

Technik und Kosten

Solare Trocknung von Scheitholz

Während Holzpellets auf dem Markt inzwischen generell als getrockneter Normbrennstoff mit definierter Qualität (Wassergehalt und Heizwert) angeboten werden [3, 4], ist dies bei Scheitholz und Holzhackschnitzeln (noch) nicht der Fall. Längerfristig wird man aber zumindest bei Handelsware nicht darum herum kommen, auch diese Sortimenten auf eine definierte und ausreichend tiefe Endfeuchte vorzutrocknen. Welche Möglichkeiten bieten sich diesbezüglich beim Scheitholz?

Ein hoher Wassergehalt im Brennholz senkt nicht nur dessen Heizwert, sondern – vor allem bei den häufig eingesetzten Kleinfeuerungsanlagen – auch den feuerungstechnischen Wirkungsgrad, erhöht

Dr. Markus Bux*

die Emissionen aus unvollständiger Verbrennung und verschlechtert das Teillastverhalten. Im Falle eines häufig zu beobachtenden Pilzbefalls steigen zudem die gesundheitlichen Risiken infolge Sporenaustrags.

Aus ökonomischen, ökologischen und gesundheitlichen Gründen wird man deshalb längerfristig zumindest bei Handelsware nicht darum herum kommen, das Brennholz auf eine definierte und ausreichend geringe Endfeuchte vorzutrocknen. Bemühungen hinsichtlich einer europaweit gültigen Normung sind daher im Gange und im Falle von Holzhackschnitzeln bereits relativ weit fortgeschritten [5–7]. Auch die immer strengeren Emissionsgrenzwerte für Biomasseheizungsanlagen sind langfristig nur mit definierten Brennstoffen hoher Qualität einzuhalten.

Um die bestehenden verfahrenstechnischen Möglichkeiten sowie die Kosten der Scheitholztrocknung aufzuzeigen, sollen daher nachfolgend die Freilufttrocknung sowie alternativ einsetzbare, thermische Trocknungsverfahren kurz dargestellt und bewertet werden.

* Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik (440e), 70593 Stuttgart.



Kommerzielle Holzhändler trocknen das gespaltene Scheitholz aufgrund der besseren Mechanisierbarkeit häufig in einfachen Gitterboxen auf Trockenplätzen.

Die unterschiedlichen Aufarbeitungsformen beziehungsweise -ketten für Scheitholz haben dazu geführt, dass sich unterschiedliche Masseinheiten etabliert haben. Da dies immer wieder zu Ungenauigkeiten und Verwirrungen führt, wurden in **Tabelle 1** die wichtigsten Masseinheiten sowie die hier verwendeten Umrechnungswerte zusammengefasst.

Scheitholz kommt überwiegend in Kaminöfen und Kleinfeuerungsanlagen mit 5 bis 50 kW Wärmeleistung zum Einsatz. Deshalb sollte es vor der Verbrennung in jedem Fall auf Wassergehalte von unter 25% (bezogen auf die Trockenmasse, entsprechend 20% bezogen auf die Frischmasse) getrocknet werden. Dies erfolgt bislang meist durch so genannte freie Konvektion im Freien, in Form von gespaltenem Meterholz oder abgedeckten Stapeln oder Haufen aus fertigen Scheiten.

Freilufttrocknung von Scheitholz

Kommerzielle Holzhändler trocknen das gespaltene Scheitholz aufgrund der besseren Mechanisierbarkeit häufig auch in einfachen Gitterboxen auf Trockenplätzen. Die Boxen werden dabei oft im Eigenbau aus Europaletten und gekanteten Bau-stahlmatten gefertigt und nach der Befüllung mit Hauben aus PVC-Plane abgedeckt.

