

Standort Pirmasens



**Fachhochschule
Kaiserslautern**

Flüssigholz – Ein Überblick

In Zusammenarbeit mit der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland – Pfalz

Flüssigholz – Ein Überblick

Gliederung

1.	Einleitung	2
2.	Flüssigholzprodukte	3
2.1.	Ligninbasierte Werkstoffe am Beispiel “Arboform”	3
2.1.1.	Chemische Aspekte.....	4
2.1.3	Kosten und Vermarktung.....	7
2.1.4.	Perspektive.....	7
2.2.	Holzasierte Werkstoffe am Beispiel Fasal und Fasalex	8
2.2.1	Allgemeines	8
2.2.2.	Chemische Aspekte.....	9
2.2.3	Fasal – Herstellung, Eigenschaften und Verwendung.....	11
2.2.4.	Fasalex – Herstellungsmethoden, Eigenschaften und Verwendung.....	16
3.	Sonstige Flüssigholzprodukte und Ausblick	19
4.	Zusammenfassung	20
5.	Literatur	21

1. Einleitung

In den vergangenen Jahren haben Anbau und Verarbeitung von Nutzpflanzen wie Hanf und Flachs im Zusammenhang mit der nachhaltigen Produktion nachwachsender Rohstoffe zunehmend an Bedeutung gewonnen¹. Neben diesen Materialien kommt insbesondere dem Holz als größtem regional regenerierbaren Rohstoffpotential eine herausragende Bedeutung zu. Aus diesem Grund sollten für Holz neue Wege der Inwertsetzung, insbesondere der technologisch machbaren und wirtschaftlich erstrebenswerten stofflichen Verwertung gefunden werden. Neue Anwendungsbereiche und neue Märkte müssen erschlossen werden. Deshalb scheint die Erforschung und Verarbeitung von neuen Holzwerkstoffen von besonderer Bedeutung zu sein.

In diesem Sinne hat sich Holz bereits als Füllstoff unter dem Namen "wood-like-plastic" für PP-Platten z.B. in Automobil-Innenverkleidungen oder als Matrixverstärkung in Polypropylen-Systemen etabliert². Darüberhinaus werden holzzellstoffbasierte Cellulosederivate als sogenannte Holzkunststoffe für Grundstoffe oder Gebrauchsgüter genutzt³. Die Kunststofftechnik öffnet sich zunehmend gegenüber Werkstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen. Vor diesem Hintergrund werden Überlegungen angestellt, biologisch abbaubare Kunststoffe, sogenannte "Bioplastics", zu entwickeln.

Bioplastics können aus biotechnologischer Synthese, aus fossilen Rohstoffen⁴ (z.B. Ecoflex von BASF^{5, 6}, BAK von Bayer⁷ sowie aus natürlicher Synthese hergestellt werden^{8, 9, 10}. Die Produkte der letztgenannten Gruppe stammen aus tierischen oder pflanzlichen Assimilationsprozessen (z. B. Gelatine, Stärke und Cellulose)^{8, 9, 10}. Von besonderem Interesse scheinen in diesem Zusammenhang die biologisch abbaubaren cellulosischen Werkstoffe mit einem Matrixmaterial aus thermoplastischen Cellulosederivaten^{11, 12, 13} oder einem Matrixmaterial aus underivatisierten Biopolymeren^{14, 15} zu sein.

Kompostierbare Verbundwerkstoffe aus nativen Materialien mit einer Matrix aus thermoplastischen Cellulosederivaten können u. a. als biologisch abbaubare Folien, Formkörper oder Verpackungsmaterialien verwendet werden^{11, 12, 13}. Diese Entwicklungsmöglichkeiten haben ihren Niederschlag im Förderkonzept "Nachwachsende Rohstoffe" der Bundesregierung gefunden, das unter der Federführung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML) erstellt wurde¹⁶.

Für Verbundwerkstoffe aus nativen Materialien, deren Matrix aus underivatisierten Bio-Polymeren besteht, hat sich der Begriff "Flüssigholz" oder "Flüssiges Holz" durchgesetzt, sofern sie überwiegend auf Holz bzw. Holzbestandteilen basieren^{14, 15, 17, 18}. Anders als die Produkte der hydrolytischen Holzverflüssigung bzw. der reduzierenden Holzhydrierung stellt Flüssigholz als plastische Masse aus vorwiegend natürlichen Rohstoffen einen neuartigen Holzwerkstoff mit großer Holzähnlichkeit dar und lässt sich wirtschaftlich in der geforderten Qualität auf konventionellen Maschinen der kunststoffverarbeitenden Industrie verarbeiten^{8,19}. Dieser Werkstoff lässt sich wie Holz oder Holzwerkstoffe be- und verarbeiten und profitiert dabei von seiner holzwerkstofftypischen Homogenität^{7, 15}. Darüberhinaus eröffnet er die kunststoffeigenen Möglichkeiten der Extrusion und des Spritzgießens^{7, 15}. Von großer Bedeutung dürfte letztlich auch die Option seiner vollständigen Kompostierbarkeit sein^{8, 17, 20}.

2. Flüssigholzprodukte

Flüssigholzprodukte lassen sich auf der Basis von Lignin oder von Holz bzw. Holzmehl herstellen^{7, 15}. 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.

2.1. Ligninbasierte Werkstoffe am Beispiel "Arboform"

2.1.1 Allgemeines

Am Fraunhofer Institut für chemische Technologie ICT in Pfinztal bei Karlsruhe wurde mit dem Holzinhaltsstoff Lignin als Gel/Schmelzbildendes Polymer der thermoplastische Kon-

struktionswerkstoff "Arboform" entwickelt²¹. Arboform verhält sich bei mechanischer und thermischer Belastung ähnlich wie Holz¹⁷. So zeichnet sich der Werkstoff durch eine große Steifigkeit aus¹⁷. Insbesondere bleibt seine Form auch unter Wärmebelastung stabil¹⁷. Produktionskosten und Herstellungstechniken scheinen dem Kunststoff-Üblichen zu entsprechen¹⁷. Der Griff jedoch ist wärmer als der eines Kunststoffs, und die Oberfläche kommt der des Holzes sehr nahe.

2.1.1. Chemische Aspekte

Das Matrixmaterial Lignin ist nach der Cellulose das am zweithäufigsten vorkommende Polymer in der Natur. Jährlich fallen bis zu 50 Mio. t als Abfallprodukt bei der Papierindustrie an¹⁴. Lignin ist entscheidend an der Verholzung pflanzlicher Zellen beteiligt. So bestehen holzige Pflanzen zu etwa 30 % aus Lignin²².

