



Working Paper

Die Holz/Wasser Interaktion am Beispiel ausgewählter fremdländischer Holzarten the hypothetical hydrate water

Author(s):

Popper, Rudolf; Niemz, Peter; Eberle, G.

Publication Date:

2007

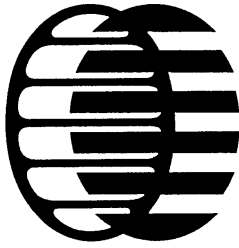
Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006112560> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).



ETH Zürich
Institut für Baustoffe
Holzphysik
Schafmattstrasse 6
CH-8093 Zürich

Int. Bericht ETHZ-IfB Nr.44

**Die Holz/Wasser Interaktion am Beispiel ausgewählter
fremdländischer Holzarten. Das hypothetische
Hydratwasser**

**The interaction between wood and water on example of
selected extraneous wood species. The hypothetical
hydrate water**

Popper, R.; Niemz, P.; Eberle, G.

Zürich, 12. Dezember 2007

1 Zusammenfassung

Die Interaktion zwischen Holz und Wasser hat eine entscheidende Bedeutung für die Anwendung von Holz in der Holzverarbeitenden Industrie. Praktisch alle Eigenschaften des Holzes sind von dieser Interaktion beeinflusst. Das Wasser ist an das Holz unterschiedlich stark gebunden. Es sind dabei chemische, physikalische sowie Kapillarkräfte im Spiel. Das darrtrockene Holz kann das Wasser so stark binden, dass es zu einer Kontraktion der sorbierten Schicht kommt. Die Wasseraufnahme wird in dieser Schicht nicht von einer Quellung begleitet. Der Aggregatzustand des Wassers wird als Hydrat oder auch als Kristallwasser bezeichnet.

Die fremdländischen Holzarten finden dank ihren Eigenschaften immer häufiger Verwendung in der Holzverarbeitenden Industrie. Am Institut für Baustoffe der ETH Zürich haben bereits Arbeiten stattgefunden, die die Eigenschaften dieser Holzarten geholfen haben zu qualifizieren (Popper, Niemz 2006; Popper et al. 2007; Niemz, Sonderegger 2007).

Die vorliegende Studie soll vor allem das Phänomen Hydratwasser aufgrund von den komplexen Sorptions- und Quellungsuntersuchungen an fremdländischen Holzarten versucht zu klären.

Abstracts

The interaction between wood and water is very important for the use of wood in the woodworking industry. Practically all characteristics of the wood are affected of this interaction. The water is differently strong bound to the wood. There are chemical, physical as well as capillary forces involved. The dry wood can bind the water so strongly that it comes to a contraction of the layer sorbed. The water absorption is then not accompanied in this layer by a swelling. The state of aggregation of the water is called hydrate or also as crystal water.

The extraneous wood species are more and more used in the woodworking industry. At Institute for building materials of the ETH Zurich have already work took place, which helped to qualify these wood species (Popper, Niemz 2006; Popper et al. 2007; Niemz, Sonderegger 2007).

This study is to clarify the phenomenon hydrate water due to the complex sorption and swelling investigations on extraneous wood species.

KEYWORDS: WOOD; WATER VAPOR SORPTION; SWELLING; HYDRATE WATER

2 Einleitung

An fremdländischen Holzarten wurden Sorptions- und Feuchteverformungsuntersuchungen vorgenommen um vor allem das Phänomen Hydratwasser unter die Lupe zu nehmen. Dabei wurden die Sorptionseigenschaften mit Hilfe von Hailwood-Horrobin Modell analysiert, die Anisotropiekoeffizienten bestimmt und die Unterschiede bei der Hydratwasserbestimmung für die untersuchten Holzarten zu diskutieren.

3 Material

3.1 Versuchsmaterial

Die aus Holzarten (siehe Tabelle 3-1) hergestellten Probenwürfel (10 bis 11 je Holzart) mit der Kantenlänge von 10mm wurden so zugeschnitten, dass die Kanten parallel zu den drei anatomischen Hauptrichtungen des Holzes (tangential, radial, axial) verlaufen.

Tabelle 3-1: Versuchsmaterial.
Table 3-1: Material tested.

Holzart	Lateinischer Name	
	Gattung / Art	Pflanzenfamilie
Canalete (Cordia)	<i>Cordia sp.</i>	Boraginaceae
Zebrano	<i>Microberlinia sp.</i>	Caesalpinaceae
Tiama	<i>Entandrophragma sp.</i>	Meliaceae
Teak	<i>Tectona grandis</i>	Verbenaceae

Opépe	<i>Sarcocephalus sp.</i>	Rubiaceae
Weisses Lauan	<i>Shorea sp.</i>	Dipterocarpaceae
Wengé	<i>Milettia laurentii</i> De Wild.	Papilionaceae
Merbau; Hintsy	<i>Intsia sp.</i>	Caesalpiniaceae

4 Begriffe und Methoden

4.1 Die rel. Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit RH ist definiert als Verhältnis des tatsächlich vorhandenen Dampfdruckes p_D zum Sättigungsdruck p_s bei gleicher Temperatur.

Gleichung 4-1

$$RH = \frac{p_D}{p_s} \cdot 100 \text{ in } (\%),$$

wobei p_D Partialdruck des Wasserdampfes,

p_s Sättigungsdruck.

4.2 Die Klimabedingungen

Die Prüflinge wurden in einer Klimakammer bei einer definierten Temperatur von 20°C folgenden relativen Luftfeuchtigkeiten 35%, 50%, 65%, 80% und 93% solange ausgesetzt, bis das Gleichgewicht erreicht wurde, und anschliessend der jeweilige Feuchtegehalt der Proben bestimmt. Für den Messwert bei der rel. Luftfeuchtigkeit von 0% wurde der Darrzustand verwendet. Die Prüfkörper wurden bei den jeweiligen Klimabedingungen solange klimatisiert, bis die Massekonstanz erreicht

wurde. Die Massekonstanz gilt als erreicht, wenn die Ergebnisse zweier im Abstand von 24 Stunden aufeinander folgender Messungen um nicht mehr als 0.1% der Prüfkörpermasse voneinander abweichen. Als Bezugsmasse für die Bestimmung der Materialfeuchte wurde die Darrmasse benutzt.

4.3 Rohdichte

Die Rohdichte von Holz ρ ist der Quotient aus der Masse m und dem Volumen V der Probe einschliesslich des Porenvolumens. Da die Rohdichte des Holzes vom Feuchtigkeitsgehalt abhängt, ist der Feuchtigkeitsgehalt zum Zeitpunkt der Rohdichtebestimmung anzugeben (DIN 52 182, 1976).

Die Rohdichte nach Lagerung im Normalklima (DIN 50 014, 20/65-1) wird als Normal-Rohdichte bestimmt:

Gleichung 4-2

$$\rho_N = \frac{m_N}{V_N} \text{ in g/cm}^3,$$

wobei m_N Masse der normalklimatisierten Probe in g,

V_N Volumen der normalklimatisierten Probe in cm^3 .

Ähnlich gilt für das trockene Holz:

Gleichung 4-3

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \text{ in g/cm}^3,$$

wobei m_0 Masse des darrgetrockneten Holzes in g,

V_0 Volumen des darrgetrockneten Holzes in cm^3 .

Die Versuchsproben werden dem Normalklima ausgesetzt (Normal-Rohdichte), resp. in drei Stufen (40°C, 70°C und 103°C) darrgetrocknet und die Masse mittels einer elektronischen Waage (Mettler AG, Schweiz) bestimmt. Das Einlesen der Massenwerte in einen Computer erfolgt mit dem Datenlogger (Mitutoyo, Japan). Die Abmessungen werden mittels digitaler Messuhr (Digimatic, Mitutoyo, Japan) auf ± 0.01 mm genau ermittelt, in einen Datenlogger (Mitutoyo DT10, Japan) eingelesen und in einen Computer übertragen und dort ausgewertet.

4.4 Feuchtigkeitsgehalt

Der prozentuale Feuchtigkeitsgehalt der Probe MC ist das Verhältnis zwischen der Masse des in der Probe enthaltenen Wassers und der Masse der wasserfreien (darrgetrockneten) Probe. Für den Feuchtigkeitsgehalt gilt nach DIN 52 183 (1977):

Gleichung 4-4

$$MC = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100 \text{ in } \%,$$

wobei m_u Masse der feuchten Probe in g ,

m_0 Masse der wasserfreien (darrgetrockenen) Probe in g .

