenheit	unterer Heizwert bei einem Wassergehalt von 0%	
		[kcal/kg]	[kWh/kg]
Ahorn	Scheiter und Prügel	4.183	4,87
Ahorn	Scheiter	4.306	5,01
Birke		4.805	5,59
Birke	Scheiter und Prügel	4.506	5,24
Birke	Scheiter und Prügel	4.160	4,84
Buche, rot	Scheiter und Prügel	4.802	5,59
Buche, rot	Prügel	4.380	5,10
Buche, rot	Scheiter und Prügel	4.187	4,87
Eiche		4.356	5,07
Eiche	Scheiter und Prügel	4.390	5,11
Eiche	Scheiter und Prügel	4.244	4,94
Eiche, Zerr-	Scheiter und Prügel	4.216	4,91
Erle, Schwarz-	Scheiter und Prügel	4.316	5,02
Erle, Schwarz-	Scheiter und Prügel	4.294	5,00
Erle, Weiß-	Scheiter und Prügel	4.123	4,80
Esche	Scheiter und Prügel	4.255	4,95
Esche	Scheiter	4.402	5,12
Hainbuche	Prügel	4.062	4,73
Hainbuche	Scheiter und Prügel	4.209	4,90
Kastanie, Edel-	Scheiter	4.500	5,24
Kirschbaum		4.426	5,15
Kirschbaum	Scheiter	4.264	4,96
Linde	Scheiter	4.474	5,21
Pappel, Schwarz-	Scheiter und Prügel	4.129	4,81
Pappel, Schwarz-	Scheiter und Prügel	4.281	4,98
Robinie		4.798	5,58
Robinie	Scheiter und Stockholz	4.258	4,96
Weide, Weiß-	Scheiter	3.900	4,54
<b>Laubhölzer</b>	<b>durchschnittlich</b>	<b>4.326</b>	<b>5,03</b>
Douglasie	Scheiter und Prügel	4.582	5,33
Fichte		4.892	5,69
Fichte	Scheiter und Prügel	4.726	5,50
Fichte	Scheiter	4.290	4,99
Fichte	Scheiter	4.578	5,33
Kiefer	Scheiter und Prügel	5.066	5,90
Kiefer	Scheiter	4.470	5,20
Kiefer	Scheiter und Prügel	4.438	5,17
Lärche	altes Bauholz	4.774	5,56
Lärche	Scheiter und Bauholz	4.470	5,20
Lärche	Scheiter	4.420	5,14
Strobe	Scheiter und Bauholz	4.876	5,68
Tanne	lange gelagert	4.621	5,38
Tanne	frisch	4.496	5,23
Tanne	Scheiter und Prügel	4.654	5,42
<b>Nadelhölzer</b>	<b>durchschnittlich</b>	<b>4.623</b>	<b>5,38</b>

Tabelle 7: Heizwerte verschiedener Baumarten (KOLLMANN 1982)

Holzart	Feuchte		Forschungsprojekt LFV (Becker & Verscheure 1998)			Forschungsprojekt Schnittstellen I (Vhe 1997, leicht verändert)		
	F <sub>rel</sub> [%]	F <sub>atro</sub> [%]	Schnitzelgewicht [kg/Sm <sup>3</sup> ]	Energieinhalt		Schnitzelgewicht [kg/Sm <sup>3</sup> ]	Energieinhalt	
				[kWh/kg]*	[kWh/Sm <sup>3</sup> ]		[kWh/kg]*	[kWh/Sm <sup>3</sup> ]
NH	0	0	148-160	5,38	800-860	131	5,38	700
	15	17,6	174-188	4,47	780-840	154	4,47	690
	25	33,3	197-213	3,86	760-820	175	3,86	670
	35	53,8	228-246	3,25	740-800	201	3,25	650
	40	66,7	247-267	2,95	730-790	218	2,95	640
	45	81,8	269-291	2,65	710-770	238	2,65	630
	50	100	296-320	2,34	690-750	262	2,34	610
	55	122	329-355	2,04	670-720	291	2,04	590
	60	150	370-400	1,73	640-690	328	1,73	570
LH	0	0	230-270	5,03	1.160-1.360	209	5,03	1.050
	15	17,6	270-318	4,18	1.130-1.330	246	4,18	1.030
	25	33,3	307-360	3,60	1.100-1.300	279	3,6	1.000
	30	42,9	329-386	3,31	1.090-1.280	299	3,31	990
	35	53,8	354-415	3,03	1.070-1.260	321	3,03	970
	40	66,7	383-450	2,74	1.050-1.230	348	2,74	950
	45	81,8	418-491	2,46	1.030-1.210	380	2,46	930
	50	100	460-540	2,17	1.000-1.170	418	2,17	910
	55	122	511-599	1,88	960-1.130	464	1,88	870
	60	150	575-675	1,59	910-1.070	523	1,59	830

**Tabelle 8:** Hackschnitzelgewichte und Energiegehalte aus verschiedenen Forschungsprojekten; \* = Tabellenwerte

Holzart	Feuchte		Heizwerttabelle (Waldwirtschaft Verband Schweiz)			Heizwerttabelle (Bundesamt für Konjunkturfragen 1990)			Richtwerte* (Schweizer Vereinigung für Holzenergie)	
	F <sub>rel</sub> [%]	F <sub>atro</sub> [%]	Schnitzelgewicht [kg/Sm <sup>3</sup> ]	Energieinhalt		Schnitzelgewicht [kg/Sm <sup>3</sup> ]	Energieinhalt		Energieinhalt [kWh/Sm <sup>3</sup> ]	
				[kWh/kg]	[kWh/Sm <sup>3</sup> ]		[kWh/kg]	[kWh/Sm <sup>3</sup> ]		
NH	0	0	170			170			600-700	
	15	17,6	200	4,38	877	200	4,49	900		
	20	25								
	25	33,3	277	3,79	860					
	30	42,9				240	3,58	870		
	33,3	50								550-650
	35	53,8	262	3,2	837					
	42,9	75								500-600
	45	81,8	309	2,6	802	310	2,65	820		
	50	100								450-500
LH	0	0	240			240			950-1.050	
	15	17,6	282	4,15	1.170	290	4,10	1.160		
	20	25								
	25	33,3	320	3,58	1.146					
	30	42,9				340	3,28	1.120		
	33,3	50								900-1.000
	35	53,8	369	3,01	1.111					
	42,9	75								850-950
	45	81,8	436	2,44	1.066	430	2,43	1.060		
	50	100								800-900

**Tabelle 9:** Tabellarische Werte für Energiegehalte und Hackschnitzelgewichte; \* beruht auf den Untersuchungen zu Schnittstellen II und gilt in der Schweiz als aktuelle Version

