

Holztrocknung mit computergesteuerter Drehzahlregelung

DIPL. ING. R. BRUNNER

3003 RONNENBERG 3 / HANNOVER

Literatur:

Holz-Zentralblatt

**Unabhängiges Organ
für die Forst- und Holzwirtschaft**

Nr. 53/54

Stuttgart, 4. Mai 1983

109. Jahrgang

Holztrocknung mit computergesteuerter Drehzahlregelung

Von Dipl.-Ing. R. Brunner, Hannover

Elektrischer Strom wird immer teurer. Eine Holz trockenkammer mit 40 m³ Nutzinhalt hat beispielsweise 4 Ventilatoren mit insgesamt 12 kW elektrischer Anschlußleistung. Daraus ergeben sich bei einer Nutzungsdauer von 320 Tagen und einem Normtarif 0,24 DM/kWh Stromkosten von rund 22000 DM im Jahr. Bei einem 4er-Kammerblock werden es 88000 DM.

Bei konsequenter Anpassung der Ventilator-drehzahl an die jeweils erforderliche wirtschaftliche Luftgeschwindigkeit unter Beachtung der ortsbedingten Stromtarife lassen sich Stromeinsparungen von 50% und mehr erzielen (bezogen auf obiges Beispiel 11000 DM bzw. 44000 DM pro Jahr). Mit Hilfe der Mikroelektronik und insbesondere der heute bereits zahlreich eingesetzten Computersysteme amortisieren sich diese Investitionen im Bereich der Holztrocknung bereits innerhalb von 6 bis 24 Monaten, abhängig von den jeweiligen Betriebs- und Tarifbedingungen.

Versuchsdaten aus der Praxis zeigen die enormen Einsparmöglichkeiten. Die Meßwerte für die Leistungsaufnahme der Lüftermotore (4 Stück), abhängig von der heruntergeregelten Motorfrequenz, ergaben:

Ansteuerfrequenz (Hz)	elektrische Wirkleistung N (kW)
50	11,6
45	8,3
40	6,4
35	4,6
30	3,2
25	2,2

Schon diese wenigen Zahlen zeigen, wie interessant eine weitere Vertiefung in das Thema Drehzahlregelung ist. Es werden sich völlig neue Aspekte zeigen, die allerdings nur mit spezieller Hard- und Software wirtschaftlich genutzt werden können. Eine übliche Industrie-Drehzahlregelung „von der Stange“ liefert keinen ausreichenden Nutzungsgrad.

Drehzahlveränderung durch elektronisch gesteuerte Frequenzumrichter

In Holz trockenanlagen werden beinahe ausschließlich Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer eingesetzt. Die mit dem Fortschritt auf dem Gebiet der elektronischen Leistungshalbleiter einhergehende Entwicklung der Frequenzumrichter ermöglicht es, die Drehzahl dieser Motoren kontinuierlich (also nicht stufig wie bei Polumschaltbarkeit) in einem großen Drehzahlbereich zu verändern. Über einen Zwischenkreisumrichter, der die mit konstanter Frequenz anstehende Netzspannung in eine Gleichspannung umwandelt, wird anschließend mit Hilfe eines Wechselrichters dem Motor eine veränderbare Spannung und Frequenz zugeführt.

Die Drehzahl wird durch eine gleichsinnige Änderung von Spannung und Frequenz gesteuert, wobei sie der speisenden Frequenz direkt proportional ist.

Die Anschaffungskosten haben sich verringert

Bisher lagen die Leistungspreise für Frequenzumrichter, bezogen auf den Leistungsbereich von Motoren, wie sie bei der Holztrocknung in Frage kommen, bei rund 1500 bis 2000 DM/kW. Hinzu kamen je nach Aufwand und Anspruch Kosten von 200 bis 600 DM/kW für die Ansteuer-elektronik. Dieses zusammen ergab für eine elektronische Leistungsverstellung keine ausreichende Wirtschaftlichkeit, so daß in vielen Fällen der Ausweg über polumschaltbare Motore (z.B. 1500/750 min⁻¹) oder Abschaltbarkeit einzelner Lüfter gewählt wurde.

