

## Merkblätter für die Prüfung von Packmitteln

Herausgegeben von den Arbeitsgruppen der Industrievereinigung für Lebensmitteltechnologie und Verpackung e.V. am Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung, Institut an der Technischen Universität München

### Merkblatt 6

#### Prüfverfahren für Kunststoffsäcke

##### Teil 4

##### Bestimmung der Bruchstandzeit von Schweiß- und Klebenähten

Herausgegeben vom Arbeitskreis „Prüfverfahren für Kunststoffsäcke“ der Arbeitsgruppe „Säcke und Sackmaterialien“ – Neufassung April 1987  
(ersetzt die Ausgabe vom März 1972, veröffentlicht in Verpackungs-Rundschau 23 (1972) Nr. 6, Techn.-wiss. Beilage, S. 45–48)

#### 1. Zweck und Anwendung

Die Prüfung dient zur Ermittlung der statischen Belastbarkeit von Schweiß- und Klebenähten in Kunststoffsäcken.

#### 2. Begriffe

##### 2.1. Bruchstandzeit

Unter der Bruchstandzeit wird die Zeitdauer verstanden, während welcher der Probekörper einer bestimmten mechanischen Belastung unter festgelegten Bedingungen standzuhalten vermag, also die Zeit bis zum Abriß des Probekörpers (siehe Anmerkung 9.1).

##### 2.2. Brucharten

Beim Bruch des Probekörpers sind folgende Brucharten zu unterscheiden:

- Aufschälen der Naht (Schälbruch),
- Abscheren der Naht (Scherbruch),
- Folienbruch am Rande der Naht (Randbruch).

##### 2.3. Probe

Eine Probe ist ein Teil aus der Gesamtheit der zu prüfenden Kunststoffsäcke.

##### 2.4. Probekörper

Ein Probekörper ist ein Ausschnitt mit den in diesem Merkblatt festgelegten Maßen, der aus einer Probe entnommen wird.

#### 3. Proben

##### 3.1. Entnahme der Proben

Die Entnahme der Proben erfolgt nach Vereinbarung, in Schiedsfällen nach DIN 55 446, Teil 1.

##### 3.2. Probenvorbereitung

Die Proben sind im Normalklima 23/50 – 2 nach DIN 50 014 bis zur Gewichtskonstanz zu lagern.

#### 4. Probekörper

##### 4.1. Abmessungen der Probekörper

Der Probekörper ist ein 20 mm breiter Streifen, der senkrecht zur Naht so aus dem Sack herausgeschnitten wird, daß die freie Einspannlänge vor der Belastung mindestens 60 mm beträgt und die Naht sich in der Mitte des Probekörpers befindet. Enthält der Sack mehrere Nähte, so sind Probekörper aus sämtlichen Nähten zu entnehmen und getrennt nach Kopfnah, Bodennaht, Seitennaht usw. zu kennzeichnen.

##### 4.2. Anzahl der Probekörper

Die Anzahl der Probekörper sollte mindestens 20 je Nahtart betragen. Sie sind aus mindestens 10 Säcken zu entnehmen. Die Proben müssen frei von nicht-produktionsüblichen Unregelmäßigkeiten sein.

#### 5. Prüfvorrichtung

5.1. Die Prüfvorrichtung besteht aus Einspannklemmen, Klemmenhaltern, Gewichten und Zeitzählwerken. Die Klemmen müssen so beschaffen sein, daß die Probekörper nicht an der Klemme abreißen. Die Probekörper müssen sich ohne Quetschung in die Klemmen einspannen lassen. Bewährt haben sich Einspannbaken mit einer 25 mm breiten und 15 mm tiefen Auflage aus ca. 4 mm dickem Gummi mit einer Härte von etwa 60 Shore A.

##### 5.2. Streifen-Schneidergerät

Zum Schneiden kann jedes Folien- oder Papier-Schneidergerät verwendet werden, bei dem die geforderte Breite der Probekörper

auf  $\pm 0,1$  mm genau geschnitten werden kann und das eine gerade, kerbstellenfreie Schnittkante erzeugt. Das Schneidgerät soll deshalb einen ziehenden Schnitt, z.B. mit Rasierklinge, gewährleisten; d.h. die Schnittstelle muß sich während des Schneidvorganges längs der Schneide stetig ändern<sup>1</sup>.

