

**Trogamid<sup>®</sup> (Originalprospekt)**  
**Stäbe, Rohre, Platten, 1963**



Dynamit Nobel  
Aktiengesellschaft  
Abt. Kunststoff-Verkauf  
Troisdorf / Köln

Unter der Wortmarke

# Trogamid<sup>®</sup>

liefern wir verschiedene

Polyamide, die sich durch

**hohe Zugfestigkeit,**

**höchste Geräuschkämpfung,**

**hohe Wärmebeständigkeit,**

**geringes spezifisches Gewicht,**

**niedrigen Reibungskoeffizienten und**

**leichte Bearbeitbarkeit**

auszeichnen.

Die in diesem Prospekt enthaltenen Ausführungen sind aus der Praxis heraus entstanden und sollen nur Hinweise für die Praxis sein.

Alle bisherigen Prospekte TROGAMID in Heftform sind durch diese Neuausgabe überholt.

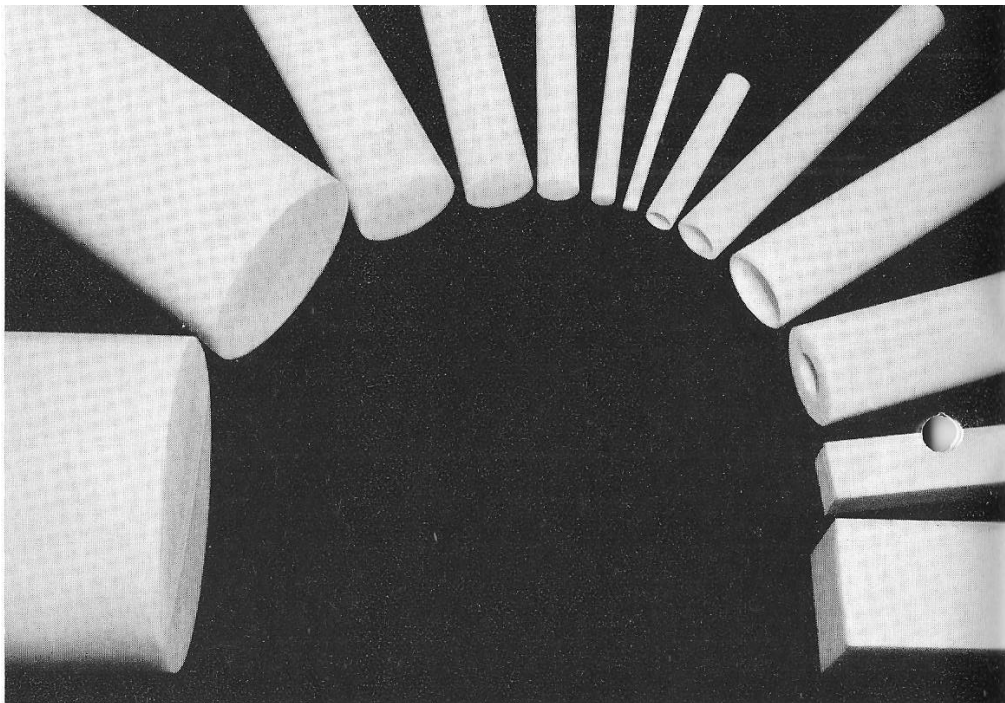
Die in den folgenden Tabellen angegebenen Werte sollen Stoffeigenschaften kennzeichnen. Sie wurden an Prüfkörpern bestimmt, die, soweit Normvorschriften bestehen, diesen entsprechen. Es ist jedoch nicht ohne weiteres möglich, von den an Prüfkörpern gemessenen Werten auf das Verhalten von Fertigteilen zu schließen, da Verarbeitung und Gestalt darauf wesentlichen Einfluß haben können.

Werte ohne Verbindlichkeit!

® = eingetr. Warenzeichen

## Inhaltsverzeichnis

I.	<b>Allgemeines über TROGAMID</b>	
a)	Allgemeines	4
b)	Lieferformen	5
II.	<b>Physikalische Eigenschaften</b>	
a)	allgemeine Eigenschaften	5
b)	thermisches Verhalten	7
	1. in Luft	7
	2. in Wasser	8
c)	chemische Beständigkeit von TROGAMID B und TROGAMID R	9
d)	atmosphärische Einflüsse	12
e)	Konditionieren	16
f)	kalter Fluß und Verformung	17
III.	<b>Einsatz und Anwendung</b>	
a)	Allgemeines	19
b)	Anwendung in der Elektrotechnik und Feinmechanik	19
c)	Zahnradfertigung und Getriebebau	20
d)	Lagerfertigung	24
	1. Allgemeines	24
	2. Reibungskoeffizient und Lagerschmierung	25
e)	Dichtungen	26
IV.	<b>Bearbeitung</b>	
a)	Allgemeines	28
b)	Sägen	28
	1. Bandsägen	29
	2. Maschinensägen	29
	3. Kreissägen	29
	4. Handsägen	29
c)	Bohren	29
d)	Aufreiben	30
e)	Fräsen	31
f)	Drehen	31
g)	Gewindeschneiden	32
	1. auf der Drehbank	32
	2. von Hand	32
h)	Hobeln	32
i)	Schleifen	33
j)	Polieren	33
k)	Feilen	33
l)	Stanzen	33
V.	<b>Färben</b>	33
VI.	<b>Verbinden</b>	
a)	Kleben	34
	1. TROGAMID B	34
	2. TROGAMID R	34
b)	Schweißen	35
	1. TROGAMID B	35
	2. TROGAMID R	35

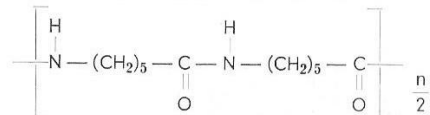


**I. Allgemeines über TROGAMID** a) Allgemeines

Wir stellen Halbfabrikate aus TROGAMID her auf der Basis

Caprolactam . . . . . Verkaufsname TROGAMID „B“  
 Caprolactam + Molybdädisulfid . . . . . Verkaufsname TROGAMID „BMo“  
 Aminoundekansäure . . . . . Verkaufsname TROGAMID „R“  
 Aminoundekansäure + Molybdädisulfid  
 Verkaufsname TROGAMID „RMo“

TROGAMID B, ein 6-Polyamid (Nylon 6), zeigt folgenden Aufbau



während TROGAMID R, ein 11-Polyamid (Nylon 11),  
 $\text{H} [\text{HN} \text{---} (\text{CH}_2)_{10} \text{---} \text{CO}]_n \text{OH}$  entspricht.

**b) TROGAMID-Lieferformen sind:**

**I. Rundstäbe folgender  $\Phi$ :**

3; 4,5; 5; 6; 8; 10; 12; 15; 18; 20; 25; 30; 35; 38; 40; 43; 45; 48; 50; 52;  
 54; 58; 64; 70; 74; 78; 82; 87; 92; 100; 106; 110; 113; 115; 125; 135;  
 145; 155; 164; 185; 206; 230; 250; 275; 290 mm

**Lieferlängen:**

ca. 1000 mm, Überlängen auf Anfrage.

**II. Vierkantstäbe**

55 x 55 mm }  
 117 x 117 mm } in Längen bis etwa 900 mm

**III. Platten und Bänder**

Type	Dicke mm	Breite mm	Länge mm
„B“	0,5—2	bis 500	beliebig
	2—5		bis 2000 Überlänge auf Anfrage
„B“ „R“	50, 75 u. 100	ca. 500	bis 1800 bis 1400

**IV. Hohlstäbe und Rohre**

64 x 35 mm	100 x 25 mm
87 x 25 mm	100 x 30 mm
87 x 30 mm	100 x 35 mm
87 x 35 mm	100 x 40 mm
87 x 40 mm	100 x 45 mm
87 x 45 mm	100 x 50 mm
87 x 50 mm	100 x 55 mm

**Folgende Dimensionen werden vorbereitet:**

20 x 10 mm	32 x 28 mm	164 x 100 mm
20 x 15 mm	40 x 25 mm	206 x 100 mm
25 x 10 mm	40 x 30 mm	206 x 130 mm
25 x 15 mm	50 x 40 mm	206 x 145 mm
25 x 20 mm	145 x 40 mm	250 x 90 mm
30 x 20 mm	145 x 60 mm	250 x 120 mm
30 x 25 mm	164 x 50 mm	250 x 160 mm
	164 x 70 mm	250 x 190 mm

**II. Physikalische Eigenschaften** a) allgemein

Die wichtigsten physikalischen Eigenschaften unserer TROGAMID-Typen sind in Tafel 1 enthalten.

Die Sorten BMo und RMo unterscheiden sich von den Sorten B bzw. R durch ihren verringerten Reibungskoeffizienten.

Tafel 1

## Physikalische Eigenschaften bei 20°C

Eigenschaften	Einheit	TROGAMID B	TROGAMID R	Prüfvorschrift
a) mechanische				
Rohdichte	g/cm <sup>3</sup>	1,14	1,04	DIN 53479
Grenzbiegespannung (Normstab)				
trocken	kp/cm <sup>2</sup>	750	800	DIN 53452
nach 90 Tagen 65 % rel. F.	kp/cm <sup>2</sup>	600	750	
Schlagzähigkeit (Normstab)				
trocken	kpcm/cm <sup>2</sup>	} nicht } gebrochen	> 20	DIN 53453
nach 90 Tagen 65 % rel. F.	kpcm/cm <sup>2</sup>		> 100	
Kerbschlagzähigkeit (Normstab)				
trocken	kpcm/cm <sup>2</sup>	5,0	3,5	DIN 53453
nach 90 Tagen 65 % rel. F.	kpcm/cm <sup>2</sup>	> 30	5,0	
Druckfestigkeit	kp/cm <sup>2</sup>	900	900	DIN 53454
Zugfestigkeit				
trocken	kp/cm <sup>2</sup>	700	550	DIN 53455
nach 90 Tagen 65 % rel. F.	kp/cm <sup>2</sup>	450	500	
Dehnung beim Bruch				
trocken	%	50	30	DIN 53455
nach 90 Tagen 65 % rel. F.	%	> 100	25	
Elastizitätsmodul (Normstab)				
trocken	kp/cm <sup>2</sup>	20 000	17 000	aus Biegeversuch
nach 90 Tagen 65 % rel. F.	kp/cm <sup>2</sup>	11 000	15 000	
Kugeleindruckhärte				
trocken	kp/cm <sup>2</sup>	900	850	DIN 53456 u. VDE 0302
nach 90 Tagen 65 % rel. F.	kp/cm <sup>2</sup>	600	800	
Schmelztemperatur	°C	210	185	
Wärmeleitfähigkeit	kcal/m h °C	0,25	0,25	VDE 0304
Lineare Wärmedehnzahl	1 / °C	110 · 10 <sup>-6</sup>	110 · 10 <sup>-6</sup>	
Spezifische Wärme	kcal/kg °C	0,5	0,6	
Wasseraufnahme				
nach 4 Tagen (Normstab)	%	2,3	0,15	DIN 53472
nach 4 Tagen (Platte)	mg	250	15	
b) elektrische				
Oberflächenwiderstand				
trocken	Ω	5 · 10 <sup>11</sup>	> 10 <sup>14</sup>	DIN 53482
nach 30 Tagen 65 % rel. F.	Ω	10 <sup>11</sup>	> 10 <sup>14</sup>	
Spezifischer Widerstand				
trocken	Ω · cm	4 · 10 <sup>13</sup>	2 · 10 <sup>15</sup>	DIN 53482
nach 30 Tagen 65 % rel. F.	Ω · cm	10 <sup>13</sup>	10 <sup>15</sup>	

Eigenschaften	Einheit	TROGAMID B	TROGAMID R	Prüfvorschrift
Dielektrizitätskonstante ε				
bei 50 Hz				
trocken		7	3	DIN 53483
nach 30 Tagen 65 % rel. F.		10	4	
bei 800 Hz				
trocken		6	3	DIN 53483
nach 30 Tagen 65 % rel. F.		7	3	
Dielektrischer Verlustfaktor tg δ				
bei 50 Hz				
trocken		0,10	0,025	DIN 53483
nach 30 Tagen 65 % rel. F.		0,13	0,030	
bei 800 Hz				
trocken		0,10	0,030	DIN 53483
nach 30 Tagen 65 % rel. F.		0,14	0,035	
Durchschlagfestigkeit				
an Platte von 2 mm Dicke				
trocken	kV/mm	30	30	DIN 53481
nach 90 Tagen 65 % rel. F.	kV/mm	20	15	
Kriechstromfestigkeit		T 4	T 4	DIN 53480

Das spezifische Gewicht von 1,14 für TROGAMID B bzw. 1,04 für TROGAMID R im Vergleich zu 2,7 für Aluminium; 8,9 für Kupfer und 7,8 für Stahl bringt Gewichtseinsparungen, selbst wenn man durch Wahl entsprechend größerer Querschnitte gleiche Festigkeiten wie bei den vorher genannten Metallen erzielen will.

