

# Einfluss des Extraktstoffanteils ausgewählter fremdländischer Holzarten auf deren Gleichgewichtsfeuchte

Rudolf Popper · Peter Niemz · Marco Torres

Published online: 12 August 2006  
© Springer-Verlag 2006

**Zusammenfassung** An 13 verschiedenen tropischen Holzarten wurde das Sorptionsverhalten im Wasserdampf geprüft. Aufbauend auf den experimentell bestimmten Daten wurden mit dem Hailwood–Horrobin-Modell Kennwerte des Sorptionsverhaltens ermittelt. Berechnet wurden die Feuchte bei mono-  $U_m$  und polymolekularer  $U_p$  Sorption, die Fasersättigungsfeuchte  $U_{fs}$ , die Unzugänglichkeit  $Z$  des Sorbens zum Sorbat sowie die spezifische Oberfläche des Sorbens  $\Sigma$ . Es bestehen sehr große Unterschiede im Sorptionsverhalten zwischen den einzelnen Holzarten. Insbesondere bei Canalete (22,8%), Wengé (20,3%) und Doussié (17,8%) wurde eine sehr niedrige Fasersättigungsfeuchte ermittelt, die deutlich unter denjenigen der meisten europäischen Holzarten (28%–32%), aber auch anderer geprüfter tropischer Hölzer liegt. Der Ethanol–Toluol-Extraktstoff der Holzarten korreliert mit der Feuchte bei polymolekularer  $U_p$  und totaler  $U_{tot}$  Sorption. Je höher der Extraktstoffanteil ist, umso niedriger sind die Gleichgewichtsfeuchten  $U_p$  und  $U_{tot}$ . Der Extraktstoffanteil zeigt dagegen keinen Einfluss auf das monomolekular gebundene Wasser  $U_m$ . Die Chemisorption bleibt demnach durch den Ethanol–Toluol-Extraktstoffanteil unbeeinflusst. Die Herabsetzung des Sorptionsvermögens durch den steigenden Ethanol–Toluol-Anteil ist auf eine Verstopfung der inneren Porenstruktur des Holzes zurückzuführen.

## Influence of the extractives of selected extraneous woods on the equilibrium moisture content

**Abstract** The water vapour sorption behaviour of 13 different tropical wood species was examined. The experimentally determined values were analysed with the Hailwood–Horrobin sorption model. According to the Hailwood–Horrobin model the following characteristic values were computed: the monomolecular  $U_m$  and polymolecular  $U_p$  sorption, the fiber saturation point  $U_{fs}$ , the inaccessibility  $Z$  of the sorbent to the sorbate as well as the specific surface of the sorbent  $\Sigma$ . Very large differences exist in the sorption behaviour between the individual wood species. In particular for Canalete (22.8%), Wengé (20.3%) and Doussié (17.8%) a very low fiber saturation point was determined, which is clearly below the values of European wood species (28%–32%) and other examined tropical woods. The ethanol toluol extract of the wood correlates with the moisture content of the polymolecular  $U_p$  and total  $U_{tot}$  sorption. The higher the extractives content the lower the equilibrium moisture content  $U_{tot}$  and  $U_p$ . The extractives show no influence on the monomolecular-bound water  $U_m$ . The chemisorption remains therefore uninfluenced by EtOH–toluol extractives. The reduction of the sorption capacity by rising EtOH–toluol extractive content is due to the bulking effect.

R. Popper · P. Niemz (✉)  
Institut für Baustoffe, Arbeitsgruppe Holzphysik, ETH Zürich,  
Zürich, Switzerland  
e-mail: niemz@ifb.baug.ethz.ch