Das Polymer Lignin baut sich aus Phenylpropan-Einheiten auf, wobei die Phenolgruppen je nach Art des Holzes mit ein bis zwei Methoxyl-Gruppen und die Propan-Seitenkette mit Hydroxylgruppen substituiert sind. Bei Nadelhölzern findet sich fast ausschließlich der Guajacyl-Typ, bei den Laubhölzern außerdem der Syringyl-Typ²³. Die Phenylpropaneinheiten sind untereinander von der Seitenkette zum Kern teils durch C-C, teils durch Etherbindungen verbunden²³.

Lignin wird mit cellulosischen Fasern (z.B. Flachs, Hanf oder Chinaschilf) als Verstärkungskomponente gemischt²⁴. Nach Zusatz von verschiedenen Additiven erhält man unter Temperatureinwirkung und Berücksichtigung einer definierten Feuchte von 6-8 % einen Faserverbundwerkstoff⁷. Die Granulatherstellung greift die molekulare Struktur der Polymere an und ordnet die Molekülketten um²⁵. Als Zwischenprodukte entstehen dabei unter anderem "Mischpolymere" aus Cellulose und Phenyl-Propan-Alkoholen (insbesondere Coniferyl- und Sinapinalkohol)²⁶. Bei erneuter Erwärmung lassen sich die Granula wie ein herkömmlicher thermoplastischer Kunststoff aufgrund der Aggregation von Phenyl-Propan-Alkoholen verbunden mit einer betragsmäßigen Zunahme der Viskosität in die gewünschte Form bringen²⁵. Der holzverarbeitenden Industrie öffnen sich damit völlig neue Perspektiven, ihre Produkte in anderen Bauteil-Geometrien anzubieten.

2.1.3 Herstellung, Eigenschaften und Verwendung

Das Granulat kann in herkömmlichen Spritzgießmaschinen verarbeitet werden. Zu diesem Zweck sollte das Werkzeug auf die Verarbeitung von glasfasergefülltem Polyamid ausgelegt werden¹⁷. Da das Material Wasser enthält, muss für das Werkzeug V2A-Stahl verwendet werden¹⁷.

Auf diese Weise lässt sich ein Werkstoff gewinnen, dessen Eigenschaften zwar denen von Holz i. d. R. etwas unterlegen sind (Tab. 1)^{17, 19}. 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)^{17, 19}.

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
Formschwund (%)	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

(Quelle: Fraunhofer Gesellschaft für Chemische Technologie)¹⁷

Tab.1: Werkstoffdaten Typ Arboform

Andererseits scheint sich das neue Material als Ersatz für Edelholzfurniere auf Lenkrädern und Amaturenbrettern zu eignen¹⁷. Da sich das Edelholz aufgrund starker Temperatur-

schwankungen bzw. positiven und negativen Temperaturmaxima im Automobil vom meist kunststoffgeprägten Trägermaterial leicht ablöst oder reißt, stellt Arboform mit seinen holzähnlichen Eigenschaften eine Alternative dar¹⁷. Darüberhinaus bietet sich Arboform als Kunststoffersatz für Formteile wie Computer-, Fernseh- oder Handygehäuse, Holz-Formteile mit 3 D-Freiformflächen, Formteile aus geschäumtem Lignin mit Integralhaut zur Gewichtsreduzierung oder Aussteifung oder Platten mit oder ohne Holzfurnierschicht an²⁴. Gerade in Bezug auf die neue Altautoverordnung, welche die Automobilhersteller zur Rücknahme und entsprechenden Entsorgung der Autos verpflichtet, könnte diese Möglichkeiten zu einem Umdenken führen. Dementsprechend kann der neuartige Holzwerkstoff u. U. in Zukunft klassische Kunststoffe wie Polyamid oder andere technische Konstruktionswerkstoffe verdrängen¹⁴.

2.1.3 Kosten und Vermarktung

Zur Zeit wird Arboform hinsichtlich Verarbeitungstechnologien und Produkthanforderungen optimiert und in der ausgegründeten Firma Tecnaró umgesetzt⁷. Seit Juli 1999 ist das Produkt angabegemäß marktreif. Dementsprechend sind aktuell 13 Patente angemeldet, welche je zur Hälfte vom ICT im Sinne der Forschung und der Fa. Tecnaró im Sinne der Vermarktung und Lizenzvergabe verwertet werden sollen⁷.

Die Kosten für die Herstellung des Granulates liegen nach Angaben des Herstellers bei ca. 6 DM /kg Granulat. Zur Zeit reichen die Kapazitäten für eine monatliche Lieferung von etwa 5-10 Tonnen Granulat aus⁷.

2.1.4. Perspektive

Das Lignin für die Produktion von Arboform wird derzeit noch aus Schweden importiert⁷. Weil Lignin im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen eine nachwachsende Kohlenstoffquelle darstellt, wird seine Bedeutung als Ausgangsmaterial für die chemische Industrie insbesonde-

re im Zusammenhang mit neuen, umweltfreundlichen Aufschlussverfahren in Deutschland zunehmen²⁷. Dementsprechend scheint eine standortnahe Ligninproduktion wünschenswert.

Auf der anderen Seite ging die inländische Ligninproduktion als Koppelprozess der Zellstoffgewinnung infolge der weltmarktpreis- und umweltschutzbedingten Reduktion der inländischen Zellstoffproduktion im vergangenen Jahrzehnt drastisch zurück²⁷. Während die technischen Probleme der umweltfreundlichen Gewinnung von Zellstoff, Lignin und anderen Holzkomponenten durch ein Wasser-, Hitze- und Druck-geprägtes Verfahren der Fraunhofer-Gesellschaft für Chemische Technologie gelöst scheinen⁷, entscheidet die ökonomische Konkurrenzfähigkeit zu anderen Rohstoffen der chemischen Industrie über die Ligningewinnung in Deutschland²³. Dennoch sollen auf dem Verfahren der Fraunhofer-Gesellschaft aufbauend erste diesbezügliche Industrierversuche in Thüringen und Sachsen durchgeführt werden⁷.

Arboform wird derzeit ausschließlich auf dem Wege des Spritzgusses verarbeitet, weil das materialeigene Wasser den Werkstoff nach der extrusionsfolgenden Ausdehnung in unerwünschter Art aufschäumt⁷. Dieses Problem soll ebenso wie die produktionsbedingte Geruchsbelästigung mittelfristig gelöst werden⁷.