## b) Thermisches Verhalten

## 1. in Luft

## TROGAMID B

Die Dauergebrauchstemperatur von TROGAMID B beträgt bei belasteten Teilen ca. 80°C.

Gering belastete Teile können kurzzeitig weit höheren Temperaturen ausgesetzt werden (bis etwa 150°C).

TROGAMID B besitzt einen engen Plastizitätsbereich und ist bei 200°C noch fest.

TROGAMID B ist gut kältebeständig und zeigt auch bei tiefen Temperaturen hohe mechanische Eigenschaften.

Wenn unsere TROGAMID-Sorten auch relativ hohen Gebrauchstemperaturen ausgesetzt werden können, so lassen doch die mechanischen Eigenschaften bei Erwärmung erheblich nach.

(Siehe Kurve 1)



## TROGAMID R

TROGAMID R ist das leichteste der zur Zeit hergestellten Polyamide (Rohdichte 1,04 g/cm<sup>3</sup>).

Es besitzt einen sehr engen Plastizitätsbereich und ist bei 170° C noch fest.

Die höchste Betriebsdauertemperatur mit Belastung liegt bei 80° C, die maximale Betriebsdauertemperatur ohne Belastung bei 100° C.

Kurzzeitig verträgt TROGAMID R Erwärmungen bis zu 140° C und ermöglicht auch einen Einsatz bis zu -65° C.

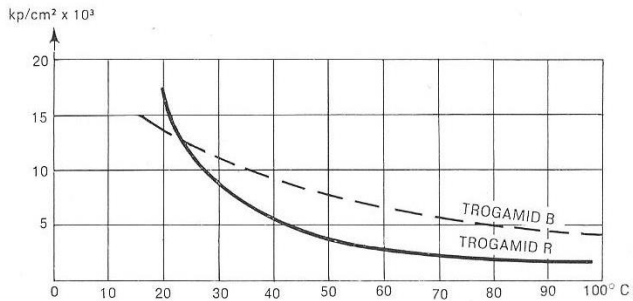
### 2. in Wasser

Die ungefähren Verwendungsgrenzen von TROGAMID R bei verschiedenen Einsatztemperaturen in Wasser sind der Tafel 2 zu entnehmen. Die Angaben zeigen, daß Teile aus TROGAMID R bei höheren Temperaturen in Wasser nur begrenzte Zeit ihre ursprünglichen Werte behalten.

Sollen die erhöhten Temperaturen der Tafel 2 über einen größeren Zeitraum als angegeben auf die Fertigteile einwirken, muß auf den Einsatz von TROGAMID R verzichtet werden.

**Kurve 1** Elastizitätsmodul in Abhängigkeit von der Temperatur

(Material luftfeucht)



**Tafel 2** Zeitliche Verwendungsgrenzen von TROGAMID R bei Dauereinsatz in Wasser von 60, 80 und 100° C

Wassertemperatur ° C	Gebrauchsgrenze Stunden
60	4000
80	3000
100	2000

## Chemische Beständigkeit von TROGAMID B und TROGAMID R

Die chemische Widerstandsfähigkeit der Polyamide ist sehr hoch. Sie sind beständig gegen normale organische Lösungsmittel, Ester, Ketone, Schmieröle, Benzin, Benzol, Paraffin, Lösungen organischer Salze. Sie werden angegriffen von Mineralsäuren hoher Konzentration, Alkalien höherer Konzentration, Phenol, Kresol und Ameisensäure.

### Chemische Beständigkeit von TROGAMID B

#### TROGAMID B ist beständig gegen:

##### A) Organische Verbindungen bei 20° C

Aceton	Isopropylalkohol
Äthanol	Ketone
Äther	Kohlenwasserstoffe
Äthylacetat	Methanol
Äthylmethylketon	Methylacetat
Alkohole	Mineralöl
Benzin	Paraffinöl
Benzol	Petroleum
Butanol	Pyridin
Butylacetat	Schwefelkohlenstoff
Chlorbenzol	Tetrachlorkohlenstoff
Cyclohexanol	Tetrahydrofuran
Cyclohexanon	Tetralin
Dekalin	Terpentinöl
Dieselöl	Toluol
Diocetylphthalat	Treibstoffe
Ester	Wein
Fette und fette Öle	Xylol
Glycerin	

##### B) 10%ige wäßrige Lösungen bei 20° C

Ammoniak	Magnesiumchlorid
Aluminiumchlorid	Mangansulfat
Ammoniumchlorid	Natriumbisulfat
Calciumchlorid	Natriumchlorid
Chromalaun	Natriumsulfat
Eisenchlorid	Natronlauge
Kalilauge	Wasser
Kaliumnitrat	Zinkchlorid
Kupfersulfat	

#### TROGAMID B ist bedingt beständig gegen:

##### A) Organische Verbindungen bei 20° C

Äthylenchlorid	Perchloräthylen
Benzaldehyd	Trichloräthylen
Glykol	

##### B) 10%ige wäßrige Lösungen bei 20° C

Milchsäure	Wasserstoffperoxyd (0,5 %)
Oxalsäure	Zitronensäure

**TROGAMID B ist unbeständig gegen:**

A) Organische Verbindungen bei 20° C

Ameisensäure	Kresol
Adipinnitril (bei höh. Temperat.)	Methylenchlorid
Benzylalkohol	Nitroalkohole (b. höh. Temperat.)
Chloroform	Nitrobenzol (b. höh. Temperat.)
Dimethylsulfoxyd	Phenol
Formamid	Phenyläthylalkohol

B) 10%ige wäßrige Lösungen bei 20° C

Bleichlauge (0,1 % aktives Chlor)	Phosphorsäure
Chloralhydrat	Quecksilberchlorid
Chloressigsäure	Salpetersäure
Chromsäure	Salzsäure
Essigsäure	Schwefelsäure
Kaliumpermanganat	Überchlorsäure
Mineralsäuren (über 1 %)	Wasserstoffperoxyd über 0,5 %
Oxydationsmittel	

TROGAMID B ist geschmacksfrei, jedoch physiologisch nur bedingt un-schädlich.

**Chemische Beständigkeit von TROGAMID R**

TROGAMID R besitzt eine gute Widerstandsfähigkeit gegen Basen und unchlorierte Lösungsmittel, Öle, Fette und Kohlenwasserstoffe sowie gegen organische und verdünnte Mineralsäuren und verdünnte Oxydationsmittel.

**TROGAMID R ist beständig gegen:**

A) Organische Verbindungen bei 20° C

Aceton	Glykol
Acetylen	Methylalkohol
Äthylacetat	Mineralöle
Äthylalkohol	Ölsäure
Äthylendichlorid	Perchloräthylen
Amylacetat	Petroläther
Benzin	Pflanzenöle
Benzol	Schweröl
Cyclohexanon	Stearin
Dioctylphthalat	Terpentinöl
Erdöl	Tetrachlorkohlenstoff
Fette	Toluol
Fettsäureester	Triresylphosphat
Glycerin	Xylol

B) 10%ige wäßrige Lösungen bei 20° C

Ammoniak	Natriumbisulfit
Ameisensäure	Natriumcarbonat
Apfelwein	Natriumchlorat
Bariumchlorid	Natriumchlorid
Bier	Natriumhypochlorit

Calciumchlorid	Natriumnitrat
Chlorkalk	Natriumphosphat
Chromsäure	Natriumsulfat
Eau de Javelle	Natronlauge
Essigsäure	Nickelsulfat
Kalilauge	Oxalsäure
Kaliumcarbonat	Phosphorsäure
Kaliumchlorat	Salzsäure 1 %
Kaliumsulfat	Salpetersäure 1 %
Magnesiumchlorid	Schwefelsäure
Meerwasser	Wasser
Milch	Wein
Milchsäure	Zitronensäure

**TROGAMID R ist bedingt beständig gegen:**

A) Organische Verbindungen bei 20° C

Anilin	Vinylchlorid
--------	--------------

B) 10%ige wäßrige Lösungen bei 20° C

Kaliumpermanganat	Schwefelsäure 40 %
Salpetersäure	

**TROGAMID R ist unbeständig gegen:**

A) Organische Verbindungen bei 20° C

Kresol	Phenol
Trichloräthylen	Pyridin

B) 10%ige wäßrige Lösungen bei 20° C

Chlor (Gas)	Salzsäure
-------------	-----------

Die vorstehenden Angaben über das chemische Verhalten des TROGAMID B und R sollen lediglich Richtlinien für einen beabsichtigten Einsatz sein.

Für besondere Fälle und Einsätze empfehlen wir, die Brauchbarkeit von TROGAMID unter den in Frage kommenden Arbeitsbedingungen durch Versuche prüfen zu lassen.

TROGAMID kann normalerweise in den Tropen eingesetzt werden.

TROGAMID R ist geschmacksfrei, physiologisch unschädlich und sterilisierfähig.

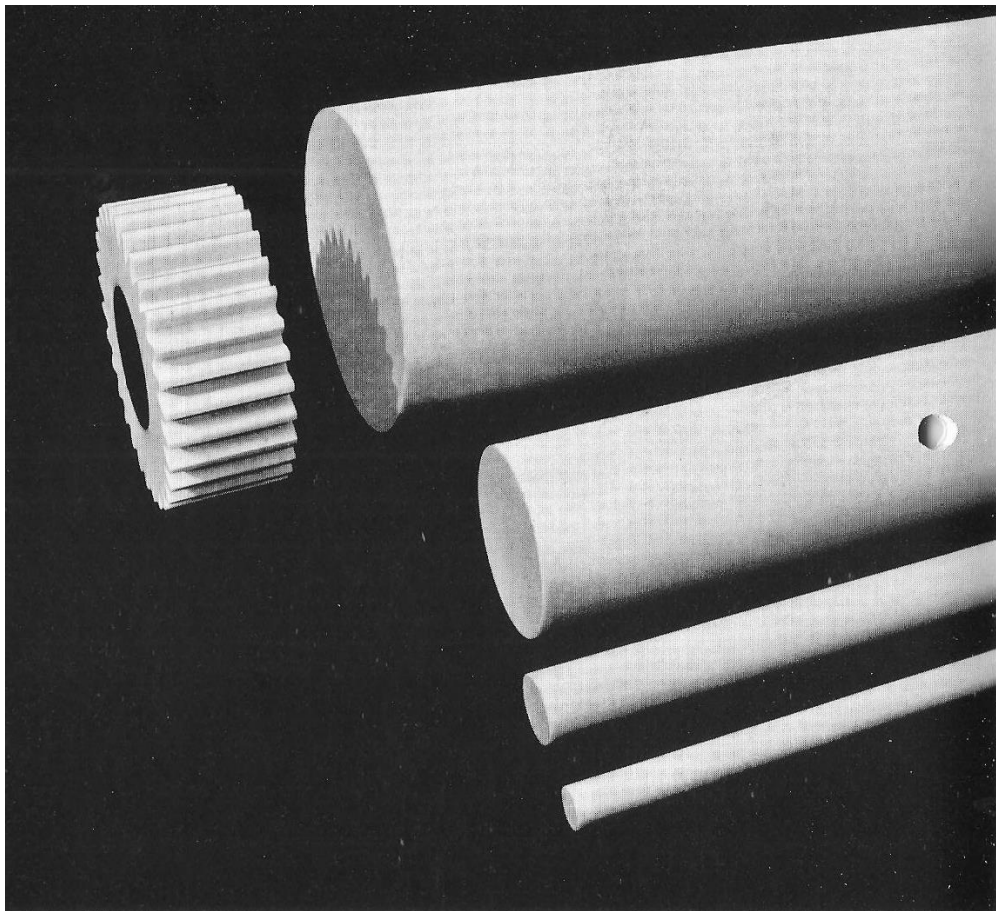


Bild 1

#### Atmosphärische Einflüsse auf unsere TROGAMID-Sorten und Konditionierung von TROGAMID B

Eine besondere Eigenschaft der Polyamide und damit auch unserer TROGAMID-Sorten ist, daß sie sowohl aus der Luft als auch bei Wasserlagerung größere Mengen Feuchtigkeit aufnehmen können. Diese Tatsache ist im Hinblick auf die Eigenschaften und speziellen Anwendungszwecke von besonderer Bedeutung. In den Kurven 2 bis 6 sind die wesentlichsten Tatsachen im Verhalten der Polyamide graphisch dargestellt. Die Feuchtigkeitsaufnahme erfolgt langsam und bis zur Einstellung des Gleichgewichtes können — je nach Dicke der Teile — viele Wochen vergehen.