M. Torres  
Universidad Austral de Chile,  
Valdivia, Chile

## 1 Einleitung

Holzextraktstoffe, auch als akzessorische Bestandteile des Holzes bekannt, sind chemische Verbindungen und Verbindungsgruppen, die sich nicht am anatomischen Aufbau beteiligen und aus dem Holz mit neutralen Lösungsmitteln herausgelöst werden können. Sie beeinflussen die Holzei-

enschaften positiv oder negativ und sind so für die technologische Verwendung des Holzes mit maßgebend. Der Extraktstoffgehalt ist bei den einzelnen Holzarten sehr unterschiedlich. Von wenigen Ausnahmen abgesehen ist der Extraktstoffanteil im Kernholz meist höher als im Splintholz (Lexikon der Holztechnik 2003). Er liegt bei den Hölzern der gemäßigten Zonen zwischen 1%–10%, tropische Hölzer haben mit 2%–30% vielfach einen erheblich höheren Anteil. Die Chemie und Biochemie der Extraktstoffe sind in der Literatur ausführlich beschrieben (Hillis 1962, Geissman 1962, Sandermann 1966). Arbeiten über den Einfluss der Extraktstoffe auf die Verleimung findet man bei einigen Autoren (Narayanamurti 1957, Herrick und Conca 1960, Narayanamurti et al. 1962, Chen 1970, Roffael und Rauch 1974, Chen und Paulitsch 1974, Popper 1975, Plomley et al. 1976, Albritton und Short 1979). Einige Extraktstoffe, vor allem aus der Rinde, werden in der Holz verarbeitenden Industrie als Klebstoffe verwendet (Hall et al. 1960, Stanley 1964, Sedliaèik und Eisner 1972, Saayman und Oatley 1976). Auf den hydrophobierenden Einfluss der Extraktstoffe haben Borgin und Corbett (1974) hingewiesen. Die Holzextraktstoffe beeinflussen auch die Permeabilität von Gasen und Dämpfen (Charuk und Razumova 1974, Vologin et al. 1972) sowie die Aufnahme von Tränkmitteln (Juacida 1979). Weiter können sie eine Korrosion der Sägeblätter (Krilov und Gref 1986) oder eine Behinderung des Zement-Abbindens in zementgebundenen Holzwerkstoffen (Biblis und Lo 1968) verursachen. Die Extraktstoffe haben einen Einfluss auf das Sorptionsverhalten (Wangaard und Granados 1967, Ladomerský 1978, Themelin 1998) und auf die Feuchteverformung (Burmester 1989, Militz und Homan 1993) von Holz. Auf den Einfluss auf das Sorptionsverhalten verwiesen auch Willeitner und Schwab (1981). Sie teilen die Holzarten wie folgt ein:

- Gruppe A: Holzarten mit normaler Gleichgewichtsfeuchte, wie Hölzer der gemäßigten Zonen und einige tropische Hölzer wie Cedro, Kotibe, Yang, Meranti
- Gruppe B: Tropische Hölzer mit niedriger Gleichgewichtsfeuchte (Agba, Bilinga, Niangon)
- Gruppe C: Tropische Holzarten mit extrem niedriger Gleichgewichtsfeuchte wie Afrormosia, Afzelia, Freijo, Greenheart, Iroko, Movinui, Teak.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, den Einfluss der Extraktstoffe auf die Gleichgewichtsfeuchte ausgewählter fremdländischer Holzarten mit Hilfe der Wasserdampf-Sorptionsanalyse zu qualifizieren.

## 2 Versuchsmaterial und -methodik

### 2.1 Versuchsmaterial

Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung der verwendeten Holzarten und deren Verbreitungsgebiete. Es wurden fremdländische Holzarten mit einem sehr unterschiedlichen Extraktstoffanteil geprüft, um Tendenzen besser erkennen zu können. Je Holzart wurden 3 Proben verwendet.

### 2.2 Versuchsmethodik

*Sorptionsanalyse.* Die Proben wurden in einer Klimakammer bei konstanter Temperatur von 20 °C und bei ansteigenden relativen Luftfeuchten *RH* von 35%, 50%, 65% und 95% bis zum Erreichen der jeweiligen Gleichgewichtsfeuchte gelagert. Am Versuche wurden die Proben bis zur Massekonstanz gedarrt und die Holzfeuchte nach DIN 52 183 (1977) bestimmt.

