

# 4. Kauf und Verkauf von Holz für Energiezwecke

In Dänemark werden viele verschiedene Holz Brennstoffe umgesetzt: Brennholz, Hackschnitzel, Holzpellets und Holzbricketts, Rinde, Sägemehl und Späne. Nachstehend werden die gebräuchlichsten Methoden für Kauf und Verkauf dieser Brennstoffe beschrieben.

## Brennholz

Gewöhnliches Brennholz wird nach Volumen abgerechnet. Es gibt viele verschiedene Volumenangaben für Holz, doch beziehen sich alle auf zwei prinzipiell unterschiedliche Einheiten:

- Ein Raummeter Holz ist die Menge Holz mit Luft, die in einen Stapel oder einen Kasten mit den Außenmaßen 1 m × 1 m × 1 m hineinpasst.
- Ein Kubikmeter Festmasse ist die Menge Festholz, die genau einen 1 m<sup>3</sup> ausmacht, z.B. ein massiver Holzblock mit einer Länge, Höhe und Breite von 1 m.

In Dänemark wird Brennholz hauptsächlich in Raummeter verkauft (ein Raummeter Brennholz geschnitten, gespalten und gestapelt, ein Raummeter Stückholz oder ein Schüttraummeter) (38).

Von den drei Raummetern enthält ein Raummeter geschnitten, gespalten und gestapelt das meiste Holz. Die Menge hängt jedoch von der Dichte des Sta-

pels und der Größe der Scheite ab. Je größer die Scheite, desto mehr Holz in einem Raummeter.

Ein Raummeter Stückholz ist Holz, das nach Einschlag und Zersägen im Wald gestapelt wird - oft in Abschnitten

Holzart	kg Trocken-substanz pro m <sup>3</sup>	Im Verhältnis zu Buche in %
Weißbuche	640	110
Buche/Eiche	580	100
Esche	570	98
Ahorn	540	93
Birke	510	88
Bergkiefer	480	83
Fichte	390	67
Pappel	380	65

Tabelle 5: Durchschnittlicher Gehalt an trockenem Holz pro Kubikmeter Festmasse in den häufigsten dänischen Baumarten (39).

von 2 m Länge, Nadelholz auch in Längen von 1 und 3 m. Es handelt sich typisch um Holz, das vom Käufer weiter in kleinere Stücke zersägt wird. Ein solcher Stapel kann viel Luft enthalten. Bei langen und krummen Stücken, die mögli-

cherweise mit einem Kran gestapelt wurden, ist der Holzgehalt gering. Ein Stapel aus kurzen Stücken mit großem Durchmesser enthält erheblich mehr Holz.

Ein Schüttraummeter besteht aus Holz, das nicht gestapelt, sondern nur in eine Kiste von 1 m × 1 m × 1 m geschüttet wurde. Hier ist viel Luft enthalten, denn die Scheite liegen kreuz und quer. Ein Schüttraummeter Kaminholz enthält schätzungsweise nur die Hälfte bis zwei Drittel der Festmasse in einem Raummeter geschnittenes, gespaltenes und gestapeltes Kaminholz.

Bei der Festsetzung des Wertes von einem Raummeter Brennholz werden Verarbeitungsgrad, Holzart und Festmassezahle oder Festmasseprozent berücksichtigt.

Der Verarbeitungsgrad beschreibt, ob das Brennholz in Scheite von passender Länge geschnitten und gespalten ist. Alle dänischen Holzarten haben in etwa den gleichen Heizwert pro kg Trocken-substanz, ihr Trockengewicht pro Volumeneinheit ist jedoch sehr unterschiedlich (Tabelle 5).

Die Festmassezahle oder der Festmasseprozent gibt den Anteil fester Holzmasse in einem Raummeter Brennholz an. Ist die Festmassezahle z.B. 0,65, ist der Festmasseprozent 65 - beides bedeutet, dass ein Raummeter Brennholz

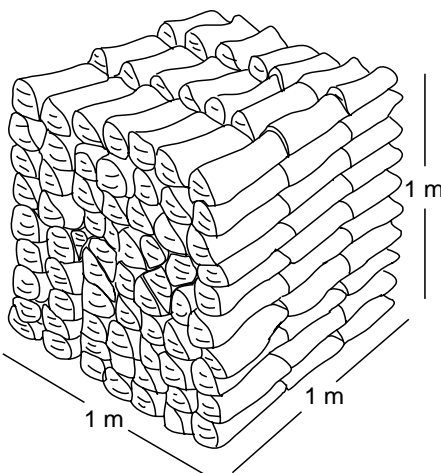


Schaubild 8: Ein Raummeter geschnittenes, gespaltenes und gestapeltes Holz. Der Heizwert für einen Raummeter Buchenholz mit 20% Restfeuchte liegt bei 7,6-8,6 GJ.