Den Vorgang der Wasseraufnahme bezeichnet man als Konditionieren. Am schnellsten erfolgt die Konditionierung bei direkter Wasserlagerung und erhöhten Wassertemperaturen (siehe Kurve 5 und 6). Der Feuchtigkeitsgehalt im Gleichgewichtszustand für TROGAMID B ist in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit in der Kurve 5 dargestellt.

Maximal kann TROGAMID B (bei 100% relativer Luftfeuchtigkeit) 11% Wasser aufnehmen.

Bei 65% relativer Luftfeuchtigkeit beträgt der Wassergehalt im Gleichgewichtszustand ca. 3,5%.

Die Feuchtigkeitsaufnahme hat eine Quellung des Materials und somit eine Volumenvergrößerung, d. h. Dimensionsänderung, zur Folge.

Eine Feuchtigkeitsaufnahme von 1% ergibt im Mittel eine lineare Dimensionsänderung von 0,25 bis 0,35%.

Der Vorgang der Wasseraufnahme ist reversibel, d. h. bei geringerer Luftfeuchtigkeit trocknet das Material aus. Dabei geht auch die durch die vorherige Wasseraufnahme eingetretene Quellung wieder zurück. Das bedeutet, daß die Dimensionen von Fertigteilen in gewissem Maße Klimaschwankungen unterliegen.

Längere Zeit in trockener Luft gelagerte Teile sind also gegebenenfalls in bestimmten Zeitabständen neu zu konditionieren.

**Die Einhaltung geringer Toleranzen und der größten Formbeständigkeit fertiger Teile aus TROGAMID B erfordert, daß die Rohlinge vor ihrer Bearbeitung konditioniert werden und somit die Quellung des Materials schon vor der endgültigen Herstellung der Fertigteile vorgenommen wird.**

Es ist zu beachten, daß die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme bei TROGAMID B von der Wassertemperatur und die Konditionierungszeit von der Form des Körpers und dem Verhältnis des Volumens zur Gesamtoberfläche abhängt.

So benötigen z. B. dünne Platten und dünne Stäbe geringere Konditionierungszeiten als dicke Maschinenteile, wie Zahnräder usw.

Aufschluß über die ungefähren Konditionierungszeiten von TROGAMID B in Abhängigkeit von der Wassertemperatur und dem Formfaktor  $i$  (Verhältnis des Volumens in  $\text{cm}^3$  zur Oberfläche in  $\text{cm}^2$ ) gibt Kurve 6.

Das bei der Konditionierung aufgenommene Wasser wirkt weichmachend, d. h. das Material wird schlagzäher, die Dehnung nimmt zu und eventuell von der Herstellung herrührende Spannungen werden abgebaut.

Gleichzeitig werden allerdings die Zug- und Biegefestigkeit sowie der Elastizitätsmodul und die Kugeleindruckhärte verringert.

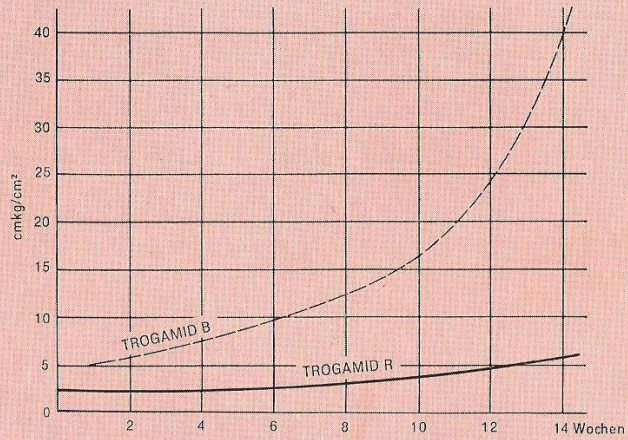
Beim Konditionieren werden die Oberfläche bzw. die in der Nähe der Oberfläche liegenden Zonen mehr und schneller Wasser aufnehmen als die tieferliegenden Bereiche, so daß nach erfolgter Konditionierung ein langsamer Ausgleich des Wassergehaltes im konditionierten Teil erfolgt.

Im Gegensatz zu TROGAMID B nimmt TROGAMID R nur sehr wenig Feuchtigkeit auf.

Infolge der geringen Wasseraufnahme zeigen daraus hergestellte Teile große Maß- und Formbeständigkeit.



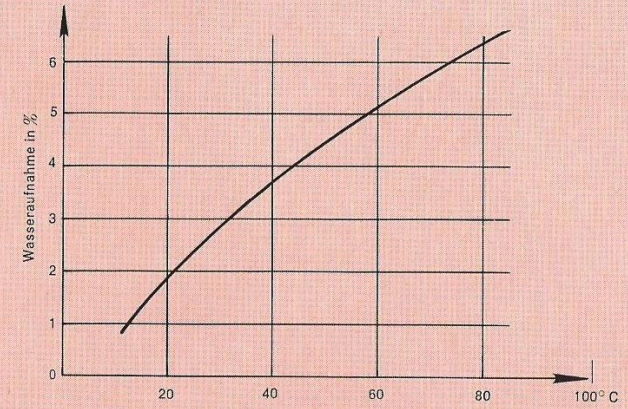
**Kurve 2 Kerbschlagzähigkeit (nach Wasserlagerung) TROGAMID B und R**



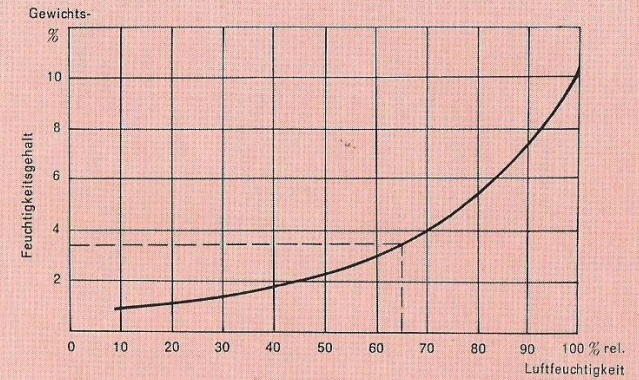
**Kurve 3 Lineare Längenänderung von TROGAMID B in % bei Wasseraufnahme**



**Kurve 4 Wasseraufnahme von TROGAMID B in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (nach 10 Stunden) (bei spez. Oberfläche 1 mm² / 1 mm³)**

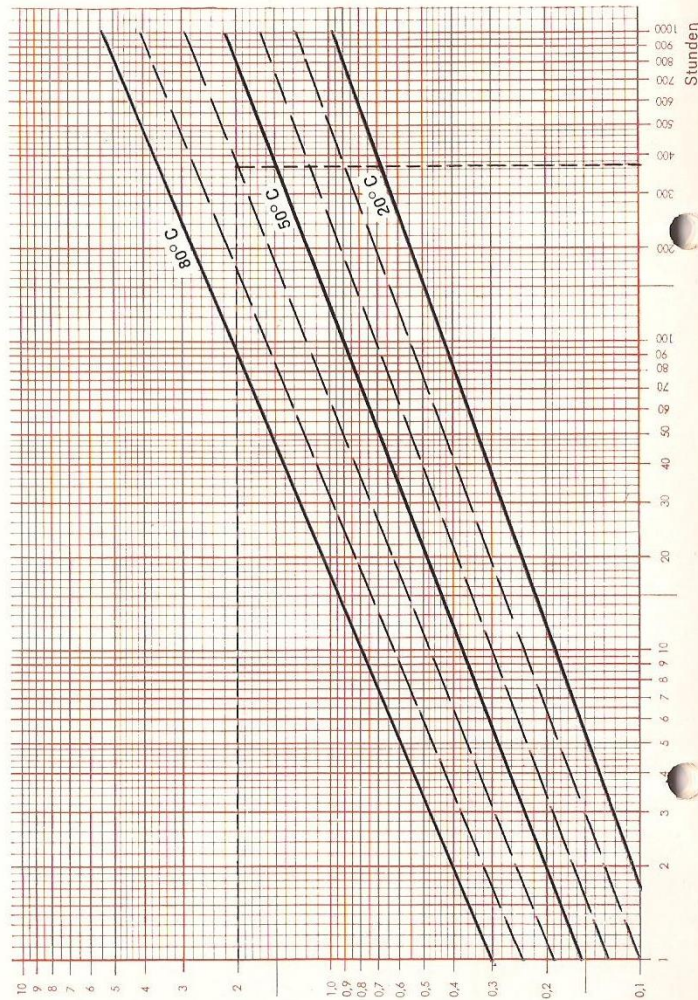


**Kurve 5 Feuchtigkeitsgehalt von TROGAMID B im Gleichgewichtszustand in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit**





**Kurve 6 Konditionierungszeiten von TROGAMID B bei verschiedenen Wassertemperaturen**



Verhältnis x Feuchtigkeitszunahme  
 $i \text{ [cm]} \times F_z \text{ [Gewichtsprozent]}$

**Berechnungsbeispiel zum Konditionieren**

TROGAMID-B-Rohlinge weisen im allgemeinen einen Feuchtigkeitsgehalt von 1 % auf. Optimale Eigenschaften der Fertigteile werden dagegen bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 3,5 % (entspricht dem Gleichgewichtszustand bei 65 % relativer Luftfeuchtigkeit und 20°C) erreicht. Durch die Konditionierung soll deshalb also der Wassergehalt um 2,5 % angereichert werden.

Angenommenes Beispiel: Ein Zahnradkolben bestimmter Abmessungen hat ein Volumen von 400 cm<sup>3</sup>.

Seine Oberfläche beträgt 500 cm<sup>2</sup>.

Die Konditionierungsdauer dieses Teiles wird durch den Formfaktor  $i$  (Verhältnis des Volumens zur Oberfläche) bestimmt.

$$i = \frac{V \text{ (cm}^3\text{)}}{O \text{ (cm}^2\text{)}} = \frac{400}{500} = 0,8$$

Die Feuchtigkeitszunahme  $F_z$  soll 2,5 % betragen.

Das Produkt  $i \cdot F_z = 0,8 \cdot 2,5$  ergibt den Ordinatenwert von 2,0.

Die zugehörige Abszisse für die Wassertemperatur von 60°C ergibt (laut Kurve 6) im vorliegenden Fall eine Konditionierungszeit von 370 Stunden.

Der Rohling ist so zu legen, daß das Wasser von allen Seiten auf ihn einwirken kann.

Es wird empfohlen, die Konditionierung möglichst bei Wassertemperaturen nicht über 60°C durchzuführen.

Teile, die nicht sofort zum Einsatz gelangen, sind nach dem Konditionieren zweckmäßigerweise in Blechbüchsen oder Polyäthylenbeuteln fest verschlossen aufzubewahren.

**Kalter Fluß und Verformung**

(Kriechen)

TROGAMID erfährt — wie alle thermoplastischen Werkstoffe — unter Dauerlast eine merklich bleibende Verformung, die man als kalten Fluß oder Kriechen bezeichnet.