2.2. Holzbasierte Werkstoffe am Beispiel Fasal und Fasalex

2.2.1 Allgemeines

Fasal und Fasalex wurden vom Interuniversitären Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie (IFA) in Tulln bei Wien aufgrund langjähriger Erfahrungen im Compoundieren von Kunststoffen, Naturstoffen und Fasern als thermoplastische Werkstoffe für Spritzguss (Fasal) und Extrusion (Fasalex) entwickelt^{28, 29}. Als Basis für die Verarbeitung auf gängigen Maschinen der Kunststofftechnik dienen etwa 50 % Holzspäne oder Holzmehl (z.B. aus Abfall- oder Schwachholz), die durch cellulosereiche Materialien wie Kokos, Flachs, Hanf, Reisschalen oder Stroh ergänzt oder ersetzt werden können^{18, 28}. Stärke und/oder Proteine als gelbildende Polymere bilden die Matrix¹⁸. Auf der Suche nach anwenderorientierten Lösungen können

diesem Gemisch Kunststoffe zur Erzielung besonderer Eigenschaften wie Witterungsbeständigkeit zugegeben werden¹⁵. Fasal- und Fasalexprodukte lassen sich wie Holz bzw. wegen der homogenen Oberfläche besser als Holz lackieren, lasieren, folieren, pulverbeschichten oder mit Echtholz furnieren³⁰. Diese Veredlungstechniken dienen auch der Schmutz- und Feuchteresistenz sowie der Steifigkeit^{15, 31}. Darüberhinaus lässt sich Fasal mit organischen Farbstoffen bzw. anorganischen Pigmenten einfärben³⁰. Dementsprechend wird vor allem Fasal hauptsächlich dort eingesetzt, wo komplizierte Strukturen hergestellt werden wie in der Möbelindustrie, Spielzeugindustrie, sowie im Deko-Bereich oder Sportartikelsektor.

Soweit Fasal und Fasalex wenig Kunststoff in sich tragen, können sie konventionell kompostiert werden^{30, 20}. Daneben bedarf das als Rohmaterial für diesen Werkstoff verwendete Holz nicht der energetisch aufwendigen Trocknung bzw. des für Arboform typischen chemischen Holzaufschlusses; vielmehr bleibt der Holzcharakter des Rohstoffes weitgehend erhalten¹⁵.

2.2.2. Chemische Aspekte

Hinsichtlich der chemischen Aspekte von Zusammensetzung bzw. Herstellungen gleichen sich Fasal und Fasalex weitgehend^{28, 32}. Deshalb werden die chemischen Aspekte am Beispiel Fasal erläutert. Darüber hinausgehende Information zur Fasalex-Chemie finden sich in Kap. 2.2.4..

Fasal besteht aus Cellulosefasern in einer Stärkematrix sowie aus Harzen und verschiedenen Hilfsstoffen¹⁸. Die ca. 48-60 Gew.-% Fasern in Fasal weisen meist pflanzlichen Ursprung auf. Dementsprechend kann Holz, reine Cellulose oder recycliertes Fasermaterial verwendet werden¹⁸. Die Fasern werden in eine Matrix aus Stärke eingebettet. Das Glucosepolymer Stärke, mit 20-35 Gew.-% der zweithäufigste Bestandteil von Fasal, kann in reiner Form oder als Bestandteil pflanzlicher Produkte wie Maisgries oder –mehl eingesetzt werden. Daneben scheint die Verwendung von Dextrinen, Pektinen oder Proteinen als Bindemittel denkbar¹⁸.

Fasal erhält seine spezifischen Eigenschaften durch 5-10 Gew.-% natürliche oder synthetische Öle. Daneben können Fettsäuren, härtende Öle, expansionsunterdrückende Polyole und Salze zugemischt werden. Mittels Gerbstoffen, Weichmachern, Bioziden, aushärtbaren Heißhärtungskomponenten, Farbmitteln und Füllstoffen lassen sich spezielle Produktansprüche

erfüllen¹⁸. Die Trockenmischung der 3 Komponenten (-gruppen) wird nach Pigment-, Trennmittel- und Plastifizierhilfsmittel-Beimengung durch Wärme, Druck und Scherkräfte im Extruder aufgeschlossen und miteinander “verschmolzen”³⁰. Das Verfahren wird mittels verschiedener Prozessparameter wie z.B. die Temperatur, den Feuchtegehalt und bindemittelabhängig (Stärke oder Proteine) über den pH-Wert bzw. durch den Einsatz von Gerbmitteln so gesteuert, dass das Material nicht im herkömmlichen Sinne schmilzt, sondern einen plastischen Strang bildet²⁸. Hohe Temperaturen, Scherkräfte und Wassergehalt plastifizieren die Stärke durch Destrukturierung und Homogenisierung thermogen. Dies belegen entsprechende Erfahrungen der 30er Jahre mit der Lebensmittelextrusion bzw. der 70er Jahre mit kunststoffbezogener thermoplastischer Stärke.

Neben der Temperatur kommt dem Wassergehalt mit seiner Determination des Schnecken-drehmoments, molekularen Abbaus, der Erweichungstemperatur, des Koch- und Aufschäum-grades sowie der Rehydrierung und Versprödung der Endprodukte die größte Bedeutung zu³⁴. So erhöht ein abnehmender Wassergehalt das Schneckendrehmoment exponentiell. Die Endprodukte gewinnen mit zunehmendem Wasser- bzw. Weichmachergehalt an Bruchdehnbarkeit, während die Zugfestigkeit abnimmt³⁴. Demzufolge scheint die Definition des Wassergehaltes für die Endprodukt-Qualität von zentraler Bedeutung zu sein. Deshalb wird die Rohmasse in der Regel so dampfkonditioniert, dass die Stärke bei etwa 7 K Temperaturerhöhung je Prozent kondensiertem Dampf vorgequollen wird. Diese Behandlung vermindert durch einen geringen Molekülkettenabbau vor allem die strukturbedingte Klebrigkeit des Endproduktes³⁴.

Bei der Fasal-Herstellung werden mehrwertige Alkohole als Hilfsstoffe mit Weichmacherfunktion zugegeben, um das Material durch die mechanisch unterstützte Auflockerung der verzweigten Stärkestruktur fließfähiger zu machen³⁵. Darüberhinaus werden wasserabweisende Harze zugesetzt, weil Fasal als Werkstoff mit thermoplastischer Stärke extrem hydrophil ist³⁵. Die Harze unterstützen zudem das Bindemittel, indem sie die Fasern zusätzlich verkleben, und wirken biozid³⁵. Sie müssen reich an wasserbindenden Seitenketten sein, um eine optimale Vernetzung zu gewährleisten³⁵. Eine ähnliche Wirkung besitzen Fettsäuren als Hilfsstoffe zur Veresterung oder Veretherung. Sie hydrophobieren die Stärkekorn-Oberfläche, indem sie mit den wasseranziehenden -OH-Gruppen reagieren³⁵. Schließlich erhöhen expansionsunterdrückende Polyole und Salze nach der Extrusion den Siedepunkt des im Extruder unter hohem Druck stehenden Wassers.