**Tabelle 1** Versuchsmaterial

**Table 1** Tested material

Handelsname	Lateinischer Name	Pflanzenfamilie	Geographische Verbreitung
Bilinga / Opepe	<i>Nauclea diderrichii</i> Merrill	Rubiaceae	Tropisches Afrika
Bongossi / Azobé	<i>Lophira alata</i> Banks ex Gaertn. f	Ochnaceae	Tropisches Afrika
Canalete	<i>Cordia</i> sp .	Boraginaceae	Mittel- und tropisches Südamerika
Danta / Kotibé	<i>Nesogordonia papaverifera</i> (A. Chev.) R. Capuron	Sterculiaceae	Tropisches Afrika
Doussié	<i>Afzelia</i> sp.	Caesalpiniaceae	Tropisches Afrika
Makassar	<i>Diospyros celebica</i> Bakh .	Ebenaceae	Asien (Pakistan bis Sri Lanka; I Indomalaysia)
Mansonia / Bété	<i>Mansonia altissima</i> A. Chev.	Sterculiaceae	Tropisches Afrika
Merbau	<i>Intsia</i> sp.	Caesalpiniaceae	Asien (Burma bis Australien); Madagaskar
Okoumé	<i>Aucoumea klaineana</i> Pierre	Burseraceae	Tropisches Afrika
Ramin	<i>Gonystylus bancanus</i> (Miq.) Kurz	Gonystylaceae	Asien (Indomalaysia)
Weißes Lauan	<i>Shorea</i> sp.	Dipterocarpaceae	Asien (Thailand bis Indomalaysia)
Wengé	<i>Millettia laurentii</i> De Wild.	Papilionaceae	Tropisches Afrika
Zebrano / Zingana	<i>Microberlinia</i> sp.	Caesalpiniaceae	Tropisches Afrika

Anschließend wurden unter Verwendung der Mittelwerte je rel. Luftfeuchte die Kennwerte der Sorption nach dem Hailwood–Horrobin-Modell (Hailwood und Horrobin 1946) berechnet (nachfolgend als HH bezeichnet). Die HH-Gleichung

$$U_{tot} = U_m + U_p \tag{1}$$

$$U_{tot} = \frac{1800}{M_p} \cdot \left( \frac{\alpha \cdot \beta \cdot h}{1 + \alpha \cdot \beta \cdot h} \right) + \frac{1800}{M_p} \left( \frac{\alpha \cdot h}{1 - \alpha \cdot h} \right) \tag{2}$$

mit

- $U_{tot}$  total sorbiertes Wasser in %,
- $U_m$  monomolekular sorbiertes Wasser in %,
- $U_p$  polymolekular sorbiertes Wasser in %,
- $h$  relative Luftfeuchte in %,
- $M_p$  hypothetisches Molekulargewicht des Holzes,
- $\alpha$  Gleichgewichtskonstante des hydratisierten Holzes,
- $\beta$  Gleichgewichtskonstante des nichthydratisierten Holzes

wurde unter der Annahme abgeleitet, dass das sorbierte Wasser als eine einfache Lösung und als Hydrat des Holzes existiert. Es wird weiter angenommen, dass die sorbierte Schicht, die aus nichthydratisiertem und hydratisiertem Holz sowie aus freiem flüssigem Wasser besteht, eine ideale feste Lösung bildet. Dieses Sorptionsmodell ermöglicht unter anderem die Trennung der mono- ( $U_m$ ) von der polymolekularen Sorption ( $U_p$ ) und die Schätzung der Fasersättigungsfeuchte  $U_{FS}$ , die experimentell nur schwer zu bestimmen ist. Mit Hilfe des HH-Modells lassen sich weiterhin folgende Größen berechnen:

- Die Unzugänglichkeit  $Z$  des Sorbens zum Sorbat.
- Die spezifische Oberfläche  $\Sigma$  des Sorbens.