4.5 Feuchteverformung

4.5.1 Das maximale lineare Quellmass

Das maximale Quellmass α_{max} ergibt sich bei Quellung vom darrgetrockneten auf den feuchten Zustand des Materials. Je nach dem für welche Richtung (Dicke D , Breite B und Länge L) und Feuchtigkeitsgehalt u der Versuchsprobe die Ausmassen a ermittelt werden, unterscheidet man zwischen dem Dicken- α_{Du} , dem Breiten- α_{Bu} und dem Längen-Quellmass α_{Lu} :

:

Gleichung 4-5

$$\alpha_{\max, Du} = 100 \cdot \frac{(a_{Du} - a_{D0})}{a_{D0}} \text{ in } \%$$

Gleichung 4-6

$$\alpha_{\max, Bu} = 100 \cdot \frac{(a_{Bu} - a_{B0})}{a_{B0}} \text{ in } \%$$

Gleichung 4-7

$$\alpha_{\max, Lu} = 100 \cdot \frac{(a_{Lu} - a_{L0})}{a_{L0}} \text{ in } \%$$

Das maximale Volumenquellmass α_V wird als Summe aus dem maximalen Dicken-, Breiten- und Längen-Quellmass definiert:

Gleichung 4-8

$$\alpha_{\max, Vu} = \alpha_{\max, Du} + \alpha_{\max, Bu} + \alpha_{\max, Lu} \text{ in } \%$$

wobei a_{Du} Dickenabmessung der Probe bei Materialfeuchte u ,

a_{D0} Dickenabmessung der darrgetrockenen Probe,

a_{Bu} Breitenabmessung der Probe bei Materialfeuchte u ,

a_{B0} Breitenabmessung der darrgetrockenen Probe,

a_{Lu} Längenabmessung der Probe bei Materialfeuchte u ,

a_{L0} Längenabmessung der darrgetrockenen Probe.

4.5.2 Differentielle Quellung

Die Holzwerkstoffe werden in der Praxis sehr oft nach der differentiellen Quellung q qualifiziert. Diese ist gemäss DIN 52 184 (1979) als das prozentuale Quellmass der Probe je 1% Holzfeuchtigkeitsänderung wie folgt definiert:

Gleichung 4-9

$$q = \frac{a_F - a_T}{a_0 \cdot (u_F - u_T)} \cdot 100,$$

wobei q die differentielle Quellung in %/%,

a_F Mass der Probe im feuchten Klima nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes in mm,

a_T Mass der Probe im trockenen Klima nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes in mm,

a_0 Mass der Probe im darrtrockenen Zustand in mm,

u_F Feuchtigkeitsgehalt der Probe im feuchten Klima nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes in %,

u_T Feuchtigkeitsgehalt der Probe im trockenen Klima nach Erreichen des Gleichgewichtszustandes in %.

Als feuchtes Klima wurde hier die relative Luftfeuchtigkeit von 93% bei einer Temperatur von 20°C und als trockenes Klima die relative Luftfeuchtigkeit von 35% bei einer Temperatur von 20°C gewählt.

Für die Bestimmung der Fechteverformung werden die Versuchsproben den genau definierten Klimaten (RH: 35%, 50%, 65%, 80%, 93% bei Temperatur von 20°C) bis zum Erreichen der jeweiligen Gleichgewichtsfeuchtigkeit ausgesetzt und anschliessend das tangentiale und radiale Mass der Proben ermittelt. Anschliessend werden die Proben bei $103 \pm 2^\circ\text{C}$, bis zur Gleichgewichtskonstanz getrocknet, wobei diese Temperatur in drei Stufen (40°C, 70°C und 103°C) innerhalb von 48 Stunden allmählich einzustellen ist. Die Abmessungen werden mittels digitalen Messuhren (Digimatic, Mitutoyo, Japan), resp. dem Messschieber (Digimatic, Mitutoyo, Japan) auf ± 0.01 mm genau ermittelt, in einen Datenlogger (Mitutoyo DT10, Japan) eingelesen und mit Hilfe des Programms LOGGMA (POPPER, 1991) in Computer übertragen und dort ausgewertet.

4.5.3 Anisotropie

Der Quotient aus der differentiellen Quellungen in tangentialer und in radialer Richtung wird als Quellungsanisotropie A_q definiert:

Formel 4-1

$$A_q = \frac{q_{TG}}{q_{RD}}$$

Analog wird der Quotient aus der linearen Quellungen in der tangentialen und radialen Richtung als Anisotropiekoeffizient A_K bezeichnet:

Formel 4-2

$$A_K = \frac{\alpha_{TG}}{\alpha_{RD}}$$

4.6 Wasserdampfsorption

Für die Charakterisierung der Wechselwirkung zwischen dem Versuchsmaterial und dem Wasser, resp. dem Wasserdampf, wurde das Hailwood-Horrobin Sorptionsmodell (1946) verwendet. Das Hailwood-Horrobin Sorptionsmodell (weiter als HH-Sorptionsmodell) basiert auf der Annahme, dass das Wasser bei der Wasserdampfsorption durch Lignocellulosen als einfache Lösung und als Hydrat der Lignocellulosen existiert. Es wird weiter angenommen, dass die sorbierte Schicht, die aus nicht hydratisierten und hydratisierten Lignocellulosen sowie aus freiem flüssigem Wasser besteht, eine ideale feste Lösung bildet. Durch das HH-Modell lassen sich noch weitere Größen schätzen, so die Unzugänglichkeit der sorptiv aktiven Stellen des Sorbens zum Sorbat (Z), ferner das hypothetische Molekulargewicht des Sorbens (M_p). Für die experimentell schwer zu bestimmende Fasersättigungsfeuchtigkeit (U_{FS}) lässt sich eine Schätzgröße errechnen. Weiter wird das monomolekular (U_m) und das polymolekular (U_p) gebundene Wasser durch das HH-Sorptionsmodell ermittelt. Die Berechnung erfolgt nach folgender Gleichung:

Formel 4-3

$$U_{tot} = U_m + U_p$$

Formel 4-4

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

wobei 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,
 α Gleichgewichtskonstante des hydratisierten Holzes,
 β Gleichgewichtskonstante des nichthydratisierten Holzes.

5 Resultate und Diskussion

5.1 Sorptionseigenschaften

Die Mittelwerte der gemessenen Gleichgewichtsfeuchten sind in Tabelle 5-1 zusammengestellt.

Die folgenden Abbildungen 5-1 bis 5-8 zeigen die gemessenen, sowie die nach HH-Sorptionsmodell berechneten Isothermen des Versuchsmaterials. Dargestellt sind in diesen Abbildungen ebenfalls die Bereiche der Sorbens/Sorbat-Interaktion (Chemi-, Physisorption und die Kapillarkondensation). Jeder Punkt auf der Grafik entspricht einem Mittelwert von 10 Versuchsproben. Die aus dem HH-Sorptionsmodell abgeleiteten physikalischen Größen sind in Tabelle 5-2 zusammengefasst.

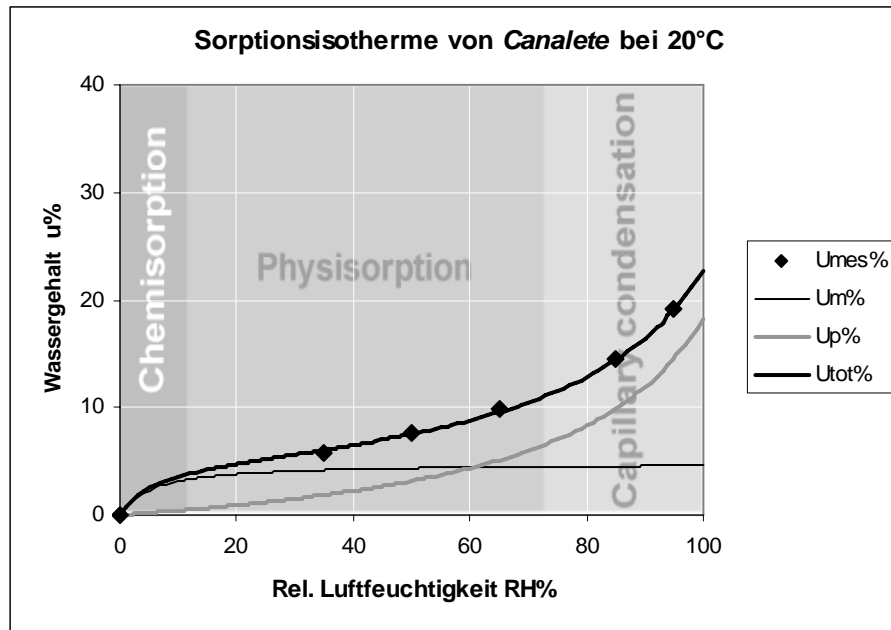


Abbildung 5-1: Gemessene und nach HH-Modell berechnete Sorptionsisotherme von *Canaleta*.

Figure 5-1: Measured and according to the HH-model computed sorption isotherm of *Canaleta*.