Jetzt gelingt es mit moderner Mikroelektronik, die Umrichtertechnik durch intelligente Steue-

rungen kompakter, preisgünstiger und anwenderfreundlicher zu machen, und damit ihre technische und wirtschaftliche Attraktivität zu steigern. Den entscheidenden wirtschaftlichen Zuwachs bringt aber die Kombination Computersystem mit Frequenzumrichter, da nur so alle Vorteile konsequent genutzt werden können. Es genügt nicht, die Drehzahl der Lüfter mit fallender Holzfeuchte herunterzufahren, vielmehr müssen eine große Anzahl weiterer energiesparender Faktoren berücksichtigt werden (Normal-, Nacht-, Wochenend-, Spitzentarife, Holzart und Holzstärke, Trockenphase, momentane Trocknungsgeschwindigkeit, Feuchtigkeitsgefälle über den Brettquerschnitt, Kammertemperatur, Temperaturdifferenz Zu- und Abluftseite, Trocknungsgefälle, kammer-spezifische Daten usw.).

Eine derartige Vielzahl wichtiger Größen zu optimieren gelingt nur mit Hilfe eines Computersystems und der entsprechenden, umfangreichen Software (Abbildung 1). Dabei ergeben sich heute Gesamtpreise von 1500 DM/kW (kleine Kammern) bis herunter auf 900 DM/kW (große Kammern), die in vielen Fällen eine Amortisation von weniger als einem Jahr bedeuten.

Eine weitere Steigerung der Wirtschaftlichkeit bringt die Kombination Drehzahlregelung und Überbrückungsbetrieb. Die Energieumformung im Frequenzumrichter vermindert den Wirkungsgrad um 3 bis 5% (5% bei Umrichtern mit bis zu 25 kW Leistung), weshalb im oberen Drehzahlbereich von etwa 95% bis 100% der Nenndrehzahl mehr Energie verbraucht wird als bei üblicher Ansteuerung der Lüftermotoren über Starkstromschütze.

Da bei der Holztrocknung über einen größeren Anteil der Gesamttrockenzeit (hohe Holzfeuchte, dünne Brettware, schnell trocknende Holzarten) die volle Luftleistung der Ventilatoren benötigt wird, ist es während dieser Zeitspanne äußerst sinnvoll, die Motoren im Überbrückungsbetrieb (Schützbetrieb) zu fahren. Erst bei Erreichen der unterschiedlichen Wirtschaftlichkeitsgrenzen gibt der Steuercomputer ein entsprechendes Signal zum Umschalten auf den Frequenzumrichter.

Dieser Umschaltvorgang kann sich im Verlauf der Trocknung mehrmals wiederholen. So ist es zum Beispiel leicht einsehbar, in der Aufheizphase mit geringerer Drehzahl (über den Umrichter) und dann zu Beginn der Trockenphase mit Nenndrehzahl (Überbrückungsbetrieb) zu fahren. Oder es kann bei nicht ausreichender Heizenergie wirtschaftlicher sein, von Überbrückung auf niedrigere Drehzahl herunterzusteuern, da ohnehin der Trocknungsfortschritt bei geringerer Kammertemperatur verzögert wird.

Diese vom Computer vorgenommenen Umschaltungen bringen neben einer Stromersparnis durch Wegfall der 5%igen Verlustleistung eine erhöhte Standzeit des Frequenzumrichters.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich dann, wenn der Computer über eine zusätzliche Datenleitung bei einem Defekt des Umrichters ein Fehlsignal erhält und automatisch ohne Trocknungsunterbrechung solange im Überbrückungsbetrieb fährt, bis die Fehlermeldung nicht mehr ansteht.

Die Luftgeschwindigkeit dem Trocknungsverlauf optimal anpassen!

Drei Faktoren beeinflussen überwiegend die Trocknung des Holzes hinsichtlich Trockengeschwindigkeit und Qualität: die Temperatur, die Luftfeuchte und die Luftgeschwindigkeit. Über den Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit wurden viele Untersuchungen angestellt, die zum Teil widersprüchliche Aussagen machen. Unbestritten ist, daß der Einfluß der Luftgeschwindigkeit bei hohen Holzfeuchten am größten ist, und mit fallender Holzfeuchte an Bedeutung verliert.

um dann unterhalb des Fasersättigungsbereiches immer weniger die Trockenzeit zu beeinflussen.