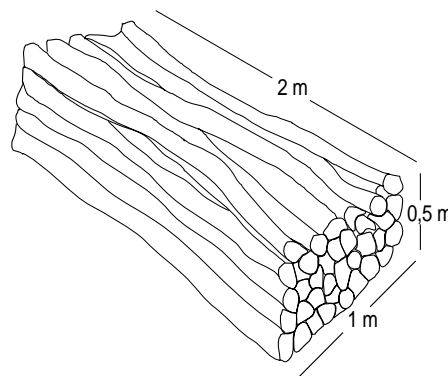


Schaubild 9: Ein Raummeter Stückholz. Ein Raummeter Buche aus 1-Meter-Stücken enthält ca. 65% Festmasse, ein Raummeter 3-Meter-Stücke dagegen nur ca. 55%. Der Heizwert für einen Raummeter Buche in 2-Meter-Stücken mit 20% Restfeuchte liegt bei ca. 6,5 GJ.

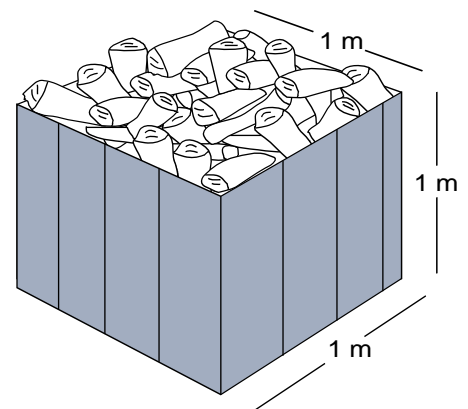


Schaubild 10: Ein Schüttraummeter. Für Buche und Fichte mit einer Restfeuchte von 20% des Gesamtgewichts ist der Festmassegehalt 45%. Der Heizwert für einen Schüttraummeter Buche in 40-cm-Scheiten mit 20% Restfeuchte beträgt ca. 4,8 GJ.

0,65 Kubikmeter festes Holz oder 65% Holz enthält. Der Rest ist Luft.

Die Festmassezahl schwankt ziemlich stark, eine besondere Rolle dabei spielt, wie sorgfältig das Holz gestapelt ist. Wie Tabelle 6 zeigt, beeinflussen auch die Holzart und die Länge der Scheite die Festmassezahl.

Ungeachtet des Feuchtegehaltes ist der Holzgehalt in einem Raummeter Brennholz bei gleicher Festmassezahl gleich. Beim Kauf und Verkauf von Brennholz spielt der Feuchtegehalt daher keine große Rolle - das Verfeuern in einem Kaminofen allerdings setzt voraus, dass das Brennholz trocken ist, d.h. dass der Feuchtegehalt in Prozent vom Gesamtgewicht unter 20% liegt.

## Hackschnitzel

Der Handel mit Hackschnitzel erfordert eine Messung des Hackschnitzels, wobei der Preis nach Qualität und Heizwert des Hackschnitzels festgelegt wird.

## Qualität

Die Hackschnitzelqualität hängt von der Korngröße, dem Feuchtegehalt und dem Gehalt an Fremdkörpern (Erde, Steine u.ä.) ab. Normalerweise verbindet man die Qualität des Hackschnitzels mit seinen Hantierungs- und Verbrennungseigenschaften. Eine schlechte Hackschnitzelqualität ist daher oft gleichbedeutend mit schwieriger Hantierung, d.h. einem nachteiligen Einfluss auf den Reibungswinkel des Hackschnitzels, den Rutschwinkel und die Neigung zur Brückenbildung. Die Hackschnitzelqualität kann auch einen wesentlichen Einfluss auf die Verbrennungsqualität (Wirkungsgrad) und den Schadstoffgehalt (z.B. Kadmium) der Rauchgase und der Asche haben.

