

## The twins amongst the polyamides\*

### Properties comparison of PA 6 and PA 66

Polyamide 6 and polyamide 66 are similar in their chemical structure and in many of their properties, but they are not identical. The differences, which are sometimes not obvious at first sight, can be crucial in terms of the materials' suitability for specific applications. Injection molded parts that come into contact with hot glycol-water mixtures in automotive cooling systems, for example, generally have to be made from glass fiber reinforced PA 66. Glass fiber reinforced PA 6, on the other hand, is often the better option for parts required to have a high-quality surface finish, such as radiator grilles, engine covers and door handles.

The following text highlights some of the differences between the two "twins" and gives some useful tips on choosing the right material. It was first published in 1983 and strictly speaking still only applies to that period. Nevertheless in some respects it still comprises much valuable information for the user. We have therefore decided to reprint the article in its original form (except for the manufacturers' data), but would expressly point out that the information it contains is no longer entirely up to date.

---

\* This information and our technical advice - whether verbal, in writing or by way of trials - are given in good faith but without warranty, and this also applies where proprietary rights of third parties are involved. Our advice does not release you from the obligation to verify the information currently provided - especially that contained in our safety data and technical information sheets - and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility. Our products are sold in accordance with the current version of our General Conditions of Sale and Delivery.



## Die Zwillinge unter den Polyamiden

- **Eigenschaftsvergleich PA 6 und PA 66**

Unter den technischen Kunststoffen erlangten die Polyamide eine Schlüsselposition. 88% des Polyamidverbrauchs werden durch PA 6 und PA 66 gedeckt. An zahlreichen PA 6- und PA 66-Partien verschiedener Hersteller mit Glasfasergehalten zwischen 15 und 50% wurden die mechanischen Eigenschaften an spritzfrischen und an konditionierten Proben ermittelt.

In spritzfrischem Zustand liegen die mechanischen Eigenschaften von glasfaserverstärktem PA 6 und PA 66 auf einem Niveau und werden hauptsächlich durch den Glasfasergehalt bestimmt. Im konditionierten Zustand dagegen liegen die mechanischen Werte der PA 66-Typen mit Ausnahme der Zähigkeitswerte wegen der geringeren Wasseraufnahme auf einem etwas höhe-

## The Twins amongst the Polyamides

- **Properties comparison of PA 6 and PA 66**

Polyamides have gained a key position amongst the engineering plastics, with PA 6 and PA 66 accounting for 88% of the polyamide consumed. The mechanical properties of freshly moulded and conditioned test specimens were determined on a large number of PA 6 and PA 66 batches from different manufacturers with glass fibre contents of between 15 and 50%.

In the freshly moulded state, the mechanical properties of glass fibre reinforced PA 6 and PA 66 are at the same level and are determined primarily by the glass fibre content. In the conditioned state, by contrast, the mechanical values of the PA 66 grades are slightly higher, with the exception of the toughness values (on account of the lower water absorption). An increase in the



*Titelbild:  
Kfz-Kühlwasser-  
verteiler aus PA 6  
und PA 66*

*Title fig:  
Vehicle cooling  
circuit components  
of PA 6 and PA 66*

ren Niveau. Durch Erhöhung des Glasfasergehaltes bei PA 6 um ca. 5% wird im konditionierten Zustand das gleiche Niveau wie bei den entsprechenden PA 66-Typen erreicht. Die Verarbeitung und die Thermostabilität der PA 6-Typen sind günstiger zu beurteilen als die der entsprechenden PA 66-Typen.

## Historie

Im 53. Jahr ihres Bestehens behielten die Polyamide ihre Wachstumsvitalität. Bedingt durch die historische Entwicklung der Polyamide dominiert noch in einzelnen Ländern in Westeuropa der Einsatz von PA 6 oder PA 66.

Bei vielen Konstrukteuren und Ingenieuren entstand der irrtümliche Eindruck, dass PA 66, infolge des um 40 °C höheren Schmelzpunktes im Vergleich zu PA 6, höhere Dauergebrauchstemperatur und bessere Alterungsbeständigkeit besitzen muss. Es wird hier versucht, durch eine Vielzahl von Versuchen auf statistischer Basis einen Vergleich zwischen beiden Produkten (den Zwillingen) zu erstellen.

## Ausgangsprodukt (Stammvater)

Früher war das Ausgangsprodukt für beide Polyamide Cyclohexanol, das in mehreren Reaktionsstufen zu Caprolactam (für PA 6) oder zu Adipinsäure und Hexamethyldiamin (für PA 66) umgesetzt wurde. Mittlerweile werden besonders für Hexamethyldiamin andere Synthesewege beschrieben.

## Chemische Struktur (Aussehen)

PA 6 und PA 66 besitzen die Summenformel  $(C_6H_{11}ON)_n$ , sie unterscheiden sich aber, wie in Abb. 1 schematisch dargestellt ist, in ihrem Strukturaufbau.

Bei PA 66 liegen sich die Carbonamidgruppen immer so gegenüber, dass jede funktionelle Gruppe ohne Deformation der Moleküle eine Wasserstoffbrücke bilden kann. Bei PA 6 ist dies nur bei jeder zweiten Carbonamidgruppe möglich. Der höhere Schmelzpunkt von PA 66 und die geringere Wasseraufnahme ist auf den unterschiedlichen Molekülaufbau zurückzuführen.

## Verarbeitung

PA 66 zeichnet sich im Vergleich zu PA 6 durch eine sehr kurze Zykluszeit aus. Dies ist auf die hohe Erstarrungstemperatur und kürzere Kristallisationszeit zurückzuführen.

Bei glasfaserverstärkten Typen kann die rasche Erstarrung der PA 66-Schmelze jedoch eher ein Nachteil als ein Vorteil sein. Als Folge ist mit schlechterer Oberflächenqualität und Verzug der Teile zu rechnen. Durch die Verwendung von Copolyamiden oder durch geeignete Additive (zur Verzögerung der Kristallisationsgeschwindigkeit) können diese Nachteile zum Teil vermieden werden.

Die langsamere Erstarrung von PA 6 erlaubt ohne zusätzliche Additive, Teile mit guter Oberfläche und weniger Verzug zu erhalten.

glass fibre content of the PA 6, by 5% or so, will serve to give the same property level in the conditioned state as is found in the corresponding PA 66 grades. The PA 6 grades achieve a more favourable rating than the corresponding PA 66 grades in terms of processing and thermal stability.

## Background

Although it is 53 years since they were first introduced, the polyamides have not lost any of their growth impetus. The particular way in which polyamides developed has meant that either PA 6 or PA 66 has come to predominate in a number of the individual countries of Western Europe.

A large number of designers and engineers mistakenly assumed that PA 66 would display a higher continuous service temperature and better ageing resistance than PA 6, since its melting point was some 40 °C higher. In what follows, an attempt is made to draw a comparison between these two products (the twin brothers) on the basis of a large number of statistically planned tests.

## Starting product (father)

The starting product for both polyamides used to be cyclohexanol. This was converted in a number of reaction stages into caprolactam (for PA 6) or into adipic acid and hexamethylene diamine (for PA 66). Different synthesis routes have come to be adopted in the meantime, particularly as far as hexamethylene diamine is concerned.

## Chemical structure (appearance)

PA 6 and PA 66 both possess the empirical formula  $(C_6H_{11}ON)_n$  but differ in their structural composition, as is shown in the schematic diagram in Fig. 1.

In the case of PA 66, the carbonamide groups are always arranged opposite each other in such a way that each functional group can form a hydrogen bridge without the molecules suffering deformation. In PA 6, this is only possible in every second carbonamide group. The higher melting point of PA 66 and its lower water absorption are attributable to its different molecular structure.

## Processing

The cycle time for PA 66 is very short by comparison to that of PA 6. This is due to its high solidification temperature and shorter crystallisation time.

