

HANSER

Leseprobe

Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths

Technische Biopolymere

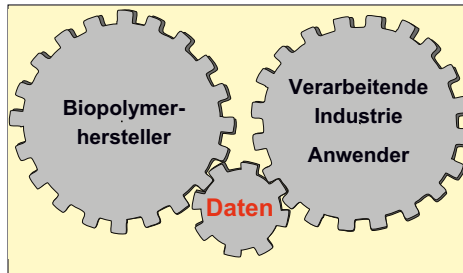
Rahmenbedingungen, Marktsituation, Herstellung, Aufbau und  
Eigenschaften

ISBN: 978-3-446-41683-3

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-41683-3>

sowie im Buchhandel.



**Bild 5.1** Zur Erleichterung der Materialvorauswahl im Bereich der Biopolymere sind entsprechende, vergleichbare Materialdaten erforderlich, die in diesem Bereich weitestgehend fehlen

erstellt. Als Vorlage dieser Datenbank dient hier die bereits bekannte Campus-Biopolymerdatenbank, welche als internationales Standardsystem für konventionelle Polymere bekannt ist. Ausführliche Informationen zu den verschiedenen Eigenschaften der Biopolymere können dieser Biopolymerdatenbank unter [Materialdatacenter.com](http://Materialdatacenter.com) entnommen werden.

Diese neue Biopolymerdatenbank soll aufgrund der Herstellerangaben und insbesondere selbst ermittelten, vergleichbaren und EDV-technisch aufbereiteten Materialdaten wertvolle Vorarbeit bei der Werkstoffsuche leisten und den Prozess bis zur Findung eines Biopolymers mit geeignetem Eigenschaftsprofil für eine bestimmte Anwendung signifikant beschleunigen.

## 5.1 Eigenschaftsprofile der wichtigsten Biopolymere

### 5.1.1 Polyvinylalkohole (PVAL)

Polyvinylalkohol wird als Granulat oder (gemahlen) als Pulver hergestellt, ist weiß bis leicht elfenbeinfarbig und geruchlos. Als trockener Gießfilm (aus Wasser) ist Polyvinylalkohol im wasserfreien Zustand spröde. Die Sprödigkeit wird verringert durch gegebenenfalls verbliebene Acetylgruppen (teilverseifte Polyvinylalkohole), einpolymerisierte Monomere oder auch durch Wasseraufnahme (siehe dazu Abschnitt 4.1.1.1). Wasser dient dabei als äußerer, flüchtiger Weichmacher. Man vermindert das Ausdunsten des Wassers durch Zusatz von Glycerin oder Glykol. In dieser Kombination mit Glycerin als äußerer Weichmacher können die insbesondere durch die polaren Hydroxygruppen induzierten starken zwischenmolekularen Wechselwirkungen reduziert und damit eine gute thermoplastische Verarbeitbarkeit von PVAL ermöglicht werden.

Weitere besondere Merkmale von PVAL sind:

- Gutes Filmbildungsvermögen
- Exzellente Gasbarrieren (gegen Sauerstoff, Kohlendioxid, Stickstoff, Aromen)
- Hohe Festigkeit der Folien

- Hohe Adhäsion und Kohäsion
- Hohe Pigmentbindekapazität
- Viskositätssteigerung
- Schäumbarkeit
- Vernetzbarkeit
- Schutzkolloid
- Teilweise lebensmittelrechtlich zugelassen
- Wasserlöslichkeit und in vielen organischen Lösungsmitteln unlöslich
- Variables Eigenschaftsprofil (Co- und Terpolymere, Verseifungsgrad, Molekulargewicht, usw.)

Die Haupteigenschaften von PVAL hängen vom Polymerisationsgrad [Degree of Polymerization (DP)] und dem Hydrolysegrad, sowie dessen Verteilung ab. Die Hauptgruppen lassen sich in vollhydrolysiert (97,5 – 99,5 mol-% Hydrolysegrad) und teilhydrolysiert (87 – 89 mol-%) unterteilen. Es gibt jedoch auch teilhydrolysierte PVAL mit 80 mol-% und Zwischengruppen von 87 bis 98 mol-%. Der Polymerisationsgrad bei PVAL wird durch die dynamischen Viskosität [in Poise (P), Centipoise (cP) oder Millipascal·Sekunde (mPa·s) ( $100 \text{ cP} = 0,1 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2 = 0,1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 100 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ )] von einer vierprozentigen wässrigen PVAL-Lösung charakterisiert. Polyvinylalkohole verfügen über eine große Polymolekularität. Den Hauptteil der PVAL stellen niederviskose Gruppen von ca.  $5 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  (entspricht einem DP von 500), Gruppen mittlerer Viskosität im Bereich von  $20 - 30 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  (DP=1.700) und hochviskose Gruppen von  $40 - 50 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  (DP=2.000) dar. Außerdem kommen auch Gruppen mit über  $60 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  in unterschiedlichen Variationen vor. Die Viskosität wird somit durch die Kettenlänge der Polymere bestimmt, dabei gilt, je länger die Polymerketten, desto höher die Viskosität [46].

Anwendung finden vollhydrolysierte PVAL meistens bei:

- der Papierbeschichtung
  - dienen als Träger für optische Aufheller, Erhöhung der Beständigkeit gegen Fett, Lösemittel oder Wasser, als Barrierepapier- oder Sperrschicht, sowie zur Steigerung der mechanischen Papiereigenschaften
- als Rohstoff für die Herstellung von Sicherheitsglasfolien aus PVB
  - Folie zwischen zwei Glasscheiben, durch die im Fall eines Bruches ein Zersplittern und Auseinanderfallen verhindert wird

Teilhydrolysierte PVAL und deren Derivate (PVB) werden oft eingesetzt:

- in der Emulsionspolymerisation
  - dienen als Schutzkolloid zur Teilchenstabilisierung
- in Klebstoffen
  - Klebkraft (Tack), insbesondere hohe Haftung an cellulosehaltigen Materialien wie Holz oder Papier
  - Einstellen der Viskosität von Klebstoffen und auch anderen Produkten

- im Textilbereich
  - Schichten für das Verspinnen von Fasern, PVAL-Beschichtung liefert der Faser hohen Abrasionswiderstand und verbessert mechanische Fasereigenschaften sowie Haftung an anderen synthetischen und cellulosebasierten Fasern

Weitere typische Anwendungsgebiete neben den oben genannten sind:

- Barrierefolien
  - Beschichtung von Kunststoffen wie Polyethylenterephthalat (PET) oder OPP (Gasbarriere) sowie metallisierten Folien (Aromaschutz)
- Trennfolien
- PVC
  - exakte Steuerung der PVC-Partikelgrößen und der Verteilungen (primary suspending agents) sowie der Morphologie (Weichmacheraufnahme; secondary suspending agents)
- Thermoplaste (in Kombination mit Weichmachern und Extrusionshilfsmitteln)
  - Verwendung als thermoplastischer Werkstoff für beispielsweise Spritzgießen, Blas- und Folienextrusion zum Erhalt von Formkörpern und Folien mit PVAL Eigenschaften

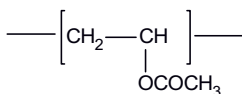
Verwendung findet Polyvinylalkohol darüber hinaus als Verdickungsmittel für Kunststoffemulsionen und zur Imprägnierung/Oberflächenleimung von Papieren. Ein weiteres Anwendungsgebiet sind Filme. Polyvinylalkoholfasern werden aus wässriger Lösung in salzhaltige Fällbäder versponnen und verstreckt. Sie besitzen hervorragende mechanische Eigenschaften. Neben wasserempfindlichen Produkten, die eine eher geringe Bedeutung haben, sind diese Fasern chemisch vernetzt und somit absolut wasserunlöslich. Sie können nach dem Vernetzen zum Beispiel mit Formaldehyd mit Fasern aus Polyacrylnitril, Polyamiden oder Polyurethanen zu Garnen verarbeitet werden und dadurch deren Wasseraufnahme erhöhen. Als Faser finden sie Verwendung in Gewebe für Schutzbekleidungen, Filtermaterial, Netzen (z. B. Geotextilien und Fischernetze) u. ä. Außerdem werden aus Polyvinylalkohol ölfeste Schläuche, Membranen und Dichtungen hergestellt.

Je nach Verseifungsgrad besitzen darüber hinaus Copolymere auf PVAL-Basis einen breiten Eigenschaftsbereich. So sind beispielsweise partiell verseifte Produkte mit 35 % Acetylgruppen noch wasserlöslich, dagegen sind die mit einem Verseifungsgrad von 70 bis 85 % nicht mehr wasserlöslich.

Die derzeitigen Preise für die verschiedenen PVAL-Typen liegen im Bereich von 3–5 Euro/kg, wobei modifizierte Spezialtypen oder hochmolekulare Produkte auch deutlich mehr kosten können.