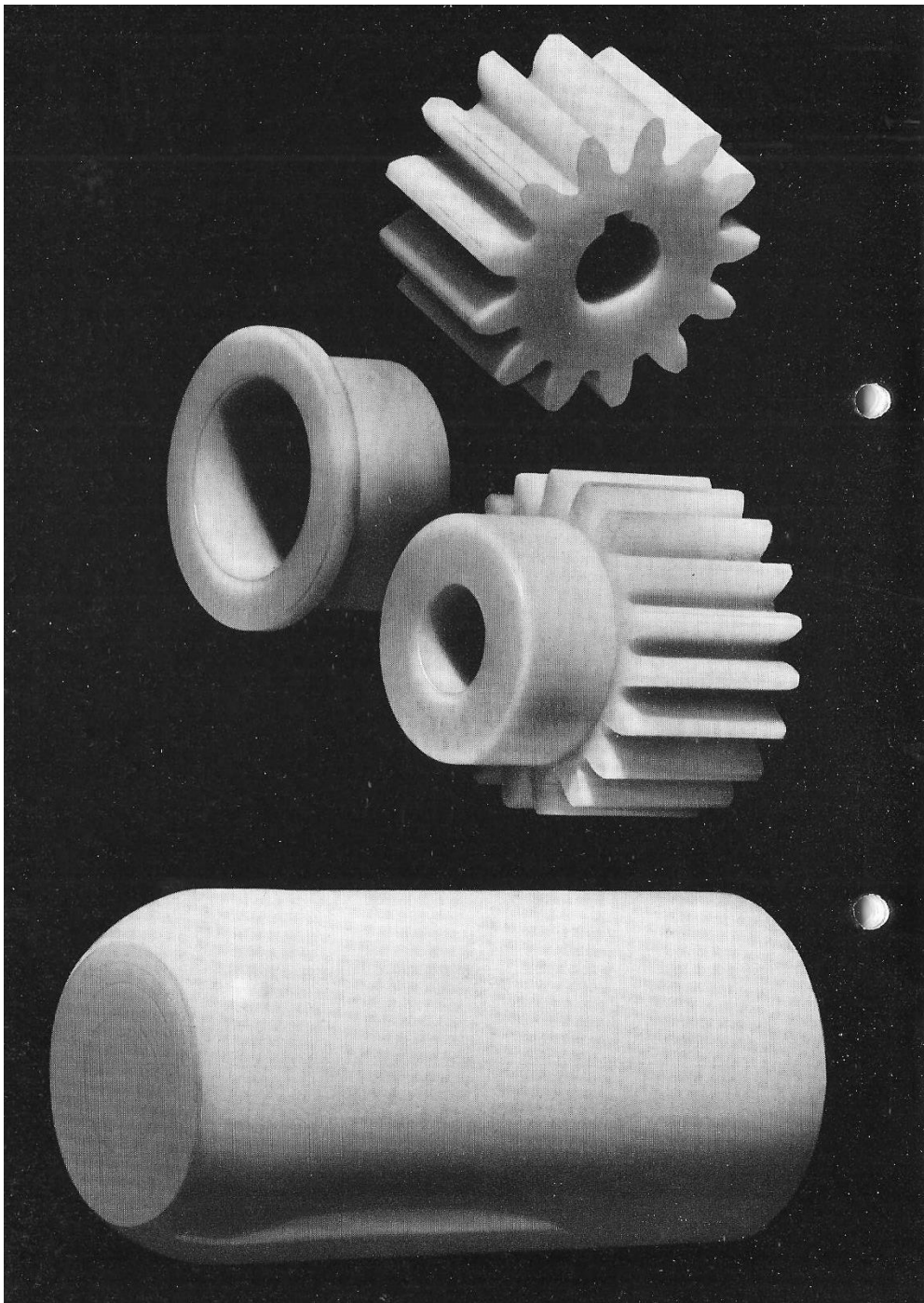
Das Ausmaß des Kriechens ist abhängig von der Höhe und Zeitdauer der Belastung sowie von den Umgebungsbedingungen (Temperaturen und Feuchtigkeit).

Je größer die Last und je höher die Temperatur und der Wassergehalt sind, um so schneller erfolgt die Verformung.

In jedem Falle wird aber die wesentliche Verformung innerhalb der ersten Stunden vor sich gehen.

Bei konstanter Last wird mit zunehmender Zeit die Kriechgeschwindigkeit immer geringer. Die Erscheinung des Kriechens ist insbesondere bei hochbelasteten Teilen (Dichtungen, Unterlegscheiben usw.) zu beachten.





### III. Einsatz und Anwendung

#### a) Allgemeines

Spanabhebend bearbeitete TROGAMID-Teile weichen in ihren Eigenschaften nur unbedeutend von gespritzten Teilen ab und bieten eine gute Vergleichsmöglichkeit. Deshalb ist die Fabrikation von Mustern aus Stäben immer dann angezeigt, wenn man sich zunächst über die Eignung eines Teiles aus diesem Werkstoff orientieren will, bevor man in die Massenfertigung mit den recht teuren Spritzformen eintritt. Ebenso ist natürlich die Fertigung aus Stäben immer dann angebracht, wenn es sich um Stückzahlen handelt, für die sich die Beschaffung einer Spritzform nicht lohnt. Die spanabhebende Bearbeitung, die technisch leicht durchführbar ist, bietet in bezug auf Einhaltung geringer Toleranzen keine Schwierigkeiten. Im letzten Abschnitt wird noch eingehend die spanabhebende Verarbeitung besprochen.

Grundsätzlich kann man sagen, daß TROGAMID überall dort mit Vorteil eingesetzt werden kann, wo es auf einen geringen Reibungskoeffizienten, einen eventuell schmierungsfreien Betrieb, hohe Verschleißfestigkeit, hohe Zähigkeit und großes Schwingungsdämpfungsvermögen ankommt. Das niedrige spezifische Gewicht macht den Einsatz besonders erstrebenswert, wenn es sich um die Bewegung hin- und hergehender Massen u. ä. handelt. Die weiter im einzelnen besprochenen Einsatzgebiete erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Es sind hier nur einige Gebiete herausgegriffen, um an Beispielen typische Einsatzmöglichkeiten von TROGAMID zu schildern.

#### b) Anwendung in der Elektrotechnik und Feinmechanik

Die elektrischen Eigenschaften von TROGAMID sind zwar nicht erstklassig, sie erlauben jedoch den Einsatz in vielen Gebieten der Elektrotechnik. Die große Zähigkeit und Formbeständigkeit gestatten Teile für den Betätigungsmechanismus im Schalter- und Radiobau sowie Telefenteile herzustellen.

Genauere Untersuchungen und die Praxis zeigten, daß TROGAMID mit größerer Genauigkeit geformt werden kann als z. B. Glimmer. Dadurch ist es möglich, auch kleine Toleranzen einzuhalten.

TROGAMID erweist sich als ein mechanisch festes Konstruktionsmaterial, das die Lebensdauer der Mechanismen günstig beeinflusst. Die Elastizität von Teilen aus TROGAMID sowie die mit ihnen erzielbare Geräuschlosigkeit sind weitere Vorzüge.

In der Feinmechanik verschaffte sich TROGAMID Eingang in den Kamerabau, für kleinere Führungen, Druckhebel, Röllchen, Gleit- und Abstandsteile; für Teile verschiedenster Art in der Textilindustrie, für bestimmte Teile im Automobilbau, für medizinische Instrumente, für Ventilatoren und Klappen bei Kompressoren u. a. m. Seine hohe Verschleißfestigkeit macht man sich in der Textilindustrie seit Jahren in steigendem Maße nutzbar. Für die Herstellung von Ringläufern, Flyernüßchen, Fadenführern und dergleichen mehr sind sie geradezu prädestiniert. Als Lagermaterial wird TROGAMID in dieser Industrie besonders geschätzt, da keine Ölschmierung erforderlich ist und somit eine Verschmutzung des Spinnigutes durch sprühendes Öl nicht vorkommen kann. In der Nähmaschinenindustrie ergibt die Verwendung von Teilen aus TROGAMID einen geräuschlosen Lauf und geringste Abnutzung, und bei Verwendung der mit Molybdändisulfid angereicher-

ten Sorten kann in den meisten Fällen auf eine Schmierung verzichtet werden. Wegen der in dieser Industrie notwendigen kleinen Toleranzen und der geforderten Volumenbeständigkeit ist die Verwendung von TROGAMID „R“ oder „RMo“ ratsam.

Ein weiteres aussichtsreiches Einsatzgebiet besteht für TROGAMID in der Haushaltsmaschinenindustrie. Infolge seiner Unempfindlichkeit, auch bei ungenügender Schmierung, empfiehlt sich TROGAMID besonders als Werkstoff für die geschilderten Einsatzgebiete.

Durch die TROGAMID-Sorten „R“ und „RMo“, die nicht oder fast nicht quellen, somit keiner Volumen- oder Feuchtigkeitsbeeinflussung durch Feuchtigkeitsaufnahme unterliegen, sind auch die geforderten engen Fertigungstoleranzen in den jeweiligen Arbeitsgebieten dieses Industriezweiges einzuhalten.

#### **Anwendungsgebiete**

Führungsbahnen und Führungsteile, Gleitbahnen, Kupplungsteile, Lagerschalen, Lagerbuchsen und Laufrollen (für geschmierten oder schmierungslosen Einsatz), Kegelräder, Ritzel, Zahn-, Schnecken- und Kettenräder, Schnecken, Ketten, Schrauben, Dichtungen und Dichtungsteile, Konen, Druckwalzen, Schaltnocken, Impulsräder, Spulenkörper usw.

#### **Einsatz**

Automobilbau, chemischer und allgemeiner Apparatebau, Elektrotechnik, Feinmechanik, Förderband- und Transportwesen, Hüttenindustrie und Bergbau, Kran- und Hebezeugbau, Lokomotiv-, Fahrzeug- und Waggonbau, allgemeiner Maschinenbau, Rohrpostwesen, Schiffs-, Schiffsmaschinen- und Schiffsmotorenbau, Textilmaschinenbau, Werkzeugmaschinen- und Waagenfabrikation, Büro-, Druck-, Frankiermaschinen, Landmaschinen.

#### **c) Zahnradfertigung und Getriebebau**

Ein Hauptgebiet für die Verwendung von TROGAMID sind die Zahnräder mit allen gebräuchlichen Verzahnungsarten, siehe Bild 1 bis 3. Seine Fähigkeit, mechanische Schwingungen im hörbaren Bereich zu dämpfen, seine hohe Schlagfestigkeit und sein geringer Reibungskoeffizient machen es als Zahnradbaustoff besonders geeignet. Da man auch kleinste Zahnräder mit recht hoher Genauigkeit spritzen kann, ist es der gegebene Baustoff für Zahnradgetriebe in Film- und Tonwiedergabegeräten, bei Haushalts- und Büromaschinen und ähnlichen Anwendungsgebieten, wo hohe Geräuschlosigkeit gefordert wird, große Stückzahlen vorliegen und mit niedrigem Preis gerechnet werden muß.

Die hohe Verschleißfestigkeit dieses Materials ist beim Einsatz als Zahnradbaustoff von ausschlaggebender Bedeutung. Nach dem ersten Verschleiß, der durch das Einlaufen mit den Gegenrädern bedingt ist, erreicht die weitere Abnutzung ein Minimum, und es tritt so gut wie keine Abnahme mehr an den Flanken auf. TROGAMID-Zahnräder können im Gegensatz zu anderen Kunststoffrädern mit Zahnradern gleichen Werkstoffes zusammen laufen. Es hat sich sogar gezeigt, daß eine Paarung von Zahnradern aus TROGAMID eine besonders gute

Ausführung von Zahnradgetrieben darstellt. Die Geräuschlosigkeit einer derartigen Zahnradpaarung ist unübertroffen. Der Reibungskoeffizient dieser Paarungen sinkt im Laufe von ungefähr vier Stunden auf ein Minimum, um dann konstant zu bleiben. Ebenso ist die Abnutzung nach dieser Zeit für gewöhnlich vernachlässigbar. Bei langsam laufenden Zahnradern ist eine Schmierung entbehrlich. Schnellaufende Zahnräder müssen geschmiert werden, um die entstehende Reibungswärme abzuführen, da TROGAMID bei höherem Temperaturanstieg durch die Erweichung der Oberfläche einen hohen Verschleiß aufweist. Die Tatsache jedoch, daß es überhaupt möglich ist, Zahnräder ohne Schmierung mit gutem Wirkungsgrad und langer Lebensdauer laufen zu lassen, ist für verschiedene Anwendungsgebiete, wo Schmierung der Zahnräder schwierig oder für die Fabrikation nachteilig ist, von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Staubige Atmosphäre hat auf die Lebensdauer dieser Zahnräder im Gegensatz zu Metallzahnradern kaum Einfluß.

Die Elastizität des TROGAMID bewirkt, daß die Belastung auf die im Eingriff befindlichen Zähne gleichmäßig verteilt wird. Ungenauigkeiten der Zahnauflage und Zahnteilungsfehler werden kompensiert, und örtliche Überlastungen, die bei anderen Kunststoffen leicht den Beginn einer Zerstörung einleiten können, werden elastisch aufgenommen und verteilt. Die Befestigung auf der Welle erfolgt mittels eines üblichen Keiles, wenn die Flächenpressung an der Keilanlagefläche kleiner ist als 200 kp/cm<sup>2</sup>. Die Keilnut soll unter einem Zahn liegen und ist auf ihrer ganzen Länge an den oberen Kanten mit einem Radius zu versehen. Die Kanten des Keiles sind entsprechend zu brechen. Man vermeidet auf diese Weise Spannungsanhäufungen im Radkörper und setzt die Kerbwirkung der Keilkanten herab.

