

Flüssigholz – Ein Überblick

A. Burkhardt-Karrenbrock, S. Seegmüller, R. Burk

Im Zusammenhang mit der zunehmenden Bedeutung der nachhaltigen Produktion nachwachsender Rohstoffe wurde einer Reihe von bioabbaubaren Kunststoffen, die sogenannten Bioplastics auf der Basis natürlicher oder naturidentischer Polymere entwickelt. Zu den Bioplastics werden insbesondere auch Werkstoffe aus underivatisierten Biopolymeren wie Lignin ("Arboform") oder Polymischungen wie Holz ("Fasal" und "Fasalex") unter der Bezeichnung "Flüssigholz" gezählt. Arboform basiert als thermoplastisches System auf einer Ligninmatrix und wird durch Cellulosefasern verstärkt. Der Werkstoff wird wie Polyamid verarbeitet und eignet sich im besonderen Maße für anspruchsvolle Spritzgießanwendungen. Die Holz-basierten Werkstoffe Fasal und Fasalex verbinden eine Stärke-Matrix mit Cellulosefasern. Fasal und Fasalex lassen sich wie PVC verarbeiten. Während sich Fasal für die Spritzgießtechnik eignet, wurde Fasalex für die Extrusion entwickelt. Flüssigholz scheint in der Regel fester und steifer als herkömmliche Kunststoffe zu sein. Andererseits leiden diese Werkstoffe häufig unter einer beträchtlichen Sprödigkeit. Um diesem Nachteil abzuwehren, versuchen verschiedene Arbeitsgruppen, die Matrixelastizität durch verfahrensimmanente Modifikation und Derivatisierung zu erhöhen.

Liquid wood – a review

There is a growing impact of sustainable production from renewable resources on plastic and material producing industries. Therefore, a number of biodegradable plastics were developed from genuine or nature-like polymers. Materials from underivatized biopolymers, however, are called "liquid wood". Liquid wood may be based on pure biopolymers like lignin (e.g. "Arboform") or on mixtures of biopolymers (e.g. "Fasal" and "Fasalex"). Arboform is a thermoplastic system. It is based on a lignin-matrix. The material is strengthened by cellulose fibres. It may be processed like polyamide and is specially suited for demanding injection moulding. Wood based materials as Fasal or Fasalex connect a starch-matrix to cellulose fibres.

A. Burkhardt-Karrenbrock, R. Burk
Fachhochschule Kaiserslautern,
Standort Pirmasens, Carl-Schurz-Straße 1–9,
66953 Pirmasens

S. Seegmüller (✉)
Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz,
Hauptstraße 16, 67705 Trippstadt
e-mail: fva@rhrk.uni-kl.de; Fax: +49-6306-2821

They may be processed like PVC, especially as Fasal is suited for injection moulding and Fasalex is suited for extrusion. Apparently liquid wood is harder and stiffer than conventional plastics. On the other hand it is considerably brittle. Several institutes, however, try to overcome this disadvantage by improving matrix-elasticity through process-immanent modification and derivatisation.

Abkürzungen

BMELF	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
ICT	Fraunhofer Institut für chemische Technologie
IFA	Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie – Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie
MBV	Melitta Beratungs- und Verwaltungs GmbH & Co. KG. – Stab Öffentlichkeitsarbeit
TITK	Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V.

1 Einleitung

Holz lässt sich aufgrund seiner positiven Eigenschaften vielfältig verwenden. Hierzu gehört unter anderem das vorteilhafte Verhältnis von Gewicht und Festigkeit. Auf der anderen Seite beschränken schwerwiegende Nachteile des Holzes wie seine Inhomogenität deutlich die Einsatzoptionen. Um diese Nachteile zu überwinden, wurden zahlreiche, meist plattenförmige Holzwerkstoffe entwickelt, die sich allerdings nur beschränkt dreidimensional gestalten lassen. So werden bspw. 3-D-Formteile nachträglich aus MDF-Platten gefräst (Ernst 1997).

Andererseits sind aus der Kunststoffverarbeitung mit dem Spritzguss und der Extrusion Techniken der originären verlustfreien Strukturgestaltung bekannt. Während beim Spritzguss der Werkstoff unter Druck in eine geschlossene Form, das sogenannte Formnest, eingebracht wird, entstehen bei der Extrusion aus spezifisch geformten Düsen die gewünschten dreidimensionalen Profile. In den vergangenen Jahren wurden verstärkt Bemühungen unternommen, diese Techniken auf holzhaltige Werkstoffe anzuwenden.