In the case of glass fibre reinforced grades, however, the rapid solidification of the molten PA 66 can represent more of a drawback than an advantage, since it results in a poorer surface quality and warpage in the parts. These drawbacks can be avoided to some extent by using copolyamides or appropriate additives (to retard the crystallisation rate).

The slower solidification rate of PA 6 makes it possible to achieve parts with a good surface and less warpage without employing additives.

Bei der Verarbeitung von Polyamiden muß man mit korrosivem und mit abrasivem Verschleiß rechnen. Deshalb werden besondere Stähle für Schrauben und Zylinder empfohlen. Der abrasive Verschleiß wird durch den Glasfasergehalt bestimmt. Bei korrosivem Verschleiß wird PA 66 aggressiver als PA 6 eingestuft.

Corrosive and abrasive wear has to be expected when polyamides are processed. It is thus recommended that special steels be used for the screws and cylinders. The amount of abrasive wear will be a function of the glass fibre content. When it comes to corrosive wear, PA 66 is rated as more aggressive than PA 6.

**Eigenschaften**

An zahlreichen PA 6- und PA 66-Partien (verschiedener Hersteller) mit Glasfasergehalten zwischen 15 und 50% wurden folgende mechanische Eigenschaften an spritzfrischen und an konditionierten Proben ermittelt:

- Zugversuch: Streckspannung, Streckdehnung, Reißfestigkeit, Reißdehnung, Zug-E-Modul
- Biegeversuch: 3,5 % Biegespannung, Biegefestigkeit, Randfaserdehnung, Biege-E-Modul
- Schlagzähigkeit: IZOD-Schlag- und Kerbschlagzähigkeit bei 23 °C und bei -30 °C

**Properties**

The following mechanical properties were determined on freshly moulded and conditioned test specimens produced from a large number of PA 6 and PA 66 batches (from different manufacturers) with glass fibre contents of between 15 and 50%:

- tensile test: yield stress, tensile strain at yield, ultimate tensile strength, elongation at break, Young’s modulus
- bending text: flexural stress at 3.5 % strain, flexural strength, outer fibre strain, modulus of elasticity in bending impac strength, IZOD impact and notched impact strength at 23 °C and -30 °C

**Konditionierung**

Die Konditionierung der Prüfkörper erfolgte nach ISO 1110. Dabei werden die Proben bei 70 °C und 62 % rel. Feuchte solange gelagert, bis eine Gewichtskonstanz erreicht wird. Nach 48 Stunden Lagerung bei Normalklima wurden die Proben geprüft. Folgende Wassergehalte wurden ermittelt:

**Conditioning**

The test specimens were conditioned in accordance with ISO 1110. This requires the specimens to be stored at 70 °C and 62 % relative humidity until a constant weight is achieved. After a further 48 hours’ storage in a normal climate, the specimens were tested. The following water contents were measured:

| Glasfasergehalt / Glass fibre content % | Wassergehalt (%) nach ISO 1110 / Water content (%) to ISO 1110 |             |
|---|--|-------------|
|   | PA 6   | PA 66       |
| 15                                      | 2.68 ± 0.12  | 2.37 ± 0.16 |
| 20                                      | 2.49 ± 0.14  | 2.16 ± 0.07 |
| 25                                      | 2.29 ± 0.13  | 2.00 ± 0.14 |
| 30                                      | 2.05 ± 0.17  | 1.86 ± 0.19 |
| 40                                      | 1.90 ± 0.10  | 1.59 ± 0.18 |
| 50                                      | 1.41 ± 0.14  | 1.23 ± 0.11 |

Tabelle 1: Wassergehalt der PA-Proben nach Konditionierung (ISO 1110) und anschließend 48 h Lagerung bei Normalklima.

Table 1: Water content of the PA specimen after conditioning (ISO 1110) and subsequent storage for 48 h in a standard climate.

**Resultate**

Die ermittelten mechanischen Eigenschaften hängen, mit einer geringen Streubreite, linear vom Glasfasergehalt ab. Für den Vergleich der Eigenschaften zwischen PA 6 und PA 66 wurde die Regressionsgerade zu Hilfe genommen. Aus der Regressionsgeraden wurden die a- und b-Werte ermittelt und nach der Gleichung:

$$y = a + bx \quad (x = \text{Glasfasergehalt})$$

die Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften vom Glasfasergehalt errechnet. Die so ermittelten Werte für PA 6 und PA 66 sind in den Abbildungen 2 bis 8 wiedergegeben.

**Results**

The mechanical properties established are a linear function of the glass fibre content, with a slight scatter range. Use was made of regression straight lines in order to draw a comparison between PA 6 and PA 66. The a and b values were established from the regression straight lines, and the correlation between the mechanical properties and the glass fibre content calculated according to the following equation:

$$y = a + bx \quad (x = \text{glass fibre content})$$

The values obtained for PA 6 and PA 66 in this way are shown in Figs. 2 to 8.

## Zugversuch

Die Regressionsgeraden der Streckspannung (Abb. 2) und Reißfestigkeit (Abb. 4) von PA 6 und PA 66 sind in spritzfrischem Zustand über dem gesamten Glasfasergehalt nahezu identisch. Im konditionierten Zustand dagegen liegen die Regressionslinien der PA 66-Typen parallel, aber auf einem um ca. 10 % höheren Niveau als die der PA 6-Proben. Dies ist auf die geringere Wasseraufnahme von PA 66 zurückzuführen. Nur in Abb. 2 wurden die einzelnen Messpunkte gezeigt. Bei allen anderen Abbildungen wurde zur Verbesserung der Übersicht auf die Darstellung der einzelnen Messpunkte verzichtet. Die Regressionsgerade der Streckdehnung von PA 66 und PA 6 (Abb. 3) nimmt in spritzfrischem und konditioniertem Zustand mit zunehmendem Glasfasergehalt stetig ab. Im spritzfrischen Zustand liegen die Werte für beide Polyamide auf einem Niveau. Im konditionierten Zustand liegt die Regressionsgerade der PA 6-Proben parallel auf einem höheren Niveau als die der PA 66-Proben. Im spritzfrischen Zustand liegen die Regressionsgeraden der Reißdehnung von PA 6- und PA 66-Typen unabhängig vom Glasfasergehalt bei 3,5 %. Im konditionierten Zustand dagegen nimmt die Reißdehnung mit zunehmendem Glasfasergehalt stetig ab. Die Werte der PA 66-Typen verlaufen parallel auf einem niedrigeren Niveau als die entsprechenden Werte der PA 6-Typen.

Die Zug-E-Modulwerte von PA 6- und PA 66-Typen (Abb. 5) liegen auf dem gleichen Niveau. Im konditionierten Zustand verlaufen die Regressionsgeraden beider Produkte parallel, wobei die der PA 66-Typen auf einem etwas höheren Niveau liegen.

## Biegeversuch

Im spritzfrischen Zustand ist der Verlauf der 3,5%-Biegespannung (Abb. 6 und 7) bzw. Biegefestigkeit über dem gesamten Glasfasergehalt von beiden PA-Typen deckungsgleich. Im konditionierten Zustand verlaufen beide Regressionsgeraden parallel, wobei die der PA 66-Typen auf einem geringfügig höheren Niveau verlaufen. Die Randfaserdehnung nimmt im spritzfrischen und im konditionierten Zustand mit zunehmendem Glasfasergehalt ab. Die Geraden beider Produkte liegen in einem sehr engen Bereich.

Die Biege-E-Modulwerte liegen auch hier über dem gesamten Glasfasergehalt von beiden PA-Typen deckungsgleich (Abb. 8). Im konditionierten Zustand sind die Werte der PA 66-Typen auf einem geringfügig höheren Niveau (Wasseraufnahme).