### **Wasserlöslichkeit**

Die Wasserlöslichkeit von PVAL hängt maßgeblich vom Hydrolysegrad und dem Polymerisationsgrad ab. Die hydrophilen Hydroxy-Gruppen sind bei einem PVAL ursächlich für starke Wasserstoffbrückenbindungen, die zu verstärkten zwischenmolekularen Wechselwirkungen und zunehmender Kristallinität führen. Durch die Überlagerung der beiden Effekte zunehmende Hydrophilie und Anzahl/Intensität der Wasserstoffbrückenbindung kommt



**Bild 5.2** Hydrophobe Acetatgruppe [3]

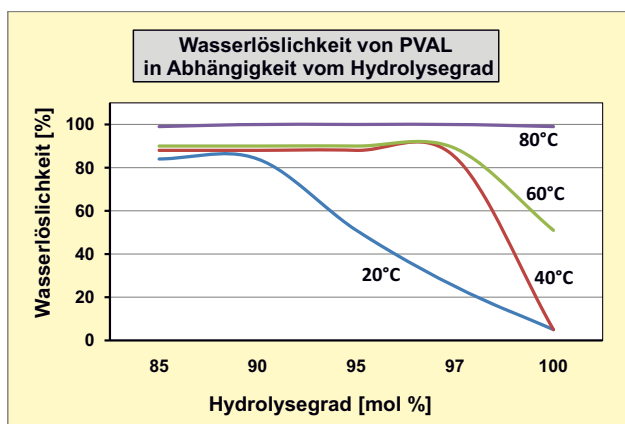
es mit zunehmendem Hydrolysegrad zu einer deutlich verminderten Wasserlöslichkeit bei niedrigen Temperaturen (ca. 60 °C).

Andererseits sind die verbleibenden Acetatgruppen (Bild 5.2) in den teilhydrolysierten PVAL hydrophob und reduzieren so die Wasserstoffbrückenbindungen der angrenzenden OH-Gruppen. Dadurch nehmen die zwischenmolekularen Wechselwirkungen und die Kristallinität ab. Ist eine ausreichende Menge an Acetatgruppen vorhanden, wird somit die Wasserlöslichkeit, insbesondere bei relativ niedrigen Temperaturen (20 – 40 °C) erhöht.

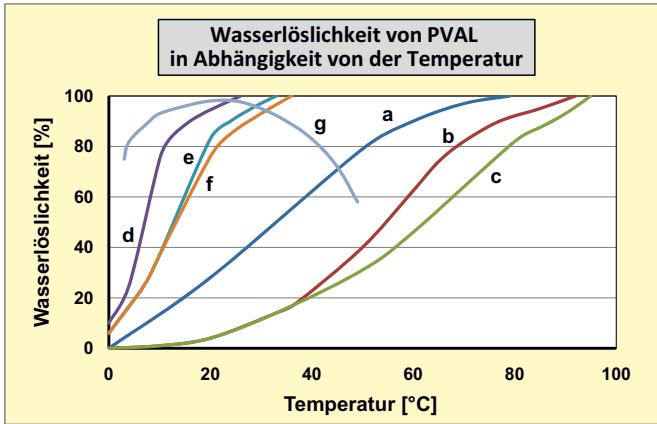
Die folgenden Bilder 5.3 und 5.4 zeigen die Relation zwischen der Wasserlöslichkeit und dem Hydrolysegrad beim PVAL.

Es ist zu erkennen, dass PVAL bei 20 °C mit einem Hydrolysegrad < 88 mol-% fast vollständig löslich ist. Dies ändert sich jedoch, wenn der Hydrolysegrad steigt. Je höher dieser wird, desto geringer ist die Löslichkeit. Zwischen 40 – 60 °C kommt es durch die Anwesenheit von nur 2 – 3 mol-% Restacetat gegenüber vollhydrolysierten Typen zu einer signifikanten Änderung in der Löslichkeitskurve. Wie bereits beschrieben, reichen diese geringen Anteile aus, um die Wasserlöslichkeit zu erhöhen. Des Weiteren kann man sehen, dass die beiden Kurven dramatisch abfallen, wenn der PVAL einen Hydrolysegrad von > 97 mol-% besitzt. Um einen PVAL vollständig lösen zu können, muss dieser dann auf Temperaturen im Bereich von mindestens 90 °C erwärmt werden, da ansonsten ungelöste Bestandteile zurückbleiben, Bild 5.3.

Um den Einfluss der Temperatur noch besser zu verdeutlichen, zeigt Bild 5.4 die Wasserlöslichkeit von PVAL in Abhängigkeit von der Temperatur. Untersucht wurden typische PVAL mit Hydrolysegraden von 98, 88 und 80 mol-% und Polymerisationsgraden zwischen 500 und 2.500. Die jeweilige Konfiguration zeigt Tabelle 5.1.



**Bild 5.3** Wasserlöslichkeit in Abhängigkeit des Hydrolysegrades (Polymerisationsgrad ca. 2000) (Quelle: modifiziert nach Finch und eigene Untersuchungen)



**Bild 5.4** Wasserlöslichkeit von PVAL in Abhängigkeit zur Temperatur (Quelle: modifiziert nach Finch und eigene Untersuchungen)

**Tabelle 5.1** Untersuchte PVAL Konfigurationen

Bezeichnung	Hydrolysegrad [mol-%]	Polymerisationsgrad
(a)	98 – 99	500 – 600
(b)	98 – 99	1.700 – 1.800
(c)	98 – 99	2.400 – 2.500
(d)	87 – 89	500 – 600
(e)	87 – 89	1.700 – 1.800
(f)	87 – 89	2.400 – 2.500
(g)	78 – 81	2.000 – 2.100

(a) (b) (c) sind PVAL mit einem Hydrolysegrad von 98 – 99 mol-% (vollständig hydrolysiert). Diese lösen sich immer besser, je höher die Temperatur steigt.

(d) (e) (f) sind teilhydrolysierte PVAL (87 – 89 mol-%). Sie zeigen nur sehr geringe Beeinflussung durch den Polymerisationsgrad verglichen mit den vollhydrolysierten-Typen, was gut an den fast identisch verlaufenden Kurven zu erkennen ist. Hier, wie auch bei a, b und c, ist jedoch zu erkennen, dass je höher der DP ist, desto höher muss auch die Lösungstemperatur sein.

(g) ist ein PVAL mit einem Hydrolysegrad von nur 80 mol-%. Dieser hat die höchste Wasserlöslichkeit bei niedrigen Temperaturen, jedoch sinkt diese bei steigenden Temperaturen wieder ab und resultiert in einer Phasentrennung, die auch als „cloud point“ bekannt ist. Um dieses Phänomen zu umgehen, werden teilhydrolysierte PVAL meist so ausgewählt, dass sie einen Kompromiss aus guter Löslichkeit bei möglichst geringen Temperaturen darstellen, wobei gleichzeitig das Auftreten des cloud points vermieden werden soll [1+3+4+5+6].

Wasserlösliche PVAL-Folien zeichnen sich insbesondere durch folgende Eigenschaften aus:

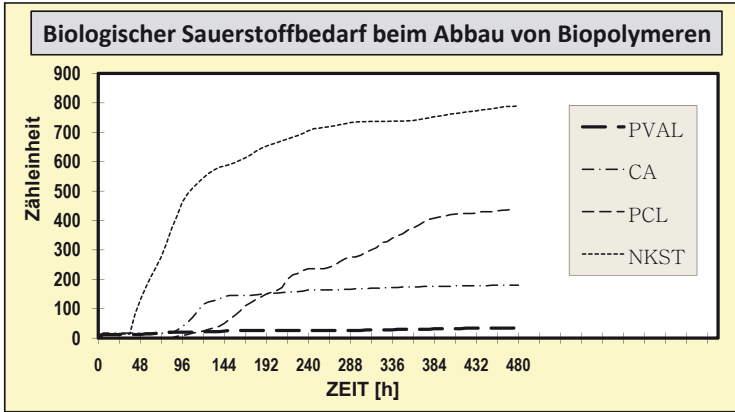
- Hohe Klarheit und hoher Glanz
- Gute Bedruckbarkeit
- Gute Färbbarkeit
- Hohe Wasserdampfdurchlässigkeit
- Geringe Permeation von  $H_2$ , He,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$  und anderen organischen Substanzen
- Geringe elektrostatische Aufladung
- Gute Schweiß- und Verklebbarkeit
- Gute Lichtstabilität
- Biologische Abbaubarkeit in wässriger Lösung

Verwendung finden solche PVAL-Folien aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit insbesondere im Bereich wasserlöslicher Verpackungen z. B. für Pestizide, Düngemittel oder in heißwasserlöslicher Form für trockene, pulverförmige und gepresste Detergenzien sowie auch beispielsweise als Wäschesäcke im Hospitalbereich. Wasserlösliche Wäschesäcke sind in Krankenhäusern, wo Sicherheit und höchste sanitäre Standards zur Vermeidung von Infektionen lebensnotwendig sind, als sehr effektive geschlossene Systeme weit verbreitet. Die Handhabung infizierter Krankenwäsche ist wesentlich sicherer, wenn sie in einem wasserlöslichen Sack auf dem Weg von der Befüllung bis hin zur Waschmaschine transportiert wird. Dabei lösen sich PVAL-Säcke aufgrund ihrer warm- oder heißwasserlöslichen Eigenschaften vollständig im Waschvorgang auf und hinterlassen keinen kontaminierten Verpackungsabfall. Die eingesetzten PVAL-Folien sind zudem abbaubar und geruchsdicht.