So hat sich Holz bereits als Füllstoff unter dem Namen "wood-like-plastic" als Matrixverstärkung in Polypropylen-Systemen etabliert (Oksman und Clemons, 1998). Darüberhinaus werden seit einiger Zeit Überlegungen angestellt, biologisch abbaubare Kunststoffe, sogenannte

“Bioplastics”, zu entwickeln. Bioplastics können aus biotechnologischer Synthese, aus fossilen Rohstoffen sowie aus natürlicher Synthese hergestellt werden (Archodoulaki, Mundigler 1997, Grigat et al. 1997, Elb-Weiser 1998, MBV 1999, Nägele 1999, Van Soest Jeroen 1999, Witt et al. 1999). Unter den Produkten der letztgenannten Gruppe sind die biologisch abbaubaren cellulosischen Werkstoffe mit einer Matrix aus thermoplastischen Cellulosederivaten oder aus underivatisierten Biopolymeren von besonderer Bedeutung (Warth et al. 1996, TITK 1999, Wolff Walsrode AG 1999, Informationsdienst Wissenschaft 1999, Rettenbacher et al. 1999). Während kompostierbare Verbundwerkstoffe mit einer Matrix aus thermoplastischen Cellulosederivaten unter anderem als biologisch abbaubare Folien, Formkörper oder Verpackungsmaterialien verwendet werden (Warth et al. 1996, TITK 1999, Wolff Walsrode AG 1999), hat sich für Verbundwerkstoffe aus nativen Materialien mit Matrices aus underivatisierten Bio-Polymeren aus Holz der Begriff “Flüssigholz” oder “Flüssiges Holz” durchgesetzt (Rettenbacher und Mundigler 1998, ICT und Tecnar GmbH 1999, Informationsdienst Wissenschaft 1999, Rettenbacher et al. 1999). Erste Bemühungen in dieser Richtung reichen bis in die 20er Jahre zurück (Masarek & Cie 1927). Doch scheint es erst in den vergangenen Jahren gelungen zu sein, die Produkteigenschaften von Flüssigholz an gängige Holzwerkstoff-Ansprüche anzunähern.

Flüssigholzprodukte lassen sich auf der Basis von Lignin oder von Holz bzw. Holzmehl herstellen (Nägele 1999, Rettenbacher et al. 1999). Entsprechend dem verwendeten Rohstoff unterscheiden sich Produkteigenschaften, Produktionstechniken und Vermarktungsperspektiven. Deshalb sollen in den folgenden Kapiteln die verschiedenen Materialien am Beispiel des ligninbasierten “Arboform” und des holzbasierten “Fasal” bzw. “Fasalex” beschrieben werden.

2 Flüssigholzprodukte

2.1 Ligninbasierte Werkstoffe am Beispiel “Arboform”

2.1.1 Chemische Aspekte

Der thermoplastische Konstruktionswerkstoff “Arboform” basiert auf dem Holzinhaltstoff Lignin als Gel/Schmelz bildendem Polymer (ICT und Tecnar GmbH 1999, Informationsdienst Wissenschaft 1999). Das Matrixmaterial wird mit 1–6 mm langen cellulosischen Fasern wie Flachs, Hanf oder Chinaschilf als Verstärkungskomponente und verschiedenen Additiven bei ca. 170 °C unter Berücksichtigung einer definierten Feuchte von ca. 6–8% zu einem Faserverbundwerkstoff gemischt (ICT 1999, Nägele 1999, Schulte 2000). Die Granulatherstellung greift die molekulare Struktur der Polymere an und ordnet die Molekülketten zu “Mischpolymeren” aus Cellulose und Phenylpropanolen um (Jakobi 1999).

Bei erneuter Erwärmung der Granula aggregieren die Phenylpropanole und die Viskosität des Werkstoffs nimmt

zu. Dementsprechend lässt sich Arboform wie ein thermoplastischer Kunststoff sowohl mit herkömmlichen Spritzgießmaschinen mit V2A-Stahlwerkzeug für die Verarbeitung von glasfasergefülltem Polyamid in die gewünschte Form bringen als auch extrudieren (ICT und Tecnar GmbH 1999, Jakobi 1999, Schulte 2000).

2.1.2 Eigenschaften und Verwendung

Wie das Beispiel Arboform zeigt, erreichen die Werkstoffeigenschaften von Arboform die Holzeigenschaften in der Regel nicht (Tab. 1). So liegen insbesondere die Zug- und Biegefestigkeit sowie das Biege-E-Modul bei etwas höherer Materialdichte um etwa den Faktor 10 unter den Vergleichswerten für Holz (Tab. 1, ICT und Tecnar GmbH 1999, IFA 1999). Andererseits verändert Arboform seine Dimension bei Temperaturunterschieden nur wenig (Tab. 1, Schulte 2000).