## IZOD-Schlagzähigkeitswerte

Ab 15 % Glasfasergehalt steigen die Schlagzähigkeitswerte im spritzfrischen Zustand bei beiden PA-Typen (Abb. 9) bis 30 % Glasfasergehalt merklich an. Ab 35 % Glasfasergehalt nehmen die Schlagzähigkeitswerte nur noch geringfügig zu. Die Werte von den PA 6-Typen liegen auf einem geringfügig höheren Niveau.

Im konditionierten Zustand liegen die Werte der PA 6-Typen über dem gesamten Bereich auf einem höheren Niveau als die der PA 66-Typen. Bei  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  verlaufen die Regressionsgeraden für beide Produkte deckungsgleich.

## Tensile test

The regression lines for the yield stress (Fig. 2) and ultimate tensile strength (Fig. 4) of PA 6 and PA 66 in the freshly moulded state are virtually identical over the entire range of glass fibre contents. In the conditioned state, by contrast, the regression lines for the PA 66 grades run parallel to those of the PA 6 specimens, but at a level some 10 % higher. This is attributable to the lower water absorption of the PA 66. The individual measuring points are only shown in Fig. 2. On all the other Figures they have been dispensed with in order to permit a clearer overview. The regression line for the tensile strain at yield of PA 66 and PA 6 (Fig. 3) undergoes a steady fall as the glass content increases in both the freshly moulded and conditioned states. In the freshly moulded state, the values for both polymers are at the same level. In the conditioned state, the regression line of the PA 6 specimens runs parallel to that of the PA 66 specimens, at a higher level. In the freshly moulded state, the regression lines for the elongation at break of PA 6 and PA 66 grades are at a level of 3.5 %, irrespective of the glass fibre content. In the conditioned state, by contrast, the elongation at break decreases with an increasing glass fibre content. The values for the PA 66 grades run parallel those for the PA 6 grades at a lower level.

The values for the Young's modulus of PA 6 and PA 66 grades (Fig. 5) are at the same level. In the conditioned state, the regression lines for both products run parallel to each other, with the PA 66 line at a slightly higher level.

## Bending test

In the freshly moulded state, the curve for flexural stress at 3.5% strain (Figs. 6 and 7) and for the flexural strength follows an identical course for both PA types over the entire range of glass fibre contents. In the conditioned state, the two regression lines run parallel to each other, with the line for the PA 66 grades at a slightly higher level. The outer fibre strain falls with an increasing glass fibre content in both the freshly moulded and the conditioned state. The straight lines for both products fall within a very narrow range.

The values for the modulus of elasticity in bending also follow an identical course over the entire range of glass fibre contents for the two types of PA (Fig. 8). In the conditioned state, the values of the PA 66 grades run at a slightly higher level (water absorption).

## IZOD Impact strength values

As of a glass fibre content of 15 %, the impact strength values for freshly moulded specimens undergo a noticeable increase up to a glass fibre content of 30 % for both PA grades (Fig. 9). As of a glass fibre content of 35 %, the impact strength values increase only slightly. The values of the PA 6 grades are somewhat higher.

In the conditioned state, the values of the PA 6 grades are higher than those of the PA 66 grades over the entire range. At  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , the regression lines for both products follow an identical course.

## Thermoalterung

Für die Thermostabilisierung von Polyamiden werden phenolische oder aminische Antioxidantien verwendet. Auch Kupfersalze haben sich als Stabilisatoren für Polyamide bewährt. Für den Vergleich der Eigenschaften von PA 6 und PA 66 nach der Alterung bei erhöhten Temperaturen wurden je eine Partie Durethan® BKV 30 H und Durethan AKV 30 H (PA 6 bzw. PA 66) ausgesucht.

Beide Produkte sind mit Kupfersalzen stabilisiert und enthalten 30% Glasfasern.

Abb 1: Molekulare Struktur der beiden Polyamide

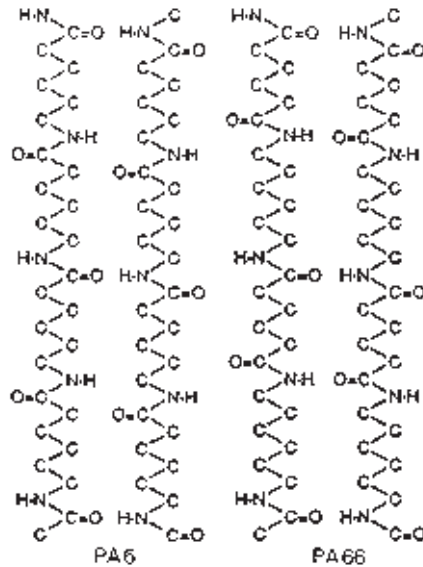


Figure 1: Molecular structure of the two polyamides

Die Änderung der Biegefestigkeit und IZOD-Schlagzähigkeit nach Alterung bei 150, 170 und 190 °C wurden ermittelt. Die dabei erhaltenen Resultate sind in den Abbildungen 10 und 11 grafisch dargestellt. Die Änderungen der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit der Glasfasergehalte sind auch in den Tabellen 2 und 3 wiedergegeben; desgleichen die mechanischen Werte von Durethan AKV 30 H und BKV 30 H nach Thermoalterung (siehe Tabellen 4 und 5).

## Biegefestigkeit

Die Biegefestigkeit von Durethan AKV 30 H (Abb. 10) nimmt bei der Lagerung in Heißluft bei 150 °C geringfügig aber stetig ab und erreicht nach 3.000 Stunden ca. 85 % des Ausgangswertes. Bei 170 °C werden ca. 60% des Ausgangswertes erreicht. Bei 190 °C nehmen die Biegefestigkeitswerte drastisch ab.

Die Abnahme der Biegefestigkeitswerte des entsprechenden Durethan BKV 30 H-Typs sind bei allen drei Temperaturen deutlich geringer.

## IZOD-Schlagzähigkeit

Die Schlagzähigkeitswerte von Durethan AKV 30 H (Abb. 11) steigen bei 150 °C zuerst deutlich an (100 Stunden), fallen aber dann langsam ab und bleiben bei ca. 25 kJ/m<sup>2</sup> nach 3.000 Stunden auf einem stabilen Niveau. Die Abnahme der Zähigkeitswerte bei 170 °C ist steiler. Ein Wertenniveau von 18 bis 20 kJ/m<sup>2</sup> stellt sich ein. Der Abfall bei 190 °C ist drastisch.

## Thermal ageing

Phenolic or aminic antioxidants are used for the heat stabilisation of polyamides. Copper salts have also proved successful as stabilisers for polyamide. A batch of Durethan® BKV 30 H and a batch of Durethan AKV 30 H (PA 6 and PA 66 respectively) were taken for purposes of comparing the properties of PA 6 and PA 66 after ageing at elevated temperatures. Both products were stabilised with copper salts and contained 30% glass fibres. The change in flexural strength and IZOD impact strength after ageing at 150, 170 and 190 °C was established.

The results obtained are shown on graphs in Figs. 10 and 11. The change in mechanical properties as a function of glass fibre content is also shown in Tables 2 and 3; these same mechanical values for Durethan AKV 30 H and BKV 30 H after thermal ageing are set out in Tables 4 and 5.

## Flexural strength

The flexural strength of Durethan AKV 30 H (Fig. 10) falls slightly, but steadily, when stored in hot air at 150 °C, decreasing to approximately 85% of its initial value after 3000 hours. At 170 °C it decreases to approximately 60% of its initial value. At 190 °C the flexural strength values undergo a drastic fall.

The reduction in the flexural strength values for the corresponding Durethan BKV 30 H grade is considerably lower at all three temperatures.

## IZOD impact strength

At 150 °C, the impact strength values of Durethan AKV 30 H (Fig. 11) first show a clear increase (100 hours) but then fall slowly and remain at a stable level of some 25 kJ/m<sup>2</sup> after 3000 hours. The fall in strength values at 170 °C is sharper, and the value settles at a level of 18 to 20 kJ/m<sup>2</sup>. At 190 °C, a drastic fall is recorded.