## 6. Durchführung der Prüfung

- 6.1. Die Prüfung wird im gleichen Klima wie die Vorbehandlung der Proben durchgeführt (siehe Abschnitt 3.2).
- 6.2. Die Einspannung der Probekörper erfolgt in der Regel für schälende Beanspruchung (Bild 1, a). Falls die Nahtkonstruktion dies nicht gestattet, wird für scherende Beanspruchung eingespannt (Bild 1, b). Die Probekörper werden so in die Einspannklemmen eingespannt, daß ihre Längsachsen in Zugrichtung liegen.

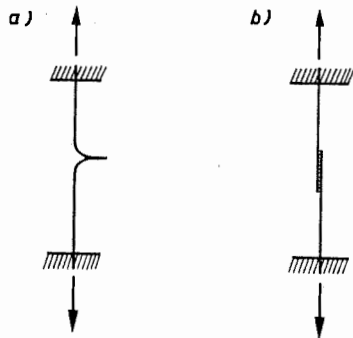


Bild 1: Skizze zur Anordnung der Probekörper a) für schälende, b) für scherende Beanspruchung.

- 6.3. Die Gewichtsbelastung wird vereinbart (siehe Anmerkung 9.2). Die Belastung ist langsam, nicht ruckartig aufzubringen.

## 7. Auswertung

Bei jedem einzelnen Abriß eines Probekörpers verringert sich die Zahl der Probekörper (nach Abschnitt 4.2 anfänglich mindestens  $n_0 = 20$ ) um 1. Zur Zeit  $t$  sind noch  $n$  Probekörper ( $n = n_0 - 1, n_0 - 2, \dots, 0$ ; Abgangszahl  $i = n_0 - n$ ) vorhanden. Auf den Abgangslinien  $i = 1$  bis 20 wird die „mittlere Überlebenswahrscheinlichkeit“ als Ordinate in einem Lebensdauernetz<sup>2</sup> über dem Bruchzeitpunkt  $t$  eingezeichnet.

Die so während des Versuchsablaufs entstehende fallende Folge von insgesamt  $n_0$  Punkten wird durch eine Gerade ausgeglichen. Bild 2 gibt ein Beispiel für  $n_0 = 20$  wieder. Die Überlebenswahrscheinlichkeiten  $L_1$  bis  $L_{20}$  sind der Tabelle zu entnehmen<sup>3</sup>. Die Abszisse des Schnittpunktes dieser Ausgleichsgeraden mit der 50%-Linie entspricht dem Zentralwert der Lebensdauer bzw. der Bruchstandzeit (siehe Anmerkung 9.3).

## 8. Prüfbericht

Im Prüfbericht sind unter Hinweis auf dieses Merkblatt anzugeben:

- Art und Bezeichnung des Erzeugnisses,
- Herstellungsdatum der Säcke und Proben,
- Anzahl der Proben und Probekörper,
- Vorbehandlung der Proben,
- Einspannung der Probekörper (z. B. ob für Schäl- oder für Scherbeanspruchung),
- Belastung der Probekörper in N,

<sup>1</sup> Vergleiche DIN 53 455, Prüfung von Kunststoffen, Zugversuch.

<sup>2</sup> Geeignete Lebensdauernetze für die Probekörperzahlen  $n_0 = 20$  und  $n_0 = 40$  können beim Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung, Schragenhofstr. 35, D-8000 München 50, angefordert werden.

<sup>3</sup> Die Überlebenswahrscheinlichkeiten  $L_i$  nach der Tabelle bzw. die Abgangslinien  $i = 1$  bis 20 im Lebensdauernetz sind nach der Formel

$$L_i = \frac{\left(1 - \frac{0,386}{n_0 - 1}\right)^n + 0,693}{n_0} \cdot 100\%$$

mit  $i = n_0 - n$  als Abgangszahl berechnet (siehe Literaturzitat 10.2).