Dementsprechend scheint sich das neue Material als Ersatz für Edelholzfurniere auf Lenkrädern und Armaturenbletern zu eignen (ICT und Tecnar GmbH 1999). Weil sich Furniere bei starken Temperaturschwankungen bzw. positiven und negativen Temperaturmaxima im Automobil vom meist kunststoffgeprägten Trägermaterial leicht ablösen oder reißen, stellt Arboform mit seinen holzähnlichen Eigenschaften eine vielversprechende Alternative dar (ICT und Tecnar GmbH 1999).

Außerdem bietet sich Arboform wegen seiner werkstoffimmanenten Homogenität als Kunststoffersatz für Formteile wie Computer-, Fernseh- oder Handygehäuse, Holz-Formteile mit 3-D-Freiformflächen, Formteile aus geschäumtem Lignin mit Integralhaut zur Gewichtsreduzierung bzw. Aussteifung oder als Platten mit oder ohne Holzfurnierschicht an (ICT 1999). Gerade in Bezug auf die neue Altautoverordnung, welche die Automobilhersteller zur Rücknahme und entsprechenden Entsorgung der Autos verpflichtet, könnten diese Möglichkeiten zu einem Umdenken führen. Dementsprechend kann der neuartige Holzwerkstoff u. U. in Zukunft klassische Kunststoffe wie Polyamid oder andere technische Konstruktionswerkstoffe in spezifischen Marktsegmenten verdrängen (Informati-

Tabelle 1. Werkstoffeigenschaften von Arboform
Table 1. Material properties of Arboform

Eigenschaft	Wertebereich
Zugfestigkeit (N/mm ²)	10–22
Reißdehnung (%)	0,3–0,7
Zug E-Modul (N/mm ²)	1000–5000
Biege E-Modul (N/mm ²)	1000–5000
Biegespannung (N/mm ²)	10–50
Schlagzähigkeit (KJ/m ²)	2–5
Formschwind (%)	0,1–0,3
Ausdehnungskoeffizient (1/°C)	1*10 ⁻⁶ –5*10 ⁻⁶
Dichte (im Kompaktformteil, g/cm ³)	1,3–1,4
Wassergehalt (%)	2–10
Kugeldruckhärte (N/mm ²)	20–70
Härte (Shore D)	50–80

Arboform wird auf der Basis von Lignin und thermoplastischer Stärke im Spritzguß verarbeitet. Die Materialeigenschaften wurden durch ICT und Tecnar GmbH (1999) charakterisiert

onsdienst Wissenschaft 1999). Dementsprechend dürfte Arboform als ein auf einer nachwachsenden Kohlenstoffquelle basierender Werkstoff eine ressourcenschonende Alternative zu herkömmlichen Kunststoffen auf der Basis fossiler Rohstoffe darstellen (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 1996).

2.2

Holzbaasierte Werkstoffe am Beispiel Fasal und Fasalex

2.2.1

Chemische Aspekte

Holzbaasierte Flüssigwerkstoffe wurden als thermoplastische Werkstoffe mit Cellulosefasern in einer Matrix aus Stärke und/oder Proteinen mit Harzen und verschiedenen Hilfsstoffen bei einem definierten Wassergehalt für Spritzguss (Fasal) und Extrusion (Fasalex) entwickelt. (Rettenbacher und Mundigler 1998, IFA 1999a, Fasalex GmbH 1998).

Als Faserquelle für die ca. 48–60 Gew.-% pflanzlichen Fasern in Fasal eignen sich Holzspäne oder -mehl, reine Cellulose oder sonstiges Fasermaterial wie Kokos, Flachs, Hanf, Reisschalen oder Stroh. Während die Faserherkunft von untergeordneter Bedeutung ist, entscheidet die Größenverteilung von Spänen und Pulver über die mechanische Belastbarkeit (Rettenbacher und Mundigler 1998, IFA 1999a, Fasalex GmbH 1998).

Die Fasern werden in eine Matrix aus Stärke eingebettet, die mit 20–35 Gew.-% der zweithäufigste Fasal-Bestandteil ist. Neben der Verwendung von isolierter Stärke oder einem pflanzlichen Stärke-Rohprodukt wie Maisgries oder -mehl scheint die Verwendung von Dextrinen, Pektinen oder Proteinen als Bindemittel denkbar.