Die Festlegung der Abmessungen von Zahnradern aus TROGAMID B kann nach Tafel 2 vorgenommen werden.

Ähnliche Verhältnisse wie bei den Zahnradern liegen bei Verwendung von TROGAMID für geräuschlos laufende Rollen vor.



Tafel 2 zur übersichtlichen Ermittlung der übertragbaren Leistung von TROGAMID-B-Zahnradern

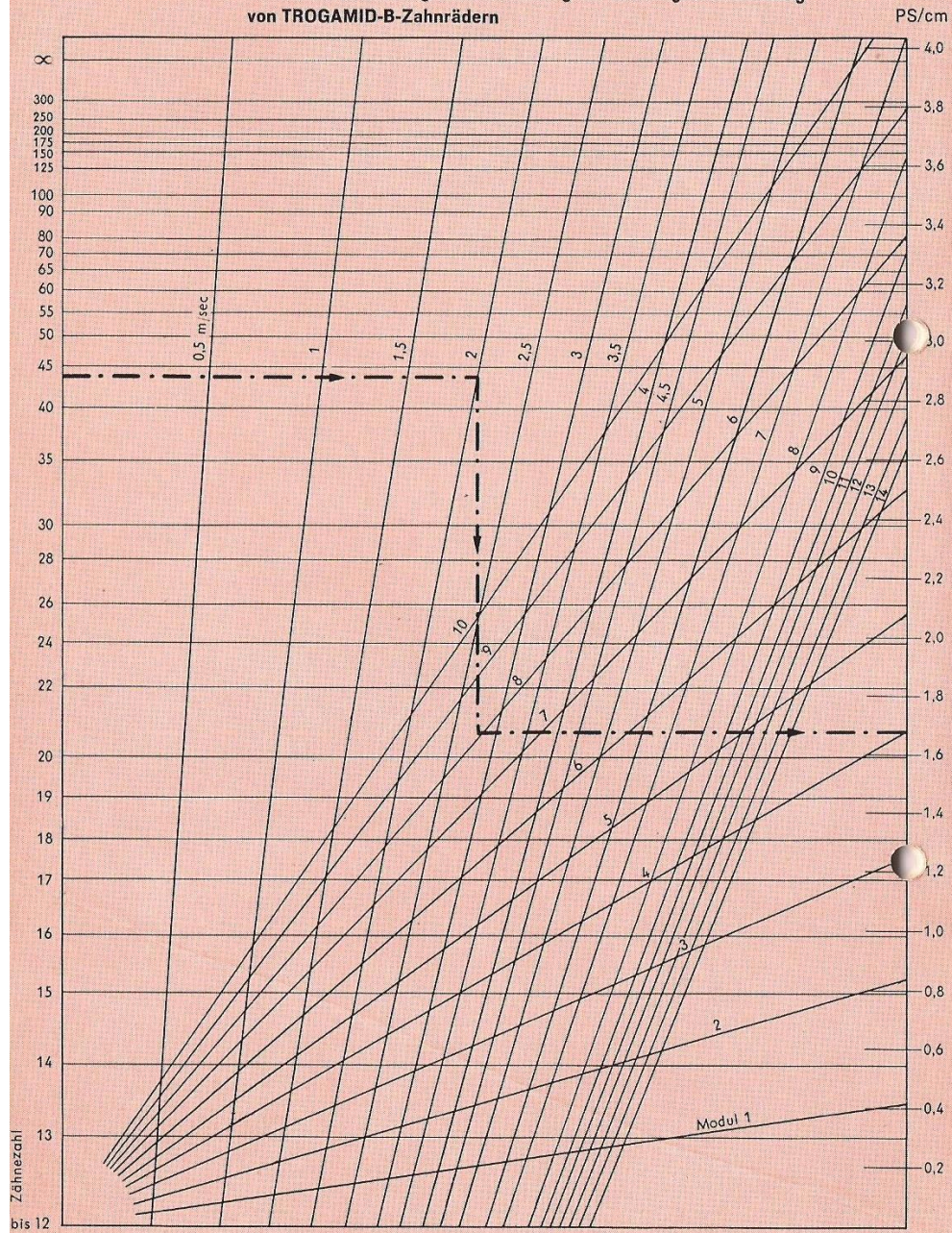
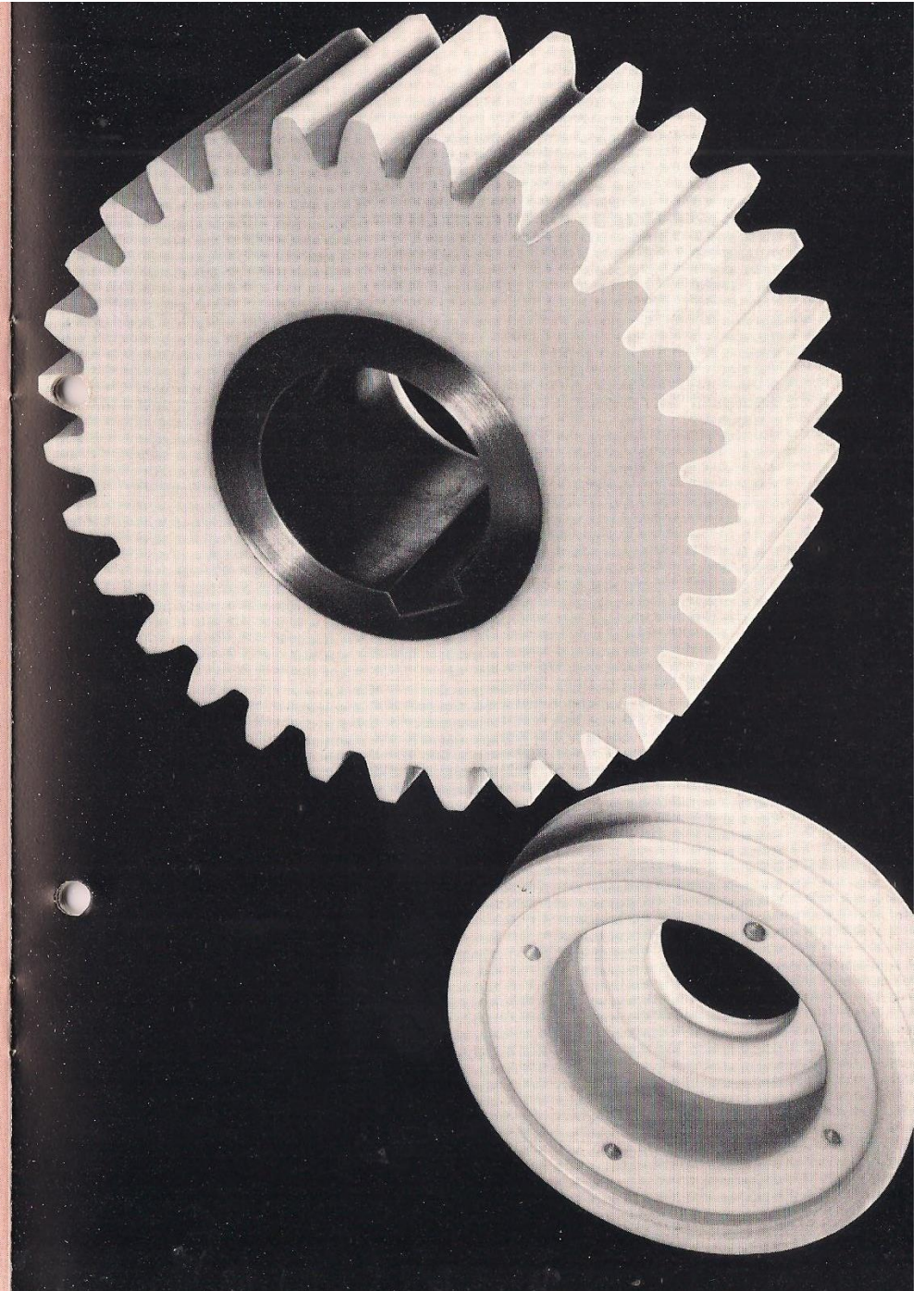


Bild 3





Wie schon erwähnt, unterliegen TROGAMID B und R verhältnismäßig stark der Beeinflussung von Temperatur und TROGAMID B noch besonders der Feuchtigkeit. Da Getriebe im allgemeinen bei Temperaturen zwischen 20°C bis 80°C arbeiten, ist die elastische Verformung von Teilen aus TROGAMID in den höheren Temperaturbereichen bedeutend größer.

So sinkt zum Beispiel der Elastizitätsmodul des TROGAMID B von 20 000 kp/cm<sup>2</sup> bei Erwärmung von 20 auf 80°C stark ab (s. Kurve 1). Gleichzeitig verringert sich die Biegefestigkeit, während die Kerbschlagzähigkeit zunimmt.

Diese Erkenntnisse sind bei der Errechnung der Getriebe zu berücksichtigen.

Eine Temperaturzunahme bewirkt gleichzeitig eine Volumenveränderung aller der Wärme ausgesetzten Teile.

TROGAMID dehnt sich bei 100 mm Länge und je 10° Temperaturerhöhung um etwa 0,12 mm aus (entspricht etwa 0,1 % / 10°C). Wirkt darüber hinaus noch Feuchtigkeit auf TROGAMID B ein, ist bei einer Wasseraufnahme von 1 % eine lineare Ausdehnung von 0,25 bis 0,35 zu erwarten.

Fallen beide Erscheinungen zusammen, treten beachtliche Änderungen und Verformungen ein.

Der Gleichgewichtfeuchtigkeitsgehalt des TROGAMID B beträgt bei 65 % relativer Luftfeuchtigkeit 3,5 %.

Ändert sich jedoch der relative Feuchtigkeitsgehalt der die TROGAMID-Teile umgebenden Luft von 65 % auf 90 %, so ist mit einer langsamen Zunahme des Feuchtigkeitsgehaltes im TROGAMID um 4 Gewichtsprozent (von 3,5 % auf 7,5 %) zu rechnen (Kurve 5).

Die Ausdehnung infolge der Feuchtigkeitszunahme um 4 % beträgt 4 x 0,3 % gleich 1,2 %.

Tritt nun z. B. neben der Feuchtigkeitszunahme noch eine Temperaturerhöhung von 20°C auf 60°C ein, so entsteht eine Ausdehnung durch die Temperaturerhöhung um 40°C (60°C minus 20°C) von 4,0 mal 0,10 gleich 0,4 %.

Die Gesamtausdehnung beträgt somit 1,2 % + 0,4 % gleich 1,6 %.

Der Kopfkreisdurchmesser eines TROGAMID B - Zahnrades verändert seine Maße infolge der Feuchtigkeitsaufnahme von weiteren 4 % und einer Temperaturerhöhung von 40°C um 1,6 %.

Diese Veränderung ist bei der Zahnradfertigung für den Zahnrad-einsatz zu beachten.

Da die Feuchtigkeitsaufnahme oder -abgabe nur sehr langsam vor sich geht, ist bei schnellen Wechseln der jeweiligen relativen Luftfeuchtigkeit eine Veränderung von TROGAMID-Teilen mit großen Materialstärken geringer.

#### d) Lagerfertigung

##### 1. Allgemeines

Lager aus TROGAMID können bei geringerer Belastung ohne Schmierarbeit arbeiten und sind deshalb die gegebenen Lager in all den Fällen bei denen aus den verschiedensten Gründen eine Schmierarbeit nicht anwendbar ist. Wie bereits bei den Zahnradern erwähnt, sind diese recht häufigen Fälle sowohl in der Textilindustrie als auch bei Maschinen für die Lebensmittel- und für die Verpackungsmittelindustrie zu

finden. Im Automobilbau ist das Schmiermittel umständlich oder wird vergessen. Hier machen TROGAMID-Buchsen die Lagerstellen von diesen Einflüssen unabhängig. TROGAMID-Lager lassen sich auch dann verwenden, wenn sie innerhalb von Flüssigkeiten, wie z. B. Milch, Benzin, Kühlflüssigkeiten u. a. arbeiten müssen, da diese Flüssigkeiten gleichzeitig als Schmiermittel wirken und die entstehende Reibungswärme abführen. Lagerungen in Waschmaschinen kann man z. B. mit Waschlauge schmieren.