Für geringere Genauigkeitsansprüche genügt es, dafür ersatzweise die Formel

$$L_i = \frac{n + 1}{n_0 + 1} \cdot 100\%$$

zu verwenden (siehe Anmerkung 9.3). Erstere gilt für den zu erwartenden Median-, letztere für den zu erwartenden Mittelwert der Lebensdauer bei jedem Abriß eines Probekörpers.

- Prüfklima,
- Bruchart (Angabe für jeden Probekörper),
- Bruchstandzeit jedes Probekörpers (bei Probekörpern aus verschiedenen Nähten nach diesen und ggf. nach verschiedenen Brucharten unterteilt),
- Darstellung der Bruchstandzeiten im Lebensdauernetz,
- Zentralwert der Lebensdauer (50%-Wert der Abgangsfunktion) bzw. der Bruchstandzeit in Stunden,
- ggf. Abgangsteilheit (siehe Anmerkung 9.3),
- von diesem Merkblatt abweichende Bedingungen,
- Prüfdatum.

## 9. Anmerkungen

- 9.1. Das Verformungsverhalten von Kunststoffen macht eine Unterscheidung zwischen statischen, quasi-statischen und dynamischen Belastungsfällen erforderlich. Der Zeitstandsversuch soll – im Unterschied zum quasi-statischen Zugversuch – das Verhalten des Materials bei statischer Belastung ermitteln, wie sie z. B. bei Lagerung unter Stapeldruck vorliegt, bei welcher zu jedem Zeitpunkt Gleichheit zwischen den angreifenden äußeren Kräften und den Reaktionskräften im Kunststoff herrscht. Die Zugrundelegung des Begriffes „Zeitstandfestigkeit“ nach DIN 50 119 erscheint hier nicht zweckmäßig. Die Zeitstandfestigkeit bedeutet die Belastung, die nach einer vorgegebenen Standzeit den Bruch des Probekörpers herbeiführt. Ihre Bestimmung erfordert einen wesentlich größeren Prüfaufwand als die Bestimmung der Bruchstandzeit oder Lebensdauer bei vorgegebener konstanter Belastung.

Tabelle: Mittlere Überlebenswahrscheinlichkeiten für die Probekörperzahl  $n_0 = 20$ .

Abgangszahl $i = n_0 - n$	Mittlere Überlebenswahrscheinlichkeit $n_0 = 20$
1	96,59
2	91,69
3	86,78
4	81,88
5	76,98
6	72,07
7	67,17
8	62,26
9	57,36
10	52,45
11	47,55
12	42,64
13	37,74
14	32,83
15	27,93
16	23,02
17	18,12
18	13,22
19	8,31
20	3,41

- 9.2. Bild 3 gibt ein Beispiel für den Zusammenhang zwischen Bruchstandzeit und Belastung von gleichartigen Schweißnähten an einer Polyethylenfolie von 0,25 mm Dicke. Die Gerade gilt für einen Abgang von 5% (vgl. Anmerkung 9.3). d. h. 95% der Probekörper überleben eine Standzeit von 20 Stunden, wenn sie mit 60 N (bei 20 mm Streifenbreite), oder von rund 100 Stunden, wenn sie mit 50 N belastet wurden. Für die Prüfung kann hieraus ein geeigneter Arbeitspunkt gewählt werden. Zu beachten ist, daß die Belastung, wenn sie für eine kurze Prüfzeit, z. B. für 20 Stunden, ausgelegt wird, was in der Praxis meist erwünscht ist, häufig im Bereich der Streckgrenze des Folienmaterials liegen kann. In diesem Fall sollten auch Folienbrüche in die Auswertung einbezogen werden. Damit diese jedoch das charakteristische Lebensdauer-Diagramm der Nähte nicht verfälschen, empfiehlt sich die Behandlung der Folienbrüche als „suspendierte Probe“.

