

Wassergehalt von Holzhackschnitzeln

Ein Vergleich der Bestimmungsmethoden

Verschiedene Bestimmungsmethoden für den Wassergehalt von Holzhackschnitzeln wurden untersucht und verglichen. Der Schwerpunkt lag dabei auf den Schnellbestimmungsmethoden. Bei den auf einer Trocknungswirkung beruhenden Verfahren waren die Abweichungen zum Referenzverfahren (Trockenschrank bei 105 °C) am geringsten. Kapazitive oder nach dem Infrarot-Reflexionsprinzip arbeitende Verfahren (für fließende Güter) zeigten nach entsprechender Kalibrierung zum Teil vielversprechende Ergebnisse auch für Stationäranwendungen. Das letztgenannte Verfahren arbeitet auch unabhängig von der Schüttdichte.

Dipl.-Ing. agr. Thorsten Böhm ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Dr. Hans Hartmann Leiter der AG-Festbrennstoffe an der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik (Leitung: Prof. Dr. H. Schön), Vöttinger Straße 36, 85354 Freising; e-mail: hartmann@tec.agrar.tu-muenchen.de

Die Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe gefördert. Die Autoren bedanken sich auch bei den Herstellern der Messsysteme für die Überlassung der Geräte.

Schlüsselwörter

Holzhackschnitzel, Wassergehaltbestimmung, Messtechnik

Keywords

Wood chips, determining moisture, measuring techniques

Literaturhinweise sind unter LT 00416 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Der Wassergehalt ist einer der wichtigsten Qualitätsmerkmale biogener Festbrennstoffe. Energieausbeute, Lagerfähigkeit und Lieferpreise hängen davon ab, so dass in der Praxis eine möglichst genaue Bestimmung dieses Parameters wünschenswert ist. Die Bestimmung nach der Trockenschrankmethode [1] ist zwar weitverbreitet, aber für viele Praxisfälle zu zeitaufwendig. In jüngster Zeit wurden daher vielversprechende Schnellbestimmungsmethoden entwickelt und teilweise auch für Biomasse zur Einsatzreife in Labor- und In-Situ-Anwendungen gebracht. Über einen Vergleich der Systeme wird nachfolgend berichtet.

Messdurchführung

Eine Übersicht über die geprüften Verfahren gibt Bild 1. Deren Funktionsprinzipien und Randbedingungen werden in der Literatur beschrieben [2, 3]. Als Prüfmateriale dienten insgesamt 43 verschiedene Proben von Holzhackschnitzeln (Buche, Fichte und Pappel). Sie wurden von verschiedenen Beständen in unterschiedlichen Trocknungsstadien gewonnen und mit diversen Hackern zerkleinert, um große Streubreiten hinsichtlich der Merkmale Wassergehalt, Korngröße, Größenverteilung, Reisig- und Nadelanteil zu erhalten. Einige Schnellbestimmungsgeräte (IR-Trocknung, Mikrowellentrocknung, Pandis, Schaller) waren sofort einsetz-

bar, das heißt, dass der Wassergehalt unmittelbar oder anhand von Tabellen abzulesen war; andere Verfahren (Mikrowellen-, TDR-, IR-Reflexions-, kapazitive Arnold/Liebherr Verfahren) erforderten eine Kalibrierung, für die zunächst eine einfache lineare Regression der Messwerte mit den Referenzwerten (Trocknung bei 105 °C) durchgeführt werden musste (Bild 2). Aufgrund der physikalischen Messprinzipien lag in einigen Fällen eine signifikante Abhängigkeit von der jeweiligen Schüttdichte vor, so dass diese parallel bestimmte Messgröße bei der Erstellung der Kalibrierfunktion (für HF-Sensor, Imko, Liebherr und Arnold) ebenfalls berücksichtigt wurde, indem eine zweidimensionale Regressionsanalyse mit dem Ablesewert und der Trockenmassedichte als Einflussgrößen durchgeführt wurde.

Ergebnisse

Die absolute Höhe der mittleren Abweichung bei den verschiedenen Trocknungsverfahren gegenüber der Referenzmethode (105 °C) ist relativ gering im Vergleich zu der Streubreite bei den meisten Schnellbestimmungsverfahren (Bild 3). Erwartungsgemäß wird bei 80 °C Trocknungstemperatur und bei der Gefriertrocknung ein geringfügig niedrigerer Wassergehalt gemessen. Überraschend kommt es aber auch bei der Mikrowellen- und Infrarot-Trocknung im