Wurden die Kammern vor 30 bis 40 Jahren überwiegend für Luftgeschwindigkeiten von 0,1...0,2 m/s ausgelegt, pendelt sich die Entwicklung über hohe Geschwindigkeiten (4 bis 6 m/s) heute auf 2 m/s für die Verdunstungstrocknung ein (Kondensationstrocknung 0,3 bis 0,8 m/s). Bei den heutigen hohen Stromkosten ist die Frage nach der wirtschaftlichsten Luftgeschwindigkeit entscheidend, wobei eine gleichmäßige, turbulente Strömung über alle Brettoberflächen eingehalten werden muß.

Eine geringere Luftgeschwindigkeit zu Beginn der Trocknung ist u.a. sinnvoll, solange das Holz nicht völlig durchgewärmt ist. Die Wasserdampf-abfuhr von der Holzoberfläche darf nur so schnell erfolgen, wie Feuchtigkeit aus dem Innern des Brettes zur Oberfläche nachströmt, damit der Wasserfaden nicht abreißt. Sonst trock-



Abbildung 1 Computer-System HD 6005 COMP. Werkfoto Hildebrand/Brunner

Tabelle 1 Stromverbrauch und -kosten für 2 Trocknungsbeispiele, jeweils mit und ohne computergesteuerter Drehzahlregelung

	Eiche, 50 mm, $u_a = 50\%$, $u_e = 10\%$			Fichte, 30 mm, $u_a = 50\%$, $u_e = 10\%$		
	ohne Drehzahlregelung A	mit Drehzahlregelung A	Ersparnis in DM/%	ohne Drehzahlregelung B	mit Drehzahlregelung B	Ersparnis in DM/%
Aufheizen (kWh)	180	45		84	45	
Trocknen (kWh)	8040	2420		600	320	
Ausgleichen (kWh)	168	31		72	18	
Abkühlen (kWh)	168	45		96	37	
Gesamt/Charge (kWh)	8556	2541		852	420	
Gesamt/Jahr (kWh)	92160	27370		92160	45431	
Stromk./Charge mit Nachtтарif (DM)	1830	545	1285 = 70%	189	92	97 = 51%
Stromk./Jahr mit Nachtтарif (DM)	19712	5870	13842	20444	9952	10492 = 51%

(Kammer 40 m³ Nutzinhalt, 320 Tage/Jahr Nutzung, Normalтарif 0,24/kWh DM über 16 Std., Nachtтарif 0,16/kWh DM über 8 Std. am Tag)

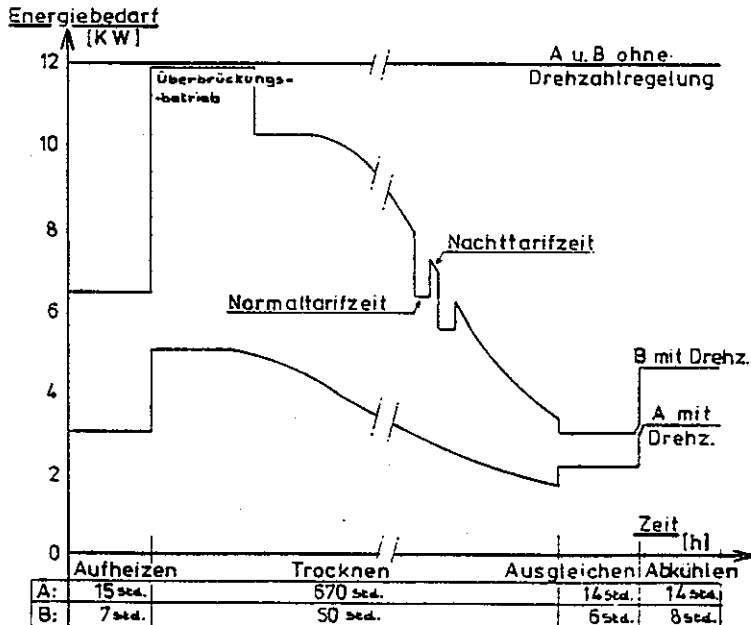


Abbildung 2 Energiebedarf der Ventilatoren mit/ohne Drehzahlregelung. - A: Holzart Eiche, 50 mm, $u_a = 50\%$, $u_e = 10\%$; B: Holzart Fichte, 30 mm, $u_a = 50\%$, $u_e = 10\%$ (Zeichnung Hildebrand-Holztechnik)

net die Oberfläche zu rasch, und die Folge sind Oberflächen- und Hirnrisse.