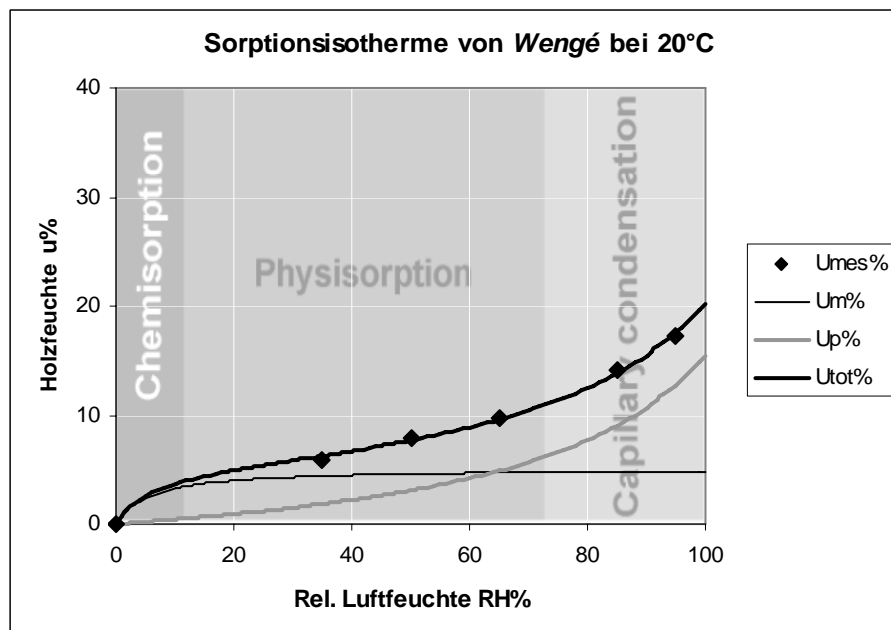


Abbildung 5-2: Gemessene und nach HH-Modell berechnete Sorptionsisotherme von *Wengé*.

Figure 5-2: Measured and according to the HH-model computed sorption isotherm of *Wengé*.

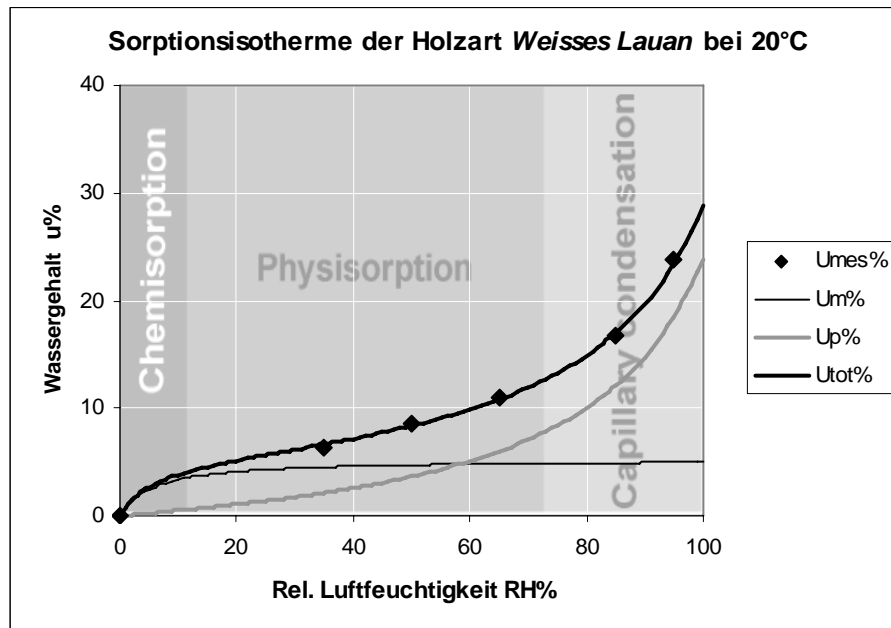


Abbildung 5-3: Gemessene und nach HH-Modell berechnete Sorptionsisotherme von *Weissen Lauan*.

Figure 5-5: Measured and according to the HH-model computed sorption isotherm of *white Lauan*.

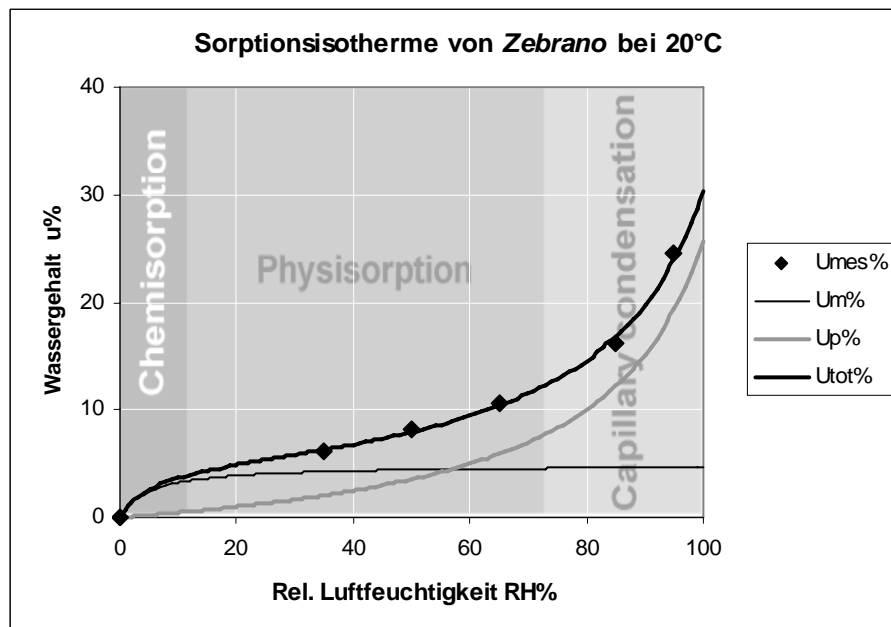


Abbildung 5-4: Gemessene und nach HH-Modell berechnete Sorptionsisotherme von *Zebrano*.

Figure 5-4: Measured and according to the HH-model computed sorption isotherm of *Zebrano*.

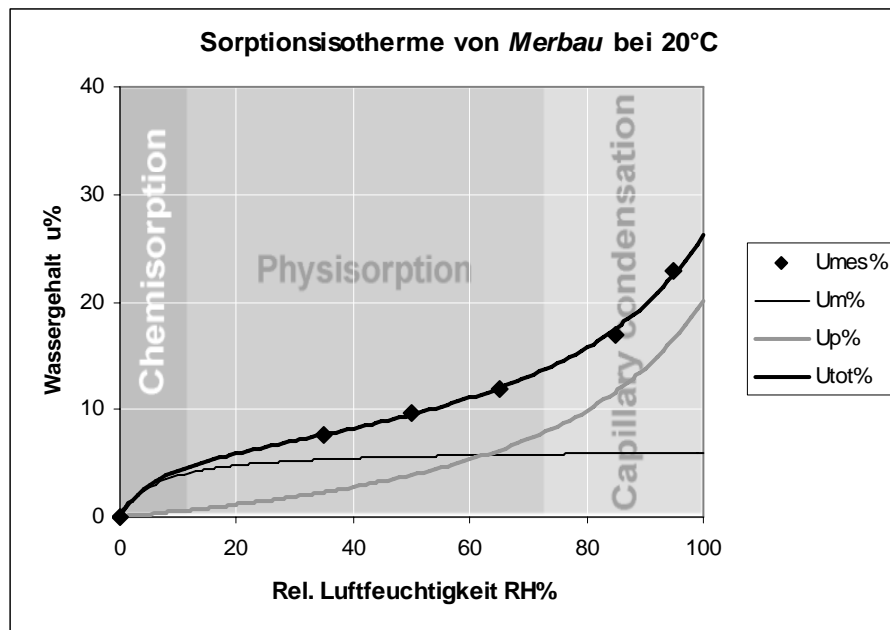


Abbildung 5-5: Gemessene und nach HH-Modell berechnete Sorptionsisotherme von *Merbau*.

Figure 5-5: Measured and according to the HH-model computed sorption isotherm of *Merbau*.

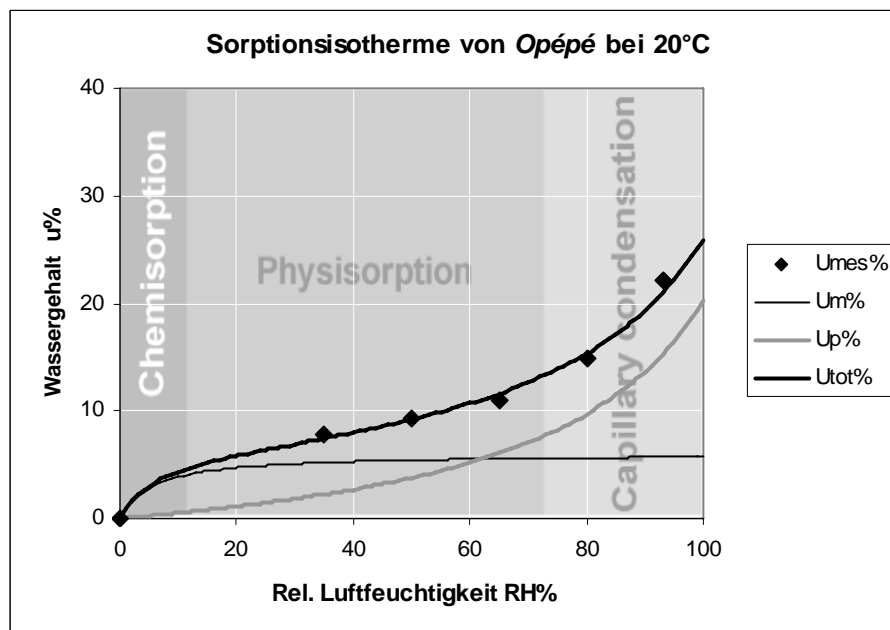


Abbildung 5-6: Gemessene und nach HH-Modell berechnete Sorptionsisotherme von *Opépé*.