Tab. 1: Statistische Kennzahlen aus der Regressionsanalyse

Table 1: Statistical key figures from the regression analysis carried out

Messverfahren	Messbereich (%) ^b	Bestimmtheitsmaß	Standardfehler	Ordinaten-schnittpunkt	Geradensteigung
Trockenschrank 80° C	0-100	0,998	0,59	-0,62	1,01
Gefriertrocknung	0-100	1,000	0,22	-0,70	1,01
Mikrowellentrocknung - CEM	0-100	0,999	0,63	-1,43	1,02
IR-Trocknung - Sartorius	0-100	0,990	1,46	-0,14	0,99
IR-Trocknung - Ultra-X	0-100	0,992	1,28	-0,86	0,98
Umgebungsfeuchte -Schaller	2-14	0,883	0,66	5,13	0,45
Mikrowelle - hf-Sensor ^a	0-100	0,873	4,86	3,83	0,87
TDR -Imko	2- ~45	0,751	4,85	5,95	0,75
kapazitiv - Pandis	0-55	0,921	4,43	-2,66	1,19
kapazitiv - Liebherr ^a	0-100	0,904	4,34	2,91	0,90
kapazitiv - Arnold ^a	0-90	0,952	3,11	1,43	0,95
IR-Reflektion -Mesa	0-100	0,971	2,43	0,86	0,97
IR-Reflektion - Pier	0- ~50	0,826	5,30	5,42	0,83

^a Kalibrierung unter Einbeziehung der wasserfreien Schüttdichte (signifikanter Einfluss nachgewiesen) Beitrag der Schüttdichte zur Gesamtstreuung: HF-sensor 3,8%, TDR 6,8 %; Liebherr: 4,6 %, Arnold 4,2 %

^b Wassergehalt bezogen auf die Gesamtmasse

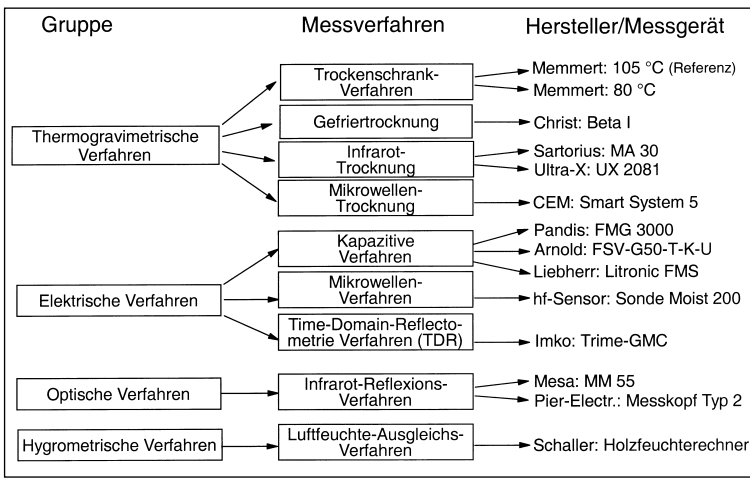


Bild 1: Geprüfte Verfahren - Hersteller und Gerätebezeichnungen

Fig. 1: Tested methods - manufacturers and instrument names

Median zu Abweichungen nach unten. Offenbar ist auch bei diesen Verfahren nicht mit einer erhöhten Freisetzung flüchtiger Bestandteile aus der Holz trockenmasse zu rechnen, da die Einwirkdauer hoher Temperaturen begrenzt ist. Allerdings ist die Streubreite gerade bei den IR-Trocknern deutlich höher, was auch auf die geringe und damit wenig repräsentative Probemenge von maximal 12 g (Sartorius) oder 60 g (Ultra-X) zurückzuführen ist.

Weitaus größere Schwankungen wurden aber bei den „zerstörungsfreien“ Schnellbestimmungsverfahren beobachtet, wenngleich die Mediane der absoluten Abweichungen lediglich bei -2,3 bis +1,4 Prozentpunkten liegen. Auffallend gute Ergebnisse lieferte das Infrarot-Reflexionsverfahren (MESA), wobei es offenbar auch auf die gerätetechnische Ausführung ankommt (etwa Anzahl und Art der verwendeten Wellenlängen, Empfindlichkeit des Detektors, Verwendung von Vergleichsstrahlen, verrechnete Anzahl Messwerte je Sekunde). Ähnliches gilt für die kapazitive Methode (Arnold). Der Vergleich zu anderen kapazitiven Methoden wie dem Pandis Messbehälter ist allerdings problematisch, da dieser vom Her-

steller speziell für Messungen an Holzhackenschnitzeln vorkalibriert worden war und somit im Versuchsablauf nicht an die vorliegende Brennstoffbasis angepasst werden konnte. Auch die Ergebnisse zu den übrigen kapazitiven und IR-reflektometrisch arbeitenden Geräten müssen vorsichtig interpretiert werden, da diese für einen kontinuierlichen Gutstrom entwickelt wurden, der hier lediglich durch einen entsprechenden Versuchsaufbau (Schwenken der Schüttgutproben über oder unter dem Messkopf) nachempfunden werden konnte. Stationäre Labor- oder Vort-Ort-Schnelltestanwendungen sind aber denkbar.

Anders als die vorgenannten Geräte ist das Umgebungsfeuchte-Messverfahren für Hackschnitzel nicht einsetzbar. Das Gerät ist nur für den Messbereich bis 14 % Wassergehalt geeignet und kommt somit vor allem für die Prüfung von Pellets in Frage.