Bei harten Laubholzarten wie Buche, Eiche oder Esche müssen für die Freilufttrocknung mit dieser Methode je nach Standort und Witterung ca. zwei Jahre, für die weicheren Nadelholzarten wie Fichte, Kiefer oder Lärche mindestens ein Jahr Trocknungsdauer veranschlagt werden. Der eigentliche Trocknungsvorgang findet dabei überwiegend im Sommer-

Bezeichnung	Erläuterung	Einheit	Umrechnungsfaktor zum Festmeter
Festmeter	1 m ³ Holz ohne Luftzwischenräume	Fm	1
Ster oder Raummeter	1 m ³ geschichtetes Scheitholz, 33 cm 1 m ³ geschichtetes Meterholz	Rm Rm	1,6 1,8–2
Schüttraummeter	1 m ³ lose geschüttetes Scheitholz (33 oder 25 cm)	Srm	2,4–2,5

Tabelle 1: Wichtige Masseinheiten beim Handel mit Scheitholz.

Rohmaterial		
Beschaffungs-/Gestehungskosten (Scheitholz, gespalten, gesägt, frei Trockenplatz)	EUR/Srm	40.–
Trocknungsdauer	Jahre	2
Zinssatz	% pa	4.00
Zwischenfinanzierungskosten	<i>jährliche Kosten pro verkauftem Srm</i>	
	€/Srm a	1.60
	€/Srm	3.20
Infrastruktur		
Anschaffung Gitterboxen mit Abdeckung (0,8 3 1,2 3 2,1 m = 2 Srm/Box) – Eigenbau*	EUR/Stück	30.–
Abschreibung/Lebensdauer Gitterboxen	a	8.00
Jahreskosten pro Gitterbox	EUR/a	4.46
Trockenplatz: Grundstückpreis = Wiederverkaufswert nach Nutzungsdauer	EUR/m ²	10.–
Wegebau/Befestigung/Einzäunung des Trockenplatzes (Restwert nach Nutzungsdauer = 0)	EUR/m ²	5.–
Nutzungsdauer Trockenplatz	a	25
Finanzierungskosten Trockenplatz**	EUR/m ² a	0.40
Finanzierungskosten Wegebau/Befestigung/Einzäunung***	EUR/m ² a	0.32
Gesamtkosten für den Trockenplatz (Grundstück + Befestigung)	EUR/m² a	0.72
Spezifische Kosten für die Infrastruktur		
Erforderliche Stell-, Rangier- und Wegefläche auf dem Trockenplatz pro Gitterbox	m ² /Gitterbox	3
<i>Spezifische Kosten für Gitterboxen, Grundstück, Wegebau...</i>	<i>EUR/Srm a</i>	<i>3.31</i>
<i>Bei zwei Jahren Trocknungsdauer</i>	<i>EUR/Srm</i>	<i>6.62</i>
Spezifische Trocknungskosten gesamt		
Spezifische Trocknungskosten gesamt (ohne Arbeit, ohne Gabelstapler)	EUR/Srm	9.82
Liquiditätsbedarf bei:	Srm/Jahr	10 000
Rohmaterial (zweifache Jahresmenge an Scheitholz auf dem Trockenplatz): 20 000 Srm	EUR	800 000.–
10 000 Gitterboxen (Einfachkonstruktion, gesamt)	EUR	300 000.–
Befestigter Trocknungsplatz 30 000m ² (gesamt, inkl. Wege und Befestigung)	EUR	450 000.–
Liquiditätsbedarf (ohne Gabelstapler)	EUR	1 550 000.–
* Europalette mit Baustahlgeweebeeinfassung; ** Anschaffungskosten = Restwert; *** Restwert = 0, Instandhaltung = 0 (!)		

Tabelle 2: Trocknungskosten bei der Freilufttrocknung von 10 000 Srm Buchenscheitholz (Vollkostenrechnung ohne Personalkosten und Stapler).

halbjahr statt und geht umso schneller, je kleiner die Scheite sind und je sonniger und besser durchlüftet der Holzplatz ist.