Außerhalb dieser Maschinen befindliche Lager wird man schmierfrei lassen, um Verschmutzungen durch Öl oder Fett zu vermeiden. Vorteilhaft ist es, die Wandstärke von TROGAMID-Lagern so gering wie möglich zu halten. Geringe Wandstärken verringern die Federung dieses elastischen Werkstoffes und ermöglichen eine bessere Wärmeabfuhr. Die Lagereigenschaften des TROGAMID sind ähnlich denen von Weißmetall, jedoch hat TROGAMID den weiteren Vorzug einer größeren Abriebfestigkeit. Staubteilchen, die in die Lagerung geraten, werden bei TROGAMID-Lagern in das Lagermaterial eingebettet und schnell von einem TROGAMID-Film überdeckt, so daß eine schmirgelnde Wirkung auf die Welle nicht eintreten kann. Die Tragfähigkeit von TROGAMID-Lagern ist zum großen Teil höher als bei Lagern aus anderen Kunststoffen. Die Belastung ist abhängig von der Art der Schmiermittel und der Möglichkeit der Wärmeabfuhr, die bei kurzen gedrungeneren Lagern besser ist als bei langen Lagern mit dünner Welle. In der Praxis haben sich Lager ohne Schmiermittel bei kleinen Gleitgeschwindigkeiten bis zu einer spezifischen Belastung von 35 kp/cm<sup>2</sup>, mit Wasserschmierung bis zu 70 kp/cm<sup>2</sup> und mit Ölschmierung bis zu 100 kp/cm<sup>2</sup> bewährt. Die zulässige Lagerbelastung nimmt mit steigender Temperatur ab. Sie beträgt bei 80°C Lagertemperatur nur noch 50 % der vorher genannten Werte. Die Verwendung des TROGAMID „BMo“ und „RMo“ ist ratsam, wo es auf geringsten Reibungskoeffizienten ankommt. Beimischen von Molybdänsulfid setzen außerdem den Reibungskoeffizienten der Ruhe herab, so daß der Kraftbedarf beim Anlaufen, der sonst bei Kunststofflagern höher ist als man nach dem Reibungskoeffizienten der Bewegung erwarten dürfte, herabgesetzt wird. Eine Geräuschbildung (ein leichtes Knacken) bei kleinen hin- und hergehenden Bewegungen, die ebenfalls leicht bei Kunststoff eintritt, wird bei Verwendung von Typ „BMo“ und „RMo“ ebenfalls vermieden.

##### 2. Reibungskoeffizient und Lagerschmierung

Der Reibungskoeffizient von TROGAMID gegen Stahl hat die Größe von etwa

0,15 — 0,30	im Trockenlauf
0,05 — 0,10	bei Ölschmierung und
0,10 — 0,20	bei Wasserschmierung.

Die Werte sollen nur Richtwerte sein. Es ist zweckmäßig, den besonderen Einsatz und das Reibverhalten von TROGAMID unter den jeweiligen Betriebsverhältnissen zu überprüfen.

TROGAMID-Lager können nicht so stark belastet werden wie Metalllager.

Dies ist besonders in der schlechten Wärmeableitung des Werkstoffes zu suchen. Zur besseren Wärmeableitung setzt der Konstrukteur dünnwandige Lagerbuchsen ein.

Ein dünnwandiges Lager läßt höhere Belastungen zu.

Günstig bewähren sich Lagerschalen bzw. Lagerbuchsen, deren Wandstärke nicht größer als 10 % des Wellendurchmessers ist.

Die maximal zulässige Umfangsgeschwindigkeit einer glatten Stahlwelle soll bei geschmierten Lagern mit guter Wärmeableitung 1,5 m/sec und bei ungeschmierten Lagern 0,75 m/sec nicht überschreiten.

Da Wärme und Feuchtigkeit eine Ausdehnung des Lagerwerkstoffes bzw. eine Schrumpfung zur Folge haben, muß das Lagerspiel zwischen der Welle und der Bohrung größer als bei Metallagern sein.

Nehmen bei einer in einem Metallgehäuse eingeschlossenen Lagerbuchse Temperatur und Wassergehalt ab, schrumpft das Lager.

Dehnung und Schrumpfung eines Lagers erfordern das Bestimmen der ungünstigsten Betriebsverhältnisse für die Ermittlung des jeweils erforderlichen Lagerspieles.

Für das Lagerspiel kann bei TROGAMID keine feste Regel aufgestellt werden. Das erforderliche Spiel ist abhängig von der Oberflächengüte, der Belastung, der Umfangsgeschwindigkeit, der Temperatur, der Schmierung und anderen Faktoren, die auf die mehr oder weniger gute Abführung der Reibungswärme Einfluß haben. Besonders muß bei der Bemessung des Lagerspieles berücksichtigt werden, ob das TROGAMID-Lager bereits mit Wasser gesättigt ist oder nicht. Durch die Sättigung mit Wasser tritt eine Ausdehnung des Volumens des Lagermaterials ein. Bei in Metallkörpern eingepreßten Buchsen wirkt sich diese Volumenvergrößerung auf die Abmessung der Bohrung aus. Es ist deshalb wichtig, derartige Lagerbuchsen im vorgeschruppten Zustande mit Wasser zu sättigen und dann erst die Fertigbearbeitung auszuführen, um spätere Formänderungen vorwegzunehmen. In den meisten Fällen hat sich ein Spiel von 0,5 % des Bohrungsdurchmessers bis maximal 1 % bewährt. Es ist ratsam, sich bei Neukonstruktionen der Erfahrung von Spezialisten auf diesem Gebiet zu bedienen.

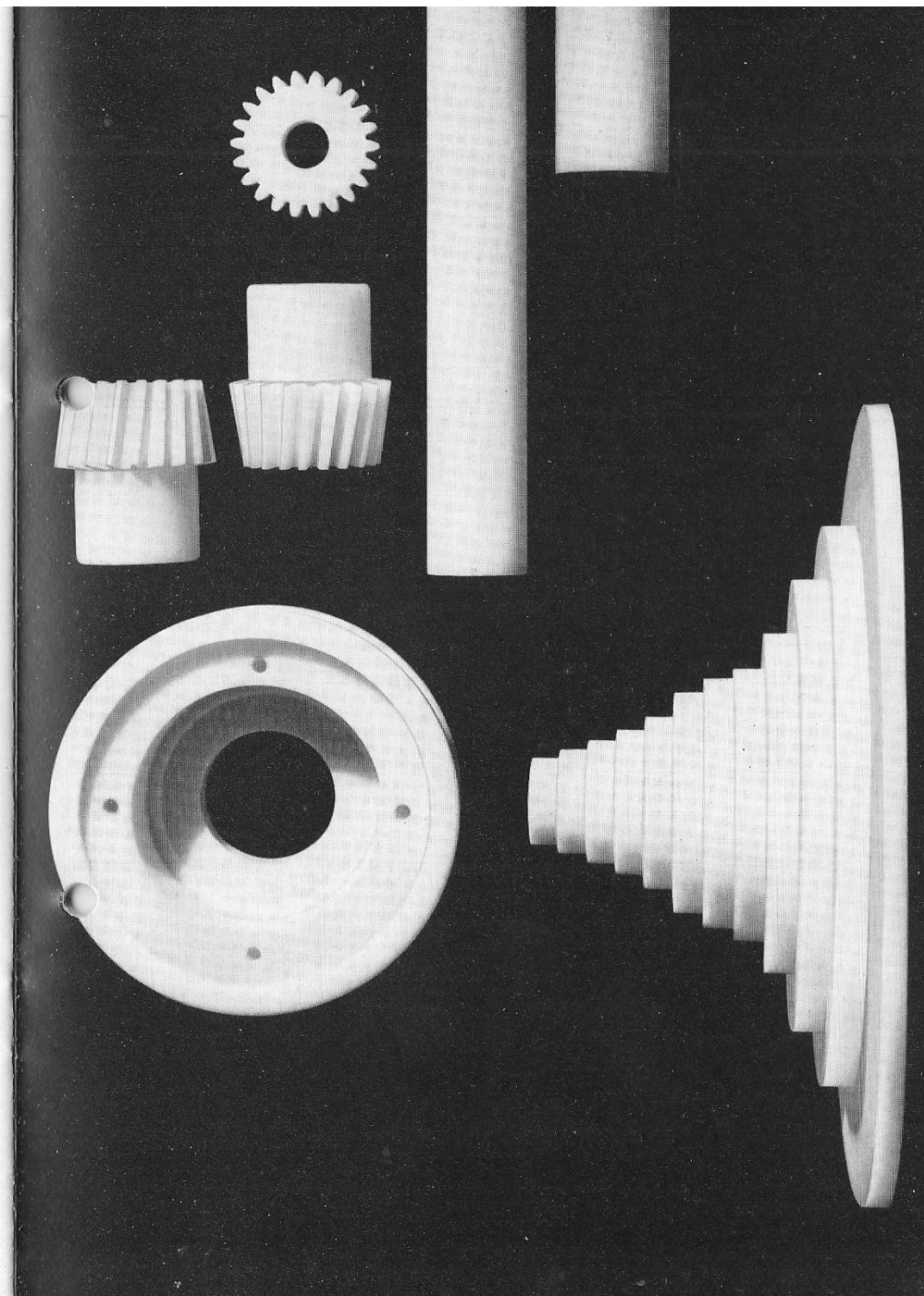
#### e) Dichtungen

TROGAMID-Dichtungen haben sich bestens bewährt. Infolge ihrer ausgezeichneten Chemikalien- und Lösungsmittelbeständigkeit bei gleichzeitig hoher Temperatur- und Druckfestigkeit bilden sie eine wertvolle Ergänzung der bisher üblichen Dichtungsmaterialien. Ihre Benzin- und Benzolbeständigkeit erlaubt im Gegensatz zu den meisten anderen Kunststoffen ihre Anwendung als Dichtungsscheiben bei Rohrleitungen und Armaturen, die mit diesen Stoffen in Berührung kommen. Sie werden weiter angewendet als hochdruckbeständige Dichtungen an hydraulischen Maschinen, als Dichtungen für Destillationsanlagen für hochsiedende Lösungsmittel und Chemikalien. Ihre Beständigkeit gegenüber Kältemitteln und Kältemittelöl erlaubt außerdem ihren Einsatz im Kältemaschinenbau.

Auch als Ventildichtungsmaterial in Sauerstoffdruckminderern hat sich TROGAMID B bewährt.

Es bestehen keine Bedenken, TROGAMID B auch für Dichtungsmuffen in Sauerstoff-Kupferleitungen zu verwenden.

Der Einsatz in Stahl-Rohrleitungen für Sauerstoff bedarf jedoch einer besonderen Prüfung.





#### IV. Die spanabhebende Bearbeitung von TROGAMID

##### a) Allgemeines

In immer größerem Maße dringen Polyamide in die Technik ein. Die Konstrukteure und Ingenieure stehen täglich vor neuen Aufgaben und Einsatzmöglichkeiten. Besondere Anwendung findet TROGAMID bei der Fertigung von Maschinenelementen verschiedenster Art. Bei der spanabhebenden Bearbeitung von TROGAMID muß beachtet werden, daß es sich um einen thermoplastischen Kunststoff handelt, der beim Bearbeiten erweicht, wenn die erzeugte Wärme nicht in angemessener Weise abgeführt wird. Der Einsatz von TROGAMID setzt entsprechende Kenntnisse des Materials, vor allem aber die Kenntnis der Bearbeitungsmethoden voraus. TROGAMID, das sich besonders durch seine Zähigkeit und Widerstandsfähigkeit als Lager- und Gleitmaterial und bei der Fertigung von Zahnrädern ausgezeichnet hat, läßt sich ohne Schwierigkeiten spanabhebend bearbeiten. Die beim spanabhebenden Bearbeiten entstehende Wärme soll möglichst schnell abgeführt werden, um in der Nähe der Bearbeitungsstelle infolge der Spanabhebung keine Wärmestauungen zu erhalten, die infolge des niedrigen Erweichungspunktes des TROGAMID ein Verschmieren an der Bearbeitungsstelle hervorruft.

Die höchstzulässige Bearbeitungstemperatur liegt bei etwa +130°C und soll nicht überschritten werden. Die stets gut geschliffenen Werkzeuge lehnen sich in ihrer Formausbildung eng an die bei der Metallverarbeitung üblichen Werkzeugformen an. Bei den Drehmeißeln ist mit größtmöglichen Querschnitten zu arbeiten, damit die Wärme schnell über den Schaft des Werkzeuges von der Bearbeitungsstelle abgeführt wird. Besonders gut haben sich Werkzeuge aus Schnellstahl und Hochleistungs-Schnellstahl bewährt. Für die spanabhebende Verarbeitung sind mit Hartmetallen bestückte Werkzeuge nicht unbedingt erforderlich.