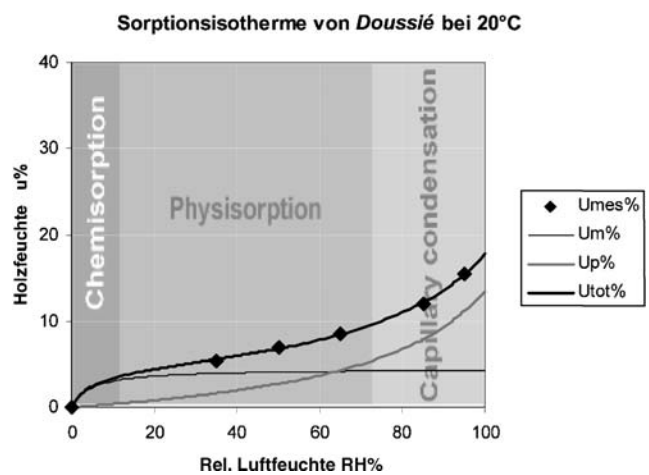
*Ethanol–Toluol-Extraktstoff* Es wurde der Ethanol–Toluol-Extraktstoff (nachfolgend mit EtOH–Toluol bezeichnet)

nach den Tappi-Normen T 264 cm-97 (1997) und T 204 cm-97 (1997) bestimmt. Der Extraktstoffanteil wurde auf die Darmasse bezogen.

### 3 Versuchsergebnisse

#### 3.1 Sorptionsisothermen

Die submikroskopischen Eigenschaften des Holz/Wasser-Systems können aus den durchgeführten Wasserdampf-Sorptionsmessungen abgeleitet werden. Die Mittelwerte der gemessenen Gleichgewichtsfeuchten sind in Tabelle 2 zusammengestellt.



**Abb. 1** Gemessene und nach dem HH-Modell berechnete Sorptionsisotherme von Doussié

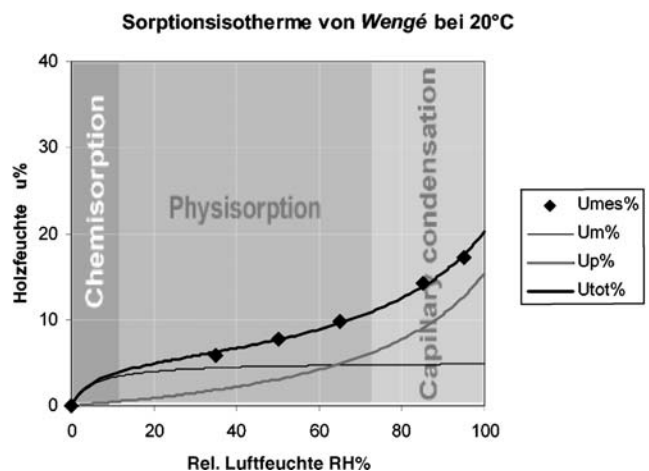
**Fig. 1** Measured and according to the HH-model computed sorption isotherm of Doussié

**Tabelle 2** Gleichgewichtsfeuchten ausgewählter fremdländischer Holzarten

**Table 2** Equilibrium moisture content of selected extraneous woods

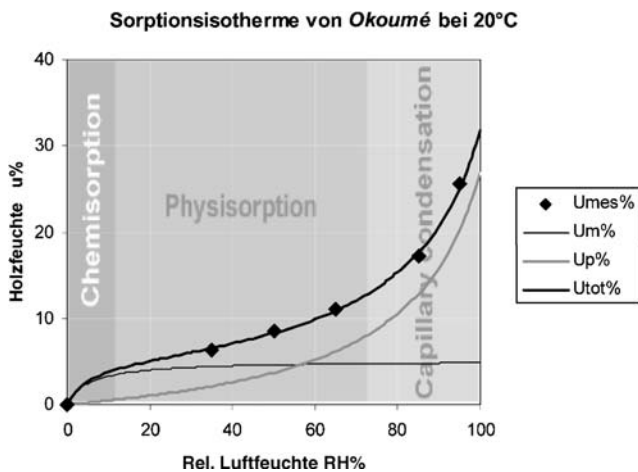
Holzart		Gleichgewichtsfeuchte in % bei rel. Luftfeuchte				
		35%	50%	65%	80%	95%
<i>Bilinga</i>	x	6,5	8,6	11,1	16,9	22,9
<i>Bongossi</i>	x	6,5	9,0	11,5	17,5	23,8
<i>Canalete</i>	x	5,8	7,7	9,8	14,5	19,1
<i>Dania</i>	x	6,9	9,1	11,6	17,3	24,1
<i>Doussié</i>	x	5,3	7,0	8,6	12,0	15,5
<i>Makassar</i>	x	6,3	8,3	10,5	15,8	22,7
<i>Mansonia</i>	x	6,1	8,2	10,6	16,2	23,3
<i>Merbau</i>	x	7,6	9,7	12,0	17,0	22,9
<i>Okoumé</i>	x	6,3	8,5	11,1	17,2	25,6
<i>Ramin</i>	x	6,3	8,4	10,9	16,8	26,1
<i>Weißes Lauan</i>	x	6,4	8,5	11,0	16,8	23,8
<i>Wengé</i>	x	5,9	7,8	9,8	14,2	17,2
<i>Zebrano</i>	x	6,1	8,2	10,6	16,2	24,5