Neben PVAL gibt es noch weitere wasserlösliche Polymere, wie Polyvinylpyrrolidon oder die Ether Polyethylenoxid (PEOX) und das meist selbst bei höheren Molekulargewichten noch flüssige Polypropylenoxid (PPOX). Bei diesen wasserlöslichen Polymeren kommt es zwar beim Lösevorgang zu einer makroskopischen Werkstoffdissoziation und möglicherweise auch zu einem partiellen Primärabbau, jedoch sind die resultierenden Molekülfragmente nicht bzw. nur sehr langsam vollständig bioabbaubar.

### Abbaubarkeit

Bei der Untersuchung der biologischen Abbaubarkeit von PVAL ist zwischen einen in wässriger Lösung und einem ungelöst vorliegenden Produkt zu unterscheiden. Während bei einem gelösten PVAL in einer adaptierten Kläranlage die Metabolisierung schnell erfolgt, ist eine Kompostierung nicht möglich. Der PVAL ist wegen seiner Hydroxylgruppen an die Bestandteile der Erde stark adhäsiv gebunden und nicht hinreichend in die wässrige Phase überführbar. So gebundener PVAL konnte unter Standardbedingung (z. B. ISO Standard 17088 bzw. EN 13432) nicht abgebaut werden. Bei der Analyse der Kompostierbarkeit von PVAL konnte meist ein rascher Primärabbau und ein Auflösen in wässriger Systemen beobachtet werden, während der Sekundär- oder Endabbau dagegen meist aufgrund der fehlenden Heteroatome in der Molekülkette nur sehr langsam von statten geht (Bild 5.5). Die vollständige biologische Abbaubarkeit/Kompostierbarkeit von PVAL ist daher umstritten. Derzeit gibt es zwar



**Bild 5.5** Biologischer Sauerstoffbedarf beim anaeroben Abbau verschiedener Biopolymere im Vergleich zur nativen Kartoffelstärke (NKST)

entsprechende Bemühungen der Hersteller, jedoch sind derzeit noch keine PVAL-Typen, die als kompostierbar zertifiziert sind, auf dem Markt erhältlich.

In Bild 5.5 ist der Sauerstoffbedarf als Indiz für den Endabbau (vgl. Abschnitt 2.3) von PVAL im Vergleich zu nativer Kartoffelstärke (NKST), Polycaprolacton (PCL) und einem Celluloseacetat (CA) mit einem niedrigen Substitutionsgrad im Bereich von etwas über 2 dargestellt.

Eine weitere Möglichkeit, das Eigenschaftsprofil von PVAL z. B. in Richtung Hydrophobierung, Zähigkeit oder verbesserter thermoplastischer Verarbeitbarkeit signifikant zu erweitern, besteht durch die Copolymerisation mit Ethylen oder auch Butyral, siehe auch Bild 4.15 und 4.79. Durch das Einpolymerisieren dieser Monomerkomponenten ist jedoch davon auszugehen, dass sich die biologische Abbaubarkeit weiter verschlechtert. So verändert sich das Eigenschaftsprofil von PVAL mit zunehmendem Ethylenanteil in Richtung EVAL. Dies ist momentan Gegenstand entsprechender Untersuchungen.

Im PVAL-Bereich gibt es eine Vielzahl von Produkten, die mit einem oder mehreren Co-Monomeren hergestellt werden. Die verschiedenen Co- und Terpolymere sind je nach Art und Anteil der Co-Monomere und den Verseifungsgraden in ihrem Eigenschaftsprofil sehr variabel. Durch entsprechende Monomere werden verschiedenste Funktionalitäten eingebracht, wobei anionische oder kationische Polyvinylalkohole erhalten werden. Ferner werden beispielsweise auch silanylgruppenhaltige Polyvinylalkohole für Spezialanwendungen kommerziell angeboten. Das variable Eigenschaftsprofil reicht dabei von nur gießtechnisch bis zu thermoplastisch verarbeitbaren sowie von kaltwasserlöslichen bis hin zu weitestgehend wasserunlöslichen oder von kompostierbaren bis zu nicht mehr biologisch abbaubaren Werkstofftypen. Grundsätzlich gilt dabei, dass es mit zunehmender Verseifung zu einer zunehmenden Anzahl an kleineren hydrophilen Hydroxygruppen gegenüber den größeren und hydrophoben Acetatgruppen, d. h. zu einer Zunahme der zwischenmolekularen Wechselwirkung kommt. Dies führt im Weiteren dann dazu, dass bei gleichem Molekulargewicht hochverseifte Typen z. B. nur durch den Zusatz von Weichmachern plastifizierbar und thermoplastisch verarbeitbar sind. Parallel dazu kommt es mit zunehmender Verseifung und/



oder Erhöhung des Molekulargewichtes zu einer Erhöhung der Glasübergangstemperatur, der Härte, des E-Moduls und der Viskosität. Da sich mit zunehmender Verseifung auch gleichzeitig die Kristallinität erhöht, verringert sich die Wasseraufnahme, trotz des höheren Anteils an hydrophilen Hydroxygruppen.

### 5.1.2 Polycaprolacton (PCL)

Polycaprolacton (PCL) ist ein Polyester und wird nicht aus nachwachsenden Ressourcen gewonnen, d. h. es gehört ebenso wie PVAL zur Gruppe der Biopolymere mit synthetischem Ursprung. Die Hauptgrundbausteine sind Ester- und Methylgruppen (vgl. Bild 4.16). Deren Verhältnis und deren Verteilung im Polymer, der Polymerisationsgrad sowie möglicherweise noch weitere einpolymerisierte Komponenten bestimmen wesentlich die Kristallinität und die Eigenschaften der verschiedenen PCL-Typen. Die hohe Beweglichkeit der Kettensegmente und die geringen zwischenmolekularen Wechselwirkungen führen jedoch allgemein zu einer sehr geringen Schmelz- und Glasübergangstemperatur und einer eher wachsartigen Konsistenz.

Grundsätzlich hat PCL ähnliche mechanische Eigenschaften wie andere konventionelle, nicht abbaubare, synthetische Polymere. Es ist nicht toxisch und bei einer Molmasse von unter 15.000 g/mol ist das Material spröde. Bei höheren Molmassen im Bereich von 40.000 g/mol ist es teilkristallin aufgebaut und weich, d. h. es besitzt eine besonders hohe Dehnfähigkeit. Eine wichtige Einschränkung der Anwendbarkeit ergibt sich aus dem zwar scharf definierten aber sehr niedrigen Schmelzpunkt bei ca. 60 °C. Polycaprolacton ist mit fast allen Kunststoffen und insbesondere mit Stärke oder Lignin verträglich.

Die Sauerstoffdurchlässigkeit von PCL ist in etwa vergleichbar mit der von Polyethylen, d. h. es kann nicht als Sauerstoffbarrierematerial eingesetzt werden. Im Gegensatz zum PE nimmt es jedoch auch Feuchtigkeit auf und die Wasserdampfdurchlässigkeit ist besonders hoch.

Eine positive Eigenschaft ist seine gute Chemikalien- und Lösemittelbeständigkeit. PCL ist in aliphatischen Kohlenwasserstoffen, Alkoholen und Glykol unlöslich. In den meisten aromatischen und chlorierten Kohlenwasserstoffen sowie polaren Lösungsmitteln ist es löslich.

Trotz seines relativ hohen Preises von derzeit ca. 4,5–6 Euro/kg wird es als biologisch abbaubarer Werkstoff insbesondere gerne als Blendkomponente zur Weichmachung und Hydrophobierung anderer Biopolymere eingesetzt. Bereits in den 70er-Jahren durchgeführte Abbauuntersuchungen haben ein allgemein gutes, d. h. rasches und vollständiges Abbauverhalten ergeben, wobei die PCL-Typen mit kleinerer Molmasse noch etwas besser abbauen, als die PCL-Typen mit höheren Molmassenwerten. Beim aeroben biologischen Abbau wird PCL zunächst zu Hydroxycapronsäure hydrolysiert, welche weiter zu Adipinsäure oxidiert wird. Nach weiteren Zwischenstufen entstehen letztlich über den Zitronensäurezyklus die Endprodukte CO<sub>2</sub> und Wasser.

Im Vergleich zu anderen Biopolymeren besitzt es zudem mit Werten um 1,1 g/cm<sup>3</sup> eine vergleichbar geringe Dichte.

Neben dem Einsatz als Biopolymer oder Biopolymerkomponente wird PCL u. a. auch im medizinischen Bereich als Klebstoff, in der Pharmaindustrie zur dosierten Medikamentenfreigabe oder in der Orthopädie für Abdrücke verwendet.

### 5.1.3 Polyhydroxyalkanoate (PHA)

Polyhydroxyalkanoate bezeichnet eine Familie von in der Regel sehr gut abbaubaren aliphatischen Polyestern, deren Eigenschaftsprofil sehr variabel ist. Die Eigenschaften werden auch bei diesem Biopolymer insbesondere wieder durch die variablen Polymerisationsgrade und durch die Vielfalt der Monomereinheiten selbst und die verschiedenen Strukturisomeren bestimmt, Bild 5.6.