Damit ist auch gesagt, daß im weiteren Verlauf der Trocknung eine Beeinflussung des sich einstellenden Feuchtigkeitsgefälles über den Brettquerschnitt durch die Luftgeschwindigkeit möglich ist. So kann beispielsweise bei zu großem Feuchtigkeitsgefälle über den Frequenzumrichter die Drehzahl der Ventilatoren und damit die Luftgeschwindigkeit solange verringert werden, bis sich die zulässigen Trocknungsspannungen über den Brettquerschnitt wieder eingestellt haben. Diese Maßnahme dürfte eine wesentlich hö-

here Wirtschaftlichkeit bringen, als diesen Zustand durch Befeuchten der oberen Holzschichten oder Absenken der Temperatur zu erreichen.

Die über den Umrichter zum Ende der Trocknung stark reduzierte Luftgeschwindigkeit bewirkt auch eine gleichmäßigere Holzfeuchteverteilung in der Kammer, was bei hoher Qualitätsanforderung - wie zum Beispiel im Holzleimbinderbau vorteilhaft ist.

Bei der Auslegung der Luftleistung einer neuen Kammer wählt der Konstrukteur meistens dann einen Kompromiß, wenn der Kunde ver-

schiedene Holzarten und -stärken trocken möchte.

Mit einer computergesteuerten, elektronischen Drehzahlregelung ist für diesen Punkt die notwendige Flexibilität gewährleistet. Der Verlauf der Drehzahlkurve über die Gesamttrockenzeit wird jeweils vom Computer abhängig von den verschiedensten Parametern vorgegeben.

Wirtschaftlichkeit durch Energieeinsparung

Für zwei Holzarten soll ein praxisbezogener Stromkostenvergleich aufgestellt werden. Dabei wird gefordert, daß durch die Herabsetzung der Drehzahl in Abhängigkeit von den bereits genannten Parametern keine nennenswerte Trockenzeitverlängerung eintritt.

Hinweis: Es kann natürlich auch je nach Stromtarif und Betriebsbedingungen durchaus sinnvoll sein, eine Verlängerung der Trockenzeit durch zusätzliche Verminderung der Lüfterdrehzahl in Kauf zu nehmen. Dabei muß dann sichergestellt sein, daß der Energiepreis für den Zeitraum der Verlängerung erheblich kleiner ist als der Mehrpreis bedingt durch höhere Drehzahlen. Diese betriebswirtschaftlichen Zusammenhänge sind ausgesprochen komplex und werden in einem weiteren Artikel beschrieben. Eine gute Software muß diese kundenspezifischen Bedingungen erfassen und damit eine Optimierung der Stromersparnis zulassen.

Im betrachteten Beispiel wird eine Trockenkammer mit 40 m³ Nutzinhalt, einem elektrischem Anschlußwert von 12 kW und hohen Qualitätsansprüchen an das Trocknungsergebnis zugrunde gelegt (Tabelle 1, Abbildung 2).

Bei der Trocknung von Eiche, 50 mm dick, ergibt sich eine Stromersparnis mit Berücksichtigung des Nachttarifs von 13842 DM/Jahr. Das entspricht einer Einsparung von 70% bzw. 1153 DM pro kW und Jahr. Für die Fichte, 30 mm dick, war die entsprechende Einsparung 10492 DM/Jahr, also 51%, d.h. 874 DM pro installierten kW und Jahr. Damit ist eine einfache Umrechnung auf Trockenkammern mit größerer oder kleinerer elektrischer Anschlußleistung möglich (siehe Tabelle 2).