Obwohl die Freilufttrocknung technisch einfach ist und kein Fremdenergieeinsatz erforderlich wird, weist das Verfahren für eine kommerzielle Brennholzerzeugung eine Reihe von Nachteilen auf:

1. Die Absatzplanung beziehungsweise Disponierung des Rohmaterials muss ein bis mehrere Jahre im Voraus erfolgen. Eine flexible Reaktion auf den Markt ist nicht möglich.
2. Es besteht eine hohe Kapitalbindung für die Finanzierung des Rohmaterials (lange Trocknungsdauer).
3. Die Trocknungsqualität ist witterungsabhängig (schwankender Endfeuchtegehalt, zum Teil Pilzbefall mit Sporenbildung, Verschmutzung oder Verfärbungen können das Produkt optisch beeinträchtigen).
4. Für den Trockenplatz ist je nach Produktionsumfang eine grosse Fläche erforderlich.

5. Die Aufwendungen für eine arbeitswirtschaftlich günstige Infrastruktur (Gitterboxen, Befestigung der Fläche, Wege, Einzäunung...) sind hoch.

Wie hoch die Kosten einer Freilandtrocknung tatsächlich sind, zeigt **Tabelle 2** am Beispiel einer kommerziellen Produktion von ca. 10 000 Srm Buchenscheitholz pro Jahr. Im dargestellten Beispiel wird das Stammholz mit einer automatischen Spaltmaschine aufbereitet und dann per Förderband direkt in jeweils 2 Srm fassende Gitterboxen abgeworfen. Diese werden anschliessend mit einer Haube aus Lkw-Plane abgedeckt und auf einem ca. 3 ha grossen Trockenplatz zur Trocknung aufgestellt. Für die ökonomische Betrachtung wurde unterstellt, dass die erforderliche Fläche für den Trockenplatz kostengünstig zu EUR 10.–/m² erworben und nach 25 Jahren Nutzungsdauer zum selben Preis wieder veräussert werden kann. Für eine provisorische Befestigung der Fläche in Eigenleistung (einebnen, verdichten, einschot-

tern) sowie das Anlegen von einfachen, befestigten Fahrwegen wurden zusätzliche Material- und Maschinenkosten in Höhe von EUR 5.–/m² Grundfläche berücksichtigt.

Instandhaltungskosten für die Fläche sowie die Boxen während der angegebenen Nutzungsdauer wurden vernachlässigt. Auch anfallende Überwachungs- und Pflegearbeiten wurden nicht berücksichtigt. Alle weiteren Annahmen sind in der Tabelle angegeben.

Je nach Verhältnissen, Randbedingungen und örtlichen Gegebenheiten können die resultierenden spezifischen Trocknungskosten natürlich nach oben oder unten abweichen. Allerdings werden die tatsächlichen Trocknungskosten, die im dargestellten Beispiel bereits ohne Berücksichtigung der Kosten für den Gabelstapler sowie die eingesetzte Arbeitskraft bei ca. EUR 9,82/Srm liegen, vielfach unterschätzt. Selbst wenn die Fläche kostenlos zur Verfügung steht und keinerlei Aufwendungen für Befestigung und Unter-

halt der Fläche erforderlich wären, würden die Kosten immer noch bei EUR 7.66/Srm liegen. Vor allem der Liquiditätsbedarf für die Finanzierung des Holzes ist mit ca. EUR 800 000.– sehr hoch. Für die Finanzierung von Infrastruktur und Trockenplatz kommen unter den gegebenen Annahmen weitere EUR 750 000.– hinzu. Wenn man bei der Infrastruktur spart (Befestigung Trockenplatz, Verwendung von Gitterboxen) nimmt der Arbeitsaufwand zu, was im Falle einer kommerziellen Produktion die Kosten an anderer Stelle erhöht. Muss die Trocknung wegen Lieferengpässen oder Kostendruck vorzeitig abgebrochen werden, geht dies auf Kosten der Qualität im Sinne einer zu hohen und ungleichmässigen Gutfeuchte.