Die extrudierte Rohmasse mit einem Wassergehalt von ca. 10 % wird für Fasal nach ihrer Abkühlung in einem Stranggranulator und für Fasalex durch Heißabschlag zu der für Kunststoff handelsüblichen Größe granuliert^{30, 32}. Das Granulat darf nicht getrocknet werden, da die Feuchte über die spätere Verarbeitbarkeit entscheidet³⁰.

Die Werkstoffmischungen, die Verfahren, und die Produktcharaktere von Fasal und Fasalex sind weitgehend patentrechtlich geschützt³². Die Fasal-Verwertungsrechte liegen bei der Austel Research and Development GmbH und die Fasalex-Verwertungsrechte mehrheitlich bei den Firmen josko-Fenster und Türen aus Holz sowie bei der Schwesterfirma Ekutherm-Kunststoff-Fenster & Türen³². Basierend auf den Rezepturen des IFA und den von Firmen in Lizenz genommenen Patenten können Lizenzen aller urheberrechtlich geschützten Bereiche erworben werden³².

Zur Zeit stellt die IFA in Tulln das Granulat her und vertreibt Fasal für 3,- bis 5,- DM / kg bzw. Fasalex für ca. 1,40 DM / kg^{36, 37}. Die IFA bezieht das notwendige Holzmehl bei der Firma JRS, J. Rettenmeier & Söhne GmbH & Co., die Hart- und Weichholzmehl mit produktkonform definierten Anteilen faserförmiger und kubischer Holzpartikel unter dem Namen Lignocel produziert^{38, 39}. Die eingesetzte Korngrößenverteilung ist mit entscheidend für die mechanische Belastbarkeit des Werkstoffs^{28, 30}. Auf der anderen Seite scheint die Verwertung von Abfallholz in diesem Zusammenhang möglich. So recycelt der schwedische Spielzeughersteller Brio seine eigenen Holzabfälle im Rahmen der Fasalproduktion¹⁵.

2.2.3 Fasal – Herstellung, Eigenschaften und Verwendung

Fasal-Granulat kann auf allen herkömmlichen Standardspritzgießmaschinen vorteilhafterweise bei großen Düsenöffnungen mit Thermoplast- oder PVC-Schnecken geringer Kompression unabhängig von Rückstromsperrn verarbeitet werden (Tab. 2)²⁸. Die Materialfeuchte bedingt einen Bimetallzylinder und eine Schnecke aus korrosionsbeständigen Stahl⁸. Weil die Feuchte für die Werkstoffverformung in der Maschine von entscheidender Bedeutung ist, darf keine Entgasungsschnecke eingesetzt werden²⁸. Die Fasal-Verarbeitungstemperatur liegt signifikant unter derjenigen herkömmlicher Kunststoffe, so dass die Zylinderheizungen deutlich abgekühlt werden müssen (Tab. 2)^{8, 28}. Weil Fasal brennbar ist, müssen Stillstandszeiten mit der damit verbundenen Überhitzungsgefahr vermieden werden.

Vielmehr muss das Werkzeug ständig mit neuem Material gespült werden²⁸. Vor dem ersten Versuch sollte die Maschine mit PE-LD ausgespritzt werden, um eine gewisse "Schmierung" zu erzeugen²⁸.

Parameter	FASAL	FASAL	FASAL	FASAL	PVC	PS	PA
	F 134	F 197	F 230	F 386			
Einzugzone (°C)	100	100	100	100	160-190	210-280	240
Zylindertemperatur II (°C)	120	120	130	120	160-170	180-230	230
Zylindertemperatur III (°C)	140	140	150	140	140-160	150-180	210
Düsentemperatur (°C)	150	150	170	150	170-210	220-280	230
Werkzeugtemperatur (°C)	50-70	20	20	20	20-60	10-50	60-90
Einspritzdruck (bar)	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel	mittel-hoch	mittel
Nachdruck (%)	nein	nein	mittel	nein	niedrig	30-60	mittel
Staudruck (bar)	bis 20	bis 20	bis 20	bis 20	bis 50 -	100-200	50-150
Schnecken-drehzahl	niedrig	niedrig	mittel	niedrig	niedrig	hoch	hoch
Vortrocknung	nein	nein	nein	nein	-	nein	16h / 80°C
Schwindung (%)	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,5-0,7	0,45	-

Tab. 2: Verarbeitungsbedingungen im Vergleich zu anderen Kunststoffen²⁸.

Offensichtlich stellt das FASAL-System außer in bezug auf den Einspritzdruck keine besonderen Anforderungen an eine Spritzgießmaschine. So liegen alle Verarbeitungsparameter mit Ausnahme des Einspritzdrucks im Bereich jener von PVC, PS und PA oder wesentlich niedriger. Hierfür dürfte die im Vergleich zu den Thermoplasten hohe Zugfestigkeit der FASAL-Matrix verantwortlich sein²⁸. Der über dem Wert der Thermoplaste liegende Einspritzdruck, dessen Höhe auf den hohen Füllungsgrad der Schmelzen zurückzuführen ist, scheint jedoch im Leistungsbereich moderner Spritzgießmaschinen zu liegen²⁸.

Für das Spritzgießen von Flüssigholz werden gehärtete Formnester mit hochpolierten Oberflächen benötigt. Wegen der geringen Fließfähigkeit von Fasal sollten Wandstärken unter 2 mm ebenso wie dünne Stege und Freistellungen vermieden werden. Zudem müssen die Formteile direkt angebunden werden bzw. die möglichst konischen Anschnitte und Heißkanalöffnungen großzügig dimensioniert werden²⁸. Die Anschnitte sollten beim Auswurf, für den großflächige Ausstoßer notwendig sind, im Zuge einer Zwangsentformung automatisch abgerissen werden²⁸. Da das Material nur wenig schwindet, werden Werkzeuge mit Endformschrägen von ca. 3° benötigt (Tab. 2)²⁸.