Die Thermostabilität von BKV 30 H ist bei 150 °C geringfügig und bei 190 °C deutlich besser als bei AKV 30 H.

Bei der Thermoalterung über 150 °C verfärbt sich die Oberfläche merklich. Im Kern bleibt das Polyamid unverändert weiß. Infolge des Abbaus an der Oberfläche nehmen die Zähigkeitswerte deutlich ab. Die Abnahme der Festigkeitswerte dagegen ist relativ gering.

## Recycling

Das Material-Recycling gewinnt immer mehr an Bedeutung. Beide Polyamide lassen sich, solange es sich um ein definiertes, reines Produkt handelt, ohne Schwierigkeiten mit geringem Abfall an mechanischen Eigenschaften (infolge Zerkleinerung der Glasfasern) wieder verwenden. Ein mehrfach recyceltes PA 6 kann thermisch in monomeres Caprolactam gespalten und damit einer erneuten Synthese zugeführt werden. PA 66 kann nur durch Hydrolyse oder Alkoholyse in Monomere gespalten werden.

## Zusammenfassung der Resultate

PA 6 und PA 66 sind zweieiige Zwillinge. Ihre Abstammung können beide Produkte nicht leugnen (ein ausgewogenes Verhältnis zwischen mechanischen, elektrischen und thermischen Eigenschaften neben guter Chemikalienbeständigkeit). Ihre Charaktere unterscheiden sich jedoch nur geringfügig.

Die mechanischen Eigenschaften von glasfaserverstärktem PA 6 und PA 66 werden hauptsächlich durch den Glasfasergehalt bestimmt. Die Festigkeits- und Steifigkeitswerte liegen im spritzfrischen Zustand auf einem Niveau. Im konditionierten Zustand liegen die mechanischen Werte der PA 66-Typen – mit Ausnahme der Zähigkeitswerte – wegen der geringeren Wasseraufnahme auf einem etwas höheren Niveau. Durch Erhöhung des Glasfasergehaltes der PA 6-Typen um ca. 5 % erreicht man im konditionierten Zustand das gleiche Niveau wie mit PA 66-Typen bei leichterer Verarbeitung und besserer Oberflächenqualität. Dabei nimmt die Dichte um ca. 3,5 % zu.

Die Thermo- und Witterungsstabilität von PA 6 ist besser als die von PA 66. Dagegen ist die Chemikalienbeständigkeit von PA 66 bei höheren Temperaturen geringfügig besser als die von PA 6. In Tabelle 6 werden die Eigenschaften beider Produkte gegenübergestellt.

In ersten Anwendungen wurde bereits mit Erfolg PA 6 mit 40 % Glasfasern statt des vorgesehenen PA 66 mit 35 % Glasfasern eingesetzt.

The thermal stability of BKV 30 H is low at 150 °C and, at 190 °C, is clearly better than that of AKV 30 H.

During thermal ageing at above 150 °C, the surface becomes noticeably discoloured. The polyamide in the core remains an unchanged white. The degradation at the surface leads to a considerable reduction in the toughness values. The reduction in strength values, by contrast, is relatively small.

## Recycling

Material recycling is taking on ever-increasing importance. Providing that a defined, single-sort product is obtained, both types of polyamide can be recycled without any difficulty with only a slight deterioration in their mechanical properties (due to the reduction in the length of the glass fibres). A PA 6 that has been recycled several times over can be split into monomeric caprolactam under the action of heat and used as a feedstock for renewed synthesis. PA 66 can only be split into monomers through hydrolysis or alcoholysis.

## Overview of results

PA 6 and PA 66 are non-identical twins who cannot deny their origins (they have inherited a balanced ratio of mechanical, electrical and thermal properties together with good chemical resistance). In terms of their characters, they differ only very slightly.

The mechanical properties of glass fibre reinforced PA 6 and PA 66 are dictated first and foremost by the glass fibre content. The strength and rigidity values are at the same level for freshly moulded material. In the conditioned state, the mechanical values of the PA 66 grades (with the exception of the toughness values) are slightly higher on account of the lower water absorption. By raising the glass fibre content of the PA 6 grades by some 5 %, it is possible to achieve the same property level as for the PA 66 grades in the conditioned state, with the PA 6 grades being easier to process and giving a better surface quality. The density will increase by approximately 3.5 % on account of the extra glass fibre.

The thermal stability and weathering resistance of PA 6 is better than that of PA 66. The chemical resistance of PA 66, by contrast, is slightly better than that of PA 6 at higher temperatures. A comparison of the properties of the two products is set out in Table 6.

In a number of initial applications, PA 6 with 40 % glass fibre has been successfully substituted for the PA 66 with 35 % glass fibre that was planned.

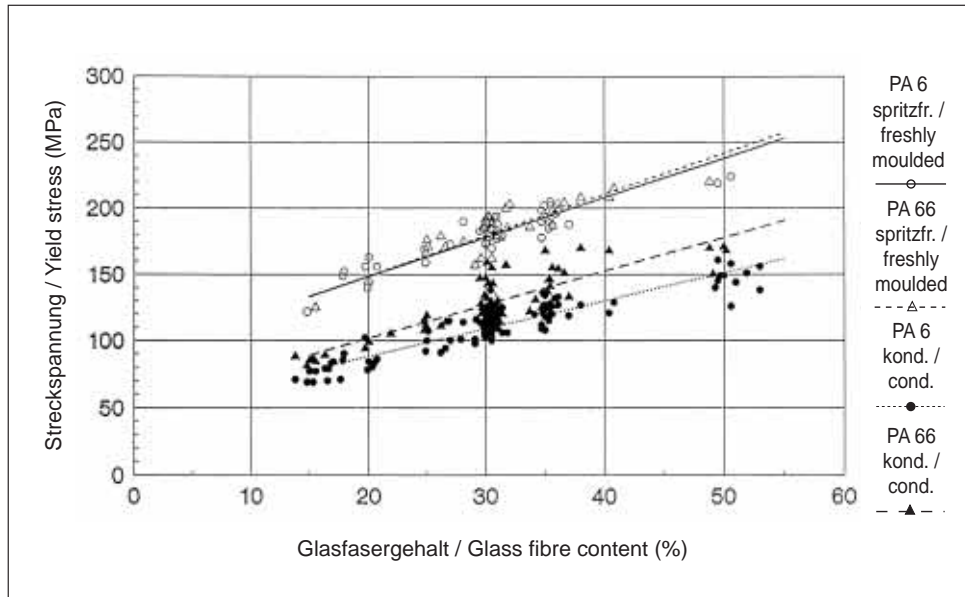


Abb. 2: Streckspannung von PA 6 und PA 66 in Abhängigkeit vom Glasfasergehalt, alle Messpunkte.

Fig. 2: Yield stress of PA 6 and PA 66 as a function of glass fibre content, all measuring points.