1987 gab der Dänische Waldbesitzerverband eine Norm zur Bestimmung der Hackschnitzelqualität unter Berücksichtigung der Korngröße für Hackschnitzel in Durchschnittslängen von 5 bis 50 mm heraus (vgl. Kapitel 2.4) (26). Die Norm ist durch die Entwicklung der Verbrennungstechnologie mittlerweile überholt und wird daher überarbeitet (vgl. Kap. 2.4).

## Heizwert

Die Energiemenge pro Gewichts- oder Raumeinheit, die bei vollständiger Verbrennung eines Brennstoffs freigesetzt



foto: biopress/forben skott

*Hier wird Brennholz gemacht und kunstfertig zu runden Stapeln aufgestapelt, so dass es schneller trocknet.*

wird, wird als Heizwert bezeichnet. Gebräuchlich sind die Bezeichnungen oberer Heizwert und unterer Heizwert. Die in Dänemark am häufigsten verwendete Angabe und Grundlage für Kauf und Verkauf ist der untere Heizwert. Unter „Heizwert“ wird im Folgenden, sofern nicht ausdrücklich anders angegeben, immer der „untere Heizwert“ verstanden.

Der obere Heizwert oder, wie er auch bezeichnet wird, Bruttoheizwert wird als die Wärmemenge definiert, die bei vollständiger Verbrennung einer definierten Menge Holz unter gleich bleibendem Druck freigesetzt wird unter der Voraussetzung, dass sowohl der ursprüngliche Feuchtegehalt des Brennstoffs als auch das Wasser, das bei der Verbrennung entsteht (ca. 0,5 kg Wasser pro kg Trockensubstanz) kondensiert sind. Einheit: oft MJ pro kg oder GJ pro Tonne.

Der untere Heizwert wird als die Wärmemenge definiert, die bei vollstän-

diger Verbrennung einer definierten Menge Holz entsteht unter der Voraussetzung, dass der Feuchtegehalt des Holzes und das Wasser, das bei der Verbrennung entsteht (ca. 0,5 kg Wasser pro kg Trockensubstanz) sich in gasförmigem Zustand befinden. Das heißt, dass die Wärmerückgewinnung durch die Kondensierung des Wasserdampfs im Rauchgas nicht mitgerechnet wird. Einheit oft MJ pro kg oder GJ pro Tonne.

Die Menge Wasser, die Holzbrennstoff praktisch immer enthält, muss im ersten Stadium der Verbrennung verdampfen. Die Energie hierfür kommt von der Verbrennung des Holzes. Das führt zu einer geringeren Menge nutzbarer Energie. Mit der folgenden Formel kann der Einfluss des Feuchtegehaltes auf den Heizwert berechnet werden:

$$H_{n,v} = H_n \left( \frac{100 - F}{100} \right) - \frac{2,442}{100} F$$

Dabei ist

- $H_{n,v}$  der Heizwert für nasses Holz (GJ pro Tonne Gesamtgewicht),
- $H_n$  der Heizwert für trockenes Holz (GJ pro Tonne Gesamtgewicht),
- $F$  der Feuchtegehalt in Prozent vom Gesamtgewicht,
- 2,442 die latente Verdampfungswärme von Wasser bei 25 °C (GJ pro Tonne).

Wenn ein Wärmewert angegeben ist, ist auf Folgendes zu achten (15):

- Um welchen Wert handelt es sich - (1) den oberen Heizwert, (2) den Heizwert für ofentrockenes Holz oder (3) den Heizwert für nasses Holz ?
- Bitte beachten, dass ab und zu für nasses Holz statt Heizwert die Bezeichnung effektiver Brennwert benutzt wird. Handelt es sich um den Heizwert, d.h. den Brennwert abzüglich der Kondensationswärme für den Wasserdampf, der sich gebildet hat, muss der Feuchtegehalt angegeben sein. Darauf achten, ob der Feuchtegehalt auf (1) Gesamtgewichts-Basis ( $F$ ) oder (2) Trockensubstanz-Basis ( $u$ ) angegeben ist. In ausländischer und einem Teil der dänischen Literatur können andere Symbole als »F« und »u« angegeben sein, z.B. »w« statt »F«.
- Schließlich ist zu untersuchen, ob der Heizwert bei dem gegebenen Feuchtegehalt angegeben ist (1) über das Trockensubstanzgewicht (2), über das Gesamtgewicht (3), über Raummeter oder (4) über  $m^3$  Festmasse.