Sehr signifikant sind dabei wieder die angepfropfte funktionale Seitenkette und auch die Anzahl der verbleibenden Doppelbindungen. Reines PHB mit nur einer relativ kleinen Methylgruppe als Seitenkette ist z. B. hochkristallin (>70%), sehr steif und spröde und daher auch schwierig zu verarbeiten. Der Schmelzpunkt liegt relativ nahe an der Zersetzungstemperatur. Dagegen kommt es bei Homopolymeren mit zunehmender Länge der Seitenketten und bei Copolymeren mit zunehmenden Comonomeranteilen mit längererkettigen Seitenketten oder auch grundsätzlich mit zunehmender Länge der Seitenketten zu einer Abnahme der Kristallinität und damit zu deutlich zäheren Werkstoffeigenschaften der Polyhydroxyalkanoate. Das bedeutet, dass z. B. mit zunehmendem Valeratanteil beispielsweise der E-Modul,

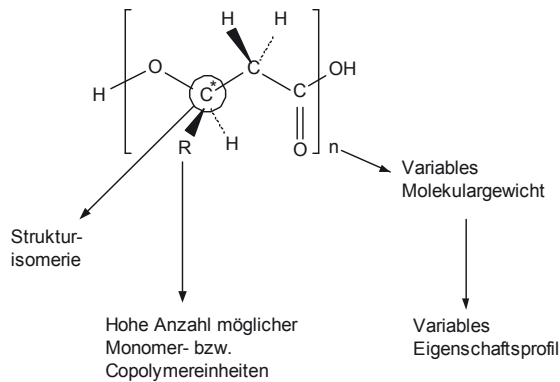


Bild 5.6 Variables Eigenschaftsprofil von Polyhydroxyalkanoaten

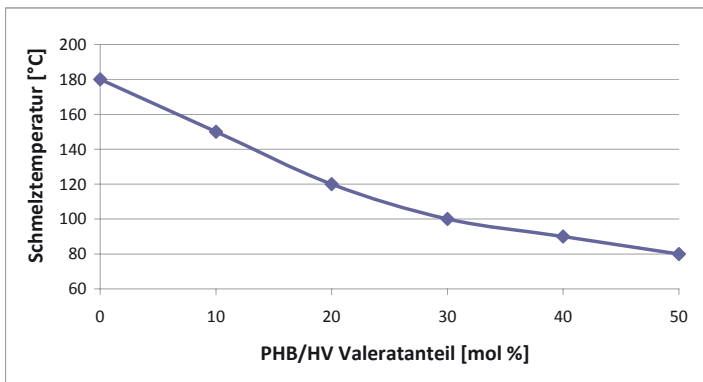


Bild 5.7 Schmelztemperatur in Abhängigkeit vom HV-Anteil bei PHB/HV-Copolymeren

### 5.2.1.2 Thermomechanische Eigenschaften

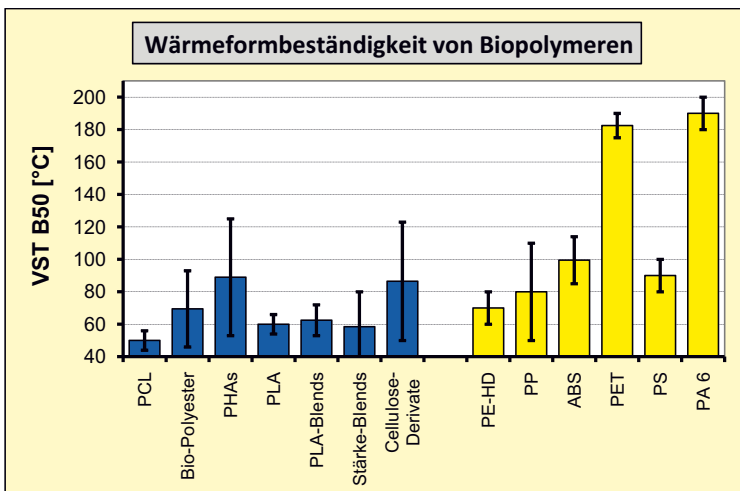
In den folgenden Abbildungen (Bild 5.36 und Bild 5.40) sind die *Vicat-* und die *Glasübergangstemperatur* sowie der insbesondere für technische Anwendungen interessante Zusammenhang zwischen Wärmeformbeständigkeit und Verformungswiderstand stellvertretend für die thermisch-mechanischen Eigenschaften dargestellt.

Bei den dargestellten Werten der HDPEs handelt es sich um VST B50 Werte (VST = Vicat Softening Temperature, B50: Prüfbedingungen = Belastung 50 N, Aufheizrate 50 °C/h), welche in der Regel um 5 bis 20 °C über den HDT A Werten (HDT = Heat Deflection Temperature, A: Prüfbedingungen = Biegespannung 0,45 MPa, Aufheizrate 120 °C/h) liegen.

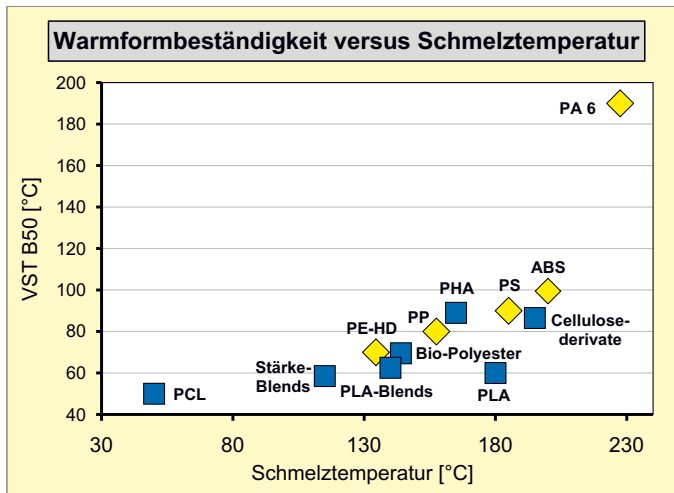
Die höchste *Wärmeformbeständigkeit* zeigen die Cellulosederivate, sowie die Polyester und Polyhydroxyalkanoate. Auffällig ist hier die bekannte, relativ geringe Wärmeformbeständigkeit von PLA. Daneben zeigen auch die PLA-Blends, Stärkeblends und erwartungsgemäß auch das PCL geringe Wärmeformbeständigkeitswerte.

Die Werte verschiedener Polyester- und Polyhydroxyalkanoattypen entsprechen denen der PE-HD oder PP-Vergleichstypen. Die Cellulosederivate und auch andere PHAs zeigen eine ähnlich hohe Wärmeformbeständigkeit wie der ABS-Vergleichswerkstoff, während die sehr gute Wärmeformbeständigkeit von PET und PA 6 derzeit noch von keinem kommerziell erhältlichen Biopolymerwerkstoff erreicht wird. In diesem Zusammenhang wird daher an der Entwicklung von höherwertigen Biopolymeren (Bio-PA, Bio-Polyester, usw.) gearbeitet.

Die von konventionellen Kunststoffen allgemein bekannten proportionalen Zusammenhänge zwischen Wärmeformbeständigkeits-Temperatur und Schmelztemperatur (Bild 5.37) sowie Glasübergangs- und Schmelztemperatur (Bild 5.38) lassen sich aufgrund der wieder gleichen physikalischen oder werkstofftechnischen Gesetzmäßigkeiten erwartungsgemäß



**Bild 5.36** Vicat-Temperatur verschiedener Biopolymere im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen (Werte für konventionelle Kunststoffe u.a. nach [7], [29], [97])



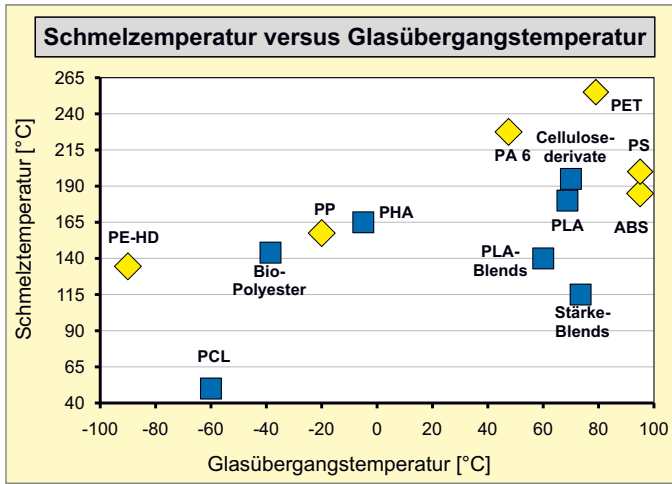
**Bild 5.37** Zusammenhang zwischen Wärmeformbeständigkeit und Schmelztemperatur verschiedener Biopolymere im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen

mäß auch auf die Biopolymere übertragen. Zunehmende Nebenvalenzkräfte führen zu einer Erhöhung der Wärmeformbeständigkeit. Parallel dazu kommt es aus dem gleichen Grund auch zu einer allgemeinen Zunahme der Schmelztemperatur. Eine Abweichung nach unten von diesem Sachverhalt zeigen dabei leider die PLA-Werkstoffe.