Fasal erhält seine spezifischen Eigenschaften durch 5–10 Gew.-% natürliche oder synthetische seitenkettenreiche Harze, die sich u. a. hydrophob verhalten und den ansonsten hydrophilen Werkstoff vor Feuchtigkeit und Mikroorganismen schützen (Mundigler und Rettenbacher 1999, Rafler 1999). Neben den Harzen können Fettsäuren, Polyole und Salze, härtende Öle, Gerbstoffe, Weichmacher, Biozide, aushärtbare Heißhärtungskomponenten, organische Farbstoffe bzw. anorga-

nische Pigmente und Füllstoffe zur Erzielung besonderer Eigenschaften zugesetzt werden (Rettenbacher und Mundigler 1998). Mehrwertige Alkohole fördern als Weichmacher die Bruchdehnbarkeit auf Kosten der Zugfestigkeit (Wiedmann 1994). Auch Fettsäuren verbessern neben der Hydrophobie des Werkstoffs die Bruchdehnbarkeit. Schließlich verhindern expansionsunterdrückende Polyole und Salze nach der Extrusion unerwünschtes Aufschäumen des Werkstoffs (Mundigler und Rettenbacher 1999, Rafler 1999). Dem Wassergehalt von Flüssigholz kommt mit seiner Determination des molekularen Abbaus, der Erweichungstemperatur, des Koch- und Aufschäumgrades sowie der Rehydrierung und Versprödung der Endprodukte eine große Bedeutung zu (Wiedmann 1994).

Trockenmischungen aus Cellulose, Stärke und Additiven werden durch Wärme, Druck und Scherkräfte bei definierten pH-Werten und Feuchtegehalten im Extruder aufgeschlossen und bilden aufgrund der Destrukturierung und Homogenisierung der Stärke einen plastischen Strang (Wiedmann 1994, Mundigler und Rettenbacher 1999, IFA 1999a). Die Rohmasse mit einem Wassergehalt von ca. 10% wird durch Heißabschlag zu der für Kunststoff handelsüblichen Größe granuliert (Fasalex® 1999, Mundigler und Rettenbacher 1999). Das Granulat darf nicht getrocknet werden, da die Feuchte über die spätere Verarbeitbarkeit entscheidet (Mundigler und Rettenbacher 1999).

2.2.2

Fasal – Eigenschaften und Verwendung

Fasal-Granulat aus Naturstoffen (F 134; Tab. 2) oder gemischt mit bioabbaubaren bzw. nicht -abbaubaren Kunststoffen (F 197, F 386 mit Polyestern oder Polyamiden bzw. F 230 mit Polyethylen; Tab. 2) kann auf herkömmlichen Standardspritzgießmaschinen bei großen Düsenöffnungen mit Thermoplast- oder PVC-Schnecken geringer Kompression unabhängig von Rückstromsperrern verarbeitet werden. Wegen der entscheidenden Bedeutung der Feuchte für die Werkstoffverformung in der Maschine darf jedoch keine Entgasungsschnecke eingesetzt werden (IFA 1999a). Die Compoundierung mit herkömmlichen Kunst-

Tabelle 2. Eigenschaften von Fasal F 134, 465, 230 und 386
Table 2. Properties of Fasal F 134, 465, 230, and 386

Eigenschaft	Fasal F 134	Fasal F 465	Fasal F 230	Fasal F 386
Dichte (g/cm ³)	1,4	1,2	1,1	1,3
Zugfestigkeit (N/mm ²)	25	16	8	19
Zug-E-Modul (N/mm ²)	13200	4700	1300	3700
Biegefestigkeit (N/mm ²)	45	35	14	30
Biege-E-Modul (N/mm ²)	5800	4200	960	2800
Oberflächenhärte (N/mm ²)	90	85	21	51
Bruchdehnung (%)	0,3	k. A.*	2,5	1,5
Schlagzugfähigkeit (KJ/m ²)	40	k. A.	35	50
Schraubenauszieh widerstand (N/mm)	150	k. A.	k. A.	k. A.
Spez. Durchgangswiderstand (Ω*cm)	>10 ¹²	k. A.	k. A.	k. A.
Oberflächenwiderstand (Ω)	>10 ¹⁰	k. A.	k. A.	k. A.
Dimensionsänderung/Feuchte (%/%)	0,04	k. A.	k. A.	k. A.