Eine einwandfreie Bearbeitung von TROGAMID läßt sich durch die Wahl des richtigen Werkzeuges und der richtigen Werkzeugform sowie durch den Einsatz der richtigen Maschine erreichen. Besonders wichtig ist die Einhaltung der dem Stoff entsprechenden Schnittgeschwindigkeit und eine richtige Schmierung und Kühlung.

Zum Kühlen eignen sich Wasser und Preßluft. Besonders bewährt hat sich als Kühl- und gleichzeitig als Schmiermittel das allgemein in der Metallverarbeitung verwendete Bohrwasser (Bohremulsion).

Bei der Bearbeitung von TROGAMID ist darauf zu achten, daß die bearbeitete Fläche stets glatt und vollkommen frei von Riefen ist. Die Späne müssen bei der Bearbeitung gut vom Werkstück abgeleitet werden. Nicht abgeführte Späne können leicht vom Werkstück oder Werkzeug erfaßt und mitgenommen werden und mit dem Werkstück infolge der dann zwangsläufig auftretenden Reibungswärme — zwischen den Spänen und der Werkstückoberfläche — eine Verschweißung eingehen.

##### b) Sägen

Das Sägen von TROGAMID kann

- a) mit Bandsägen,
- b) mit Maschinen-Kaltsägen und
- c) mit Kreissägen

erfolgen. Stärkere Platten aus TROGAMID oder Stäbe größerer Abmessungen und Durchmesser schneidet oder trennt man am günstig-

sten an Band- und Kaltsäge. Schwächere TROGAMID-Platten und dünnere Stäbe (bis etwa 30 mm Stärke oder 30 mm  $\phi$ ) und in größeren Mengen lassen sich gut an Kreissägen schneiden. In allen Fällen ist der Werkstoff beim Schneiden entsprechend seiner Form festzulegen oder in besonderen Aufnahmen zu lagern. Es sind nur scharfe Sägeblätter zu verwenden. Die beim Sägen entstehende Schneidwärme ist durch Kühlung mit Preßluft oder Bohrwasser niedrig zu halten und zu beseitigen. Besonders günstig arbeiten Sägen mit stufenlos regelbaren Antrieben, weil sie eine jeweils notwendig werdende Veränderung der Schnittgeschwindigkeit gestatten.

##### 1. das Sägen mit der Bandsäge

Bei den Bandsägeblättern müssen die Zähne stark geschränkt sein (ca. 0,8 bis 1,0 mm), damit die Sägeblätter beim Sägen nicht klemmen und nicht reißen können. Die Dicke der Bandsägeblätter soll etwa 1 mm, die Breite etwa 25 mm betragen. Günstig arbeiten Bandsägen, bei denen die Zähne einen Abstand von etwa 5 bis 6 mm aufweisen. Beim Sägen von schwächer dimensioniertem TROGAMID sind Sägeblätter mit feinerer Zahnung zu verwenden. Zu beachten ist, daß beim Schneiden mindestens immer zwei Zähne im Eingriff stehen. Die Schnittgeschwindigkeit kann bis maximal 1000 m/Min. betragen.

##### 2. das Sägen mit der Maschinensäge (Kaltsäge bzw. Wippsäge)

Das Sägen erfolgt mit den normalen Maschinensägeblättern von etwa 2,5 mm Breite mit leichter Schrängung bei etwa sechs bis zehn Zähnen auf 1". Maximale Hubzahl = 100 Hübe/Min. Die Schnitttiefe je Hub beträgt etwa 0,5 bis 1,5 mm.

##### 3. das Sägen mit der Kreissäge

Kreissägeblätter mit einem Durchmesser von etwa 250 bis 300 mm und einer Dicke von etwa 0,8 bis 1 % des jeweiligen Durchmessers ergeben gute Ergebnisse. Kreissägeblätter zum Sägen von TROGAMID müssen hohlgeschliffen, die Zähne dürfen nicht geschränkt sein. Die Schnittgeschwindigkeit beträgt etwa 750 bis 1000 m/Min.

##### 4. das Sägen mit der Handsäge

oder Bügelsäge ist mit einem scharfen und stark geschränkten Sägeblatt gut möglich.

Bei Bedarf sind die Sägeblätter leicht einzuölen, damit sich keine Späne in den Zähnen festsetzen können und das Blatt selbst beim Sägen im Rohling nicht festklemmt. Sägeblätter mit feinen Zähnen verschmieren leicht und kommen für das Sägen von TROGAMID nicht in Frage.

##### c) Bohren

Zum Bohren von TROGAMID, das auf Bohrmaschinen, Drehbänken oder Fräsmaschinen erfolgen kann, werden im allgemeinen Spiralbohrer aus Schnellstahl oder Hochleistungs-Schnellstahl für Kunststoffe, mit steilem Drall, verwandt. Die Nuten dieser Spiralbohrer müssen breit und glatt, möglichst geschliffen sein, so daß die beim

Bohren entstehenden Bohrspäne gut aus dem Bohrloch abgeführt werden können.

Die Entfernung der entstehenden Bohrspäne kann auch noch dadurch verbessert werden, daß man die Nuten des Spiralbohrers mit Molybdändisulfid bestreicht. Durch diese Behandlung wird gleichzeitig die Reibung zwischen dem TROGAMID und dem rotierenden Bohrer stark herabgesetzt. Da beim Bohren von TROGAMID eine hohe örtliche Erwärmung eintritt, die u. U. eine unsaubere Bohrung ergeben kann, ist für die erforderliche Kühlung beim Bohren zu sorgen. Hier hat sich Preßluft gut bewährt. In der Praxis hat sich auch als Kühlmittel das in der Metallverarbeitung verwendete Bohrwasser ausgezeichnet, da es nicht nur eine schmierende, sondern auch gleichzeitig eine kühlende Wirkung ausübt. Der Umstand, daß der Wärmeausdehnungskoeffizient von TROGAMID  $110 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  beträgt, ist beim Bohren von tiefen Löchern zu berücksichtigen. Die beim Bohren entstehende Reibungswärme kann eine Veränderung des Loches durch Schrumpfen beim Abkühlen nach dem Bohren zur Folge haben. **Es erweist sich als günstig, Löcher mit einem Spiralbohrer zu bohren, dessen Durchmesser etwa 0,05 bis 0,10 mm über dem Nenndurchmesser des gewünschten Bohrlochdurchmessers liegt.** Ein Nachbohren eines zu eng gebohrten Loches mit einem etwas größeren Spiralbohrer ist wegen der Nachgiebigkeit und Elastizität des TROGAMID kaum möglich. Ein Nachbohren eines zu engen Loches verspricht nur Erfolg bei starker Unterkühlung des TROGAMID, weil es sich dann wie Metall bohren und bearbeiten läßt. TROGAMID läßt sich auch mit Spiralbohrern für Metalle auf der Bohrmaschine oder auf der Drehbank bohren. Werden von Bohrungen große Genauigkeiten verlangt, ist es zweckmäßig, im TROGAMID vorgebohrte Löcher auf der Drehbank oder Fräsmaschine mit einem Bohrstahl nachzuarbeiten (nachzubohren).

Sind Löcher größeren Durchmessers in schwaches Material zu bohren, verwendet man Spitzbohrer, deren Spitzenwinkel ca.  $155^\circ$ , Freiwinkel  $5^\circ$  und Spanwinkel  $12^\circ$  beträgt, oder reißt die Löcher mit einem Maschinenkreisschneider aus.

**Die Schnittgeschwindigkeiten für das Bohren von TROGAMID sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen:**

(Spiralbohrer aus SS- bzw. HSS-Stahl)

Bohrer mm $\phi$	Schnitt- geschwindig- keit m/Min.	Vorschub mm/Umdr.	Spitzen- winkel in $^\circ$	Freiwinkel in $^\circ$
bis 8	100	0,05 — 0,10	100 — 110	10 — 20
9 bis 15	80	0,10 — 0,20		10 — 20
16 bis 30	60	0,25 — 0,30		8 — 10
über 30	30	0,30 — 0,40		5 — 8

#### d) Aufreiben

Das Aufreiben von Bohrungen ist mit scharfen und spiralgenuteten Reibahlen ungleicher Teilung möglich. Große Genauigkeiten lassen sich bei Tiefkühlung des Materials erreichen.

#### e) Fräsen von TROGAMID

Das Fräsen bzw. das Abrichten von Flächen kann auf Holzbearbeitungsmaschinen mit hochtourigen ein- und zweischneidigen Fräswalzen erfolgen. Formen und Profile usw. werden mit einschneidigen Fingerfräsern (Einschneidern oder mit einlippigen Fräsern) aus Schnellstahl gefräst. Einschneidige Fräser weisen gegenüber mehrschneidigen Fräsern eine bessere Spanabführung beim Fräsen auf. Die Tourenzahlen derartiger Fräser betragen beim Fräsen etwa 10 000 bis 15 000 U/Min. Dies entspricht einer Schnittgeschwindigkeit von etwa 500 bis 700 m/Min.

Bei Verwendung von Walzen-, Scheiben- und Profilfräsern (in Walzen- und in Scheibenform) sind nur scharfe Werkzeuge bei hohen und höchsten Werkzeugumdrehungen einzusetzen. Bei Bedarf ist mit Preßluft zu kühlen.

#### f) Drehen von TROGAMID

TROGAMID kann mit hoher Schnittgeschwindigkeit und geringem Vorschub gedreht werden. Die Arbeitsspindel der Drehmaschine muß einen einwandfreien Gang aufweisen. Zum Lang- und Plandrehen von TROGAMID eignen sich Seitenstähle oder sogenannte Hohlkehlstähle, die vorn leicht abgerundet sind (r ca. 1 mm). Der Stahl soll beim Drehen auf Mitte stehen. Seitenstähle mit negativem Spanwinkel bis etwa  $2^\circ$  ergeben glatte und saubere Flächen und bewirken außerdem ein gutes Abgleiten und Abführen der Drehspäne beim Drehen.

Die Spantiefe kann bis etwa 3 mm bei einem Vorschub von etwa 0,08 bis 0,12 mm/Umdr. betragen. Beim Schlichten mit eingeschaltetem Transport ergeben Hohlkehlstähle bei einer Schnittgeschwindigkeit von etwa 250 m/Min. und einer maximalen Spantiefe bis ca. 1 mm und bei geringstem Vorschub bis zu 0,06 mm/Umdr., saubere und einwandfreie Oberflächen. Die beim Drehen entstehenden Drehspäne haben beim Einsatz von scharfen Drehmeißeln eine Temperatur von etwa  $50^\circ\text{C}$ . Die verhältnismäßig langen und sehr festen TROGAMID-Drehspäne müssen schnell und gut vom Werkstück abgeführt werden.

Bei größeren Spanabhebungen ist es notwendig, mit Preßluft oder mit Bohrwasser zu kühlen. Allgemein kann TROGAMID ohne Kühlung gedreht werden. Beim Drehen von maßhaltigen und genauen Teilen sind die Messungen nur am kalten Werkstück auszuführen, da der Wärmeausdehnungskoeffizient von TROGAMID etwa zehnmal größer als der des Stahles ist.

Bei Nichtbeachtung dieser Eigenschaften können ungenaue Drehteile entstehen. Beim Plandrehen von dünnen Scheiben größerer Durchmesser dürfen nur kleine Späne bei geringem Planvorschub abgehoben werden, weil sich die Scheiben sonst stark werfen.

Zweckmäßig ist in solchen Fällen, die Scheiben nach dem Abdrehen eines Spanes aus dem Futter bzw. aus der Spaneinrichtung der Drehmaschine auszuspannen und zur Beruhigung und Abkühlung kurze Zeit abzulegen.

Beim Vordrehen von Lagerbuchsen aus TROGAMID ist zu beachten, daß Polyamide durch die Wasseraufnahme beim Konditionieren ihr Volumen zum Teil stark verändern. Diese Eigenschaft zwingt, die Vor-

dreharbeiten maßlich so zu gestalten, daß durch Konditionieren in den Abmessungen veränderte Buchsen oder Hülsen nach dem Konditionieren noch auf das vorgeschriebene Maß nachgedreht werden können. Beim Ausbohren von größeren Buchsen mit dem Bohrstaht ist der Rohling zuerst mit einem Spiralbohrer im Innern (Rohling) freizubohren. Das Ausdrehen der Buchse selbst erfolgt dann entsprechend dem Ausbohren von Buchsen aus Metall.