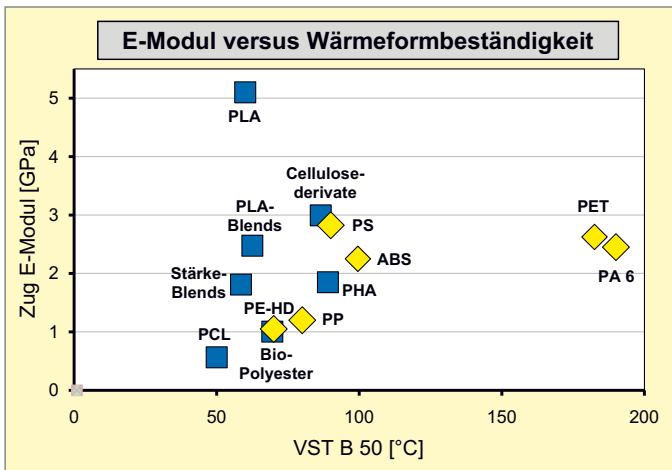
Einen ähnlichen Sachverhalt zeigen die Biopolymere ebenso wie die konventionellen Kunststoffe auch beim Zusammenhang zwischen Schmelztemperatur und Glasübergangstemperatur (Bild 5.38). Mit zunehmender Schmelztemperatur erhöht sich leider grundsätzlich auch die Glasübergangstemperatur. Aus polymertechnischer Sicht kann dies durch zunehmende zwischenmolekulare Wechselwirkungen erklärt werden. Je stärker die Nebenvalenzen ausgeprägt sind, umso höher ist die erforderliche Schmelztemperatur zum Aufbrechen dieser Bindungen. Gleichzeitig bedeuten hohe Nebenvalenzkräfte jedoch auch eine abnehmende Beweglichkeit der Makromoleküle und führen damit zu einer Erhöhung der Glasübergangstemperatur. Auffällig ist hier die niedrige Glasübergangstemperatur, d. h. hohe Zähigkeit des PE-HDs bis in niedrige Temperaturbereiche.

Beim Vergleich des Zusammenhangs zwischen E-Modul und Wärmeformbeständigkeit (Bild 5.39) zeigen die derzeit am Markt erhältlichen Biopolymere eine etwas geringere Wärmeformbeständigkeit gegenüber den konventionellen Kunststoffen. Die Verbesserung der Wärmeformbeständigkeit ist im Hinblick auf den zunehmenden Einsatz der Biopolymere auch in technischen Anwendungen außerhalb des Verpackungsbereiches ein Schwerpunkt aktueller Materialentwicklungen.

Bei der *Glasübergangstemperatur* sollten im Bezug auf den Vergleichswerkstoff PE-HD möglichst niedrige Werte erreicht werden. Oberhalb der Glasübergangstemperatur kommt es in den amorphen Bereichen zu einer zunehmenden Entropieelastizität, verbunden mit einer zunehmenden Beweglichkeit der Kettensegmente in diesen Bereichen. Parallel dazu wird der Polymerwerkstoff zähelastischer. Unterhalb von  $T_g$  ist nur eine überwiegend energie-

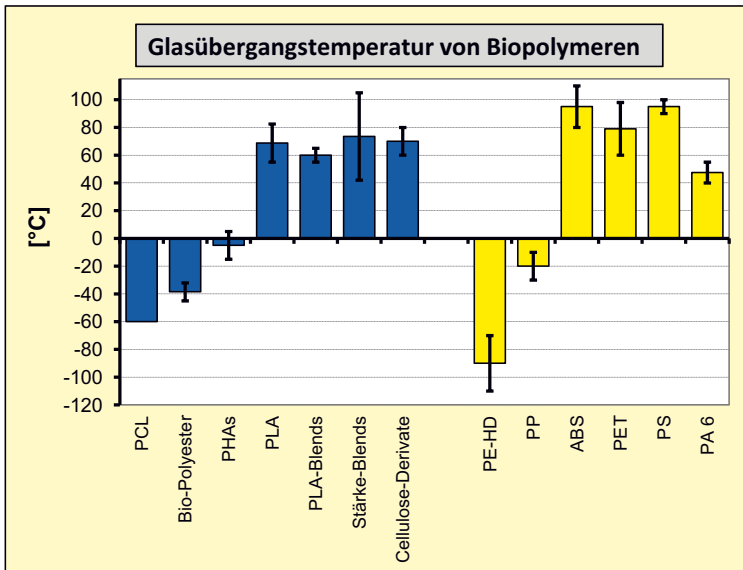


**Bild 5.38** Zusammenhang zwischen Schmelztemperatur und Glasübergangstemperatur verschiedener Biopolymere im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen



**Bild 5.39** E-Modul versus Wärmeformbeständigkeit verschiedener Biopolymere im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen

elastische Verformung möglich und der Werkstoff ist makroskopisch eher spröde. Dies trifft insbesondere für die Stärke-Blends und PLA zu. Diese Werkstoffe sind bei Raumtemperatur eher spröde, da ihre  $T_g$  noch deutlich oberhalb der Raumtemperatur liegt (5.40). Für die HDPE-Vergleichswerkstofftypen kann von einem  $T_g$  von  $-90^\circ\text{C}$  und noch geringer ausgegangen werden. Diese Werte werden nur von verschiedenen Polyestern inklusive PCL annähernd erreicht. Die anderen Biopolymerwerkstoffe besitzen dagegen eine Glasübergangstemperatur die ähnlich wie beim PET und ABS deutlich über Raumtemperatur, d. h. über der jeweiligen Anwendungstemperatur liegen.



**Bild 5.40** Glasübergangstemperatur verschiedener Biopolymere im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen (Werte für konventionelle Kunststoffe u. a. nach [7], [29], [97])

### 5.2.1.3 Verarbeitungseigenschaften

Insbesondere innerhalb der Biopolymergruppen der Stärke- und der PLA-Blends gibt es sowohl Spritzguss- als auch Folienwerkstofftypen. Die Folientypen verfügen meist über einen entsprechend höheren Anteil an Polyestern als Blendkomponente.

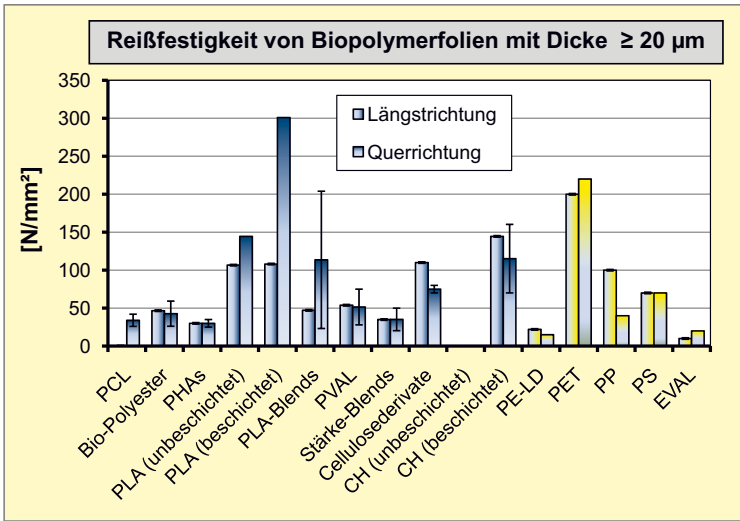
Bezüglich des Streckblasens liegen mit Ausnahme von PLA-Getränkeflaschen bei den meisten Biopolymeren bisher kaum Erfahrungen vor. Auch wenn die Verarbeitung grundsätzlich mit der von PET vergleichbar ist, muss beim PLA z. B. die Flasche aufgrund der geringeren mechanischen Kennwerte in der Wandstärke etwas stärker dimensioniert und zugleich auch die Prozessparameter an die gegenüber PET ca. 90 °C geringeren Schmelz- und Kristallisationstemperatur des PLAs sowie die langsamere Erstarrung angepasst werden. Ebenso müssen beim Streckblasen die erfahrungsmäßig geringeren Reckgrade des PLAs im Vorfeld bei der Preformgestaltung beachtet werden.

Der direkte Vergleich der Biopolymere mit konventionellen Kunststoffen erfolgt im Hinblick auf eine spritzgießtechnische Verarbeitbarkeit zunächst anhand der Schmelztemperatur, der Wärmespeicherkapazitäten, des Schmelzindex, der Schwindung und der Feuchteaufnahme sowie einer allgemeinen Betrachtung der Zykluszeiten. Bisher liegen für die meisten Biopolymere die für die spritzgießtechnische Verarbeitung und rheologische sowie thermische Werkzeugauslegung erforderlichen Materialkennwerte (Fließkurven, Schmelzentalpien etc.) noch nicht vor. Die Bestimmung dieser Kennwerte ist Gegenstand aktueller Untersuchungen der Autoren und können der Biopolymerdatenbank entnommen werden.