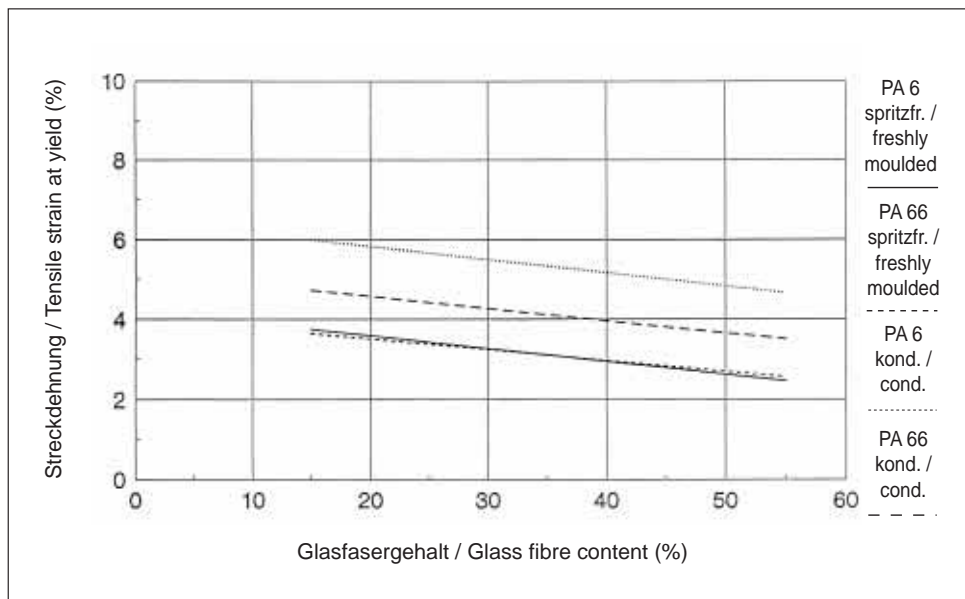


Abb. 3: Streckdehnung von PA 6 und PA 66 in Abhängigkeit vom Glasfasergehalt

Fig. 3: Tensile strain at yield of PA 6 and PA 66 as a function of glass fibre content



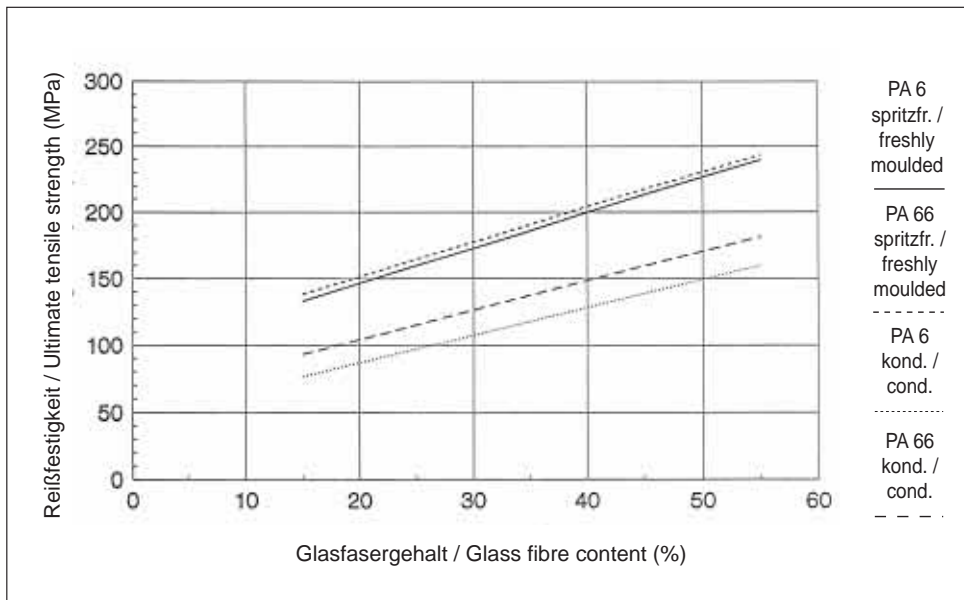


Abb. 4: Reißfestigkeit von PA 6 und PA 66 in Abhängigkeit vom Glasfasergehalt

Fig. 4: Ultimate tensile strength of PA 6 and PA 66 as a function of glass fibre content

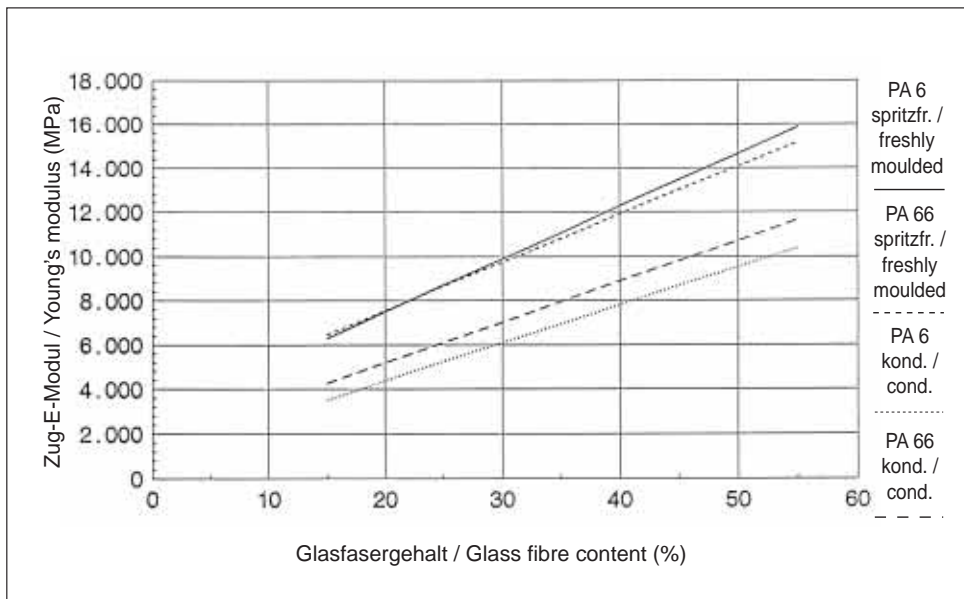


Abb. 5: Zug-E-Modul von PA 6 und PA 66 in Abhängigkeit vom Glasfasergehalt

Fig. 5: Young's modulus of PA 6 and PA 66 as a function of glass fibre content

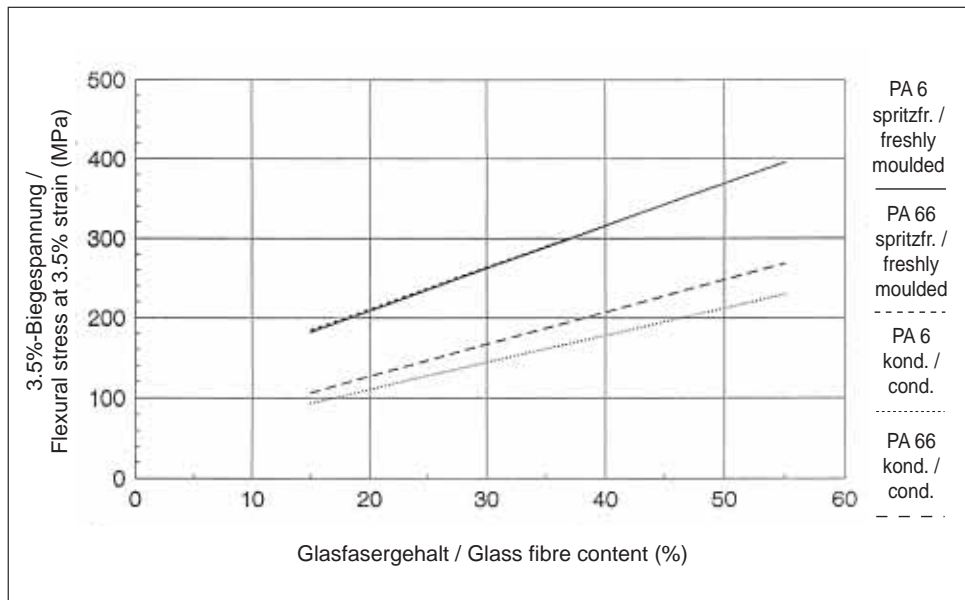


Abb. 6: 3,5%-Biegespannung von PA 6 und PA 66 in Abhängigkeit vom Glasfasergehalt

Fig. 6: Flexural stress at 3.5 % strain of PA 6 and PA 66 as a function of glass fibre content