FASAL läßt sich ausschließlich aus Naturstoffen herstellen (Fasal F 134, Tab. 3) oder mit abbaubaren Polyestern, Polyamiden (Fasal F 197, F 386, Tab. 3) bzw. mit Polyethylen (Fasal F 230 ; Tab. 3) mischen²⁸. Die Compoundierung mit herkömmlichen Kunststoffen erhöht wesentlich die Wasserbeständigkeit und mit dem Effekt der Wandstärkenreduktion die Fließfähigkeit des Materials²⁸. Auf der anderen Seite scheint Fasal hinsichtlich seiner mechanischen Eigenschaften mit Ausnahme der Bruchdehnung den Fasal-Kunststoff-Blends überlegen zu sein (Tab. 3)²⁸. Das auf Kundenwunsch angefertigte Fasal 230 verhält sich herkömmlichen Kunststoffen sehr ähnlich. Insbesondere ist es nicht mehr biologisch abbaubar²⁸. 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 werden⁴⁰.

Fasal 134 ist deutlich dichter als Holz und erreicht die für Hart-PVC typischen Werte (Tab. 4)⁴⁰. Trotzdem stellen sich die meisten mechanischen Eigenschaften von Holz günstiger als bei Fasal dar. Insbesondere scheint Holz zäher und elastischer als Fasal zu sein (Tab. 4)⁴⁰. 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. 4)⁴⁰. Auf der anderen Seite verformt sich das thermoplastische Hart-PVC ohne Weichmacher schon weit vor seinen Festigkeitsgrenzen irreversibel. Demgegenüber reicht der elastische Bereich des Fasals, die sogenannte Streckgrenze, deutlich näher an die Festigkeit heran. Darüberhinaus scheint Fasal entsprechend den Zug- und Biege-E-Moduli deutlich weniger zum Kriechen zu neigen (Tab. 4)⁴⁰. Der geringen Retardation entsprechend dürfte Fasal steifer als Hart-PVC sein. Schließlich stellt sich der Schraubenauszugswiderstand bei Fasal günstiger als bei Holz dar (Tab. 4)⁴⁰.

Eigenschaft	Fasal F 134	Fasal F 197	Fasal F 230	Fasal F 386
Dichte (g / cm³)	1,4	1,3	1,12	1,3
Zugfestigkeit (MPa)	25	13	8	19
Zug-E-Modul (GPa)	13,2	8	1,3	3,7
Biegefestigkeit (MPa)	45	23	14	30
Biege-E-Modul (GPa)	5,8	3,2	0,96	2,8
Oberflächenhärte (N / mm²)	90	64	21	51
Bruchdehnung (%)	0,3	0,4	2,5	1,5
Schlagzugfähigkeit (KJ / m²)	40	30	35	50
Schraubenausziehstand (N / mm)	150	Keine Daten	Keine Daten	Keine Daten
Spez. Durchgangswiderstand (Ω*cm)	> 10 ¹²	Keine Daten	Keine Daten	Keine Daten
Oberflächenwiderstand (Ω)	> 10 ¹⁰	Keine Daten	Keine Daten	Keine Daten
Dimensionsänderung / Feuchte (% / %)	0,04	Keine Daten	Keine Daten	Keine Daten

Tab. 3: Eigenschaften von Fasal F 134, 197, 230 und 386⁴⁰.

Fasal 134 stellt ein reines Naturprodukt dar. Fasal 197, 230 und 386 sind Blends mit herkömmlichen Kunststoffen. Insbesondere Fasal 230 ist nicht biologisch abbaubar⁴⁰. Die auf Naturstoffen basierende Mischung Fasal 134 besitzt um den Preis einer etwas höheren Dichte die besten mechanischen Eigenschaften. Jedoch übertrifft die Schlagzähigkeit der mit PA geblendeten Fasalvariante F 386 aufgrund des teilkristallinen PA diejenige von F 134.

Das F 197 zeigt insgesamt das zweitbeste Leistungsprofil, während das PE-geblendete F 230 vor dem Hintergrund von Grenzflächenproblemen der Partner Fasal und PE die ungünstigsten mechanischen Eigenschaften zeigt.

Eigenschaft	FASAL F 134	Hart PVC	Holz
Dichte (g / cm ³)	1,4	1,39	0,37-0,59
Zugfestigkeit (Mpa)	25	55-70	80-100
Bruchdehnung (%)	0,3	8-20	
Zug- E- Modul (Gpa)	13,2	2,8-3,3	
Biegefestigkeit (Mpa)	45	75-110	70-100
Biege E-Modul (Gpa)	5,8	2	10-13
Oberflächenhärte (N/mm ²)*	90	120-140	14-23
Schraubenauszieh Widerstand (N/mm)	150		60-100

* Brinell-Härte (TGL 25/116/14)

Tab. 4: Mechanische Eigenschaften von Fasal im Vergleich zu Hart-PVC und Holz⁴⁰.

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. 3).

Fasal 134, weichmacherfreies Hart-PVC und Holz zeigen recht unterschiedliche Eigenschaften. Fasal F134 und Hart-PVC sind wesentlich dichter als Holz. Dennoch übersteigt Holz, mindestens so fest wie Hart-PVC, die Fasal-Festigkeit deutlich. Auf der anderen Seite verformt sich Hart-PVC schon sehr früh, während der elastische Bereich des Fasal wesentlich näher an die Festigkeit heranreicht. Die Moduli weisen auf eine geringere Kriechneigung (Retardation) von Fasal F 134 hin. Dementsprechend scheint Fasal auch wesentlich steifer als Hart-PVC zu sein. Fasal F 134 ist jedoch spröder als die beiden Vergleichsstoffe. Dies könnte zur frühen belastungsinduzierten Mikrorissbildung führen.

Derzeit wird die Fasal-Spritzgießverarbeitung durch das Treeplast-Konsortium von 6 internationalen KMUs (kleine und mittlere Unternehmen) aus den Niederlanden (z. B. KHZ Gezu), Österreich und Deutschland (z.B. Fa. Ikusto) sowie drei Forschungs- und Entwicklungs-Partnern aus den Niederlanden und Österreich unter Koordination der holländischen Firma PE design and engineering BV in einem im Rahmen des Brite/Euram-Programms EU-geförderten Craft-Projektes verbessert^{15, 41}.