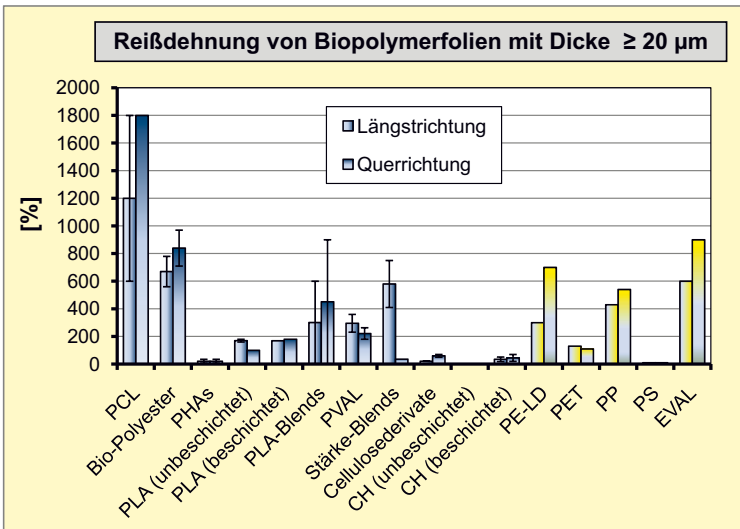
Bei der Angabe der *Schmelzbereiche* (Bild 5.41) basiert das angegebene zum Teil recht breite Temperaturfenster einerseits auf den variablen Materialzusammensetzungen je Biopolymer-

### 5.2.2.5 Mechanische Folienkennwerte

Weitere wichtige Gebrauchseigenschaften für Biopolymerfolien sind deren mechanische Eigenschaften. Im Vergleich zu den konventionellen Polymeren kann im Bezug auf die mechanischen Eigenschaften durch die Biopolymere der gesamte Bereich der konventionellen Folienwerkstoffe vollständig abgedeckt werden. Auch bei den Biopolymeren können



**Bild 5.65** Reißfestigkeit verschiedener Biopolymerfolien im Vergleich zu konventionellen Verpackungsfolien (Werte für konventionelle Kunststoffolie u. a. nach [7], [29], [97])



**Bild 5.66** Reißdehnung verschiedener Biopolymerfolien im Vergleich zu konventionellen Verpackungsfolien (Werte für konventionelle Kunststoffolie u. a. nach [7], [29], [97])

die mechanischen Eigenschaften durch die Werkstoffrezeptur, d. h. insbesondere durch die Blendzusammensetzung und durch Eincompounding von Additiven sehr variabel eingestellt werden. Außerdem werden die mechanischen Eigenschaften neben verschiedenen anderen Eigenschaften (z. B. Barriereigenschaften) analog der Folienherstellung aus konventionellen Kunststoffen in signifikantem Maße durch die Herstellparameter bei der Folienherzeugung (z. B. Reckgrad) beeinflusst. Genau wie die konventionellen Kunststofffolien zeigen Biopolymerfolien daher je nach Herstellungs- und Verarbeitungsparametern ein stark anisotropes Werkstoffverhalten. In den Bildern 5.65 – 5.68 sind daher die jeweilig repräsentativen mechanischen Folienkennwerte in Längs- und Querrichtung für verschiedene Biopolymerfolien aus eigenen Messungen dargestellt.

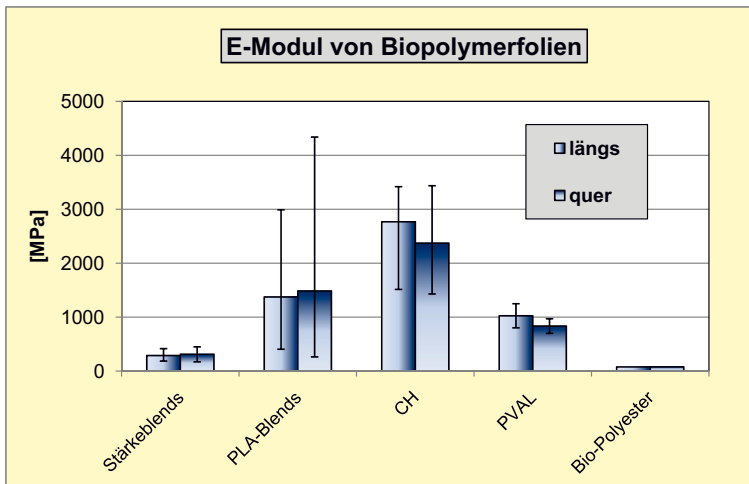


Bild 5.67 E-Modul verschiedener Biopolymerfolien

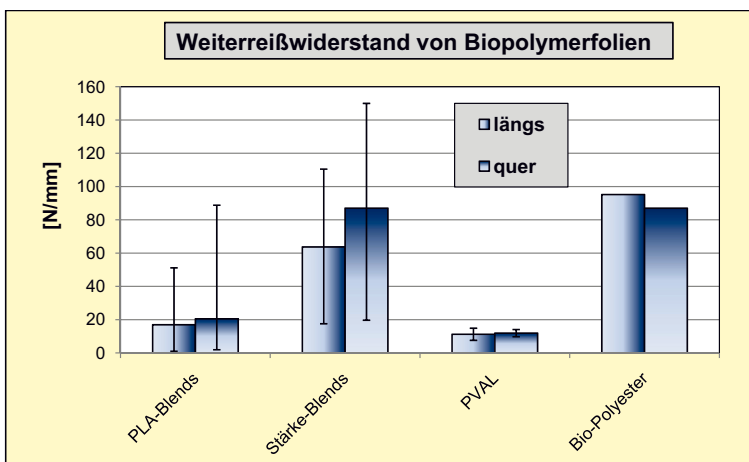


Bild 5.68 Weiterreißwiderstand verschiedener Biopolymerfolien



Die genauere Untersuchung der nur lückenhaft bekannten mechanischen Kennwerte der verschiedenen Biopolymerfolien (z. B. Weiterreißwiderstand, Elastizitäts- bzw. Sekantenmodul etc.) ist derzeit Gegenstand aktueller Untersuchungen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden wieder in der Biopolymerdatenbank zu finden sein.

### 5.2.2.6 Verarbeitungseigenschaften von Biopolymerfolien

Bei der Herstellung und Verarbeitung von Biopolymerfolien kommen grundsätzlich die gleichen Technologien wie bei konventionellen Kunststoffen in Betracht (Bild 6.69).

Aus werkstofftechnischer Sicht basieren die meisten Biopolymerfolien erwartungsgemäß auf PLA- und Stärke-Blends. Daher dominieren für die Biopolymerfolien auch die thermoplastischen Herstellverfahren. Für die Celluloseregenerate und auch bei verschiedenen PVAL-Folien werden dagegen Gießverfahren zur Folienherstellung eingesetzt.

Ähnlich wie bei den Spritzgusswerkstoffen ist auch bei Biopolymerfolien die Beachtung einer möglichen Feuchteaufnahme sowohl im Hinblick auf eine Materialvortrocknung vor der Folienherstellung als auch im Bezug auf feuchteabhängige Gebrauchseigenschaften sehr wichtig. Hier zeigen die Biopolymere Folienwerkstoffe wie beim Vergleich der Spritzgusswerkstoffe auch gegenüber den konventionellen Folienwerkstoffen erwartungsgemäß eine höhere Feuchte- und auch Wasseraufnahme (Bild 5.71).

Auch beim Vergleich des Schmelzbereiches der Biopolymerfolienwerkstoffe mit konventionellen Folienwerkstoffen zeigt sich das gleiche Bild wie beim Vergleich der Spritzgusswerkstoffe, d. h. hier in diesem Falle zeigen sich im Bezug auf den Schmelzbereich bei den Biopolymerfolienwerkstoffe keine signifikanten Unterschiede gegenüber den konventionellen Folienwerkstoffen (Bild 5.72).

Die vollständige Untersuchung weiterer wichtiger Verarbeitungseigenschaften der Biopolymerfolien wie z. B. Reibwerte oder Hot-Tack- sowie Cold-Tack-Siegelnahtfestigkeit ist Gegenstand aktueller Untersuchungen.

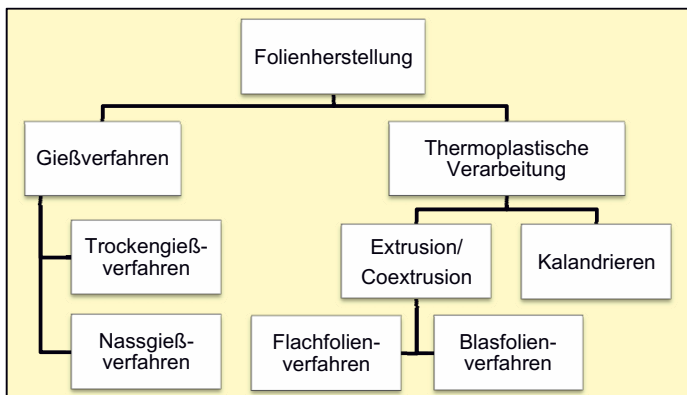


Bild 5.69 Übersicht über Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren von Folien

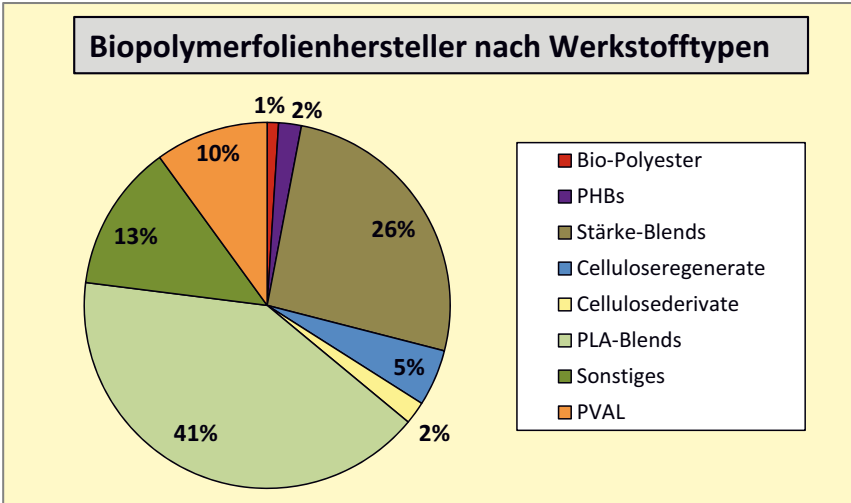


Bild 5.70 Übersicht über eingesetzte Folienwerkstoffe derzeit in Europa bekannter Folienhersteller (ca. 60 Unternehmen)