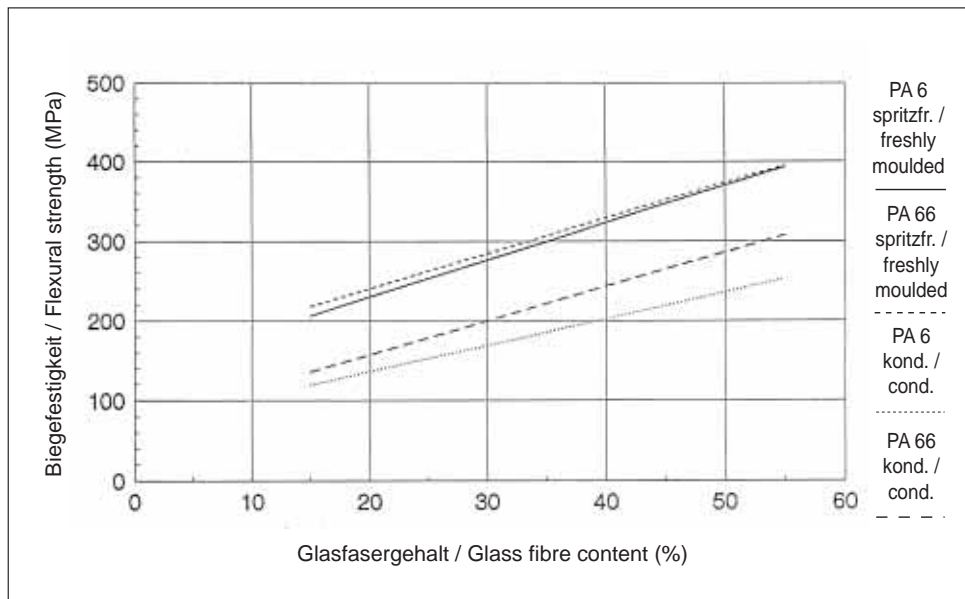


Abb. 7: Biegefestigkeit von PA 6 und PA 66 in Abhängigkeit vom Glasfasergehalt

Fig. 7: Flexural strength of PA 6 and PA 66 as a function of glass fibre content

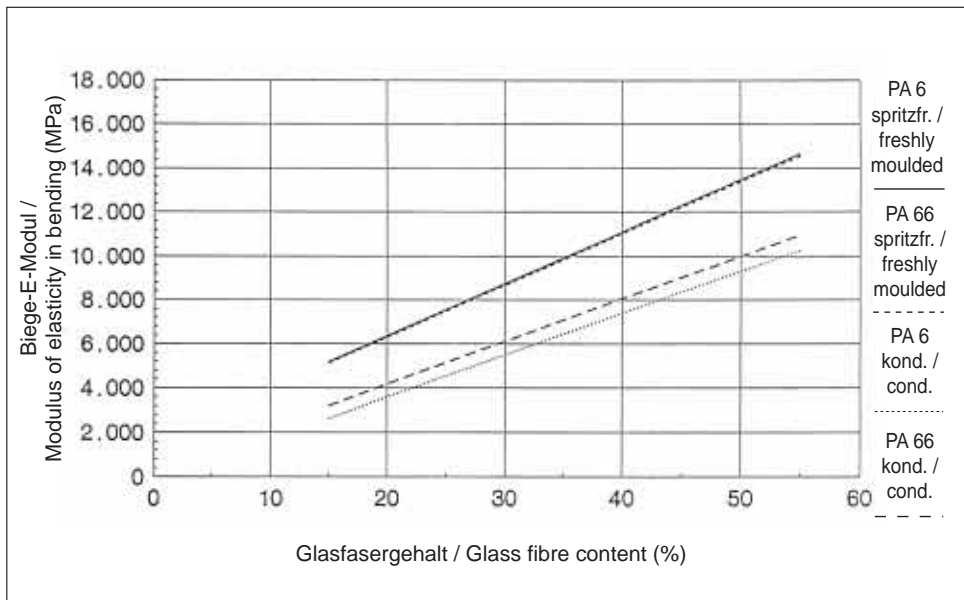


Abb. 8: Biege-E-Modul von PA 6 und PA 66 in Abhängigkeit vom Glasfasergehalt

Fig. 8: Modulus of elasticity in bending of PA 6 and PA 66 as a function of glass fibre content

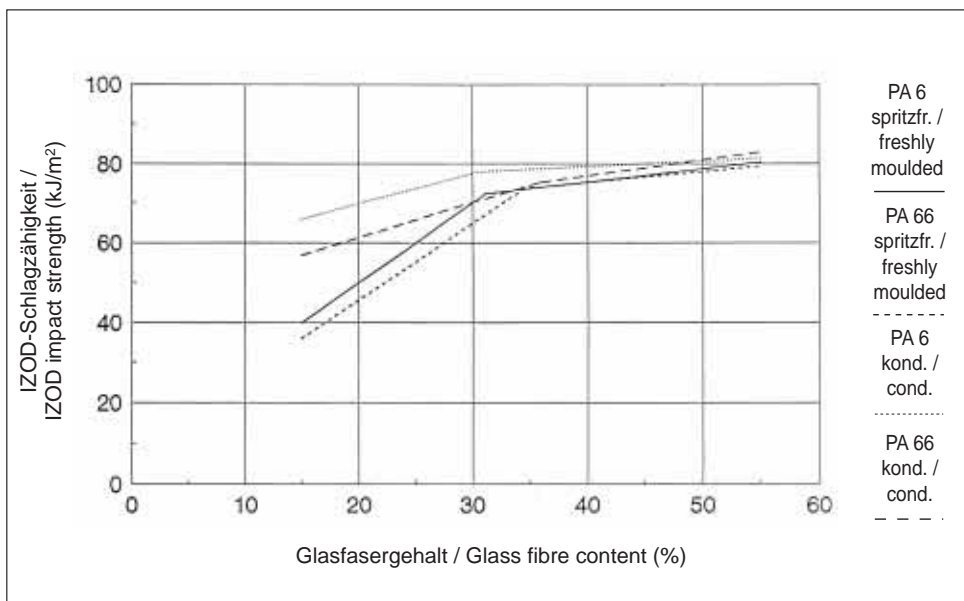


Abb. 9: IZOD-Schlagzähigkeit von PA 6 und PA 66 in Abhängigkeit vom Glasfasergehalt

Fig. 9: IZOD impact strength of PA 6 and PA 66 as a function of glass fibre content

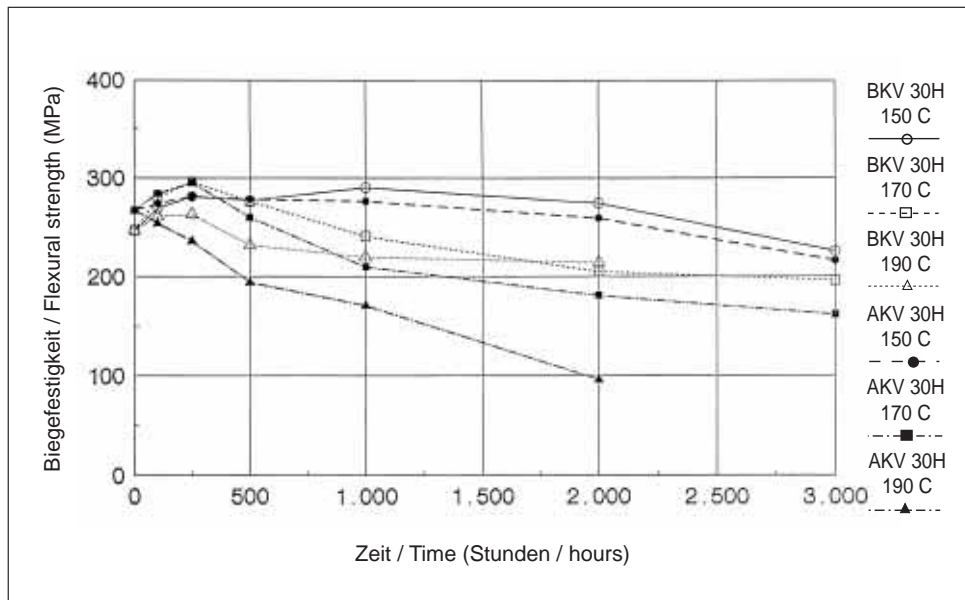


Abb. 10: Biegefestigkeit von DURETHAN® BKV 30 H und AKV 30 H nach Thermoalterung

Fig. 10: Flexural strength of Durethan® BKV 30 H and AKV 30 H after thermal ageing