x: Mittelwert



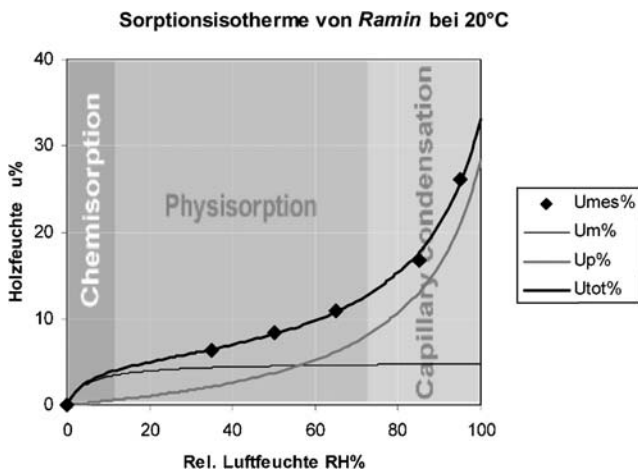
**Abb. 2** Gemessene und nach dem HH-Modell berechnete Sorptionsisotherme von Wengé

**Fig. 2** Measured and according to the HH-model computed sorption isotherm of Wengé



**Abb. 3** Gemessene und nach dem HH-Modell berechnete Sorptionsisotherme von Okoumé

**Fig. 3** Measured and according to the HH-model computed sorption isotherm of Okoumé



**Abb. 4** Gemessene und nach dem HH-Modell berechnete Sorptionsisotherme von Ramin

**Fig. 4** Measured and according to the HH-model computed sorption isotherm of Ramin

Die Bilder 1–4 zeigen exemplarisch die berechneten und gemessenen Sorptionsisothermen zweier Holzarten mit hohem und zweier mit niedrigem Fasersättigungspunkt. Tabelle 3 zeigt die nach dem HH-Modell berechneten Werte  $U_m$ ,  $U_p$ ,  $U_{FS}$ ,  $\Sigma$  und  $Z$  bei Fasersättigung. Die Resultate der Extraktstoff- sowie der Rohdichte-Bestimmung sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Das verwendete Sorptionsmodell zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der gemessenen ( $U_{mes}$ ) mit den berechneten ( $U_{tot}$ ) Werten für alle geprüften Holzarten. Die Aufteilung der  $U_{tot}$  in eine monomolekulare  $U_m$  und eine polymolekulare  $U_p$  Sorption sowie die Berechnung der Werte für die Fasersättigung ermöglichen es, folgende weitere Schlüsse bezüglich des Einflusses des EtOH–Toluol-Extraktstoffanteils auf das Sorptionsverhalten von Holz zu ziehen. Die

**Tabelle 3** Berechnete Werte der Sorptionsanalyse nach dem HH-Modell für die ausgewählten Holzarten bei Fasersättigung  
**Table 3** Computed values of the sorption analysis according to the HH-model of selected extraneous woods at fiber saturation point