Bei der Bewertung der Kosten ist allerdings zu berücksichtigen, dass durch die Trocknung von 60 auf 25% (bezogen auf die Trockenmasse) der Heizwert und damit die Wertigkeit des Brennstoffes von 10,3 auf 14MJ/kg zunimmt. Während die Kosten für das Holz durch die Freilufttrocknung um knapp 25% steigen, fällt die Zunahme des Heizwertes mit rund 35% deutlich höher aus.

Thermische Trocknung von Scheitholz

Obwohl die Freilandtrocknung nach wie vor das dominierende Trocknungsverfahren darstellt, werden aufgrund der Kosten sowie der geschilderten Problematik bei der Mengendisponierung in jüngerer Zeit vermehrt auch thermische Trocknungsverfahren eingesetzt. Vorteilhaft dabei ist die erheblich kürzere Trocknungsdauer, der geringere Flächenbedarf sowie die viel kleinere Menge an Holz, die vorgehalten und zwischenfinanziert werden muss. Nachteilig ist der im Vergleich zur Freilandtrocknung natürlich hohe Bedarf an thermischer und elektrischer Energie. Entsprechend ist der Einsatz energieeffizienter Technologien sinnvoll, die soweit als möglich mit regenerativen Energien oder – falls vorhanden – auch

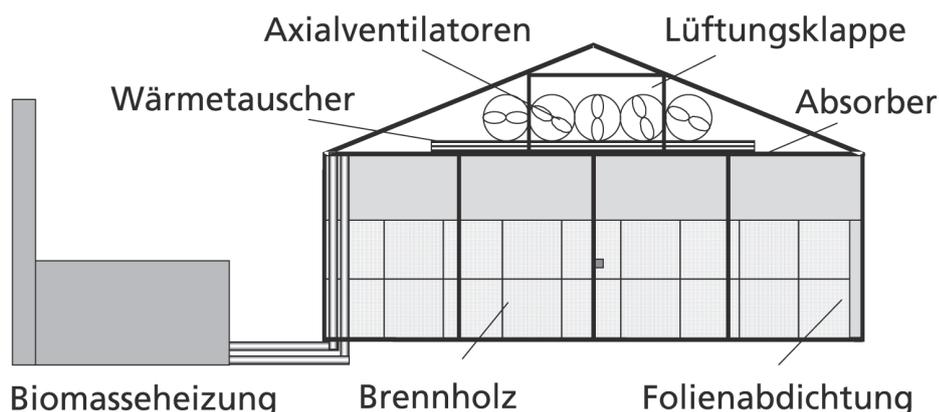


Abbildung 2: Querschnitt durch eine solarunterstützte Trocknungsanlage für Scheitholz.

Abwärme auf geringem Temperaturniveau versorgt werden können.

Generell ist die Bewegung von Scheitholz nur schwer beziehungsweise unter hohem Aufwand mechanisierbar, und die Trocknungsdauer ist im Vergleich zu anderen Produkten hoch. Dies schränkt die sinnvoll einsetzbaren Trocknungsverfahren erheblich ein. Häufig werden konventionelle Trocknungskammern für Schnittholz eingesetzt, Trommel- oder Satzrockner sind eher «Exoten». Dabei wird das gescheitete Holz in Boxen in die meist 3 bis 5 m hohen und 6 bis 10 m tiefen Trocknungskammern eingebracht und in Längsrichtung durchströmt. Die Anlagen sind für diesen Zweck generell gut geeignet, allerdings sind die Investitionskosten sowie der thermische und elektrische Energiebedarf für die Energieholztrocknung verhältnismässig hoch.

Querschnitt

Um einen möglichst hohen Energieanteil aus regenerativen Quellen zu decken und die für die Trocknungsanlage erforderlichen Investitionskosten zu senken, wurde dieses Verfahrensprinzip daher am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim gemeinsam mit Partnern aus der Industrie für die Scheitholztrocknung weiterentwickelt. **Tabelle 3** zeigt einige

typische Rahmendaten dieser Technologie wie Kammervolumen, Nutzvolumen und spezifische Investitionskosten im Vergleich.