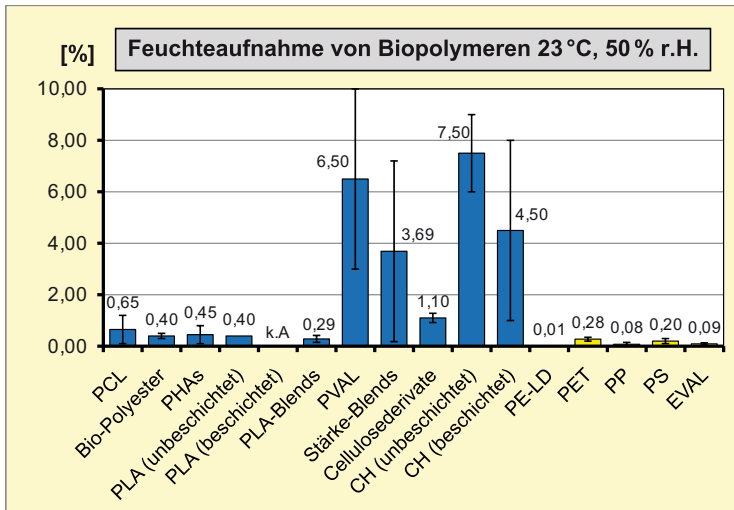


Bild 5.71 Feuchteaufnahme verschiedener Biopolymerfolien im Vergleich zu konventionellen Verpackungsfolien (Werte für konventionelle Kunststofffolie u. a. nach [7], [29], [97])

**FKuR Kunststoff GmbH**

Siemensring 79

47877 Willich

Deutschland

Tel.: +49 21 54 9 25 10

Fax: +49 21 54 92 51 51

Mail: info@fkur.com

Web: www.fkur.de

**Herstellerangaben für alle Produkte:****Lieferform/Verfügbarkeit**

Alle Produkte sind als Granulat erhältlich.

Sie sind in Europa und Amerika verfügbar.

**Löslichkeit in Wasser**

Unlöslich

	<b>Produkt</b>	<b>Bio-Flex F 1110</b>	<b>Bio-Flex F 1130</b>	<b>Bio-Flex F 2110</b>
Allgemein	Polymer	(PLA+TPC)	(PLA+TPC)	(PLA+TPC)
	Chemische Charakterisierung	Biologisch abbaubares Kunststoff-Compound auf Basis von Polymilchsäure (PLA), enthält Copolyester und Additive, CAS-Nr.: PLA: 9051-89-2	Biologisch abbaubares Kunststoff-Compound auf Basis von Polymilchsäure (PLA), enthält Copolyester und Additive; CAS-Nr.: PLA: 9051-89-2	Biologisch abbaubares Kunststoff-Compound auf Basis von Polymilchsäure (PLA), enthält Copolyester und Additive; CAS-Nr. PLA: 9051-89-2
	Farbe	Beige	Beige	Beige
	Geruch	Sehr schwach	Sehr schwach	Sehr schwach
	Sonstige Hinweise	Compound für transparente Folien, die Eigenschaften wie LDPE aufweisen sollen; Compound verbindet die Vorzüge von Bio-Flex F 1130 und die Transparenz von Bio-Flex F2110	Kompostierbar nach NFU 52001, Vincotte OK Kompost und Vincotte bioabbaubar	Erhöhter Anteil an NaWaRo im Vergleich zu Bio-Flex F 1130, daher deutlich höhere Festigkeiten; hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften und der Haptik vergleichbar mit HDPE

<b>Bio-Flex F 6510</b>	<b>Biograde A 7500CL</b>	<b>Biograde A 9550</b>	<b>Biograde A 9555</b>	<b>Fibrilon F 8530</b>
(PLA+TPC)	CA ...	CA ...	CA ...	PLA-WO40
Biologisch abbaubares Kunststoff-Compound auf Basis von Polymilchsäure (PLA), enthält Copolyester und Additive; CAS-Nr.: PLA: 9051-89-2	Biologisch abbaubares Kunststoff-Compound auf Basis von Celluloseester (CA), enthält Additive; CAS-Nr.: CA: 9004-35-7	Biologisch abbaubares Kunststoff-Compound auf Basis von Celluloseester (CA), enthält Additive; CAS-Nr.: CA: 9004-35-7	Biologisch abbaubares Kunststoff-Compound auf Basis von Celluloseester (CA), enthält Additive; CAS-Nr.: CA: 9004-35-7	Verbindung von Polymilchsäure, anorganischen Füllstoffen und Naturfasern, Holzanteil 30 %
Beige	Transparent	Beige	Beige	Bräunlich
Sehr schwach	Schwach sauer	Schwach sauer	Leicht sauer	Unauffällig
Bedruckbar, Folien über Masterbatche einfärbbar		Biograde A 9550 besteht zu über 60 % aus NaWaRo, enthält keine Stärke oder Stärkederivate; Biograde A 9540 ist nicht für den Lebensmittelkontakt zertifiziert	Besteht zu über 60 % aus NaWaRo, enthält keine Stärke oder Stärkederivate; Biograde A 9555 ist eine Weiterentwicklung von Biograde A 9555, vergleichbare mechanische Eigenschaften	

	Produkt	Bio-Flex F 1110	Bio-Flex F 1130	Bio-Flex F 2110
Allgemein	Anwendung	Verpackungsfolie, Einkaufstüten, Verpackung von Früchten und allgemein für flexible Verpackungen	Lebensmittelverpackungen, Laminierfolien, Mulch- und Agrarfolien, Tragetaschen, Beutel, Säcke, Verpackung von Früchten und allgemein für flexible Verpackungen geeignet	Durch perlmuttartige Transparenz geeignet als edle Verpackungsfolie, Lebensmittelverpackungen Verpackungsfolie, Einkaufstüten, Verpackung von Früchten und allgemein für flexible Verpackungen
	Lebensmittelrechtliche Zulassung nach DIN EN ISO 13432	ja	ja	ja
	Kompostierbar nach DIN CERTCO, 7W0087 bzw. 7W0042, 7P0073, 7WP0090, 7W0072, 7W0080	ja	ja	ja
Verarbeitungsmethoden	Spritzgießen			
	Folienextrusion	ja	ja	ja
Verarbeitungsempfehlungen Extrusion	Prozesstemperatur Zone 1 °C	160	165	170
	Prozesstemperatur Zone 2 °C	160	165	170
	Prozesstemperatur Zone 3 °C	160	165	170
	Prozesstemperatur Zone 4 °C	165	170	175

<b>Bio-Flex F 6510</b>	<b>Biograde A 7500CL</b>	<b>Biograde A 9550</b>	<b>Biograde A 9555</b>	<b>Fibrilon F 8530</b>
Lebensmittelverpackungen	Einweg-Besteck, transparente Schalen, Becher, komplexe Artikel	Lebensmittelverpackungen	Flachfolien, Becher, Trays	Urnen, Golf-Tee, technische Teile
		ja	ja	
			ja	
ja	ja	ja	ja	ja
ja	ja			
	180			
	200			
	210			
	210			

	Produkt	Bio-Flex F 1110	Bio-Flex F 1130	Bio-Flex F 2110
Verarbeitungsempfehlungen Extrusion	Temperatur der Düse °C	165	170	175
	Massetemperatur °C	160	165	170
Verarbeitungsempfehlungen Spritzgießen	Verarbeitungsfeuchte %	0,2	0,2	0,2
	Vortrocknung °C	60	60	60
	Massetemperatur °C			
	Werkzeugtemperatur °C			
	Kühldauer s			
Mechanische Eigenschaften	Zug-Modul (ISO 527) MPa	245	330	680
	Bruchspannung (ISO 527) MPa			
	Bruchdehnung (ISO 527) %			
	Zugfestigkeit (ISO 527) MPa	16	17	20
	Charpy-Schlagzähigkeit (+23 °C) (ISO 179 eA) kJ/m <sup>2</sup>	N	N	N
	Charpy-Kerbschlagzähigkeit (+23 °C) (ISO 179 eA) kJ/m <sup>2</sup>	N	N	85
	Biege-E-Modul (ISO 178) N/mm <sup>2</sup>	220	336	600
	Biege-Dehnung (ISO 178) %		13	

Bio-Flex F 6510	Biograde A 7500CL	Biograde A 9550	Biograde A 9555	Fibrilon F 8530
	220			
	240			
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
60	60	60	60	60
170		220	220	170
30		45	45	20
25		25	25	18
2.675	3.370	4.990	4.990	3.510
23	81	48	48	41,5
32	8,2	6,5	6,5	5,5
46	82	48,5	49	42
N	45			14,9
7	4,6	4	4	3,7
3.360	3.250	4.210	4.210	3.870
13		5,3		3