Holzart	$U_m$ (%)	$U_p$ (%)	$U_{FS}$ (%)	$\Sigma$ (m <sup>2</sup> /g)	$Z$ (%)
Bilinga	5,1	22,9	28,0	180	52
Bongossi	5,2	23,6	28,8	185	50
Canalete	4,6	18,2	22,8	163	56
Danta	5,4	23,0	28,4	192	48
Doussié	4,3	13,5	17,8	152	59
Makassar	4,9	21,9	26,7	172	54
Mansonia	4,7	24,3	29,0	167	55
Merbau	6,0	20,2	26,2	212	43
Okoumé	4,9	26,9	31,7	172	54
Ramin	4,7	28,3	33,0	168	55
Weißes Lauan	5,0	23,9	28,9	176	53
Wengé	4,9	15,4	20,3	172	54
Zebrano	4,6	25,6	30,3	164	56

$U_m$ : Holzfeuchte bei monomolekularer Sorption (Bedeckung)

$U_p$ : Holzfeuchte bei polymolekularer Sorption

$U_{FS}$ : Holzfeuchte bei der Fasersättigung

$\Sigma$ : Spezifische Oberfläche des Sorbens

$Z$ : Unzugänglichkeit des Sorbens zum Sorbat

**Tabelle 4** EtOH–Toluol Extraktstoffanteil und Rohdichte bei Normklima der ausgewählten Holzarten

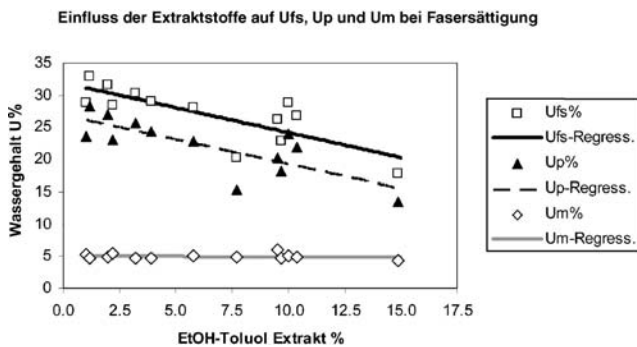
**Table 4** EtOH–Toluol extractives and bulk specific gravity of selected woods

Holzart	Rohdichte (g/cm <sup>3</sup> )	EtOH–Toluol Extraktstoff (%)
Bilinga	0,63	5,8
Bongossi	0,99	1,0
Canalete	0,82	9,7
Danta	0,72	2,2
Doussié	0,82	14,9
Makassar	1,13	10,4
Mansonia	0,65	3,9
Merbau	0,99	9,5
Okoumé	0,41	2,0
Ramin	0,63	1,2
Weißes Lauan	0,66	10,0
Wengé	0,80	7,7
Zebrano	0,67	3,2

monomolekulare Sorption ist von dem Extraktstoffanteil unbeeinflusst. Eine Gegenüberstellung der nach dem HH-Modell berechneten Sorptionswerte mit dem EtOH–Toluol-Extraktstoffwert deutet darauf hin, dass lediglich die polymolekulare Sorption durch die Extraktstoffe beeinflusst wird.

### 3.2 Ethanol-Toluol-Extraktstoff

Um zu prüfen, inwieweit sich die Holzextraktstoffe auf die Gleichgewichtsfeuchte auswirken, wurden die mittels HH-Modell berechneten Feuchtekennwerte  $U_{fs}$ ,  $U_p$  und  $U_m$  mit dem EtOH–Toluol Extraktstoffanteil korreliert. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse sind in Abb. 5 dargestellt.