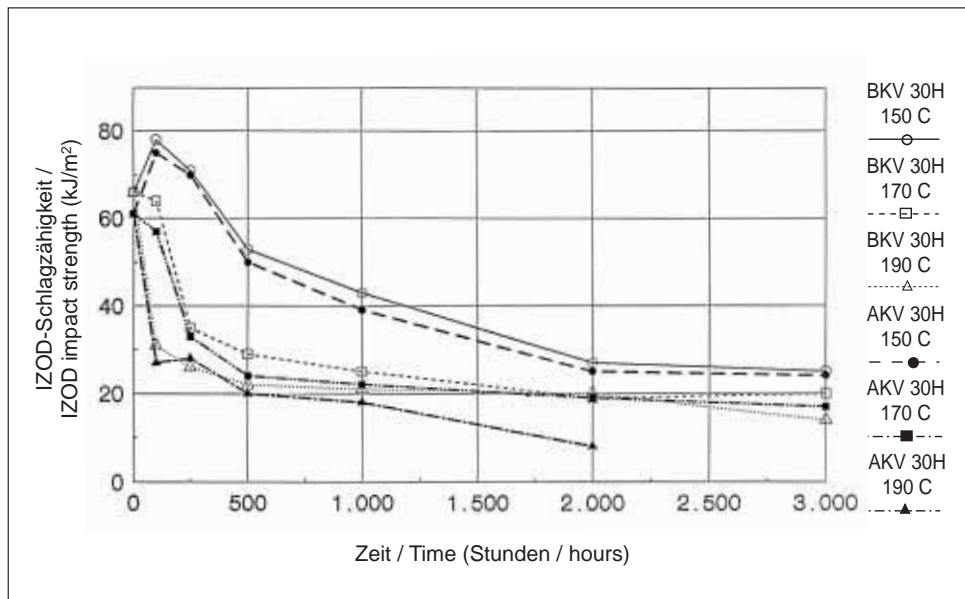


Abb. 11: IZOD-Schlagzähigkeit von DURETHAN® BKV 30 H und AKV 30 H nach Thermoalterung

Fig. 11: IZOD impact strength of Durethan® BKV 30 H and AKV 30 H after thermal ageing

| <b>GF-Gehalt /<br/>GF Content</b>                              |                                   | <b>%</b>          | <b>15</b> | <b>20</b> | <b>25</b> | <b>30</b> | <b>35</b> | <b>40</b> | <b>45</b> | <b>50</b> |
|--|-----------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Streckspannung /<br>Yield stress                               | spritzfrisch /<br>freshly moulded | MPa               | 133       | 149       | 164       | 178       | 193       | 208       | 223       | 238       |
|  | konditioniert /<br>conditioned    | MPa               | 78        | 88        | 99        | 109       | 120       | 130       | 141       | 151       |
| Streckdehnung /<br>Tensile strain<br>at yield                  | spritzfrisch /<br>freshly moulded | %                 | 3.8       | 3.6       | 3.4       | 3.3       | 3.1       | 3.0       | 2.8       | 2.6       |
|  | konditioniert /<br>conditioned    | %                 | 6.0       | 5.8       | 5.7       | 5.5       | 5.3       | 5.2       | 5.0       | 4.8       |
| Reißfestigkeit /<br>Ultimate tensile<br>strength               | spritzfrisch /<br>freshly moulded | MPa               | 125       | 144       | 165       | 180       | 192       | 203       | 210       | 220       |
|  | konditioniert /<br>conditioned    | MPa               | 77        | 87        | 97        | 107       | 118       | 128       | 139       | 150       |
| Zug-E-Modul /<br>Young's modulus                               | spritzfrisch /<br>freshly moulded | MPa               | 6320      | 7500      | 8700      | 9900      | 11000     | 12300     | 13500     | 14700     |
|  | konditioniert /<br>conditioned    | MPa               | 3550      | 4400      | 5250      | 6100      | 7000      | 7800      | 8700      | 9600      |
| 3,5%-Biege-<br>spannung /<br>Flexural stress<br>at 3.5% strain | spritzfrisch /<br>freshly moulded | MPa               | 182       | 209       | 236       | 262       | 289       | 316       | 342       | 369       |
|  | konditioniert /<br>conditioned    | MPa               | 93        | 110       | 127       | 144       | 161       | 178       | 195       | 212       |
| Biegefestigkeit /<br>Flexural strength                         | spritzfrisch /<br>freshly moulded | MPa               | 200       | 230       | 255       | 280       | 305       | 325       | 345       | 365       |
|  | konditioniert /<br>conditioned    | MPa               | 120       | 135       | 152       | 170       | 185       | 203       | 220       | 235       |
| Biege-E-Modul /<br>Modulus of<br>elasticity in<br>bending      | spritzfrisch /<br>freshly moulded | MPa               | 5550      | 6480      | 7400      | 8330      | 9700      | 11050     | 12400     | 13750     |
|  | konditioniert /<br>conditioned    | MPa               | 3070      | 3740      | 4400      | 5060      | 6100      | 7300      | 8500      | 9700      |
| IZOD<br>Schlagzähigkeit /<br>IZOD impact<br>strength           | spritzfrisch /<br>freshly moulded | kJ/m <sup>2</sup> | 40        | 50        | 60        | 70        | 74        | 75        | 77        | 79        |
|  | konditioniert /<br>conditioned    | kJ/m <sup>2</sup> | 65        | 71        | 74        | 77        | 79        | 79        | 80        | 81        |

*Tabelle 2: Mechanische Eigenschaften von PA 6 in Abhängigkeit vom Glasfasergehalt*