Figure 5-6: Measured and according to the HH-model computed sorption isotherm of *Opépé*.

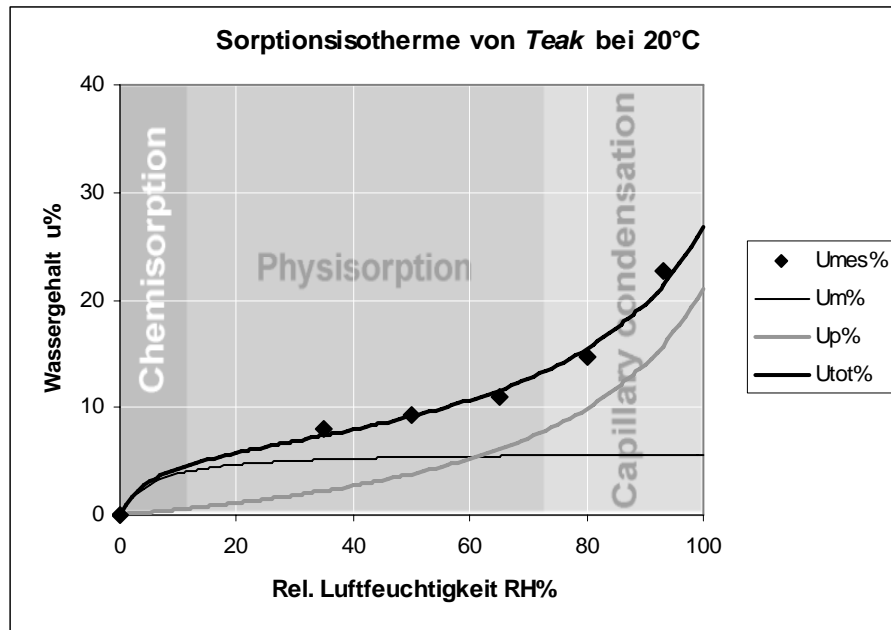


Abbildung 5-7: Gemessene und nach HH-Modell berechnete Sorptionsisotherme von *Teak*.

Figure 5-7: Measured and according to the HH-model computed sorption isotherm of *Teak*.

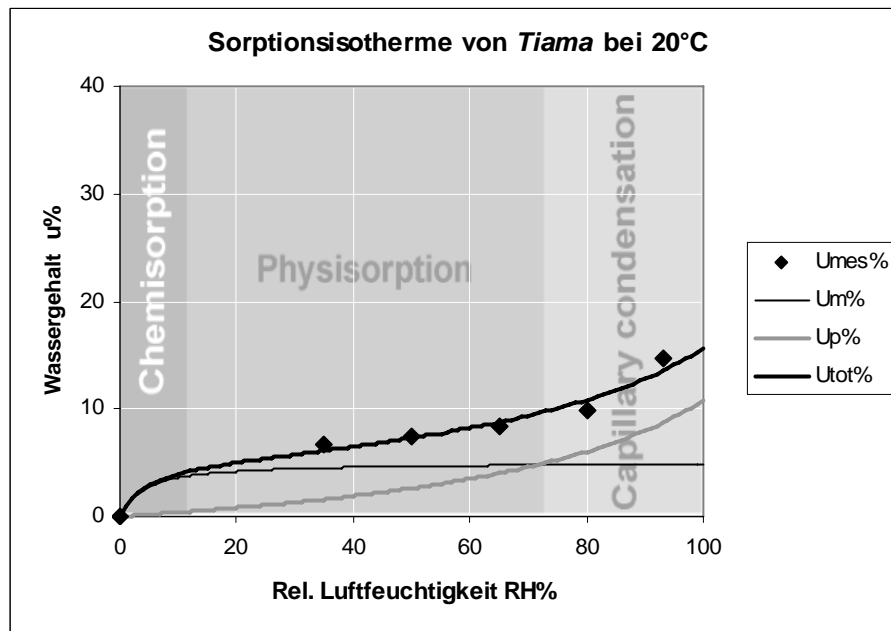


Abbildung 5-8: Gemessene und nach HH-Modell berechnete Sorptionsisotherme von *Tiama*.

Figure 5-8: Measured and according to the HH-model computed sorption isotherm of *Tiama*.

Legende:

Umes ... gemessener Wassergehalt der Proben beim rel. Dampfdruck RH in %,

Um	berechneter Wassergehalt in der monomolekularen Schicht beim rel. Dampfdruck RH in %,
Up	berechneter Wassergehalt in der polymolekularen Schicht beim rel. Dampfdruck RH in %,
Utot	berechneter Wassergehalt bei Fasersättigung (RH= p/p _S =100%) in %.

Tabelle 5-1: Gleichgewichtsfeuchten ausgewählter fremdländischer Holzarten
Table 5-1: Equilibrium moisture content of selected extraneous woods

Holzart	Gleichgewichtsfeuchte in % bei rel. Luftfeuchte					
	Mittelwert	35%	50%	65%	80%	93%
Canalete dunkel	x	5.8	7.7	9.8	14.5	18.0
Zebrano	x	6.1	8.2	10.6	16.2	22.1
Tiama	x	6.7	7.5	8.3	9.9	14.8
Teak	x	8.0	9.3	11.0	14.7	22.8
Opépé	x	7.9	9.3	11.0	14.9	22.2
Weisses Lauan	x	6.4	8.5	11.0	16.8	21.8
Wengé	x	5.9	7.8	9.8	14.2	16.7
Merbau	x	7.6	9.7	12.0	17.0	21.3

Tabelle 5-2: Berechnete Werte der Sorptionsanalyse nach dem HH-Modell für die ausgewählten Holzarten bei Fasersättigung.

Table 5-2: Computed values of sorption analysis according to the HH-model of selected woods at fiber saturation point.

Holzart	U_m (%)	U_p (%)	U_{FS} (%)	Σ (m ² /g)	Z (%)
Canalete, dunkel	4.6	18.2	22.8	163	56
Zebrano	4.6	25.6	30.3	164	56
Tiama	4.9	10.7	15.6	355	54
Teak	5.7	21.0	26.6	302	46
Opépé	5.7	20.6	26.2	299	46
Weisses Lauan	5.0	23.9	28.9	176	53
Wengé	4.9	15.4	20.3	172	54
Merbau	6.0	20.2	26.2	212	43

5.2 Feuchteverformung

Die maximalen linearen Quellmasse der Versuchsproben entlang der Sorptionsisotherme für die Tangential-, Radial- sowie Transversalrichtung sind in Tabelle 5-3 zusammengefasst. Die Bilder 5-9 bis 5-16 zeigen die Abhängigkeit der Quellmasse von der jeweiligen Holzfeuchte.

Tabelle 5-3: Tangentiales, radiales und transversales Quellmass entlang der Sorptionsisotherme.

Table 5-3: Tangential, radial and transversal swelling along the sorption isotherm.

Probe Nr.	RH%	MC (%)	$\alpha_{TG}\%$	$\alpha_{RD}\%$	$\alpha_{TR}\%$
Wengé	0	0.00			
	35	7.37	2.42	1.38	3.80
	50	8.37	2.92	1.66	4.59
	65	9.37	3.24	1.93	5.17
	80	11.34	4.17	2.32	6.49
	93	16.60	6.76	3.76	10.52
Lauan weiss	0	0.00			
	35	6.75	2.47	0.94	3.41
	50	8.02	3.00	1.09	4.09
	65	9.61	3.29	1.48	4.77
	80	13.26	5.10	2.11	7.22
	93	21.44	8.95	3.55	12.50
Opépé	0	0.00			
	35	7.89	1.57	0.95	2.52
	50	9.33	1.81	1.11	2.92
	65	11.11	2.17	1.45	3.62
	80	14.86	3.51	2.04	5.55
	93	22.21	5.81	2.92	8.72
Merbau	0	0.00			
	35	7.06	1.50	1.69	3.19
	50	9.29	2.46	2.30	4.76
	65	12.82	3.02	2.74	5.76
	80	18.20	4.01	3.46	7.46
	93	19.84	4.90	3.87	8.77
Teak	0	0.00			
	35	7.97	1.39	1.10	2.49
	50	9.30	1.88	1.36	3.24
	65	11.01	2.60	1.92	4.52
	80	14.67	3.94	2.80	6.74
	93	22.76	7.42	4.76	12.18
Tiama	0	0.00			
	35	6.69	1.70	1.20	2.90
	50	7.49	1.99	1.34	3.33
	65	8.32	2.44	1.57	4.00
	80	9.90	2.79	1.91	4.70
	93	14.75	4.34	2.91	7.25
Zebrano	0	0.00			
	35	6.96	2.35	1.42	3.77
	50	8.13	2.66	1.54	4.20
	65	9.60	3.16	1.98	5.14
	80	13.30	4.68	2.66	7.34
	93	22.00	8.13	4.29	12.42
Canalete dunkel	0	0.00			
	35	6.45	1.78	1.34	3.12
	50	7.48	2.42	1.66	4.08
	65	8.58	2.59	2.03	4.62
	80	11.19	3.58	2.69	6.26