**Abb. 5** Einfluss des EtOH–Toluol Extraktstoffanteils auf den Wassergehalt  $U_{fs}$ ,  $U_p$  und  $U_m$  bei Fasersättigung der ausgewählten Holzarten  
**Fig. 5** Influence of the EtOH–Toluol extractives on  $U_{fs}$ ,  $U_p$  and  $U_m$  at fiber saturation point for the selected wood species

Bei Anwendung eines linearen Modells zeigt sich eine relativ gute Übereinstimmung für die Abhängigkeit von  $U_{fs}$  und  $U_p$  vom EtOH–Toluol Extraktstoff (Bestimmtheitsmaß  $> 60\%$ ). Der P-Wert der Variationsanalyse liegt bei  $U_{fs}$  und  $U_p$  deutlich unter 0,01, was auf eine statistisch signifikante Abhängigkeit dieser Werte vom EtOH–Toluol Extraktstoff hindeutet.

Der  $U_m$ -Wert zeigt hingegen keine statistisch gesicherte Abhängigkeit vom EtOH–Toluol-Wert. Das gleiche gilt auch für die Abhängigkeit des  $Z$ - und des  $\Sigma$ -Werts vom EtOH–Toluol Extraktstoff, da die beiden Werte eine Funktion des  $U_m$ -Wertes sind.

#### 4 Schlussfolgerungen

Die Analyse nach dem Hailwood-Horrobin-Sorptionsmodell lässt folgende Aussagen zu:

- Es bestehen sehr große Unterschiede im Sorptionsverhalten zwischen den einzelnen Holzarten. Insbesondere bei Canalete, Wengé und Doussié wurde eine sehr niedrige Fasersättigungsfeuchte bestimmt, die deutlich unter der europäischer Holzarten liegt.
- Gesamt gesehen stimmen die mit dem HH-Modell berechneten Ausgleichskurven  $U_{tot}$  mit den Messwerten sehr gut überein.
- Mit steigendem Anteil der Extraktstoffe nimmt die Gleichgewichtsfeuchte bei Fasersättigung  $U_{fs}$  linear ab.
- Die Aufteilung des insgesamt sorbierten Wassers  $U_{tot}$  gemäß HH-Modell in monomolekulares  $U_m$  und polymolekulares Wasser  $U_p$  erlaubt Aussagen über die Art der Sorbataufnahme.
- Der Extraktstoffanteil zeigt keinen Einfluss auf das monomolekular gebundene Wasser  $U_m$ . Die Chemisorption bleibt demnach durch den EtOH–Toluol Extraktstoffanteil unbeeinflusst.

- Das polymolekulare Wasser  $U_p$  nimmt dagegen mit steigendem Extraktstoffanteil linear ab. Die Herabsetzung des Sorptionsvermögens durch den steigenden EtOH–Toluol Anteil ist demnach auf eine Verstopfung der inneren Porenstruktur des Holzes zurückzuführen.
- Die Zugänglichkeit ( $Z$ ) und die spezifische Oberfläche ( $\Sigma$ ) weisen erwartungsgemäß keine Abhängigkeit vom EtOH–Toluol Extraktstoff auf.