	<b>Produkt</b>	<b>Bio-Flex F 1110</b>	<b>Bio-Flex F 1130</b>	<b>Bio-Flex F 2110</b>
Thermische Eigenschaften	Viskosität (MFI) (ISO 1133 (190°C, 2,16 kg)) g/10 min	4	4	6
	Vicat-Erweichungstemperatur (ISO 75 bzw. ISO 306 VST A) °C	68	72	68
	Schmelztemperatur (ISO 3145-C) °C	155	155	145
	Zersetzungstemperatur °C	280	280	280
Folieneigenschaften	Foliendicke mm	0,02	0,02	0,03
	Folienweiterreißwiderstand längs/quer (DIN 53363)		185/250	215/219
	Zug-Modul längs/quer (ISO 527) MPa		300/210	
	Zugfestigkeit längs/quer (ISO 527) MPa		16/13	
	Bruchspannung längs/quer (ISO 527) MPa		14/8	
	Bruchdehnung längs/quer (ISO 527) %		250/125	
	Dichte (ISO 1183) kg/m <sup>3</sup>	1.280	1.380	1.260

<b>Bio-Flex F 6510</b>	<b>Biograde A 7500CL</b>	<b>Biograde A 9550</b>	<b>Biograde A 9555</b>	<b>Fibrilon F 8530</b>
5	16	7	9	1,5
65	123	117	117	72
155	180	180	180	170
280	280	280	280	200
0,03	0,055			
1.240	1.275	1.650	1.650	960

**Tianan Biologic Material Co., Ltd**

68 Dagang No.6 Road  
 Beilun, Ningbo, Zhejiang Province  
 China  
 Tel.: +86 5 74 86 89 52 40  
 Fax: +86 5 74 86 87 79 80  
 Mail: enquiry@tianan-enmat.com  
 Web: www.tianan-enmat.com

**Herstellangaben für alle Produkte:****Lieferform/Verfügbarkeit**

Alle Produkte sind als Granulat in Europa und Asien/Pazifik verfügbar

**Chemische Charakterisierung**

Polyhydroxybutyrat-co-valerat (PHBV),  
 stärkebasierend (Mais)

**Sonstige Hinweise**

Alle Produkte besitzen hohe Biokompatibilität, sie sind resistent gegen Wasser, Gase und Aromen

<b>Produkt</b>	<b>Enmat Y5010P</b>	<b>Y1000P</b>
Polymer	PHBV	PHA
Anwendung		medizinische Anwendungen (chirurgische Nähte), Folien (Mulchfolien, Einkaufstüten, Komposttüten), Wegwerfartikel (Stifte, Geschirr), Verpackungsmaterialien
Verarbeitungsmethoden	Spritzgießen	Spritzgießen, Plattenextrusion, Blasformen
Verarbeitungsempfehlungen Spritzgießen: Vortrocknung °C	95	95
Prozesstemperatur Zone 1 °C	135	135
Prozesstemperatur Zone 2 °C	145	145
Prozesstemperatur Zone 3 °C	155	155
Prozesstemperatur Zone 4 °C	160	160
Zug-Modul (ISO 527-1/-2) MPa	1.480	1.400
Bruchdehnung (ISO 527-1/-2) %	17,53	2,28
Zugfestigkeit (ISO 527-1/-2) MPa	20	33
Charpy-Schlagzähigkeit (+23 °C) (ISO 179/1 eU) kJ/m <sup>2</sup>	52	7,5
Viskosität (MFI) (ISO 1133) g/10 min	11,8 (175 °C, 2,16)	2 (170 °C, 2,16)
Dichte (ASTM D1505) kg/m <sup>3</sup>	1.240	1.240

**Wacker Chemie AG**

Hanns-Seidel-Platz 4

81737 München

Deutschland

Web: www.wacker.com

**Herstellerangaben für alle Produkte:****Polymer**

PVAL – Polyvinylalkohol

**Farbe/Geruch**

Wacker Produkte sind farblos und geruchlos (Ausnahme: Polyviol LL 603 solution mit schwachem Geruch)

**Verfügbarkeit**

Alle Produkte sind in Europa verfügbar.

Produkt	Polyviol LL 2730 solution	Polyviol LL 2750 solution	Polyviol LL 2810 solution
Chemische Charakterisierung	Lösung eines nicht-ionogenen Polymergemisches in Wasser	Lösung eines nicht-ionogenen Polymergemisches in Wasser	Wässrige Lösung eines modifizierten teilverseiften, niederviskosen Polyvinylalkohols
Löslichkeit in Wasser	Unbeschränkt mischbar bei 20 °C	Unbeschränkt mischbar bei 20 °C	200 g/l bei 20 °C
Sonstige Hinweise	Viskositäts- und Wasserretentionsregulator, Akzeptor für optische Aufheller, Strich- und Druckglanzverbesserung	Viskositäts- und Wasserretentionsregulator, Akzeptor für optische Aufheller, Strich- und Druckglanzverbesserung	Akzeptor für optische Aufheller, Strich- und Druckglanzverbesserung
Anwendung	Cobinder für Papierstreichfarben für Offset, basierend auf 100 % CaCO <sub>3</sub> , verarbeitet auf Bladeanlagen	Spezialgebiete (Kaschierkleber), Verarbeitung auf Filmpressen und Rakelanlagen	Cobinder für Papier- und Kartonstreichfarben auf Streichaggregaten wie Blade, Filmpresse, Rollschaber
Dichte (DIN 53217) kg/m <sup>3</sup>	1.060	1.030	1.060

<b>Produkt</b>	<b>Polyviol LL 2870 solution</b>	<b>Polyviol LL 2900 solution</b>	<b>Polyviol LL 603 solution</b>	<b>Polyviol LL 6036 solution</b>
Chemische Charakterisierung	Lösung eines nichtionogenen Polymergemisches	Wässrige Polymerlösung auf Basis eines niederviskosen (>5 mPa.s, 4 %ge Lösung) teilverseiften Polyvinylalkohols, Hydrolyse-Grad bei ca. 70 mol%	Lösung eines niederviskosen, vollverseiften Vinylalkoholcopolymeren (hoher Hydrolysegrad)	Modifizierte Lösung nichtionogener Polymere, basierend auf Polyvinylalkohol
Löslichkeit in Wasser	130 g/l bei 20 °C	200 g/l bei 20 °C	Kaltwasserlöslich	Unbeschränkt mischbar
Sonstige Hinweise			Viskositäts- und Wasserretentionsregulator, Akzeptor für optische Aufheller, Strich- und Druckglanzverbesserung	Enthält Konservierungsmittel
Anwendung	Verarbeitung auf Filmpressen und Rakelanlagen, spezielle Anwendungen; Gebrauch in Kombination mit silanisiertem Polyvinylalkohol	Spezialgebiet der Papierveredelung	Cobinder für Papier- und Kartonstreichfarben auf Streichaggregaten wie Blade, Filmpresse, Rollschaber	Temporäres organisches Bindemittel für keramische Erzeugnisse und technische Keramik; beim Brennen von Keramikformkörpern zerfällt es nahezu rückstandslos zu Wasser und Kohlendioxid
Dichte (DIN 53217) kg/m <sup>3</sup>	1.030	1.045	1.050	1.060

**Zhejiang Hisun Biomaterials Co., Ltd.**

No. 46, Waisha Road, Jiaojiang District  
Taizhou City, Zhejiang Province  
China

Tel.: + 86 5 76 88 82 77 23

Fax: +86 5 76 88 82 77 23

Web: www.plaweb.com

**Herstellerangaben für alle Produkte:****Lieferform/Verfügbarkeit**

Alle Produkte sind als Granulat erhältlich.

Sie sind in Europa, Amerika und Asien/  
Pazifik verfügbar.

	<b>Produkt</b>	<b>REVODE 101</b>	<b>REVODE 201</b>	<b>REVODE 701</b>	<b>REVODE 711</b>
Allgemein	Polymer	PLA	PLA	PLA	PLA
	Farbe	Transparent			Opak
	Anwendung	Lebensmittel- verpackungen, Becher für Kaltgetränke, Catering- geschirr	Besteck, Spielzeug, Teller		
	Verarbeitungsmethode	Folienextrusion	Spritz- gießen		
Mechanische Eigenschaften	Bruchdehnung (GB/T1040-1992 bzw. ASTM D638) %	3	3	3,5	25
	Zugfestigkeit (GB/T1040-1992 bzw. ASTM D638) MPa	50	45	51,5	40,5
	Izod-Kerbschlagzähig- keit (GB/T1040-1992) KJ/m	1,5	1,5	2	2,4
Thermische Eigenschaften	Viskosität (MFI) (GB/T3682-2000 bzw. ASTM D1238 (190 °C, 2,16 kg)) g/10 min	6	15	15	15
	Wärmeform- beständigkeit HDT A °C	55	55		
	Glasübergangs- temperatur °C	58,5	58,5	56	82,5
	Schwindung %	0,4			
Physikalische Eigenschaften	Dichte (GB/T1033-1986 ) kg/m <sup>3</sup>	1.250	1.250	1.280	1.260