	93	17.21	6.37	4.30	10.67
--	----	-------	------	------	-------

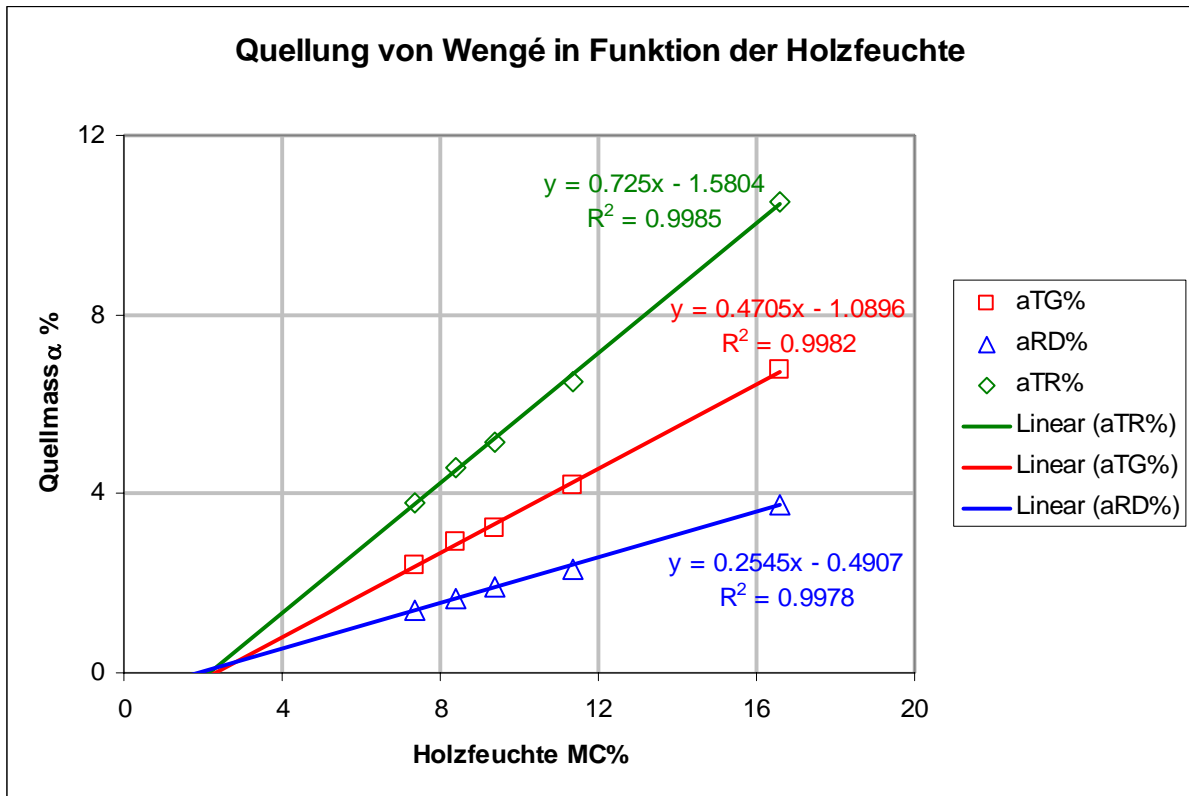


Abbildung 5-9: Quellmass von Wengé als Funktion der Holzfeuchte.
Figure 5-9: Swelling of Wengé as a function of the moisture content.

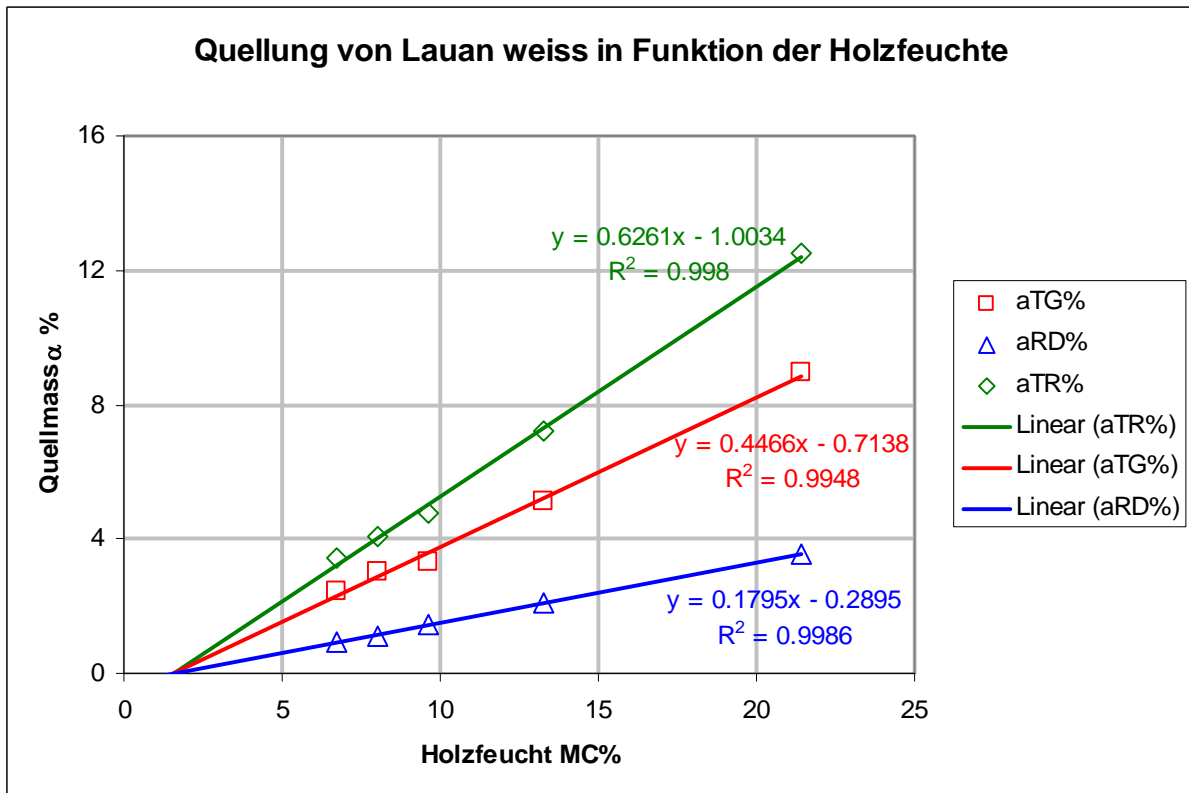


Abbildung 5-10: Quellmass von weissen Lauan als Funktion der Holzfeuchte.
Figure 5-10: Swelling of white Lauan as a function of the moisture content.