2.2.4. Fasalex – Herstellungsmethoden, Eigenschaften und Verwendung

Fasalex wurde von den Firmen Cincinnati Milacron (Extrudiermaschinen), Erema in Ansfelden und FASALEX in Kopfing sowie dem Institut für Agrarbiotechnologie in Tulln mit Förderung durch den österreichischen Forschungsförderungsfond (FFF) als Weiterentwicklung von Fasal für die Extrusion konzipiert^{15, 37}. Die Werkstoffe eignen sich als Baustoff für Haus- und Umbau, im Innen und Außenbereich²⁹. So können z.B. Bauprofile, Kabelkanäle und Blenden bzw. Leisten für die Innenanwendung aus Fasalex hergestellt werden^{15, 29, 37}. Darüberhinaus bereitet das IFA in Tulln zusammen mit der Fa. Cincinnati Milacron (Extruderhersteller) derzeit die Produktion von Fensterprofilen aus Fasalex vor⁴². Insbesondere soll die biologische Abbaubarkeit (Verrottung) des Werkstoffs mit der fensternotwendigen Witterungsbeständigkeit in Einklang gebracht werden¹⁵.

Fasalex enthält wie Fasal große Anteile Holz, Mais und Additive (vgl. Kap. 2.2.2.)³². Die Granulatherstellung basiert auf ähnlichen Grundlagen. Die Granula werden jedoch nicht wie bei Fasal im Stranggranulator sondern bei der Fa. Zitta (Linz, Österreich) durch Heißabschlag hergestellt. (vgl. Kap. 2.2.2.)^{15, 32}. Das Material lässt sich auf für die PVC-Extrusion üblichen Doppelschneckenextrudern mit geringer Scherenergie extrudieren. Die Doppelschneckenextruder ermöglichen mit ihrer modularen Bauweise den Verzicht auf aufwendige Umrüstungen und erlauben, optimal auf aktuelle Produktanforderungen zu reagieren (Tab. 5)³².

Output	120 kg / h
Massetemperatur	150-170 °C
Zylindertemperatur Einzug	90 °C
Düse	170 °C
Düsentemperatur	170 °C

Tab. 5: Rezepturspezifisches Beispiel für Extrusions-Verfahrensparameter.

Die Parameter beziehen sich auf die Fasalex-Extrusion auf einem 60-25 B Extruder der Firma Cincinnati Milacron mit 25:1 LD^{29, 37}

Zur Zeit existieren die Materialmischungen Fasalex-ECOPUR als Basismischung aus nachwachsenden Rohstoffen mit natürlichen Harzen (LEX 213 N und LEX 111 S), Fasalex-BIODEG als Basismischung aus nachwachsenden Rohstoffen mit bioabbaubaren Kunststoffen (LEX 377 B, LEX 380) und Fasalex-SYNCOM als Basismischung aus nachwachsenden Rohstoffen mit „umweltfreundlichen“ Kunststoffen als serienreife Produkte (Tab. 6) ^{15, 43}.

Die Fasalex-Varianten sind in der Regel dichter als herkömmliche Holzwerkstoffe bzw. Kunststoffe, so dass Bauteile aus Fasalex bei gleichem Werkstoffvolumen schwerer als Bauteile aus MDF sind (Tab. 6, 7)^{19, 44}. Auf der anderen Seite ist Fasalex fester und steifer als MDF bzw. erreicht die Werte anderer Holzwerkstoffe, jedoch nicht diejenigen von PVC (Tab. 6, 7)^{19, 44}. Während Fasalex bei kurzzeitiger Wasserlagerung weniger Wasser als MDF aufnimmt, quillt es nach längerer Zeit im Wasser deutlich stärker als das Vergleichsmaterial (Tab. 6)¹⁹.

Kennwert	LEX 111	LEX 380	LEX 377	LEX 213	MDF E1[§]	MDF^f
	S*	B⁺	B⁺	N[#]		
Dichte (g / cm³)	0,95–1,05	1,25–1,30	1,29	1,07	0,71–0,75	0,78
Schlagzähigkeit (kJ / m²)	3,7–5,1	5,0–6,0	4,8–5,1	1,8		
Biegefestigkeit (N / mm²)	13	17-25	34-38	13	17	
Biege E-Module (N / mm²)	1500-2000	2000-2500	4000-4500	3400	1500-3000	
Dickenquellung (%)[♥]	1,5–2,0	2,3–3,0	3,0	3,0–4,0	5,5–6,5	
Dickenquellung (%)[*]	8,0	Ca. 15	25		< 8	6,0–8,0
Gewichtszunahme (%)[♥]	8-10	6–7	7-8	20	8–11	

* Basismischung mit Sojamatrix, ⁺ Bioabbaubarer Kunststoff als Additiv, [#] Natürliche Basismischung, [§] MDF der Firma Kronospan mit 30-45 mm Dicke, ^f MDF der Firma Moulding mit 15-18 mm Dicke, [♥] nach 2 Stunden Wasserlagerung, ^{*} nach 24 Stunden Wasserlagerung.

Tab. 6: Gegenüberstellung einiger Eigenschaften von FASALEX-Werkstoffen mit ausgewählten MDF-Produkten¹⁹.

Erläuterung zu **Tab. 6**: Die Fasalex-Varianten sind dichter als das MDF-Material, so dass Bauteile aus Fasalex bei gleichem Werkstoffvolumen schwerer als Bauteile aus MDF sind. Auf der anderen Seite ist Fasalex fester und steifer als MDF. Während Fasalex bei kurzzeitiger Wasserlagerung weniger Wasser als MDF aufnimmt, quillt es nach längerer Zeit im Wasser deutlich stärker als das Vergleichsmaterial.

Eigenschaften	Fasalex	PVC-Hart	Holzwerkstoffe*
Dichte (kg/dm³)	0,5–1,1	1,3–1,4	0,5–1,0
Oberflächenhärte	30-70	100-140	40–100
Biegefestigkeit (N/mm²)	15-30	70-100	10–50
Biege-E-Modul (N/mm²)	2000-3000	2000	1000–1500
Zugfestigkeit (N/mm²)	5-20	50-70	4–40
Zug-E-Modul (N/mm²)	3000-4000	2500-3000	3000-5000
Dickenquellung⁺ (%)	1-4		2–8
Granulatgröße (mm)	3–6		
Schüttgewicht (kg/dm³)	0,3–0,4		

* z.B. Span- oder MDF-Platte, ⁺ nach 2 Stunden Wasserlagerung

Tab. 7: Vergleich der mechanischen Eigenschaften von Fasalex mit herkömmlichen Leistenwerkstoffen⁴⁴.

Die Dichte von Fasalex liegt unter der von PVC. Daneben scheint PVC auch biege- und zugfester als Fasalex zu sein. Offensichtlich ist das neuartige Flüssig-Holz außergewöhnlich spröde. Dennoch weist Fasalex eine den herkömmlichen Werkstoffen vergleichbare Steifigkeit auf.