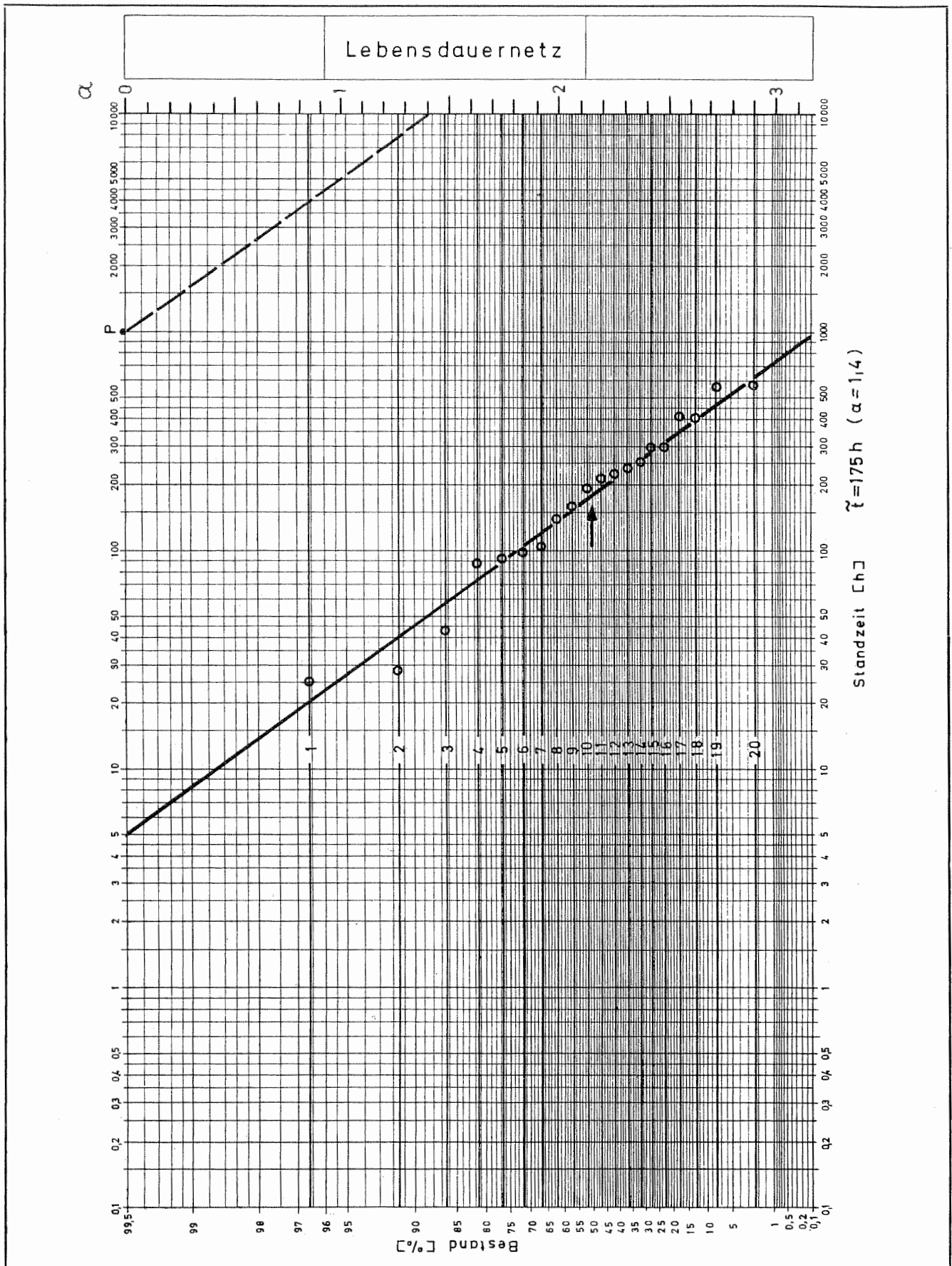


Bild 2: Bruchstandzeit (h) der Strahlungsschweißnaht einer PE-Folie niederer Dichte bei einer Schälbelastung von 50 N in Abhängigkeit vom Bestand B bzw. von der „mittleren Überlebenswahrscheinlichkeit“ L<sub>i</sub> (siehe Tabelle in Abschnitt 7) der Probekörper (ausgezogene Gerade). Foliendicke: 0,25 mm; Probekörperbreite: 20 mm; Prüftemperatur: 23 °C.  
 Zentralwert der Lebensdauer bzw. der Bruchstandzeit bei 50% Bestand bzw. 50% „mittlerer Überlebenswahrscheinlichkeit“:  $\bar{t} = 175 \text{ h}$ ; Abgangsteilheit aus der Parallelen durch den Pol P (strichpunktierte Gerade):  $\alpha = 1,4$ .

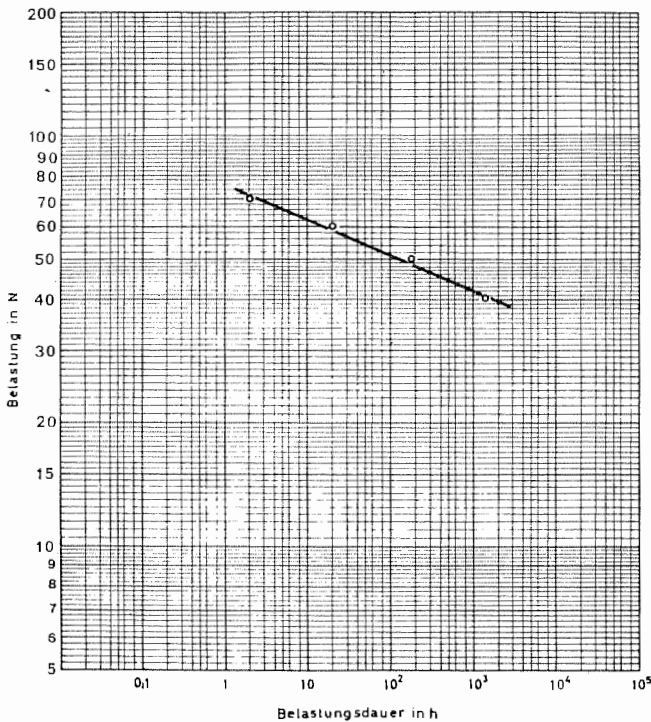


Bild 3: Bruchstandzeit (h) der Strahlungsschweißnaht einer PE-Folie niedriger Dichte bei einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 95% in Abhängigkeit von der Schälbelastung (N). Foliendicke: 0,25 mm; Probekörperbreite: 20 mm; Prüftemperatur: 23 °C.

körper“ (siehe Literaturzitat 10.7). Als Richtwert für Polyethylen in Abhängigkeit von der Foliendicke mögen folgende Belastungen dienen:

< 0,20 mm	30 N,
0,20 — 0,25 mm	40 N,