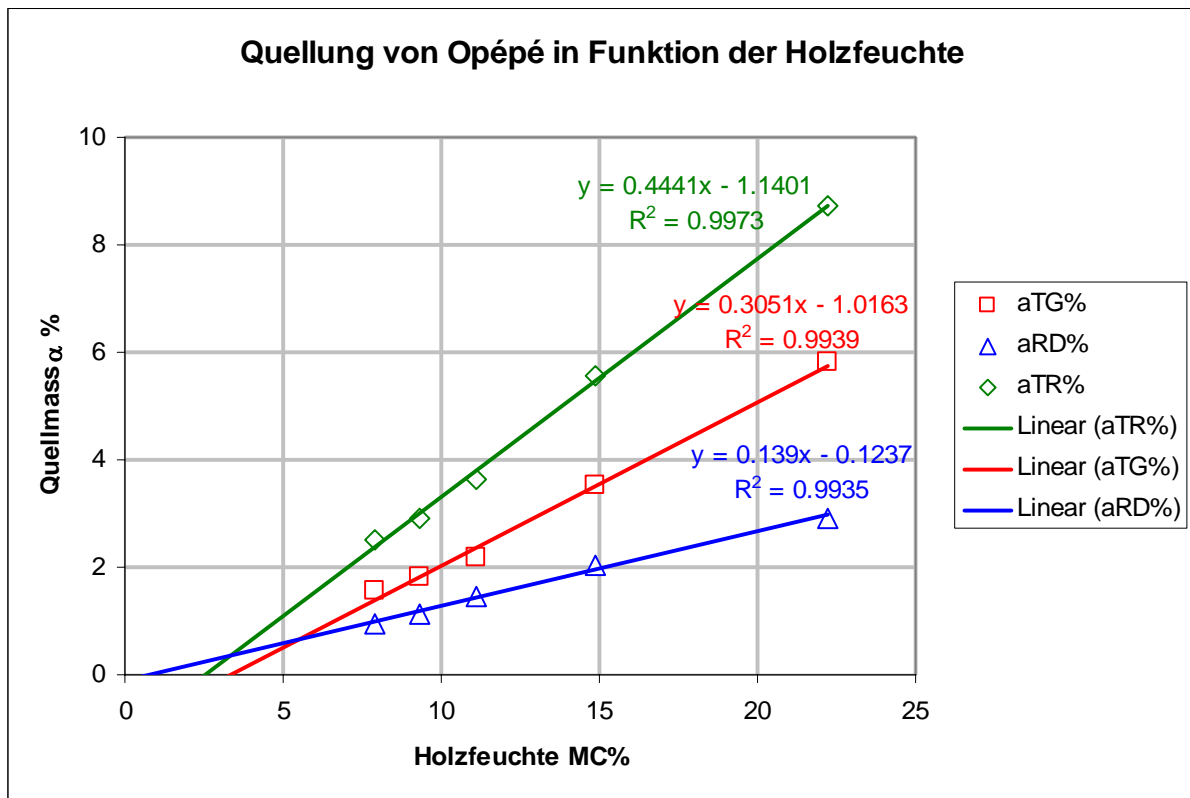


Abbildung 5-11: Quellmass von Opépé als Funktion der Holzfeuchte.
Figure 5-11: Swelling of Opépé as a function of the moisture content.

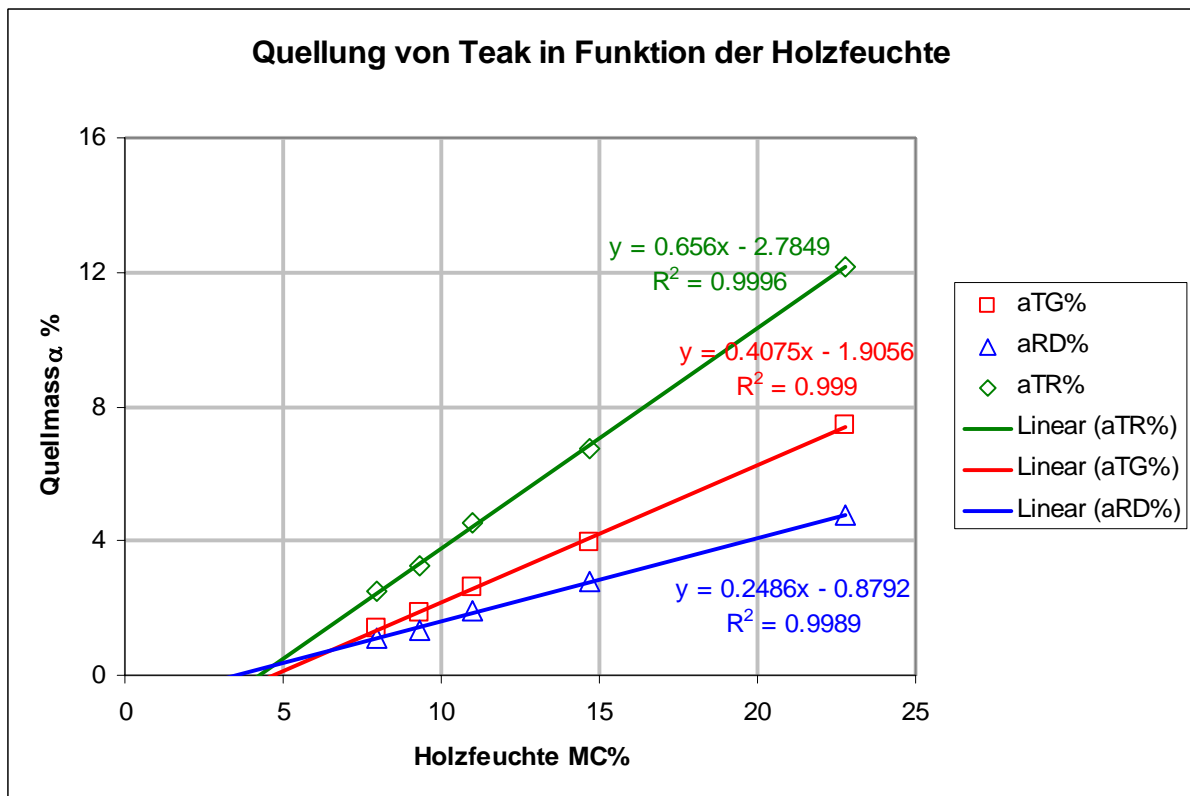


Abbildung 5-12: Quellmass von Teak als Funktion der Holzfeuchte.
Figure 5-12: Swelling of Teak as a function of the moisture content.

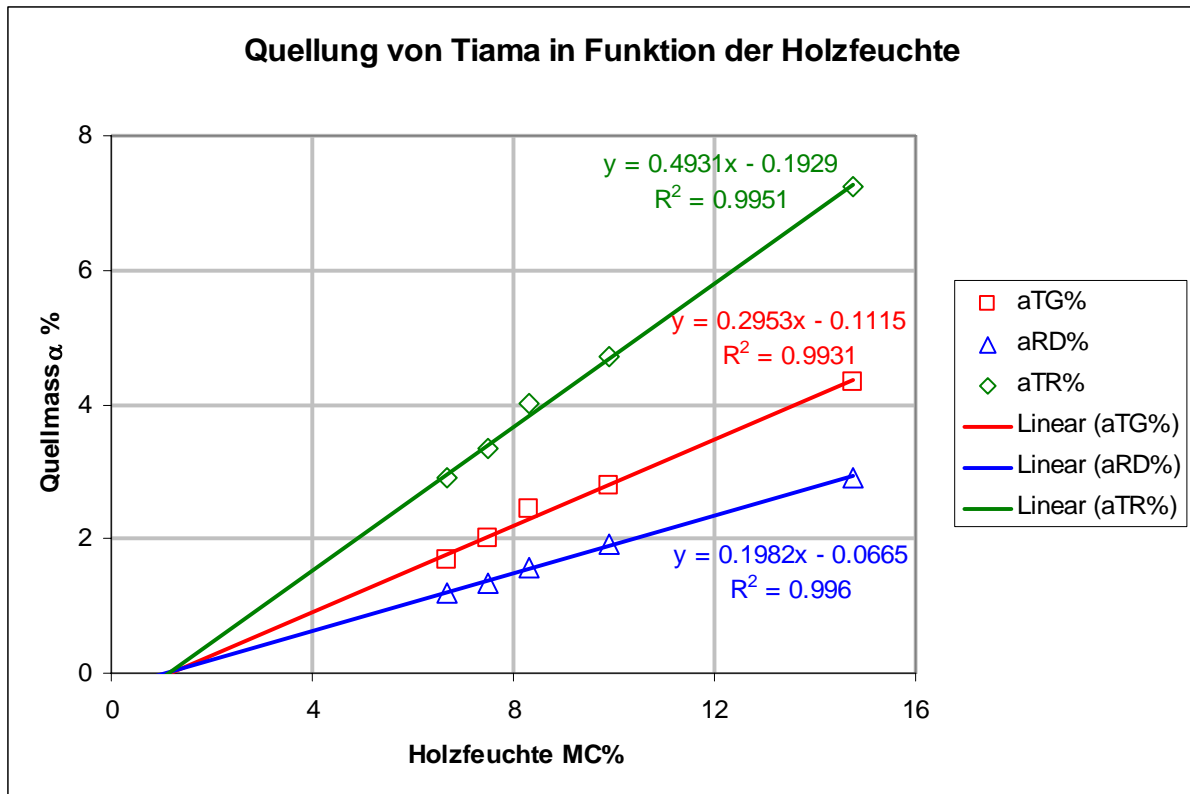


Abbildung 5-13: Quellmass von Tiama als Funktion der Holzfeuchte.
 Figure 5-13: Swelling of Tiama as a function of the moisture content.