3. Sonstige Flüssigholzprodukte und Ausblick

Das Materialforschungszentrum der Freiburger Albert-Ludwigs-Universität treibt im Arbeitsgebiet „präparative makromolekulare thermoplastische Werkstoffe“ eigene Flüssig-Holz- und Holzspritzguss-Entwicklungen in Kooperation mit dem internationalen Lignininstitut in Lausanne und diversen Unternehmen der Kunststoffindustrie voran⁴⁵. Daneben scheinen japanische Arbeitsgruppen zu versuchen, Holz zu „plastifizieren“⁴⁶. Zur Zeit liegen jedoch keine weiteren Informationen zu diesen Bemühungen vor^{47, 46}.

Wie andere Werkstoffe auf biologischer Basis leidet Flüssig-Holz derzeit hauptsächlich unter seiner Sprödigkeit (vgl. Kap. 2.2.3., 2.2.4.). Dieser Nachteil lässt sich im Kunststoffsektor mittels „reaktiver Extrusion“ spezieller Blends im Wege der „Stärke–Pfropf-Copolymerisierung“ beseitigen³⁴. Dieses Verfahren wird derzeit an der Bundesanstalt für Getreide- und Fettforschung (Detmold) zur Produktion bioabbaubarer Werkstoffe auf der Basis nachwachsender Rohstoffe erprobt⁴⁸. Darüberhinaus versucht die IFA (Tulln) übereinstimmend mit den zunehmenden Bemühungen zur verfahrensimmanenten Modifizierung und Derivatisierung von Matrix-Cellulose die Qualität seiner Produkte unter anderem durch Steuerung der Stärke-Veresterung bzw. –Veretherung zu verbessern^{18, 49}.

Derzeit erscheinen kaum Produkte aus den neuartigen Holzwerkstoffen auf dem Markt. Offensichtlich konnte sich Flüssigholz noch nicht gegen konkurrierende Holz- und Kunststoffwerkstoffe behaupten. 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. Dementsprechend scheint die Flüssigholz-Verwendung sowohl in der holz- als auch in der kunststoffverarbeitenden Industrie ohne größere Investitionen möglich. Dies bietet insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen die Möglichkeit, mit einem zukunftsfähigen Produkt neue Märkte zu erschließen, dessen größter Vorteil in seiner außerordentlichen Umweltverträglichkeit besteht.

4. Zusammenfassung

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 Polymermischungen wie Holz („Fasal“ und „Fasalex“) unter der Bezeichnung „Flüssig-Holz“ 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.

Flüssig-Holz scheint in der Regel fester und steifer als herkömmliche Kunststoffe zu sein. Andererseits leiden diese Werkstoffe häufig unter einer beträchtlichen Sprödigkeit. Um diesem Nachteil abzuhelpfen, versuchen verschiedene Arbeitsgruppen die Matrixelastizität durch verfahrensimmanente Modifikation und Derivatisierung zu erhöhen.

5. Literatur

¹ Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.) *Modellvorhaben schnellwachsende Baumarten - Zusammenfassender Abschlussbericht*, Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe **13**, Landwirtschafts-Verlag, Münster **1999**.

² Oksman K., Clemons C., *Mechanical Properties and Morphology of Impact Modified Polypropylen - Wood Flour Composites*, Journal of Applied Polymer Science **1998**, 67, 1503-1513.

³ Knigge W., Schulz H., *Grundriss der Forstbenutzung*, Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin (**1966**), 585 Seiten.

⁴ Grigat E., Littek W., Schulz-Schlitte W., *Kompostierbare Folien und Beutel*, Kunststoffe **1997**, 87, 5. Carl Hanser Verlag, München

⁵ Elb-Weiser K., *Ecoflex-biodegradable plastic from BASF*, News release vom 17.03.1998, Press Conference during the Nowea K'98 journalsits' trip on march 17, Comments by Dr. Ursula Seeinger, Ludwigshafen **1998**

⁶ Witt U., Einig T., Yamamoto M., Kleeberg I., Deckwer W.-D., Müller R.-J., *Biodegradation of aliphatic-aromatic copolyesters; Evaluation of the final biodegradability and*

ecotoxicological impact of degradation intermediates, BASF Publication, Version vom 24.08.1999, S. 1-19.

⁷ Fraunhofer Institut für chemische Technologie, *Persönliche Mitteilung*, Herr Nägele, Pfinztal-Söllingen, September 1999.

⁸ Archodoulaki V.-M., Mundigler N., *Spritzgießverarbeitung von BAW*, *Kunststoffe* 1997, 87, 5.

⁹ Van Soest Jeroen J.G., *Fully Biodegradable Starch Plastics; Starch Structure and Consequences for Processing and Properties*, Agrartechnological Research Institute (ATO-DLO), Wageningen 1999.

¹⁰ Melitta Beratungs- und Verwaltungs GmbH & Co. KG. – Stab Öffentlichkeitsarbeit, *BIOTEC- als erster mit zertifiziertem Bio-Kunststoff am Markt*, Melitta Journal News, Internet-Adresse : <http://www.melitta.de/mbv>. Internet-Sitzung vom 15.12.1999.

¹¹ Projekt des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten aus dem Bereich Nachwachsende Rohstoffe, FKZ: 94NR152-F. Titel des Forschungsprogramms: *Biologisch abbaubare Verbundwerkstoffe*, 1995-1997. Zuwendungsempfänger : Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V. (TITK), Dr. Meister, Rudolstadt-Schwarza. Internet-Adresse : <http://www.dainet.de:8080/AGFORFNR>...Internet-Sitzung vom 27.10.1999.

¹² Projekt des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten aus dem Bereich Nachwachsende Rohstoffe, FKZ . 95NR 154-F. Titel des Forschungsprogramms: *Extrudierbare, kompostierbare aliphatische Cellulosederivate (3.Phase)* Zuwendungsempfänger : Wolff Walsrode AG Internet-Adresse : <http://www.dainet.de:8080/AGFORFNR>...Internet-Sitzung vom 27.10.1999.

¹³ Warth H., Mülhaupt R., Schätzle J., *Thermoplastic Cellulose Acetate and Cellulose Acetate Compounds Prepared by Reaktive Processing*, Veröffentlichung des Freiburger Materialforschungszentrums und des Institutes für Makromolekulare Chemie der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, und der Fa. Rhone Poulenc Rhodia AG, Freiburg, 5. September 1996.