Die entwickelten solarunterstützten Trocknungsanlagen haben sich zwischenzeitlich bei der grosstechnischen Trocknung von Schnit- und Scheitholz bewährt [11–13] und werden als Serienprodukt angeboten [10]. Das Anlagenkonzept basiert im Wesentlichen auf einer Aluminium-Binderkonstruktion, die mit einer im Vergleich zu Glas gut wärmedämmenden und hoch UV-stabilisierten, 3-lagigen PE-Luftpolsterfolie eingedeckt ist. Der Solar Kollektor aus speziell beschichteten Aluminium-Trapezblechen ist im Dach integriert und dient gleichzeitig zur Lufterwärmung und Luftführung. **Abbildung 1** zeigt eine Ansicht einer derartigen Anlage.

Abbildung 2 zeigt einen Querschnitt. Dank der nachts und bei schlechtem Wetter zusätzlich eingesetzten Holzfeuerungsanlage kann weitgehend witterungs- und jahreszeitunabhängig getrocknet werden. Auch Abwärme, wie sie beispielsweise bei der Verstromung von Biogas oder Pflanzenöl in Blockheizkraftwerken anfällt, kann problemlos eingesetzt werden, da es sich um eine Niedertemperaturtrocknungsanlage handelt. **Abbildung 3** zeigt den Verlauf der mittleren Gutfeuchte sowie der Temperatur und der relativen Feuchte der Trocknungsluft bei der Trocknung von Buchenscheitholz im März. Innerhalb von zehn Tagen wurde eine Charge mit 33 cm langen Scheiten von durchschnittlich 55 auf 20% (bezogen auf die Trockenmasse) getrocknet.

Zum Vergleich mit der anfangs dargestellten Freilufttrocknung zeigt **Tabelle 4** beispielhaft eine Vollkostenkalkulation für eine kommerzielle Produktion von ca. 10 000 Srm Buchenholz pro Jahr mit einem solarunterstützten Trockner. Aufgrund der erheblich kürzeren Trocknungs-

Konventionelle Schnittholztrockner	Solartrockner		
Bruttokammervolumen	m ³	100–300	200–500
Nutzvolumen bei Boxenbeschickung	Srm	80–240	160–400
Spez. Investitionskosten ¹	EUR/m ³	250–350	150–200
1) Trocknungskammer in Alu/Edelstahlbauweise, ohne Heizanlage, Fundamente, Montage und Nebenkosten			

Tabelle 3: Typische Kammervolumina, Fassungsvermögen und spezifische Investitionskosten bei der Holztrocknung in Zuluft-Abluft-Trocknungskammern nach Literatur- und Herstellerangaben [8–11].



Bild: Biomassehof Allgäu.

Abbildung 1: Solarunterstützte Trocknungsanlage mit einem Fassungsvermögen von ca. 360 Srm Scheitholz in Kempten.