#### Literatur

- Albritton RO, Short PH (1979) Effects of extractives from pressure-refined hardwood fiber on gel time of urea-formaldehyde resin. For Prod J 29(2):40–41
- Autorenkollektiv (2003) Lexikon der Holztechnik, 4. Auflage. DRW Verlag, Stuttgart
- Biblis EJ, Lo CF (1968) Sugars and other wood extractives. Effect on setting of Southern pine-cement mixtures. For Prod J 18(8):28–34
- Borgin K, Corbett K (1974) Hydrophobierende und wasserabweisende Eigenschaften der Extraktstoffe aus Akazienrinde. Wood Sci Technol 8(2):138–147
- Burmester A (1989) Dimensionsstabilisierung von Buchenholz durch Extrakte aus Rinden, Nadeln, Blättern und Sägespänen. Holz Roh- Werkst 47:33
- Charuk EV, Razumova AF (1974) Der Einfluss von Extraktstoffen auf die Permeabilität von Holz. Holztechnologie 15(1):3–7
- Chen CM (1970) Effect of extractive removal on adhesion and wettability of some tropical wood. For Prod J 20(1):36–41
- Chen TY, Paulitsch M (1974) Inhaltstoffe von Nadeln, Rinde und Holz der Fichte und Kiefer und ihr Einfluss auf die Eigenschaften daraus hergestellter Spanplatten. Holz Roh- Werkst 32:397–401
- DIN 52 183 (Nov. 1977) Prüfung von Holz. Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes.
- Geissman TA (1962) The chemistry of flavonoid compounds. The Mac Millan Company, New York, pp 722
- Hall RB, Leonard JH, Nicholls GA (1960) Bonding particle boards with bark extracts. For Prod J 5:263–272
- Hailwood AJ, Horrobin S (1946) Absorption of water by polymers. Analysis in term of a single model. Trans Faraday Soc 42B: 84–102
- Herrick FW, Conca RJ (1960) The use of bark extracts in cold-setting waterproof adhesives. For Prod J 7:361–368
- Hillis WE (1962) Wood Extractives. Academic Press, New York
- Juacida RL (1979) Untersuchungen über die anatomische Struktur, natürliche Dauerhaftigkeit und Imprägnierbarkeit von 4 chilenischen Laubhölzern. Dissertation, Universität Hamburg
- Krilov A, Gref R (1986) Mechanism of saw blade corrosion by polyphenolic compounds. Wood Sci Technol 20:369–375
- Ladomerský J (1978) Über den Einfluss der Extraktstoffe auf das Sorptionsgleichgewicht des Holzes. Wood Res Drevarsky Vyskum 23(3):145–168
- Militz H, Homan WJ (1993) The use of natural and synthetical tannins to improve the dimensional stability and durability of beech wood (*Fagus sylvatica*). Inter. Group on Wood Preservation Doc. No. IRG/WP 93-300316, pp 16
- Narayanamurti D (1957) Die Bedeutung der Holzextraktstoffe. Holz Roh- Werkst 15(9):370–380
- Narayanamurti D, Gupta RC, Verma GM (1962) Influence of extractives on the setting of adhesives. Holzforsch Holzverw 14(5–6):85–88
- Plomley KF, Hillis WE, Hirst K (1976) The influence of wood extractives on glue wood bond. Part 1: The effect of kind and amount

- of commercial tannines and crude wood extracts on phenolic bonding. *Holzforschung* 30(1):14–19
- Popper R (1975) Die Einflüsse der Holzextraktstoffe auf das technologische Verhalten von Holz, insbesondere in Bezug auf die Verleimung. *SAH Bull* 3(1):2–11
- Roffael E, Rauch W (1974) Extraktstoffe in Eiche und ihr Einfluss auf die Verleimbarkeit mit Phenol-Formaldehydharzen. *Holz Roh-Werkst* 32:182–187
- Saayman HM, Oatley JA (1976) Holzleime aus Akazien-Rinden-Extrakt. *For Prod J* 26(12):27–33
- Sandermann W (1966) Holzinhaltsstoffe, ihre Chemie und Biochemie. *Naturwissenschaften* 53(20):513–524
- Sedláček M, Eisner K (1972) Verwendung von Extrakten aus Fichtenrinde zum Kleben von Holz. *Zborník Vedeckých Prác Drevarské Fakulty VSLD, Zvolen* 23(3):47–58
- Stanley G (1964) Extractives of wood, bark, and needles of the Southern Pines. A review. *For Prod J* 19(11):50–56
- T 204 cm-97 (1997) Solvent extractives of wood and pulp. TAPPI, pp 1–4
- T 264 cm-97 (1997) Preparation of wood for chemical analysis. TAPPI, pp 1–3
- Themelin A (1998) Comportement en sorption de produits lingo-cellulosiques. *Bois Forêts Trop* 256(2):55–64
- Vologin AI, Razumova AF, Charuk EV (1972) Die Bedeutung der Extraktstoffe für die Permeabilität von Kiefern- und Fichtenholz. *Holztechnologie* 20(2):67–69
- Wangaard FF, Granados LA (1967) The effect of extractives on water-vapour sorption by wood. *Wood Sci Technol* 1:253–277
- Willeitner H, Schwab E (1981) Holz-Aussenanwendung im Hochbau. Verlagsanstalt Alexander Koch, Stuttgart