## Abrechnung von Waldhackschnitzel

Die meisten hackschnitzelbefeuerten Heiz- und Heizkraftwerke in Dänemark rechnen Waldhackschnitzel nach dem Energiegehalt ab, bestimmt als Heizwert pro Tonne Gesamtgewicht. In bestimmten Fällen können einzelne Partien auch pro Raummeter Hackschnitzel abgerechnet werden. Der Heizwert wird nach oben stehenden Formeln berechnet, die wie folgt umgerechnet werden können:

Für Waldhackschnitzel skandinavischen Ursprungs aus überwiegend Kiefer, Fichte und Birke

$$H_{n,v} = 19,2 - 0,2164 \cdot F \quad (\text{GJ pro Tonne Gesamtgewicht})$$

Brennholzlänge m	Festmasse in Buchenholz	Festmasse in Fichtenholz
0,40	0,70	0,80
1,00	0,65	0,75
2,00	0,60	0,70
3,00	0,55	0,65

*Tabelle 6: Durchschnittliche und ungefähre Werte für die Festmasse in einem Raummeter Buchen- und Fichtenholz, gestapelt in verschiedenen Längen (39).*

wobei  $F$  den Feuchtegehalt des Hackschnitzels in Prozent des Gesamtgewichts angibt.

Für Mischhackschnitzel unterschiedlicher Herkunft aus überwiegend Laubholz oder von unbekannter Zusammensetzung

$$H_{n,v} = 19,0 - 0,2144 \cdot F \quad (\text{GJ pro Tonne Gesamtgewicht})$$

wobei  $F$  den Feuchtegehalt des Hackschnitzels in Prozent des Gesamtgewichts angibt.

Um den Wert einer LKW-Ladung Hackschnitzel bestimmen zu können, müssen das Gewicht und der Feuchtegehalt der Ladung bekannt sein. Zur Gewichtsbestimmung wird der LKW beladen und unbeladen auf einer Brückenwaage gewogen. Die Differenz gibt das Gesamtgewicht der Ladung an, d.h. das Gewicht des Trockensubstanz- und Feuchtegehaltes der Ladung.

Um den Feuchtegehalt zu bestimmen, werden nach dem Abladen an 3-5 Stellen im Haufen Proben von insgesamt 5-10 Litern entnommen. Diese Proben werden gründlich gemischt, und es wird eine Probe von ca. 3 Litern entnommen, um den durchschnittlichen Feuchtegehalt der Ladung zu bestimmen. Der Feuchtegehalt wird normalerweise in Prozent vom Gesamtgewicht angegeben und folgendermaßen ermittelt:

- Die Probe wird unmittelbar nach der Entnahme gewogen.

	Heizwert der Trockensubstanz in GJ/Tonne
Reine Holzmasse	19,5
Waldhackschnitzel	19,2
Rinde	18,0
Holzpellets	19,0

*Tabelle 7: Der Heizwert für verschiedene Formen von Biomasse (40).*

- Die Probe wird im Trockenschrank bei 105 °C auf konstantes Gewicht getrocknet. Praktisch werden drei Liter Hackschnitzel, verteilt auf einem Blech, in einem belüfteten Trockenschrank 16 Stunden auf konstantes Gewicht getrocknet.
- Die Differenz zwischen dem Gewicht der frischen Probe und dem Gewicht der getrockneten Probe in Prozent vom Gewicht der frischen Probe gibt den Feuchtegehalt in Prozent vom Gesamtgewicht ( $F$ ) an.

$$\text{Feuchtegeh.} = \frac{\text{Frischgew.} - \text{ofentrockenes Gew.}}{\text{Frischgew.}} \cdot 100\%$$

## Heizwert der Ladung

Der Heizwert der Ladung in GJ pro Tonne Gesamtgewicht wird mit einer der beiden oben stehenden Formeln für den Heizwert ( $H_{n,v}$ ) ermittelt. Anschließend wird das Gesamtgewicht der Ladung in Tonnen mit der Anzahl GJ pro Tonne und dem vereinbarten Preis pro GJ (1998 z.B. DKK 35,- pro GJ) multipliziert. Schaubild 11 zeigt u.a. den Heizwert (Gesamtgewichtsbasis) in GJ pro Tonne als Funktion des Feuchtegehalts in Prozent vom Gesamtgewicht.