* k. A. – keine Angaben

Fasal 134 stellt ein reines Naturprodukt dar. Fasal 465, 230 und 386 sind Blends mit herkömmlichen Kunststoffen. Insbesondere Fasal 230 ist nicht biologisch abbaubar. Die Daten wurden vom IFA (1999c) mitgeteilt

stoffen erhöht wesentlich die Wasserbeständigkeit und die Fließfähigkeit des Materials (IFA 1999a). Auf der anderen Seite ist Fasal hinsichtlich seiner mechanischen Eigenschaften mit Ausnahme der Bruchdehnung den Fasal-Kunststoff-Blends überlegen (Tab. 2; IFA 1999a). Alle Fasal-Typen lassen sich beliebig einfärben. So wird Fasal 134 als gefärbtes Granulat verarbeitet, während die anderen Fasal-Typen im Zuge des Spritzgussprozesses mit speziellen "Master-Batches" eingefärbt werden (IFA 1999c).

Fasal 134 ist deutlich dichter als Holz und erreicht die für Hart-PVC typischen Werte (Tab. 3; IFA 1999c). Trotzdem stellen sich die meisten mechanischen Eigenschaften von Holz günstiger als bei Fasal dar. Insbesondere ist Holz zäher und elastischer als Fasal (Tab. 3; IFA 1999c). Dementsprechend kann eine äußere Belastung sehr schnell Mikrorisse in Fasal hervorrufen. Besonders hinsichtlich Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Biegefestigkeit scheint auch Hart-PVC Fasal überlegen zu sein (Tab. 3; IFA 1999c). Auf der anderen Seite verformt sich das thermoplastische Hart-PVC ohne Weichmacher schon weit vor seinen Festigkeitsgrenzen irreversibel. Demgegenüber reicht der elastische Bereich von Fasal, die sogenannte Streckgrenze, deutlich näher an die Festigkeit heran. Weiterhin neigt Fasal entsprechend den Zug- und Biege-E-Moduli deutlich weniger zum Kriechen (Tab. 3, IFA 1999c). Der geringen Retardation entsprechend dürfte Fasal steifer als Hart-PVC sein. Schließlich stellt sich der Schraubenauszugswiderstand bei Fasal günstiger als bei Holz dar (Tab. 3; IFA 1999c).

Fasal lässt sich wie Holz lackieren, lasieren, folieren, pulverbeschichten oder mit Echtholz furnieren (Mundigler und Rettenbacher 1999). Diese Veredlungstechniken dienen auch der Schmutz- und Feuchteresistenz sowie der Steifigkeit (IFA 1999a, Rettenbacher et al. 1999). Dementsprechend wird Fasal hauptsächlich dort eingesetzt, wo komplizierte Strukturen hergestellt werden, wie in der Möbelindustrie, Spielzeugindustrie, sowie im Deko-Bereich oder Sportartikelsektor.

2.2.3

Fasalex –Eigenschaften und Verwendung

Fasalex wurde als extrudierbarer Werkstoff für den Haus- und Umbau im Innen- und Außenbereich konzipiert. So eignet er sich z. B. für Bauprofile, Kabelkanäle und Blenden bzw. Leisten im Innenbereich (Colvin 1998, Fasalex GmbH 1998, Rettenbacher et al. 1999).

Fasalex enthält wie Fasal große Anteile Holz, Mais und chemische Additive (vgl. Kap. 2.2.1.; Fasalex[®] 1999). Die Granulatherstellung einschließlich des Heißabschlags basiert auf ähnlichen Grundlagen (vgl. Kap. 2.2.1.; Fasalex[®] 1999, Rettenbacher et al. 1999). Das Material lässt sich auf für die PVC-Extrusion üblichen Doppelschneckenextrudern mit geringer Scherenergie extrudieren. Die Doppelschneckenextruder ermöglichen mit ihrer modularen Bauweise offensichtlich den Verzicht auf aufwendige Umrüstungen und erlauben, optimal auf aktuelle Produktanforderungen zu reagieren (Fasalex[®] 1999).

Extrudierbares Holz lässt sich aus nachwachsenden Rohstoffen mit natürlichen Harzen (z. B. Fasalex LEX

Tabelle 3. Mechanische Eigenschaften von Fasal im Vergleich zu Hart-PVC und Holz

Table 3. Mechanical properties of Fasal in comparison to duro-pvc and wood

Eigenschaft	FASAL F 134	Hart PVC	Holz
Dichte (g/cm ³)	1,4	1,39	0,37–0,59
Zugfestigkeit (N/mm ²)	25	55–70	80–100
Bruchdehnung (%)	0,3	8–20	
Zug- E- Modul (N/mm ²)	13200	2800–3300	
Biegefestigkeit (N/mm ²)	45	75–110	70–100
Biege E-Modul (N/mm ²)	5800	2000	10000–13000
Oberflächenhärte (N/mm ²)*	90	120–140	14–23
Schraubenauszugswiderstand (N/mm)	150		60–100