Um neben den in Bild 3 dargestellten Abweichungen weitere Beurteilungskriterien zu erhalten, wurden lineare Regressionsana-

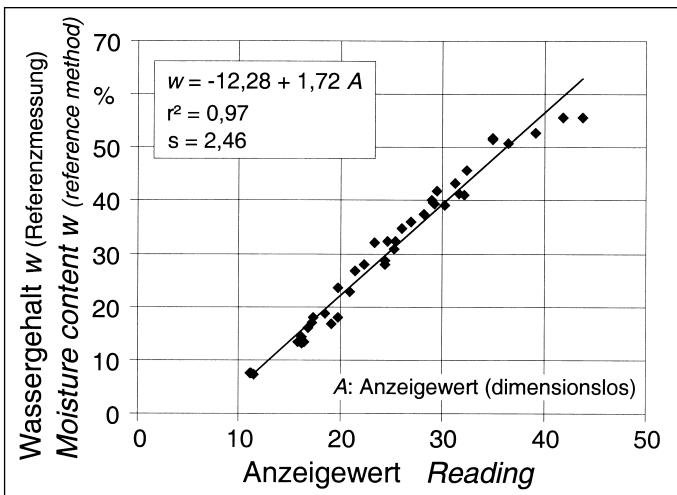


Bild 2: Eindimensionale Kalibrierfunktion (Beispiel: Mesa) mit Bestimmtheitsmaß r^2 und Standardfehler s

Fig. 2: One-dimensional calibration function (here: Mesa) with coefficient of determination r^2 and standard error s

lysen für die Korrelation zwischen Messwerten (nach der Kalibrierung) und Referenzmessungen durchgeführt. Daraus ergeben sich die in Tabelle 1 zusammengestellten statistischen Kenndaten. Neben dem Bestimmtheitsmaß und dem Standardfehler kann nun auch die Nähe des Ordinaten Schnittpunktes zum Nullpunkt und die Abweichung von der Geradensteigung 1 als Beurteilungskriterium herangezogen werden. Diese Berechnungen zeigen abermals Genauigkeitsvorteile bei den trocknenden, aber auch bei den oben genannten kontinuierlichen Messverfahren. Eine weitergehende Betrachtung der Einzelergebnisse zeigt außerdem, dass die Genauigkeit der Messungen (in absoluten Größeneinheiten) mit zunehmendem Wassergehalt abnimmt. Die in Bild 3 dargestellten Extremwerte wurden vor allem im Hochfeuchtebereich ab 35 % Wassergehalt gemessen; sie gingen dagegen im Niedrigfeuchtebereich (bis 20 %) häufig nicht über ± 2 Prozentpunkte hinaus. Beim relativen Fehler war hingegen kein klarer Trend erkennbar.

Für die Verfahren mit Dichteeinfluss besteht in der Praxis die Schwierigkeit, dass der Dichtewert erst noch geschätzt werden muss. Hieraus ergeben sich weitere Streuungsursachen, die in den vorliegenden Ergebnissen noch nicht berücksichtigt wurden, da hierfür die tatsächlich gemessenen Dichten verwendet worden waren. Allerdings ist der Dichteeinfluss, der nur etwa 5 % der Gesamtstreuung erklärt (Tab. 1), relativ gering, so dass sich eine Fehleinschätzung dieses Wertes wenig auswirkt.

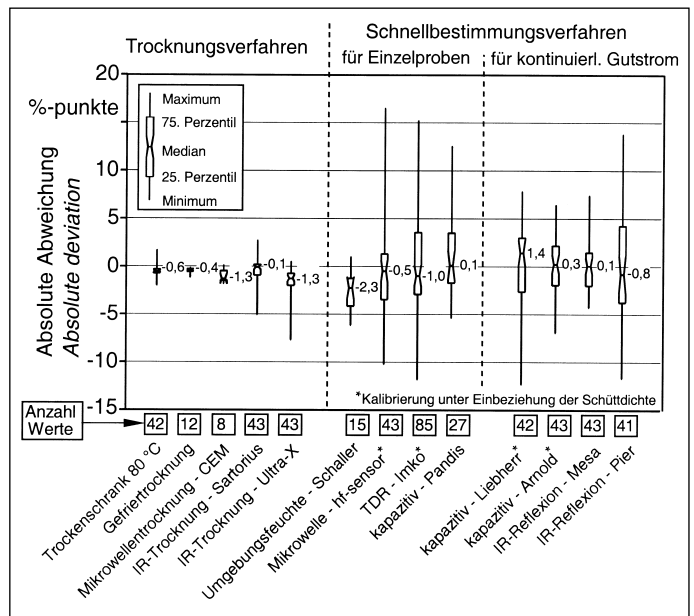


Bild 3: Abweichungen der Einzelmessungen des Wassergehaltes (bez. auf Gesamtmasse) gegenüber dem Referenzverfahren (Trocknung bei 105 °C)

Fig. 3: Deviations of individual measurements for moisture content (wet basis) from the reference method results (drying oven method 105 °C)