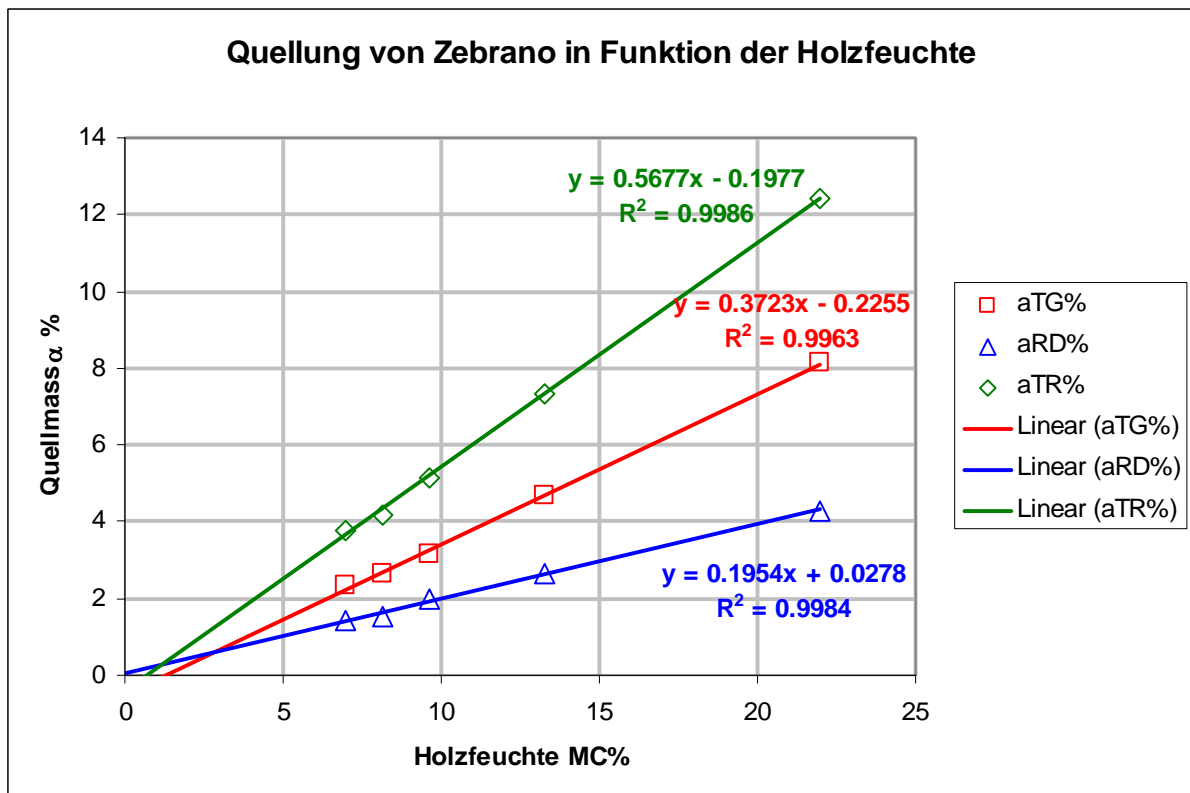


Abbildung 5-14: Quellmass von Zebrano als Funktion der Holzfeuchte.
 Figure 5-14: Swelling of Wengé as a function of the moisture content.

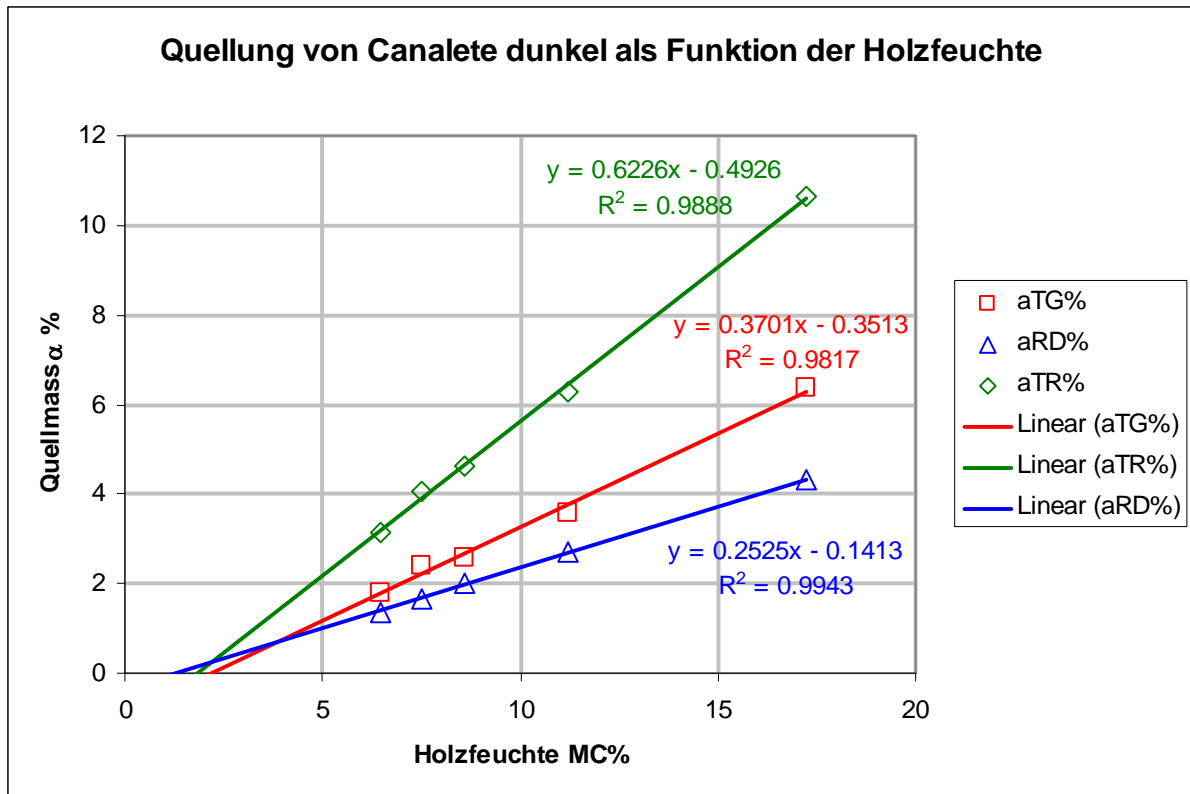


Abbildung 5-15: Quellmass von Canaete dunkel als Funktion der Holzfeuchte.
Figure 5-15: Swelling of dark Canaete as a function of the moisture content.

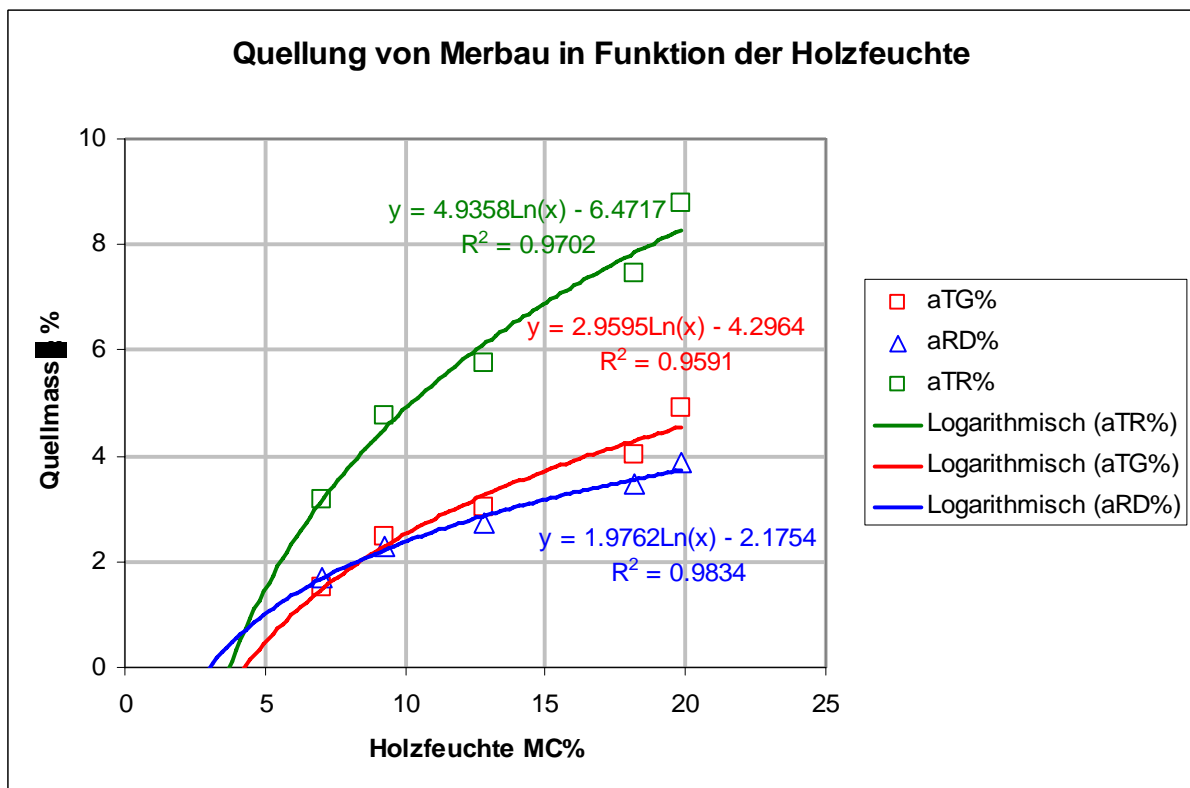


Abbildung 5-16: Quellmass von Merbau als Funktion der Holzfeuchte.
Figure 5-16: Swelling of Merbau as a function of the moisture content.