* Brinell-Härte (TGL 25/116/14)

In der vorliegenden Tabelle wurde das aus Naturprodukten hergestellte Fasal F 134 mit Hart-PVC und Holz verglichen. Die Mischung von Fasal mit herkömmlichen Kunststoffen kann daneben die Werkstoffeigenschaften entscheidend beeinflussen (Tab. 2). Die Daten wurden vom IFA (1999c) mitgeteilt

Tabelle 4. Gegenüberstellung einiger Eigenschaften von FASALEX-Werkstoffen mit ausgewählten MDF-Produkten

Table 4. Comparison of some properties of Fasal-material and selected MDF-products respectively

Kennwert	LEX 213 N [#]	LEX 380 B ⁺	MDF E1 [§]
Dichte (g/cm ³)	1,07	1,25–1,30	0,71–0,75
Schlagzähigkeit (kJ/m ²)	1,8	5,0–6,0	
Biegefestigkeit (N/mm ²)	13	17–25	17
Biege E-Modul (N/mm ²)	3400	2000–2500	1500–3000
Dickenquellung (%)♥	3,0–4,0	2,3–3,0	5,5–6,5
Dickenquellung (%)♣		Ca. 15	<8
Gewichtszunahme (%)♥	20	6–7	8–11

[#] Natürliche Basismischung, ⁺ Bioabbaubarer Kunststoff als Additiv, [§] MDF der Firma Kronospan mit 30–45 mm Dicke, ♥ nach 2 Stunden Wasserlagerung, ♣ nach 24 Stunden Wasserlagerung; Die Daten wurden vom IFA (1999b) herausgegeben

Tabelle 5. Vergleich der mechanischen Eigenschaften von Fasalex mit herkömmlichen Leistenwerkstoffen
Table 5. Comparison of mechanical properties of Fasalex and conventional ledge material, respectively

Eigenschaften	Fasalex	PVC-Hart	Holzwerkstoffe*
Dichte (kg/dm ³)	0,5–1,1	1,3–1,4	0,5–1,0
Oberflächenhärte (N/mm ²)	30–70	100–140	40–100
Biegefestigkeit (N/mm ²)	15–30	70–100	10–50
Biege-E-Modul (N/mm ²)	2000–3000	2000	1000–1500
Zugfestigkeit (N/mm ²)	5–20	50–70	4–40
Zug-E-Modul (N/mm ²)	3000–4000	2500–3000	3000–5000
Dickenquellung ⁺ (%)	1–4		2–8
Granulatgröße (mm)	3–6		
Schüttgewicht (kg/dm ³)	0,3–0,4		

* z.B. Span- oder MDF-Platte, ⁺ nach 2 Stunden Wasserlagerung
 Die Daten wurden vom IFA (1998) veröffentlicht

213 N), mit bioabbaubaren Kunststoffen (z. B. Fasalex LEX 377 B und LEX 380 B) oder mit "umweltfreundlichen Kunststoffen" compoundieren (LEX 111 S; Tab. 4; Fasalex GmbH 1999, Rettenbacher et al. 1999). Extrudierbares Flüssigholz ist in der Regel dichter als herkömmliche Holzwerkstoffe bzw. Kunststoffe, so dass beispielsweise Bauteile aus Fasalex bei gleichem Werkstoffvolumen schwerer als Bauteile aus MDF sind (Tab. 4, 5). Auf der anderen Seite ist Fasalex fester und steifer als Holzwerkstoffe. Die Festigkeitswerte erreichen diejenigen von MDF, jedoch nicht diejenigen von PVC (Tab. 4, 5; IFA 1998, 1999b). Obwohl Fasalex bei kurzzeitiger Wasserlagerung mehr Wasser als MDF aufnimmt, quillt es nach längerer Zeit im Wasser deutlich weniger als das Vergleichsmaterial (Tab. 4; IFA 1999b).

3 Ausblick

Neben den vorgestellten Flüssigholz-Beispielen werden derzeit weitere holzbasierte Spritzgieß- oder Extrusionswerkstoffe entwickelt (Albert-Ludwig-Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum 1998, Glasser 1999, Nitz 1999). Wenn auch zur Zeit keine weiteren Informationen zu diesen Bemühungen vorliegen, so scheinen sich doch bestimmte Entwicklungsschwerpunkte abzuzeichnen.