≥ 0,25 mm	50 N.

9.3. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt nach statistischen Gesichtspunkten, da die Lebensdauer bzw. Bruchstandzeit belasteter Stoffe eine stochastische, d. h. nicht nur von Stoffeigenschaften und den Versuchsbedingungen abhängige, sondern auch dem Zufall unterworfenen Größe ist. Das Zeitstandverhalten läßt sich hinreichend durch die Weibull'sche Abgangsfunktion beschreiben. Deshalb sind die Bruchstandzeiten in einem Lebensdauernetz auszuwerten, dem die Weibull-Verteilung zugrunde liegt, z. B. im Lebensdauernetz nach K. Stange (siehe Bild 2 und Literaturzitat 10.9). Die Ordinate dieses Netzes ist so transformiert, daß die eingetragenen Punkte bei Vorliegen einer Weibull-Verteilung um eine Gerade streuen. Man erhält den relativen Bestand an unversehrten Objekten zur Zeit  $\tau$  nach Weibull und nach Gumbel aus:

$$\frac{N(\tau)}{N_0} = e^{-(\tau/T)^\alpha}$$

mit  $N_0$  = Anzahl der unversehrten Probekörper zur Zeit  $\tau = 0$ ,  
 $N$  = Anzahl der unversehrten Probekörper zur Zeit  $\tau > 0$ ,  
 $T$  = kennzeichnende Lebensdauer,  
 $\alpha$  = Abgangsteilheit.