Die steile gravimetrische Holzfeuchtezunahme am Anfang der Wasserdampfeinwirkung steht in einem krassen Unterschied zum Quellungsverhalten im gleichen hygroskopischen Bereich. Das Holz quillt bis zu gewisser Holzfeuchte gar nicht. Dies kann man der hohen Affinität der sorptiv aktiven Molekülgruppen des Holzes zum Wasser im Bereich der Chemisorption zuschreiben. Das Wasser wird an das Holz so fest gebunden, dass es zu keiner Verformung des Holzes kommen kann. Durch die Anziehungskraft des Sorbens weist das sorbierte Wasser in den ersten Schichten eine Dichte von bis zu 1.4 auf (Seifert 1972; Popper et al. 1980). Die kalorimetrischen Bestimmungen des Energieaustausches an den Grenzflächen der Holzsubstanz während der Benetzung mit Wasser ergaben Informationen über die Anordnung der Sorbatmoleküle im sorbierten Zustand. Die Entropiewerte im Bereich der Chemisorption weisen darauf hin, dass sich die Sorbatmoleküle in einem starren Zustand mit stark beschränkten Rotations- und Translationsfreiheitsgrade befinden (Popper, Bosshard 1976). Das adsorbierte Wasser wird an den Sorbenten als Hydrat gebunden. Den Schnittpunkt der Quellungsregressionsgeraden mit der Holzfeuchte-Achse (Bilder 5-9 bis 5-16) kann man als Mass für das als Hydrat gebundene Wasser annehmen. Tabelle 5-4 fasst die berechneten Hydratbeträge für die untersuchten Holzarten zusammen.

Tabelle 5-4: Das scheinbares Hydratwasser in tangentialer H_{TG} , radialer H_{RD} und transversaler H_{TR} Richtung.
Table 5-4: The adsorbed water in the tangential- (H_{TG}), radial- (H_{RD}) and transversal- (H_{TR}) direction bound as a apparent hydrate.

Holzart	$H_{TG}\%$	$H_{RD}\%$	$H_{TR}\%$	Mittelwert H %
Wengé	2.18	2.32	1.93	2.14 ± 0.20
Weisses Lauan	1.60	1.60	1.61	1.60 ± 0.01
Opépé	2.57	3.33	0.89	2.26 ± 1.25
Teak	4.25	4.68	3.54	4.15 ± 0.58
Tiama	0.39	0.38	0.34	0.37 ± 0.03
Zebrano	0.35	0.61	0.14	0.37 ± 0.23
Dunkles Canelete	0.79	0.95	0.56	0.77 ± 0.20
Merbau	3.71	3.01	3.71	3.66 ± 0.63

Die differentielle Quellung der Versuchsproben in der Tangential- (q_{TG}), Radial- (q_{RD}) und Transversalrichtung (q_{TR}) sowie daraus errechnete Anisotropie (Aq) ergänzt durch Angaben über die selektivere Anisotropie (A_K) die Darr- (ρ_0) und die Normal- Rohdichte (ρ_N) sind in Tabelle 5-5 zusammengestellt.

Tabelle 5-5: Die differentielle Quellung in der Tangential-, Radial- und Transversalrichtung, die Quellungsanisotropie und die Darr- und Normal-Rohdichte.

Table 5-5: The differential swelling in the tangential, radial and transversal direction, the swelling anisotropy and the dry and normal bulk specific gravity of the material tested.

Holzart	q_{TG} %%	q_{RD} %%	q_{TR} %%	A_q	A_k	ρ_0 (g/cm ³)	ρ_N (g/cm ³)
Wengé	0.47	0.27	0.73	1.83	1.8	0.76	0.79
Weisses Lauan	0.44	0.18	0.62	2.48	2.5	0.65	0.68
Opépé	0.30	0.14	0.43	2.16	1.7	0.61	0.65
Teak	0.41	0.25	0.66	1.65	1.4	0.71	0.75
Tiama	0.33	0.21	0.54	1.54	1.5	0.81	0.84
Zebrano	0.38	0.19	0.58	2.01	1.7	0.66	0.69
Dunkles Canelete	0.47	0.27	0.70	1.56	1.4	0.81	0.84
Merbau	0.27	0.17	0.44	1.56	1.1	0.89	0.95

6 Schlussfolgerungen

- Die nach dem HH-Modell berechneten Fasersättigungsfeuchten ausgewählten fremdländischen Holzarten liegen allgemein gleich oder eher tiefer im Vergleich zu den heimischen Holzarten.
- Die untersuchten Holzproben ausser Merbau zeigten eine lineare Abhängigkeit des Quellmasses von der Gleichgewichtsfeuchte mit einem Bestimmtheitsmass von über 99%.
- Bei Merbau zeigt sich eine Anomalie gegenüber den übrigen Holzarten in dem die transversale Quellung eine nicht lineare Abhängigkeit der tangentialen und der radialen Quellung von der Gleichgewichtsfeuchte aufweist.
- Die Anisotropiewerte A_q sowie A_k von Merbau bewegen sich im unteren Bereich im Vergleich zu den anderen untersuchten Holzarten.
- Die nach dem HH-Modell errechnetes monomolekulares Wasser Um von 6%, sowie der niedrigste Z-Wert von 43% deuten darauf hin, dass die

Affinität der sorptiv aktiven Gruppen von Merbau zum Wasser sehr hoch ist.

- Das scheinbare Hydratwasser von Merbau ($H_{TR}=3.71\%$) zeigt den höchsten Wert aller untersuchten Holzarten, gefolgt von Teak ($H_{TR}=3.54\%$), Wengé ($H_{TR}=1.93\%$), weissen Lauan ($H_{TR}=1.61\%$) und Opépé ($H_{TR}=0.89\%$). Weit niedrigere Werte weisen Zebrano ($H_{TR}=0.14\%$), Tiama ($H_{TR}=0.34\%$) und Canelete ($H_{TR}=0.56\%$) auf. Demnach lassen sich die untersuchten Holzarten nach dem hypothetischen Hydratwasser in zwei Gruppen unterteilen:
 - $H_{TR}<1$ (Opépé, Canelete, Tiama, Zebrano).
 - $H_{TR}>1$ (Merbau, Teak, Wengé, Lauan).
- Die Normal-Rohdichte von Merbau ist mit $\rho_N = 0,95 \text{ g/cm}^3$ die höchste aller untersuchten Holzproben.
- Mit 37mmol/100g gesamt Phenolverbindungen und mit 139 mg/g löslicher Kohlenhydrate erweist Merbau die höchste Werte aller übrigen Holzarten.
- Die transversale differentielle Quellung q_{TR} der untersuchten Hölzern lässt sich in drei Gruppen unterteilen:
 - $q_{TR} \geq 0.70\%$ (Wengé, Canelete),
 - $0.50\% < q_{TR} < 0.70\%$ (Weisses Lauan, Zebrano, Tiama),
 - $q_{TR} < 0.50\%$ (Merbau, Opépé).
- Die Quellungenisotropie A_q kann man in zwei Gruppen unterteilen:
 - $A_q > 2$ (Weisses Lauan, Opépé, Zebrano),
 - $A_q < 2$ (Wengé, Teak, Canelete, Merbau, Tiama).

7 Literatur

- 1 DIN 52 182 (Sep. 1976): Prüfung von Holz. Bestimmung der Rohdichte.

- 2 DIN 52 183 (Nov. 1977): Prüfung von Holz. Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes.
- 3 DIN 52 184 (Mai 1979): Prüfung von Holz. Bestimmung der Quellung und Schwindung.
- 4 Hailwood, A.J.; Horrobin, S. (1946): Absorption of water by polymers. Analysis in term of single model. Trans Faraday Soc. 42B: 84-102.
- 5 Niemz, P.; Sonderegger, W. (2007): Sorptionsisothermen ausgewählter heimischer und fremdländischer Holzarten bei Adsorption und Desorption. Bauphysik 29(5): 381-382.
- 6 Popper, R.; Bosshard, H.H. (1976): Kalorimetrische Messungen zur Darstellung von Unterschieden im Cellulose-Lignin-System von Druck- und Normalholz. Holz Roh- Werkstoff 34: 281-288.
- 7 Popper, R.; Bosshard, H.H.; Eberle, G. (1980): Kinetische Feuchteverformungsmessungen an chemisch modifiziertem Holz. 2. Mitteilung: Transversale Messungen zwischen Trocknung und Wasserlagerung. Holz Roh- Werkstoff 38: 423-428.
- 8 Popper, R.; Niemz, P. (2006): Wasserdampf-Sorptionsverhalten ausgewählter Holzarten aus Rwanda. Holztechnologie (4): 39-44.
- 9 Popper, R.; Niemz, P.; Eberle, G.; Torres, M. (2007): Influence of extractives on water vapour sorption by example of wood species from Chile. Wood Research 52(1): 57-68.
- 10 Seifert, J. (1972): Sorption und Quellung von Holz und Holzwerkstoffen. 3. Mitteilung: Die Volumenkontraktion zwischen Holz und Wasser. Holz Roh- Werkstoff 30: 332-342.