- ¹⁴ Mediendienst der Fraunhofer Gesellschaft (HRSG.) Thema 5: *Flüssiges Holz*, Mitteilungsblatt Nr. 7/1999
- ¹⁵ Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie - Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie, *Persönliche Mitteilung*, Herr Rettenbach, Prof. Dr. Mundigler, Herr Zuhler, Tulln, 1999.
- ¹⁶ Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, *geförderte Projekte im Bereich „Nachwachsende Rohstoffe“* Internet-Adresse : [http://www.dainet.de/fnr/projekte/...](http://www.dainet.de/fnr/projekte/) Internet-Sitzung vom 27.10.1999.
- ¹⁷ Fraunhofer Institut für chemische Technologie und Tecnaro, Gesellschaft zur Industriellen Anwendung Nachwachsender Rohstoffe mbH (HRSG.): *Hochwertige Thermoplaste aus nachwachsenden Rohstoffen*, Pfinztal-Söllingen, Informationsblatt 1999
- ¹⁸ Rettenbacher M., Mundigler N., *Formkörper aus bzw. mit einem umweltverträglichen Werkstoff, Verfahren zu dessen Herstellung sowie dessen Verwendung*, Europäische Patentschrift EP 071428 B, Patenterteilung: 18.03.1998, Patentblatt 1998/12.
- ¹⁹ Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie - Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie(HRSG.): Informationsblatt, Tulln 1999. Stand: 04.11.1999.
- ²⁰ Fritz J., *Gutachten betreffend die biologische Abbaubarkeit von FASAL*, IFA Tulln 1995.
- ²¹ Informationsdienst Wissenschaft (Hrsg.) *Flüssiges Holz*, Mitteilung der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Kategorie: überregionale Forschungsprojekte, Chemie und Biochemie, Werkstoffwissenschaften, Erstellung des Dokuments: 01.07.99. Internet-Adresse : <http://idw.tu-clausthal.de/public>....Internet-Sitzung vom 21.09.1999.
- ²² Heuler S., *Lignin*, Biotechnologie online, Uni Würzburg 1997, Seite 1. Internet-Adresse:<http://132.187.96.115/Projekte/BIO>....Internet-Sitzung vom 05.10.1999.
- ²³ Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie. 4.,Neubearbeitete und Erweiterte Auflage,
Band 16, , Weinheim, Verlag Chemie.

²⁴ Fraunhofer Institut für chemische Technologie (Hrsg.): *Lignin-weltweite Ressourcen neu genutzt*, Pfinztal-Söllingen. Internett-Adresse : <http://www.ict.fhg.de>. Internett – Sitzung : 05.10.1999.

²⁵ Fachhochschule Rheinland-Pfalz, Standort Pirmasens, *Persönliche Mitteilung*, Dr. Jakobi, Dezember 1999.

²⁶ Braun, H.: *Lehrbuch der Forstbotanik*, Stuttgart und New York: Gustav Fischer Verlag, 1982.

²⁷ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (HRSG.) : *Aufschlußreiches zu Holzaufschlußverfahren*, Symposium der FNR e.V., Braunschweig 1996. Internet-Adresse: <http://www.dainet.de/fnr/presse...> Internet-Sitzung vom 27.10.1999.

²⁸ IFA (HRSG.): *FASAL - Ein thermoplastischer Werkstoff aus Holz für den Spritzguß*, Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie - Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie. Impressum unbekannt, Tulln 1999.

²⁹ Fasalex GmbH (Hrsg.), *Der Kopf ist rund, damit das Denken die Richtung ändern kann – Holzwerkstoff – Extrudierbares Holz ohne Kunststoff*, Kopfling, Impressum unbekannt, 11 Seiten.

³⁰ Mundigler N., Rettenbacher M., *Kunststoff oder Holz ?*, Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 1999, 90-92.

³¹ Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie - Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie, *Fasal - Ein thermoplastischer Werkstoff aus Holz für den Spritzguss*. Internett-Adresse : <http://www.ifa-tulln.boku.ac.at>. Internett–Sitzung : 28.09.1999.

³² fasalex® (Hrsg.) *Verfahrensbeschreibung der Fasalex -Granulatproduktion und der Fasalex- Profilproduktion*, Stand 13. Dezember 1999, Tulln, Seite 2-15.

³³ Patentschrift Nummer : WO90/05161 *Thermoplastically Prozessable Starch and a Process for making it.*, Veröffentlichungsdatum : 17.05.1990.

³⁴ Wiedmann W., *Thermoplastische Stärke mit Doppelschneckenextrudern herstellen*, Kunststoffe 1994, 84., 972-976.

- ³⁵ Rafler G. , *Neue Entwicklungen von biologisch abbaubaren Kunststoffen*, Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg **1999**, 81-84.
- ³⁶ Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie - Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie(HRSG.):*Preisliste - FASAL*, Tulln 1999. Stand: Dezember **1999**.
- ³⁷ Colvin Robert, *Plastic – wood composite opens a new option for lineal extrusion*, Plastiscope **1998**, **44**.
- ³⁸ J. Rettenmaier & Söhne (JRS) (HRSG.) *Wood- like plastic*, News JRS letter, Sparte Chemie, Nr. VK-C/06-98v, **1998**, 1-2.
- ³⁹ *Lignocel, Qualität und Zuverlässigkeit*. Internet-Adresse: <http://jrs/german/lignocel.htm>. Internet-Sitzung vom 10.11.**1999**.
- ⁴⁰ IFA Tulln, Abteilung für Naturstoff und Verpackungstechnologie, Interne Information vom 22.10.**1999**.
- ⁴¹ Treeplast Produktinformation, Internett-Adresse : <http://treeplast.com>. Internett–Sitzung : 27.10.**1999**.
- ⁴² Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie - Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie , *Fasalex – Extruded wooden Profiles*, Internett-Adresse : <http://www.ifa-tulln.ac.at>. Internett-Sitzung : 28.09.**1999**.
- ⁴³ Fasalex GmbH, Fax vom 18.11.1999, Tulln, **1999**.
- ⁴⁴ Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie - Abteilung für Naturstoff- und Verpackungstechnologie(Hrsg.), Jahresbericht **1998**.
- ⁴⁵ Albert–Ludwig-Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum, Jahresbericht **1998**, Seite 77
- ⁴⁶ Virginia Tech, *Persönliche Mitteilung*, Prof. Dr. Glasser, Blacksburg, November **1999**.
- ⁴⁷ Albert–Ludwig-Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum, *Persönliche Mitteilung*, Herr Nitz, Oktober **1999**.

⁴⁸ Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung in Detmold und Münster (BAGKF) (Hrsg.), Titel: *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>. Internet-Sitzung vom: 27.10.1999.

⁴⁹ Gimmler, N., *Optimierung der Prozessbedingungen zur Herstellung von Stärkederivaten in einem gleichlaufenden Zweiwellenextruder als Reaktor*, Diss. Universität Berlin 1992.