Wie andere Werkstoffe auf biologischer Basis leidet Flüssigholz derzeit hauptsächlich unter seiner Sprödigkeit (vgl. Kap. 2.2.2, 2.2.3). Ob sich dieser Nachteil mit Hilfe der aus dem Kunststoffsektor bekannten "reaktiven Extrusion" im Wege der "Stärke-Pfropf-Copolymerisierung" beheben lässt, müssen derzeit laufende Untersuchungen klären (Wiedmann 1994, Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung in Detmold und Münster 1999). Darüberhinaus müssen weitere Versuche zeigen, inwieweit sich die Flüssigholzqualität durch eine verfahrensinterne Matrixmodifizierung und -derivatisierung u. a. auf dem Wege einer Steuerung von Stärkeveresterung und -veretherung verbessern lässt (Gimmler 1992, Rettenbacher und Mundigler 1998).

Derzeit erscheinen kaum Produkte aus den neuen Holzwerkstoffen auf dem Markt. Offensichtlich konnte sich Flüssigholz noch nicht gegen konkurrierende Holz- und Kunststoffwerkstoffe durchsetzen. Auf der anderen Seite weisen die zugänglichen Informationen auf wirtschaftliche und technische Potentiale hin. So lässt sich Flüssigholz einerseits wie herkömmlicher Kunststoff

produzieren und vertreiben, andererseits wie Holz be- und -verarbeiten bzw. kombinieren und entsorgen. Dementsprechend scheint die Flüssigholz-Verwendung sowohl der Holz- als auch in der kunststoffverarbeitenden Industrie ohne größere Investitionen deutliche Vorteile zu eröffnen. Dies dürfte insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen die Möglichkeit bieten, mit ökonomisch zukunftsfähigen und vergleichsweise umweltverträglichen Produkten neue Märkte zu erschließen.

4 Literatur

- Albert-Ludwig-Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum (Hrsg.) (1998) Jahresbericht 1998: 77
 Archodoulaki V-M, Mundigler N (1997) Spritzgießverarbeitung von BAW. Kunststoffe 87: 5
 Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung in Detmold und Münster (BAGKF) (Hrsg.) (1999) Entwicklung biologisch abbaubarer Werkstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe, Stärke, Pflanzenöl und Naturfasern. Teilprojekt 1998–2001. Fördernummer 95-NR-118-F-S. Internet-Adresse: <http://www.dainet.de>: 8080. Stand 27.10.1999
 Colvin R (1998) Plastic-wood composite opens a new option for lineal extrusion. *Plasticscope* 1998: 44
 Elb-Weiser K (1998) Ecoflex-biodegradable plastic from BASF, Pressemitteilung Nowea K'98 vom 17.03.99, Ludwigshafen/Rhein
 Ernst K (1997) Entwicklungsmöglichkeiten von MDF. *Holz Roh-Werkstoff* 55: 3–8
 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.) (1996) Aufschlußreiches zu Holzaufschlußverfahren. Symposium der FNR e.V., Braunschweig. Internet-Adresse: <http://www.dainet.de/fnf/presse>. Stand 27.10.1999
 Fasalex GmbH (Hrsg.) (1998) Der Kopf ist rund, damit das Denken die Richtung ändern kann – Holzwerkstoff – Extrudierbares Holz ohne Kunststoff. Kopfling, Selbstverlag der Fasalex GmbH. 11 Seiten
 Fasalex GmbH (1999) Faxmitteilung vom 18.11.1999. IFA, Tulln.
 Fasalex® (Hrsg.) (1999) Verfahrensbeschreibung der Fasalex-Granulatproduktion und der Fasalex- Profilproduktion. Tulln: Selbstverlag des IFA
 Fraunhofer Institut für chemische Technologie (Hrsg.) (1999) Lignin – weltweite Ressourcen neu genutzt. Internet-Adresse: <http://www.ict.fhg.de>. Stand 05.10.1999
 Fraunhofer Institut für chemische Technologie und Tecnaro GmbH (Hrsg.) (1999) Hochwertige Thermoplaste aus nachwachsenden Rohstoffen. Pfintzal-Söllingen: Selbstverlag
 Gimmler, N (1992) Optimierung der Prozessbedingungen zur Herstellung von Stärkederivaten in einem gleichlaufenden Zweiwellenextruder als Reaktor. Dissertation an der Universität Berlin