Beide Beispiele gehen keineswegs von praxisfremden Bedingungen aus. Es sind durchaus Tarif- und Betriebsbedingung realistisch, die noch weitere Einsparungen bringen. Dazu gehören Spitzen- und Wochenendtarife. Oder die installierte Lüfterleistung wurde für sägefresches Holz ausgelegt, man trocknet aber überwiegend luftvorgetrocknetes, so daß der Zeitanteil, in dem mit geringeren Drehzahlen gefahren werden kann, im Verhältnis zur Gesamttrockenzeit größer wird. Noch günstigere Kalkulationen ergeben sich bei 2 und mehr Kammern, die gemeinsam über ein Computersystem geregelt werden. Hier fallen die Anschaffungskosten/kW entsprechend geringer aus, so daß oft eine Amortisation innerhalb von weniger als einem Jahr angesetzt werden darf.

Aufbau von Hard- und Software

Die wirtschaftliche Optimierung der Lüfterdrehzahl ist ausgesprochen schwierig. Es gehen eine Vielzahl von Parametern ein (u.a. Holzart, Holzstärke, Holzfeuchte, Feuchtegefälle, Stromtarife, Trocknungstemperatur und -gefälle, Phase, kammer- und kundenspezifische Daten), die sich zukünftig sicher mit der Sammlung weiterer Erkenntnisse aus der Praxis noch verändern. Es müssen vergleichbare Trocknungsabläufe gezielt ausgewertet werden, und die daraus gewonnenen Erfahrungen unverzüglich in die bestehende Software für den Regelablauf einprogrammiert werden.

Tabelle 2 Stromersparnis in DM/Jahr für eine oder mehrere Kammern

Gesamtventilatorleistung kW	Eiche, 50 mm DM/a	Fichte, 30 mm DM/a
5	5765	4370
10	11530	8740
15	17295	13110
20	23060	17480
30	34590	26220
50	57650	43700

Der Endabnehmer kann nur dann sinnvoll an dieser ständigen Weiterentwicklung partizipieren, wenn seine Software problemlos ausgetauscht werden kann. Als Träger der Software kommt deshalb nur ein hochwertiges Chromdioxid-Digital-Magnetband in Betracht. Der Benutzer erhält die neue Software ganz einfach auf dem Postweg. Diese wird über den im Computer eingebauten Rekorder in die dynamischen Speicher eingelesen (Abbildung 3).

Vor der Inbetriebnahme der Trockenkammer erstellt sich der Benutzer mittels einer zusätzlichen Programmkassette seine individuelle „Stromersparnis-Sondertarife“-Kassette. Dafür liest er die zusätzliche Programmkassette mit dem Rekorder ein.

Im Klartextdialog erfragt der Computer anschließend über den Bildschirm die unterschied-

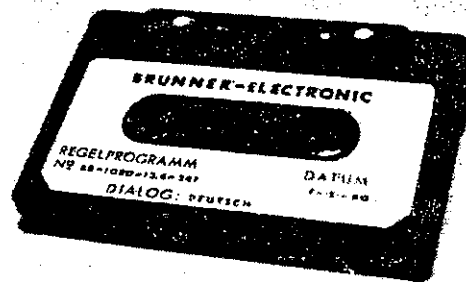


Abbildung 3 Chromdioxid-Digital-Magnetband als Softwareträger

lichsten Daten, wie z.B. Preis/kWh, Strom-Maximumwächter vorhanden, Aufstellort der Trockenkammer im Wohngebiet (Geräuschpegel während der Nacht), Preis und Gültigkeitsdauer für Nachttarife, Spitzentarife, Wochenendtarife usw. Nach Beantwortung wird der Bediener aufgefordert, eine Leerkassette in den Rekorder einzulegen. Automatisch speichert der Computer anschließend auf dieser Leerkassette alle wichtigen kundenspezifischen Betriebs- und Tarifbedingungen.

Natürlich kann der Benutzer sich auf gleichem Weg zu jedem späteren Zeitpunkt eine neue „Stromersparnis-Sondertarife“-Kassette erstellen, wenn sich zum Beispiel seine Stromtarifbedingungen geändert haben sollten.