*Table 2: Mechanical properties as a function of glass fibre content for PA 6*

| GF-Gehalt /<br>GF Content                                       |                                   | %                 | 15   | 20   | 25   | 30    | 35    | 40    | 45    | 50    |
|---|-----------------------------------|-------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Streckspannung /<br>Yield stress                                | spritzfrisch /<br>freshly moulded | MPa               | 134  | 149  | 165  | 180   | 195   | 211   | 227   | 242   |
|   | konditioniert /<br>conditioned    | MPa               | 93   | 104  | 115  | 127   | 138   | 149   | 160   | 171   |
| Streckdehnung /<br>Tensile strain<br>at yield                   | spritzfrisch /<br>freshly moulded | %                 | 3.6  | 3.5  | 3.4  | 3.2   | 3.1   | 3.0   | 2.8   | 2.6   |
|   | konditioniert /<br>conditioned    | %                 | 4.7  | 4.6  | 4.4  | 4.3   | 4.1   | 3.9   | 3.8   | 3.7   |
| Reißfestigkeit /<br>Ultimate tensile<br>strength                | spritzfrisch /<br>freshly moulded | MPa               | 131  | 149  | 167  | 185   | 199   | 207   | 215   | 223   |
|   | konditioniert /<br>conditioned    | MPa               | 93   | 104  | 115  | 127   | 138   | 149   | 160   | 170   |
| Zug-E-Modul /<br>Young's modulus                                | spritzfrisch /<br>freshly moulded | MPa               | 6770 | 8060 | 9330 | 10600 | 11880 | 13150 | 14430 | 15700 |
|   | konditioniert /<br>conditioned    | MPa               | 4170 | 5110 | 6055 | 7000  | 7940  | 8800  | 9820  | 10760 |
| 3,5-%-Biege-<br>spannung /<br>Flexural stress<br>at 3.5% strain | spritzfrisch /<br>freshly moulded | MPa               | 184  | 210  | 237  | 264   | 291   | 318   | 345   | 372   |
|   | konditioniert /<br>conditioned    | MPa               | 104  | 125  | 146  | 167   | 188   | 208   | 229   | 250   |
| Biegefestigkeit /<br>Flexural strength                          | spritzfrisch /<br>freshly moulded | MPa               | 213  | 239  | 263  | 289   | 313   | 330   | 349   | 369   |
|   | konditioniert /<br>conditioned    | MPa               | 136  | 157  | 178  | 200   | 222   | 243   | 265   | 286   |
| Biege-E-Modul /<br>Modulus of<br>elasticity in<br>bending       | spritzfrisch /<br>freshly moulded | MPa               | 5600 | 6500 | 7350 | 8200  | 9400  | 10800 | 12200 | 14000 |
|   | konditioniert /<br>conditioned    | MPa               | 3590 | 4300 | 5000 | 5700  | 6800  | 7990  | 9150  | 10300 |
| IZOD<br>Schlagzähigkeit /<br>IZOD impact<br>strength            | spritzfrisch /<br>freshly moulded | kJ/m <sup>2</sup> | 36   | 46   | 55   | 65    | 74    | 75    | 77    | 78    |
|   | konditioniert /<br>conditioned    | kJ/m <sup>2</sup> | 57   | 61   | 66   | 70    | 75    | 77    | 79    | 81    |

Tabelle 3: Mechanische Eigenschaften von PA 66 in Abhängigkeit vom Glasfasergehalt

Table 3: Mechanical properties as a function of glass fibre content for PA 66

| Temperatur /<br>Temperature | 150 °C            |  |                         | 170 °C            |  |                         | 190 °C            |  |                         |
|-----------------------------|-------------------|--|-------------------------|-------------------|--|-------------------------|-------------------|--|-------------------------|
| Zeit / Time                 | IZOD              | Biege-<br>festigkeit /<br>Flexural<br>strength | Modul /<br>Modu-<br>lus | IZOD              | Biege-<br>festigkeit /<br>Flexural<br>strength | Modul /<br>Modu-<br>lus | IZOD              | Biege-<br>festigkeit /<br>Flexural<br>strength | Modul /<br>Modu-<br>lus |
| Stunden /<br>hours          | kJ/m <sup>2</sup> | MPa  | MPa                     | kJ/m <sup>2</sup> | MPa  | MPa                     | kJ/m <sup>2</sup> | MPa  | MPa                     |
| 0                           | 66                | 247  | 7660                    | 66                | 247  | 7660                    | 66                | 247  | 7660                    |
| 100                         | 78                | 269  | 8620                    | 65                | 280  | 8290                    | 31                | 261  | 7740                    |
| 250                         | 71                | 281  | 8240                    | 35                | 296  | 10440                   | 26                | 263  | 9600                    |
| 500                         | 53                | 277  | 8800                    | 29                | 276  | 9650                    | 22                | 232  | 9900                    |
| 1000                        | 43                | 290  | 8827                    | 25                | 241  | 9160                    | 20                | 220  | 9730                    |
| 2000                        | 27                | 274  | 8820                    | 20                | 205  | 9480                    | 20                | 214  | 8560                    |
| 3000                        | 25                | 226  | 9210                    | 20                | 196  | 10200                   | 14                | 181  | 9316                    |

Tabelle 4: Änderung der mechanischen Eigenschaften von Durethan BKV 30 H nach Thermoalterung

Table 4: Change in the mechanical properties of Durethan BKV 30 H after thermal ageing

| Temperatur /<br>Temperature | 150 °C            |  |                         | 170 °C            |  |                         | 190 °C            |  |                         |
|-----------------------------|-------------------|--|-------------------------|-------------------|--|-------------------------|-------------------|--|-------------------------|
| Zeit / Time                 | IZOD              | Biege-<br>festigkeit /<br>Flexural<br>strength | Modul /<br>Modu-<br>lus | IZOD              | Biege-<br>festigkeit /<br>Flexural<br>strength | Modul /<br>Modu-<br>lus | IZOD              | Biege-<br>festigkeit /<br>Flexural<br>strength | Modul /<br>Modu-<br>lus |
| Stunden /<br>hours          | kJ/m <sup>2</sup> | MPa  | MPa                     | kJ/m <sup>2</sup> | MPa  | MPa                     | kJ/m <sup>2</sup> | MPa  | MPa                     |
| 0                           | 61                | 267  | 8150                    | 61                | 267  | 8150                    | 61                | 267  | 8150                    |
| 100                         | 75                | 274  | 8340                    | 57                | 284  | 8060                    | 27                | 254  | 7300                    |
| 250                         | 70                | 281  | 8240                    | 33                | 295  | 9710                    | 27                | 236  | 8770                    |
| 500                         | 50                | 278  | 8230                    | 24                | 260  | 8870                    | 20                | 194  | 9170                    |
| 1000                        | 39                | 276  | 8470                    | 22                | 210  | 8550                    | 17                | 171  | 8840                    |
| 2000                        | 24                | 259  | 8550                    | 19                | 181  | 8700                    | 8                 | 96   | 6380                    |
| 3000                        | 23                | 216  | 8720                    | 17                | 162  | 9310                    | –                 | –  | –                       |

Tabelle 5: Änderung der mechanischen Eigenschaften von Durethan AKV 30 H nach Thermoalterung

Table 5: Change in the mechanical properties of Durethan AKV 30 H after thermal ageing

|  | PA 6                            |                           | PA 66                            |                            |
|--|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------|
|  | unverstärkt /<br>non reinforced | verstärkt /<br>reinforced | unverstärkt /<br>non reinforced  | verstärkt /<br>mreinforced |
| Verarbeitung / Processing                                    |                                 |                           |                                  |                            |
| Massetemperatur /<br>Melt temperature                        | °C                              | 260 – 280                 | 270 – 290                        | 275 – 295                  |
| Werkzeugtemperatur /<br>Mould temperature                    | °C                              | 79 – 90                   | 80 – 90                          | 80 – 90                    |
| Zykluszeit /<br>Cycle time                                   |                                 | kurz /<br>short           | kurz /<br>short                  | sehr kurz /<br>very short  |
| Oberflächenqualität /<br>Surface quality                     |                                 | gut /<br>good             | gut /<br>good                    | gut /<br>good              |
| Schwindung / Shrinkage                                       |                                 |                           |                                  |                            |
| längs / with flow  | %                               | 1.2                       | 0.3                              | 1.4                        |
| quer / across flow   | %                               | 1.4                       | 0.9                              | 1.9                        |
| Verzugsneigung /<br>Tendency to warp                         |                                 | gering /<br>low           | merkbar /<br>noticeable          | gering /<br>low            |
| Verschleiß<br>Wear   |                                 | kaum /<br>hardly any      | mäßig /<br>moderate              | kaum /<br>hardly any       |
| Dauergebrauchstemperatur /<br>Continuous service temperature | °C                              | 85                        | 120 – 130                        | 85                         |
| Mechanische Eigenschaften /<br>Mechanical properties         |                                 | –                         | siehe Tabelle 2 /<br>see table 2 | –                          |
| Thermische Eigenschaften /<br>Thermal properties             |                                 | –                         | siehe Tabelle 4 /<br>see table 4 | –                          |
| Chemikalienbeständigkeit /<br>Chemical resistance            |                                 | gut /<br>good             | gut /<br>good                    | sehr gut /<br>very good    |

Tabelle 6: Vergleich ausgewählter Eigenschaften von PA 6 und PA 66

Table 6: Comparison of selected properties of PA 6 and PA 66