Berechnungsbeispiel für Waldhackschnitzel aus Nadelholz:

- Feuchtegehalt des Hackschnitzels: 55% des Gesamtgewichts
- Gewicht der Ladung: 15 Tonnen
- Energiepreis (1998): 35 DKK pro GJ
- Heizwert des Hackschnitzels  $H_u$ : 19,2 GJ/Tonne -  $0,2164 \cdot 55 = 7,30$  GJ/Tonne
- Energiegehalt des Hackschnitzels: 15 Tonnen  $7,30$  GJ/Tonne = 109,50 GJ
- Preis des Hackschnitzels: 35 DKK/GJ  $109,50$  GJ = 3.832,50 DKK

Das dänische Verfahren wird seit 1980 benutzt, ist einfach anzuwenden und hat in der Praxis nicht zu nennenswerten Problemen geführt. Bei einer großen Anzahl Ladungen vom gleichen Lieferanten kann das Verfahren noch vereinfacht werden, d.h. die Anzahl Hackschnitzel-

proben zur Bestimmung des Feuchtegehalts kann reduziert werden. Abweichungen vom offiziellen Probenentnahmeverfahren müssen bei Vertragsabschluss vereinbart werden. Außerdem ist zu vereinbaren, wer die Proben entnimmt und behandelt.

## Holzpellets und Holzbriketts

Von diesen Brennstofftypen sind Holzpellets am häufigsten. Sie werden in Fernwärmewerken verwendet und haben den Vorteil, dass sie ohne Schwierigkeiten in Kesseln verbrannt werden können, die für Kohle ausgelegt sind. Darüber hinaus sind Holzpellets sehr gefragt für das Beheizen von Einfamilienhäusern und ersetzen hier oft eine Öl- oder Stromheizung.

Holzpellets und Holzbriketts werden pro kg Gesamtgewicht gehandelt. Der Feuchtegehalt ist so gering (5-10% vom Gesamtgewicht) und einheitlich, dass auf eine Bestimmung des Feuchtegehalts in der einzelnen Lieferung verzichtet werden kann. Einen Standard oder eine Norm zur Bestimmung der Pelletqualität gibt es in Dänemark nicht, es ist aber gesetzlich geregelt, wie hoch der Fremdstoffgehalt in Pellets sein darf (31).

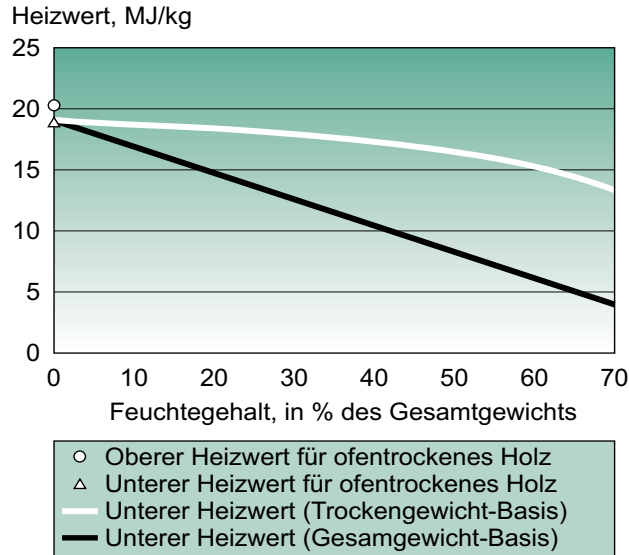


Schaubild 11: Oberer Heizwert und Heizwert für geschältes Holz als Funktion des Feuchtegehalts in % vom Gesamtgewicht (15).

## Rinde

Rinde von dänischen Bäumen wird in Fernwärmewerken in großem Umfang genutzt und wie Hackschnitzel abgerechnet. Das heißt, Gewicht und Feuchtegehalt der Ladung werden bestimmt, und bezahlt wird pro GJ. Da Rinde aber oft von minderwertigerer Qualität als Hackschnitzel ist, ist der Preis pro GJ in der Regel niedriger als für Hackschnitzel.

## Sägemehl und Späne

Sägemehl und Späne werden wie Rinde und Hackschnitzel gehandelt, d.h. Bezahlung nach Energiegehalt, bestimmt nach Gesamtgewicht und Feuchtegehalt. Da der Brennstoff aber trocken ist (<10-15 % vom Gesamtgewicht) genügt oft das Wiegen der Ladung. Vereinbart wird dann ein Preis pro Tonne, unabhängig von geringfügigen Schwankungen des Feuchtegehalts.