#### g) Gewindeschneiden

auf der Drehbank

(es erfolgt allgemein ohne Schmierung und ohne Kühlung)

Außen- und Innengewinde lassen sich gut mit dem Gewindestahl schneiden. Der Gewindestahl (oder das Gewindemesser) muß scharf geschliffen sein und einen negativen Winkel von etwa  $2^\circ$  aufweisen. Je nach der Art und Größe des Gewindes wird es in mehreren Arbeitsdurchläufen (ähnlich dem Gewindeschneiden bei Metallen) geschnitten. Scharfe Kanten an Drehteilen lassen sich mit dem Flachscharber am rotierenden Werkstück brechen. Bohrungen können mit einem scharfen Dreikant- oder Löffelscharber leicht nachgeschabt werden.

#### Gewindeschneiden mit Maschinen- oder Handgewindebohrer

##### 1. Auf der Drehbank

Bis zum Gewinde M 10 werden die Kernlöcher entsprechend dem  $\phi$  von Kernlöchern für Metalle vorgebohrt. Mit dem normalen Handgewindebohrer (Fertigschneider) wird im langsamen Gang (etwa 25 Umdr./Min. der Drehmaschine) der leicht geölte Gewindebohrer in die Bohrung eingedreht.

Bei Innengewinde über M 10 bis M 25 werden die Kernlöcher etwa 0,3 mm größer gebohrt als bei Metallen.

##### 2. Gewindeschneiden von Hand

Das Gewindeschneiden von Hand in TROGAMID entspricht vollkommen dem Gewindeschneiden in Metall. Es sind nur scharfe Werkzeuge zu verwenden. Gewindebohrer, mit denen bereits Gewinde in Metall geschnitten wurde, sind nur nach entsprechendem Scharfschleifen einzusetzen. Es wird empfohlen, bereits derart benutzte Gewindebohrer nicht mehr zum Gewindeschneiden in TROGAMID zu verwenden.

#### h) Hobeln von TROGAMID

TROGAMID läßt sich gut mit scharfen Hohlkehl- und Seitenstählen hobeln. Es ist mit hohen Schnittgeschwindigkeiten zu arbeiten. Der Vorschub des Hobeltisches kann beim Schruppen von TROGAMID etwa 0,5 bis 1 mm, und soll beim Schlichten nur etwa 0,1 bis 0,2 mm betragen. Dünne Platten aus TROGAMID sind plan auf den Hobeltisch zu spannen. Stärkere Stücke, bei denen ein Verspannen ausgeschlossen ist, können mit dem Maschinenschraubstock festgespannt werden. Eine Schmierung oder Kühlung ist beim Hobeln nicht erforderlich.

#### i) Schleifen von TROGAMID

TROGAMID läßt sich mit weichen Scheiben bei reichlicher Wasserkühlung schleifen. Der Schleifdruck muß gering sein, damit durch die beim Schleifen entstehende Erwärmung das TROGAMID an der Berührungsstelle (TROGAMID-Schleifstelle) nicht erweicht. TROGAMID läßt sich auch mit Sand- oder Schmirgelpapier bearbeiten. Sollten auf diese Weise bearbeitete Teile poliert werden, ist nach dem Vorarbeiten die Oberfläche noch mit feinem Sandpapier zu glätten und von Riefen zu befreien.

#### j) Polieren

Das Polieren von TROGAMID kann mit Schwabbeln, weichen Filz- oder sogenannten Faltscheiben (Lappenscheiben) erfolgen. Hierbei ist zu beachten, daß die rotierenden Scheiben kaum materialabhebend wirken. Die Scheibe verleiht lediglich der Oberfläche einen gewissen Glanz. **Bedingung:** Vor dem Polieren muß die Oberfläche frei von Riefen und Schrammen sein. Der zu polierende Gegenstand darf nur mit geringem Druck gegen die Scheibe gedrückt werden, damit keine Erwärmung eintritt.

#### k) Feilen von TROGAMID

TROGAMID läßt sich mit scharfen gefrästen oder gehauenen Feilen oder mit Leichtmetallfeilen bearbeiten. Die Feilen müssen einen groben Hieb haben, damit sie beim Feilen durch die abgenommenen TROGAMID-Teilchen nicht verschmieren. Feilen, mit denen bereits Metalle bearbeitet wurden, sind für die Bearbeitung von TROGAMID ungeeignet.

#### l) Stanzen von TROGAMID

TROGAMID-Platten lassen sich bis 2,5 mm Dicke gut stanzen.

Bei Platten bis etwa 1,5 mm Dicke ergeben scharfe Lochschnitte mit geringstem Spiel (zwischen Stempel und Schnittplattendurchbruch) einwandfreie Stanzteile.

TROGAMID-Platten über 1,5 mm Dicke sind mit sogenannten Folgeschnitt-Werkzeugen zu stanzen.

Die Platten sind zur Erzielung besserer Stanzergebnisse vor dem Stanzen zu konditionieren. (Maßliche Veränderungen infolge Wasseraufnahme und Wasserabgabe berücksichtigen.) Siehe Abschnitt Konditionieren Seite 16.

#### V. Färben von TROGAMID B

TROGAMID B wird aus fabrikatorischen Gründen nur uneingefärbt geliefert.

Für Verarbeiter von TROGAMID B besteht die Möglichkeit einer nachträglichen Selbstfärbung des TROGAMID-Rohlings in einer Farbflotte mittels der Telonecht- bzw. Telonlichtecht-Farbstoffe der Farbfabriken Bayer, Leverkusen, bzw. Cellitonecht-Farbstoffe der BASF, Ludwigshafen.

Die Oberflächenfärbung von TROGAMID steht in direktem Zusammenhang mit dem Wasseraufnahmevermögen dieses Produktes, d. h., je länger der Rohling in der Farbflotte verweilt, desto intensiver ist die Färbung und die Eindringtiefe.

Die Färbung erfolgt in einem wäßrigen Bad bei erhöhten Temperaturen während einer halben bis einer Stunde Dauer.

Eine Oberflächenfärbung ist im allgemeinen nur in solchen Fällen angebracht, in denen die mechanische Abriebbeanspruchung nicht zu groß bzw. ein Angriff bleichender oder ätzender Chemikalien nicht zu befürchten ist.

Genaue Angaben über die Durchführung der Oberflächenfärbung von TROGAMID B können über die Herstellerfirmen der Farbstoffe oder über unsere Anwendungstechnische Abteilung eingeholt werden.

## VI. Verbinden a) Kleben

### 1. TROGAMID B

TROGAMID B mit TROGAMID B — Ameisensäure (über 85%ig,  
**Vorsicht, stark ätzend!**  
VL 836 der DNAG  
VL 519 D der DNAG

Metall	—	Ultraplast M der Isarchemie
Stahl und Gußeisen	—	K 82/74, Teroson-Werke, Heidelberg
Astralon Celluloid Cellon Trolitax Trolitan Trolitul	}	Ultraplast M der Isarchemie Grilon-Kleber, Emser Werke AG, Zürich
Trovidur	—	Terokal, Teroson-Werke Pattex mit Härter, Henkel & Cie. Bostik 475 und 10 % Boscodur, Boston-Blacking, Oberursel/Taunus
Filz Holz Gewebe Papier	}	VL 836 der DNAG

### 2. TROGAMID R

TROGAMID R läßt sich mit den genannten Klebern nicht verkleben und wenn überhaupt, dann nur mit geringster Haftung.

Zum Verkleben mit Trovidur eignen sich:

Terokal 2192,  
Bostik 475 und 10 % Boscodur A

Die großen Unterschiede der Längenausdehnungskoeffizienten von TROGAMID und Stahl bewirken, daß Klebestellen (TROGAMID gegen Stahl) im Laufe der Zeit an Festigkeit verlieren.

Es ist angebracht, bei Verklebungen die Vorbereitungen und die Verklebung selbst nach den Richtlinien der Klebstoffhersteller durchzuführen.

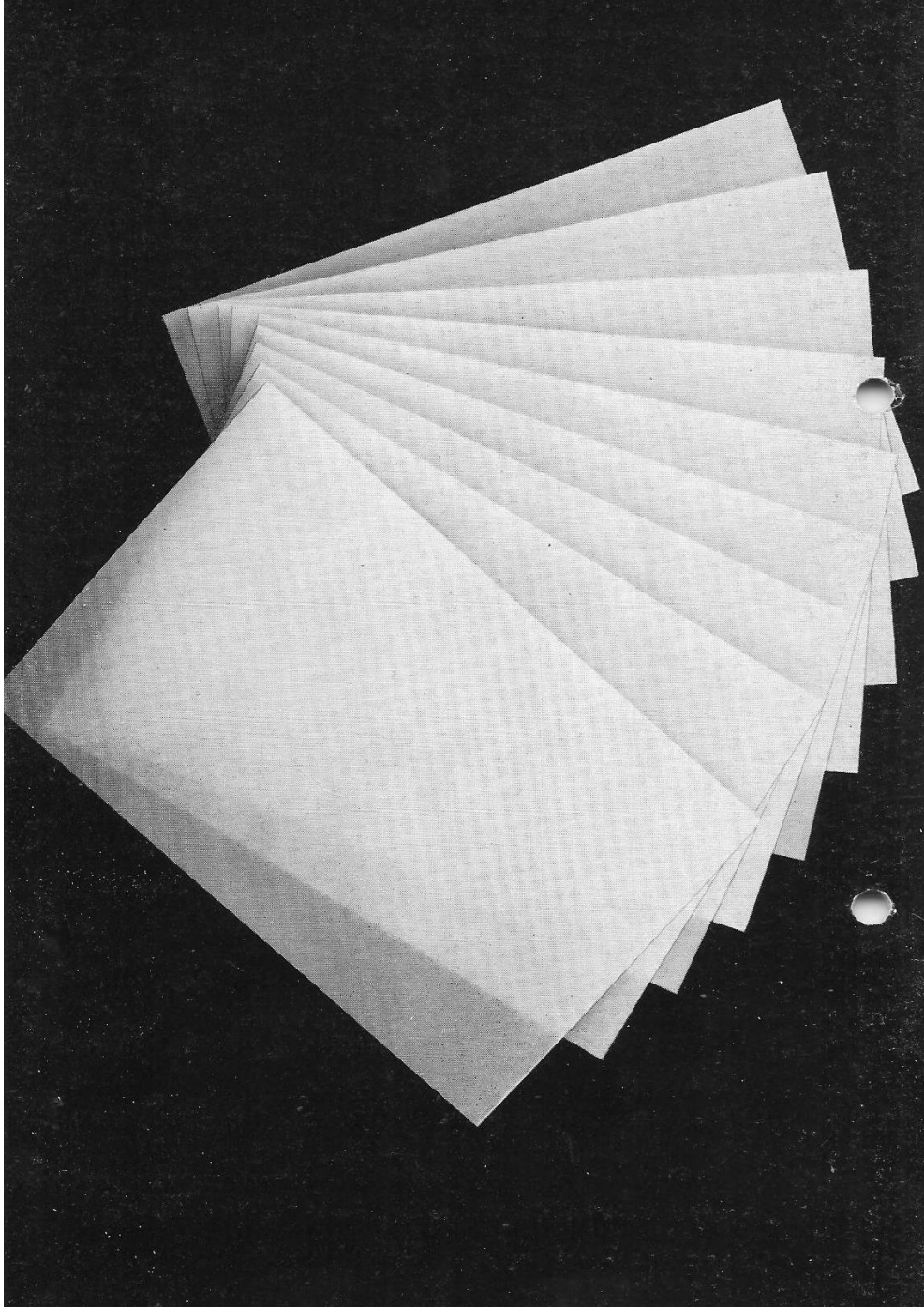
## b) Schweißen

### 1. TROGAMID B mit TROGAMID B durch

1. Heißluftschweißung (ohne und mit Schweißdrahtzusatz),
2. Heizplattenschweißung (Metallspiegelschweißung),
3. Heißdrahtschweißung,
4. Reibschweißung,
5. Hochfrequenzschweißung (für dünnwandige Teile) und
6. Wärmeimpulsschweißung.

### 2. TROGAMID R mit TROGAMID R durch

1. Heißluftschweißung mit Warmluftschweißgerät (elektrisch oder gasbeheizt) unter Verwendung eines Schweißdrahtes von ca. 2,5 mm  $\phi$ , trockener und ölfreier Luft und eines Schweißmittels,
2. Heizplattenschweißung (Metallspiegelschweißung).  
Da flüssiges TROGAMID R sehr leicht auf erwärmten Metallflächen haftet, ist die Infraroterwärmung der Erwärmung mittels erwärmter oder beheizter Platten vorzuziehen.



Bearbeitet: Dr. Volker Hofmann, 17. März 2021