- Glasser W** (1999) Persönliche Mitteilung vom Nov. 1999. Virginia Tech, Blacksburg, USA
- Grigat E, Littek W, Schulz-Schlitt W** (1997) Kompostierbare Folien und Beutel. *Kunststoffe* 87: 5
- Informationsdienst Wissenschaft** (Hrsg.) (1999) Flüssiges Holz. In: Mitteilung der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Überregionale Forschungsprojekte, Chemie und Biochemie, Werkstoffwissenschaften. Internet-Adresse http://idw.tu-clausthal.de/public/zeige_pm.html?pmid=1245. Stand 21.09.1999
- Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie – Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie** (Hrsg.) (1998) Jahresbericht 1998. Tulln: Selbstverlag des IFA
- Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie – Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie** (Hrsg.) (1999a) FASAL – Ein thermoplastischer Werkstoff aus Holz für den Spritzguß. Tulln: Selbstverlag des IFA
- Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie – Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie** (Hrsg.) (1999b) Informationsblatt. Tulln: Selbstverlag des IFA
- Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie – Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie** (1999c) Mündliche Mitteilung
- Jakobi M** (1999) Persönliche Mitteilung. Fachhochschule Rheinland-Pfalz, Standort Pirmasens, Pirmasens
- Masarek & Cie** (1927) Verfahren zur Herstellung künstlicher Massen. In: Reichspatentamt (Hrsg.) (1927) Patentschrift Nr. 440 635 Klasse 39 b Gruppe 26. Berlin: Reichsdruckerei
- Melitta Beratungs- und Verwaltungs GmbH & Co. KG. – Stab Öffentlichkeitsarbeit** (Hrsg.) (1999) BIOTEC- als erster mit zertifiziertem Bio-Kunststoff am Markt. *Melitta Journal News*. Internet-Adresse: <http://www.melitta.de/mbv>. Stand 15.12.1999
- Mundigler N, Rettenbacher M** (1999) Kunststoff oder Holz? *Spektrum der Wissenschaft* 1999: 90–92
- Nägele H** (1999) Persönliche Mitteilung. Fraunhofer Institut für chemische Technologie, Pfinztal-Söllingen
- Nitz H** (1999) Persönliche Mitteilung. Albert-Ludwig-Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum
- Oksman K, Clemons C** (1998) Mechanical Properties and Morphology of Impact Modified Polypropylen – Wood Flour Composites. *J Appl Polymer Sci* 67: 1503–1513
- Rafer G** (1999) Neue Entwicklungen von biologisch abbaubaren Kunststoffen. *Spektrum der Wissenschaft* 1999: 81–84
- Rettenbacher M, Mundigler N** (1998) Formkörper aus bzw. mit einem umweltverträglichen Werkstoff, Verfahren zu dessen Herstellung sowie dessen Verwendung, Patentblatt 12; Europäische Patentschrift EP 0712428 B
- Rettenbacher M, Mundigler N, Zulehner P** (1999) Persönliche Mitteilung. Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie – Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie, Tulln.
- Schulte U** (2000) “Flüssiges” Holz statt Plastik. *VDI nachrichten* 6: S. 21
- Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V. (TITK)** (1999) Biologisch abbaubare Verbundwerkstoffe, 1995–1997. BMELF-gefördertes Projekt FKZ 94NR152-F. Internet-Adresse: <http://www.dainat.de:8080/AGFORFNR>. Stand 27.10.1999
- Van Soest Jeroen J G** (1999) Fully Biodegradable Starch Plastics; Starch Structure and Consequences for Processing and Properties. Wageningen: Agrartechnological Research Institute (ATO-DLO)
- Warth H, Mülhaupt R, Schätzle J** (1996) Thermoplastic Cellulose Acetate and Cellulose Acetate Compounds Prepared by Reaktive Processing. Freiburg: Materialforschungszentrum, Institut für Makromolekulare Chemie und Rhone Poulenc Rhodia AG
- Wiedmann W** (1994) Thermoplastische Stärke mit Doppelschneckenextrudern herstellen. *Kunststoffe* 84: 972–976
- Witt U, Einig T, Yamamoto M, Kleeberg I, Deckwer W-D, Müller R-J** (1999) Biodegradation of aliphatic-aromatic copolyesters; Evaluation of the final biodegradability and ecotoxicological impact of degradation intermediates, BASF Publication 24.08.1999, 1–19
- Wolff Walsrode AG** (1999) Extrudierbare, kompostierbare aliphatische Cellulosederivate (3.Phase). BMELF-gefördertes Projekt FKZ 95NR 154-F. Internet-Adresse: <http://www.dainet.de:8080/AGFORFNR>. Stand 27.10.1999