Trocknungsanlage		
Fassungsvermögen an Scheitholz	[Srm/Charge]	380
Mittlere Trocknungsdauer	[Tage]	12
Jahrestrocknungskapazität (inklusive Rüst- und Standzeiten)	[Srm/a]	10 000
Fläche Solartrocknungsanlage mit Feuerung	[m ²]	220
Leistung Hackschnitzelfeuerungsanlage	[kW]	250
Energie		
Elektrische Energie 60 000 kWh/a	[EUR/a]	6000.–
Brennstoff (waldfrische Holzhackschnitzel) 1370 m ³ /a	[EUR/a]	19 178.–
Gesamtkosten Energie	[EUR/a]	25 178.–
	[EUR/Srm]	2.5
Kapital		
Investitionskosten (Trockner, HS-Heizung 250 kW im Container, Installation, Zuleitungen, NK)	EUR	200 000.–
Zinssatz	%	4.0
Abschreibung	[a]	15
Wartung/Instandhaltung	[%/a]	3.0
Gesamtkosten Kapital + Wartung	[EUR/a]	23 988.–
	[EUR/Srm]	2.4
Gesamtkosten Boxen + Umschlagfläche	[EUR/a]	2752.–
	[EUR/Srm]	0.3
Gesamtkosten Trocknung (ohne Arbeit + Gabelstapler)	EUR/Srm	5.19
Liquiditätsbedarf bei:	Srm/Jahr	10000
Rohmaterial (Vorhaltemenge zwei Monate): 1667 Srm	EUR	66 667.–
Boxen (3 3 2 3 1,2 = 6,7 Srm/Box)	EUR/Stück	200.–
120 Boxen (doppelter Satz)	EUR	24 000.–
440 m ² befestigte Umschlagfläche in Trockernähe	EUR	6600.–
Trocknungsanlage, Feuerung, Erdarbeiten...	EUR	200 000.–
Liquiditätsbedarf (ohne Gabelstapler)	EUR	297 267.–

Tabelle 4: Trocknungskosten bei der solarunterstützten Trocknung von 10 000 Srm Buchenscheitholz. Annahmen: Holzhackschnitzel (U = 40%): EUR 14.–/m³, Hu: 10,4 MJ/kg; elektrischer Strom: EUR 0.1/kWh; mittlerer Kollektorwirkungsgrad: 60%; Kosten Boxen 6,7 Srm EUR 200.–/Stück.

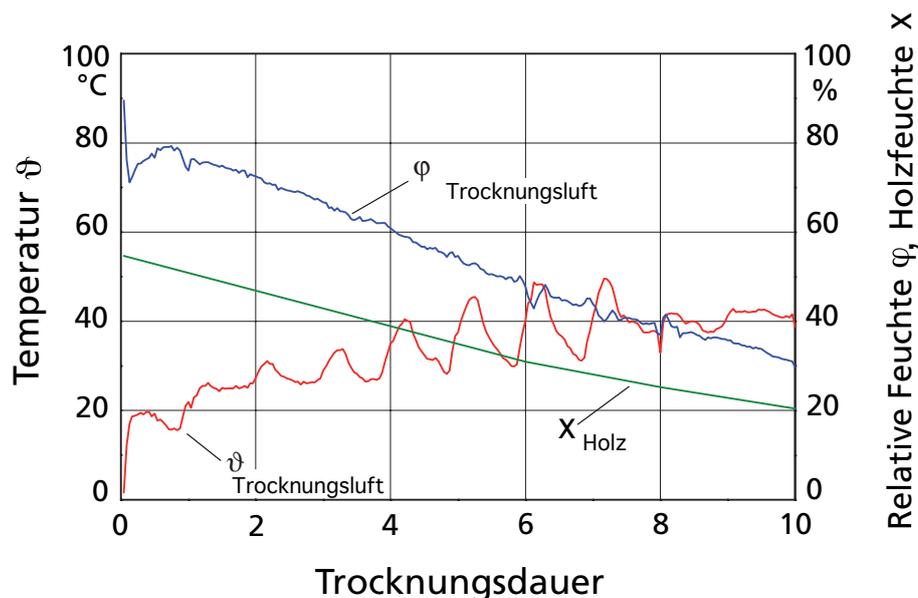


Abbildung 3: Verlauf von Temperatur und relativer Feuchte der Trocknungsluft sowie der mittleren Holzfeuchte während der solarunterstützten Trocknung von Buchenscheitholz im März.

zeit von zehn bis 14 Tagen sinkt der für die Produktion insgesamt erforderliche Liquiditätsbedarf auf ca. EUR 300 000.–. Auch die Trocknungskosten sind trotz des thermischen und elektrischen Energiebedarfs mit ca. EUR 5.2/Srm erheblich geringer als bei der Freilufttrocknung.