Diese individuellen Daten werden automatisch über komplizierte Rechenoperationen in das Regelprogramm übernommen und sorgen dafür, daß unter dem Einfluß der vor Ort gegebenen Kundenbedingungen eine optimierte Drehzahlregelung erfolgt. So wurden mathematische Zusammenhänge gefunden, die allein unter Ausnutzung der Stromtarife Energiekosten einsparen helfen, ohne die Trockenzeit nennenswert zu verlängern. D. h. während der Gültigkeit günstiger Tarife wird die Lüfterdrehzahl von n auf $(n + \Delta n_1)$ erhöht, während ungünstiger Tarifzeiträume auf $(n - \Delta n_2)$ abgesenkt. Diese stromtarifabhängige Drehzahländerung überlagert sich der jeweils von dem Computer errechneten Drehzahl

n, die als Funktion der bereits vorher genannten Parameter errechnet wird.

Δn_1 und Δn_2 sind abhängig von TT, ST, NT, t, ts und n.

Nachtarif NT,

dessen Gültigkeit in 24 Std.: t Std.

Spitzentarif ST,

dessen Gültigkeit in 24 Std.: ts Std.

Normaltarif TT,

dessen Gültigkeit in 24 Std.: 24-t-ts Std.

Wochenendtarif wird getrennt berücksichtigt

Es ergeben sich folgende Zusammenhänge:

$$\Delta n_1 = \frac{24-t-t_s}{c(24-t_s)} \cdot \ln \left(\frac{TT}{NT} \right)$$

$$\text{und } \Delta n_2 = \frac{t}{c(24-t_s)} \cdot \ln \left(\frac{TT}{NT} \right)$$

(c ist eine Funktion von Ventilatorleistung und Drehzahl)

Schlußbetrachtung

Es konnte dargestellt werden, daß für die Holztrocknung der Zeitpunkt zum wirtschaftlichen Einsatz einer Systemkombination Computer - Drehzahlregelung jetzt gekommen ist. Bei einem Gesamtanschaffungspreis von 900 bis 1500 DM für Hard- und Software pro kW Lüfterleistung ergeben sich Amortisationszeiträume je nach Betriebs- und Tarifbedingungen von 6 bis 24 Monaten.

Unerläßliche Voraussetzung ist natürlich die Berücksichtigung der genannten Parameter in der Software sowie ein geeigneter Hardware-Aufbau. Es genügt nicht, allein abhängig von der Holzfeuchte die Drehzahl herunterzuregeln. Erforderlich ist eine umfangreiche, wertvolle Software, die entsprechend den ständig neu gewonnenen Erkenntnissen problemlos ausgetauscht werden kann. Dafür eignet sich als Träger besonders ein hochwertiges Chromdioxid-Digital-Magnetband.

Aufgrund der ständig steigenden Strompreise ist es sicher, daß zukünftig alle neuen, größeren Trockenkammern mit Drehzahlregelungen ausgerüstet werden, da Stromeinsparungen je nach Betriebs- und Tarifbedingungen bis zu 80% erzielt werden.

Betrachtet man die bereits bestehenden Kammern, so muß nach heutigen Kriterien von einer ungeheuren Energieverschwendung gesprochen werden, die weder im Interesse des einzelnen Betriebes noch der Volkswirtschaft und des Umweltschutzes liegt.

Regeln diese Betriebe ihre Trockenkammern bereits schon über Computersysteme mit Softwareeingabe durch ein Magnetband, so ist eine Umrüstung problemlos. Einige Änderungen im Starkstromschaltschrank sowie der Einbau des Frequenzumrichters sind erforderlich. Hinzu kommt das Einlesen der neuen Software.

Besitzen die bestehenden Trockenkammern nur konventionelle Regelanlagen, so muß ein Austausch überlegt werden. Zu den geschilderten Stromkosteneinsparungen ergeben sich durch den Einsatz moderner Computersysteme eine Reihe weiterer wichtiger Vorteile, wie z.B. zusätzliche Trockenzeitverkürzungen, geringstes Trocknungsrisiko, Bildschirm, Fehlerrountinen, Regelung nach dem Feuchtegefälle über den Brettquerschnitt usw.

Neben dem Einsatz von Computer-Regelanlagen für 2 und mehr Kammern gibt es heute bereits preiswerte Systeme für nur eine Trockenkammer, so daß sich auch bei einer Einzelkammer die computergesteuerte Drehzahlregelung wirtschaftlich einsetzen läßt.