Ein Lebensdauernetz stellt den entsprechenden Prozentsatz  $\frac{N}{N_0} \cdot 100\%$  über der Zeit  $\tau$  dar. Der Zentralwert der Lebensdauer  $\bar{\tau}$  läßt sich dem Netz unmittelbar als 50%-Wert entnehmen.

Die geprüfte Stichprobe von kleinem Umfang  $n_0$  liefert für  $\bar{\tau}$  nur einen Schätzwert  $\bar{\tau}$ . Deshalb wird hier statt des prozentualen Bestandes  $\frac{n}{n_0} \cdot 100\%$  an noch nicht gerissenen Probekörpern die „mittlere Überlebenswahrscheinlichkeit“

$$L_1 = \frac{n+1}{n_0+1} \cdot 100\%$$

für die Eintragung ins Netz zugrunde gelegt<sup>3</sup>. Die mittleren Überlebenswahrscheinlichkeiten für die Probekörperzahl  $n_0 = 20$  sind der Tabelle zu entnehmen. Bei routinemäßigen Qualitätsbeurteilungen, z. B. der Wareneingangskontrolle, genügt oft die Feststellung, ob die ersten Meßpunkte bereits jenseits einer vorgeschriebenen Lebensdauerlinie oder deren unterer Vertrauensgrenze liegen, so daß die Prüfung gegebenenfalls schon nach den ersten Brüchen der Stichprobe abgebrochen werden kann. Die Abgangsteilheit  $\alpha$  kann im Lebensdauernetz nach K. Stange (siehe Literaturzitat 10.8) ebenfalls graphisch ermittelt werden. Hierzu wird gemäß Bild 3 eine Parallele zur Ausgleichsgeraden durch den Pol P gezogen und ihr Schnittpunkt mit der Hilfsskala für  $\alpha$  am rechten Rand des Netzes abgelesen.

Zum Vertrauensbereich von  $\bar{\tau}$  sowie der Ausgleichsgeraden siehe Literaturzitat 10.8. Er hängt von der Probekörperzahl und der Neigung der Abgangsgeraden ab und ist vor allem bei einer Verfeinerung des Auswerteverfahrens wichtig.

## 10. Schrifttum

- 10.1. Weibull, W.: A statistical distribution function of wide applicability. J. Appl. Mech. (1951) S. 293–297.
- 10.2. Johnson, L. G.: The medium ranks of sample values in their population with an application to certain fatigue studies. Ind. Math. 2 (1951) S. 1–9.
- 10.3. Freudenthal, A. M., u. E. J. Gumbel: On the statistical interpretation of fatigue tests. Proc. Royal Soc. 216A (1952) S. 309–331.
- 10.4. Gumbel, E. J.: Statistical theory of extreme values and some practical application. – U.S. Dep. of Commerce, National Bureau of Standards, Appl. Math. Ser. 33 (1954).
- 10.5. Stange, K.: Zur Ermittlung der Abgangslinie für wirtschaftliche und technische Gesamtheiten. Mitteilungsblatt f. math. Statistik (1955) Nr. 7, S. 113–151.
- 10.6. Ferrell, E. B.: Plotting experimental data on normal or log-normal probability paper. Ind. Qual. Control (1958) July, S. 12–15.
- 10.7. Weibull, W.: Fatigue testing and analysis of results. – Pergamon Press Ltd., Oxford 1961.
- 10.8. Johnson, L. G.: The statistical treatment of fatigue experiments. – Elsevier Publ. Co., Amsterdam, London, New York 1964.
- 10.9. Graf, U., H.-J. Henning u. K. Stange: Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik – Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1966. S. 21 u. 278.
- 10.10. Störmer, H.: Mathematische Theorie der Zuverlässigkeit. – R. Oldenbourg Verlag, München 1970, S. 80 und 268.