Sofern kostengünstige Abwärme zur Verfügung steht, lassen sich die Trocknungskosten noch deutlich senken, da die Energiekosten fast 50% der Gesamtkosten ausmachen.

Fazit

Scheitholz sollte aus Gründen des Umweltschutzes und des Heizwertes vor der Verbrennung in jedem Fall vorge-

trocknet werden, weil es überwiegend in Kleinfeuerungsanlagen zum Einsatz kommt. Dabei stellt die Freilufttrocknung das klassische, wenn auch im Falle einer kommerziellen Produktion nicht unbedingt kostengünstigste Verfahren dar. Alternativ bieten sich thermische Trocknungsverfahren an. Sie verbessern die zeitliche Disponierbarkeit ohne lange Vorlaufzeiten, reduzieren den Kapitalbedarf und erzeugen gleichmässiger abgetrocknetes Holz. Sie wird sich mit der Professionalisierung des Scheitholzhandels zunehmend verbreiten. Als besonders energieeffizientes und kostengünstiges Verfahren hat sich die solarunterstützte Trocknung herausgestellt; die spezifischen Trocknungskosten erreichen damit ca. EUR 5.–/Srm.

Dank

Der Autor dankt dem Ministerium für Ernährung und ländlichen Raum Baden-Württemberg für die finanzielle Unterstützung der zugrundeliegenden Forschungsarbeiten.

Literatur

1. Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke: Schriftenreihe QM Holzheizwerke Band 4. ISBN 3-937441-94-8, Straubing, 2004.
2. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Energiepreise und Energiekosten November 2005. [http://www.bmwi.de/Navigation/Technologie und Energie/Energiepolitik/energie-daten,did=52028.html](http://www.bmwi.de/Navigation/Technologie%20und%20Energie/Energiepolitik/energie-daten,did=52028.html).
3. DIN 51731 Prüfung fester Brennstoffe – Presslinge aus naturbelassenem Holz – Anforderungen und Prüfung. Ausgabe 1996-10.
4. Önorm M 7135 Anforderungen und Prüfbestimmungen für Pellets. Ausgabe 2000 11 01.
5. Önorm M 7133 Holzhackgut für energetische Zwecke; Anforderungen und Prüfbestimmungen, 1. Februar 1998.
6. Cen/TC 335/WG2 Solid Biofuels «Fuel specification classes and quality assurance».
7. Cen/TS 15234:2006 Solid biofuels – Fuel quality assurance.
8. Brunner, R.: Vakuumentrocknung im Wirtschaftlichkeitsvergleich. Teil 3 Vergleich der Trocknungskosten von Eiche – Entwicklung der Anlagenpreise – Ausblick. Holz-Zentralblatt 125 (1999) Nr. 57/58, S. 874–875.
9. Bauer, K.: Development and optimisation of a low-temperature drying schedule for Eucalyptus Grandis in a solar-assisted timber dryer. Dissertation. Universität Hohenheim. 2003.
10. Thermo-System Industrie- & Trocknungstechnik GmbH. www.Thermo-System.com
11. Bux M., Bauer K., Mühlbauer W. und Conrad T.: Solar-assisted drying of timber in industrial scale. Southern African Forestry Journal (2001) Nr. 192, S. 73–78.
12. Bux M., Bauer K. und Wurster M.: Solargestützte Trocknung von Fichtenschnittholz unter gemässigten Klimabedingungen. In: Tagungsband der Fachtagung für nachwachsende Rohstoffe – Forschungsprojekte für den ländlichen Raum, Ministerium für Ernährung und ländlichen Raum Baden-Württemberg, Stuttgart, 2004.
13. Bux M., Bauer K., Vogtherr J. und Wurster M.: Recent Experience with solar-assisted timber drying under moderate climate. Proceedings of the 8th International IUFRO Wood Drying Conference – Improvement and Innovation in Wood Drying, Transilvania University of Brasov, Faculty of Wood Industry, Brasov (Romania), 2003, S. 192–199.